



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Implementación de un Sistema de comunicación
Inalámbrico Usando Tecnología Beacon e IIoT
para el Monitoreo y Prevención de Incendios en
Entornos Industriales**

MODALIDAD:

PROPUESTA TECNOLÓGICA

AUTOR:

REYES VALENCIA LADY MICHELLE

TUTOR:

ING. CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres por ser esos motores principales de mi vida por no dejarme que me diera por vencida, por apoyarme en esta carrera profesional.

A mi hermana, por su compañía y apoyo incondicional en los momentos más importantes. Y a la memoria de mi hermano, cuya ausencia se transforma en inspiración y fortaleza para seguir adelante. A todos ellos dedico con gratitud.

Lady Michelle Reyes Valencia

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación en primera instancia a Dios por no dejarme abatir por las dificultades de la vida, por darme esa fuerza de seguir y culminar una parte de mis sueños, también este logro va para mis padres por darme esa voz de aliento, Daira Valencia que nunca dejo que me rindiera a pesar de mis derrotas, con su apoyo incondicional, sin el sacrificio de Misael no habría podido ser lo que soy ahora.

A la mención de Winston Reyes que me enseñó a persistir y no dejarme derribar, quien me dejo a mis lindos sobrinos para seguir luchando (Jacob y Thiago Reyes). A mi hermana Gissella Reyes y a Jared Vásquez por su soporte incondicional en mi vida.

Lady Michelle Reyes Valencia

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor de la propuesta tecnológica con título "Implementación de un Sistema de comunicación inalámbrica usando tecnología Beacons e IIoT para el monitoreo y prevención de incendios en entornos industriales", presentado por la señorita egresado Lady Michelle Reyes Valencia, estudiante de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado, es aprobado en todas sus partes.

Particular que informo para los fines consiguientes.



Ing. Carlos Alberto Saldaña Enderica, MSc.
Docente Tutor

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Washington Torres Guin, Mgt.
DECANO DE FACULTAD

Ing. José Sánchez Aquino, Mgt.
DIRECTOR DE LA CARRERA



**Carlos Alberto
Saldana Enderica**
Time Stamping
Security Data

Ing. Mario Alomoto
DOCENTE DEL ÁREA

Ing. Carlos Saldaña Enderica, Mgt.
DOCENTE TUTOR

Ab. María Rivera González, Mgt.
SECRETARÍA GENERAL

DECLARACIÓN DEL AUTOR

Lady Michelle Reyes Valencia, egresada de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistema y Telecomunicaciones, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, declaro que toda responsabilidad de la investigación realizada del presente trabajo de titulación es de mi responsabilidad y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Lady Michelle Reyes Valencia

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se centra en el diseño e implementación de una red de comunicación de sensores inalámbricos basada en tecnología Beacon y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para el monitoreo y la prevención de incendios en entornos industriales, desarrollada y validada en un entorno de laboratorio controlado.

El sistema planteado está conformado por nodos de medición compuestos por sensores de gas, temperatura y humedad, conectados a microcontroladores ESP32 que operan como beacons BLE. Los datos conseguidos se envían de forma inalámbrica a un nodo host, el cual transfiere la información mediante Wi-Fi, hacia una Raspberry Pi que ejecuta Home Assistant y una base de datos MariaDB. Posteriormente, los datos procesados se integran con un controlador lógico programable (PLC) y se visualizan en una interfaz Hombre-Máquina (HMI).

El sistema se limita únicamente a la adquisición, transmisión y visualización de los datos, sin incorporar mecanismos de control, intervención automática ni procesos de toma de decisiones frente a los valores que son recibidos. Para el desarrollo del sistema se utilizaron diversas herramientas de programación, tales como Arduino IDE, Node-RED, MariaDB, TIA Portal y DOPSoft, las cuales permitieron implementar una arquitectura de tipo híbrida que combina tecnologías IIoT con plataformas propias de la automatización industrial.

El proyecto tiene como finalidad asegurar una comunicación inalámbrica fluida entre los distintos dispositivos, habilitar la supervisión en tiempo real de variables críticas asociadas al riesgo de incendios y generar alertas que faciliten una reacción rápida frente a situaciones potencialmente peligrosas, contribuyendo así al fortalecimiento de la seguridad industrial mediante soluciones tecnológicas de bajo costo y alta escalabilidad.

Palabras Clave: Red, Comunicación, Sensores inalámbricos, Bluetooth Low Energy (BLE), Beacon, IIoT.

ABSTRACT

This research work focuses on the design and implementation of a wireless sensor communication network based on Beacon technology and the Industrial Internet of Things (IIoT) for monitoring and preventing fires in industrial environments. The proposed system is developed and validated in a controlled laboratory environment that emulates an industrial area.

The system is equipped with sensors for natural gas, temperature, and humidity, which are connected to ESP32-based beacon nodes through the use of Bluetooth Low Energy (BLE). The data that are acquired are transmitted wirelessly to a host ESP32, which then forwards the information using Wi-Fi to a Raspberry Pi that runs Home Assistant together with a MariaDB database. After this process, the data that have been processed are integrated into an industrial Programmable Logic Controller (PLC) and are displayed by means of a Human–Machine Interface (HMI).

The system is mainly limited to the acquisition, transmission, and visualization of data, without the inclusion of control mechanisms, automatic actuation functions, or decision-making processes based on the values that are received during operation. For the implementation of the system, several software tools were used, such as Arduino IDE, Node-RED, MariaDB, TIA Portal, and DOPSoft, which made it possible to develop a hybrid type of architecture that combines IIoT technologies with traditional industrial automation platforms.

The main objective of the project is to ensure that wireless communication between devices is carried out in a reliable manner, as well as to enable the real-time monitoring of critical variables associated with fire risk and the generation of alerts that allow a rapid response to potentially critical situations, thereby contributing to the strengthening of industrial safety through technological solutions that are cost-effective and scalable.

Keywords: Network, Communication, Wireless sensors, Bluetooth Low Energy (BLE), Beacon, IIoT (Industrial Internet of Things).

Índice

1. Fundamentación	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Descripción del Proyecto	5
1.3. Objetivos del proyecto	6
1.4. Justificación	6
1.5. Alcance	8
1.6. Metodología	9
1.7. Resultados Esperados	10
2. Marco Referencial	11
2.1. Marco Contextual	11
2.2. Marco Conceptual	12
2.2.1. Red de comunicación de sensores inalámbricos	12
2.2.2. Comunicación Inalámbrica	13
2.2.3. Monitoreo de incendios en entornos industriales	14
2.2.4. Entornos de laboratorio y simulación industrial	14
2.2.5. Industria 4.0	14
2.2.6. Microcontroladores	17
2.2.7. Tecnología Beacons	18
2.2.8. Trama de datos	18
2.2.9. Frecuencia de trabajo y señales inalámbricas	19
2.2.10. Tecnología BLE	19
2.2.11. Duración de batería	20
2.2.12. Internet de las Cosas	21
2.2.13. Internet Industrial de las cosas (IIoT)	21
2.2.14. Sistema SCADA	22

2.2.15. Controlador Lógico Programable (PLC)	22
2.2.16. HMI	24
2.2.17. Automatización	24
2.2.18. Normas IEEE 802.11	24
2.2.19. Normas IEEE 802.15.4	25
2.2.20. Normas Bluetooth 4.0/5.0 (BLE)	25
2.2.21. Normas IEC 61131-3	25
2.2.22. Normas ISA-101	25
2.2.23. Protocolos de Comunicación	26
2.2.24. Topología de Redes de Sensores Inalámbrico	27
2.3. Marco Teórico	29
3. Desarrollo De La Propuesta	31
3.1. COMPONENTES DE LA PROPUESTA	31
3.1.1. Componentes Físicos	31
3.1.2. Componentes Lógicos	36
3.2. Implementación y Puesta en Marcha del Sistema	39
3.2.1. Diseño de la Propuesta	39
3.2.2. Configuración de Software	46
3.2.3. Integración de redes y protocolos de comunicación	50
3.2.4. Pruebas de funcionamiento	51
4. Resultados, Conclusiones y Recomendaciones	53
4.1. Resultados Obtenidos	53
4.2. Análisis del Desempeño del Sistema	54
4.3. Conclusiones Generales	63
4.4. Recomendaciones para Trabajos Futuros	64

ANEXOS	74
A. Esquema del sistema	74
A.1. Gráfica del Home	74
A.2. Plataforma del Home Assistant	75
A.3. Tablero de Control en el Home Assistant	76
A.4. Base de Datos	76
A.5. Node-Red	76
B. Códigos fuente	81
B.1. Código Host	81
C. Datos experimentales	88

Índice de figuras

1.	Conexión PROFINET[59]	27
2.	Conexión Modbus [59]	27
3.	Topología Estrella[60]	28
4.	Arquitectura del proyecto	39
5.	Conexión Beacons	42
6.	Conexión Host	43
7.	Conexión Home Assistant	45
8.	Variables HMI	50
9.	Intensidad de señal (RSSI) en distintas zonas	55
10.	Transmisión de Datos y Visualización de los beacons	56
11.	latencia estimada entre los distintos componentes del sistema	59
12.	Comportamiento del sensor de Temperatura	62
13.	Comportamiento del sensor de Gas	62
14.	Gráfica de ESPHome	74
15.	Interfaz Home Assistant	75
16.	Tableros de Control Home Assistant	76
17.	Base de Datos en MariadB	76
18.	Declaración de Variables	77
19.	Configuración de Node-red y el Home	77
20.	Variables en TIA Portal	77
21.	Variables simuladas del Node-red en el TIA Portal	78
22.	Datos en el Home Assistant	78
23.	Contraseña para el usuario	79
24.	Esquema del plano industrial	79
25.	Diagrama de cada área	80

26.	Tablero simulado del monitoreo en entorno industrial	80
27.	Elementos del monitoreo en entorno simulado industrial	81
28.	Código Host en ESPHome	81
29.	Datos enviados del Node-red	88
30.	Datos recibido en el home Assistant	89
31.	Datos recibidos en el TIA Portal Bodega	89
32.	Datos recibidos en el TIA Portal Proceso	90
33.	Datos recibidos en el TIA Portal Cuarto	90
34.	Visualización del área de Bodega en el HMI	91
35.	Visualización del área de Cuartos en el HMI	91
36.	Visualización de área de Proceso en el HMI	92

Índice de cuadros

1.	Características Técnicas ESP-32	32
2.	Especificaciones Sensor Humo MQ-5	32
3.	Especificaciones Sensor de Temperatura DHT11	33
4.	Detalles técnicos del Raspberry PI 4	34
5.	Característica PLC S7-1200	34
6.	Datos Técnicos HMI DELTA	35
7.	Variables Monitoreadas por Área	49
8.	Medición de la intensidad de señal (RSSI)	55
9.	Transmisión de Datos y Visualización en función de la distancia	57
10.	Estudio del intervalo de envío de datos en Beacons BLE	58
11.	Latencia Estimada entre Componentes del Sistema	59

ABREVIATURAS

A continuación, se presentan las abreviaturas y nomenclaturas utilizadas en este trabajo:

BLE:	Bluetooth Low Energy, Bluetooth de Bajo Consumo.
HMI:	Human-Machine Interface, Interfaz Hombre-Máquina.
HOST:	Main Computer / Server, equipo principal.
HTTP:	HyperText Transfer Protocol, Protocolo de Transferencia de Hipertexto.
IaaS:	Infrastructure as a Service.
IIoT:	Industrial Internet of Things, Internet Industrial de las Cosas.
IoT:	Internet of Things, Internet de las Cosas.
MQTT:	Message Queuing Telemetry Transport, Transporte de Telemetría mediante Colas de Mensajes.
PaaS:	Platform as a Service.
PLC:	Programmable Logic Controller, Controlador Lógico Programable.
SaaS:	Software as a Service.
SCADA:	Supervisory Control And Data Acquisition, Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
UART:	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, Protocolo de comunicación.
WSN:	Wireless Sensor Network, Red de Sensores Inalámbricos.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las redes de comunicación inalámbrica para sensores han cobrado un interés creciente dentro del campo de la ingeniería de sistemas distribuidos debido a su capacidad para permitir el monitoreo continuo de variables ambientales sin depender de cableado físico. Estas redes, permiten integrar múltiples nodos de sensado que recolectan datos en tiempo real y los transmiten a un nodo central para su procesamiento y análisis. Esta característica las vuelve especialmente útiles en aplicaciones donde el despliegue tradicional de sensores cableados es impracticable o costoso, como ocurre en la supervisión de entornos extensos o de difícil acceso físico[1].

Los sistemas de redes de comunicación inalámbricos han sido ampliamente propuestos como una herramienta apto para la detección temprana de incendios, tanto como en zonas forestales y en entornos industriales. Los textos muestra que estas redes pueden medir variables críticas como temperatura, humedad y presencia de humo, ofreciendo potencial para generar información oportuna frente a eventos de emergencia. En un análisis enfocado en la detección de incendios forestales, se demuestra que las redes inalámbricas pueden proporcionar datos en tiempo casi real que apoyan la toma de decisiones, reduciendo el impacto de estos acontecimientos en los ecosistemas[1].

En particular, el monitoreo de incendios industriales representa un caso crítico de aplicación para redes de sensores inalámbricos. Las instalaciones industriales suelen ser espacios con múltiples fuentes de riesgo como equipos eléctricos, sustancias inflamables y procesos térmicos, que requieren vigilancia constante para evitar pérdidas humanas o materiales. La literatura sobre sistemas de detección de incendios muestra que las redes inalámbricas pueden mejorar la detección temprana y la entrega de datos a sistemas de supervisión centralizados, lo que a su vez puede contribuir a una respuesta más rápida en situaciones de emergencia[2].

Tradicionalmente, los sistemas de detección de incendios dependían de sensores cableados y sistemas de alarma estáticos, pero estos enfoques tienen limitaciones en términos de escalabilidad, costos de instalación y mantenimiento. La red de comunicación inalámbrica ofrecen una alternativa más adaptable, capaz de extenderse sobre áreas amplias con mínima infraestructura física, reduciendo costos y mejorando la cobertura de sensores[3].

El trabajo de titulación se estructura en cuatro capítulos, en los cuales se desarrolla de manera progresiva el diseño, implementación y evaluación de una red

de comunicación de sensores inalámbricos basada en tecnología Beacon/Bluetooth Low Energy (BLE) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT), aplicada al monitoreo de variables asociadas a escenarios de incendio en un entorno de laboratorio que simula un área industrial.

En el Capítulo I se presentan los aspectos generales del proyecto, en los cuales se abordan los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y la metodología empleada, permitiendo contextualizar el desarrollo del trabajo. En este apartado se delimita el alcance del sistema, precisando que corresponde a una solución de monitoreo sustentada en la adquisición, transmisión y visualización de datos simulados, sin que se contemplen mecanismos de control ni procesos de actuación automática dentro de su funcionamiento.

El Capítulo II desarrolla el fundamento teórico que sustenta la investigación, analizando conceptos relacionados con las redes de sensores inalámbricos, el IIoT, la tecnología BLE, Beacon, la estructura de las tramas de datos y los protocolos de comunicación utilizados. Asimismo, se presentan conocimientos generales sobre el monitoreo de incendios en entornos industriales desde una perspectiva de supervisión y análisis de datos.

En el Capítulo III y el Capítulo IV se describe el diseño, implementación y validación del sistema propuesto. Se detalla la arquitectura de la red de sensores, la integración de los nodos basados en ESP32, la transmisión de datos hacia plataformas IIoT y su visualización en una interfaz HMI industrial. Finalmente se analizan los resultados obtenidos durante las pruebas en laboratorio y se presentan conclusiones y recomendaciones para futuros desarrollos.

CAPÍTULO I

1. Fundamentación

1.1. Antecedentes

En la actualidad, el desarrollo tecnológico ha experimentado un crecimiento significativo, siendo uno de los aspectos más relevantes el auge de las aplicaciones basadas en el IoT. Las industrias destinan cada vez mayores inversiones a la optimización de sus sistemas con el objetivo de mejorar la eficiencia de sus procesos productivos y fortalecer los niveles de seguridad. En este contexto, el monitoreo y la prevención de incendios en entornos industriales han cobrado especial relevancia, impulsando el uso de tecnologías inalámbricas para la adquisición y transmisión de datos. En particular, la tecnología BLE se presenta como una alternativa viable para el desarrollo de sistemas de monitoreo debido a su bajo consumo energético, facilidad de implementación y capacidad de integración con arquitecturas basadas en el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), lo que permite reducir costos y mejorar la eficiencia en la supervisión de variables críticas.

Diversos trabajos relacionados con esta línea de investigación han sido desarrollados en instituciones académicas. En la Universidad Autónoma del Estado de México se implementó un prototipo basado en tecnología IoT orientado a aplicaciones industriales, utilizando sensores para la medición de variables físicas como temperatura, humedad, intensidad lumínica y detección de presencia mediante un sensor infrarrojo pasivo (PIR). Este sistema permitió desarrollar una solución de seguridad de bajo costo para la captura y monitoreo de datos ambientales relevantes en entornos industriales[4].

De manera similar, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se diseñó un sistema de redes inalámbricas de sensores orientado al monitoreo de condiciones físicas y ambientales, tales como temperatura, humedad, calidad del aire y movimiento. El sistema permitió transmitir los datos de forma cooperativa hacia un nodo central para su análisis. El objetivo principal de este trabajo fue la detección de incendios forestales mediante nodos equipados con sensores ambientales, demostrando la viabilidad de las redes de sensores inalámbricos en aplicaciones de monitoreo y prevención de riesgos[5].

Por otro lado, la Universidad Superior Politécnica del Litoral desarrolló un proyecto de monitoreo basado en IIoT implementado en un terminal portuario. Como resultado, se obtuvo un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) con acceso local y remoto, utilizando plataformas como Node-RED y Ubidots, así como protocolos de comunicación UART y MQTT para la transmisión de datos. Este sistema permitió el monitoreo continuo de variables operativas relevantes dentro del entorno industrial[6].

Adicionalmente, en [7] se presenta el uso de dispositivos Beacon para la detección de eventos de emergencia, como incendios y terremotos, integrando sistemas de posicionamiento en interiores y mecanismos de activación de alarmas como parte de una estrategia de respuesta ante desastres.

El presente proyecto tiene como diseño y la implementación de una red de comunicaciones de sensores inalámbricos basada en microcontroladores ESP32 y comunicación BLE, destinada a la supervisión de variables críticas como la concentración de gases inflamables y la presencia de humo en entornos industriales. Las pruebas de validación se desarrollarán en el laboratorio de automatización, bajo condiciones controladas. La arquitectura del sistema integra un PLC con una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) y una Raspberry Pi como unidad central encargada de la recepción, procesamiento y almacenamiento de los datos transmitidos por los beacons, en los cuales se incorporan los sensores. La interfaz gráfica creada por medio del HMI facilitará a los supervisores de planta visualizar de forma mucho más clara y eficiente los registros de los sensores junto con el estado general del sistema.

Con relación a los antecedentes revisados el proyecto se orienta al diseño e implementación de una red de comunicación de sensores inalámbricos basada en microcontroladores ESP32 y tecnología BLE, destinada a la supervisión de variables críticas asociadas a escenarios de incendio, como la concentración de gases inflamables y la presencia de humo en entornos industriales simulados. Las pruebas de validación se desarrollarán en el laboratorio de automatización bajo condiciones controladas. La arquitectura del sistema integra una Raspberry Pi como unidad central encargada de la recepción, procesamiento y almacenamiento de los datos transmitidos por los beacons que incorporan los sensores, un controlador lógico programable (PLC), una interfaz Hombre-Máquina (HMI). La interfaz gráfica desarrollada mediante la HMI industrial permitirá a los supervisores visualizar de forma clara y eficiente los registros de los sensores y el estado general del sistema.

Estos antecedentes evidencian la aplicabilidad de las tecnologías IoT, IIoT y redes de sensores inalámbricos en sistemas de monitoreo y prevención de riesgos, lo

cual respalda el enfoque propuesto en la investigación.

1.2. Descripción del Proyecto

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de una red de comunicación de sensores inalámbricos basada en tecnología Beacon/Bluetooth Low Energy (BLE) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT), orientada al monitoreo de variables asociadas a escenarios de incendio en un entorno de laboratorio que simula un área industrial. El sistema tiene como finalidad la adquisición, transmisión y visualización de datos provenientes de sensores ambientales, sin incorporar mecanismos de control, actuación automática ni toma de decisiones sobre los valores obtenidos.

La arquitectura del sistema se encuentra conformada por nodos sensores inalámbricos que integran microcontroladores ESP32 junto con sensores de gas, temperatura y humedad, los cuales operan como beacons BLE encargados de transmitir de manera periódica los datos simulados correspondientes a las variables que son monitoreadas hacia un nodo host. Esta comunicación se desarrolla bajo un esquema orientado al bajo consumo energético, en el cual se prioriza la estabilidad del enlace inalámbrico y la correcta estructuración de las tramas de datos transmitidas.

El nodo host cumple la función de recibir la información enviada por los beacons y posteriormente enviarla, mediante conectividad Wi-Fi, hacia una Raspberry Pi que actúa como unidad central del sistema. En dicha unidad se ejecuta la plataforma Home Assistant, la cual permite la gestión y el almacenamiento de los datos dentro de una base de datos MariaDB, facilitando de esta manera la integración de la red de sensores con plataformas IIoT y con sistemas de supervisión propios del entorno industrial.

Los datos recopilados por el sistema son integrados con un controlador lógico programable (PLC) para su posterior visualización en una interfaz Hombre-Máquina (HMI) de tipo industrial. La HMI permite al usuario supervisar en tiempo real las variables monitoreadas y el estado general del sistema, proporcionando una visualización clara y estructurada de la información, adecuada para entornos industriales simulados.

El desarrollo y validación del proyecto se realizan en el laboratorio de automatización, bajo condiciones controladas que reproducen características propias de un área industrial, como la distribución física de los nodos y la presencia de obstáculos.

De esta manera, el proyecto permite evaluar el desempeño de la red de comunicación inalámbrica, la integridad de los datos transmitidos y la viabilidad de la integración de tecnologías Beacon/BLE e IIoT en sistemas de monitoreo orientados a la seguridad industrial.

1.3. Objetivos del proyecto

Objetivo Principal

- Desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica para la prevención incendios y monitoreo de variables en entornos industriales mediante tecnología IIoT.

Objetivos específicos

- Implementar un sistema de adquisición de datos en tiempo real, en un entorno controlado, el cual simulará las variables a ser medidas por sistema de alerta contra incendios en áreas industriales.
- Integrar los datos que son recogidos por los sensores con un sistema centralizado basado en Raspberry Pi y PLC, de manera que se permita el procesamiento y el análisis de la información obtenida, así como el uso de una interfaz HMI de tipo industrial que facilite y simplifique la interacción del supervisor con el sistema de alerta contra incendios.
- Desarrollar una interfaz de usuario gráfica en el HMI industrial que permita a los investigadores y las industrias monitorizar y prevención remotamente las condiciones, para prevenir incendios facilitando la modificación de ajustes en tiempo real basados en los datos recogidos.

1.4. Justificación

Las redes de comunicación de sensores inalámbricos constituyen una alternativa técnica ampliamente estudiada para la supervisión de condiciones ambientales y de seguridad en distintos contextos. La red de comunicación permiten la recolección distribuida de datos sin necesidad de infraestructura cableada, lo que facilita su implementación en áreas extensas o de difícil acceso y reduce los costos asociados

a la instalación y mantenimiento del sistema. Estas características han motivado su aplicación en escenarios donde se requiere el monitoreo continuo de variables como temperatura, humo o presencia de gases relacionados con el riesgo de incendio[4], [7].

Diversas investigaciones han demostrado que la red de comunicación pueden emplearse para el monitoreo casi en tiempo real de eventos críticos, permitiendo la transmisión eficiente de información desde nodos distribuidos hacia un sistema central. Estudios orientados a la detección y monitoreo de incendios muestran que este tipo de redes es capaz de proporcionar datos oportunos que apoyan la supervisión de condiciones de riesgo, tanto en entornos naturales como industriales[5]. Estos resultados evidencian que la transmisión inalámbrica de datos ambientales resulta adecuada para aplicaciones donde la rapidez y continuidad de la información son factores relevantes.

En entornos industriales, la integración de redes de sensores inalámbricos con arquitecturas basadas en IIoT permite centralizar la información que proviene de múltiples dispositivos, facilitando su posterior procesamiento, almacenamiento y visualización dentro de un sistema común. Este enfoque hace posible la supervisión remota de variables consideradas críticas y, a su vez, permite la operatividad con plataformas industriales ya existentes, contribuyendo a una gestión más eficiente de la información generada por los sistemas de monitoreo[6]. De igual forma, la literatura especializada señala que este tipo de arquitecturas favorecen aspectos como la escalabilidad además de la flexibilidad del sistema, los cuales resultan relevantes en aplicaciones de carácter industrial.

