

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Desarrollo de una estación de monitoreo de condiciones ambientales en
espacios públicos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telemática

Presentado por:

Sofía Antonella González Lovato

John Nelson Tobar Giraldo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

Sofía Gonzalez Lovato

El presente proyecto lo dedico a mis padres, a mi hermano y a mi novio, por los sabios consejos, las enseñanzas y el apoyo incondicional que me motivaron a seguir adelante en los momentos más complejos.

John Tobar Giraldo

El presente proyecto lo dedico a mis padres, quienes con su amor, apoyo incondicional y sabias enseñanzas han sido mi mayor inspiración y fortaleza a lo largo de este camino. A mis amigos, especialmente a los reales, por su lealtad y compañía en cada etapa de este proceso. Dedico este logro también a mí mismo, por la perseverancia y el esfuerzo que he puesto para superar cada obstáculo y alcanzar esta meta, y poder decir con orgullo, "¡War is Over!".

AGRADECIMIENTOS

Sofía Gonzalez Lovato

Agradezco a Dios, a mi familia, a mi novio, a mis amigos y a mis profesores que estuvieron para apoyarme, en especial a mi madre y a mi novio Fausto por su apoyo incondicional, a mi amigo Francisco, que siempre ha estado ayudándome y a la Ing. Sandra quien ha sido un gran apoyo en esta última fase de la universidad. También agradezco a mi compañero de tesis por el gran trabajo que hicimos.

John Tobar Giraldo

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, por su amor incondicional y por brindarme su apoyo constante a lo largo de todo este proceso. Su comprensión, paciencia y ánimo me han dado fuerzas para continuar cuando las cosas se volvían difíciles. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome el soporte emocional que necesitaba.

DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros Sofía Antonella González Lovato y John Nelson Tobar Giraldo acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de febrero del 2025.

Sofía Antonella Gonzalez Lovato

John Nelson Tobar Giraldo

EVALUADORES

Ignacio Marín García Ph.D.
PROFESOR DE LA MATERIA

María Isabel Mera Collantes Ph.D.
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La creciente preocupación por la calidad ambiental en espacios públicos ha motivado el desarrollo de soluciones tecnológicas para monitorear y analizar condiciones del entorno en tiempo real. Este proyecto presentó el diseño e implementación de un sistema de monitoreo ambiental que combina una ESP32 y una Raspberry Pi, junto con sensores para medir parámetros clave como calidad del aire (PM2.5 y CO2), temperatura, humedad, presión atmosférica, ruido y precipitación. La integración de estos dispositivos permitió centralizar y procesar los datos a través de un dashboard interactivo en Grafana, complementado con almacenamiento en la nube mediante InfluxDB. Además, el sistema incluye datos educativos y de retroalimentación para fomentar la conciencia ambiental entre los usuarios.

El sistema fue desarrollado utilizando una ESP32 para la adquisición de datos y una Raspberry Pi para el almacenamiento, integrando sensores como el AM1008W, que mide múltiples parámetros junto a sensores ambientales permitiendo redundancia. Los datos recopilados fueron almacenados en la nube gratuita InfluxDB y visualizados mediante un dashboard interactivo de Grafana alojado localmente. La aplicación incluye una pantalla de siete pulgadas y botones, además de permitir evaluaciones por parte de los usuarios, cuyos resultados se almacenan en formato CSV.

Como resultado, el sistema proporciona una aplicación para la monitorización de parámetros ambientales en tiempo real. Las visualizaciones dinámicas y la redundancia de sensores garantizan confiabilidad, mientras que las herramientas interactivas fomentan la participación ciudadana a conocer más sobre las condiciones ambientales. Se concluye que el diseño modular y la integración de tecnologías accesibles hacen de este sistema una solución viable para diversos contextos, destacando su impacto en la educación ambiental en la población local.

Palabras Clave: Monitoreo ambiental, Sensores, ESP32, Grafana, Raspberry pi, Influxdb, Calidad del aire.

ABSTRACT

The growing concern about environmental quality in public spaces has driven the development of technological solutions to monitor and analyze environmental conditions in real time. This project presented the design and implementation of an environmental monitoring system that combines an ESP32 and a Raspberry Pi, along with sensors to measure key parameters such as air quality (PM2.5 and CO2), temperature, humidity, atmospheric pressure, noise, and precipitation. The integration of these devices allowed for the centralization and processing of data through an interactive dashboard in Grafana, complemented by cloud storage via InfluxDB. Additionally, the system includes educational data and feedback to raise environmental awareness among users.

The system was developed using an ESP32 for data acquisition and a Raspberry Pi for storage, integrating sensors such as the AM1008W, which measures multiple parameters along with environmental sensors, ensuring redundancy. The collected data was stored in the free cloud service InfluxDB and visualized through an interactive Grafana dashboard hosted locally. The application includes a seven-inch screen and buttons, as well as allowing evaluations from users, whose results are stored in CSV format.

As a result, the system provides an application for real-time monitoring of environmental parameters. Dynamic visualizations and sensor redundancy ensure reliability, while interactive tools encourage citizen participation to learn more about environmental conditions. It is concluded that the modular design and integration of accessible technologies make this system a viable solution for various contexts, highlighting its impact on environmental education in the local population.

Keywords: Environmental monitoring, Sensors, ESP32, Grafana, Raspberry pi, Influxdb, Air quality.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
ABREVIATURAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE CODIGOS DE PROGRAMA	xi
1 Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivo general	3
1.4 Objetivos específicos	3
1.5 Alcances	3
1.6 Limitaciones	4
1.7 Estado del arte	4
2 Metodología	9
2.1 ¿Por qué es necesario la monitorización de las condiciones ambientales para las personas?	10
2.2 Componentes y tecnologías emergentes	10
2.3 Arquitectura del sistema de monitoreo ambiental	14
2.4 Arquitectura de hardware	15
2.5 Arquitectura de software	17
2.6 Diseño del prototipo del sistema de monitoreo ambiental	20
2.7 Métricas de satisfacción del usuario	21

2.8	Métricas de rendimiento de la raspberry pi	21
3	Implementación y funcionalidad del sistema	22
3.1	Diagrama de conexiones del sistema	22
3.2	Diagrama de procesos	24
3.3	Diseño y modelado en 3D de la estación de monitoreo	25
3.4	Funcionalidad del sistema	27
4	Pruebas y resultados	32
4.1	Prueba #1: Sistema en protoboard	32
4.2	Resultados de la prueba #1	34
4.3	Prueba #2: Sistema en baquelita y prototipado	37
4.4	Resultados de la prueba #2	39
4.5	Prueba #3: Métricas de rendimiento de la Raspberry Pi 3 B	42
4.6	Resultados de la prueba #3	44
4.7	Análisis de costos	45
4.8	Costos por hardware	45
4.9	Costos por software	45
4.10	Costo de mano de obra	46
4.11	Costo final del desarrollo	47
4.12	Viabilidad económica	48
5	Conclusiones y líneas futuras	49
5.1	Conclusiones	49
5.2	Recomendaciones	51
5.3	Líneas futuras	51
	BIBLIOGRAFÍA	54
	APÉNDICES	57
A	Diagrama de gantt	59
B	Repositorio del proyecto	60

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IoT	Internet of Things
NLP	Natural Language Programming
CO2	Dióxido de Carbono
Wifi	Wireless Fidelity
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface)
REST	Transferencia de Estado Representacional (Representational State Transfer)
NPS	Net Promoter Score
CSI	Índice de Satisfacción del Cliente
ADC	Convertor analógico-digital
CSV	Comma Separated Values
ppm	Partes por millón

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Diseño de arquitectura para la estación de monitoreo	15
2.2	Diseño de arquitectura de hardware	16
2.3	Diseño de arquitectura de software para la estación de monitoreo	17
2.4	Integración de influxDB a grafana.	18
2.5	Dashboard de grafana	19
2.6	Diseño de prototipo no a escala	20
3.1	Diagrama esquemático de los sensores genérico	23
3.2	Diagrama de procesos del sistema	24
3.3	Base del tótem	25
3.4	Cuerpo del tótem	26
3.5	Tapa superior del tótem	26
3.6	Modelado 3D del tótem completo	27
3.7	Script de Python como servicio	28
3.8	Tabla de datos de sensores	28
3.9	Continuación de la tabla de datos de sensores	29
3.10	Menú de la aplicación	29
3.11	Dashboard de grafana	30
3.12	Datos curiosos	30
3.13	Métricas de satisfacción del usuario	31
4.1	Dashboard de grafana en la pantalla táctil	33
4.2	Circuito conectado prueba con protoboard	34
4.3	Comparación de sensores de temperatura por minutos en protoboard	35
4.4	Promedio de humedad por sensor	36
4.5	Mapa de calor de correlación de variables	36
4.6	Esp32 soldada en baquelita	37
4.7	Sensores soldados con cable UTP	38

4.8	Sistema de monitoreo en prototipo de madera	38
4.9	Datos almacenados en Influxdb	39
4.10	Comparación de sensores de temperatura	40
4.11	Comparación de sensores de humedad	40
4.12	Niveles de CO2 a lo largo del tiempo	41
4.13	Datos sensados del sensor de lluvia	42
4.14	Métricas de CPU, memoria y disco	43
4.15	Gráficos de métricas de rendimiento de la Raspberry Pi	44
1	Diagrama de Gantt	59

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Parámetros que miden los sensores	14
2.2	Tabla de Mediciones y Campos	18
4.1	Costo de componente de hardware	46
4.2	Costo de componente de software	46
4.3	Costo de mano de obra	47
4.4	Resumen de costos totales de implementación.	47
1	Estructura del Repositorio de GitHub	60

ÍNDICE DE CODIGOS DE PROGRAMA

4.1	Código para obtener métricas del sistema	43
-----	--	----

CAPÍTULO 1

1. Introducción

En las últimas décadas el planeta ha experimentado grandes cambios climáticos es así como en América Latina ha sido afectada por una serie de desastres naturales, abordando investigación bibliográfica y documental de varios autores se puede establecer que los factores determinantes a esta situación es causada por el crecimiento poblacional, industrial, productivo, económico y la falta de control por los gobiernos en la aplicación de políticas de sostenibilidad ambiental han permitido la tala de árboles, agujeros en la capa de ozono, contaminación en ríos, mares, irrespetando las zonas protegidas todo por la explotación del petróleo y gas, causando un aumento de la radiación solar.

Según un artículo realizado por (Nunez, 2023) se conoce que desde 1824 con la definición del "Efecto Invernadero" por parte del matemático francés Joseph Fourier donde la Tierra mantiene el calor producido por el Sol dentro de la atmósfera permitiendo la vida que conocemos y con el descubrimiento del científico inglés, Svante Arrhenius en 1896 de la relación entre el incremento del dióxido de carbono con el aumento de los gases de efecto invernadero desembocando en un desequilibrio en los gases de efecto invernadero y en el cambio de la temperatura global ocasionando desastres naturales, sequías, calentamiento de los océanos y retroceso de los glaciares.

El cambio climático es una de las problemáticas más importantes en estos días por lo que es esencial educar a la población a nivel nacional sobre su situación actual para crear mayor conciencia.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2024), la educación es un elemento fundamental en la promoción de la acción en favor del clima, ya que ayuda a las personas a comprender y hacer frente a las repercusiones de la crisis climática, proporcionándoles los conocimientos, los valores y las aptitudes que necesitan para actuar como agentes del cambio.

En el 2024 se registró la temperatura más alta de los últimos 30 años en Guayaquil, según el Instituto Nacional de Meteorología (Universo, 2024), además también se registró la cuota más baja del embalse de la central hidroeléctrica de Mazar y una de las sequías más larga de la historia en Cuenca cuya duración fue de 118 días (Mercurio, 2024). Algunas causas del incremento de contaminación ambiental en el Ecuador es el aumento del parque automotor, los extensos incendios forestales, la deforestación, los derrames petroleros y la minería ilegal, por lo que monitorear el ambiente como la calidad del aire, la calidad del agua y otros parámetros es fundamental para llevar un registro que permita realizar una comparativa para tomar medidas más estrictas con el fin de disminuir la contaminación en el país (Galván Rico and Reyes Gil, 2009).

1.1 Descripción del problema

Hoy en día monitorear la calidad del aire y parámetros como la temperatura, humedad, presión y precipitación es de vital importancia para la salud de los ciudadanos, especialmente con el avance de la tecnología. Las fábricas y productos tecnológicos tanto nuevos como obsoletos cada vez contaminan más el planeta Tierra desencadenando enfermedades físicas y psicológicas en los ciudadanos, tales como estrés, dolores de cabeza y problemas pulmonares, siendo necesario dar pasos hacia el cuidado del ambiente empezando con mayor concientización de los ciudadanos. Por eso este proyecto realizará más que un análisis adecuado desarrollando un sistema de monitoreo de condiciones ambientales (calidad del aire, partículas del aire, precipitación, ruido, temperatura y humedad) para espacios públicos permitiendo a los ciudadanos tomar mayor conciencia sobre la situación de su entorno, incentivando su participación en la mejora de la calidad de vida. ¿De qué manera una estación de monitoreo de condiciones ambientales contribuirá en el bienestar de las personas?

1.2 Justificación del problema

Este proyecto implementará un módulo IoT con la finalidad de mostrar y estudiar estadísticas acorde a los datos recolectados mediante los sensores. Por ende, los resultados sensados se mostrarán al público general mediante un dashboard en una

plataforma local. En comparación a otros sistemas de monitoreo de calidad del aire como (Miranda, 06/09/2022) con sus sistemas de monitoreo de calidad de aire en tiempo real llamados "qHAWAX", o los sistemas de monitoreo que se encuentran en la web como ("AccuWeather", 2024), donde muestran si la condición del aire es excelente, buena o mala pero sin una estructura física, este proyecto no sólo mide la calidad del aire en tiempo real y es modular, también mide precipitación, ruido ambiental, humedad, temperatura, presión y altitud. Además permite la visualización mediante un dashboard de los parámetros antes mencionados.

1.3 Objetivo general

Diseñar una estación de monitoreo interactivo mediante el uso de dispositivos IoT (Internet of Things) para medir y visualizar en tiempo real condiciones ambientales permitiendo concientizar a la población sobre los efectos ambientales.

1.4 Objetivos específicos

1. Seleccionar sensores ambientales mediante la investigación de la situación ambiental actual del Ecuador para medir variables importantes que garanticen el correcto funcionamiento de la estación de monitoreo.
2. Diseñar un sistema de visualización que muestre en una pantalla los datos obtenidos por los sensores, facilitando su interpretación por parte del público en espacios públicos.
3. Implementar una base de datos gratuita como InfluxDB para almacenar y gestionar los datos sensados, facilitando su integración con el dashboard de Grafana para presentar información sobre las condiciones ambientales al público.

1.5 Alcances

La estación de monitoreo contará con un diseño modular que permitirá un fácil mantenimiento del sistema físico y también permitirá la inclusión de más sensores de

parámetros ambientales. La estación permitirá adaptarse para proporcionar información más completa y relevante sobre las condiciones a las que se expone la población local. Además tendrá portabilidad con el fin de ser ubicado en zonas estratégicas. Por otra parte, se incorporará un sistema de visualización en una pantalla integrada que presentará los datos sensados en tiempo real con el objetivo de captar la atención de las personas y fomentar su interés por informarse sobre el entorno en el que se encuentran.

1.6 Limitaciones

Una de las principales limitaciones del proyecto es que los sensores del sistema de monitoreo tienen un rango limitado, lo cual puede limitar su capacidad para capturar datos precisos en áreas grandes. Adicionalmente, el diseño de la estación de monitoreo debe ser adecuado para facilitar su movilidad, asegurando que sea fácilmente transportable sin comprometer su funcionalidad. Por otra parte, la variabilidad en los datos generados por los sensores puede influir en la fiabilidad de la información presentada hacia las personas, lo que es fundamental para generar confianza y conciencia ambiental.

1.7 Estado del arte

El monitoreo ambiental es un proceso continuo utilizado para evaluar y controlar el impacto humano en el medio ambiente por medio de recolecciones de datos sobre múltiples variables de entorno. También es primordial el monitoreo ambiental para tener un control del ambiente así como para conocer que factores afectan el bienestar tanto de los seres humanos como de la naturaleza con respecto a los cultivos.

A lo largo de los años se han diseñado e implementado de diferentes maneras sistemas de monitoreo de condiciones ambientales ya sea para mejorar el ambiente en el trabajo (Barros, 2023) o para tomar medidas necesarias en las técnicas de cultivo o para tener un histórico (Aguirre, 2023) de la huella que deja el ser humano en la Tierra. Por estas razones es importante nuestro proyecto, debido a que se adapta a un entorno en específico creando mayor conciencia en los ciudadanos sobre las acciones urgentes a tomar, pues al no hacer nada estaremos en un punto de no retorno desembocando en años de malestar físico y mental por las enfermedades causadas por la contaminación,

el estrés generado por el calor y el ruido del parque automotor de la ciudad y los malos hábitos de los ciudadanos en cuanto a la economía sostenible.