De manera adicional, diversas investigaciones relacionadas con sistemas de monitoreo industrial han puesto en evidencia la importancia de integrar plataformas de procesamiento y visualización de datos, tales como bases de datos y herramientas de gestión de flujos de información, con el fin de facilitar el análisis y la supervisión por parte del usuario final. Estas soluciones permiten organizar la información recolectada por los sensores y presentarla de forma clara mediante interfaces gráficas, lo que contribuye a una mejor interpretación del estado general del sistema[8].

En este escenario, el presente proyecto se justifica a partir de la necesidad de analizar y validar una red de comunicación de sensores inalámbricos basada en tecnología Beacon/BLE e IIoT, aplicada al monitoreo de variables asociadas a escenarios de incendio. La implementación del sistema en un entorno de laboratorio que simula un área industrial permite evaluar el comportamiento de la comunicación inalámbrica, la integridad de los datos transmitidos y la integración con plataformas

industriales, sin que se involucren procesos de control ni de actuación automática. Este proyecto por su parte contribuye significativamente al análisis técnico de soluciones de monitoreo las cuales se encuentran basadas en redes inalámbricas, por lo que establece la base inicial para futuros desarrollos los mismos que están orientados al fortalecimiento de la seguridad industrial.

1.5. Alcance

El proyecto abarca el diseño junto con la implementación además de la validación de un sistema de comunicación inalámbrica que se encuentra basado en una red de sensores que emplea tecnología Beacon/BLE e IIoT, esto se encuentra orientado al monitoreo de variables las mismas que están asociadas al riesgo de incendios en entornos industriales simulados. El sistema es desarrollado y evaluado en un entorno de laboratorio que es totalmente controlado, reduciendo consigo las condiciones representativas de un área industrial, sin que se tenga que involucrar instalaciones reales ni escenarios de operación en campo.

Contempla la implementación de un sistema de adquisición de datos en tiempo real, utilizando sensores de temperatura, presencia de gases y otras variables ambientales relevantes, cuyos valores son generados y tratados como variables simuladas. Estos datos permiten representar condiciones asociadas a posibles escenarios de riesgo de incendio, con el propósito de evaluar el desempeño de la red de comunicación inalámbrica y la correcta transmisión de la información entre los distintos nodos del sistema.

Asimismo, el alcance del proyecto incluye la integración de los datos recolectados por los sensores dentro de un sistema centralizado conformado por microcontroladores ESP32, dos dispositivos Raspberry Pi 4 y un controlador lógico programable (PLC). Una de las Raspberry Pi cumple la función de gestionar y visualizar el sistema a través de la plataforma Home Assistant, mientras que la segunda se encarga del almacenamiento de la información en una base de datos MariaDB, así como del procesamiento de los flujos de datos mediante la herramienta Node-RED. Los datos que han sido procesados son posteriormente presentados en una interfaz Hombre-Máquina (HMI) de tipo industrial, la cual permite la supervisión en tiempo real de las variables que son monitoreadas y la visualización del estado general del sistema.

El proyecto también abarca el desarrollo de una interfaz gráfica dentro de la HMI industrial, la cual tiene como finalidad facilitar la monitorización del entorno simulado y la gestión de alertas asociadas a posibles escenarios de riesgo de incen-

dio. Estas alertas se limitan únicamente a la visualización y notificación al usuario, sin que se ejecuten acciones de control ni procesos automáticos de respuesta. La configuración de los parámetros de operación se realiza exclusivamente a nivel de supervisión y mediante ajustes de carácter manual, con fines de análisis y evaluación del comportamiento del sistema.

Limitaciones del proyecto

El sistema desarrollado se limita exclusivamente al monitoreo de variables ambientales simuladas, por lo que no se realiza detección ni prevención real de incendios en entornos industriales operativos. No se incluyen mecanismos de control automático, actuación sobre dispositivos externos ni toma de decisiones basada en los valores recibidos por los sensores.

Las pruebas y validaciones se realizan únicamente en un entorno de laboratorio controlado, por lo que factores propios de entornos industriales reales, como interferencias electromagnéticas severas, condiciones climáticas extremas o variaciones estructurales complejas, no son considerados de manera exhaustiva.

El alcance del proyecto no contempla el análisis de normativas de seguridad industrial, tampoco las certificaciones, ni la implementación de sistemas redundantes de comunicación o respaldo energético. Por lo que, la escalabilidad del sistema se evalúa de una forma más conceptual, sin llevar a cabo la implementación a gran escala con un número elevado de nodos sensores distribuidos en áreas extensas.

De manera que el proyecto no incluye el desarrollo de algoritmos demasiado avanzados de análisis predictivo ni inteligencia artificial, tampoco incluye aprendizaje automático, se limita en la adquisición, también a la transmisión además del almacenamiento y visualización de los datos que se objetienen cuando se ejecutan las pruebas.

1.6. Metodología

En el desarrollo de la propuesta tecnológica se emplearon métodos de investigación y técnicas que ayudaron a poder delimitar un problema y así permitir recolectar datos importantes, son las siguientes:

- Investigación Descriptiva : Este proyecto descriptivo se centra en la simulación de una red de comunicaciones de sensores inalámbricos aplicada al monitoreo de variables ambientales en el área industrial. Mediante el uso de la tecnología

Beacon, los sensores facilitan transmitir datos con bajo consumo energético[9].

- Investigación Aplicada: Este estudio corresponde a una investigación aplicada, ya que utiliza conocimientos teóricos y tecnológicos existentes para desarrollar e implementar un sistema funcional basado en sensores, microcontroladores ESP32 y comunicación inalámbrica, orientado a la prevención de incendios en entornos industriales[10].
- Investigación de campo o de laboratorio: Esta clasificación distingue entre investigaciones de campo e investigaciones de laboratorio según el entorno en que se realizan[11]. En la propuesta se hará investigación de laboratorio ya que su implementación se lo hará en un ambiente controlado lo que implica que algunos factores de riesgo reales no se podrían reproducir completamente.

1.7. Resultados Esperados

- Demostrar la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica mediante una red de sensores basada en tecnología Beacon, capaz de adquirir datos en tiempo real y operar de forma estable en un entorno controlado de laboratorio.
- Simular adecuadamente las variables críticas asociadas a un escenario de alerta contra incendios en áreas industriales (temperatura, presencia de gases inflamables), validando el correcto funcionamiento de los sensores y del enlace de comunicación mediante lecturas consistentes y representativas de las condiciones simuladas.
- Integrar de forma eficiente los datos recolectados por los sensores en un sistema centralizado compuesto por una Raspberry Pi y un PLC, permitiendo el procesamiento, análisis y transmisión confiable de la información hacia los dispositivos de supervisión
- Desarrollar una interfaz gráfica en el HMI industrial que sea funcional e intuitiva, orientada al monitoreo remoto del sistema y a la gestión de alertas en tiempo real, de manera que el personal pueda supervisar el estado del entorno y tomar decisiones oportunas para la prevención de incendios.

CAPÍTULO II

2. Marco Referencial

2.1. Marco Contextual

Los entornos industriales, como fábricas y plantas de procesamiento, se caracterizan por una alta actividad y movilidad de maquinaria, personal y materiales. Para poder garantizar la seguridad en este tipo de espacios, es que se resulta de suma importancia proteger la vida humana, para prevenir daños materiales, pudiendo con ello asegurar la continuidad operativa de los procesos productivos. Entre los principales riesgos presentes en estas instalaciones, el incendio es el que realmente representa una de las amenazas más críticas, siendo necesario el desarrollo de sistemas de monitoreo además de la alerta temprana las cuales permitan supervisar condiciones asociadas con esta clase de eventualidades.

Los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica, sobre todo las relacionadas con el IoT y el IIoT, son las que han permitido nuevas posibilidades para la monitorización además de la prevención en tiempo real dentro de lo que viene siendo los entornos industriales. Razón por la cual, las redes de comunicación de sensores inalámbricos se muestran como una alternativa clara e idónea para la recopilación y transmisión de información ambiental relevante, permitiendo con ello supervisar variables críticas a la vez que contribuye con la mejora de los sistemas de seguridad industrial.

En Europa continental se ha reportado el uso combinado de tecnologías como Beacon e IoT para el desarrollo de soluciones orientadas a la evacuación de personas en edificios y eventos ante situaciones de incendio. Estas iniciativas surgen como respuesta a los altos índices de incendios y tasas de mortalidad, impulsando la investigación e implementación de tecnologías de protección contra incendios alineadas con los principios de la Industria 4.0[12].

De manera similar, en Latinoamérica se han desarrollado soluciones basadas en tecnologías IIoT, iBeacon y Bluetooth Low Energy (BLE), principalmente debido a la necesidad de atender problemáticas relacionadas con la seguridad y la gestión de riesgos. En varios casos, estas tecnologías se han combinado con el uso de dispositivos móviles, como smartphones, permitiendo vincular un lugar u objeto con un usuario específico para facilitar el acceso a la información y la supervisión del entorno[13].

En el contexto ecuatoriano, se han desarrollado diversos proyectos tecnológicos en distintos ámbitos, haciendo uso de tecnologías IoT y Beacon, principalmente orientados al registro académico y a la localización de objetos. No obstante, la implementación de estas tecnologías en aplicaciones relacionadas con el monitoreo y control de incendios industriales aún presenta desafíos, ya que no se cuenta con soluciones ampliamente consolidadas para este tipo de escenarios[14].

Por lo tanto, resulta necesario el desarrollo de propuestas específicas que aprovechen las capacidades de las tecnologías actuales, como la comunicación inalámbrica BLE y las arquitecturas IIoT, con el fin de mejorar la eficiencia, adaptabilidad y capacidad de monitoreo de eventos en el entorno industrial[15].

Las tecnologías Beacon y IIoT se emplean para simular las condiciones operativas de plantas industriales y facilitar la comunicación dentro de una red de comunicación de sensores inalámbricos. El sistema incorpora sensores de humo y otras variables ambientales, encargados de capturar datos relevantes en tiempo real. Estos datos son enviados a un microcontrolador ESP32 que actúa como nodo sensor y utiliza comunicación inalámbrica BLE. Posteriormente, la información es transmitida a un nodo host, también basado en ESP32, el cual emplea conectividad Wi-Fi (IEEE 802.11) para enviar los datos hacia una infraestructura central compuesta por Raspberry Pi, PLC y una interfaz HMI. Todo el proceso se desarrolla dentro de un entorno controlado, destinado a la simulación y evaluación del sistema propuesto.

La presente propuesta de sistema de monitoreo de incendios se desarrolla en el Laboratorio de Automatización Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), ubicado en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena. Este entorno permite realizar pruebas y simulaciones bajo condiciones controladas, representativas de un área industrial.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Red de comunicación de sensores inalámbricos

Una red de comunicación de sensores inalámbricos está compuesta por un conjunto de nodos sensores distribuidos especialmente, capaces de adquirir datos del entorno y transmitirlos de forma inalámbrica hacia uno o varios nodos centrales para su procesamiento y visualización[16]. Cada nodo integra sensores, una unidad de procesamiento y un módulo de comunicación, lo que permite la recopilación distribuida de información sin depender de infraestructura cableada. Este tipo de redes

ha sido ampliamente estudiado debido a su flexibilidad, escalabilidad y facilidad de implementación en entornos donde el cableado resulta costoso o poco viable[17], [18].

Estas redes permiten monitorear diversos parámetros, tales como temperatura, humedad, presión y dirección, entre otros, a través de nodos sensores distribuidos[19]. Asimismo, pueden ser empleadas para supervisar procesos dentro de una fábrica y proporcionar información ante estímulos provenientes de señales físicas o químicas, contribuyendo a la toma de decisiones a nivel de supervisión[20].

En aplicaciones industriales, las redes de comunicación de sensores inalámbricos son las que permiten monitorear variables ambientales además de las operativas durante su tiempo de ejecución real, aportando a la supervisión de condiciones relacionadas con la seguridad e incluso en el mantenimiento y la operación de los procesos. El diseño de estas redes debe considerarse aspectos como es el caso de la topología de red, sumado a esto el consumo energético de los nodos, teniendo en consideración la confiabilidad de la transmisión y la tolerancia a fallos, sobre todo cuando se trata de escenarios caracterizados por interferencias electromagnéticas y la presencia de obstáculos que son físicos.

2.2.2. Comunicación Inalámbrica

Las comunicaciones inalámbricas emplean ondas de radio de baja frecuencia para conectar dispositivos. Estas redes convierten las señales de información en transmisiones que viajan a través del aire, eliminando así la necesidad de utilizar cables para la conexión[21].

Este enfoque resulta ser altamente pertinente para arquitecturas basadas en IIoT, dado que posibilita la interconexión de objetos a través de múltiples protocolos de comunicación, como son: RFID, ZigBee, Bluetooth, WSN, GPRS, WiFi o LAN. Por su capacidad de integración en el que pueden intercambiar de manera eficiente la información entre diversos dispositivos dentro de redes inteligentes.

Asimismo, el servicio se orienta al envío de paquetes, cumpliendo con criterios de bajo consumo energético, mínima latencia, alta precisión y tolerancia a fallos. En el contexto de una red de mayor escala, una estación base con puerta de enlace permite a los nodos colectores recibir información desde diferentes nodos, almacenarla, procesarla y reenviarla en paquetes consolidados. Su función es reducir el tamaño de los datos transmitidos, optimizando así la eficiencia y la velocidad de la red[22].

2.2.3. Monitoreo de incendios en entornos industriales

Las redes de comunicación de sensores inalámbricos ofrecen una alternativa para el monitoreo distribuido de estas variables, permitiendo una mayor cobertura y facilidad de despliegue. La información transmitida por la red puede ser utilizada para la supervisión en tiempo real y el análisis de condiciones potencialmente peligrosas, sin necesidad de implementar mecanismos de actuación automática[5].

El monitoreo de incendios en entornos industriales se encuentra basado en lo que viene siendo la supervisión de variables ambientales las cuales pueden indicar condiciones de riesgo, como el tema de la temperatura, también la concentración de gases inflamables, o aspectos como el humo y humedad. Los sistemas tradicionales de monitoreo suelen depender de muchos sensores cableados, esto provoca una notable limitación de su flexibilidad por lo que dificulta su expansión de forma significativa[23].

2.2.4. Entornos de laboratorio y simulación industrial

La validación de redes de comunicación de sensores inalámbricos en entornos de laboratorio controlados permite evaluar el desempeño del sistema bajo condiciones reproducibles y seguras. La simulación de un área industrial dentro del laboratorio facilita el análisis de la comunicación inalámbrica, la distribución de los nodos sensores y la influencia de obstáculos físicos en la transmisión de datos[24].

Este enfoque resulta adecuado para estudios experimentales donde el objetivo principal es analizar la viabilidad técnica y el comportamiento de la red de comunicación, sin exponer instalaciones reales ni personas a riesgos asociados a pruebas en campo[16].

2.2.5. Industria 4.0

Se trata de una tecnología que integra sistemas ciberfísicos y dispositivos electrónicos con el objetivo de mejorar la interacción, supervisión y gestión de procesos dentro de entornos industriales. Esta integración permite que los sistemas físicos se encuentren estrechamente vinculados con plataformas digitales, facilitando la adquisición de datos, su procesamiento y la comunicación entre distintos componentes del sistema. Como resultado, se obtiene una gestión más eficiente de procesos que requieren supervisión continua y coordinación entre múltiples dispositivos interconectados[25].

La capacidad de conectar en tiempo real a los distintos actores del sistema a través de internet representan una de las transformaciones más significativas en el ámbito industrial. Esta conectividad facilita el intercambio de información entre dispositivos, plataformas y usuarios, permitiendo una supervisión más eficiente de los procesos y una mejor gestión de los recursos disponibles. En este sentido, la integración de estas tecnologías sienta las bases para el desarrollo de soluciones orientadas al monitoreo y análisis de sistemas industriales, alineadas con los principios de la industria 4.0[25].

Sensor Temperatura

Son componentes electrónicos diseñados para medir la variación térmica de un entorno o de un proceso, convirtiendo los cambios de temperatura en señales eléctricas proporcionales que pueden ser procesadas por sistemas electrónicos. Estas señales permiten obtener información continua o periódica sobre el estado térmico del ambiente, lo cual resulta fundamental en aplicaciones de monitoreo industrial, especialmente en la supervisión de condiciones asociadas a riesgos de incendio[26].

Existen gran tipo de sensores de temperatura, entre ellos se incluyen los termistores, también los sensores de temperatura por resistencia (RTD) además de los termopares. Cada uno de estos dispositivos presenta características particulares en cuanto a rango de medición, precisión, tiempo de respuesta y estabilidad, lo que determina su idoneidad para aplicaciones específicas[26].

Sensores de Humo

Son dispositivos electrónicos diseñados para detectar la presencia de partículas generadas por procesos de combustión en el ambiente. Su funcionamiento se basa en la identificación de concentraciones anómalas de humo, lo que permite inferir la existencia de condiciones asociadas a un posible evento de incendio. Estos sensores constituyen uno de los elementos fundamentales en los sistemas de monitoreo de incendios, debido a su capacidad para identificar cambios en la calidad del aire de forma oportuna. Cada tipo presenta ventajas y limitaciones dependiendo del entorno de aplicación, el tipo de material combustible y las condiciones ambientales del lugar donde se instalan[27].

Sensor de Humo fotoeléctrico

Es un dispositivo electrónico diseñado para detectar la presencia de partículas de humo suspendidas en el aire mediante principios ópticos. Su funcionamiento se basa en el uso de una fuente de luz, generalmente un diodo emisor de luz (LED), y un receptor fotosensible ubicados dentro de una cámara de detección. En condiciones normales, el haz de luz no incide directamente sobre el receptor; sin embargo, cuando partículas de humo ingresan a la cámara, estas dispersan la luz, provocando que parte del haz alcance el sensor fotosensible y genere una señal eléctrica detectable.

Este tipo de sensor es especialmente sensible a humos producidos por combustiones lentas o incipientes, caracterizadas por una alta concentración de partículas visibles. Debido a esta característica, los sensores de humo fotoeléctricos resultan adecuados para aplicaciones de monitoreo en entornos cerrados, como edificios industriales o áreas de proceso, donde la detección temprana de humo es un factor relevante para la supervisión de condiciones de seguridad[27].

Sensor de Gas

Son dispositivos electrónicos diseñados para detectar y medir la concentración de determinados gases presentes en el ambiente. Su función principal es identificar variaciones en la composición del aire que puedan representar condiciones anómalas o potencialmente peligrosas, como la presencia de gases inflamables o tóxicos. Estos sensores son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales debido a su capacidad para proporcionar información relevante sobre la calidad del aire y los riesgos asociados a procesos de combustión o fugas de sustancias gaseosas[28].

Los sensores semiconductores, comúnmente empleados en sistemas de monitoreo industrial, funcionan mediante la variación de la resistencia eléctrica de un material sensible cuando entra en contacto con un gas específico. Esta variación se traduce en una señal eléctrica proporcional a la concentración del gas detectado, lo que permite su procesamiento por sistemas electrónicos[29].

2.2.6. Microcontroladores

Es una máquina digital diseñada para llevar a cabo operaciones lógicas. Estos procedimientos pueden ser establecidos por el usuario en código de ensamblador y transmitidos al dispositivo mediante un programador o grabador de microcontroladores[27].

Microcontrolador ESP32

El módulo ESP32 es una solución Wi-Fi y Bluetooth completa y certificada, que incluye conectividad inalámbrica y un procesador integrado, equipado con interfaces para una amplia gama de periféricos[30]. Se puede utilizar en una variedad de aplicaciones, incluido el control remoto de dispositivos, la automatización del hogar y los sistemas de posicionamiento y monitoreo en tiempo real.

WIFI

Es la organización encargada de validar y certificar los dispositivos que cumplen con el estándar Wireless LAN 802.11. La Wi-Fi Alliance, anteriormente denominada WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), tiene como propósito garantizar la conectividad inalámbrica y la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes. No obstante, debido a que la conexión puede establecerse a distancias superiores a los 100 metros, se incrementa la probabilidad de interferencias en la transmisión[31].

Bluetooth

Este sistema de comunicación, aunque de alcance limitado, es robusto y consume poca energía. Consta de un emisor y un receptor de RF que operan en una frecuencia de hasta 2,4 GHz. La transmisión a corta distancia ofrece una comunicación más segura y con menor probabilidad de interferencias, optimizando la confiabilidad[32]. Con estándar IEEE 802.15.1

2.2.7. Tecnología Beacons

Se trata de un sistema que utiliza dispositivos pequeños capaces de emitir señales de radio de baja potencia a través de la tecnología BLE. Estos dispositivos pueden transmitir información a otros dispositivos cercanos, como smartphones, lo que permite activar acciones específicas según la proximidad del usuario. El uso de beacons ha experimentado un notable crecimiento en áreas como la publicidad de proximidad, la orientación interior y la supervisión de activos en entornos industriales[32].

En el sector industrial, los beacons han demostrado su efectividad para incrementar la seguridad, tal como en sistemas de monitorización y control de incendios, donde se puede utilizar la tecnología BLE para detectar situaciones de riesgo de manera inmediata[32].

Utilizan señal de transmisión por broadcast para la comunicación, y su radio de alcance máximo es aproximadamente inferior a 100 metros[33].

Se respalda en el uso de los dispositivos inalámbricos los cuales permiten la transmisión de las señales de corto alcance, generalmente utilizando BLE. De esta manera es que una red de comunicación de sensores inalámbricos junto con los beacons funcionan como nodos emisores los cuales difunden tramas de datos sin que existan la necesidad de establecer una conexión persistente con el dispositivo receptor. Por lo que este enfoque es el que permite reducir considerablemente el consumo energético pudiendo con ello simplificar la arquitectura de comunicación, esto resulta idóneo para sistemas de monitoreo continuo[17].

Esta manera de comunicarse adquiere una alta relevancia en aplicaciones donde se requiere transmitir información de forma periódica de bajo volumen, como en sistemas de monitoreo ambiental o ya sea de seguridad industrial. La simplicidad del esquema Beacon es el que realmente facilita la escalabilidad de la red, por lo que permite la incorporación de múltiples nodos sin aumentar realmente la complejidad del sistema[18].

2.2.8. Trama de datos

Una trama de datos es una unidad lógica de información que agrupa los datos provenientes de los sensores junto con campos adicionales necesarios para su identificación, interpretación y validación durante la transmisión.

En sistemas basados en Beacon/BLE, las tramas de datos suelen contener identificadores del nodo emisor, información del tipo de sensor, valores medidos y, en algunos casos, campos de control o verificación. Esta estructura permite que el nodo receptor pueda interpretar correctamente la información recibida, incluso cuando los paquetes son transmitidos de forma periódica y sin conexión directa. La correcta definición de la trama de datos es fundamental para garantizar la integridad de la información y facilitar su posterior procesamiento en plataformas IIoT[34].

La trama de datos tiene como función principal permitir la transmisión eficiente de variables ambientales relevantes, como temperatura, humo o gases. Al utilizar tramas se optimiza el uso del canal inalámbrico y se reduce la probabilidad de colisiones o pérdidas de información, aspectos críticos en redes con múltiples nodos sensores operando de manera simultánea[7].

2.2.9. Frecuencia de trabajo y señales inalámbricas

Las redes de comunicación de sensores inalámbricos basadas en BLE operan generalmente en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, la cual pertenece al espectro ISM (Industrial, Scientific and Medical). Esta banda es de uso libre y ampliamente empleada en tecnologías inalámbricas debido a su disponibilidad global y compatibilidad con una gran variedad de dispositivos electrónicos[35].

La señal inalámbrica transmitida en esta banda se ve influenciada por diversos factores, como la distancia entre nodos, la presencia de obstáculos físicos, interferencias electromagnéticas y condiciones del entorno industrial. En escenarios industriales simulados, estas variables pueden afectar la calidad de la comunicación, generando atenuación de la señal o variaciones en la intensidad recibida. Por esta razón, el análisis del comportamiento de la señal resulta fundamental para evaluar el desempeño de la red de comunicación de sensores inalámbricos[36].

2.2.10. Tecnología BLE

Es un sistema de comunicación inalámbrica diseñado para aplicaciones que requieren bajo consumo energético, como equipos portátiles y plataformas de monitoreo en tiempo real. BLE se emplea ampliamente en redes de IoT debido a su eficiencia en el uso de energía y a su capacidad para mantener conexiones estables durante largos periodos sin un elevado gasto eléctrico. Esta tecnología permite la interacción entre dispositivos como sensores, dispositivos portátiles y sistemas de

gestión en entornos residenciales, industriales y de salud[37].

Está diseñada para enviar señales de identificación a dispositivos cercanos. Su progreso y desarrollo están estrechamente relacionados con el avance de la tecnología inalámbrica. Cualquier dispositivo con Bluetooth puede recibir esta información siempre que esté dentro del alcance. Además, beacon es compacta, sencilla y puede funcionar con baterías o conectarse a un puerto USB[13].

Las velocidades de transferencia

Son 1 Mbps para BLE 4.2 y 2 Mbps para BLE 5. Sin embargo, el rendimiento real de un sistema BLE suele ser mucho menor debido a diversos gastos generales de protocolo, radios adaptativos, etc. Los ajustes de conexión para mantener un enlace estable en presencia de interferencias y restricciones de protocolo relacionadas con las políticas y operaciones de intercambio de datos BLE, como intervalos de conexión, tamaños de paquetes e identificación de paquetes de esquema[38].

Infraestructura

La arquitectura de la tecnología Beacon se sustenta en tres componentes importantes: los beacons, que emiten señales, las aplicaciones móviles o sistemas que reciben los datos, y la red de comunicación (usualmente BLE). Estos dispositivos transmiten información a corta distancia, como ubicación o eventos, a dispositivos cercanos. Son utilizados en diversos campos, como marketing, rastreo y automatización. Los beacons suelen ser pequeños, lo que facilita su ubicación y ajuste según se requiera, sin afectar la infraestructura existente[29].

2.2.11. Duración de batería

La duración de la batería de un beacons depende de la frecuencia con la que transmite mensajes y del nivel de energía utilizada en sus transmisiones. Estos factores también afectan la latencia de detección, que es el retraso entre que un dispositivo de usuario se acerca a una baliza e identifica con éxito la señal emitida por el dispositivo[39].

2.2.12. Internet de las Cosas

IoT es un concepto de red diseñado para facilitar el intercambio de información y la comunicación mediante Internet, con el propósito de lograr una gestión inteligente de dispositivos. Su objetivo es permitir que todos los elementos se conecten y comuniquen entre sí, en cualquier momento y desde cualquier lugar. Para ello, cada objeto cuenta con una dirección única que le permite interactuar con otros dispositivos, e incluso ser controlado[40].

IoT conecta los mundos físico y digital que forman parte de nuestra vida diaria, con el fin de hacerla más sencilla y eficiente. Esta tecnología permite que los elementos del entorno real interactúen y se integren con el ámbito digital, facilitando así diversas tareas y mejorando la experiencia cotidiana de las personas[41].

2.2.13. Internet Industrial de las cosas (IIoT)

El IIoT está diseñado para facilitar la comunicación entre máquinas, productos y personas, utilizando paneles que permiten el acceso tanto local como remoto. Estos paneles proporcionan visualización de datos y permiten el monitoreo continuo de las líneas de producción, optimizando el seguimiento y control. Facilitando así el avance en procesos de fabricación y mejorando la eficiencia en los procesos[42]. La IIoT proporciona beneficios en cuatro áreas clave:

- El aumento de la eficiencia:

A través del uso de tecnologías como sensores, las fundiciones pueden recopilar una mayor cantidad de datos tanto de los procesos como de los productos. En ciertos casos, la información obtenida permite realizar ajustes en las prácticas empresariales o tomar decisiones en tiempo real[43].

- Nuevos Modelos de Negocios:

La IIoT facilita la automatización de ciertos procesos, lo que contribuye a mejorar los tiempos de lanzamiento al mercado, evaluar el rendimiento de los productos y responder de manera ágil a las demandas de los clientes. Esta capacidad de reacción rápida y mejora continua permite a las empresas mantenerse competitivas y adaptarse con eficacia a los cambios del mercado[43].

- Nuevos Canales de Ingresos: Posibilita la creación de ingresos adicionales mediante la incorporación de servicios complementarios a los productos existen-

tes, permitiendo a las empresas generar nuevas fuentes de valor y optimizar la experiencia del cliente[43].

- **Gestión de Riesgos y Cumplimiento de regulaciones de Seguridad:** La IIoT contribuye a minimizar riesgos y asegurar el cumplimiento de los protocolos de seguridad mediante el monitoreo constante de los procesos. Los equipos pueden adaptarse para supervisar y validar la correcta ejecución de los procedimientos definidos, identificando de forma inmediata cualquier anomalía o fallo. Este esquema de supervisión automatizada ofrece una capacidad de respuesta más rápida que la intervención manual, incrementando la eficiencia en la gestión de riesgos[43].

2.2.14. Sistema SCADA

Los programas para supervisión y control de procesos, conocidos como software SCADA (por sus siglas en inglés, Supervisor y Control and Data Acquisition), son sistemas que facilitan la interacción entre el usuario y las máquinas. Estos sistemas ofrecen una interfaz amigable que permite monitorear y controlar las variables de un proceso desde una estación de control remoto. Además, suelen contar con un entorno visual atractivo que simplifica la supervisión y mejora la experiencia de uso[44].

SCADA es un sistema en tiempo real para la supervisión, control y recopilación de datos, específicamente de variables provenientes de dispositivos conectados a equipos de control o autómatas. Este sistema permite supervisar el estado de los procesos, tomar decisiones, recibir alertas, visualizar el estado de datos y almacenarlos para realizar evaluaciones posteriores[45].

2.2.15. Controlador Lógico Programable (PLC)

Los PLC son dispositivos electrónicos que se emplean ampliamente dentro del ámbito industrial para la gestión teniendo el control de procesos que operan con datos en vivo. Mediante sus canales de entrada y también los de salida, se permite establecer la conexión con sensores y demás componentes que conforman el sistema. Tal como su denominación lo indica, los PLC requieren ser programados a través de un software específico, en el cual se consideran las variables propias del proceso con el propósito de capturar, almacenar y actualizar los valores de manera cíclica, logrando finalmente la ejecución del control del sistema[45].

Estos controladores se encargan de encender los componentes de las máquinas para ejecutar las funciones previamente definidas, garantizando que las tareas se realicen con rapidez y precisión conforme a las instrucciones programadas[46].

Raspberry Pi 4

Es una computadora de placa reducida diseñada para aplicaciones de propósito general que requieren procesamiento, conectividad y bajo consumo energético. Este dispositivo integra un procesador ARM el cual cuenta con múltiples núcleos, memoria RAM configurable, interfaces de comunicación inalámbrica y cableada, también con puertos de entrada y salida las mismas que facilitan su integración con diversos sistemas electrónicos. Debido a estas características es que la Raspberry Pi 4 ha sido ampliamente utilizada en proyectos de automatización, monitoreo y sistemas basados en IoT e IIoT[47].

En el contexto de una red de comunicación de sensores inalámbricos, la Raspberry Pi 4 cumple un rol que resulta fundamental como nodo central para el procesamiento y la gestión de la información que es generada dentro del sistema. Su capacidad para ejecutar sistemas operativos basados en Linux permite la implementación de distintas plataformas de supervisión, bases de datos y herramientas destinadas a la gestión de flujos de datos. De esta manera, se facilita la recepción, el almacenamiento y la organización de la información que es transmitida por los nodos sensores inalámbricos, contribuyendo al desarrollo de una arquitectura que se caracteriza por ser flexible y de tipo modular[48].

Además, la Raspberry Pi 4 dispone de conectividad tanto Wi-Fi como Ethernet, lo cual permite su integración dentro de arquitecturas basadas en IIoT y su comunicación con otros dispositivos de carácter industrial, tales como controladores lógicos programables (PLC) e interfaces Hombre-Máquina (HMI). Estas capacidades hacen posible la visualización de datos en tiempo real, el almacenamiento de información de tipo histórico y la interconexión con distintas plataformas de supervisión industrial. En sistemas de monitoreo, la Raspberry Pi 4 es utilizada principalmente como una unidad de soporte para la red de comunicación de sensores inalámbricos, sin que se le asignen tareas de control directo sobre los procesos que son objeto de monitoreo[48][49].

2.2.16. HMI

Significa Human-Machine Interface, es un panel diseñado para habilitar la interacción entre el usuario y una máquina, software o sistema, que proporciona una interfaz que simplifica el control y la supervisión de los procesos industriales. Las interfaces HMI muestran información en tiempo real y permiten al usuario interactuar y controlar la máquina a través de una interfaz gráfica intuitiva[50][51].

2.2.17. Automatización

La automatización implica incorporar dispositivos en un proceso que le otorga autonomía, lo cual permite a las empresas optimizar sus recursos y mejorar la eficiencia[52]. Al automatizar, se obtienen beneficios clave, como una mayor calidad en la producción, aumento en los niveles de productividad, mejor seguridad para los trabajadores, y un control más preciso de los procesos productivos.

Actualmente, la automatización industrial se ha posicionado como una tendencia clave al integrar múltiples tecnologías que posibilitan la optimización y ejecución eficiente de los procesos de fabricación, que se programan de forma secuencial en sistemas automáticos[53].

2.2.18. Normas IEEE 802.11

Los estándares para la comunicación inalámbrica en redes locales (WLAN). Estas especificaciones cubren la parte de acceso al medio y los protocolos de transmisión de datos en redes inalámbricas. A lo largo de los años, ha habido varias versiones de 802.11, que han mejorado las capacidades de las redes Wi-Fi, incluyendo mayores velocidades de transferencia, mejor cobertura y eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico[54]. Las normas IEEE 802.11 se dividen en diferentes versiones:

- 802.11a/b/g
- 802.11n
- 802.11ac
- 802.11ax (Wi-Fi 6)

2.2.19. Normas IEEE 802.15.4

Los estándares para redes inalámbricas de área local (WLAN) . La banda de 2,4 GHz es una de las más utilizadas debido a su mayor alcance y compatibilidad con dispositivos .Defina los estándares para redes inalámbricas de área local (WLAN). La banda de 2,4 GHz es una de las más utilizadas debido a su mayor alcance y compatibilidad con dispositivos[55]. Estas redes de comunicación son muy adecuadas para aplicaciones que requieren tecnología económica y de bajo consumo, aunque esto significa que las velocidades de transmisión son más limitadas y sólo pueden alcanzar solo uno.

2.2.20. Normas Bluetooth 4.0/5.0 (BLE)

Diseñada específicamente para aplicaciones que requieren baja potencia, como el Internet de las Cosas (IoT), dispositivos portátiles, sensores y otros dispositivos que funcionan con baterías. BLE permite la transmisión de datos de manera eficiente y con bajo consumo de energía, lo que lo hace ideal para dispositivos pequeños y de larga duración[56].

Bluetooth 4.0 (BLE): Está diseñado para ofrecer una comunicación inalámbrica altamente eficiente a un costo muy bajo, el cual puede tener un alcance de hasta 100 metros en condiciones lo suficientemente ideales.

2.2.21. Normas IEC 61131-3

El estándar internacional para la programación de PLC. La norma IEC 61131-3 establece los requisitos para los lenguajes de programación y los métodos de programación utilizados para desarrollar aplicaciones de control industrial. Permite la interoperatividad y la consistencia en el desarrollo de software de control industrial, sin depender de un fabricante o sistema específico[57].

2.2.22. Normas ISA-101

Normas internacionales que abordan la ergonomía de la interacción hombre-computadora. Su objetivo principal es proporcionar directrices para el diseño y evaluación de sistemas interactivos, garantizando que los productos y sistemas sean seguros, efectivos y fáciles de usar, y mejoren la experiencia del usuario[58].

2.2.23. Protocolos de Comunicación

Los protocolos de comunicación definen las reglas y mecanismos mediante los cuales los dispositivos intercambian información dentro de una red de comunicación de sensores inalámbricos. En sistemas basados en BLE, el protocolo establece aspectos como el formato de los paquetes, los intervalos de transmisión, los mecanismos de identificación y la gestión del enlace inalámbrico[49].

BLE permite operar bajo esquemas de comunicación orientados a difusión (advertising), como es el caso de los beacons, donde los dispositivos transmiten información sin requerir confirmación de recepción. Este tipo de comunicación resulta adecuado para aplicaciones de monitoreo, ya que prioriza la eficiencia energética y la simplicidad del sistema sobre la confiabilidad absoluta de cada paquete individual[49].

Dentro de una arquitectura basada en IIoT, los datos que son transmitidos por la red de sensores inalámbricos pueden ser encapsulados o reenviados mediante el uso de otros protocolos de nivel superior, tales como MQTT o HTTP, a través de plataformas que actúan como intermediarias dentro del sistema. Esta combinación y coexistencia de distintos protocolos permite integrar la red de sensores con sistemas destinados al almacenamiento, la visualización y la supervisión industrial, manteniendo al mismo tiempo una arquitectura que resulta modular y flexible en su estructura y funcionamiento[49].

Profinet

Es un estándar que ofrece soluciones de red para proceso de automatización se basa en protocolo Ethernet, UDP, TC/IP, facilitan la comunicación entre los dispositivos electrónicos. Esto permite la utilización de cables y switches estándares ethernet y se puede visualizar una conexión fácil, rápida y abierta[59].

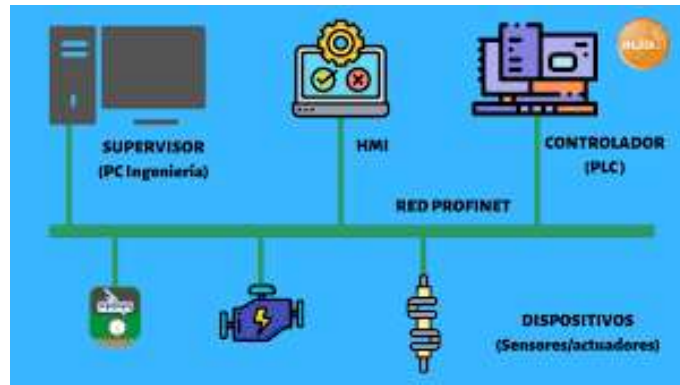


Figura 1: Conexión PROFINET[59]

MODBUS

Protocolo de comunicación se usa para la transmisión de señales de modelo maestro-esclavo o cliente-servidor. Está diseñado para que los equipos industriales tal como el PLC, computadoras o otros tipos de dispositivos de entrada/salida comunicarse sobre una red. Se define como una estructura de mensajes de controladores electrónicos podrán interpretar sin importar que tipo de red utilicen para sus comunicaciones[59].



Figura 2: Conexión Modbus [59]

2.2.24. Topología de Redes de Sensores Inalámbrico

La topología de una red de sensores inalámbricos define la forma en que los nodos sensores se organizan y se comunican entre sí dentro del sistema. Esta estructura determina cómo se transmiten los datos desde los nodos de adquisición hacia los nodos de recolección o sistemas centrales, influyendo directamente en aspectos como el alcance de la comunicación, la latencia, el consumo energético y la confiabilidad de

la red. La selección de una topología adecuada permite optimizar el desempeño de la red de sensores inalámbricos en función del entorno de operación, las condiciones físicas del área monitoreada y los requerimientos del sistema[60].

Topología Estrella

Se conforma en un nodo que ejecuta la función de coordinador para enviar y recibir los datos de los nodos. Es decir, los nodos solo se van a comunicar con el central. Este evita un mayor consumo entre los nodos y ayuda que la comunicación sea de baja latencia, como se muestra en la figura3[60].

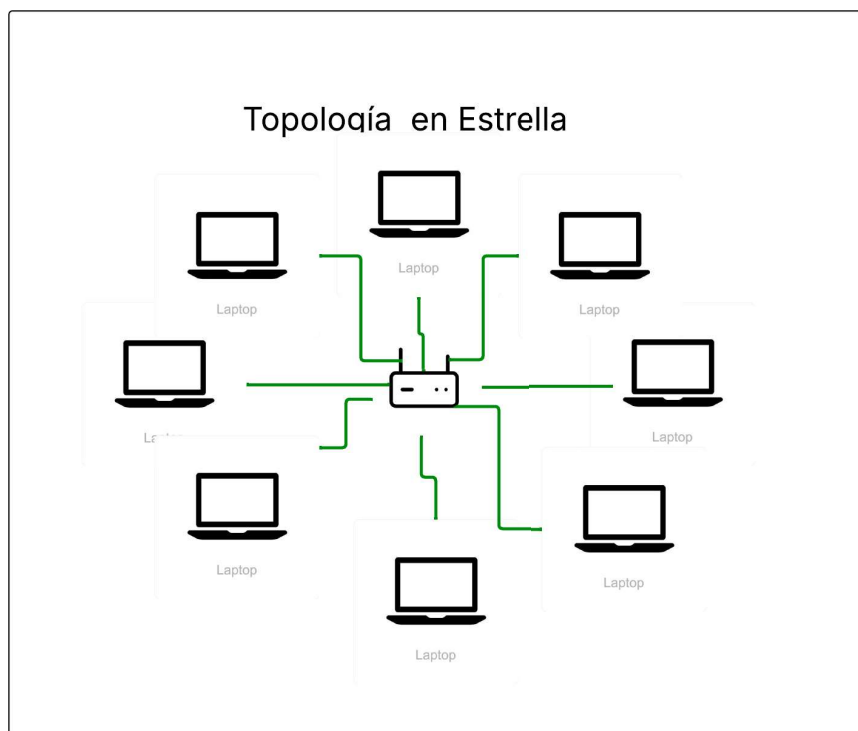


Figura 3: Topología Estrella[60]

2.3. Marco Teórico

A continuación, se establecen artículos y proyectos de titulación previamente analizados y vinculados a la presente propuesta tecnológica, los cuales ofrecen una orientación significativa para el desarrollo de este proyecto.

“Implementación de una Red Inalámbrica con Nodos Inteligentes para la Supervisión en Tiempo Real y Prevención de Incendios en la Planta de Indufrick”, publicación de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, este proyecto se realiza con el propósito de implementar una red inalámbrica que permita supervisar en tiempo real y prevenir incendios en la planta de la empresa Indufrick. Para ello, emplearon tecnologías compatibles con Zigbee para la configuración de los nodos de la red, utilizando sensor de Temperatura DHT22, Sensor de Humo MQ135, módulos xbee y Node MCU, la aplicación móvil ofrece conectividad con la plataforma, siendo especialmente adecuada para aplicaciones de IoT[61].

“Evaluación de la Transmisión de Datos con Tecnología IOT de un Prototipo de Sistema de Seguridad en Cocinas a gas para la Prevención de incendios domésticos” este documento tiene como propósito implementar un sistema de seguridad en cocinas mediante monitoreo en tiempo real con tecnología IoT mediante sensores y actuadores. A demás, colocaron un zumbador como notificación y alerta[62].

“Implementación de un sistema remoto para control y monitoreo de procesos utilizando un PLC con Gateway IIOT” desarrollado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, tiene como intención la implementación de un sistema remoto para controlar y monitorear procesos industriales la cual utiliza PLC, gateway, sensores magnéticos y tecnología industrial IIoT. Con la finalidad de tener una supervisión de forma remota para los procesos industriales[63].

“Diseño e Implementación de un Sistema de Alarmas Utilizando Micro PLC para Reducir la Tasa de Incendios en el Distrito de Breña - 2022” tesis desarrollada con el objetivo de minimizar en la mayor medida los desastres, empleando un micro PLC para el sistema contra incendios, así obteniendo respuesta rápida y precisa, con una combinación de sensores y el micro PLC programado adecuadamente que activan la válvula el cual va a poder activar válvulas para controlar el flujo de agua en las tuberías contra incendios . Además, de las sirenas de alerta facilitan una rápida notificación a la estación de bomberos[64].

“Sistema de Prevención de Incendios Forestales con Tecnología IoT aplicado a los Montes Gallegos”, proyecto elaborada con el propósito de enfrentar las amenazas

que existen en el ecosistema que son los incendios forestales, mediante tecnología IoT con finalidad de monitorizar las variables como su temperatura relativa, CO₂. Con finalidad de dar solución a los incendios de Galicia. Para ello, emplearon tecnologías de comunicación inalámbricas como LORAWAN, utilizando sensor de temperatura BME280, Sensor de CO₂ , módulo LoRa[65].

CAPÍTULO III

3. Desarrollo De La Propuesta

El desarrollo de la propuesta es un sistema de comunicación inalámbrico con Tecnología Beacon e IIoT que requiere la integración de sensores de temperatura y gas, junto con una infraestructura de comunicación eficiente basada en microcontroladores y una plataforma de procesamiento de datos. La selección de los componentes es fundamental para garantizar la precisión, estabilidad y eficiencia energética en ambientes industriales, donde la detección temprana de condiciones peligrosas es prioritaria.

En la siguiente sección, se dividió el desarrollo de la propuesta de tesis en dos componentes principales: los componentes físicos, que son descritos detalladamente, y los componentes lógicos.

3.1. COMPONENTES DE LA PROPUESTA

3.1.1. Componentes Físicos

Para llevar a cabo la implantación del sistema de monitoreo y prevención de incendio industriales se utilizaron diversos componentes eléctricos y electrónicos, que son detallados a continuación:

ESP-WROOM-32

Es un módulo de conectividad Wi - Fi y Bluetooth . Este módulo integra un procesador de doble núcleo, capaz de operar a una frecuencia de hasta 240 MHz , con 520 KB de SRAM y compatibilidad con redes Wi - Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2. Es ideal para aplicaciones en IoT, automatización y control embebido . Su bajo consumo energético y capacidad de procesamiento lo convierten en una opción popular para sistemas de monitoreo, comunicación inalámbrica y procesamiento en tiempo real[66].

Cuadro 1: Características Técnicas ESP-32

Características Técnicas	
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2, BLE.
Aplicaciones	IIoT, control de dispositivos, redes de sensores.
Rango	Hasta 100 metros para Wi-Fi (depende del entorno), Bluetooth alrededor de 5-8 metros.
Alimentación	3.3V (3.0-3.6V) o 5V
Frecuencia	de 80 MHz a 240 MHz
Corriente de reposo	Inferior a 5 μ A

Sensor MQ5

El MQ-5 es un dispositivo semiconductor ampliamente utilizado para la detección de gases inflamables y vapores combustibles presentes en el ambiente. Este sensor es sensible principalmente a gases como el gas licuado de petróleo (GLP), gas natural, metano, butano y propano, los cuales suelen estar asociados a escenarios de riesgo en entornos industriales. Su uso resulta pertinente en sistemas de monitoreo orientados a la supervisión de condiciones que pueden derivar en incendios o explosiones[67].

Cuadro 2: Especificaciones Sensor Humo MQ-5

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de operación	5V DC
Corriente de operación	160mA
Alta sensibilidad	GLP - Gas natural - Gas ciudad
Consumo de potencia	900mW
Rango de detección	200 a 10000ppm
Temperatura de operación	-10°C a 50°C
Respuesta	Rápida
Pin Definición	1-Salida, 2-GND, 3 VCC

Sensor DTH11

Este dispositivo registra la temperatura y el nivel de humedad presentes en el aire, es digital y de bajo costo. Incorpora un sensor capacitivo de humedad y un termistor para analizar las condiciones del aire circundante, entregando la información a través de una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones académicas relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental[68].

Cuadro 3: Especificaciones Sensor de Temperatura DHT11

Especificaciones	
Voltaje de operación	3V - 5V DC
Corriente de operación	0,5 mA (2,5 mA máx.)
Rango de temperatura	0 a +50°C \pm 2°C
Rango de humedad	20 a 90 % HR \pm 5 % de humedad relativa
Interfaz	Serie mediante 1 cable (1-Wire)
Tiempo de censo	1 seg.

Raspberry Pi 4

La Raspberry Pi 4 cumple un papel fundamental como unidad central de procesamiento y almacenamiento dentro del sistema de monitoreo y prevención de incendios basado en tecnología Beacon e IIoT. Su capacidad de comunicación inalámbrica mediante Wi-Fi y Bluetooth 5.0, junto con su conectividad Ethernet Gigabit, permite recibir, procesar y gestionar la información recopilada por los sensores desplegados en el entorno industrial[69].

Cuadro 4: Detalles técnicos del Raspberry PI 4

Especificaciones Técnicas	
Procesador	ARM Cortex-A72
Memoria	1 GB 2 GB 4 GB LPDDR4 SDRAM
GPU	Video Core VI (Tiene soporte para OpenGL ES 3.x)
Frecuencia de Reloj	1,5 GHz
Conectividad	SBluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11ac, Gigabit Ethernet
Potencia de Entrada	5V DC por medio de GPIO (mínimo 3A). 5V DC mediante conector USB-C (mínimo 3A)
GPIO (Puertos)	Estándar de 40 pines

Controlador Lógico Programable s7-1200 Siemens

El PLC S7-1200 es programable a través del entorno de desarrollo TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), el cual proporciona herramientas para la programación, monitoreo y depuración de código en diversos lenguajes, como Ladder (LAD), Texto Estructurado (ST) y Diagrama de Bloques de Función (FBD)[70].