En Estocolmo en el 2014 implementaron obeliscos que sirven como instalaciones de arte público y estaciones de monitoreo ambiental. Estos obeliscos proporcionan visualizaciones en tiempo real de la calidad del aire y los niveles de contaminantes en el agua, utilizando secuencias de luces para representar los niveles de fósforo y nitrógeno antes y después del tratamiento de aguas residuales. Esta iniciativa no solo ofrece datos accesibles a la ciudadanía, sino que también promueve la transparencia y la participación pública en la gestión ambiental, reforzando el compromiso de la ciudad con la sostenibilidad y la mejora continua de sus estándares ambientales (Cayford, 2014).

En (Jindarat and Wuttidittachotti, 2015), los autores proponen un "sistema de monitoreo inteligente de granjas" con el uso de tecnologías como IoT junto a una Raspberry Pi y un Arduino Uno, este sistema permite monitorear entornos, automatización de dispositivos electrónicos y recopilación de dato a través de sensores. En comparación a su proyecto, este trabajo opta por cambiar el microcontrolador Arduino Uno por una ESP32 ya que ofrece más pines hasta 34 pines GPIO y hasta 18 pines que funcionan como entradas analógicas con 12 bits de resolución. Utilizar una ESP32 permite una mayor flexibilidad y precisión en la integración de múltiples sensores y dispositivos en el sistema de monitoreo.

En el estudio de (Ibrahim et al., 2015) relacionado con el tema de la monitorización inteligente desarrollada mediante el uso de varios sensores para vigilar la humedad, la calidad del aire, la temperatura, la intensidad de la luz y los movimientos sísmicos, los autores señalan que a medida que se recolectan más datos, mayor será la eficacia del sistema. En (Ibrahim et al., 2015), los autores utilizan el protocolo SSH para conectarse remotamente, lo que resulta en una interfaz que, aunque versátil, se siente algo rudimentaria. En cambio, nuestro proyecto busca desarrollar un sistema de monitoreo que muestre la información relevante de forma más atractiva y visualmente amigable logrando no solo desarrollar de la mejor manera todo este sistema de monitoreo de condiciones ambientales sino también ofrecer al público una experiencia más accesible y agradable.

La necesidad de monitorear condiciones ambientales en espacios públicos ha llevado al desarrollo de estaciones de monitoreo que permiten la visualización en tiempo real

de datos importantes. Estas estaciones de monitoreo ambiental pueden incluir diversas tecnologías que permiten la detección de parámetros como temperatura, humedad, calidad del aire, y otros factores ambientales (Rodas et al., 2021). Existen algunas técnicas, entre ellas una de las más vistas para el monitoreo de la contaminación ambiental en tiempo real son las redes de sensores inalámbricos (WSN) como también los sistemas basados en Internet de las Cosas (IoT). Estas tecnologías han sido ampliamente aceptadas para el desarrollo de sistemas de monitoreo de calidad del aire interior (IAQ), ya que permiten reducir costos y mejorar su funcionalidad en áreas grandes, mejorando la administración de los recursos y la mitigación de los impactos ambientales (Zevallos Reyna et al., 2024).

Otra de las técnicas que se han utilizado en Ecuador para el monitoreo de condiciones ambientales son las redes Sigfox, las cuales usan tecnología de área amplia de baja potencia (LPWAN) útil para cubrir transmisiones en grandes áreas con el fin de obtener información sobre temperatura, humedad y radiación UV permitiendo conocer el estado de los cultivos hidropónicos para implementar métodos efectivos y adecuados acorde a los cambios climáticos (Hernández, 2023).

Se constató con un monitoreo ambiental que el aumento de la temperatura y humedad relativa impacta en la conservación de las obras de arte del Museo de Bellas Artes acelerando el deterioro de los mismos, por eso es de vital importancia conocer dichos parámetros ambientales que permite la identificación de potenciales riesgos y las acciones correspondientes a tomar para prevenirlos o reducirlos, alargando el tiempo de vida de los objetos expuestos. Por estas razones, los datos obtenidos del sistema de monitoreo ambiental son de gran magnitud para la conservación, la prevención y la implementación de medidas informadas para mitigar estos riesgos (Ana Ester Cabal Rodríguez, 2023).

Asimismo, se comprendió que un ambiente laboral con altas temperaturas y humedad causan en los trabajadores malestar provocando estrés térmico, fatiga, dolores de cabeza y otras enfermedades causadas por el ambiente en el que labora. Esto se pudo comprobar al poner en práctica un sistema de monitoreo usando IoT durante ocho días en horario laboral de 14h00 a 21h00 en la sala docente del Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, ubicado en la ciudad de Esmeraldas, Ecuador. (Lozada Contreras et al., 2024)

Según una evaluación ambiental (Sinclair, 2023) en la construcción de una carretera se aprecia la fragmentación de hábitat, obstrucción de caudal de río, contaminación del agua y al terminar con la carretera, el aumento del parque automotor genera esmog perjudicando la salud de los ciudadanos y por ende aportando al cambio climático. En esta evaluación se realizaron estudios adecuados usando estaciones meteorológicas portátiles, cámaras trampa y sensores de calidad de agua durante un año para conocer mejor la flora y fauna de la zona de construcción en la que previamente se había realizado un mapa topográfico. Para medir el impacto ambiental usaron las matrices de Leopold que permitió evaluar la magnitud y significancia de la alteración de la zona sobre los distintos cambios ambientales.

En otros países como Cuba se diseñó e implementó por 45 días un sistema de monitoreo de calidad de aire llamado HZS-GARP-AQ-03 con el fin de dar a conocer el impacto de la contaminación del aire tanto en el medio ambiente como en la salud de las personas. Este sistema de monitoreo ambiental ayudaría a la sociedad a acatar medidas de salud públicas efectivas para proteger la salud humana en entornos rurales y urbanos (Erik Hernández Rodríguez, 2023).

Además de las aplicaciones centradas en la calidad del aire, existen enfoques similares en el monitoreo de otros factores ambientales. Por ejemplo, Fuentes y Mejía en el 2019 presentan un prototipo de estación de monitoreo de calidad del agua en el Río Yanuncay, Cuenca, utilizando sensores que miden parámetros como temperatura, turbidez y pH del agua. Este proyecto demuestra cómo las estaciones de monitoreo pueden adaptarse a distintos contextos ambientales, ofreciendo datos cruciales para la gestión de recursos naturales y la toma de decisiones en áreas urbanas, aunque centrado en la calidad del agua, este enfoque resalta la importancia de sistemas modulares y portátiles en aplicaciones de monitoreo ambiental (Fuentes and Mejía, 2019).

En nuestro proyecto se realizará una adaptación de lo mencionado en Estocolmo (Cayford, 2014) solo que a menor escala, de manera modular y portable de igual manera se usarán sensores para medir la calidad del aire cuyos datos se mostrarán en una pantalla conectada a una Raspberry Pi 3. La finalidad del proyecto es potenciar la concientización con el fin de aumentar las prácticas sostenibles a nivel local siendo esto elemental para tener un futuro sustentable.

CAPÍTULO 2

2. Metodología

En este capítulo se describe la metodología adoptada para el desarrollo y la implementación del sistema de monitoreo ambiental basado en tecnologías IoT. Se detallan los componentes clave, las tecnologías empleadas, y los procedimientos de integración necesarios para cumplir con los objetivos planteados al inicio del estudio. Este es un trabajo aplicado y experimental. Se considera aplicada debido a su enfoque en la creación de una solución práctica, que tiene el propósito de generar conciencia ambiental entre la población. Este proyecto busca implementar un sistema tangible y funcional de monitoreo ambiental que pueda ser ubicado en espacios públicos estratégicos, permitiendo a las personas informarse sobre las condiciones del entorno en tiempo real. Además, el estudio es experimental porque involucra el diseño, desarrollo y prueba de un sistema de monitoreo basado en IoT que mide, transmite y visualiza datos ambientales.

La elección de un enfoque IoT se justifica por la capacidad de esta tecnología para monitorear múltiples variables en tiempo real y almacenar datos en la nube, lo cual facilita tanto el análisis a largo plazo como la visualización en ubicaciones de acceso público. La metodología implementada permitirá la recolección y análisis de datos ambientales en espacios públicos de Ecuador mediante una serie de pasos estructurados.

El sistema de monitoreo ambiental requiere de dispositivos electrónicos para su funcionamiento así como de software especializado para la visualización de los datos que se recopilarán. En la parte de hardware estarán los sensores que medirán calidad de aire, gas, precipitación, ruido ambiental, una mini computadora (Raspberry Pi 3 con su propio sistema operativo basado en linux) y un microcontrolador (ESP-32) que será utilizado como ADC (Conversor Analógico Digital) para los sensores que requieren. En cuanto al software se utilizará una base de datos en la nube gratuita llamada InfluxDB, python que permitirá la ejecución del archivo .py el cual iniciará la recopilación de los

datos y por ende el envío de los mismos a la base de datos. Para la visualización de los datos se integrará Grafana a InfluxDB.

2.1 ¿Por qué es necesario la monitorización de las condiciones ambientales para las personas?

Es importante monitorear las condiciones ambientales para ver los cambios que suceden en nuestro planeta como lo hemos podido constatar en el boletín de la OMM sobre la calidad del aire y el clima ((OMM), 2024) cuya información se obtuvo a través de diferentes metodologías como estaciones de monitoreo de la calidad del aire, modelos de simulación atmosférica, la holografía, la espectrometría por fluorescencia y el análisis de imágenes de alta resolución. Existen numerosas investigaciones científicas, con resultados alarmantes donde se observaron drásticos cambios en el clima de muchos países como sequías, lluvias abundantes y nieve en lugares donde normalmente no ocurren estos cambios bruscos de clima. El conocer estas condiciones ambientales permite prever e implementar medidas restrictivas y adecuadas que ayuden a mejorar la situación del entorno donde nos encontramos. Con el avance del internet de las cosas (IoT) los sistemas de monitoreo ambientales benefician a las personas dando a conocer el impacto en la salud humana y el bienestar general con los datos sensados.

2.2 Componentes y tecnologías emergentes

El sistema de monitoreo de condiciones ambientales consiste en una serie de componentes y tecnologías clave que conforman el proyecto, como los sensores, protocolos de comunicación y herramientas de visualización. Las mismas que a continuación se detallan para conocer las capacidades técnicas de cada elemento y explicar cómo su integración permite el logro de los objetivos planteados, aportando tanto al monitoreo como al análisis en tiempo real de las condiciones ambientales.

- **La Raspberry Pi 3 Model B** es una microcomputadora compacta que destaca por su procesador Broadcom BCM2837 de cuatro núcleos ARM Cortex-A53 a 1.2 GHz, lo que le permite operar con arquitectura de 64 bits, mejorando su rendimiento

respecto a modelos anteriores (Halfacree, 2018). La Raspberry cuenta con 1 GB de RAM y soporte para Wi-Fi 802.11n y Bluetooth Low Energy (BLE), facilitando su integración en proyectos de IoT y computación móvil (Mehrunnisa et al., 2022). Su versatilidad se amplía gracias a los 40 pines GPIO, lo que permite su uso en aplicaciones de automatización y control, mientras que el sistema operativo se ejecuta desde una tarjeta SD, permitiendo una fácil actualización y expansión (Mehrunnisa et al., 2022).

- **La ESP WROOM 32** es una placa de desarrollo muy popular en aplicaciones de IoT, destacándose por su bajo costo y versatilidad. Fabricado por Espressif Systems, la ESP32 integra conectividad Wi-Fi y Bluetooth, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos que requieren comunicación inalámbrica. Su procesador Xtensa de doble núcleo a 240 MHz, junto con 520 KB de SRAM y hasta 16 MB de memoria flash, permite ejecutar aplicaciones complejas en tiempo real (Systems, 2023). Además, la placa ofrece 34 pines GPIO, lo que permite la conexión de múltiples sensores y actuadores, y 16 pines configurables como PWM, esenciales para aplicaciones de control y automatización (Maier et al., 2017).
- **Internet de las Cosas (IoT)** es un concepto que se refiere a la interconexión de dispositivos físicos a través de redes de comunicación, permitiendo la recopilación y el intercambio de datos en tiempo real. Esta tecnología tiene un impacto significativo en una variedad de sectores, incluyendo la automatización del hogar, la salud e industria mediante el uso de dispositivos inteligentes que pueden comunicarse de forma autónoma. Los dispositivos IoT, como sensores y microcontroladores, están diseñados para ser pequeños, eficientes en términos de energía y de bajo costo, lo que facilita su integración en aplicaciones. Además, el avance en las tecnologías de conectividad, como el Wi-Fi, el Bluetooth y las redes celulares, ha permitido una mayor expansión de los sistemas IoT, mejorando la calidad de vida y optimizando procesos en diferentes áreas (Maier et al., 2017).
- **Sensor AM1008W** es un dispositivo diseñado para medir varios parámetros relacionados con la calidad del aire en interiores. Integra un sensor PM2.5 que utiliza dispersión láser para detectar partículas finas en el aire, cruciales para evaluar la contaminación ambiental. Además, cuenta con un sensor de CO₂ basado

en la tecnología NDIR, que permite medir con precisión los niveles de dióxido de carbono, favoreciendo una mejor ventilación. El sensor de VOCs, que funciona sobre principios semiconductores, detecta gases como el formaldehído, presentes en ambientes interiores y dañinos para la salud. Por último, el sensor de humedad y temperatura proporciona datos sobre las condiciones ambientales para mejorar el confort y prevenir problemas relacionados con la humedad (Kim et al., 2023). Se puede revisar sus características más a fondo en el siguiente datasheet_AM1008W

- **Sensor MQ-135** se utiliza para detectar gases como amoníaco, benceno, CO₂ y otros compuestos volátiles. Funciona mediante un material semiconductor cuya resistencia cambia al interactuar con estos gases. Es ideal para aplicaciones de monitoreo de la calidad del aire y se integra fácilmente en sistemas de IoT debido a su bajo costo. El sensor tiene una estructura compacta con seis pines: dos para la alimentación, tres para medición y uno para la salida de datos (Jindarat and Wuttidittachotti, 2015). Se puede revisar sus características más a fondo en el siguiente datasheet_MQ135
- **Sensor BME280** es un dispositivo de medición ambiental compacto y preciso que integra tres funciones: temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. Este sensor emplea una tecnología digital para proporcionar datos exactos con un bajo consumo de energía, lo que lo hace ideal para dispositivos IoT y sistemas embebidos. Se comunica a través de las interfaces I2C o SPI, su capacidad para medir con alta precisión la presión atmosférica lo convierte también en una herramienta útil para aplicaciones que requieren detección de altitud y predicción meteorológica (Warnakulasooriya et al., 2018). Se puede revisar sus características más a fondo en el siguiente datasheet_BME280
- **Sensor KY-037** es un dispositivo de detección de sonido que utiliza un micrófono de condensador para convertir las ondas acústicas en señales eléctricas. Genera una salida analógica que varía según la intensidad del sonido, además de contar con una salida digital que se activa cuando el nivel de sonido supera un umbral predefinido. Este sensor dispone de cuatro pines: VCC para la alimentación, GND para tierra, A0 para la señal analógica, y DO para la señal digital. Se integra fácilmente con plataformas como Arduino, ESP32 o ESP8266, Raspberry

Pi y cualquier microcontrolador, siendo útil en aplicaciones como sistemas de monitoreo de ruido, activación de alarmas o dispositivos interactivos basados en sonido (Martín Turrión et al., 2022). Se puede revisar sus características más a fondo en el siguiente datasheet_KY037

- **Sensor HW-028 o YL-83** es un dispositivo utilizado para detectar gotas de lluvia y medir la humedad. Funciona a través de una serie de pistas conductoras impresas en una placa de baquelita, que al mojarse crean un camino de baja resistencia, generando un diferencial de voltaje, este voltaje es amplificado por un LM393 que es un amplificador operacional lo cual permite que el sensor active su salida digital o proporcione una lectura analógica de la intensidad de la precipitación. La salida analógica AO se conecta a un microcontrolador para obtener un valor proporcional a la humedad, mientras que la salida digital DO ofrece una señal binaria de activación cuando se detecta lluvia. El sensor opera con un voltaje de entre 3.3V y 5V, y sus aplicaciones incluyen sistemas de monitoreo climático y automatización de riego (Mactronica, 2020). Se puede revisar sus características más a fondo en el siguiente datasheet_YL-83
- **InfluxDB** es un sistema de gestión de base de datos de series temporales open source escalable diseñado para almacenar y analizar los datos en tiempo real. (editorial de IONOS, 2020) Desarrollado en Go, lenguaje de programación de Google, también llamado Golang. Utilizada comunmente para recopilación de datos de Internet de las Cosas por su alta capacidad de almacenamiento y su estampa de tiempo. (Martínez, 2022) Permite más de cien integraciones entre ellas Grafana para la visualización de los datos.
- **Grafana** es una plataforma de código abierto especializada en la visualización y análisis de datos de series temporales provenientes de diversas fuentes, como bases de datos y sistemas IoT (Cuevas et al., 2023). En este proyecto, Grafana se integra con InfluxDB para generar paneles dinámicos y personalizados que presentan datos ambientales en tiempo real. Su arquitectura permite procesar grandes volúmenes de datos y mostrar gráficos avanzados, tablas y mapas de calor ofreciendo una representación clara y técnica de las variables monitoreadas.