Una característica altamente relevantes es la posibilidad de expansión, puesto que admite la incorporación de módulos de entrada y salida ya sean digitales como analógicos, lo que garantiza su adaptabilidad a diversas necesidades industriales, a su vez la compatibilidad con protocolos de comunicación como Ethernet y Profinet facilita la integración eficiente con sistemas SCADA y equipos de automatización[71].

Cuadro 5: Característica PLC S7-1200

Datos Técnicos	
Modelo	CPU 1212C AC/DC/relé
Memoria	50 KB
Alimentación	120 - 240 V AC
E/S Digitales	8 entradas / 6 salidas
E/S Analógica	2 entradas; 0-10V
Puertos de Comunicación	1 x Ethernet
Módulo de comunicación	RS485 / RS232
Interfaz	Profinet (Profinet Industrial)

El PLC permite una integración eficiente con los demás dispositivos del sistema. A través de esta plataforma, se desarrolla la lógica de control que gestiona las variables adquiridas desde los sensores de temperatura y gas conectados al ESP32 y transmitidas a la base de datos en MariaDB.

Pantalla DELTA DOP B03211 (HMI)

Es un equipo HMI su propósito es la supervisión y el control de procesos en entornos industriales, pertenece a la serie DOP-B de Delta Electronics, se encuentra equipado con una pantalla táctil LCD de 4,3 pulgadas, ofreciendo a los usuarios una interfaz lo suficientemente visual clara e intuitiva.

Esta interfaz es compatible con diversos protocolos de comunicación de tipo industrial, tales como Modbus, RS-232 y RS-485, lo que permite la comunicación con el PLC y con otros equipos que forman parte de los sistemas de automatización. Su utilización resulta esencial en aplicaciones en las que se requiere realizar monitoreo en tiempo real, el ajuste de parámetros de operación y el diagnóstico de posibles fallas, contribuyendo de esta manera a optimizar la eficiencia en los sistemas industriales[72].

Cuadro 6: Datos Técnicos HMI DELTA

Especificaciones Técnicas	
Modelo	DOP-B03E211
SDRAM	64 Mbytes
Alimentación	24 V DC 2/300mA
Comunicación	Profinet y USB
Ethernet	10/100M
Potencia consumida	4.8Kw -7.2kw
Máximo voltaje	AC 500V por minuto
Memoria Backup	32kbytes
Dimensiones	480x272 65536
Software	DOPSoft

En el proyecto, la Pantalla HMI cumple la función de visualizar y supervisar en tiempo real los datos obtenidos por los sensores de gas MQ-5 y temperatura DHT11. A través de esta interfaz, es que los operadores pueden realizar el monitoreo de variables críticas, por lo que logran recibir alertas cuando se presentan condiciones ser desfavorables o mejor dicho peligrosas, por lo que se gestiona la comunicación con el PLC S7-1200. Se considera el uso de la HMI el cual facilita la interacción con el sistema en general, por lo que permite la realización de ajustes y configuraciones las cuales resultan necesarias para la prevención de incendios dentro de lo que viene siendo el entorno industrial.

3.1.2. Componentes Lógicos

Para llevar a cabo la programación del sistema de monitoreo y prevención se realiza la simulación en los siguientes programas que se mencionan a continuación:

Arduino IDE

Es un entorno de desarrollo de código abierto diseñado para programar y depurar placas de microcontroladores de la familia Arduino y otros dispositivos compatibles. Este entorno de software facilita la escritura, compilación y carga de programas en microcontroladores, empleando un lenguaje de programación derivado de C/C++, facilitando el desarrollo de proyectos en electrónica, automatización, IoT y sistemas embebidos [73].

El Arduino IDE incluye una interfaz gráfica simple, un compilador, un gestor de bibliotecas y una terminal serie para la depuración. Además, admite la integración con placas como ESP32 y ESP8266, ampliando sus aplicaciones en comunicación Wi-Fi y Bluetooth [74].

Por medio del IDE se pudo desarrollar la programación del microcontrolador, para establecer su comunicación con el ESP32. Empleando el monitor serial, se verifica la correcta ejecución de cada acción programada, pudiendo detectar acertadamente cualquier error y corregirlo.

NODE- RED

Es una herramienta de desarrollo basada en flujo, de código abierto, diseñada para la integración y automatización de sistemas IoT, comunicación entre dispositi-

vos y desarrollo de aplicaciones industriales. Permite su ejecución en entornos ligeros como Raspberry Pi, servidores locales y servicios en la nube[75].

Node-RED permite la programación mediante una interfaz visual basada en nodos, donde los usuarios pueden arrastrar, soltar y conectar componentes para diseñar flujos de datos. Su flexibilidad lo hace ideal para integrar sensores, protocolos de comunicación (MQTT, HTTP, Modbus, entre otros) y sistemas de bases de datos aplicados en soluciones de monitoreo y control[76].

Node-RED facilita la recolección y procesamiento de datos los cuales provienen de los sensores MQ-5 (detección de gases inflamables) y DHT11 (temperatura y humedad) que se encuentran conectados al ESP32 (Beacon fijo).

- Facilita es el que facilita la comunicación entre los nodos ESP32 a través de BLE y Wi-Fi, luego de ello su transmisión a la Raspberry Pi con Home Assistant.
- Opera como un enlace entre la Raspberry Pi además de la base de datos MariaDB, almacenando con ello todas las mediciones que se han ido captando.
- A su vez se encarga de enviar todos los datos desde la Raspberry Pi hacia el PLC a través de Ethernet industrial, con ello se permite la automatización de respuestas en el sistema.

MariaDB

El RDBMS(sistema de gestión de base de datos relacionales) producto de MySQL, esta implementación de código abierto es conocida por sus innovaciones en rendimiento, estabilidad y seguridad. Se maneja sobre SQL como la mayoría de los databases de uso empresarial, web e IoT[77].

Por parte del proyecto, se desempeñará como el DBMS encargado del almacenaje, orden y consulta del data producido por los sensores de temperatura(DHT11) y gas(MQ5). Al integrar con la Raspberry Pi 4, el sistema adquiere la capacidad de poder manejar grandes volúmenes de información en tiempo real, lo que favorece de forma significa la trazabilidad y el análisis de los datos que han sido recolectados.

En el sistema de flujo de datos, los sensores están vinculados al ESP 32, también designados Beacons fijos, los cuales transfieren la información a través de Bluetooth a otro ESP32 host. Luego, este dispositivo envía los datos vía Wi-Fi a la Raspberry

Pi con Home Assistant, que a su vez transfiere la información a la Raspberry Pi 4, donde MariaDB almacena y gestiona los datos en una estructura optimizada.

Home Assistant

Se trata de una plataforma de automatización residencial de código abierto que permite integrar y gestionar de forma centralizada diversos dispositivos inteligentes. Su diseño modular y altamente configurable posibilita la conexión con múltiples sensores, actuadores y protocolos de comunicación, optimizando el control y monitoreo de entornos domóticos e industriales[78].

Es compatible con tecnologías como es el caso de: MQTT, Zigbee también Z-Wave, Wi-Fi además de Bluetooth, esto aumenta sus posibilidades de implementación. Además, al ser instalable en servidores locales como Raspberry Pi, proporciona mayor privacidad y autonomía en la gestión de la información sin depender de servicios en la nube[79].

Este sistema contribuye a la gestión también permite la supervisión centralizada de la información obtenida por los sensores. La plataforma de automatización es la que posibilita la integración de múltiples dispositivos IoT, por lo que establece la comunicación entre el ESP32(host), que se emplea como un nodo principal, y la Raspberry Pi, esta cumple con la función de servidor de procesamiento de datos.

Tía Portal V16

Es una plataforma de ingeniería integrada, desarrollada por Siemens diseñada para facilitar la configuración, programación y diagnóstico de equipos de automatización industrial, como PLC, HMI y otras unidades de gestión. Esta versión ofrece un entorno único que simplifica el diseño, simulación e implementación del proyecto, que promueve una programación más eficiente y una comunicación fluida entre diferentes unidades en el entorno industrial[80].

Tiene varios tipos de lenguajes de programación como:

- KOP: Esquema de contacto, es lenguaje gráfico.
- FUP: Diagrama de Funciones, es lenguaje con símbolos de algebra booleana.
- SCL: Texto estructurado.

- AWL: Lista de instrucciones, controles más complejos.

Para el sistema de monitoreo y prevención de incendio en entorno industrial se utiliza la programación tipo escalera así mismo para el PLC S7-1200.

DOPSoft

Este software está orientado al diseño y configuración de pantallas HMI de la serie DOP. Ofrece un entorno gráfico funcional e intuitivo para el desarrollo de interfaces de operación, gestión de alarmas y control en aplicaciones de automatización industrial, facilitando una comunicación ágil y confiable entre dispositivos PLC y HMI con el fin de asegurar un monitoreo y control efectivos[81].

3.2. Implementación y Puesta en Marcha del Sistema

3.2.1. Diseño de la Propuesta

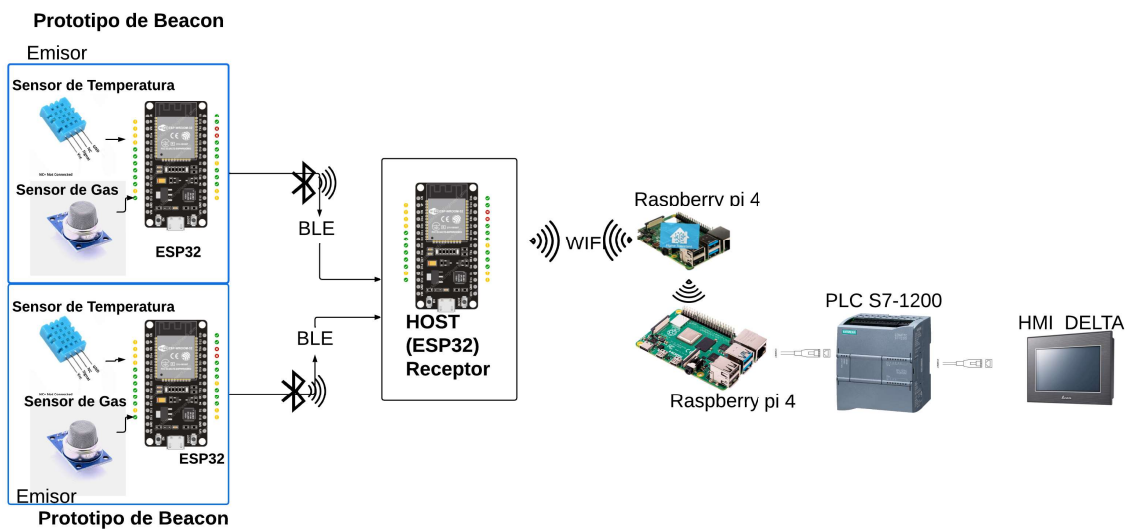


Figura 4: Arquitectura del proyecto

La propuesta se desarrolló a partir del diseño y la implementación progresiva de una red de comunicación de sensores inalámbricos que se encuentra orientada al monitoreo de variables relacionadas con posibles escenarios de incendio dentro de un entorno industrial simulado. El trabajo se inició con la planificación de la arquitectura general de la red, en donde se definió la distribución de los nodos

sensores, el esquema que sería utilizado para la transmisión de los datos y la forma en la que estos se integrarían con los sistemas centrales de supervisión. Esta etapa permitió establecer una base de carácter estructurado para el desarrollo del sistema, asegurando que exista coherencia entre los diferentes componentes que forman parte de la solución propuesta.

Posteriormente, se procedió a la implementación de los nodos sensores inalámbricos, los cuales fueron configurados para adquirir información correspondiente a las variables ambientales que fueron previamente seleccionadas. Cada uno de los nodos fue integrado a la red de comunicación mediante un esquema de transmisión de tipo periódico, lo que permitió el envío constante de datos hacia el nodo receptor sin que sea necesario mantener enlaces de comunicación continuos. Esta decisión contribuyó a facilitar la estabilidad de la comunicación y permitió evaluar el comportamiento de la red bajo condiciones de laboratorio controladas.

Una vez establecida la comunicación entre los nodos sensores y el nodo central, se trabajó en la integración de la red con la infraestructura de procesamiento y visualización. La información transmitida por la red de comunicación de sensores inalámbricos fue organizada, almacenada y presentada de manera estructurada, durante las pruebas realizadas en el entorno de laboratorio. Este proceso se desarrolló de forma gradual, verificando en cada etapa la correcta recepción y consistencia de los datos.

Finalmente, la propuesta fue validada a través de la realización de diversas pruebas desarrolladas en un entorno de laboratorio que simula las condiciones de un área industrial, en el cual se analizó el funcionamiento de la red de comunicación de sensores inalámbricos en aspectos relacionados con la continuidad de la transmisión de datos, la estabilidad de la señal y la correcta visualización de la información, estableciéndose de esta manera una base funcional que puede ser considerada para la implementación de futuras mejoras al sistema.

Nodos sensores inalámbricos

Los nodos sensores constituyen la base sobre la cual se estructura la red de comunicación de sensores inalámbricos. Cada uno de estos nodos se encuentra conformado por un microcontrolador ESP32 y por un conjunto de sensores de tipo ambiental, los cuales se encargan de medir variables que resultan relevantes para el sistema, tales como la temperatura, la presencia de humo y la concentración de gases. Dichos nodos son distribuidos dentro del entorno simulado con la finalidad

de representar distintos puntos de monitoreo correspondientes a un área de carácter industrial.

El ESP32 actúa como una unidad de procesamiento a nivel local, siendo el encargado de realizar la adquisición de las señales que provienen de los sensores y de preparar los datos correspondientes para su posterior transmisión de manera inalámbrica. Los nodos sensores funcionan bajo el esquema de beacons BLE, transmitiendo la información de forma periódica hacia el nodo host, sin que se establezcan conexiones persistentes entre los dispositivos, lo cual contribuye a mejorar la eficiencia energética general de la red.

Sensores ambientales

Los sensores ambientales integrados en los nodos sensores permiten la captura de información asociada a posibles escenarios de incendio. Entre los sensores utilizados se incluyen sensores de temperatura y sensores de gas. Estos dispositivos convierten las variaciones físicas o químicas del entorno en señales eléctricas que pueden ser procesadas por el microcontrolador.

La selección de estos sensores responde a la necesidad de realizar el monitoreo de variables que se encuentran comúnmente asociadas a condiciones de riesgo de incendio dentro de entornos de carácter industrial. Los datos que son obtenidos a partir de estos sensores son tratados como variables de tipo simulado, lo cual permite evaluar el comportamiento de la red de comunicación de sensores inalámbricos sin que sea necesario involucrar eventos reales durante el proceso de análisis.

Prototipo del Módulo Beacon(ESP32+ MQ-5 +DHT11)

La integración de los sensores con el microcontrolador ESP32 se realizó con el propósito de conformar nodos fijos emisores dentro de la red de comunicación de sensores inalámbricos. Cada prototipo Beacon se construyó incorporando un sensor de gas MQ-5 y un sensor de temperatura DHT11, conectados directamente a las entradas correspondientes del ESP32. Esta configuración permitió la adquisición continua de las variables ambientales seleccionadas, garantizando que la información generada por cada nodo representara de manera consistente las condiciones del entorno simulado.

Una vez integrados los sensores, el ESP32 fue configurado para operar como un nodo Beacon, transmitiendo de forma periódica los datos adquiridos mediante

comunicación inalámbrica. Cada nodo emisor funciona de manera independiente y permanece fijo dentro del entorno de laboratorio, lo que facilita la identificación de los puntos de monitoreo dentro de la red. Esta disposición permitió evaluar el comportamiento de la red de comunicación de sensores inalámbricos en términos de transmisión de datos y estabilidad de la comunicación, manteniendo una estructura simple y adecuada para el monitoreo del entorno industrial simulado.

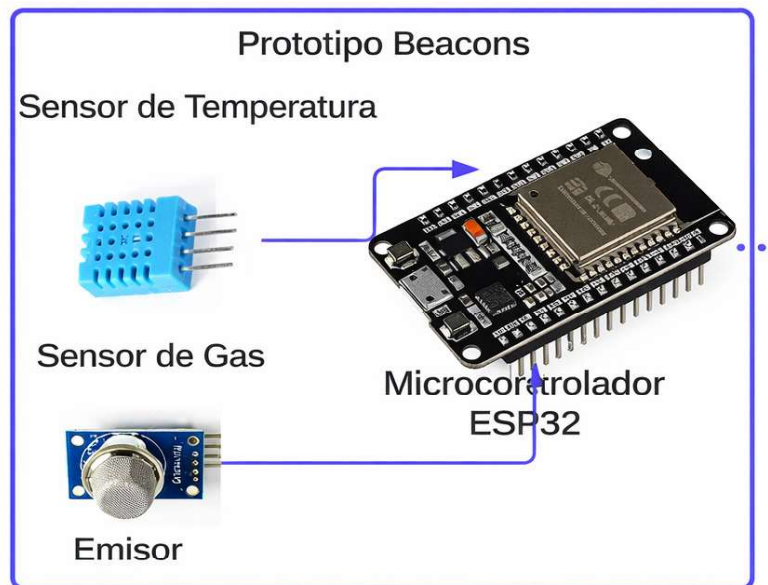


Figura 5: Conexión Beacons

Nodo host de comunicación

El nodo host constituye un componente clave dentro de la red de comunicación de sensores inalámbricos, debido a que actúa como un punto de enlace entre la comunicación basada en BLE utilizada por los nodos sensores y la infraestructura central que opera mediante conectividad Wi-Fi. Este nodo también se encuentra implementado a través de un microcontrolador ESP32, el cual ha sido configurado para recibir las tramas de datos que son transmitidas por los nodos sensores que forman parte del sistema.

Una vez que la información es recibida, el nodo host se encarga de procesar los datos y de transmitirlos posteriormente mediante conectividad Wi-Fi hacia las plataformas centrales de procesamiento del sistema. Esta arquitectura de tipo híbrida permite aprovechar, por una parte, las ventajas que ofrece la tecnología BLE para la comunicación de corto alcance y bajo consumo energético, y, por otra parte, las capacidades de Wi-Fi para la transmisión de los datos hacia sistemas que cuentan con una mayor capacidad de procesamiento.

Nodo Host BLE (ESP32)

Una vez implementados los beacons fijos, se procede al desarrollo del host central, también basado en un módulo ESP32, que actúa como receptor de los datos transmitidos por los beacons mediante tecnología BLE, como se muestra en la figura 6.

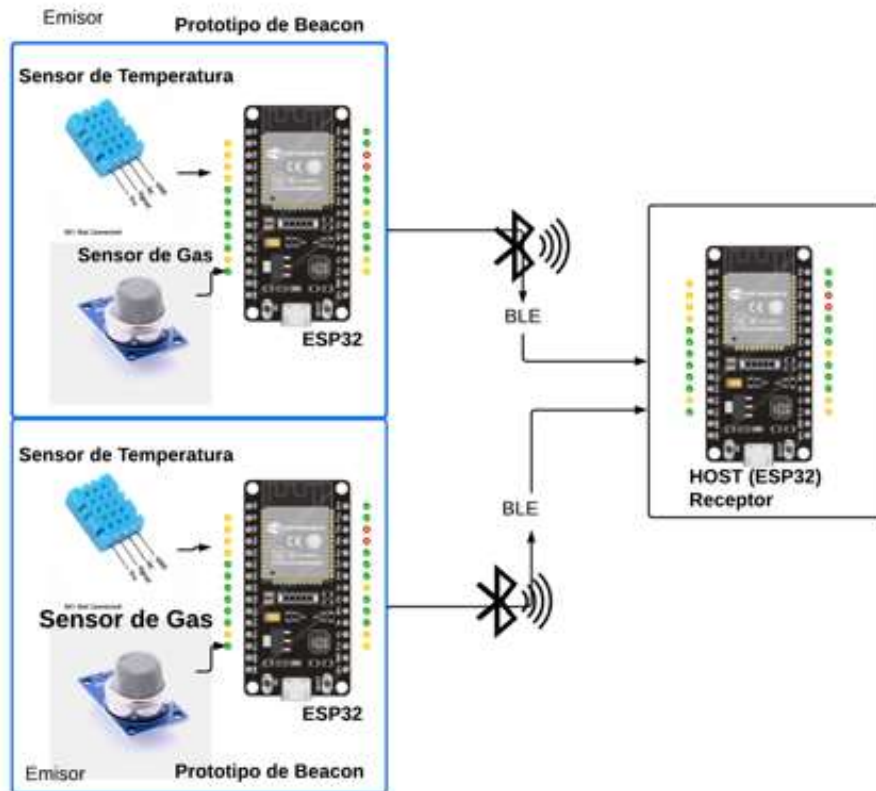


Figura 6: Conexión Host

El nodo host fue implementado como el elemento central encargado de recibir la información que es transmitida por los nodos Beacon fijos que conforman la red de comunicación de sensores inalámbricos. Dicho nodo fue configurado para operar como receptor de las tramas de datos enviadas mediante la tecnología Bluetooth Low Energy (BLE), lo que permite realizar la recopilación continua de la información que es generada por los sensores distribuidos dentro del entorno simulado. La función principal del nodo host consiste en concentrar los datos que provienen de múltiples nodos emisores, asegurando su correcta recepción y una organización básica de la información antes de que esta sea enviada hacia los sistemas centrales del sistema.

Una vez que se recibe la información esta se la procesa y es proveniente de los beacons, por lo que el nodo host transmite los datos hacia la infraestructura

central utilizando conectividad Wi-Fi. Esta comunicación es la que facilita el envío de la información al sistema basado en Raspberry Pi 4, aquí es donde se almacenan y gestionan para luego integrarse en el entorno industrial. La utilización de BLE para la comunicación entre sensores y Wi-Fi para el enlace hacia la infraestructura central es la que permite mantener una arquitectura lo suficientemente equilibrada dentro de la red de comunicación de sensores inalámbricos, con ello se aprovechan las ventajas de cada tecnología, por lo que se garantiza la continuidad del flujo de información.

Infraestructura central basada en Raspberry Pi 4

La infraestructura central de la propuesta esta formada por dos dispositivos Raspberry Pi 4, cada uno con funciones se encuentran definidas de forma clara dentro del sistema. La primera Raspberry Pi 4 es el que ejecuta la plataforma Home Assistant, la cual se encarga de poder integrar y visualizar el estado general de la red de comunicación de sensores inalámbricos.

Sobre la segunda Raspberry Pi 4 esta tiene la función de alojar la base de datos MariaDB y la plataforma Node-RED, ya que éstas son las que permiten realizar el almacenamiento de los datos de forma estructurada, al igual que gestión de los flujos de información que provienen del nodo host. Por lo que esta separación de funciones dentro del sistema contribuye a mantener una arquitectura más ordenada al mismo tiempo que facilita las tareas de mantenimiento y administración de todo el sistema.

Transmisión hacia Home Assistant

En lo que respecta a la transmisión hacia Home Assistant, los datos enviados desde el nodo host hacia la Raspberry Pi 4 se realizaron mediante comunicación inalámbrica a través de la red Wi-Fi, lo cual permitió establecer un enlace que se mantuvo estable entre la red de comunicación de sensores inalámbricos y la plataforma central de integración.⁷

La Raspberry Pi 4, sobre la cual se ejecuta la plataforma Home Assistant, recibe los datos que son transmitidos por el nodo host y los incorpora al sistema para su gestión y supervisión. Home Assistant actúa como una plataforma de apoyo dentro de la arquitectura IIoT implementada, permitiendo verificar que la información sea recibida de forma correcta y facilitando la integración con otros componentes que forman parte del sistema. Esta etapa asegura que los datos generados por la red de

comunicación de sensores inalámbricos se encuentren disponibles para su posterior almacenamiento y utilización dentro del entorno industrial simulado, manteniendo la coherencia y la estabilidad en la transmisión de la información.

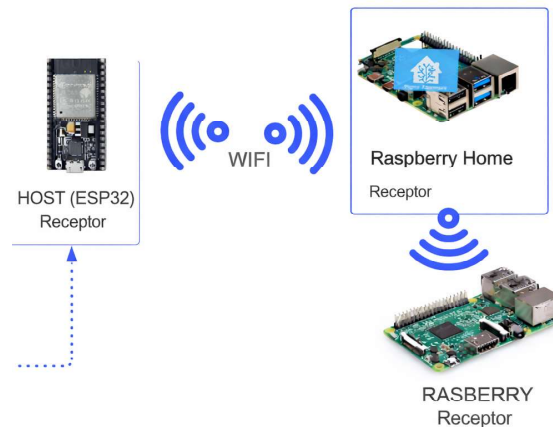


Figura 7: Conexión Home Assistant

Plataforma de procesamiento y almacenamiento de datos

Node-RED se utiliza como herramienta para la gestión de los flujos de datos dentro de la arquitectura IIoT, permitiendo recibir, procesar y redirigir la información proveniente de la red de comunicación de sensores inalámbricos. Esta plataforma facilita la integración entre los nodos sensores, la base de datos y los sistemas de visualización.