Todos estos componentes y herramientas se integraron en el sistema de monitoreo de

condiciones ambientales, para ello se realizaron pruebas respectivas hasta obtener los datos de los parámetros de manera correcta.

Sensor	Temperatura	Humedad	Presión	Calidad del Aire	Lluvia	Ruido
YL-83					X	
KY-037						X
BME280	X	X	X			
MQ135				X		
AM1008W	X	X		X		

Tabla 2.1: Parámetros que miden los sensores

2.3 Arquitectura del sistema de monitoreo ambiental

El desarrollo del sistema de monitoreo ambiental está estructurado en módulos que facilitan tanto la recopilación de datos de múltiples sensores como su almacenamiento y visualización en la nube. La arquitectura modular permite que los datos capturados sean transmitidos de forma constante y precisa hacia una plataforma de visualización en tiempo real con el fin de proporcionar información al público sobre las condiciones ambientales en las que se encuentran.

La figura 2.1 muestra la arquitectura del sistema de la estación de monitoreo ambiental, donde se aprecia las conexiones entre los componentes del hardware y los servicios utilizados para el software y el medio de comunicación entre ambos.

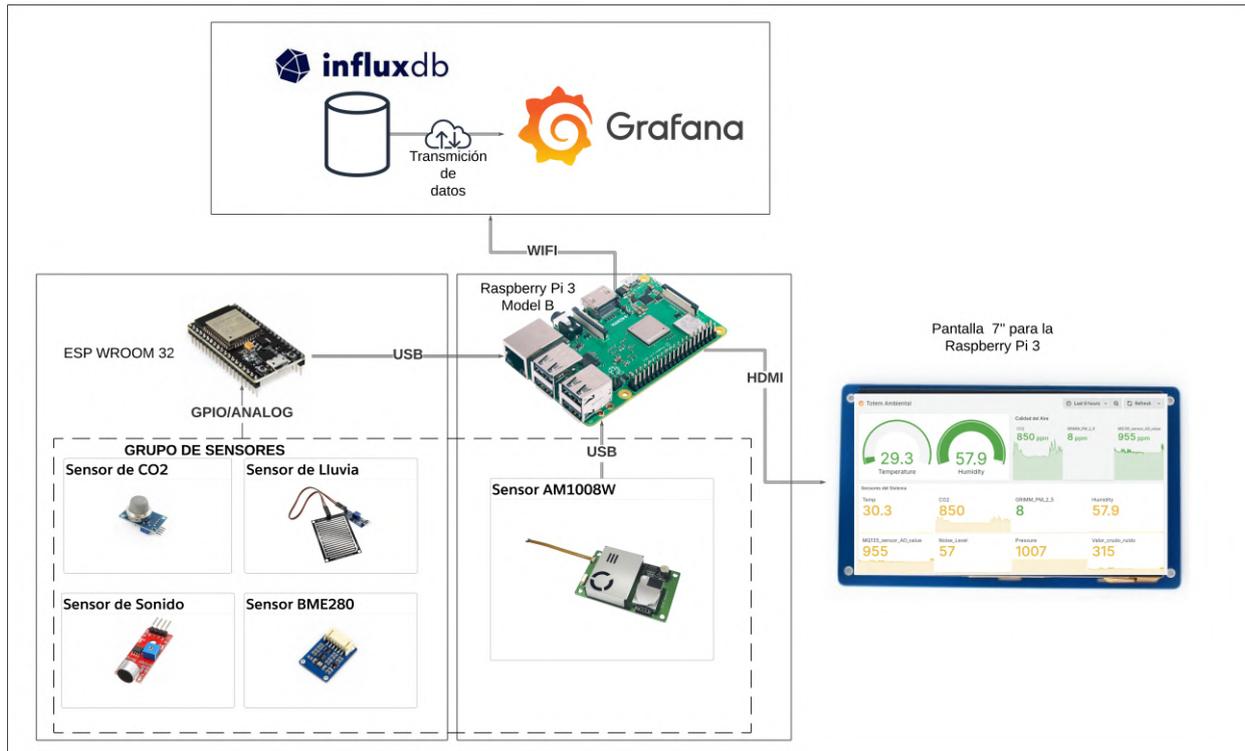


Figura 2.1: Diseño de arquitectura para la estación de monitoreo

2.4 Arquitectura de hardware

La arquitectura de hardware está dividida en dos secciones principales, una sección está controlada por el microcontrolador y la otra sección está controlada por la minicomputadora. En el diseño a nivel del hardware se muestran los componentes que permitirán la recolección y visualización de los datos ambientales en tiempo real y a su vez como están conectados entre sí y su funcionamiento. La arquitectura propuesta a nivel de hardware incluye un conjunto de sensores esenciales para la recolección de datos ambientales.

En la figura 2.2 se muestra esta configuración, donde se observa el grupo de sensores que permiten medir distintas variables clave. Los sensores utilizados son el MQ135, BME280, sensor de lluvia, sensor de sonido, y el sensor AM1008W. Cada uno de estos sensores tiene una función específica dentro del sistema de monitoreo ambiental.

Para la captura y procesamiento de las señales de estos sensores, se ha integrado un microcontrolador ESP32 y una mini computadora Raspberry Pi 3. La selección de la ESP32 se debe a su capacidad de conversión de señales analógicas a digitales, algo

que la Raspberry Pi 3, al carecer de pines ADC (Conversión Analógica a Digital), no puede realizar directamente. Esto es crucial, ya que los sensores MQ135, de lluvia y de sonido producen datos en formato analógico. Por ello, estos tres sensores están conectados a la ESP32, que actúa como un intermediario para la conversión de datos antes de transmitirlos a la Raspberry Pi 3.

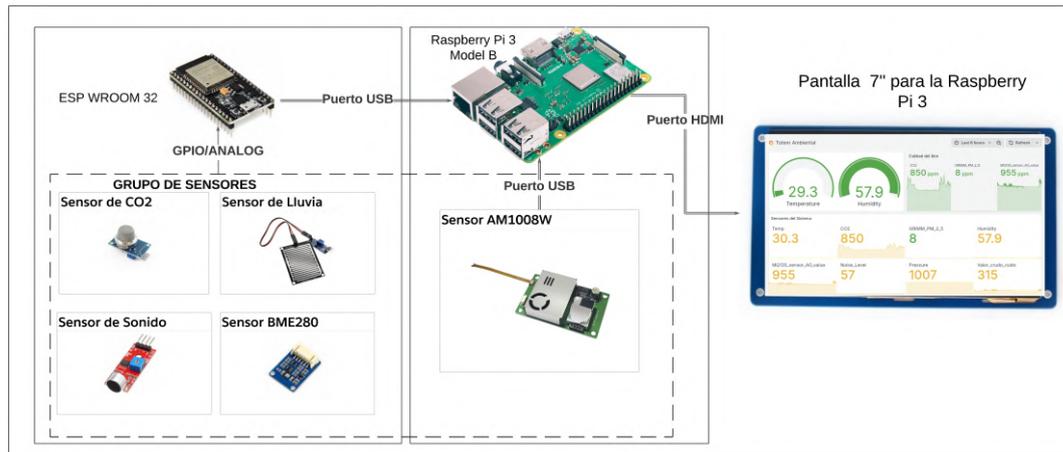


Figura 2.2: Diseño de arquitectura de hardware

El sensor BME280, que permite medir presión atmosférica, temperatura y humedad, es compatible tanto con la ESP32 como con la Raspberry Pi 3. En esta arquitectura, el sensor BME280 está conectado a la ESP32, aunque su flexibilidad de conexión permite posibles cambios o expansiones en futuras versiones del sistema. La ESP32 no solo facilita la conversión de datos analógicos, sino que también contribuye a la escalabilidad del sistema al proporcionar pines adicionales, permitiendo así la incorporación de más sensores a medida que el proyecto evolucione. Esto es complementado por los pines de la Raspberry Pi 3, proporcionando una arquitectura flexible y modular. El sensor AM1008W, que mide la concentración de partículas en el aire, viene con un kit de prueba que permite su conexión directa a la Raspberry Pi 3 mediante un cable USB. Esta conexión facilita el manejo de datos sin requerir conversión analógica, ya que los datos se envían directamente en formato digital a la Raspberry Pi.

La comunicación entre la ESP32 y la Raspberry Pi 3 se establece mediante un cable USB para transmisión de datos mediante el protocolo serial. Sin embargo, en una implementación futura, sería ideal conectar ambos dispositivos a través de UART y utilizar una fuente de alimentación independiente para la ESP32, para evitar posibles problemas

de alimentación en la Raspberry Pi al manejar múltiples dispositivos.

Finalmente, los datos recopilados se presentan al público a través de una pantalla de siete pulgadas conectada por HDMI a la Raspberry Pi 3 B.

2.5 Arquitectura de software

En esta sección se describen las herramientas de software que usaremos tanto para el almacenamiento como para la visualización de los datos y su interacción. En la siguiente figura podemos observar el diseño del software para el sistema de monitoreo de condiciones ambientales.

En este diseño integramos Grafana OSS, una plataforma para la visualización de los datos recolectados en InfluxDB Cloud, una base de datos de series de tiempo gratuita.



Figura 2.3: Diseño de arquitectura de software para la estación de monitoreo

Base de datos¹: La base de datos utilizada es una herramienta de código abierto ideal para la recopilación de grandes volúmenes de datos. Se crea un *bucket* con el nombre *Totem_1*, el cual almacenará los datos enviados desde la Raspberry Pi 3 Modelo B mediante el uso de un Token API. El *bucket* contiene un *measurement* con los campos especificados en la siguiente tabla:

¹InfluxDB, <https://cloud2.influxdata.com/signup>

Measurement	Campos
SensorData	Approx_Altitude, Humidity, MQ135_AO_value, MQ135_Percentage, Noise_Level, Noise_Raw, Rain_Analog_Value, Rain_Digital_Value, CO2, Grimm_PM_2_5, RH, TSI_PM_2_5, Temp, VOC

Tabla 2.2: Tabla de Mediciones y Campos

Las consultas de datos podrán realizarse utilizando el lenguaje SQL desde la página web.

API REST: La Application Programming Interface (API) permite la interacción entre el cliente y el servidor (AWS, 2024) para generar consultas, y el REST permite utilizar los métodos HTTP como GET, PUT, DELETE y POST, para acceder a los datos a través de HTTP.

Esta API la usamos en la integración de Grafana con InfluxDB directamente en la página web de Grafana, en la sección de Data Sources, generamos una nueva fuente de datos eligiendo a InfluxDB como fuente, agregamos el API Token generado en InfluxDB.

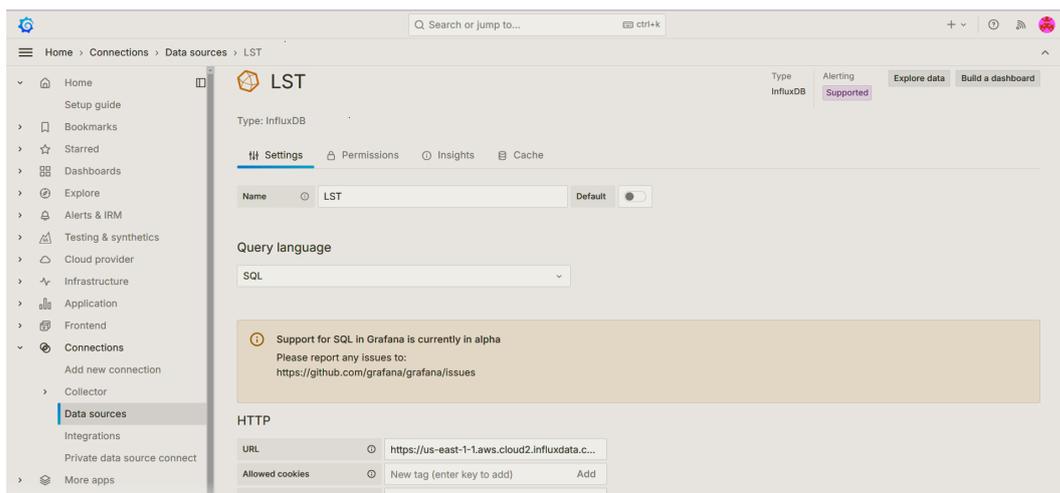


Figura 2.4: Integración de influxDB a grafana.

Dashboard²: Se presentarán los datos recopilados en tiempo real por los sensores

²Grafana, <http://localhost:3000/d/ce4noeaaathj4e/totem-ambiental?rgId=1&from=now-30d&to=now&timezone=browser>

conectados a la Raspberry Pi 3 Modelo B enviados a la base de datos mediante un script de python. Se integra en Grafana un nuevo Data Source, cuya fuente será InfluxDB "LST" usando la API Token generada anteriormente mostrada en la figura 2.4. El dashboard hecho en Grafana presenta la información del entorno donde se encuentran para conocer el valor de la temperatura, el ruido ambiental, la humedad, la presión, la calidad del aire y las partículas del aire.

En la figura 2.5 vemos el dashboard realizado en Grafana en donde se observan los datos de los sensores de lluvia, calidad de aire, humedad y temperatura, CO₂, presión, ruido.



Figura 2.5: Dashboard de grafana

Aplicación: Se utilizará la librería kivy de python para la creación de una aplicación que constará de tres botones para navegar por la interfaz, el primero es para abrir el dashboard de Grafana donde la librería de voz indicará los datos del dashboard o de la base de datos InfluxDB, el segundo, abrirá una ventana con datos sobre las condiciones ambientales y el tercer botón abrirá una ventana donde preguntará al usuario la satisfacción con respecto a su experiencia del sistema de monitoreo, se recolectaran las respuestas de los usuarios que se hagan en un archivo de extensión CSV para en un futuro hacer su respectivo análisis e implementar mejoras.

2.6 Diseño del prototipo del sistema de monitoreo ambiental

Nuestro diseño se centra en la creación de un prototipo modular y portátil, con una estructura que permita la integración de sensores y dispositivos de visualización de manera eficiente. Este enfoque facilita el mantenimiento, la escalabilidad y la personalización del sistema según las necesidades futuras.

La propuesta incluye una torre cuya estructura se compone de varios pisos, los cuales pueden ser añadidos o removidos según los requerimientos del sistema. Cada piso contiene uno o más sensores para optimizar la recolección de datos ambientales. Esta configuración modular permite una separación clara entre los componentes lo que facilita las pruebas y posibles actualizaciones.

En uno de los pisos superiores de la torre se encuentra la pantalla táctil de siete pulgadas lo cual esto permitirá la visualización de los datos mostrados y la interacción con los usuarios de la mejor manera posible.

La estructura está diseñada para ser ligera y portátil, lo que facilita su transporte y colocación en diferentes ubicaciones estratégicas. Esto es esencial para garantizar que el sistema pueda ser utilizado en diversos entornos, como laboratorios, espacios públicos o eventos educativos. En la figura 2.6 observamos un prototipo inicial de madera de la torre con sus respectivos pisos y compartimentos.

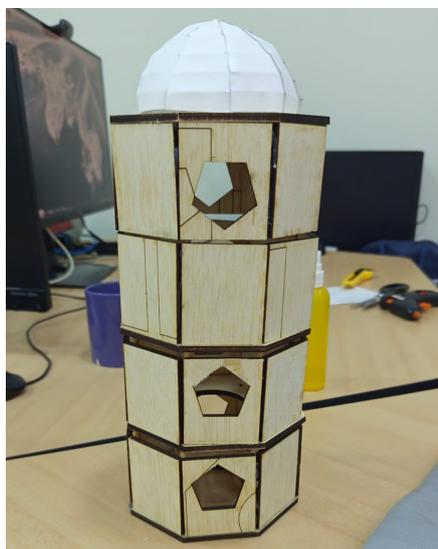


Figura 2.6: Diseño de prototipo no a escala

La torre también cuenta con espacios adecuados para el cableado interno, lo que reduce el desorden y protege las conexiones de posibles daños. La modularidad de la estructura no solo permite añadir sensores, sino también incorporar nuevas tecnologías que se puedan surgir en el ámbito del monitoreo ambiental.

2.7 Métricas de satisfacción del usuario

Para medir la satisfacción del usuario, se implementará un botón interactivo que permitirá a los usuarios responder una breve encuesta (Rojas, 2024) compuesta por una pregunta clave:

”¿Cómo calificas tu satisfacción al usar el tótem ambiental?”