MariaDB actúa como sistema de almacenamiento, registrando de forma histórica los datos transmitidos por la red. El almacenamiento de esta información permite analizar el comportamiento del sistema durante las pruebas realizadas y evaluar la estabilidad de la comunicación inalámbrica.

PLC e interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Como parte de la propuesta planteada, la red de comunicación de sensores inalámbricos se integra con un PLC y con una HMI de tipo industrial. El PLC recibe la información que ha sido previamente procesada, lo que permite su posterior integración con otros sistemas industriales, mientras que la HMI se encarga de facilitar la visualización de las variables que son monitoreadas en tiempo real.

La HMI proporciona al usuario una representación que resulta clara del estado general del sistema y de las variables ambientales simuladas, permitiendo de esta manera la supervisión del entorno monitoreado, sin que se ejecuten acciones de control ni respuestas automáticas dentro del sistema.

Entorno de laboratorio

Todos los componentes de la propuesta son implementados y evaluados en un entorno de laboratorio controlado que simula un área industrial. Este entorno permite distribuir los nodos sensores, el nodo host y la infraestructura central de manera representativa, evaluando el desempeño de la red de comunicación de sensores inalámbricos bajo condiciones seguras y reproducibles.

3.2.2. Configuración de Software

Programación con ESPHome

ESPHome es un entorno de desarrollo que se encuentra diseñado con el objetivo de simplificar la configuración y la gestión de dispositivos que se basan en microcontroladores ESP32, permitiendo una integración de tipo nativa, modular y escalable con la plataforma Home Assistant. Su enfoque facilita la implementación de soluciones orientadas al IoT mediante una estructura que resulta clara y organizada, siendo adecuada para sistemas de monitoreo que se apoyan en redes de comunicación de sensores inalámbricos.

La utilización de ESPHome se basa en una interfaz de configuración declarativa en formato YAML (Yet Another Markup Language), la cual permite especificar de manera estructurada los periféricos integrados, los protocolos de comunicación empleados y los parámetros asociados a la adquisición y transmisión de datos. Esta configuración puede observarse en la figura correspondiente al anexoA.1, donde se detalla la estructura general del archivo de configuración utilizado.

En la figura del anexoB.1 se presenta el código que establece la configuración de un ESP32 como nodo host cliente BLE dentro del entorno ESPHome, con el objetivo de integrarlo a Home Assistant. La función principal de este nodo host es enlazarse con dos dispositivos Beacon fijos, también implementados sobre ESP32, para recibir en tiempo real los datos generados por los sensores y posteriormente transmitirlos mediante la red Wi-Fi hacia Home Assistant para su supervisión y visualización.

Cada beacon remoto transmite una cadena de datos que incluye los valores de temperatura, obtenidos mediante el sensor DHT11, y de gas, medidos por el sensor MQ-5. El ESP32 configurado como nodo host actúa como cliente BLE, escaneando y conectándose a los dispositivos remotos previamente definidos a través de sus direcciones MAC (tbeacon1 y tbeacon2). Una vez establecida la conexión, el host accede a una característica BLE común, identificada mediante un UUID específico, desde la cual se reciben los datos en formato de cadena de texto.

Mediante el uso de expresiones lambda programadas en lenguaje C++, el nodo host realiza la interpretación de la información que es recibida, procediendo a la extracción y conversión de los valores correspondientes a temperatura y gas, con el fin de presentarlos como sensores individuales dentro de la plataforma Home Assistant. Cada uno de estos sensores funciona con un intervalo de actualización establecido en cinco segundos, lo cual permite llevar a cabo un monitoreo que puede considerarse casi continuo de las variables presentes en el entorno simulado.

La conexión Wi-Fi garantiza el acceso a los datos desde cualquier dispositivo vinculado a Home Assistant, mientras que las funciones de actualización remota (Over-The-Air, OTA) y la capa de comunicación mediante API permiten la gestión y actualización segura del firmware del sistema. De esta manera, el código implementado define la lógica principal del nodo host dentro del sistema basado en ESP32, integrando sensores distribuidos mediante BLE y asegurando la interoperabilidad con plataformas de automatización a través de la red Wi-Fi.

Configuración de Home Assistant

La plataforma Home Assistant constituye el núcleo principal para la integración y la supervisión de los datos que son capturados por la red de comunicación de sensores inalámbricos. Para cumplir con este propósito, se implementó Home Assistant OS sobre una Raspberry Pi 4, la cual fue seleccionada considerando su capacidad de procesamiento, su bajo consumo energético y su compatibilidad con sistemas relacionados con automatización e IIoT. Esta plataforma permite centralizar la información que es recibida desde los nodos sensores y facilita su visualización en tiempo real dentro del sistema.

La instalación de Home Assistant se realizó mediante una imagen preconfigurada, cargada en una tarjeta microSD y posteriormente inicializada en la Raspberry Pi 4. Una vez conectado el sistema a la red local, se llevó a cabo la configuración inicial a través de un navegador web, tal como se muestra en la figura del anexoA.2. Tras

esta etapa, se integró el complemento ESPHome, el cual permite la comunicación y gestión de dispositivos basados en ESP32 conectados mediante BLE y Wi-Fi.

A través de ESPHome se definieron los archivos de configuración en formato YAML que establecen los parámetros de red y las características del nodo host. Este nodo actúa como un cliente BLE, estableciendo el enlace con los Beacons fijos a través de sus direcciones MAC y realizando la decodificación de las tramas de datos que corresponden a las variables que son monitoreadas, tales como la temperatura y el nivel de gas. La información que es recibida se envía posteriormente hacia la plataforma Home Assistant mediante la red Wi-Fi, donde los datos son procesados y presentados al usuario para su visualización.

Finalmente, se configuraron tableros de control dentro de Home Assistant para la visualización de las variables monitoreadas, permitiendo una interpretación clara del estado del sistema y de las zonas supervisadas, como se observa en la figura A.3. Adicionalmente, se procedió a la integración del complemento MariaDB como base de datos principal del sistema, lo cual permite realizar el almacenamiento de las lecturas de manera estructurada en forma de series temporales y facilita el análisis histórico de la información obtenida durante las distintas pruebas y validaciones que fueron realizadas.

Integración con MariaDB

En lo que respecta a la estructura del sistema de monitoreo basado en tecnología Beacon y comunicación inalámbrica, la gestión eficiente de los datos recolectados constituye un aspecto fundamental. Por esta razón, se incorporó MariaDB como motor de base de datos relacional, implementado dentro del entorno de Home Assistant y ejecutado sobre una Raspberry Pi 4, la cual opera como servidor principal del sistema.

Una vez que el sistema operativo de la Raspberry Pi fue inicializado y se realizó la configuración correspondiente para el acceso a la plataforma Home Assistant, se procedió posteriormente a la instalación del complemento oficial de MariaDB desde la tienda de complementos disponible en el supervisor. Esta integración permitió sustituir la base de datos SQLite que se utiliza de manera predeterminada, la cual presenta ciertas limitaciones cuando se trabaja con grandes volúmenes de datos, por un sistema que resulta más robusto y más adecuado para el almacenamiento, gestión y consulta de información histórica generada por el sistema.

La configuración de MariaDB se realizó mediante la definición de parámetros

básicos como credenciales de acceso, nombre de la base de datos y puerto de comunicación. Tras la activación del servicio, Home Assistant redirige los registros históricos de sensores, estados y eventos hacia MariaDB, tal como se observa en la figura del anexoA.4. Este proceso garantiza un almacenamiento estructurado y persistente de la información generada por el sistema.

La integración de MariaDB permite almacenar las variables provenientes de los nodos Beacon fijos y móviles, transmitidas vía BLE al nodo host basado en ESP32. Entre estas variables se incluyen la temperatura ambiental que es medida por el sensor DHT11, la concentración de gases inflamables que es detectada por el sensor MQ-5, así como otras señales que se encuentran asociadas al monitoreo del entorno. Gracias a este proceso de almacenamiento, se facilita la realización del análisis temporal de los datos, el seguimiento de tendencias a lo largo del tiempo y la trazabilidad de eventos que pueden encontrarse relacionados con condiciones de riesgo dentro del entorno industrial que ha sido simulado.

Cuadro 7: Variables Monitoreadas por Área

Bodega	Proceso	Cuarto
Humo	Humo 2	Humo 3
Temperatura	CO	Temperatura 3
	Temperatura 2	Humedad

Visualización de Variables

En la figura8 se muestra una interfaz Hombre-Máquina (HMI) de la marca Delta en operación, correspondiente a un sistema de monitoreo de incendios industriales basado en una red de comunicación de sensores inalámbricos. La pantalla evidencia que los nodos sensores inalámbricos se encuentran activos y transmitiendo información de manera continua hacia el sistema central, permitiendo la supervisión en tiempo real del entorno industrial simulado.

En el área central de la interfaz se visualizan los valores numéricos de las variables ambientales obtenidas por los sensores distribuidos en la red de comunicación de sensores inalámbricos, tales como el nivel de humo, la humedad relativa y la temperatura. Estas lecturas son recibidas desde los nodos sensores, procesadas por el sistema de integración y presentadas al operador de forma clara, lo que permite conocer el estado actual de cada zona monitoreada.

Adicionalmente, en el lateral derecho de la pantalla se presentan indicadores gráficos de nivel, asociados a cada una de las variables monitoreadas, los cuales

facilitan una interpretación rápida del comportamiento de los datos transmitidos por la red de sensores inalámbricos. La interfaz también incorpora un indicador visual de alarma, representado mediante una baliza, que actúa como señal de advertencia ante valores que pueden asociarse a condiciones de riesgo.

En la parte superior de la HMI se muestra información general del sistema, como el nombre del proyecto, la fecha y la hora, mientras que en la parte inferior se incluyen elementos de navegación para el acceso a otras pantallas de supervisión. En conjunto, la imagen refleja el funcionamiento integrado de la red de comunicación de sensores inalámbricos, el PLC y la HMI, permitiendo la visualización centralizada y en tiempo real de las variables críticas dentro del entorno industrial simulado.



Figura 8: Variables HMI

3.2.3. Integración de redes y protocolos de comunicación

Bluetooth Low Energy (BLE)

La comunicación entre los nodos Beacon fijos y el nodo host se establece mediante Bluetooth Low Energy (BLE), tecnología que proporciona un enlace inalámbrico de bajo consumo energético y latencia reducida. Esta característica resulta adecuada para la red de comunicación de sensores inalámbricos, ya que contribuye a optimizar la autonomía de los nodos sensores y a mantener una transmisión estable en entornos con presencia de interferencias electromagnéticas propias del contexto

industrial simulado.

Protocolo Ethernet en entornos industriales

El protocolo Ethernet constituye el principal medio utilizado para el intercambio de datos entre la Raspberry Pi, el controlador lógico programable (PLC) y la interfaz Hombre-Máquina (HMI). Su implementación dentro del sistema permite que la transmisión de la información se realice de manera confiable y estable, garantizando así la correcta transferencia de los datos que son generados por la red de comunicación de sensores inalámbricos hacia los sistemas destinados a la integración y visualización en el entorno industrial.

3.2.4. Pruebas de funcionamiento

Para verificar el correcto funcionamiento general del sistema, se llevaron a cabo pruebas de conectividad utilizando las tecnologías BLE y Wi-Fi, así como simulaciones relacionadas con incrementos en los valores de temperatura y en la concentración de gases. De manera adicional, se realizaron pruebas que incluyeron la desconexión de distintos módulos, con la finalidad de observar el comportamiento del sistema frente a pérdidas temporales de comunicación y evaluar la forma en que se gestiona la aparición de errores durante la operación.

Las pruebas que fueron realizadas permitieron confirmar que el sistema es capaz de mantener la transmisión de los datos de manera consistente, y que la información obtenida es visualizada de forma correcta tanto en la plataforma Home Assistant como en la interfaz HMI del sistema. De igual manera, los eventos que se generaron durante el desarrollo de las pruebas fueron registrados en la base de datos MariaDB y posteriormente procesados por el PLC, lo cual permitió validar el funcionamiento general de la red de comunicación de sensores inalámbricos dentro de un entorno industrial simulado.

Validación de la comunicación BLE

La validación de la comunicación mediante BLE se llevó a cabo a través de la realización de pruebas de conexión entre los nodos Beacon y el nodo host, lo cual permitió evaluar aspectos como la estabilidad del enlace, los tiempos de latencia y el alcance de la comunicación dentro de un entorno que presenta interferencias

electromagnéticas propias de instalaciones industriales. Estas pruebas hicieron posible verificar la consistencia en la recepción de los paquetes de datos transmitidos, así como la capacidad del sistema para recuperarse frente a pérdidas temporales de señal durante su operación.

Análisis del desempeño energético

Se llevó a cabo el registro del consumo energético correspondiente a los dispositivos ESP32 bajo diferentes modos de operación, tales como el estado de reposo, la transmisión de datos y los procesos asociados a la reconexión mediante tecnología BLE. A partir de los registros obtenidos fue posible evaluar el comportamiento energético de los nodos sensores, lo cual permitió definir configuraciones de transmisión que resulten más adecuadas y seleccionar fuentes de alimentación apropiadas, con la finalidad de mejorar la eficiencia energética de la red de comunicación de sensores inalámbricos implementada.

CAPÍTULO IV

4. Resultados, Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Resultados Obtenidos

En lo siguiente, se expone el análisis detallado de cada una de las etapas llevadas a cabo durante el desarrollo del sistema, junto con los resultados obtenidos. Asimismo, se incluyen las pruebas efectuadas bajo condiciones controladas dentro del entorno de laboratorio. Esta metodología posibilitó una evaluación precisa del desempeño del sistema dentro de un escenario que reproduce de manera representativa las condiciones de un entorno industrial simulado.

Contexto del Entorno de Evaluación

El entorno de evaluación fue implementado dentro del laboratorio de Automatización, en el cual se recrearon condiciones que resultan representativas de un área industrial, mediante la incorporación de distintos obstáculos físicos como paredes, mobiliario y estructuras metálicas presentes en el espacio. En este escenario se procedió al despliegue de una red de comunicación de sensores inalámbricos basada en tecnología Beacon, la cual estuvo conformada por nodos fijos equipados con sensores MQ-5 y DHT11, integrados a microcontroladores ESP32.

Los nodos emisores fueron distribuidos de manera estratégica en diferentes zonas del laboratorio, con la finalidad de simular puntos de monitoreo propios de un entorno industrial. Por su parte, el nodo receptor o nodo host fue ubicado en un módulo principal del sistema, siendo el encargado de recibir la información transmitida a través de Bluetooth Low Energy (BLE) y reenviarla posteriormente, mediante la red Wi-Fi, hacia una Raspberry Pi, donde los datos fueron procesados y almacenados como parte de la arquitectura IIoT implementada.

4.2. Análisis del Desempeño del Sistema

Validación de Precisión de Sensores

Se llevaron a cabo pruebas orientadas a evaluar la precisión y la estabilidad de los sensores DHT11 y MQ-5 que se encuentran integrados en cada nodo Beacon. Las lecturas obtenidas por dichos sensores fueron monitoreadas en tiempo real mediante la interfaz del sistema y posteriormente comparadas con los valores proporcionados por instrumentos de referencia, con el fin de verificar su comportamiento durante el proceso de medición. Los resultados evidenciaron que las mediciones de temperatura, humedad y concentración de gas se mantuvieron dentro de márgenes aceptables, lo que confirma la confiabilidad del proceso de adquisición de datos dentro de la red de comunicación de sensores inalámbricos.

Análisis de la Potencia de Señal (RSSI)

Se realizaron mediciones correspondientes a la intensidad de la señal, expresada en términos de RSSI, en diferentes puntos del laboratorio, con el propósito de identificar aquellas zonas en las que se presenta una menor cobertura y de evaluar la calidad de la comunicación existente entre los nodos Beacon y el nodo host. Los resultados obtenidos evidenciaron variaciones en la potencia de la señal que se encuentran relacionadas tanto con la distancia entre los dispositivos como con la presencia de obstáculos físicos en el entorno, constituyendo esta información un elemento relevante para la optimización de la ubicación de los nodos y para garantizar una conectividad que se mantenga estable durante la operación del sistema.

La Figura 9 presenta los valores de RSSI obtenidos en distintas zonas del laboratorio, donde los valores más negativos corresponden a una señal más débil y permiten identificar áreas susceptibles a pérdida de conectividad.

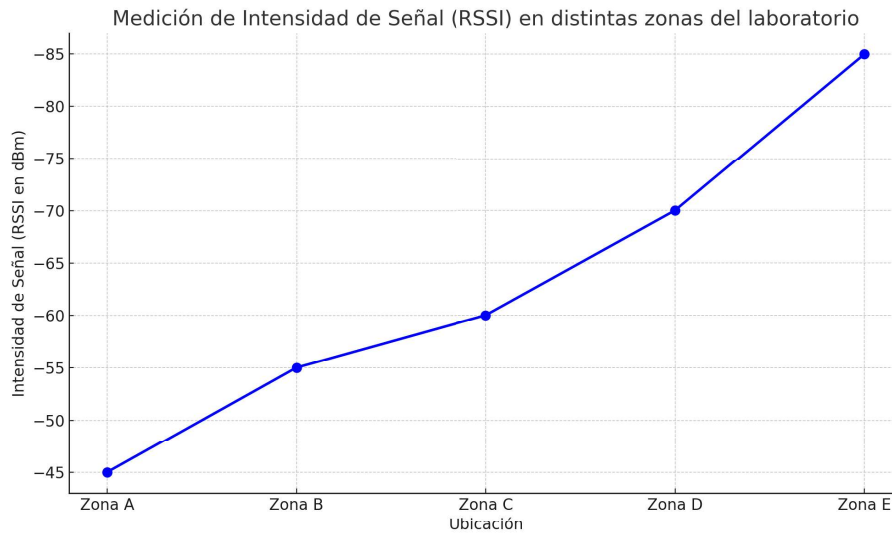


Figura 9: Intensidad de señal (RSSI) en distintas zonas

Cuadro 8: Medición de la intensidad de señal (RSSI)

Zona	RSSI (dBm)
Entrada	-45
Centro del Laboratorio	-50
Esquina 1	-65
Esquina 2	-60

Transmisión de Datos y Visualización

Se evaluó la transmisión de datos desde los nodos Beacon hacia la Raspberry Pi con Home Assistant y su posterior almacenamiento en la base de datos MariaDB. Se verificó que los datos adquiridos por los sensores fueron correctamente interpretados y visualizados en la interfaz HMI desarrollada en DOPSoft, así como su adecuada integración con el PLC mediante comunicación Ethernet.

El análisis realizado en función de la distancia evidenció una relación inversa entre el alcance de transmisión y la cantidad de datos recibidos correctamente. A distancias cortas se obtuvo una transmisión estable, mientras que a mayores distancias se observaron pérdidas progresivas de paquetes, atribuibles a la atenuación de la señal BLE y a las condiciones del entorno como se muestra en la figura10.

Este comportamiento resulta coherente con las limitaciones propias e inherentes de la tecnología BLE, la cual se encuentra diseñada principalmente para comunicaciones de corto alcance y bajo consumo energético, y pone en evidencia la

importancia de realizar una planificación adecuada de la red cuando se pretende su implementación en entornos industriales reales, donde las condiciones pueden ser más exigentes y variables.

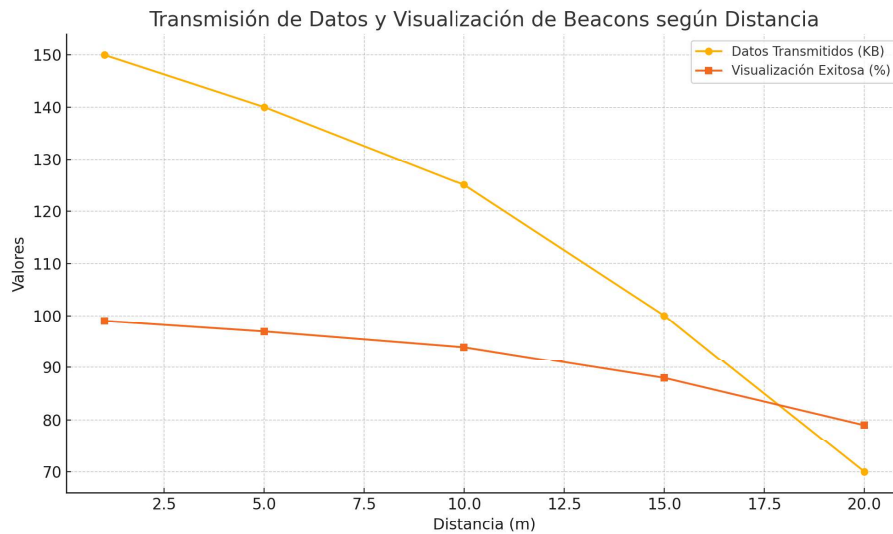


Figura 10: Transmisión de Datos y Visualización de los beacons

La tabla9 obtenida muestra la relación inversa existente entre la distancia de transmisión y la cantidad de datos recibidos correctamente. A una distancia de 1 metro se registra un flujo cercano a los 150 KB, por lo que se demuestra con ello una conexión estable, sin pérdidas relevantes. En cambio, a 5 metros se aprecia una ligera disminución en la transmisión de datos, atribuida a la atenuación de la señal, pero igual se mantiene un nivel de desempeño aceptable.

Es necesario tener en consideración que, a una distancia de 10 metros, el descenso en el comportamiento de la señal se vuelve más pronunciado. Al alcanzar una distancia de 15 metros, la señal comienza a presentar interferencias y una pérdida parcial de paquetes, por lo que se registra una recepción que se reduce aproximadamente a 60 KB. Para los 20 metros, la eficiencia del sistema cae de forma significativa, con datos cercanos a los 30 KB, esto indica básicamente una degradación del enlace BLE.

Cuadro 9: Transmisión de Datos y Visualización en función de la distancia

Distancia (m)	Datos Transmitidos (KB)	Visualización Exitosa (%)
1	150	99
5	140	97
10	125	94
15	100	88
20	70	79

Este comportamiento se explica por la limitación de potencia y alcance intrínseca del protocolo BLE, que está diseñado para comunicaciones de bajo consumo que su vez tienen un corto alcance. También existen factores ambientales como es el caso de: paredes, mobiliario y obstáculos propios del entorno de prueba (laboratorio de Automatización) los cuales influyen directamente en la calidad de la señal.

Desde una perspectiva técnica esta prueba resulta esencial para establecer el alcance operativo real del sistema, dado que permite optimizar la ubicación de los Beacons, o ya sea en caso de requerir mayor cobertura lo que se necesaria sería implementar mecanismos de repetición o arquitecturas en malla que garanticen la transmisión de datos sin degradar la integridad de esta.

Rendimiento del Sistema de Monitoreo

En el proceso de validación experimental, los sensores DHT11 y MQ-5 mostraron un comportamiento lo suficientemente estable en cuanto la adquisición de los datos. Las mediciones correspondientes a la temperatura presentaron un margen de error inferior a ± 1 °C en contraste con el instrumento de referencia utilizado, alcanzándose una tasa de efectividad aproximada del 94 %. Por su parte, el sensor MQ-5 logró una detección efectiva en un rango de distancia comprendido entre lo que vendría ser 4 y 6 metros, registrando un nivel de desempeño cercano al 91 %.

Transmisión de datos vía BLE: Se evaluaron los niveles de señal (RSSI) a distancias comprendidas entre: 2, 4, 6, 8 y 10 m, observándose una atenuación progresiva desde -50 dBm hasta -80 dBm, en sintonía con el comportamiento característico de la tecnología BLE. A pesar de la reducción de señal por debajo de -75 dBm, se mantuvo la comunicación, registrándose pérdidas de datos inferiores a tan solo un 5 %.

Visualización e Interfaz HMI

La interfaz desarrollada en el entorno DOPSoft presentó la visualización de los datos en tiempo real correspondientes a cada Beacon, incluyendo variables como la temperatura y la detección de movimiento, así como la incorporación de una gráfica de tipo histórico que permitió evaluar las variaciones térmicas registradas a lo largo del tiempo. Durante las pruebas realizadas, se confirmó que existió una correcta sincronización de los datos que fueron recibidos por el sistema, sin evidenciarse la presencia de saltos ni interrupciones visibles en la información mostrada.

Latencia del Sistema

El retardo promedio entre la adquisición del dato por el Beacon y su visualización en el HMI fue de 600–1200ms, con algunos picos de hasta 1800ms atribuibles a la carga de red o interferencias internas, siendo un tiempo que resulta aceptable para aplicaciones de monitoreo en tiempo real no críticas.

Consumo Energético

Con el uso de BLE y microcontroladores optimizados, cada Beacon demostró una autonomía que puede llegar hasta las 72 horas utilizando baterías Li-ion de 100mAh, demostrando que puede usarse en zonas de difícil acceso o donde no exista infraestructura eléctrica.

Cuadro 10: Estudio del intervalo de envío de datos en Beacons BLE

Parámetro	Valor
Intervalo promedio entre transmisiones	800 ms
Desviación estándar	± 210 ms (presencia de interrupciones)
Intervalo más corto registrado	500 ms
Intervalo más largo registrado	1800 ms
Total de registros analizados	2500 paquetes de datos

Observaciones técnicas:

- Los valores más largos fueron detectados ante condiciones de interferencia ambiental o en el caso de picos de carga de red.
- El intervalo promedio se mantiene dentro del rango ideal en aplicaciones no críticas.

- La desviación estándar refleja una variabilidad tolerable, la cual no compromete la estabilidad del sistema como tal.

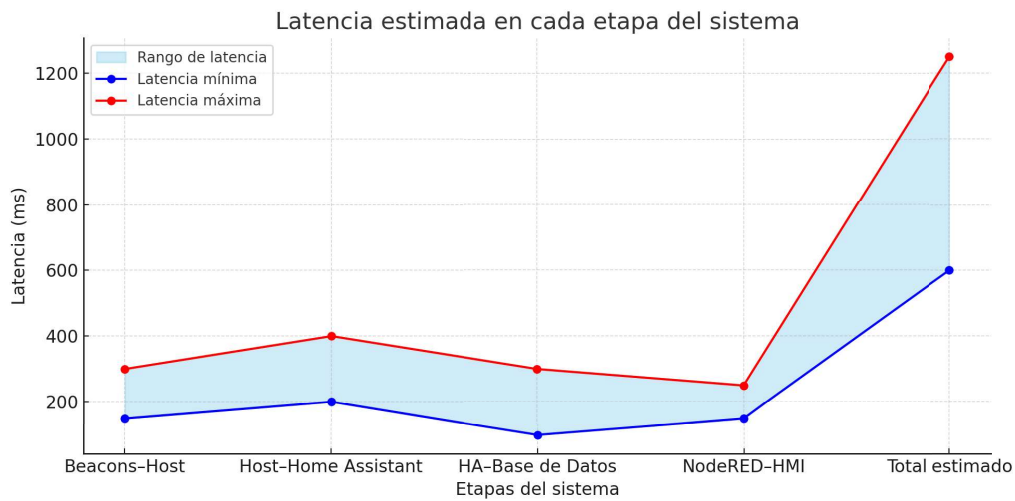


Figura 11: latencia estimada entre los distintos componentes del sistema

La figura 11 representa el comportamiento estimado de la latencia acumulada a lo largo de los distintos tramos de comunicación del sistema de monitoreo con tecnología Beacon y visualización HMI. Cada tramo del sistema presenta un rango de latencia asociado, expresado en milisegundos (ms), lo que permite identificar los puntos críticos en el flujo de datos.

Cuadro 11: Latencia Estimada entre Componentes del Sistema

Tramo	Latencia	Observaciones
Beacons-Host	150-300 ms	Comunicación BLE
Host-Home Assistant	200-400 ms	Red local (Wi-Fi)
HA-Base de Datos	100-300 ms	Carga de CPU
NodeRED-HMI	150-250 ms	Protocolo HMI
Total estimado	600-1250 ms	Latencia acumulada

Beacons Host: En este primer enlace se registra una latencia reducida, comprendida entre 80 y 150 ms. La comunicación mediante BLE resulta eficiente; no obstante, pueden presentarse ligeras fluctuaciones ocasionadas por interferencias electromagnéticas o colisiones en la banda de 2.4 GHz.

Host-Home Assistant (Wi-Fi / red local): Este tramo depende de la calidad de la red Wi-Fi local, se observa una latencia media entre 200 y 400ms, la misma que esta influenciada por la congestión de red, la estabilidad del canal además de la distancia entre el host y el punto de acceso.

Home Assistant-Base de Datos (MariaDB): Aquí se reflejan tiempos de 100 a 300ms, relacionados con la carga de procesamiento del sistema y la velocidad del almacenamiento, pese a que es un proceso interno los picos de CPU o múltiples conexiones simultáneas podrían causar un retardo más elevado.

En el segmento correspondiente a Node-RED y la HMI, se registraron valores de latencia que se ubicaron entre 150 ms y 350 ms, los cuales se encuentran determinados principalmente por el protocolo que es empleado para la representación de la información, así como por el nivel de complejidad que presenta la interfaz gráfica utilizada. La actualización de la información en tiempo real, especialmente en aquellos casos en los que se producen múltiples eventos de manera simultánea, puede generar la aparición de ligeros retrasos en los tiempos de respuesta del sistema.

En relación con el tiempo total estimado, la suma aproximada de los diferentes tiempos involucrados da como resultado una latencia acumulada que oscila entre 530 ms y 1 200 ms, valor que se mantiene dentro de márgenes considerados aceptables para aplicaciones orientadas al monitoreo en tiempo real. No obstante, resulta recomendable realizar procesos de optimización en aquellos tramos que presentan mayor variabilidad, tales como la red local o la propia interfaz gráfica, con el fin de mejorar el desempeño general del sistema.

Limitaciones

Durante el desarrollo y validación del sistema se identificaron las siguientes limitaciones:

El alcance de la comunicación BLE se ve afectado por obstáculos físicos, presentando degradación de señal significativa a partir de los 8 m.

La latencia acumulada del sistema puede incrementarse cuando se presentan escenarios de alta carga en la red, lo cual puede llegar a afectar la capacidad de respuesta general del sistema durante su operación.

El consumo energético, si bien resulta reducido a nivel de cada nodo individual, puede convertirse en un aspecto que represente un desafío cuando se consideran

despliegues a gran escala con un número elevado de dispositivos operando de manera simultánea.

Sobre la dependencia de la red Wi-Fi esta se ve condicionada por la estabilidad del sistema, dado que su funcionamiento puede verse afectado frente a entornos donde existan redes saturadas o con también exista una alta congestión de tráfico de datos.

La cobertura de variables del sistema también se puede ver limitada por la medición de temperatura además de la detección de gas, esto restringe la caracterización más completa y detallada sobre el entorno que se está monitoreando.

Asimismo, no se realizaron pruebas con usuarios finales fuera del entorno de laboratorio en el cual fue implementado el sistema. Estas limitaciones no comprometen de manera directa la viabilidad general de la solución propuesta; no obstante, permiten evidenciar la existencia de ciertas áreas de mejora que podrían ser consideradas en futuras implementaciones orientadas a escenarios reales y de operación práctica.

Durante los ensayos que se realizaron bajo condiciones de laboratorio controladas, el sistema mostró un comportamiento que se mantuvo estable y con niveles de precisión considerados adecuados para el tipo de aplicación desarrollada. El sensor DHT11 presentó una variación máxima de ± 1 °C en relación con los instrumentos de referencia que fueron utilizados durante las pruebas, alcanzando aproximadamente un 94% de efectividad en las lecturas obtenidas. De forma similar, el sensor MQ-5 evidenció una capacidad de detección dentro de un rango comprendido entre 200 y 10 000 ppm, registrándose únicamente un margen reducido de falsos positivos, los cuales estuvieron asociados principalmente a la presencia de cambios bruscos de temperatura en el entorno donde se realizaron las pruebas.

En lo referente a la calidad de la señal, el enlace BLE mantuvo un comportamiento relativamente consistente hasta una distancia aproximada de 10 metros en condiciones de línea directa, registrándose valores de RSSI que oscilaron entre -50 dBm a una distancia de 2 metros y -80 dBm a una distancia de 10 metros. La comunicación se mantuvo estable dentro de este rango; no obstante, se observaron pérdidas ocasionales de paquetes en zonas donde existían barreras físicas o fuentes de interferencia, lo cual evidencia la conveniencia de optimizar la distribución de los nodos en entornos reales que presenten una mayor complejidad arquitectónica.

El sistema de gestión de datos operó de forma estable, enviando de información de los sensores hacia Home Assistant y Node-RED, con un registro completo en

la base de datos MariaDB. Los datos proporcionados se almacenaron en tiempo real, facilitando su consulta pro medio de la interfaz HMI, cabe mencionar que no se presentaron fallos en la captura ni en el almacenamiento, lo que demuestra una clara solidez del software y su adecuada sincronización con la plataforma de hardware durante la simulación.

El sistema demostró ser técnicamente viable para entornos de monitoreo ambiental y prevención de riesgos como incendios. En cuanto a la precisión sensorial, como se muestra en la figura 12, la estabilidad de la señal BLE y la correcta gestión de datos refuerzan la efectividad del diseño. Aunque, hay que tener en consideración que para una aplicación a gran escala, especialmente en entornos como instalaciones industriales, es esencial realizar pruebas con usuarios finales, optimizar la cobertura de red considerando estrategias de bajo consumo energético para una implementación sostenible y escalable en el tiempo.

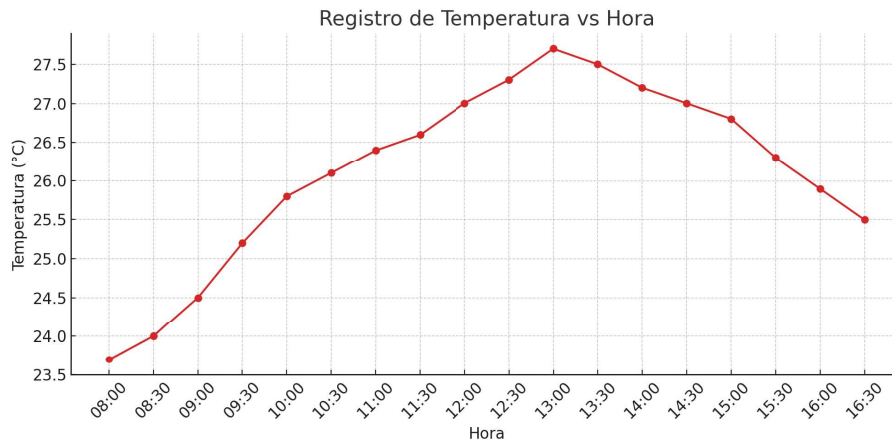


Figura 12: Comportamiento del sensor de Temperatura

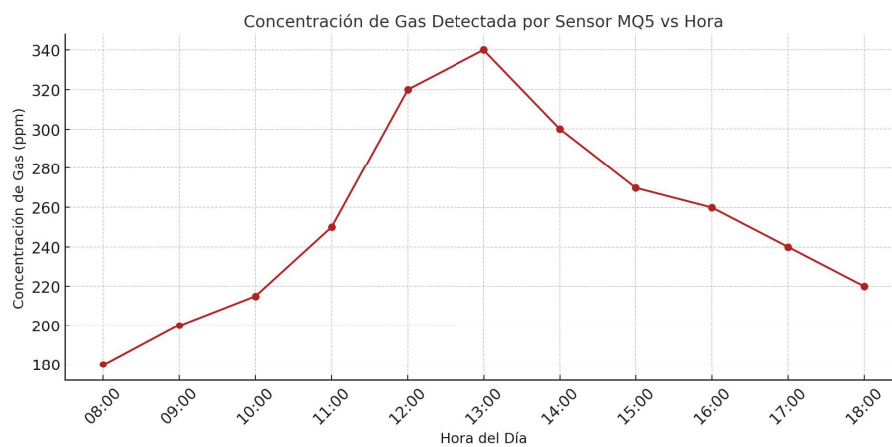


Figura 13: Comportamiento del sensor de Gas

4.3. Conclusiones Generales

- Se logró desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica basado en tecnología IIoT, capaz de monitorear en tiempo real las variables de temperatura y gases combustibles, como parte de una estrategia preventiva contra incendios en entornos industriales controlados.
- El proyecto alcanzó un desempeño estable en la adquisición de datos en tiempo real por medio de los sensores DHT11 (temperatura) y MQ-5 (gas), los cuales operaron en un entorno de pruebas que simuló condiciones industriales habituales, por lo que los errores detectados fueron reducidos significativamente permaneciendo dentro de los límites técnicos aceptables.
- La arquitectura implementada permitió llevar a cabo la integración de los sensores con un sistema central conformado por dispositivos ESP32, una Raspberry Pi y un PLC, asegurando de esta manera que la transmisión de los datos se realice de forma eficiente y continua hacia la base de datos y hacia la interfaz HMI del sistema.
- Se desarrolló una interfaz gráfica que presentó los valores de las variables monitoreadas en tiempo real, en este se incluía el registro histórico de temperatura, umbrales y alertas, lo que facilita la comprensión del usuario hacia el sistema.
- Aunque la prueba se realizó en un entorno controlado con sensores limitados, el sistema es escalable es decir que se pueden incluir más variables y zonas de monitoreo, el diseño modular y el uso de tecnologías estándar lo hacen aplicable para entornos industriales que presenten requerimientos similares.

4.4. Recomendaciones para Trabajos Futuros

- Optimizar la precisión del sistema de alerta: Utilizar sensores de mayor precisión y menor latencia, así como técnicas de filtrado digital (como media móvil), mejoraría la calidad de los datos y reduciría los falsos positivos en el sistema de detección.
- La ampliación del conjunto de sensores constituye una estrategia que resulta clave para incrementar la precisión en la detección temprana de posibles incendios. La incorporación de dispositivos de carácter más especializado, como sensores de llama del tipo infrarrojo (IR flame sensors) o sensores de monóxido y dióxido de carbono (CO-CO), permitiría reforzar la confiabilidad general del sistema, en la medida en que contribuiría a disminuir la presencia de falsos positivos que suelen generarse cuando el monitoreo se basa únicamente en variables como la temperatura y la detección de gases combustibles.
- Reducción del consumo energético mediante deep sleep: Permitirá la optimización del consumo energético durante los periodos de inactividad lo que ayuda al incrementando de autonomía de operación. Este es uno de los aspecto esenciales en despliegues distribuidos o remotos puesto que dependen de baterías o paneles solares, dado que asegura un funcionamiento continuo sin intervenciones.
- Optimización de la topología de red mediante nodos repetidores o gateways: En entornos de gran escala, la integración de nodos intermedios para que operen como repetidores lo que resulta una estrategia para ampliar el alcance y mejorar la cobertura de la red inalámbrica. Esta configuración permite disminuir la pérdida de paquetes en áreas distantes del nodo central Raspberry Pi de forma que se puede asegurar comunicación más estable y continua en todo el sistema.

Referencias

- [1] S. Almarri, H. Al Safwan, S. Al Qisoom, S. Gdaim y A. Zitouni, “Optimized Wireless Sensor Network Architecture for AI-Based Wildfire Detection in Remote Areas,” *Fire*, vol. 8, n.º 7, pág. 245, 2025, Published 25 June 2025. DOI: 10.3390/fire8070245. dirección: <https://www.mdpi.com/2571-6255/8/7/245>.
- [2] J. William, D. White y J. Cole, “Wireless Sensor Networks for Fire Alarms: A Comprehensive Study,” *ResearchGate*, 2020, Publicación disponible en ResearchGate. dirección: https://www.researchgate.net/publication/388198425_Wireless_Sensor_Networks_for_Fire_Alarms_A_Comprehensive_Study.
- [3] N. Varela, D.-M. Jorge L, A. Ospino y N. A. Lizardo Zelaya, “Wireless sensor network for forest fire detection,” *Procedia Computer Science*, vol. 175, págs. 435-440, 2020, The 17th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC),The 15th International Conference on Future Networks and Communications (FNC),The 10th International Conference on Sustainable Energy Information Technology, ISSN: 1877-0509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.07.061>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920317427>.
- [4] D. Mendoza, “Evaluación de sensores de variable física para su aplicación en IoT para la industria,” Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Desarrollo Tecnológico, sep. de 2021. dirección: <https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/112728>.
- [5] M. L. G. Troya, “Diseño y simulación de red de sensores inalámbricos para detección de incendio en Bosque Protector Cerro Blanco de la cordillera Chongón Colonche,” Consultado el 15 de marzo de 2025, Tesis de mtría., Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, mar. de 2019. dirección: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12224>.
- [6] J. R. V. Vilatuña y S. M. R. Meza, “Implementación de un sistema de monitoreo en un terminal portuario multipropósito mediante tecnología basada en industria 4.0,” Consultado el 15 de marzo de 2025, Tesis de mtría., Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), FIEC, 2023. dirección: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57287>.
- [7] S. Jang, G. Jiang e I. Joe, “A Dual-mode Beacon Profile for Normal and Disaster Environments,” en *Mobile and Wireless Technologies 2016*, Springer, 2016, págs. 59-68. DOI: 10.1007/978-981-10-1409-3_7. dirección: https://doi.org/10.1007/978-981-10-1409-3_7.

- [8] M. Mahbub, M. A. Rouf y M. M. Saym, “Industrial Plant Environment Surveillance and Safety Assurance System Based on IoT,” en *2020 2nd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*, 2020, págs. 1-4. DOI: 10.1109/STI50764.2020.9350465. dirección: <https://doi.org/10.1109/STI50764.2020.9350465>.
- [9] Concepto.de, *Investigación Descriptiva*, Consultado el 15 de marzo de 2025, 2025. dirección: <https://concepto.de/investigacion-descriptiva/>.
- [10] Z. R. V. Cordero, “La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica,” *Educación*, vol. 33, n.º 1, págs. 155-165, 2009, ISSN: 0379-7082. dirección: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>.
- [11] C. de Educación a Distancia, *Título del documento (si está disponible)*, Consultado el 15 de marzo de 2025, Año de publicación (si está disponible). dirección: <http://www.ceavirtual.ceuniversidad.com/material/3/metod1/353.pdf>.
- [12] A. Llumiquinga-Soria, “Aplicación de técnicas de Industria 4.0 en Sistemas de Prevención de Incendios,” Tesis de maestría, consultado el 15 de marzo de 2025, Tesis de mtría., Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), abr. de 2022. dirección: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/13814>.
- [13] A. M. López, “Implementación de la tecnología beacon en tiendas y almacenes de cadena en la ciudad de Medellín y caso de aplicación,” Tesis de maestría, consultado el 15 de marzo de 2025, Tesis de mtría., Universidad EIA, Envigado, Colombia, 2018. dirección: <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/b9275f3a-6b4f-49ea-a535-06e50197609e/content>.
- [14] A. Salas, E. A. Adinolfi, M. Avagliano, F. Pascale y V. Giannella, “A Low Energy IoT Application Using Beacon for Indoor Localization,” *Unknown/Scopus Indexed*, 2021, Acceso abierto — artículo indexado en Scopus; publicado en 2021. dirección: <https://redi.cedia.edu.ec/document/5610>.
- [15] U. Raza, P. Kulkarni y M. Sooriyabandara, “Low Power Wide Area Networks: An Overview,” *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 19, n.º 2, págs. 855-873, 2017. DOI: 10.1109/COMST.2017.2652320.
- [16] Y. Lu, X. Huang, B. Huang et al., “A Study on the Reliability of Software Defined Wireless Sensor Network,” en *2015 IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity)*, IEEE, 2015, págs. 129-134. DOI: 10.1109/SmartCity.2015.123.

- [17] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam y E. Cayirci, “Wireless Sensor Networks: A Survey,” *Computer Networks*, vol. 38, n.º 4, págs. 393-422, 2002. DOI: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4.
- [18] J. Yick, B. Mukherjee y D. Ghosal, “Wireless Sensor Network Survey,” *Computer Networks*, vol. 52, n.º 12, págs. 2292-2330, 2008. DOI: 10.1016/j.comnet.2008.04.002.
- [19] S. d. C. TechTarget. “Red de sensores inalámbricos o WSN.” (2013-2025), dirección: <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Red-de-sensores-inalambricos-o-WSN>.
- [20] J. Pérez, E. Urdaneta y Á. Custodio, “Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos,” *Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 18, n.º 70, págs. 12-22, 2014, Recuperado el 15 de marzo de 2025. dirección: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212014000100002&lng=es&tlng=es.
- [21] J. Salazar, *Redes Inalámbricas*, Accedido: 16 de marzo de 2025, 2016. dirección: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf.
- [22] J. R. González Cárdenas, “Diseño de una arquitectura para sistemas ciberfísicos en infraestructuras smart building: caso de estudio: Universidad Distrital Francisco José de Caldas,” Accedido: 16 de marzo de 2025, Tesis de maestría., Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2021. dirección: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/26708>.
- [23] Y. Yu, K. Li, W. Zhou y P. Li, “Trust Mechanisms in Wireless Sensor Networks: Attack Analysis and Countermeasures,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, n.º 3, págs. 867-880, 2012. DOI: 10.1016/j.jnca.2011.03.005.
- [24] V. C. Gungor y G. P. Hancke, “Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, n.º 10, págs. 4258-4265, 2009. DOI: 10.1109/TIE.2009.2015754.
- [25] A. I. Basco, G. Beliz, D. Coatz y P. Garneró, “Industria 4.0: Fabricando el Futuro,” DOI: 10.18235/0001229, 2018. dirección: <https://doi.org/10.18235/0001229>.
- [26] V. J. I. Rodríguez, “Sistema de monitoreo para mantenimiento preventivo y predictivo aplicado a máquinas rotatorias en la industria basado IIOT,” Tesis de maestría., La Paz, Bolivia, Abril de 2023. dirección: <https://repositorio>.

umsa . bo / xmlui / bitstream / handle / 123456789 / 32126 / ML - 8408 . pdf ?
sequence=1&isAllowed=y.

- [27] J. C. Vesga, *Microcontroladores Motorola Freescale*. Alfaomega, 2008.
- [28] MRU Instruments, *Know all the basics of a gas detector and how does it work?* Consultado el 15 de marzo de 2025, 2025.
- [29] J. I. Vega-Luna, M. A. Lagos-Acosta y G. Salgado-Guzmán, “Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range,” *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, n.º 18, págs. 73-83, 2017. DOI: 10.17163/ings.n18.2017.09. dirección: <https://doi.org/10.17163/ings.n18.2017.09>.
- [30] DigiKey Electronics, *Cómo seleccionar y utilizar el módulo ESP32 Wi-Fi*, Accedido: 16 de marzo de 2025, 2020. dirección: <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>.
- [31] Definición.de, *Wi-Fi*, Accedido: 16 de marzo de 2025, 2025. dirección: <https://definicion.de/wifi/>.
- [32] E. J. Noboa Carrasco, “Implementación de una red inalámbrica con nodos inteligentes para la supervisión en tiempo real y prevención de incendios en la planta de Indufrick,” Accedido: 16 de marzo de 2025, Tesis de mtría., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2019. dirección: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13484>.
- [33] P. M. Busquets, *Sistema IoT de gestión de entidades móviles a través de una aplicación móvil y tecnología BLE*, Accedido: 15 de marzo de 2025, 2017. dirección: https://oa.upm.es/44944/1/TFG_PAU_MARAVI_BUSQUETS.pdf.
- [34] C. Gomez, J. Oller y J. Paradells, “Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology,” *Sensors*, vol. 12, n.º 9, págs. 11 734-11 753, 2012. DOI: 10.3390/s120911734.
- [35] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2.ª ed. Prentice Hall, 2002.
- [36] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.
- [37] S. Patel y J. Wang, *Wireless Communication and Networks: 5G and Beyond*. Springer, 2019.

- [38] K. Patel, T. Shih y M. LaFleur, “A Framework for Smart Sensor Network-based Healthcare Monitoring System,” en *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, IEEE, 2018, págs. 593-598. DOI: 10.1109/IEMCON.2018.8614763. dirección: <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614763>.
- [39] W. A. Andrango Quishpi y H. D. Sánchez Vélez, “Estudio preliminar de IoT aplicado a smart campus para registro de documentos académicos por medio del desarrollo de un prototipo utilizando Beacons,” Accessed: 2025-03-22, Tesis de mtría., Universidad Politécnica Salesiana, 2020. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18406>.
- [40] A. Portilla y P. Valencia, *Internet Industrial de las Cosas (IIOT): Nueva Forma de Fabricación Inteligente*, Accessed: 2025-03-16, 2019.
- [41] C. A. Zúñiga Reyes, “Automatización de un Sistema de Esclusas Empleando Tecnología del Internet de las Cosas Industrial (IIoT),” Tesis de mtría., Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), 2022. dirección: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56373>.
- [42] L. Qiu, D. O. Wu y P. Pathi, “Introduction to the special section in software architecture and to model Industrial Internet,” *Software Architecture Journal*, vol. 1, n.º 2, págs. 1-10, 2017. dirección: <https://www.example.com>.
- [43] J. Hall, “La Internet Industrial de las Cosas y la Industria 4.0 en Colada por Gravedad,” *SS 2018 Spring CMH SP*, 2018.
- [44] M. M. Salgado Suárez, “Diseño e implementación de un sistema SCADA del proceso de llenado de agua en botellas con proyección a la industria 4.0 empleando SIMATIC IoT 2040,” Tesis de mtría., Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), 2019. dirección: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4784>.
- [45] A. J. Asencio Gonzabay, “Diseño e implementación de un sistema de gestión, monitoreo y digitalización para el proceso de selección de mangos en función de su color, enfocada a la industria 4.0 para optimizar el rendimiento de producción,” Accedido el 19 de diciembre de 2019, Tesis de mtría., Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2019. dirección: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5237>.
- [46] H. Vallejo, *PLC Los Controladores Lógicos Programables*. Editorial, Year.
- [47] Raspberry Pi Foundation, *Raspberry Pi 4 Model B Datasheet*, Documento técnico, Raspberry Pi Trading Ltd., 2020. dirección: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>.