La pregunta será calificada en una escala de 5 niveles: muy satisfecho (5) , satisfecho (4), indiferente (3), insatisfecho (2) y muy insatisfecho (1) (Zendesk, 2024). Los datos recolectados serán utilizados para calcular un Índice de Satisfacción del Cliente (CSI) mediante la fórmula:

$$CSI = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot V_i)}{N \cdot V_{\text{máx}}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Donde P_i representa el número de respuestas en cada nivel de satisfacción, V_i es el valor numérico asignado a cada nivel de satisfacción (del 1 al 5), N es el número total de respuestas y $V_{\text{máx}}$ es el valor máximo de la escala, que en este caso es 5.

2.8 Métricas de rendimiento de la raspberry pi

Se realiza un script en python que permite medir el rendimiento de la Raspberry Pi 3 Modelo B como latencia, memoria, uso de CPU. En cuanto a los sensores en el script principal de python se agregaría una línea de código mandando una alerta de que no está mandando datos porque está dañado.

CAPÍTULO 3

3. Implementación y funcionalidad del sistema

Este capítulo detalla el proceso de implementación y la funcionalidad de la estación de monitoreo ambiental. En él, se presentan los diagramas técnicos y los diseños que permiten comprender la arquitectura y el funcionamiento del sistema. La implementación está dividida en diferentes secciones clave. Inicialmente, se muestra el diagrama de conexiones, donde se explican las relaciones entre los sensores, la ESP32 y la Raspberry Pi 3. Posteriormente, se incluye un diagrama de bloques que detalla los módulos del sistema y su interacción. Además, se describe el diseño físico de la estación de monitoreo, resaltando los aspectos prácticos y estéticos del mismo. Finalmente, se aborda la funcionalidad del sistema con su presentación interactiva.

3.1 Diagrama de conexiones del sistema

El presente diagrama muestra las conexiones del sistema de monitoreo ambiental, proporcionando una visión detallada de cómo los diferentes componentes interactúan entre sí para recopilar y procesar datos.

En el diagrama se observa la conexión de los sensores ambientales al microcontrolador ESP32, así como la interacción entre la ESP32 y la Raspberry Pi 3. Los sensores utilizados incluyen el MQ135, el BME280, el sensor de lluvia y el sensor de sonido, los cuales están conectados directamente a los pines de la ESP32. Esto se debe a que estos sensores generan señales analógicas, y la ESP32 cuenta con un convertor analógico-digital (ADC) integrado, una capacidad que la Raspberry Pi 3 no posee. Esta característica hace que la ESP32 sea una elección crucial para el diseño del sistema, ya que permite procesar datos analógicos de los sensores y transmitirlos de forma digital a la Raspberry Pi 3. La conexión entre la ESP32 y la Raspberry Pi 3 se realiza a través de un

cable USB, utilizando comunicación serial para el envío de datos. Este método asegura una transferencia confiable y en tiempo real de la información obtenida por los sensores conectados a la ESP32. Además, el sensor AM1008W, que es un sensor digital más completo, está conectado directamente a la Raspberry Pi 3 mediante un puerto USB. Esto es posible gracias al test kit incluido con el sensor, el cual facilita su conexión y procesamiento sin la necesidad de un convertidor adicional. Por otro lado, la pantalla táctil de 7 pulgadas está conectada a la Raspberry Pi 3 a través de un puerto HDMI y un cable USB. Esta pantalla permite no solo la visualización interactiva de los datos ambientales en tiempo real, sino que también cuenta con altavoces integrados, lo que amplía las capacidades del sistema al integrar un componente de audio.

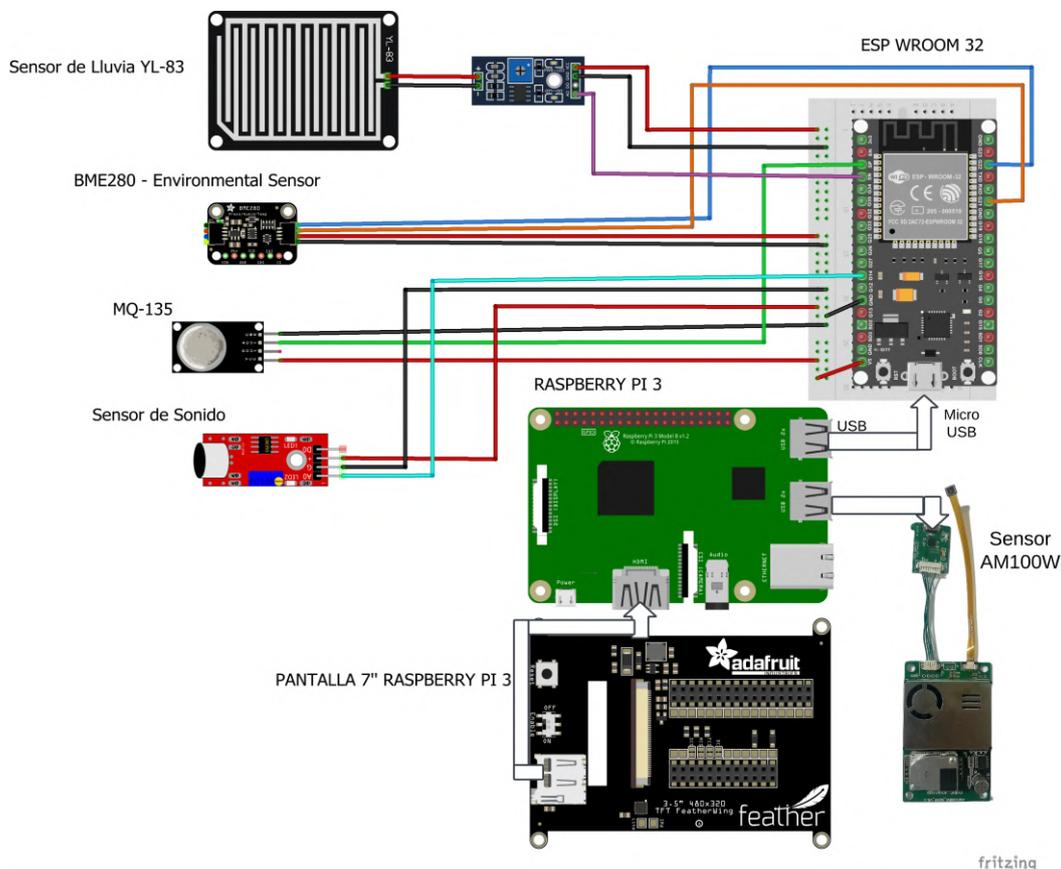


Figura 3.1: Diagrama esquemático de los sensores genérico

En el diagrama, también se destaca la modularidad del sistema, una característica fundamental para garantizar su escalabilidad. La ESP32, es fundamental en este diseño ya que proporciona pines adicionales permitiendo conectar más sensores en un futuro sin necesidad de modificar la arquitectura base. Esto refuerza la flexibilidad del sistema y su capacidad para adaptarse a tecnologías.

3.2 Diagrama de procesos

El sistema de monitoreo de condiciones ambientales se estructura en torno al diagrama de proceso mostrado en la Figura 3.2. Este esquema representa los principales componentes y la interacción entre ellos para lograr un monitoreo eficiente y accesible.

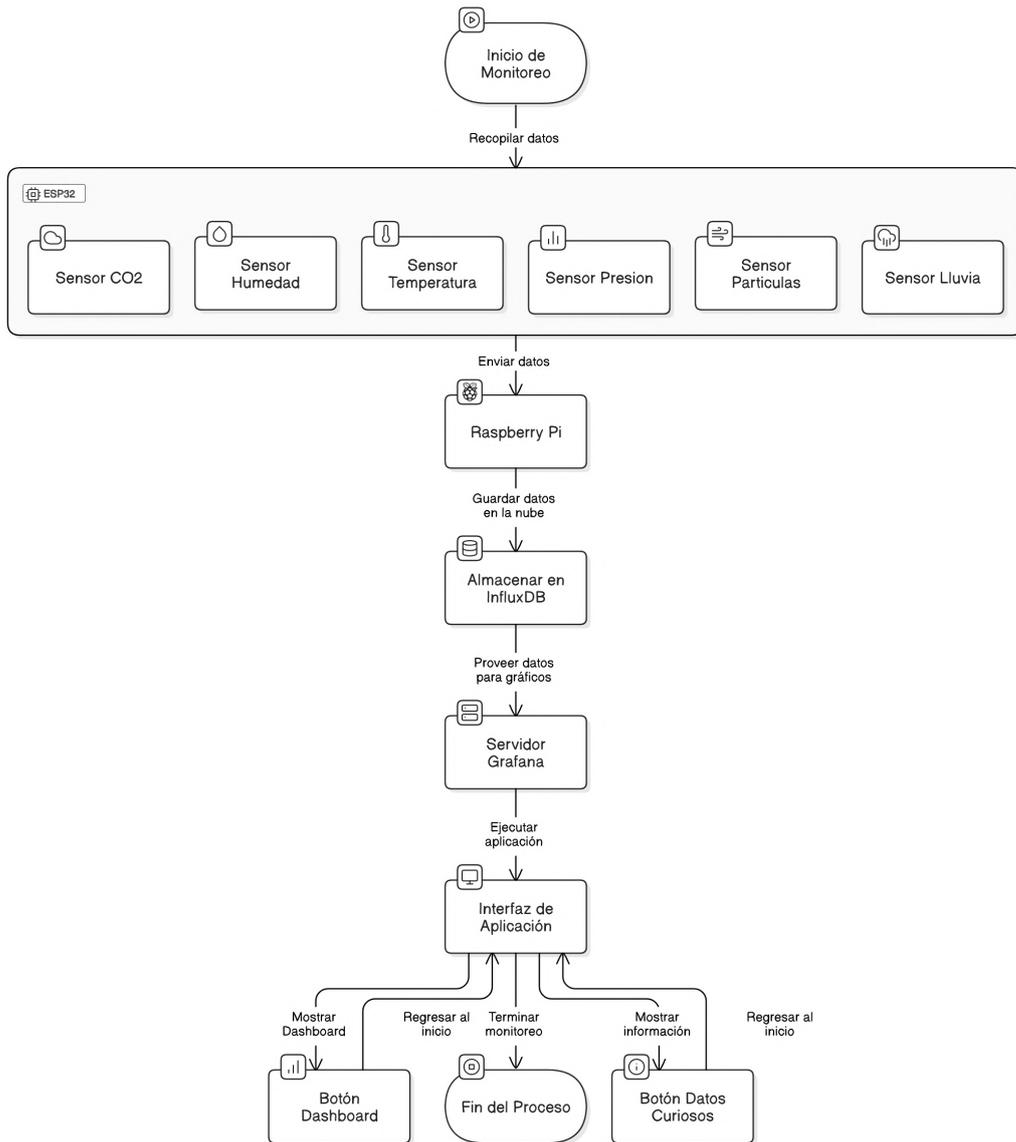


Figura 3.2: Diagrama de procesos del sistema

El sistema de monitoreo recopila datos en tiempo real mediante sensores de CO₂, humedad, temperatura, presión, partículas y lluvia, conectados a una ESP32, la cual convierte las señales analógicas a digitales y facilita futuras expansiones gracias a sus pines adicionales. Los datos son enviados a una Raspberry Pi 3 por USB, donde se

procesan y almacenan en InfluxDB, una base de datos de series temporales en la nube. La visualización de estos datos se realiza mediante Grafana, alojado localmente en la Raspberry Pi, lo que garantiza acceso continuo incluso sin conexión a internet.

La pantalla táctil de 7 pulgadas muestra una aplicación con dos funciones principales: un dashboard de Grafana para gráficos y métricas clave, y datos resumidos para una consulta rápida. Este diseño modular y escalable permite integrar nuevos sensores y funcionalidades fácilmente en el futuro.

3.3 Diseño y modelado en 3D de la estación de monitoreo

A continuación se puede visualizar el modelado 3D del sistema de monitoreo de condiciones ambientales por partes: La base del tótem está diseñada en forma de un octaedro con una altura de 16 cm de alto.

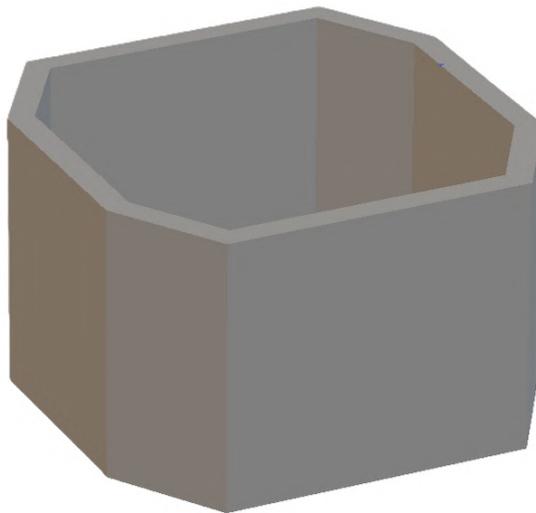


Figura 3.3: Base del tótem

El cuerpo del tótem es similar a la base pero tiene ventanas en forma de pentágono.

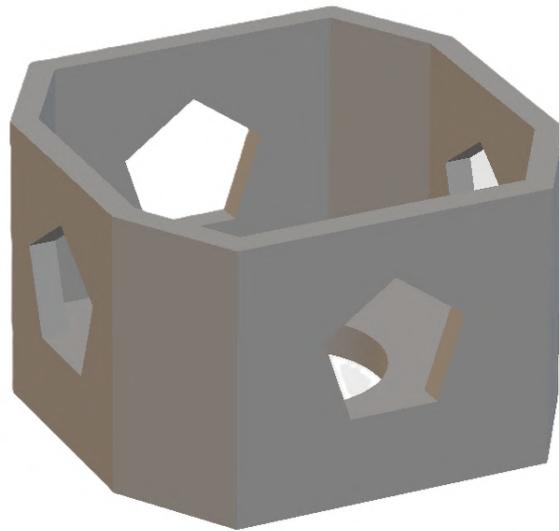


Figura 3.4: Cuerpo del tótem

La tapa estará ubicada en el último piso del tótem.

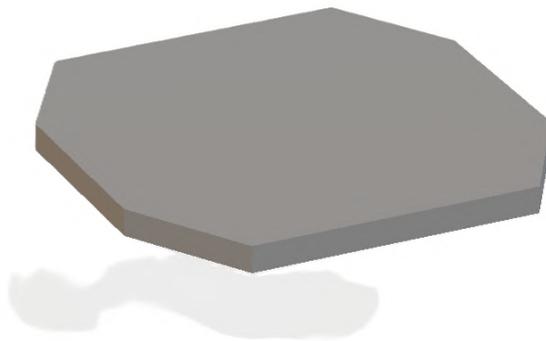


Figura 3.5: Tapa superior del tótem

El tótem final se conforma por base, cuerpo y tapa superior formando una torre de 3 pisos sin contar la base.

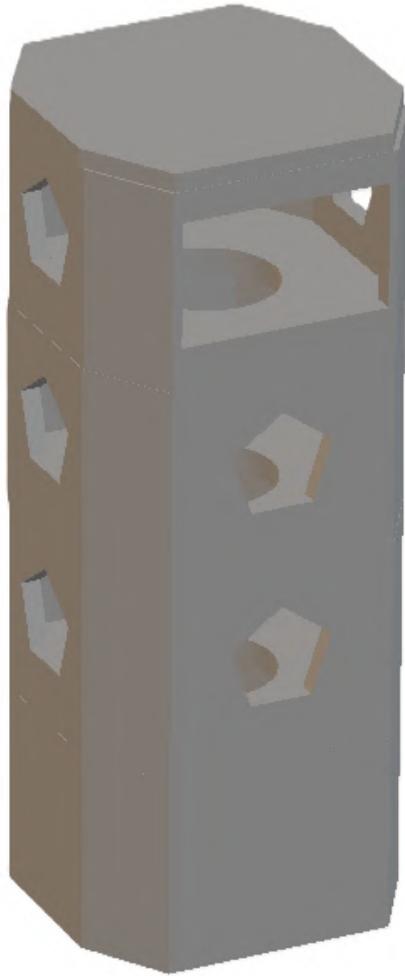


Figura 3.6: Modelado 3D del tótem completo

3.4 Funcionalidad del sistema

El sistema de monitoreo de condiciones ambientales cuenta con una estructura modular cuya base tiene la alimentación del tótem, en el cuerpo encontramos sensores para medir los parámetros ambientales y en la parte superior se encuentra una pantalla de siete pulgadas que muestra una aplicación con tres opciones en la pantalla. La primera es el dashboard donde se muestran los valores de las condiciones ambientales medidos por los sensores, la segunda opción es para ver datos curiosos sobre los parámetros ambientales que se miden y la tercera opción es para calificar el nivel de satisfacción del usuario con respecto a su interacción con el tótem.

En sí el sistema funciona recopilando los datos mediante los sensores conectados al microcontrolador ESP32 y el módulo sensor AM1008W todos enviando los datos a la

Raspberry Pi 3 modelo B que mediante un script de python envía la información a InfluxDB, una base de datos de series temporales y que a su vez integra esa información a Grafana para visualizar los datos en un dashboard.

En la siguiente imagen se muestra el script de python que envía los datos a InfluxDB, este script se ejecuta como servicio:

```
pi@raspberrypi:~/Desktop/Proyecto $ sudo systemctl status my_script.service
● my_script.service - Ejecutar mi script en el arranque
   Loaded: loaded (/etc/systemd/system/my_script.service; enabled; preset: enabled)
   Active: active (running) since Sun 2024-12-15 20:46:49 -05; 25min ago
     Main PID: 614 (python3)
       Tasks: 3 (limit: 760)
          CPU: 15min 19.046s
    CGroup: /system.slice/my_script.service
           └─614 /usr/bin/python3 /home/pi/Desktop/Proyecto/datos.py

dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: MQ135 sensor A0 value: 807 - Percentage: 0.00% - Rain Analog Value: 4095 ->
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: Datos enviados a InfluxDB.
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: MQ135 sensor A0 value: 810 - Percentage: 0.00% - Rain Analog Value: 4095 ->
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: Datos enviados a InfluxDB.
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: MQ135 sensor A0 value: 810 - Percentage: 0.00% - Rain Analog Value: 4095 ->
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: Datos enviados a InfluxDB.
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: MQ135 sensor A0 value: 810 - Percentage: 0.00% - Rain Analog Value: 4095 ->
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: Datos enviados a InfluxDB.
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: MQ135 sensor A0 value: 810 - Percentage: 0.00% - Rain Analog Value: 4095 ->
dic 15 21:12:06 raspberrypi python3[614]: Datos enviados a InfluxDB.
lines 1-19/19 (END)
```

Figura 3.7: Script de Python como servicio

En las siguientes dos imágenes se visualizan los datos de los sensores en InfluxDB:

Approx_Altitude	CO2	GRINM_PM_2_5	Humidity	MQ135_sensor_A0_value	Noise_Level	Percentage	Pressure	Ra
26.69	733	15	43.49	816	56	0	1010.05	4095
26.69	733	15	43.49	816	56	0	1010.05	4095
26.69	733	16	43.49	816	56	0	1010.05	4095
26.54	733	16	43.46	817	56	0	1010.07	4095
26.54	733	16	43.46	817	56	0	1010.07	4095

Figura 3.8: Tabla de datos de sensores

Data Explorer

+ New Script OPEN SAVE

Ready (640ms) CSV Past 6h RUN

Search results... 4523 rows TABLE GRAPH

Approx_Altitude	C02	GRIMM_PM_2_5	Humidity	MQ135_sensor_A0_value	Noise_Level	Percentage	Pressure	Ra:
28.92	2176	20	54.36	1770	54	77	1009.78	409
28.96	2178	21	54.37	1762	54	76	1009.78	409
28.96	2176	20	54.37	1762	54	76	1009.78	409
28.96	2180	21	54.37	1762	54	76	1009.78	409
29.08	2180	21	54.37	1756	55	75	1009.76	409

Figura 3.9: Continuación de la tabla de datos de sensores

Como se había mencionado anteriormente se muestra la aplicación a continuación:

1. Se muestra el menú de la aplicación con las tres opciones.



Figura 3.10: Menú de la aplicación

2. En la opción de Ver Dashboard podemos visualizar el Dashboard, el cual muestra los datos relevantes de las condiciones ambientales sensadas en tiempo real para un mayor entendimiento del entorno en el que se encuentra el usuario o cliente.

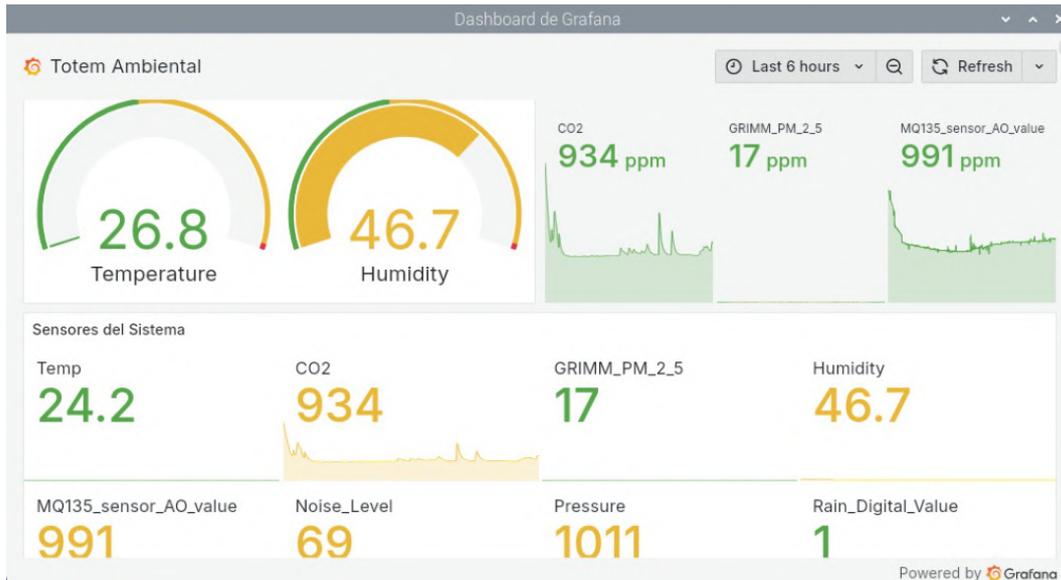


Figura 3.11: Dashboard de grafana

3. En la opción de Datos curiosos se muestra una pantalla con los datos curiosos acorde a los parámetros ambientales que se miden para darle mayor énfasis al dashboard.



Figura 3.12: Datos curiosos

4. En la opción de satisfacción se muestran los niveles que existen para que el usuario califique su experiencia usando el sistema de monitoreo de condiciones ambientales, permitiendo conocer el nivel de satisfacción y así poder mejorar la interfaz gráfica.

¿Cómo calificarías tu satisfacción con respecto al Sistema de Monitoreo?



Figura 3.13: Métricas de satisfacción del usuario

CAPÍTULO 4

4. Pruebas y resultados

En este capítulo se realizaron pruebas para determinar el correcto funcionamiento tanto de software como de hardware. Las pruebas de software con respecto a la aplicación tanto para la visualización que permita al usuario intuirlo como para el acceso a todas las opciones del menú. Las pruebas del hardware las cuales permiten verificar el correcto funcionamiento de los sensores mediante los valores de los datos enviados a la base de datos. También revisamos parámetros como la temperatura y la humedad de los sensores conectados en el circuito usando los datos enviados a InfluxDB mediante código de python permitiendo una mejor interpretación de los resultados. Estas pruebas se realizaron primero en protoboard para determinar posibles fallas y poder corregirlas adecuadamente antes de soldarlo, una vez soldado todo el sistema se procedio a realizar las pruebas finales para su respectivo analisis de los resultados. Por ultimo, se analiza el costo asociado a la aplicación, tanto a nivel de software, hardware y mano de obra.

4.1 Prueba #1: Sistema en protoboard

En esta sección se describen las pruebas realizadas al sistema de monitoreo ambiental utilizando una protoboard como base para el montaje de los circuitos y conexiones necesarias. Estas pruebas iniciales son fundamentales para verificar el correcto funcionamiento de los componentes del sistema antes de su implementación en un entorno final. A continuación, se detallan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos:

1. **Prueba de visualización en la pantalla táctil de siete pulgadas:** Se realizaron pruebas para evaluar el funcionamiento de la pantalla táctil de siete pulgadas, verificando la correcta visualización del dashboard diseñado en Grafana. Durante

esta prueba, se verificó que la pantalla mostrara en tiempo real los datos recopilados por los sensores al conectar la pantalla y la Raspberry Pi 3 modelo B con el módulo sensor AM1008W y la ESP32 conectada a los otros sensores. En la Figura 4.1 se puede observar el dashboard operativo en la pantalla táctil, donde se confirman tanto la claridad de los gráficos como la fluidez en la actualización de la información. Esta verificación asegura que el sistema cumple con uno de los objetivos principales: ofrecer una interfaz visual intuitiva y accesible para el usuario.



Figura 4.1: Dashboard de grafana en la pantalla táctil

2. Prueba del funcionamiento de los sensores: Se revisó la conectividad y funcionamiento de los sensores conectados a la ESP32 y al módulo AM1008W integrado con la Raspberry Pi 3 modelo B. Esta prueba incluyó la validación de los datos sensados, verificando que los valores obtenidos por los sensores correspondieran a las condiciones ambientales reales en el entorno de prueba. La Figura 4.2 muestra el circuito conectado en la protoboard, donde se visualiza la distribución de los componentes y las conexiones realizadas. En esta configuración, la Raspberry Pi 3 modelo B, en conjunto con la ESP32, cumplió con la tarea de transmisión de datos hacia la base de datos Influxdb, permitiendo su visualización en el dashboard como se muestra en la figura 4.1. Además, se realizaron una serie de pruebas para los sensores como el aumento y disminución de

temperatura, aumento de partículas en el aire, aumento de ruido y para observar el funcionamiento del sensor de lluvia se generaron gotas para observar la funcionalidad y los valores que arroja una vez detectado el agua en el sensor de lluvia.

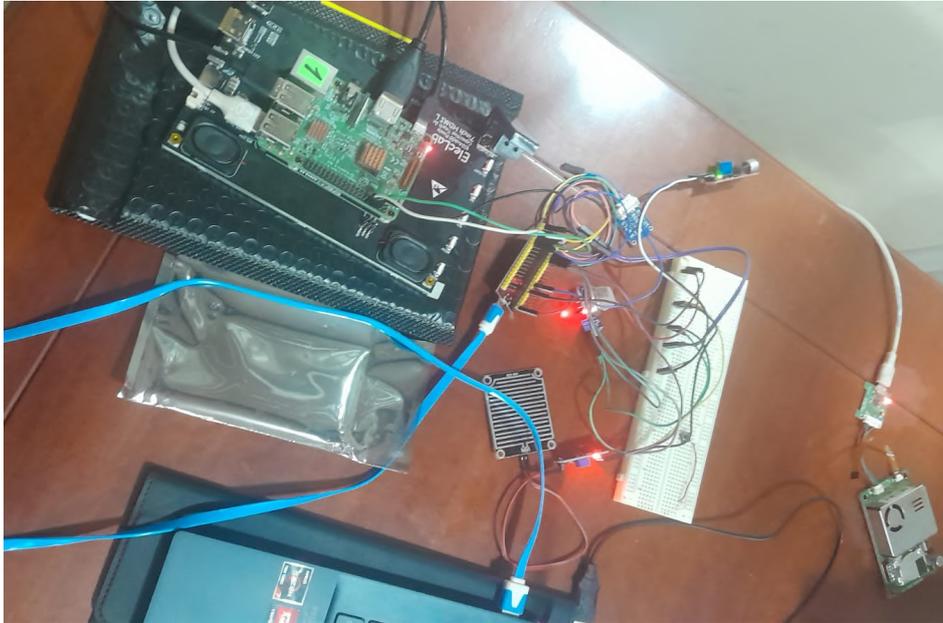


Figura 4.2: Circuito conectado prueba con protoboard

Las pruebas realizadas demostraron la funcionalidad básica del sistema, validando tanto la correcta conexión de los sensores como la integración con la interfaz de usuario. Este proceso permitió identificar posibles mejoras y ajustes para optimizar el diseño del sistema en futuras etapas de desarrollo.

4.2 Resultados de la prueba #1

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de los datos recopilados por los sensores durante las pruebas realizadas con el sistema de monitoreo ambiental en protoboard. Se utilizaron herramientas como Python para procesar y analizar los datos almacenados en InfluxDB, generando diversas visualizaciones que permiten evaluar el correcto funcionamiento de los sensores y del sistema en general. A continuación, se describen los principales hallazgos:

1. **Análisis de temperatura por minutos:** En la Figura 4.3, se observa la comparación de la temperatura medida por el sensor AM1008W y el sensor de BME280 en

intervalos de tiempo. Los resultados muestran que los valores de temperatura son consistentes, lo que indica que los sensores están registrando datos de manera estable y también se puede observar como el sensor de temperatura que esta conectado a la ESP32 registra datos de temperatura mas altos con respecto al otro sensor, esto posiblemente puede significar fallos en la alimentación ya que para esta prueba esta el sistema totalmente en protoboard. Por otra parte, se identifican cambios en las condiciones ambientales ya mencionadas en la prueba 1 que provocan una disminución y un aumento de la temperatura, reflejando la sensibilidad de los sensores ante las variaciones del entorno.

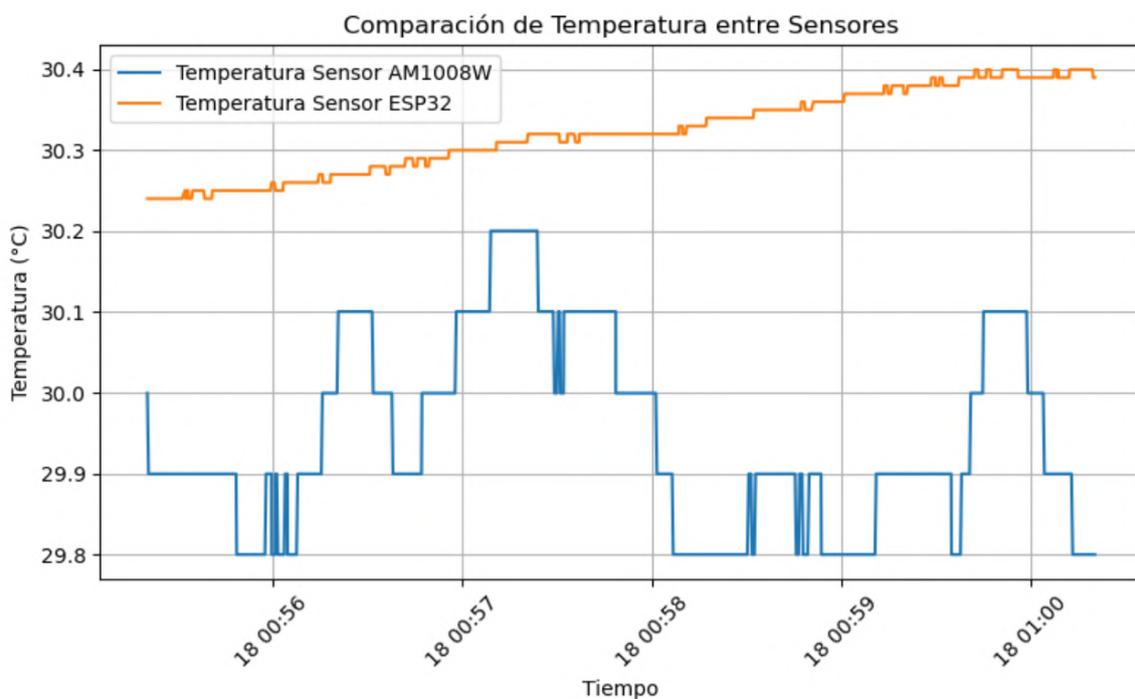


Figura 4.3: Comparación de sensores de temperatura por minutos en protoboard

2. **Promedio de humedad por sensor:** La Figura 4.4 presenta un análisis comparativo del promedio de humedad registrado por los diferentes sensores. Se puede observar que el módulo sensor AM1008W registra un promedio de humedad mayor en comparación con los sensores conectados a la ESP32. Este resultado muestra una gran diferencia entre los datos recolectados por los sensores AM1008W y el sensor BME280. El sensor de humedad que se encuentra integrado en el modulo AM1008W muestra datos demasiados elevados a lo que debería ser ya que la temperatura ambiente del entorno de prueba estaba entre el rango de 40 a 50 por ende el valor mas apropiado vendría a ser el del sensor BME280.