- [48] Raspberry Pi Foundation, *Raspberry Pi 4 Model B Specifications*, Accessed: 2025-03-22, 2020. dirección: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/?utm_source=chatgpt.com.
- [49] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham y T. Watson, “The Industrial Internet of Things (IIoT): An Analysis Framework,” *Computers in Industry*, vol. 101, págs. 1-12, 2018. DOI: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
- [50] A. S. Castillo Lindao, “Estudio de una propuesta para el mejoramiento de un sistema de automatización, monitoreo y digitalización utilizando tecnologías robustas como PLC, HMI y SCADA dirigido a las técnicas de medición de las temperaturas de los gases de combustión basándose en,” Tesis de mtría., Universidad Estatal Península de Santa Elena, enero de 2024. dirección: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10710>.
- [51] V. Guerrero, L. Martínez y R. Yuste, *Comunicaciones Industriales*. Barcelona, 2009.
- [52] A. G. Higuera, *El control automático en la industria*. Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha, 2010.
- [53] M. J. Yagual Ramírez, *Diseño e implementación de un sistema SCADA para el proceso de mezcla de pintura utilizando herramientas de la industria 4.0*, 2019. dirección: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4840>.
- [54] M. Gast, *802.11ac: A Survival Guide*. O’Reilly Media, 2013.
- [55] M. Gast, *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*, 2nd. O’Reilly Media, 2005, ISBN: 978-0596100520.
- [56] J. MacDonald, *Bluetooth Low Energy: The Developer’s Handbook*. Prentice Hall, 2017, ISBN: 978-0134653932.
- [57] M. Stankovic, *IEC 61131-3: Programming Industrial Control Systems*. Springer, 2017, ISBN: 978-3319576707.
- [58] ISO/IEC, *ISO 9241: Ergonomics of Human-System Interaction - Part 110: Dialogue Principles*. International Organization for Standardization (ISO), 2010, Accessed: 2023-03-28. dirección: <https://www.iso.org/standard/53588.html>.
- [59] F. E. Vásquez Calero y D. J. Sarmiento Sánchez, *Implementación de los protocolos de comunicación industrial mediante Simatic S7-1200 para el laboratorio de automatización de la Universidad del Azuay*, 2016. dirección: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5479>.

- [60] G. F. K. Estefani, *Análisis de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador*, Accessed: 2023-03-28, 2019. dirección: <http://181.198.35.98/Archivos/GUATO%20FERNANDEZ%20KAREN%20ESTAFANI.pdf>.
- [61] E. J. N. Carrasco, *Implementación de una red inalámbrica con nodos inteligentes para la supervisión en tiempo real y prevención de incendios en la planta de Indufrick*, Accessed: 2023-03-28, 2019. dirección: <http://dspace.esPOCH.edu/bitstream/123456789/13484/1/98T00254.pdf>.
- [62] J. J. Collantes Alcívar, “Evaluación de la transmisión de datos con tecnología IOT de un prototipo de sistema de seguridad en cocinas a gas para la prevención de incendios domésticos,” Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2021. dirección: <https://dspace.esPOCH.edu/ec/handle/123456789/20927>.
- [63] D. J. Guevara Hidalgo y S. E. Tibanquiza Chunchu, “Implementación de un sistema de monitoreo para la detección de fugas de gas mediante tecnología IoT en cocinas domésticas,” Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, nov. de 2021. dirección: <https://dspace.esPOCH.edu/ec/handle/123456789/XXXXX>.
- [64] N. Cobeñas Flores y E. Tocto Zurita, *Diseño e implementación de un sistema de alarmas utilizando micro PLC para reducir la tasa de incendios en el distrito de Breña - 2022*, Lima, Perú, 2022. dirección: <http://repositorio.iestpffaa.edu.pe/bitstream/handle/IESTPFFAA/84/Trabajo%20de%20aplicaci%3bn%20profesional%20-%20TOCTO%20ZURITA%2c%20Esgar%20y%20COBE%391AS%20FLORES%2c%20Nitson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [65] D. Iglesias Salgado, “Sistema de prevención de incendios forestales con tecnología IoT aplicado a los montes gallegos,” 2023. dirección: <https://hdl.handle.net/10609/147302>.
- [66] B. Angelis, *Programming with ESP32: Build projects with Wi-Fi, Bluetooth, and ESP-IDF*. Packt Publishing, 2019, ISBN: 9781789958131.
- [67] L. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., *Ficha técnica del sensor semiconductor MQ-5 para la detección de gases combustibles*, Disponible en línea, 2021. dirección: <https://www.winsen-sensor.com>.
- [68] Aosong Electronics Co., Ltd., *DHT11 Digital Temperature Humidity Sensor*, Aosong Electronics, 2020. dirección: <https://www.aosong.com/en/products-1.html>.

- [69] R. P. Foundation, *Raspberry Pi 4 Model B specifications*, 2019. dirección: <https://www.raspberrypi.org>.
- [70] Siemens, *Totally Integrated Automation Portal: Engineering Software for PLC Programming*, Siemens AG, 2022.
- [71] Siemens, *SIMATIC S7-1200 Programmable Controller: System Manual*. Siemens AG, 2019. dirección: <https://support.industry.siemens.com>.
- [72] I. Delta Electronics, *Manual de usuario de las interfaces hombre-máquina de la serie DOP-B*, Delta Electronics, Inc., 2019.
- [73] M. Margolis, *Arduino Cookbook*, 3rd. O'Reilly Media, 2020.
- [74] A. LLC, *Arduino IDE User Guide*, 2023. dirección: <https://www.arduino.cc>.
- [75] M. Blackstock y R. Lea, "Node-RED: Visual Programming for the Internet of Things," *IEEE Internet Computing*, vol. 19, n.º 3, págs. 10-18, 2014.
- [76] I. E. Technologies, *Node-RED: Flow-Based Programming for the IoT*, 2023. dirección: <https://nodered.org>.
- [77] M. Widenius, D. Axmark y A. Larsson, *MariaDB: An Open Source Database Management System*. MariaDB Foundation, 2015. dirección: <https://mariadb.org/>.
- [78] J. Smith y E. Taylor, *Home Assistant for IoT: The Complete Guide to Smart Home Automation*. TechPress Publishing, 2023.
- [79] J. E. Mero Martínez, "Modelo de sistema domótico para la automatización de viviendas utilizando Raspberry Pi 4 con Home Assistant," Consultado en marzo de 2025, Tesis de mtría., Universidad Politécnica Salesiana, 2023. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24402>.
- [80] S. AG, *TIA Portal V16: Totally Integrated Automation Portal*, Siemens Technical Overview, 2020. dirección: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109772803/tia-portal-v16-technical-overview>.
- [81] Delta Electronics Inc., *DOPSoft User Manual*, <https://www.delta.com.tw/Products/Industrial-Automation/Human-Machine-Interface/HMI-Software/DOPSoft>, Accedido el 22 de junio de 2025, 2023.

ANEXOS

APROBACIÓN DEL TUTOR

Sr. Ing. José Sánchez
Director de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones
En su despacho. -

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: “**Implementación de un Sistema de comunicación Inalámbrico Usando Tecnología Beacon e IIoT para el Monitoreo y Prevención de Incendios en Entornos Industriales**”, presentado por el estudiante Lady Michelle Reyes Valencia, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

Se adjunta como anexos los reportes generados por la plataforma COMPILATIO que reportó **4%** de plagio del documento final de tesis.

La Libertad, 22 de septiembre del 2025



Ing. Carlos Alberto Saldaña Enderica, MSc.
Docente tutor

A. Esquema del sistema

A.1. Gráfica del Home

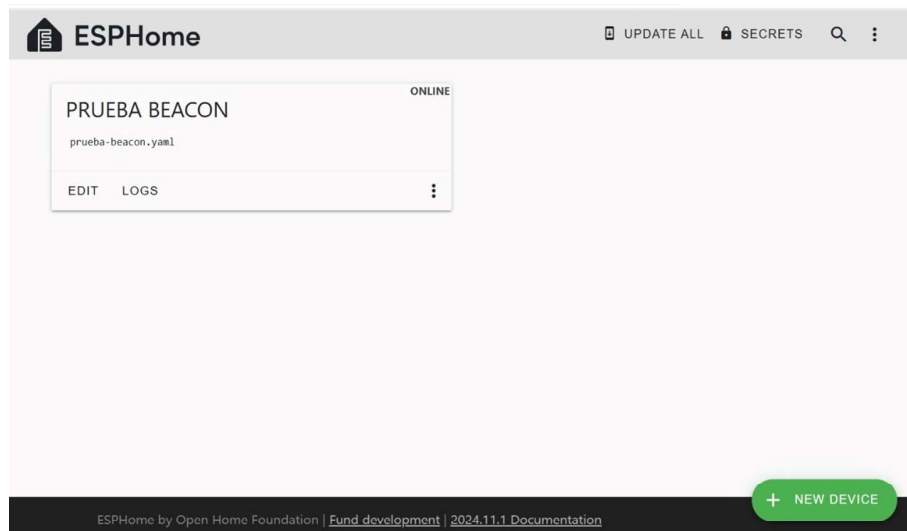


Figura 14: Gráfica de ESPHome

A.2. Plataforma del Home Assistant

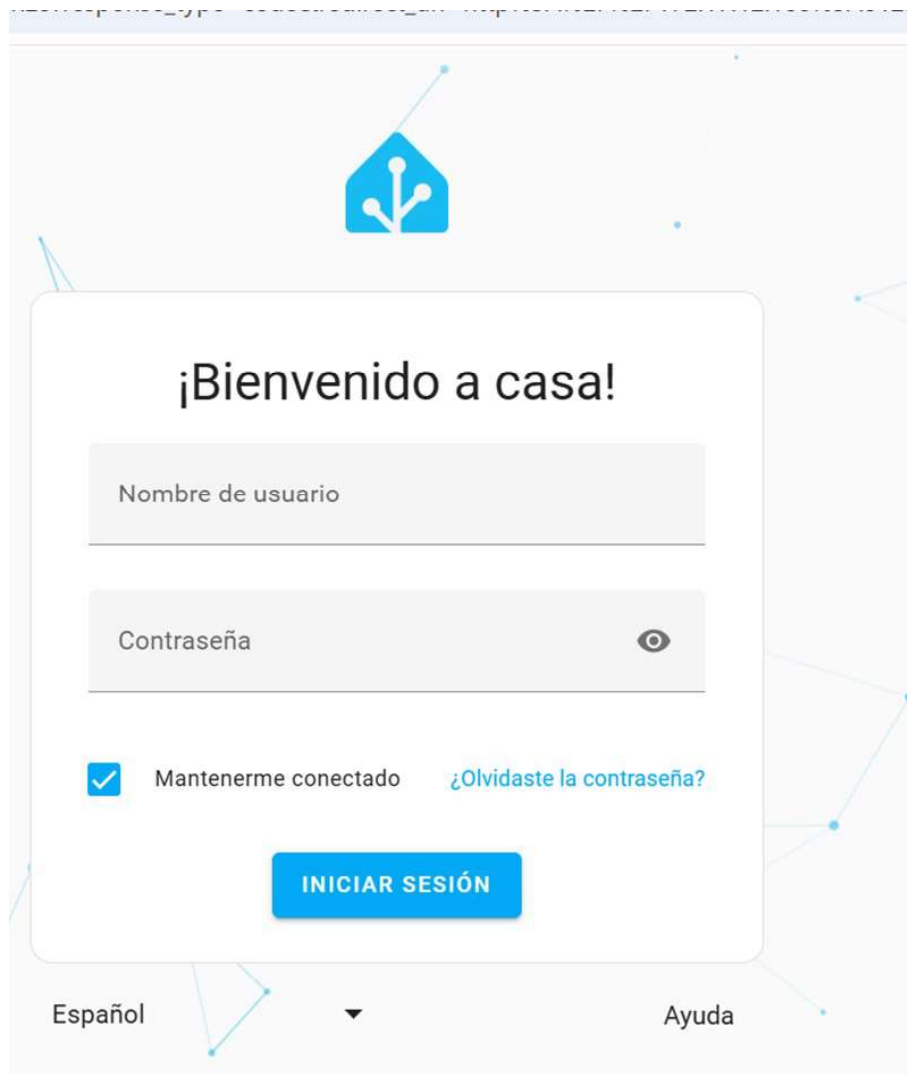


Figura 15: Interfaz Home Assistant

A.3. Tablero de Control en el Home Assistant

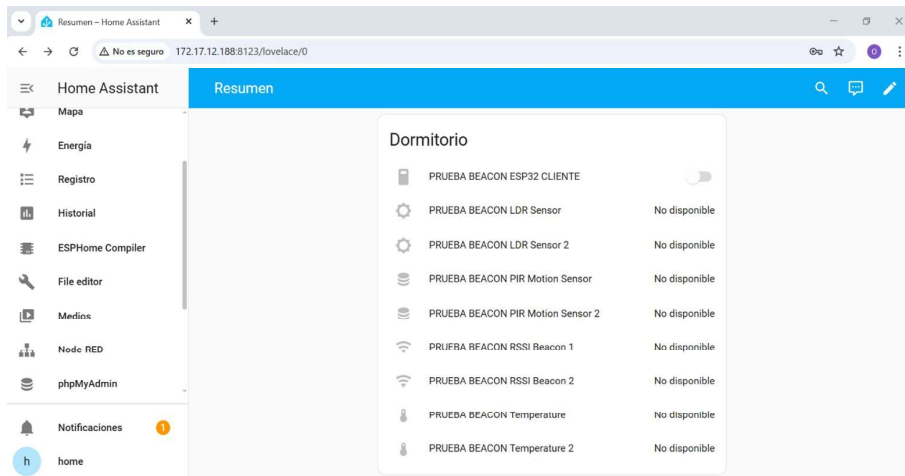


Figura 16: Tableros de Control Home Assistant

A.4. Base de Datos

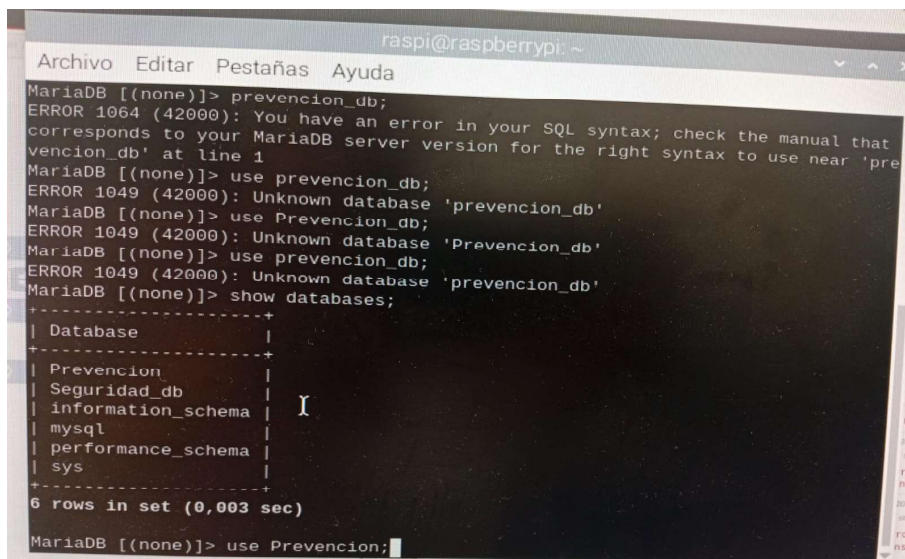


Figura 17: Base de Datos en Mariadb

A.5. Node-Red

En este anexo se presenta el esquema en Node-red con las variables que se van a simular y mandar datos aleatorio.

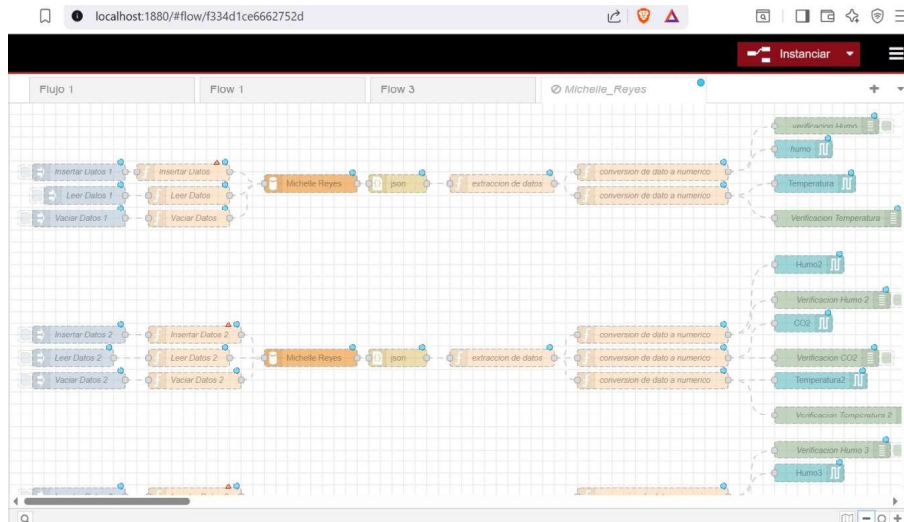


Figura 18: Declaración de Variables

Así mismo en el node-red se debe configurar para el Home assistant colocando su dirección y el token que dan el Home.

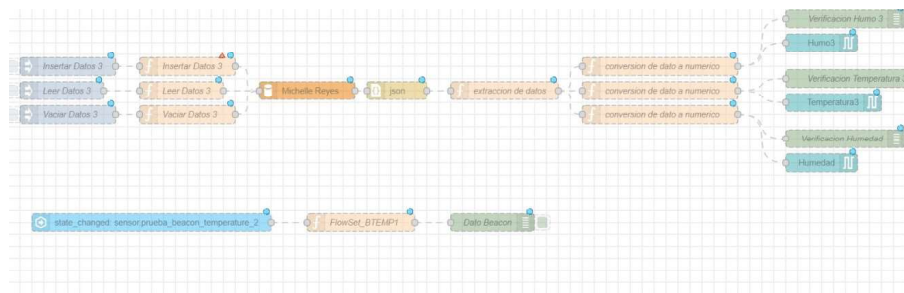


Figura 19: Configuración de Node-red y el Home

En esta gráfica se ve los diagramas de bloque con las variables del Node-red en el TIA Portal.

Nombre	Dirección	Formato visualiz...	Valor de observ...	Valor de forzad...	Comenta...
*Bloque de datos...	%OB1.D8D0	Número en coma...			
*Bloque de datos...	%OB1.D8D4	Número en coma...			
*Bloque de datos...	%OB1.D8D8	Número en coma...			
*Bloque de datos...	%OB1.D8D12	Número en coma...			
*Bloque de datos...	%OB1.D8D16	Número en coma...			
*Bloque de datos...	%OB1.D8D20	Número en coma...			
*Bloque de datos...	%OB1.D8D24	Número en coma...			
	%agregat...				

Figura 20: Variables en TIA Portal

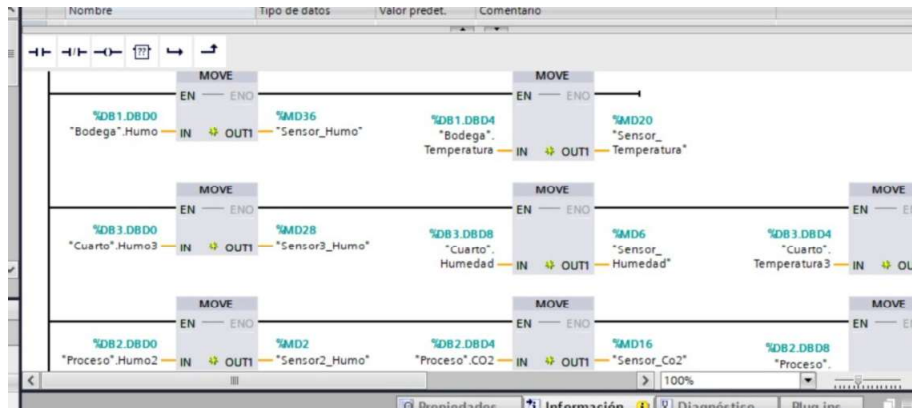


Figura 21: Variables simuladas del Node-red en el TIA Portal

Bodega		
PRUEBA BEACON ESP32 CLIENTE	<input type="checkbox"/>	
PRUEBA BEACON LDR Sensor		1 lx
PRUEBA BEACON LDR Sensor 2		1 lx
PRUEBA BEACON PIR Motion Sensor		0
PRUEBA BEACON PIR Motion Sensor 2		1
PRUEBA BEACON Temperature		23.80 °C
PRUEBA BEACON Temperature 2		24.10 °C

Figura 22: Datos en el Home Assistant

INTERFAZ DEL SISTEMA DE MONITOREO

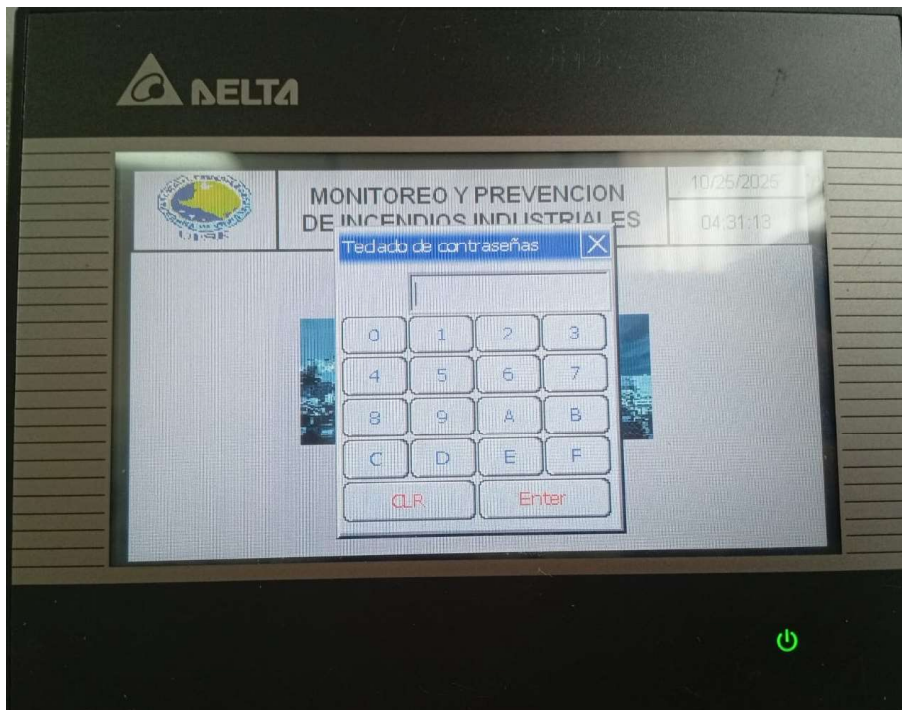


Figura 23: Contraseña para el usuario

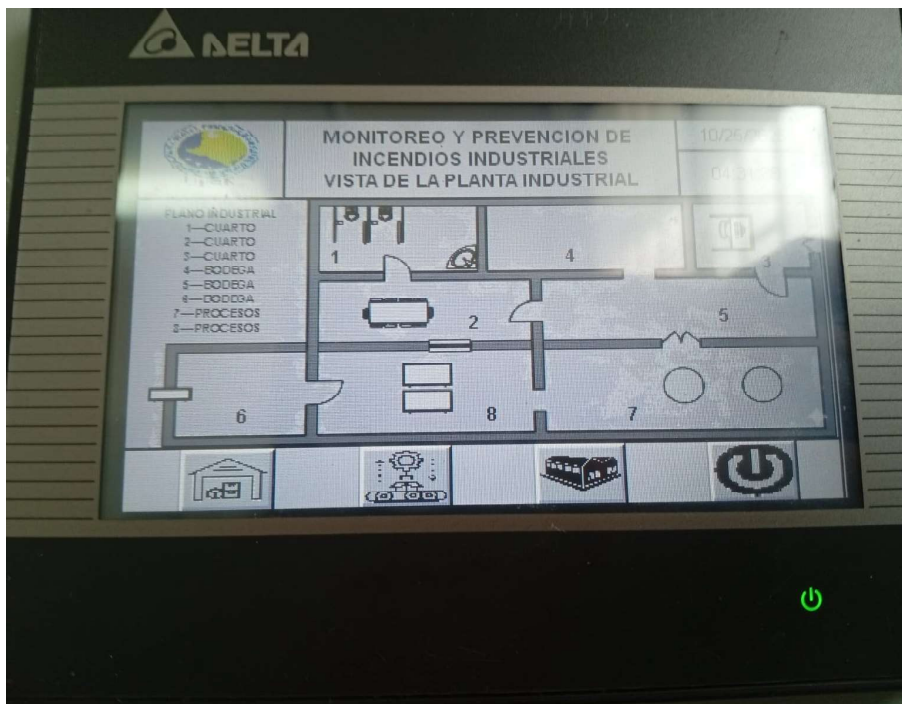


Figura 24: Esquema del plano industrial



Figura 25: Diagrama de cada área

ESQUEMA FINAL

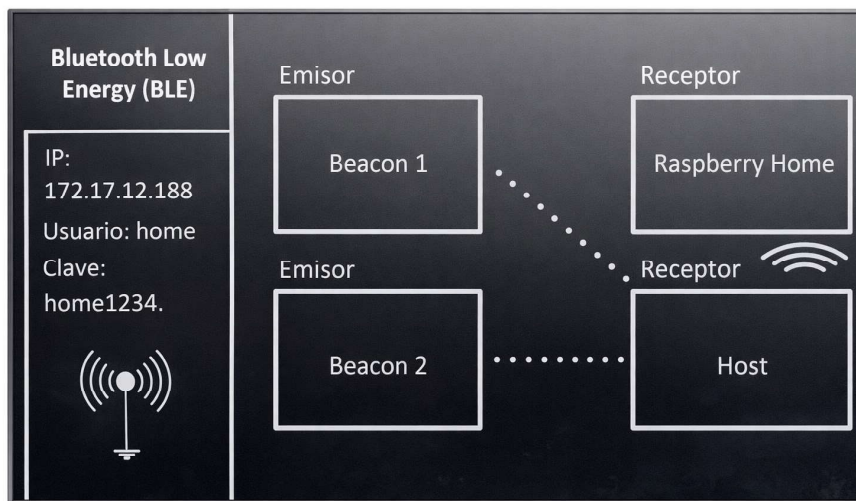


Figura 26: Tablero simulado del monitoreo en entorno industrial

Los Beacons físicos en el un entorno simulado que es el laboratorio.