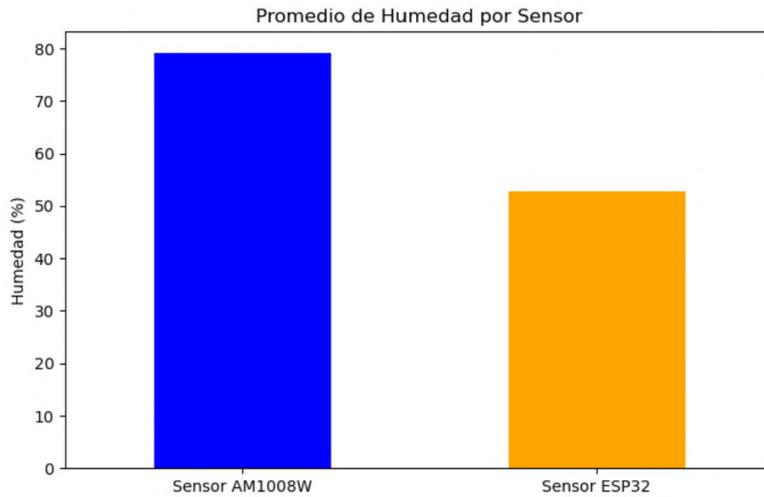


Figura 4.4: Promedio de humedad por sensor

3. **Mapa de calor de correlación entre variables:** En la Figura 4.5, se presenta un mapa de calor que muestra la correlación entre las diferentes variables sensadas. Los resultados indican una correlación significativa entre las concentraciones de CO2 y las partículas GRIMM PM, lo cual sugiere que ambos parámetros podrían estar influenciados por factores comunes como la calidad del aire. Por otro lado, se observa una relación moderada entre la humedad y las partículas GRIMM PM, destacando posibles interacciones entre estas variables que podrían estar relacionadas con condiciones atmosféricas específicas. Este tipo de análisis resulta crucial para entender las dinámicas del entorno monitorizado.

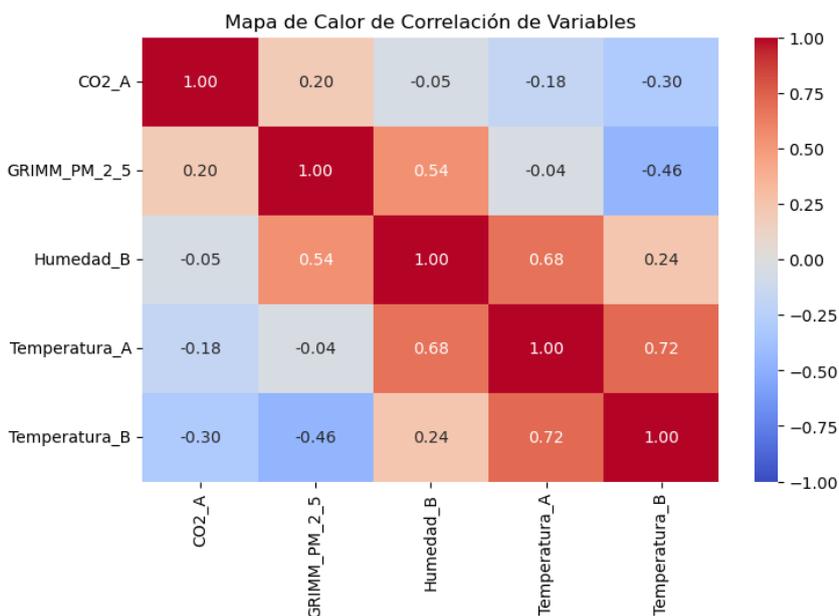


Figura 4.5: Mapa de calor de correlación de variables

Los resultados obtenidos evidencian el correcto funcionamiento de los sensores y la capacidad del sistema para capturar y almacenar datos en tiempo real. Además, las observaciones realizadas permiten identificar patrones relevantes y posibles áreas de mejora, lo que contribuye al perfeccionamiento del sistema en etapas posteriores de desarrollo.

4.3 Prueba #2: Sistema en baquelita y prototipado

En esta prueba, se buscó ensamblar y consolidar el sistema de monitoreo ambiental utilizando una estructura más estable y permanente, pasando de la protoboard a una baquelita y un prototipo de madera. Este proceso permitió optimizar las conexiones, asegurar la durabilidad del montaje y simular condiciones más cercanas a un producto final.

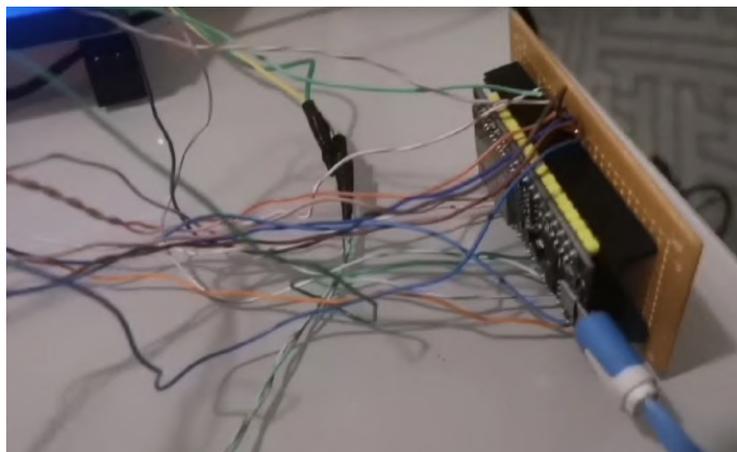


Figura 4.6: Esp32 soldada en baquelita

La Figura 4.6 muestra la ESP32 soldada en una baquelita, lo que facilita una conexión más robusta y minimiza problemas de falso contacto. Esta técnica asegura la estabilidad eléctrica del circuito, especialmente en ambientes con vibraciones o movimiento.

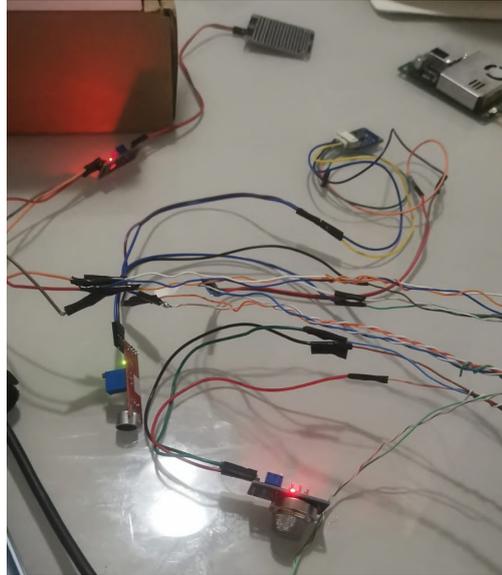


Figura 4.7: Sensores soldados con cable UTP

En la Figura 4.7 se observan los sensores conectados mediante cables UTP, los cuales fueron soldados para garantizar una conexión sólida y confiable. Este tipo de cableado no solo mejora la organización del sistema, sino que también reduce la interferencia electromagnética, asegurando una comunicación más estable entre los sensores y los microcontroladores.



Figura 4.8: Sistema de monitoreo en prototipo de madera

Finalmente, la Figura 4.8 presenta el sistema montado en un prototipo de madera. Este prototipo fue diseñado para simular el encapsulamiento final del producto, permitiendo evaluar tanto la funcionalidad como la estética del sistema en un entorno más realista. Además, la estructura de madera provee un soporte físico adecuado para todos los componentes, asegurando una disposición ordenada y práctica. Esta etapa permitió identificar posibles mejoras en el diseño físico y las conexiones eléctricas del sistema, las cuales se incorporarán en futuras iteraciones del proyecto.

4.4 Resultados de la prueba #2

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante la segunda prueba del sistema, que consistió en evaluar el funcionamiento de los sensores y la correcta integración de los datos en el sistema de monitoreo. A continuación, se analizan los datos recopilados y almacenados en la base de datos InfluxDB, así como la comparación entre los sensores de temperatura y humedad, resaltando los comportamientos observados.

Approx_Altitude	CO2	GRIMM_PM_2_5	Humidity	MQ135_sensor_A0_value	Noise_Level	Percentage	Pressure	Ra:
38.13	1473	36	42.71	1831	31	3	1008.68	405
38.13	1473	36	42.71	1831	31	3	1008.68	405
38.21	1473	36	42.4	962	31	0	1008.67	405
38.21	1473	36	42.4	962	31	0	1008.67	405
38.21	1473	36	42.4	962	31	0	1008.67	405

Figura 4.9: Datos almacenados en Influxdb

La Figura 4.9 muestra que los datos provenientes de los sensores se almacenaron correctamente en InfluxDB, confirmando que el sistema de monitoreo registra y gestiona la información de manera adecuada. Esto valida la funcionalidad general del sistema para capturar y almacenar datos en tiempo real.

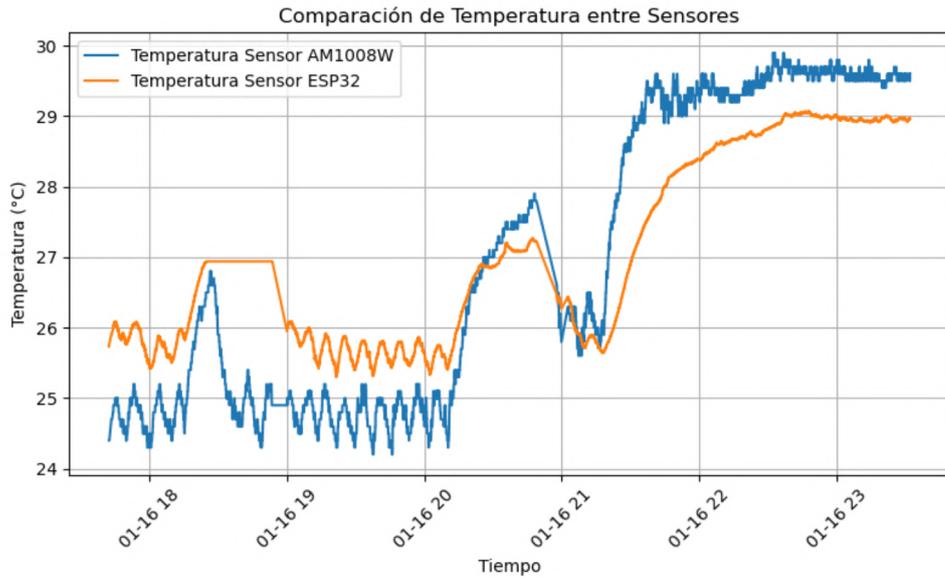


Figura 4.10: Comparación de sensores de temperatura

En la Figura 4.10, se observa la comparación de las lecturas de temperatura obtenidas por los sensores AM1008W y ESP32. Las variaciones de los datos sensados por ambos sensores son muy similares, mostrando que ambos responden correctamente a los cambios en la temperatura. Sin embargo, se identifican pequeñas diferencias en los valores registrados, principalmente en los decimales, lo cual puede deberse a la precisión de cada sensor. A pesar de estas ligeras discrepancias, ambos dispositivos detectan eficazmente las fluctuaciones térmicas, lo que refuerza la confiabilidad del sistema en condiciones variables.

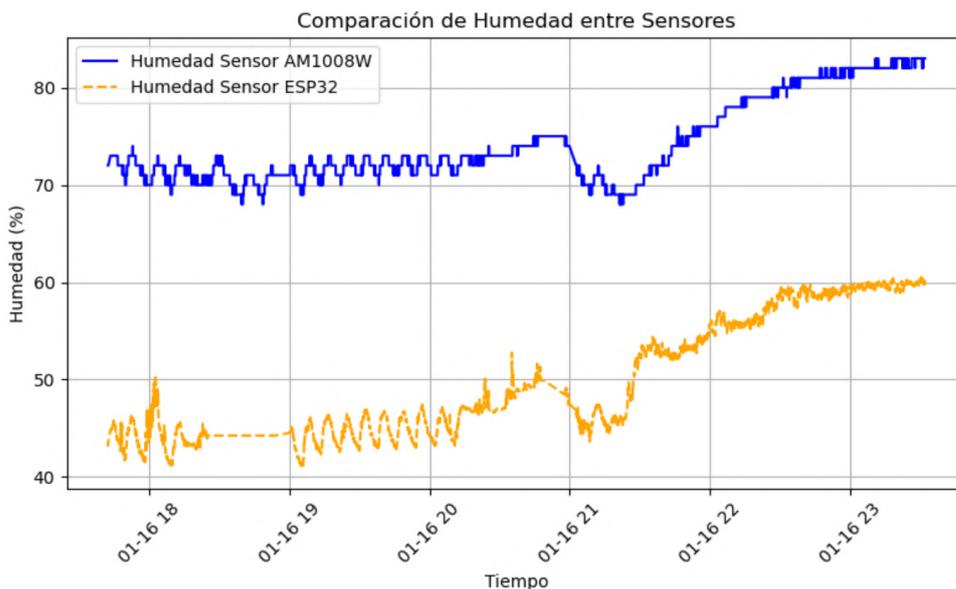


Figura 4.11: Comparación de sensores de humedad

En la Figura 4.11, se presentan las mediciones de humedad registradas por los sensores AM1008W y ESP32. Los datos muestran que ambos sensores logran identificar cambios en los niveles de humedad a lo largo del tiempo, aunque existen diferencias significativas en los valores absolutos reportados. Mientras que el sensor AM1008W registra valores de humedad más altos y consistentes, el sensor ESP32 muestra lecturas más bajas y con mayor variabilidad en ciertos momentos. A pesar de estas discrepancias, ambos sensores responden adecuadamente a las fluctuaciones del ambiente, permitiendo una caracterización precisa en diferentes condiciones.

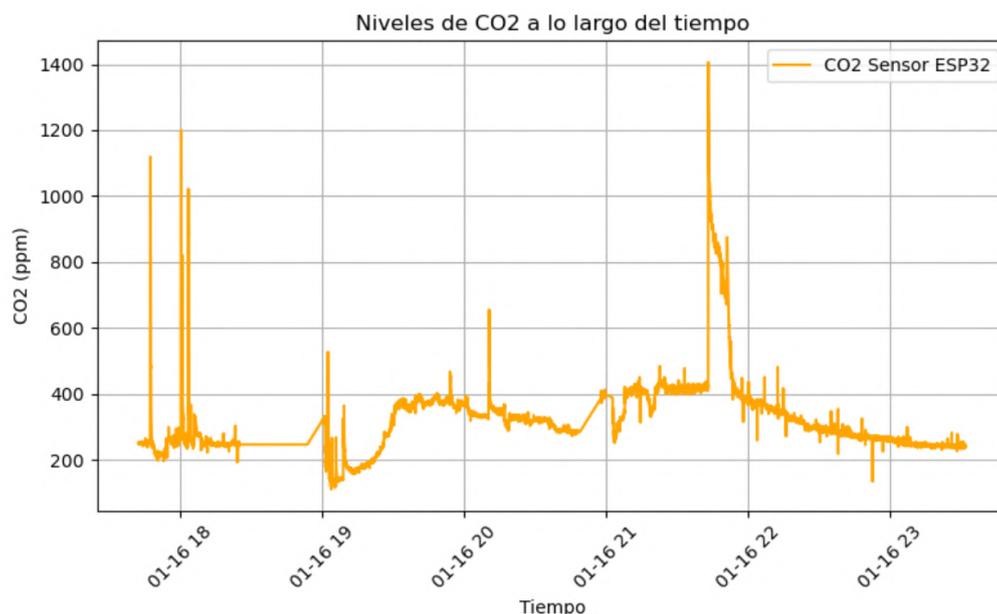


Figura 4.12: Niveles de CO2 a lo largo del tiempo

En la Figura 4.12, se muestra la evolución de los niveles de CO2 (medidos en ppm) registrados por el sensor MQ135 integrado en el ESP32 a lo largo del tiempo. Durante la recolección de datos, se observan picos significativos en las lecturas, los cuales corresponden a momentos en los que se aplicó alcohol directamente al sensor para verificar su correcto funcionamiento. Estos picos indican que el sensor responde de manera efectiva ante la presencia de sustancias químicas como el alcohol, lo cual valida su operatividad. Fuera de estos eventos, el sensor muestra un comportamiento más estable, registrando niveles de CO2 consistentes en su entorno. En general, esta gráfica confirma que el sensor MQ135 es capaz de detectar variaciones en las concentraciones de gases, demostrando sensibilidad y funcionalidad adecuada durante las pruebas.

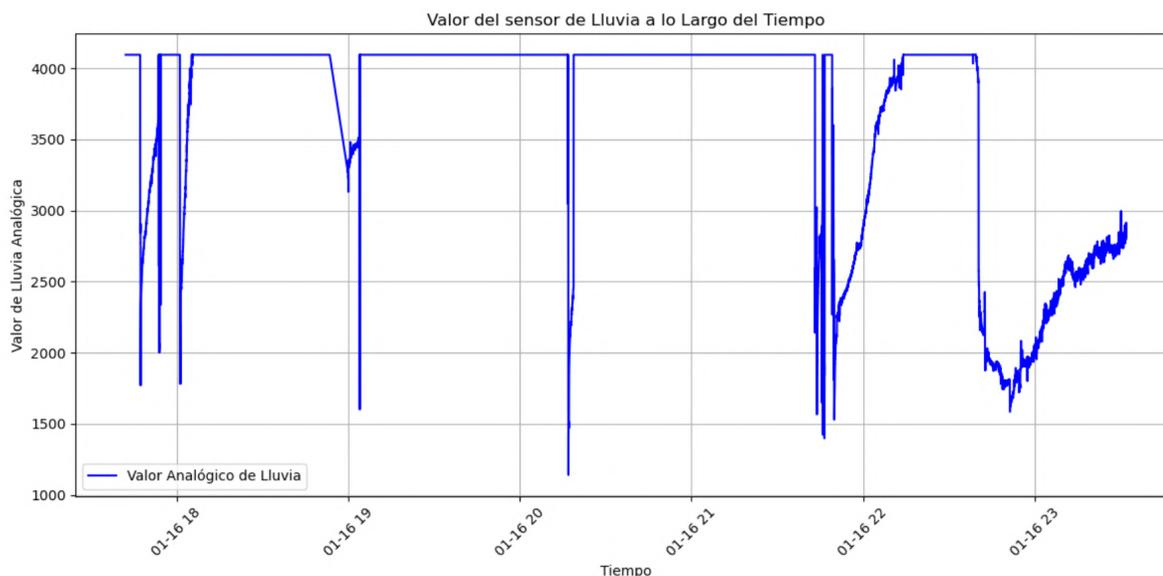


Figura 4.13: Datos sensados del sensor de lluvia

En la Figura 4.13, se muestra la evolución de los valores analógicos registrados por el sensor de lluvia a lo largo del tiempo. En condiciones normales, cuando no se detecta lluvia, los valores se mantienen constantes alrededor de 4000. Sin embargo, cuando el sensor detecta agua, ya sea debido a lluvia o al rociado manual realizado durante las pruebas, los valores comienzan a disminuir, reflejando la presencia de humedad. Esta gráfica permite observar la respuesta del sensor al cambio de condiciones y confirma su funcionamiento al detectar variaciones entre un estado seco y húmedo.

En resumen, los resultados de estas pruebas demuestran que el sistema en general funciona correctamente al registrar y almacenar datos de los sensores. Además, se evidenció la importancia de realizar un monitoreo constante de los sensores para detectar posibles fallos de las mediciones.

4.5 Prueba #3: Métricas de rendimiento de la Raspberry Pi 3 B

En esta prueba, se evaluaron las métricas de rendimiento del sistema con el objetivo de verificar su estabilidad y eficiencia bajo condiciones operativas normales. Las métricas analizadas incluyen el uso de CPU, memoria y disco, que son parámetros críticos para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo. A continuación, se presenta el código empleado para la obtención de dichas métricas.

Código 4.1: Código para obtener métricas del sistema

```
import psutil

def get_system_performance():
    # Obtener uso de CPU
    cpu_usage = psutil.cpu_percent(interval=1)
    # Obtener uso de memoria
    memory_info = psutil.virtual_memory()
    memory_usage = memory_info.percent
    # Obtener uso de disco
    disk_usage = psutil.disk_usage('/').percent

    return {
        'CPU Usage': cpu_usage,
        'Memory Usage': memory_usage,
        'Disk Usage': disk_usage
    }
```

```
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.5, 'Memory Usage': 63.5, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.8, 'Memory Usage': 63.5, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.5, 'Memory Usage': 63.5, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.5, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.8, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 3.6, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.5, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.8, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.8, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.8, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.5, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.3, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.3, 'Memory Usage': 61.9, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 4.6, 'Memory Usage': 61.2, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.8, 'Memory Usage': 61.2, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.8, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.8, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.5, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 3.1, 'Memory Usage': 60.8, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 4.3, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.3, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.3, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.5, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.3, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.3, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.8, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.8, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 4.6, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.8, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.8, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.3, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.3, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.5, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 1.5, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 4.1, 'Memory Usage': 60.7, 'Disk Usage': 56.6}
Datos guardados: {'CPU Usage': 0.8, 'Memory Usage': 60.8, 'Disk Usage': 56.6}
```

Figura 4.14: Métricas de CPU, memoria y disco

El código calcula el uso de CPU como un porcentaje del tiempo de actividad, el uso de memoria basado en la memoria virtual disponible y el uso de disco en el directorio raíz como se observa en la Figura 4.14. Estos valores proporcionan una ejecución correcta del código obteniendo las métricas del rendimiento del sistema.

4.6 Resultados de la prueba #3

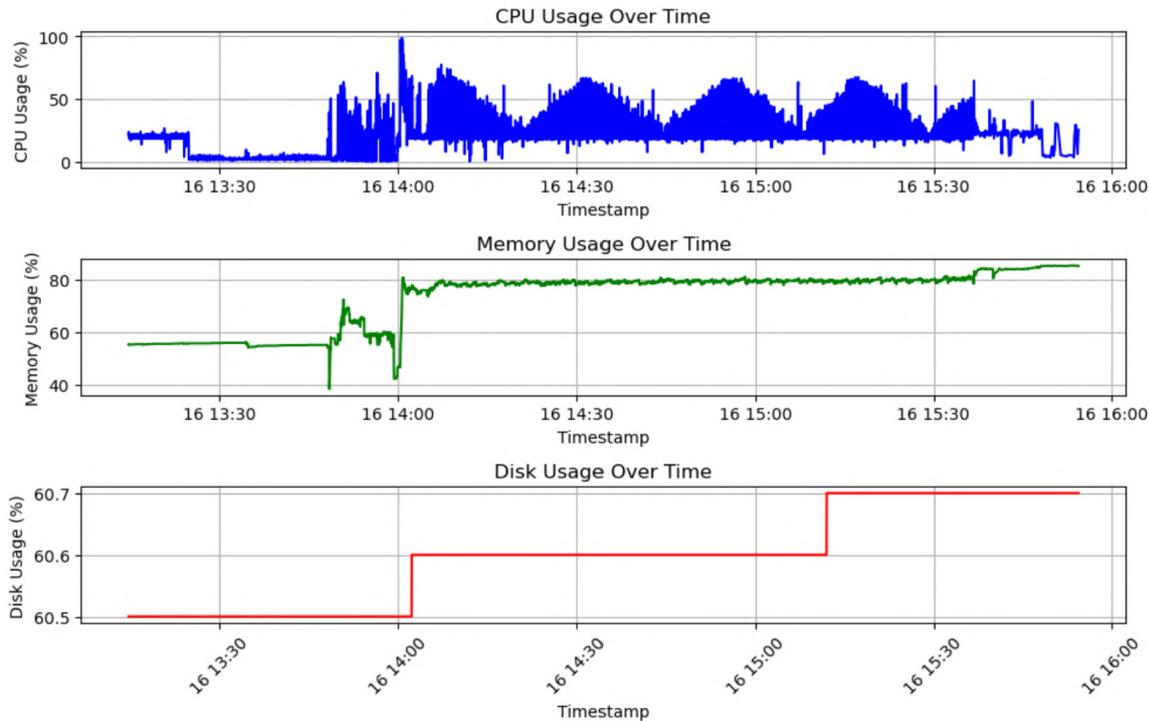


Figura 4.15: Gráficos de métricas de rendimiento de la Raspberry Pi

La Figura 4.15 presenta el análisis de rendimiento del sistema basado en tres métricas clave: uso de CPU, uso de memoria y uso de disco. Estos gráficos permiten evaluar el comportamiento del sistema en diferentes momentos.

En el caso del uso de CPU, se observa que este indicador presenta variaciones significativas, con picos que alcanzan valores cercanos al 100%. Esto se debe al momento en que la aplicación opera con todo el sistema en funcionamiento, lo que genera una alta demanda de capacidad de procesamiento en determinados instantes. Sin embargo, durante otros periodos, el uso de CPU se mantiene en niveles considerablemente más bajos, lo que demuestra que el sistema es capaz de gestionar las cargas de trabajo de manera eficiente, evitando sobrecargas prolongadas.

Por otro lado, el uso de memoria muestra un comportamiento relativamente estable con valores cercanos al 80% en promedio. Se observan ligeros incrementos y caídas, especialmente hacia el inicio del análisis, lo que sugiere que el sistema gestiona adecuadamente los recursos de memoria y responde dinámicamente a las necesidades de las aplicaciones.

Finalmente, el uso de disco se mantiene prácticamente constante durante todo el periodo analizado, con un valor cercano al 60.6%. Este comportamiento indica que el sistema cuenta con suficiente espacio de almacenamiento para manejar las operaciones requeridas, sin riesgo de saturación o impacto en el rendimiento. En resumen, los resultados obtenidos confirman que el sistema opera dentro de parámetros aceptables de rendimiento. La estabilidad y eficiencia mostradas por estas métricas aseguran que el sistema es robusto y capaz de manejar diferentes escenarios operativos sin comprometer su funcionalidad.

4.7 Análisis de costos

El propósito de este análisis es proporcionar una visión clara de los recursos financieros invertidos en el proyecto permitiendo evaluar su viabilidad económica y su potencial para futuras implementaciones, lo cual se realiza un desglose de costos para identificar posibles áreas de optimización para reducir gastos en proyectos similares.

4.8 Costos por hardware

El costo del hardware es de vital importancia para el desarrollo del sistema de monitoreo y del financiamiento final. En la tabla 4.1, se detallan los valores de cada uno de los componentes que forman parte de la estación de monitoreo ambiental. Además, este análisis permite identificar los elementos clave que componen el sistema, brindando una perspectiva clara del impacto financiero de cada uno en el costo total del proyecto. El costo final para los componentes de hardware asciende a **326.16 USD**, como se muestra en la tabla. Este valor refleja una estimación realista basada en precios del mercado actual y puede ser utilizado como referencia para implementaciones futuras.

4.9 Costos por software

En la siguiente tabla 4.2 se detalla cada uno de los componentes de software utilizados y el valor correspondiente de cada uno. Estos componentes complementan el sistema de monitoreo. En este proyecto, se han empleado herramientas de software de código

Dispositivo	Costo unitario (\$)	Cantidad	Subtotal (\$)
Raspberry Pi 3 Modelo B	48.00	1	48.00
ESP32	12.50	1	12.50
Pantalla 7"	56.00	1	56.00
Sensor AM1008W	100.00	1	100.00
Sensor MQ-135	3.86	1	3.86
Sensor BME280	24.00	1	24.00
Sensor YL-83	2.00	1	2.00
Sensor de Ruido	3.00	1	3.00
Baquelita	1.80	1	1.80
Rollo PLA	25.00	3	75.00
Total			326.16

Tabla 4.1: Costo de componente de hardware

Recurso computacional	Costo unitario (\$)	Cantidad	Subtotal (\$)
InfluxDB Cloud	0.00	1.00	0.00
Grafana OS	0.00	1.00	0.00
Total			0.00

Tabla 4.2: Costo de componente de software

abierto o servicios en la nube con planes gratuitos, como InfluxDB Cloud y Grafana OS. Estas herramientas no generan costos adicionales para el sistema, lo que representa una ventaja significativa al reducir el presupuesto necesario para la implementación del sistema.

4.10 Costo de mano de obra

El costo de la mano de obra es un factor fundamental para el desarrollo del sistema de monitoreo ambiental, ya que abarca las tareas realizadas por especialistas en diferentes áreas, como programación, configuración de hardware y software. En la tabla 4.3 se presenta un desglose de los costos asociados a cada uno de estos roles, considerando

Programador	Rol	Costo por hora (\$)	Sueldo mensual (\$)
Backend	Programación del hardware	15.00	750.00
Frontend	Configuración grafana	15.00	500.00
Hardware	Configuración del hardware	12.00	360.00
Total			1,610.00

Tabla 4.3: Costo de mano de obra

la tarifa por hora y el sueldo mensual estimado. El rol de programador backend tuvo un costo de 15.00 USD por hora, con un sueldo mensual de 750.00 USD, el programador frontend también tuvo un costo de 15.00 USD por hora, con un sueldo mensual de 500.00 USD y el especialista en hardware, con una tarifa de 12.00 USD por hora, alcanzó un sueldo mensual de 360.00 USD. En total el costo de la mano de obra asciende a 1,610.00 USD, lo que representa una inversión clave para garantizar el correcto funcionamiento y operatividad del sistema de monitoreo ambiental. Esta inversión asegura la calidad del proyecto, maximizando su eficiencia y robustez.

4.11 Costo final del desarrollo

En esta sección se presenta el costo total necesario para la implementación del sistema de monitoreo de condiciones ambientales, considerando los recursos de hardware, software y la mano de obra requerida durante cuatro meses de desarrollo. En la tabla 4.4, se detalla el desglose de los costos por cada categoría. El costo total asciende a

Recurso	Costo (USD)
Hardware	326.16
Software	0.00
Mano de obra	6,440.00
Total	\$ 6,766.16

Tabla 4.4: Resumen de costos totales de implementación.

6,766.16 USD, siendo la mano de obra el componente más significativo, representando

aproximadamente el 95% del presupuesto total. Este análisis permite evaluar la inversión económica necesaria para desarrollar un sistema de monitoreo ambiental funcional y confiable.

4.12 Viabilidad económica

La viabilidad económica del sistema de monitoreo ambiental se justifica en función de los beneficios que aporta en términos de eficiencia, control y monitoreo de las condiciones ambientales. El costo total de **6,766.16 USD** es competitivo en comparación con sistemas comerciales similares, que suelen tener un costo elevado sin permitir la personalización ni el control total del diseño y los datos.

Además, el uso de software gratuito como InfluxDB Cloud y Grafana OS ha reducido significativamente los costos asociados al desarrollo del sistema, maximizando la relación costo-beneficio. Este enfoque asegura una solución económica sin comprometer la calidad del sistema. Por otro lado, la modularidad del diseño permite futuras expansiones y mejoras sin necesidad de reemplazar componentes fundamentales, haciendo que la inversión inicial sea sostenible en el tiempo. En términos de aplicación, este sistema puede ser utilizado en diferentes entornos como industrias, escuelas o municipios, ampliando su impacto y rentabilidad potencial.

Finalmente, el retorno de la inversión puede calcularse con base en el ahorro generado por el sistema, como la detección temprana de problemas ambientales y la optimización de procesos gracias al monitoreo en tiempo real. Esto hace que el proyecto sea no solo económicamente viable, sino también estratégicamente valioso.

CAPÍTULO 5

5. Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo se presentan las conclusiones alcanzadas a lo largo del desarrollo del proyecto, las recomendaciones para mejorar su funcionamiento, y las posibles líneas futuras para ampliar su alcance. Este análisis integral permite comprender los logros obtenidos, los retos enfrentados y las oportunidades de mejora que aseguran la continuidad y evolución del sistema de monitoreo de condiciones ambientales.

5.1 Conclusiones

- La implementación de una estación de monitoreo ambiental interactiva demostró la viabilidad de integrar dispositivos IoT, como la ESP32 y la Raspberry Pi 3, para recopilar, almacenar y visualizar datos en tiempo real de manera eficiente. Además, el uso de tecnologías de código abierto como InfluxDB y Grafana permitió un almacenamiento y visualización de datos económico y autónomo, al estar alojadas localmente en la Raspberry Pi 3. Esta combinación de tecnologías ayudó a la fiabilidad del sistema, destacando la eficacia de las soluciones de bajo costo en proyectos de monitoreo ambiental. La estación de monitoreo cumplió su objetivo principal de sensibilizar a la población sobre los efectos ambientales al permitir una interacción directa con los datos en tiempo real, lo que fomenta cambios positivos en los hábitos de los usuarios. Además, su diseño modular y el uso de materiales accesibles ayuda en la escalabilidad y sostenibilidad del proyecto, facilitando futuras expansiones para medir nuevas variables ambientales o incorporar funcionalidades adicionales en distintos contextos.
- La estación de monitoreo ambiental tiene aplicaciones prácticas y un impacto

directo en diversos sectores. En el ámbito urbano, puede ser utilizada para monitorear la calidad del aire en parques, plazas o estaciones de transporte público, proporcionando información clave para la toma de decisiones en gestión ambiental. En el sector industrial, permite controlar condiciones ambientales críticas en bodegas o fábricas, garantizando la preservación de productos sensibles. En el campo educativo, la estación puede ser una herramienta didáctica para concienciar a estudiantes sobre el impacto ambiental y demostrar el uso de tecnologías sostenibles en la recopilación y análisis de datos. Su diseño interactivo, que incluye botones educativos y encuestas de evaluación, fomenta el compromiso ciudadano y la retroalimentación para la mejora continua del proyecto.

- La elección de herramientas gratuitas como InfluxDB Cloud para la base de datos y Grafana OS para la visualización de datos ha sido un acierto estratégico que maximiza la relación costo-beneficio del proyecto. Estas tecnologías de código abierto no solo permitieron reducir significativamente los costos, sino que también aseguraron la confiabilidad y accesibilidad de la solución. Al centralizar el almacenamiento de datos en la nube y mostrar visualizaciones dinámicas en un dashboard local alojado en la Raspberry Pi 3, el sistema combina accesibilidad económica con robustez tecnológica, lo que facilita su adopción incluso en entornos con recursos limitados.
- La optimización del sistema eléctrico ha sido un factor clave para garantizar su estabilidad y desempeño. La separación de las fuentes de alimentación entre la ESP32 y la pantalla de 7 pulgadas conectada a la Raspberry Pi resolvió problemas críticos, como la lentitud en el procesamiento y las advertencias de suministro energético insuficiente. Esta mejora asegura que los sensores operen sin interrupciones y que los datos recopilados se procesen y visualicen en tiempo real. Además, el sistema está diseñado para ofrecer redundancia, ya que el sensor AM1008W, al combinar mediciones de calidad del aire, temperatura, humedad y CO₂, actúa como respaldo frente a posibles fallos en otros sensores, fortaleciendo la confiabilidad de los datos.

5.2 Recomendaciones

- Es fundamental planificar cuidadosamente la alimentación eléctrica de cada componente del sistema. La experiencia mostró que alimentar dispositivos críticos como la ESP32 y la pantalla de forma independiente mejora el rendimiento y evita problemas de sobrecarga. Para ello se incluyó una regleta interna que permitió centralizar todas las conexiones eléctricas y simplificar su uso, sin embargo es recomendable desarrollar una placa que permita la alimentación de estos dispositivos para en un futuro si se quiere incorporar mas placas o sensores ya simplemente se puedan alimentar en esta placa de alimentación.
- Verificar la compatibilidad de las librerías y las versiones del lenguaje Python con los sensores y otros dispositivos empleados en el sistema es crucial. Esto no solo garantizará una integración exitosa, sino que también evitará errores que puedan surgir durante las actualizaciones de software.
- Implementar pruebas periódicas para monitorear el consumo energético y la estabilidad del sistema. Estas pruebas asegurarán que todos los componentes operen dentro de los parámetros óptimos y reducirán la posibilidad de fallos inesperados. Esta parte es necesaria ya que en la fase de implementación y pruebas se encontraron problemas de alimentación que reducía la eficacia del proyecto como también se ponían en peligro los componentes a tal punto de dañarse, es por ello que optamos por una regleta para que alimentara directamente todo sin tener que estar conectando cada dispositivo uno por uno.
- Documentar detalladamente cada configuración y ajuste realizado en el sistema para facilitar la replicación del proyecto por parte de otros usuarios o desarrolladores interesados en mejorar y personalizar la solución.

5.3 Líneas futuras

- Es posible integrar dispositivos adicionales para medir parámetros como la calidad del agua o la intensidad lumínica, ampliando así las capacidades del sistema. La incorporación de estos sensores permitiría no solo monitorear un mayor rango de

variables ambientales, sino también generar datos más completos y específicos que faciliten un análisis integral del entorno. Esto resulta particularmente útil en escenarios donde las condiciones ambientales son críticas, como en espacios públicos con fuentes de agua, áreas naturales protegidas o zonas urbanas con alta contaminación lumínica. Al personalizar el sistema con estos dispositivos, se garantiza una mayor adaptabilidad para abordar problemas específicos, lo que incrementa su valor como herramienta de monitoreo ambiental.

- Mejorar la estructura física del tótem para hacerlo más ligero y portátil no solo facilitará su instalación en lugares remotos o de difícil acceso, sino que también incrementará su versatilidad en diferentes entornos. Una estructura optimizada permitirá su transporte y despliegue con mayor facilidad, lo que resulta especialmente beneficioso en áreas rurales, zonas de difícil acceso o lugares donde se requiera monitoreo temporal durante eventos específicos, como estudios ambientales, desastres naturales o proyectos educativos itinerantes. Además, un diseño más portátil podría fomentar su uso en múltiples ubicaciones, maximizando su impacto y efectividad como herramienta de monitoreo ambiental adaptable a diversas necesidades.
- Incorporar modelos de aprendizaje automático que analicen los datos recopilados permitirá generar alertas predictivas, identificar patrones anómalos y ofrecer recomendaciones automáticas. Por ejemplo, un sistema basado en IA podría alertar sobre cambios bruscos en la calidad del aire antes de que se conviertan en un problema. Además, Desarrollar una interfaz más intuitiva y accesible asegurará que cualquier persona, independientemente de su nivel técnico, pueda interpretar los datos presentados por el sistema. Esto incluye opciones de visualización más claras y personalizables, así como aplicaciones móviles que permitan un acceso más conveniente.
- Implementar paneles solares u otras fuentes de energía renovable para alimentar la estación de monitoreo no solo haría el sistema más ecológico, sino que también garantizaría su funcionamiento en áreas remotas o sin acceso a la red eléctrica. Al utilizar energía renovable, se reduciría la dependencia de fuentes convencionales de energía, disminuyendo así la huella de carbono del sistema y promoviendo

la sostenibilidad. Además, esta característica incrementaría la autonomía de la estación, permitiendo su uso en proyectos de largo plazo en zonas rurales, áreas protegidas o lugares donde la infraestructura eléctrica es limitada o inexistente, ampliando su aplicabilidad y contribuyendo a la protección del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Accuweather*. (2024). <https://www.accuweather.com/es/ec/guayaquil/127947/air-quality-index/127947>
- Aguirre, J. A. T. (2023). Implementación de un sistema de monitoreo ambiental remoto basado en el microcontrolador esp32. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Ana Ester Cabal Rodríguez, L. H. T. (2023). Diseño de sistema inalámbrico de monitoreo ambiental para su uso en museos y otros sitios patrimoniales. *Nucleus*.
- AWS. (2024). *¿qué es una interfaz de programación de aplicaciones (api)?* <https://aws.amazon.com/es/what-is/api/>
- Barros, R. (2023). Monitoreo de la calidad del aire en entornos laborales utilizando tecnología iot. *T-113474*.
- Cayford, J. (2014). Stockholm: Public environmental space [Accedido: 2024-10-29]. <https://joelcayford.blogspot.com/2014/11/stockholm-public-environmental.html?m=1>
- Cuevas, J. L. S., Castillo, M. M. G., Peña, L. J. M., Jácome, O. S., & Pacheco, A. E. V. (2023). Monitoreo de temperatura y humedad ambiental con lorawan: lot en el desafío energético y el cambio climático. *Revista IPSUMTEC*, 6(5), 60–67.
- editorial de IONOS, E. (2020). Influxdb: Explicación, ventajas y primeros pasos. <https://www.ionos.es/digitalguide/hosting/cuestiones-tecnicas/que-es-influxdb/>
- Erik Hernández Rodríguez, O. S., Alain Martínez. (2023). Diseño de un sistema de medición y monitoreo de variables asociadas a calidad del aire. *RIELAC*, 44(2), e2304.
- Fuentes, A. D. C., & Mejía, J. B. C. (2019). Implementación de un prototipo de estación de monitoreo (em) para el análisis de variables medioambientales.: Caso de estudio: Río yanuncay de la ciudad de cuenca. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 4(6), 123–145.
- Galván Rico, L. E., & Reyes Gil, R. E. (2009). Algunas herramientas para la prevención, control y mitigación de la contaminación ambiental. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 13(53), 287–294. Retrieved October 9, 2024, from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212009000400003&lng=es&tlng=es
- Halfacree, G. (2018). Raspberry pi beginner's guide how to use your new computer.
- Hernández. (2023). Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en iot para cultivos hidropónicos. *INGENIUS N*.
- Ibrahim, M., Elgamri, A., Babiker, S., & Mohamed, A. (2015). Internet of things based smart environmental monitoring using the raspberry-pi computer. *2015 Fifth International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC)*, 159–164.

- Jindarat, S., & Wuttidittachotti, P. (2015). Smart farm monitoring using raspberry pi and arduino. *2015 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT)*, 284–288.
- Kim, J., Bang, J., Choi, A., Moon, H. J., & Sung, M. (2023). Estimation of occupancy using iot sensors and a carbon dioxide-based machine learning model with ventilation system and differential pressure data. *Sensors*, 23(2), 585.
- Lozada Contreras, J. D., Bautista España, A. D., Mora Ibarra, M. R., & Lozada Contreras, S. R. (2024). Sistema iot para el monitoreo de variables ambientales en un ambiente laboral. *Revista Social Fronteriza*.
- Mactronica. (2020). Sensor de lluvia yl-83 [Accedido: 2024-11-04]. <https://www.mactronica.com.co/sensor-de-lluvia-yl-83>
- Maier, A., Sharp, A., & Vagapov, Y. (2017). Comparative analysis and practical implementation of the esp32 microcontroller module for the internet of things. *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 143–148. <https://doi.org/10.1109/ITECHA.2017.8101926>
- Martín Turrión, R., et al. (2022). Diseño e implementación de un sistema de telemetría controlado por dispositivos embebidos.
- Martínez, J. (2022). Qué es influxdb y primeros pasos. <https://openwebinars.net/blog/que-es-influxdb-y-primeros-pasos/>
- Mehrunnisa, Priyanka, J. S., & Sharath Chandra, B. (2022). Automatic door un-locking and security system using raspberry pi. *2022 IEEE International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICDCECE53908.2022.9793143>
- Mercurio, E. (2024). *Sequías en cuenca: Un fenómeno histórico*. Retrieved October 8, 2024, from <https://elmercurio.com.ec/2024/09/14/sequias-cuenca-historia-mercurio/#:~:text=El%20a%C3%B1o%202023%20ya%20se%20registr%C3%B3%20una%20sequ%C3%ADa,estiaje%20afect%C3%B3%20los%20recursos%20h%C3%ADricos%20y%20caus%C3%B3%20restricciones>.
- Miranda, L. (06/09/2022). Un respiro para lima: Los sensores "made in Perú" que detectan cuán contaminado está el aire. *El Comercio*. https://elcomercio.pe/somos/historias/lima-elecciones-municipales-un-respiro-para-lima-los-sensores-made-in-peru-que-detectan-cuan-contaminado-esta-el-aire-historias-ec-noticia/#google_vignette
- Nunez, C. (2023). *¿qué son los gases de efecto invernadero y cuáles son sus efectos?* <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-hacen>
- (OMM), O. M. M. (2024). Boletín de la omm sobre la calidad del aire y el clima nº 4 – septiembre de 2024. <https://library.wmo.int/idurl/4/69072>
- Rodas, A. M. V., Salinas, F. A., & Minchala, L. I. (2021). Aplicación de tecnologías inalámbricas al monitoreo climatológico en la cuenca del río paute. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 9(17), 89–96. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7741845>
- Rojas, J. (2024). *Encuesta de satisfacción del cliente: Cómo hacerla y ejemplos*. <https://blog.hubspot.es/service/encuesta-satisfaccion-cliente>
- Sinclair, D. (2023). Evaluación del impacto ambiental del proyecto de ampliación de la carretera guayaquil-salinas en ecuador. *Volumen 3 - 2023*.

- Systems, E. (2023). Esp32 datasheet [Accedido: 2024-11-04]. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- UNESCO. (2024). *Educación sobre el cambio climático*. Retrieved October 8, 2024, from <https://www.unesco.org/es/climate-change/education>
- Universo, E. (2024). *Guayaquil registró el sábado la temperatura más alta en los últimos 30 años, según inamhi*. Retrieved October 8, 2024, from <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/guayaquil-registro-el-sabado-la-temperatura-mas-alta-en-los-ultimos-30-anos-segun-inamhi-nota/>
- Warnakulasooriya, K., Jayasuriya, Y. P., & Sudantha, B. (2018). Generic iot framework for environmental sensing researches: Portable iot enabled weather station. *2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2018.8520238>
- Zendesk. (2024). *¿cómo se mide la satisfacción del cliente? 4 técnicas comprobadas*. <https://www.zendesk.com.mx/blog/satisfaccion-del-cliente-como-se-mide/#>
- Zevallos Reyna, J. E., et al. (2024). Modelo de monitoreo de calidad de aire interior basado en arquitectura iot.

APÉNDICES

A Diagrama de gantt

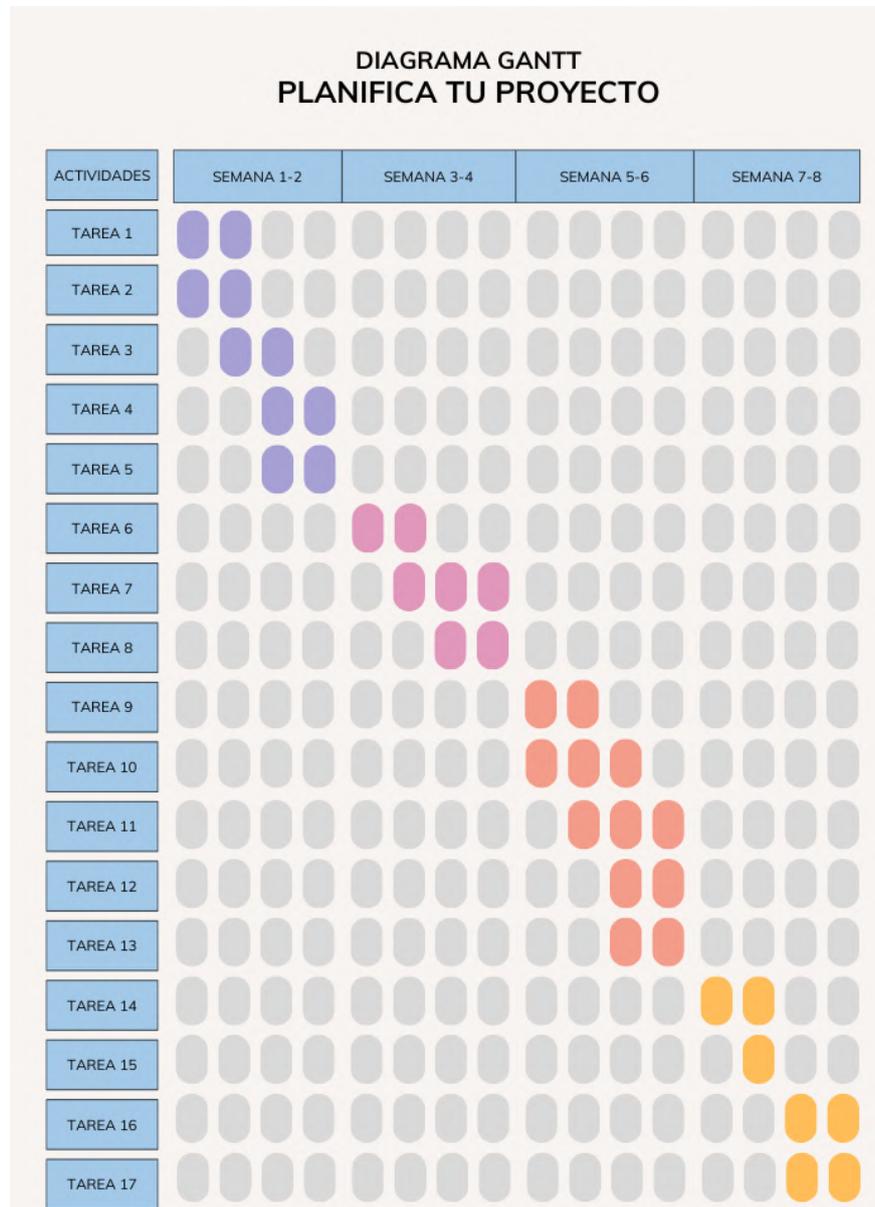


Figura 1: Diagrama de Gantt

- Tarea 1: Definición del alcance del proyecto (2 días)
- Tarea 2: Revisión bibliográfica y tecnológica (4 días)
- Tarea 3: Diseño del tótem IoT (4 días)
- Tarea 4: Selección de sensores y componentes de hardware (2 días)
- Tarea 5: Configuración del entorno de desarrollo (3 días)

- Tarea 6: Programación y configuración de sensores IoT (5 días)
- Tarea 7: Integración módulo de ciberseguridad (5 días)
- Tarea 8: Pruebas iniciales del sistema (2 días)
- Tarea 9: Montaje físico del tótem y despliegue de sensores (3 días)
- Tarea 10: Implementación de la conectividad y pruebas de campo (3 días)
- Tarea 11: Ajustes y correcciones de errores (2 días)
- Tarea 12: Recopilación y análisis de datos del sistema (3 días)
- Tarea 13: Optimización del software y hardware (3 días)
- Tarea 14: Validación del sistema (1 día)
- Tarea 15: Documentación técnica del sistema (3 días)
- Tarea 16: Redacción del informe de tesis (3 días)
- Tarea 17: Revisión del informe (2 días)

B Repositorio del proyecto

El código fuente y la documentación del sistema de monitoreo ambiental se encuentran disponibles en el siguiente repositorio de GitHub:

<https://github.com/jntobar/Sistema-de-monitoreo-ambiental.git>

A continuación se presenta una breve descripción de las carpetas principales del repositorio:

Nombre del archivo	Descripción
Circuit Schematic	Esquemas y diagramas relacionados con la parte hardware del sistema.
Hardware code	Código fuente relacionado con la recepción de datos del ESP32 utilizando el sensor AM1008W.
Software code	Código fuente del software que maneja la recepción de datos del ESP32 y su procesamiento.
README.md	Documento de instrucciones y descripción general del proyecto.

Tabla 1: Estructura del Repositorio de GitHub