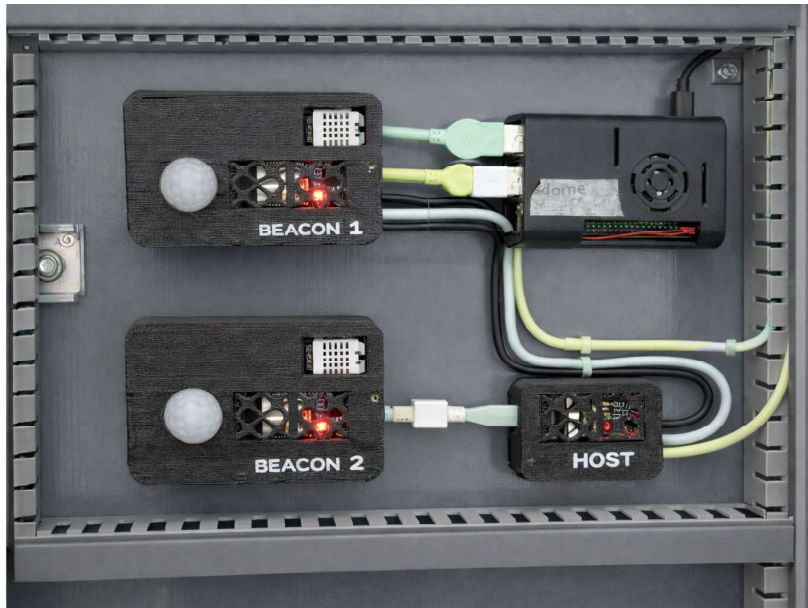


Figura 27: Elementos del monitoreo en entorno simulado industrial

B. Códigos fuente

B.1. Código Host

```

prueba-beacon.yaml
password: "VH47udF9KCWr"

captive_portal:

esp32_ble_tracker:
ble_client:
- mac_address: 2C:8C:8B:0D:DE:6E
  id: t_beacon_1
  on_connect:
    then:
      - logger.log: "Conectado al dispositivo BLE Fijo 1"
        # Configurar acciones adicionales si es necesario
  on_disconnect:
    then:
      - logger.log: "Desconectado del dispositivo BLE Fijo 1"
        # Configurar acciones adicionales si es necesario
- mac_address: BC:DD:C2:CC:DE:1E
  id: t_beacon_2
  on_connect:
    then:
      - logger.log: "Conectado al dispositivo BLE Fijo 2"
        # Configurar acciones adicionales si es necesario
  on_disconnect:
    then:
      - logger.log: "Desconectado del dispositivo BLE Fijo 2"
        # Configurar acciones adicionales si es necesario

```

Figura 28: Código Host en ESPHome

A continuación, se presenta el código DEL Node-Red sistema:

```

{
  "id": "9ec76b0b02bd0e7e",
  "type": "tab",

```

```

    "label": "Michelle_Reyes",
    "disabled": true,
    "info": "",
    "env": []
  },
  {
    "id": "4862bfd39356c3e4",
    "type": "function",
    "z": "9ec76b0b02bd0e7e",
    "name": "Insertar Datos ",
    "func": "topic = \"INSERT
INTO Prevencion.Bodega
('Humo', 'Temperatura') VALUES \>
('\";\ntopic = topic +
flow.get(\"Humo\") +'\",
'\";\ntopic = topic +
flow.get(\"Temperatura\") +
'\");\n\nmsg.topic = topic;\nreturn msg;\n",
    "outputs": 1,
    "timeout": 0,
    "noerr": 6,
    "initialize": "",
    "finalize": "",
    "libs": [],
    "x": 300,
    "y": 160,
    "wires": [
      [
        "5a592d3df1185e03"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "a7347926d84ef4d8",
    "type": "inject",
    "z": "9ec76b0b02bd0e7e",
    "name": "Insertar Datos 1",
    "props": [
      {

```

```

        "p": "payload"
    },
    {
        "p": "topic",
        "vt": "str"
    }
],
"repeat": "",
"crontab": "",
"once": false,
"onceDelay": 0.1,
"topic": "",
"payload": "",
"payloadType": "date",
"x": 120,
"y": 160,
"wires": [
    [
        "4862bfd39356c3e4"
    ]
]
},
{
    "id": "273fd9c089e41db7",
    "type": "function",
    "z": "9ec76b0b02bd0e7e",
    "name": "Leer Datos",
    "func": "msg.topic = \"SELECT * FROM 'Prevencion'. 'Bodega'
ORDER BY 'fecha' DESC\";
\\nmsg.leer = true;\\nreturn msg;\\n",
    "outputs": 1,
    "timeout": 0,
    "noerr": 0,
    "initialize": "",
    "finalize": "",
    "libs": [],
    "x": 310,
    "y": 200,
    "wires": [

```

```

        [
            "5a592d3df1185e03"
        ]
    ],
    {
        "id": "6c3ce6d276a6a85b",
        "type": "function",
        "z": "9ec76b0b02bd0e7e",
        "name": "Vaciar Datos",
        "func": "msg.topic = \"truncate table Bodega;\";\nreturn msg;",
        "outputs": 1,
        "timeout": 0,
        "noerr": 0,
        "initialize": "",
        "finalize": "",
        "libs": [],
        "x": 310,
        "y": 240,
        "wires": [
            [
                "5a592d3df1185e03"
            ]
        ]
    },
    {
        "id": "00af8173a563a2ce",
        "type": "inject",
        "z": "9ec76b0b02bd0e7e",
        "name": "Leer Datos 1",
        "props": [
            {
                "p": "payload"
            },
            {
                "p": "topic",
                "vt": "str"
            }
        ]
    },
],

```

```
"repeat": "",
"cronTab": "",
"once": false,
"onceDelay": 0.1,
"topic": "",
"payload": "",
"payloadType": "date",
"x": 130,
"y": 200,
"wires": [
  [
    "273fd9c089e41db7"
  ]
]
```

A continuación, se presenta el código del HOST:

```
esphome:
  name: prueba-beacon
  friendly_name: PRUEBA BEACON

esp32:
  board: esp32dev
  framework:
    type: arduino

# Enable logging
logger:

# Enable Home Assistant API
api:
  encryption:
    key:
      "6fm2E7C/tBGo7sYYf3Dnl1Wr5lJgs6IXwRxRkaW0nc4="

ota:
  - platform: esphome
```

```
password: "5d5615401bd37ca2d2929d2b5de46127"
```

```
wifi:
```

```
ssid: !secret wifi_ssid
```

```
password: !secret wifi_password
```

```
# Enable fallback hotspot (captive portal) in case wifi connection fails
```

```
ap:
```

```
ssid: "Prueba-Beacon Fallback Hotspot"
```

```
password: "VH47udF9KCWr"
```

```
captive_portal:
```

```
esp32_ble_tracker:
```

```
ble_client:
```

```
- mac_address: 2C:BC:BB:0D:DE:6E
```

```
id: t_beacon_1
```

```
on_connect:
```

```
then:
```

```
- logger.log: "Conectado al  
dispositivo BLE Fijo 1"
```

```
# Configurar acciones  
adicionales si es necesario
```

```
on_disconnect:
```

```
then:
```

```
- logger.log: "Desconectado del  
dispositivo BLE Fijo 1"
```

```
# Configurar acciones adicionales  
si es necesario
```

```
- mac_address: BC:DD:C2:CC:DE:1E
```

```
id: t_beacon_2
```

```
on_connect:
```

```
then:
```

```
- logger.log: "Conectado al  
dispositivo BLE Fijo 2"
```

```
# Configurar acciones adicionales  
si es necesario
```

```
on_disconnect:
```

```

then:
  - logger.log: "Desconectado del
dispositivo BLE Fijo 2"
  # Configurar acciones adicionales
  si es necesario

#Iniciar Cliente BLE
switch:
  - platform: template
    name: "ESP32 CLIENTE"
    turn_on_action:
      - ble_client.ble_write:
          id: t_beacon_1
          service_uuid:
            4FAFC201-1FB5-459E-8FCC-C5C9C331914B
          characteristic_uuid:
            BEB5483E-36E1-4688-B7F5-EA07361B26A8

          # List of bytes to write.
          value: [0x01, 0xab, 0xff]

#Configuracion de Sensores obtencion de
datos t_beacon_1
sensor:
  - platform: ble_client
    type: characteristic
    ble_client_id: t_beacon_1
    name: "Temperature"
    service_uuid:
      4FAFC201-1FB5-459E-8FCC-C5C9C331914B
    characteristic_uuid:
      BEB5483E-36E1-4688-B7F5-EA07361B26A8
    device_class: "temperature"
    unit_of_measurement: "°C"
    accuracy_decimals: 2
    update_interval: 5s
    lambda: |-
      std::string data(x.begin(), x.end());
      size_t temp_pos = data.find("T:");

```

```

size_t pir_pos = data.find(",PIR:");
size_t ldr_pos = data.find(",LDR:");
if (temp_pos == std::string::npos ||
    pir_pos == std::string::npos || ldr_pos ==
    std::string::npos) {
ESP_LOGE("ble_client",
"Received data does not contain expected format: %s", data.c_str());
return NAN;
}
std::string temp_str =
data.substr(temp_pos +
2, pir_pos - (temp_pos + 2));
float temperature = atof(temp_str.c_str());
return temperature;

```

C. Datos experimentales

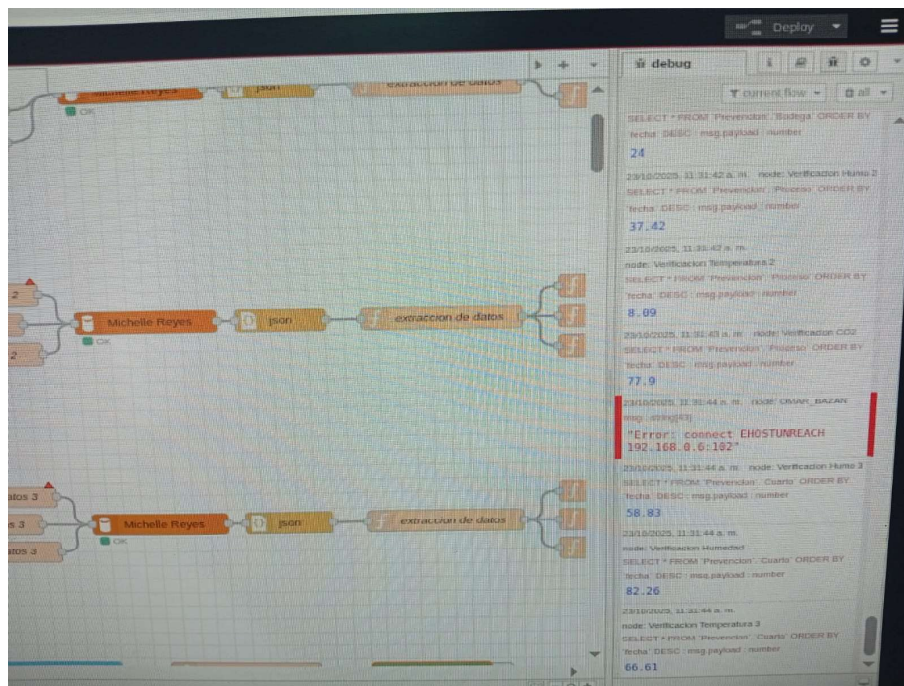


Figura 29: Datos enviados del Node-red

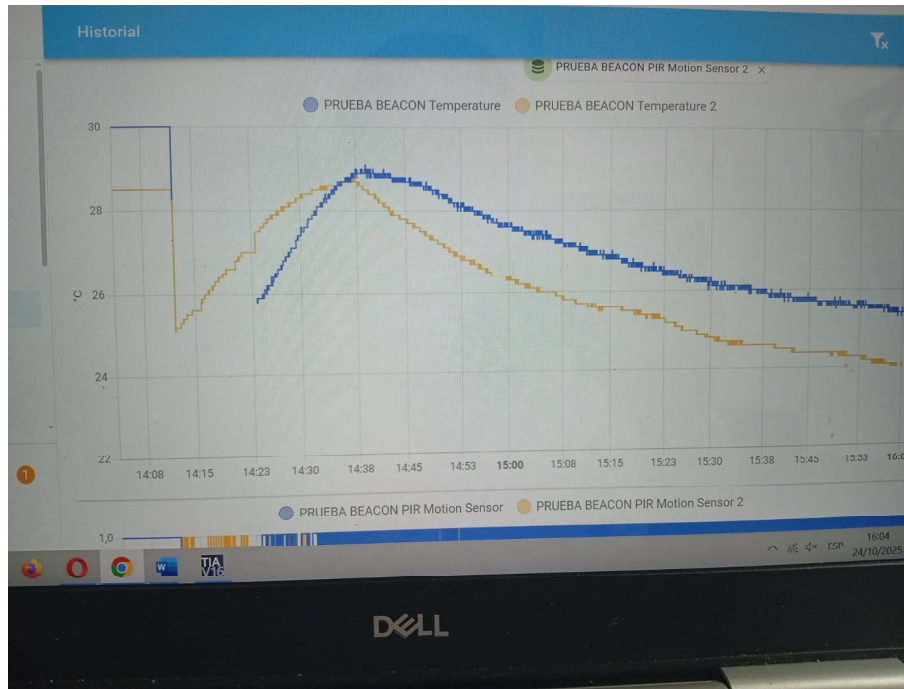


Figura 30: Datos recibido en el home Assistant

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Valor de observación	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible e...
Static								
Humo	Real	0.0	0.0	45.84		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Temperatura	Real	4.0	0.0	24.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 31: Datos recibidos en el TIA Portal Bodega

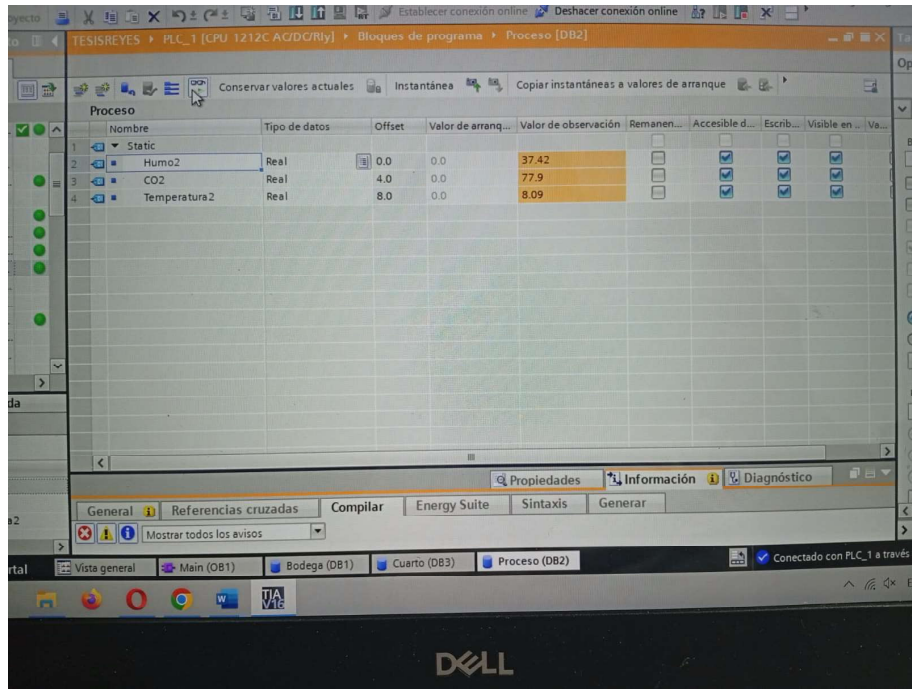


Figura 32: Datos recibidos en el TIA Portal Proceso

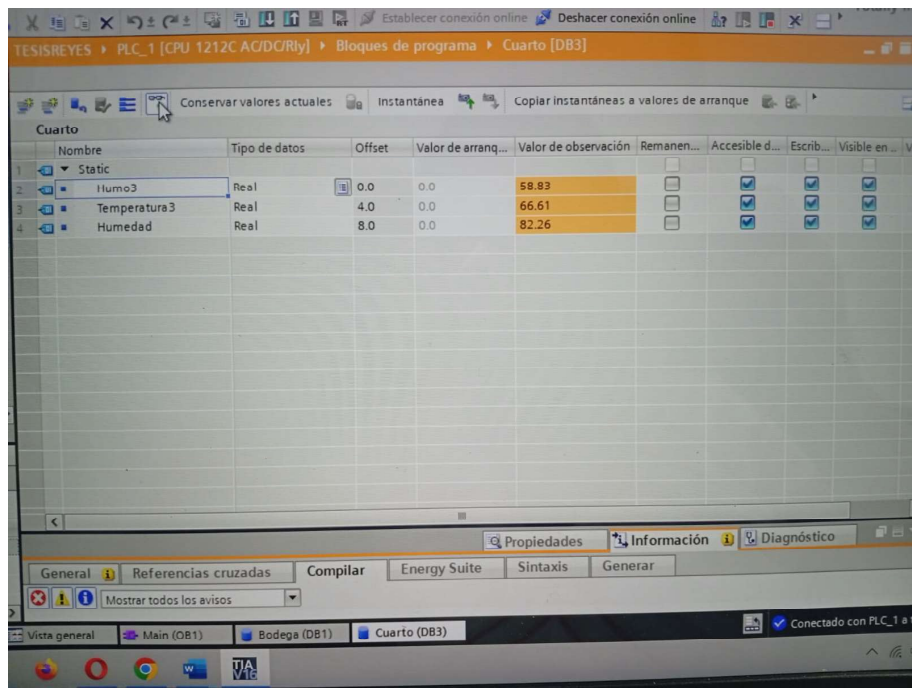


Figura 33: Datos recibidos en el TIA Portal Cuarto

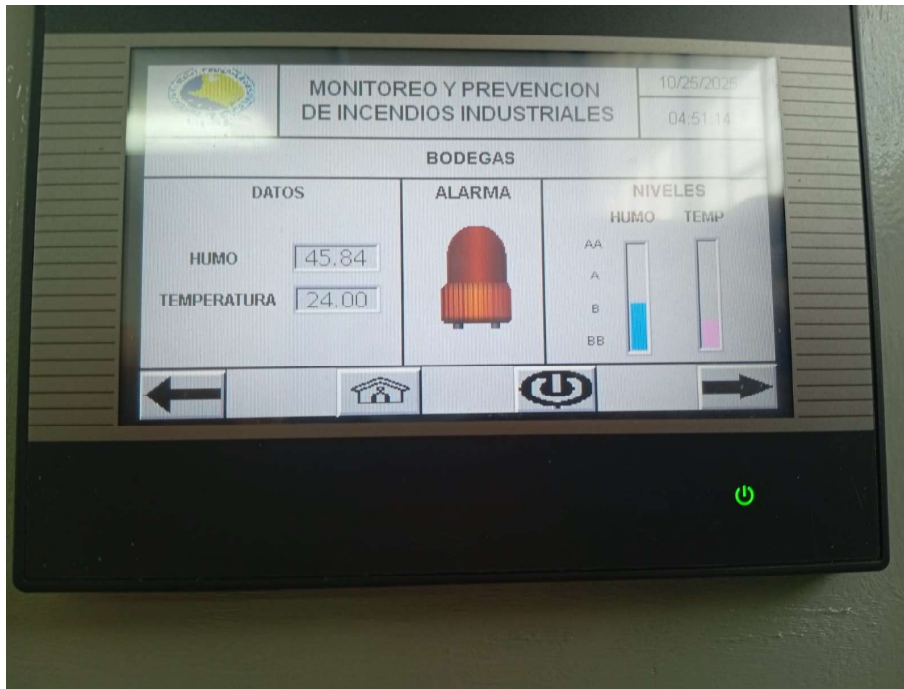


Figura 34: Visualización del área de Bodega en el HMI



Figura 35: Visualización del área de Cuartos en el HMI

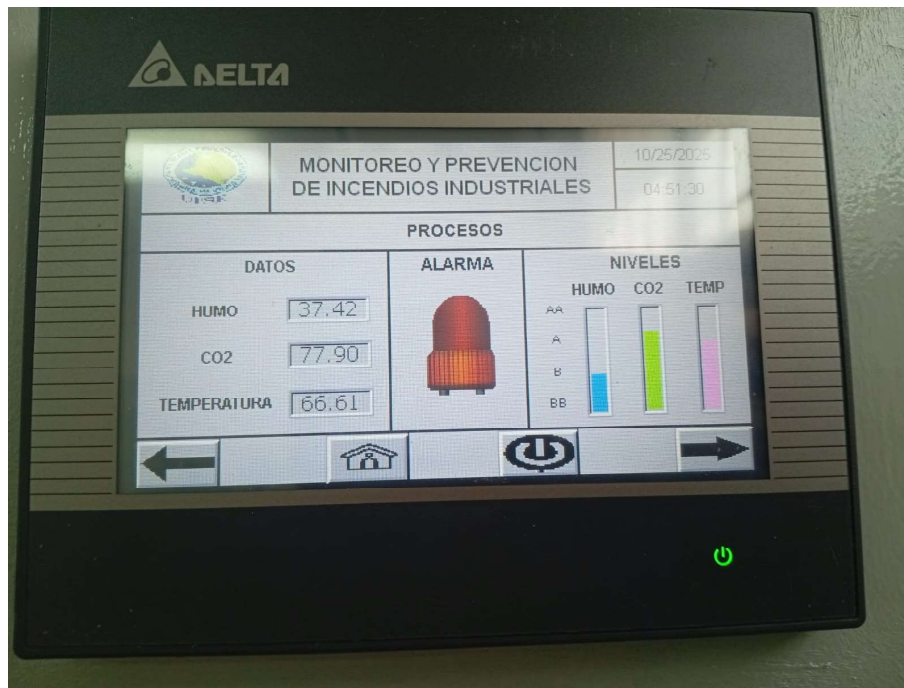


Figura 36: Visualización de área de Proceso en el HMI

INFORME DE ANÁLISIS
magister

tesis_2024

4% Textos sospechosos

1% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas

3% Idiomas no reconocidos

< 1% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: tesis_2024.pdf
ID del documento: d290072f88f6c69b5c345b833e5651169795a8dd
Tamaño del documento original: 3,07 MB

Depositante: CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA
Fecha de depósito: 22/9/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 22/9/2025

Número de palabras: 21,011
Número de caracteres: 146,498

Ubicación de las similitudes en el documento: