



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos
usando Tecnología Beacon e IIoT en un Sistema de
Orientación y Condiciones Ambientales para Centros
Comerciales.**

AUTOR

VILLÓN RAMÍREZ CINDY MICHELLE

CARRERA

ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TUTOR

ING. CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de culminar mis estudios universitarios, por darme fortaleza, sabiduría y perseverancia necesaria para superar cada uno de los obstáculos presentados a lo largo de este camino académico, permitiéndome crecer tanto a nivel personal como profesional. Expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia, en especial a mis padres por su apoyo constante, su sacrificio y sus palabras de aliento, los cuales han sido un pilar fundamental para alcanzar esta meta tan importante en mi vida. De manera especial, agradezco a mis hijos y esposo, quienes han sido mi mayor fuente de fortaleza y el impulso permanente para no rendirme, convirtiéndose en la motivación principal para continuar y culminar este proceso académico. Finalmente, agradezco a los docentes de la carrera Electrónica y Telecomunicaciones que formaron parte de mi educación universitaria, en especial a el Ing. Carlos Saldaña por los conocimientos impartidos y la orientación brindada durante esta etapa contribuyendo de manera significativa al desarrollo y culminación de este proyecto de investigación.

Cindy Michelle Villón Ramírez

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a mi Papo Mario Ramírez, quien fue un pilar fundamental en mi vida y una fuente constante de amor, apoyo y motivación. Sus enseñanzas, su ejemplo de perseverancia y su confianza en mí marcaron profundamente mi camino personal y académico. Aunque hoy no se encuentra físicamente conmigo, su recuerdo, sus consejos y su amor continúan guiando cada uno de mis pasos y permanecen presentes en la culminación de esta meta profesional.

Cindy Michelle Villón Ramírez

APROBACIÓN DE TUTOR

En mi calidad de tutor del proyecto de titulación denominado: **Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos usando Tecnología Beacon e IIoT en un Sistema de Orientación y Condiciones Ambientales para Centros Comerciales**, elaborado por el estudiante **Cindy Michelle Villón Ramírez Villón**, de la carrera de **Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, declaro que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante que inicie los trámites legales correspondientes.

Ing. Carlos Saldaña, Mgtr.
Tutor

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Washington Torres Guin, Mgtr.
DECANO DE FACULTAD

Ing. José Sánchez Aquino, Mgtr.
DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Óscar Gómez Morales, Ph.D.
DOCENTE DE ÁREA

Ing. Carlos Saldaña Enderica, Mgtr.
DOCENTE TUTOR

Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL

RESUMEN

El proyecto de titulación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de orientación y monitoreo de condiciones ambientales mediante la integración de tecnologías Beacon e Internet Industrial de las Cosas (IIoT).

El sistema se desarrolló en un ambiente controlado simulando las condiciones reales de un centro comercial, utilizando sensores inalámbricos PIR y DTH11, integrados en módulos ESP32 configurados como Beacons. Este sistema transmite los datos obtenidos mediante BLE, hacia un nodo central de monitoreo basado en Raspberry Pi. Estos datos se procesan y almacenan en una base de datos MariaDB, luego se envían al PLC para ser visualizada a través de la interfaz de HMI, permitiendo al usuario la orientación dentro del lugar y el monitoreo de condiciones ambientales para seguridad.

Los resultados obtenidos evidencian que la integración de tecnologías Beacon e IIoT es una solución viable y escalable para la orientación y el monitoreo en centros comerciales. El sistema desarrollado sirve como base para futuras implementaciones en espacios grandes de infraestructura, como centros comerciales reales, museos o instituciones públicas, contribuyendo a la innovación tecnológica.

Palabras clave: Beacons, Sensores Inalámbricos, BLE, IIoT, PLC, Raspberry Pi, Monitoreo en tiempo real.

ABSTRACT

The thesis project aimed to design and implement an orientation and environmental condition monitoring system through the integration of Beacon technology and the Industrial Internet of Things (IIoT).

The system was developed in a controlled environment that simulated the real operating conditions of a shopping mall, using wireless PIR and DHT11 sensors integrated into ESP32 modules configured as Beacons. The system transmits the collected data via Bluetooth Low Energy (BLE) to a central monitoring node based on a Raspberry Pi. The data are then processed and stored in a MariaDB database before being sent to a Programmable Logic Controller (PLC) for visualization through a Human–Machine Interface (HMI). This enables users to navigate within the facility while monitoring environmental conditions to enhance safety.

The results demonstrate that the integration of Beacon technology and IIoT provides a feasible and scalable solution for indoor navigation and environmental monitoring in shopping malls. The developed system serves as a foundation for future implementations in large-scale infrastructures, such as commercial shopping centers, museums, and public institutions, thereby contributing to technological innovation.

Keywords: Beacons, Wireless Sensors, Bluetooth Low Energy (BLE), Industrial Internet of Things (IIoT), Programmable Logic Controller (PLC), Raspberry Pi, Real-Time Monitoring.

DECLARACIÓN

Declaro que el contenido desarrollado en este Trabajo de Titulación es de mi exclusiva responsabilidad, mientras que la propiedad intelectual del mismo corresponde a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Villón Ramírez Cindy Michelle

Índice

CAPÍTULO I	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción del Proyecto	3
1.3. Objetivos del Proyecto	3
1.4. Justificación	4
1.5. Alcance del Proyecto	6
1.6. Metodología	7
1.7. Resultados Esperados	8
 CAPÍTULO II	 9
2.1. Marco Contextual	9
2.2. Marco Conceptual	10
2.2.1. Sensores Inalámbricos	10
2.2.2. Bluetooth	10
2.2.3. Bluetooth LE	11
2.2.4. Otras Tecnologías Inalámbricas	12
2.2.5. Internet Industrial de las cosas (IIoT)	14
2.2.6. Wi-Fi	15
2.2.7. Raspberry	15
2.2.8. PLC	15
2.2.9. HMI (Human-Machine Interface)	16
2.3. Marco Teórico	16
 CAPÍTULO III	 18
3.1. Componentes de la Propuesta	18
3.1.1. Componentes Físicos	18
3.1.2. Componentes Lógicos	20
3.2. Diseño de la Propuesta	21
3.2.1. Comunicación entre dispositivos	24

CAPÍTULO IV	25
4.1. Análisis y Resultados	25
4.2. Pruebas de fallo de nodos, reconexión, watchdogs y telemetría	29
Conclusiones	35
Recomendaciones	37

CAPÍTULO I

1.1 Antecedentes

Las nuevas tecnologías están dando un gran cambio en la sociedad y evolucionando hacia un futuro conectado de la comunicación y el desarrollo de dispositivos electrónicos que están constantemente en innovación.[1] La conectividad es el resumen de una palabra para la revolución de la Industria 4.0.[2]

La Internet Industrial de las cosas (IIoT), es una tecnología emergente que puede revolucionar la automatización de varios procesos, utilizando numerosos dispositivos de detección conectados en red y combinando tecnologías informáticas avanzadas.[3], [4]

La tecnología Beacon para interiores, utiliza balizas de Bluetooth de Baja Energía (BLE), ha revolucionado la manera en que se realiza la localización y navegación en tiempo real en diversos sectores. Esta innovación tecnológica mejora notablemente la experiencia de los usuarios al ofrecer un seguimiento de ubicación preciso y facilitar la orientación dentro de entornos complejos.[5] El uso de sistemas de posicionamiento interior no solo reduce el tiempo de navegación sino que también mejora la calidad del servicio en espacios públicos y la experiencia del usuario.[6]

Los centros comerciales son grandes instalaciones que suelen contar con varios niveles que están compuestas por tiendas, oficinas y diversos servicios. Su función principal es promover el consumo, proporcionando una gran oferta de establecimientos comerciales, servicios y opciones recreativas.[7] Por esta razón, se requiere implementar soluciones que agilicen la fluidez del público; haciendo más cómoda la experiencia de los consumidores y optimizando la gestión del centro comercial. Además, un sistema de orientación es de suma importancia para personas de la tercera edad, personas con discapacidad, personas que sufren de ansiedad y turistas que no estén familiarizados con el lugar. [7]

La implementación del uso de beacons en el sector comercial tiene varias ventajas como el análisis del historial de compras del cliente, la identificación de movimientos dentro de una tienda, mejores ofertas de promociones, brindar información adicional sobre productos, reconocer patrones de compra, facilitar el proceso de compra y una interacción más personalizada con el cliente. [8]

En España, la cadena de supermercados Carrefour, instaló de la mano de la empresa Onyx Beacon, aproximadamente 600 balizas en 28 supermercados, 20 por cada uno, con el fin

de poder guiar a los clientes por la tienda, ofreciendo promociones personalizadas vía los smartphones de los usuarios. [9]

En Ecuador, Quito es la primera ciudad de Latinoamérica que cuenta con una aplicación móvil (Quito APP) y tecnología Beacon dentro de el parque La Carolina, una plataforma que permite acceder a zonas wifi gratuitas, reserva de canchas, ubicación y mapas de los puntos de comida, aseo y entretenimiento, entre otros beneficios.[10] De igual manera el jardín Botánico de Quito, implementó una aplicación con herramientas tecnológicas basadas en Beacon para turistas o residentes, como una forma innovadora de acceder a información y detalles sobre diversos puntos de interés de manera rápida y sencilla, sin la necesidad de un guía especializado, además de incrementar la cantidad de visitas diarias que recibe el lugar. [1]

Aunque, la tecnología de balizas presenta numerosas ventajas, todavía enfrenta desafíos como la interferencia de señales y las preocupaciones sobre la privacidad, los cuales son aspectos críticos que necesitan ser abordados para su adopción más amplia. Por esta razón se plantea integrar la tecnología Beacon y la tecnología IIOT en un mismo sistema, que permite implementar un sistema robusto con componentes industriales y redes IIoT multiservicio.[11]

La combinación de sensores inteligentes e IIoT representa el orden y la disposición de un sensor, un microprocesador y una tecnología de comunicación con el fin de convertir las entradas ambientales (por ejemplo, humedad, peso, detección de líquidos, temperatura) en datos legibles y transmitir los datos a un repositorio centralizado. [12]

El presente proyecto de tesis se enfoca en diseñar y configurar una red de sensores ambientales y de localización utilizando módulos ESP32 con tecnología Beacon para monitorear variables críticas como temperatura, calidad del aire y ubicación en un ambiente controlado. La red se establecerá en un área del laboratorio diseñada para replicar las condiciones de un centro comercial, asegurando una cobertura eficiente de la tecnología Beacon. Se utilizará un PLC junto con un Raspberry Pi para centralizar la recepción y el procesamiento de los datos transmitidos por los sensores. Además, se desarrollarán algoritmos en el Raspberry Pi para analizar los datos en tiempo real, permitiendo la orientación y monitoreo de condiciones ambientales del usuario dentro del entorno. Para la interfaz gráfica del sistema, se diseñará una aplicación en un HMI industrial que permita a los usuarios visualizar los datos recogidos y el estado del sistema de manera clara y eficiente. Esta interfaz incluirá funcionalidades que permitan el uso interactivo de los parámetros del sistema para guiar al usuario dentro del lugar. Además, el proyecto contempla la simulación de varios escenarios ambientales en el laboratorio, utilizando programación visual para ajustar las condiciones ambientales y evaluar la respuesta del sistema a estas condiciones. La validación de la efectividad del sistema se llevará a cabo mediante la medición de su capacidad para adaptarse y responder adecuadamente a las condiciones simuladas. Se

elaborará documentación técnica detallada sobre la configuración del sistema, la lógica de programación y los procedimientos operativos estándar. La continua expansión de estas tecnologías en el sector comercial no solo promete mejorar la orientación y la información personalizada del usuario, sino que también abre nuevas avenidas para la innovación y el desarrollo tecnológico en armonía con las necesidades locales. Este proyecto de tesis busca contribuir a esta evolución, proporcionando datos valiosos y estrategias prácticas para la localización en varios sectores con mucha afluencia en Ecuador.

1.2 Descripción del Proyecto

El objetivo de este proyecto es llevar a cabo la implementación de un sistema de orientación para centros comerciales, a través de la aplicación de tecnologías de IIoT y el uso de Beacons. El diseño de la arquitectura de este sistema Beacon - Interfaz - Servidor permitirá obtener información en tiempo real y orientación del usuario dentro de un ambiente controlado.

Los elementos principales que se usarán para la simulación del sistema son: Sensores de temperatura, sensores de proximidad, Beacons, Raspberry Pi, HMI, PLC.

Se utilizarán sensores de temperatura para medir las condiciones ambientales, mientras que los sensores de proximidad permitirán el registro de la localización del usuario a través de la conexión Bluetooth y tecnología de los Beacons, que estarán estratégicamente ubicados en puntos clave del ambiente controlado del Laboratorio de Automatización de FACSISTEL.

Para asegurar una comunicación efectiva entre los Beacons, la Raspberry Pi y un servidor central, se aplicará un protocolo de comunicación adecuado junto con un lenguaje de programación que facilite la conexión de todos los dispositivos. La Raspberry Pi procesará los datos de los sensores y los enviará al servidor de internet, donde se almacenarán para su posterior análisis.

Estos dispositivos se integrarán dentro de un módulo PLC, asegurando el correcto funcionamiento y la sincronización del sistema. Finalmente, los datos obtenidos se mostrarán mediante una interfaz HMI, lo que permitirá al usuario consultar en tiempo real su ubicación y las condiciones ambientales, optimizando la experiencia de navegación y comodidad.

1.3 Objetivos del Proyecto

Objetivo Principal

- Desarrollar un sistema de orientación y condiciones ambientales con la integración de sensores inalámbricos utilizando tecnología Beacon e IIoT, para mejorar la ex-

perencia del usuario mediante la orientación y el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales dentro del centro comercial.

Objetivos Específicos

- Implementar un sistema de adquisición de datos utilizando ESP32 con Beacons para recoger información ambiental y ubicación en tiempo real, como temperatura, calidad de aire y localización dentro de un entorno controlado que simule las condiciones de un centro comercial.
- Integrar los datos obtenidos por los sensores con un sistema centralizado basado en PLC y Raspberry Pi para el procesamiento y análisis de datos, y utilizar un HMI industrial para facilitar la interacción del usuario con el sistema.
- Simular diversas condiciones ambientales y escenarios que permitan la localización dentro de el laboratorio, utilizando equipos de control ambiental y ubicación gestionados por PLCs para validar la efectividad del sistema de monitoreo y orientación.
- Desarrollar una interfaz de usuario gráfica en el HMI industrial que permita al público monitorizar de manera remota las condiciones ambientales del lugar, visualizar su ubicación y recorrido en tiempo real dentro de un lugar establecido.

1.4 Justificación

En la actualidad los grandes avances tecnológicos han permitido mejorar la forma de interacción de las personas con entornos espaciosos como los centros comerciales. Los centros comerciales no solo son simples lugares de compra, se han convertido en espacios multifuncionales que requieren mejoras innovadoras para que la experiencia del usuario sea óptima y desarrollar un sistema de seguridad eficiente en situaciones de emergencia. La implementación de tecnologías avanzadas como Beacons e IIoT, permiten obtener la creación de un sistema de orientación y de condiciones ambientales cumpliendo con las necesidades requeridas.

Se conoce que los centros comerciales en Ecuador atraen a un gran número de personas locales y turistas debido a la alta demanda de productos y servicios que ofrecen. Un sistema de orientación es de suma importancia para este sector por su alta afluencia de personas, entre ellas están personas de la tercera edad, personas con alguna discapacidad física o cognitiva, personas con ansiedad o pánico y personas que no están familiarizadas con el lugar que pueden tener dificultades para encontrar ubicaciones; al implementar un sistema de ayuda permite la accesibilidad a todas las personas, independientemente de su capacidad, a encontrar lo que buscan. Sin embargo, en comparación con países más

desarrollados y con mayores avances tecnológicos, este tipo de tecnología actualmente no se esta desarrollando dentro de nuestro país.

La tecnología Beacon demuestra un amplio interés en la tecnología de posicionamiento en interiores debido a su bajo costo y facilidad de uso, emite señales periódicas en una frecuencia de radio específica como bluetooth de bajo consumo (BLE), lo que combinado con sensores integrados, como los de temperatura y calidad del aire, este sistema no solo facilitaría la navegación, sino que también contribuiría al bienestar de los usuarios al ofrecer información sobre las condiciones del entorno y al personal de seguridad alertar en caso de alguna emergencia.

La Internet Industrial de las Cosas permite interconectar varios dispositivos industriales para recopilar y analizar datos en tiempo real logrando una gestión más eficiente de los recursos, una mejor toma de decisiones y reducción de costes. Esta tecnología permite desarrollar un sistema centralizado basado en PLC y Raspberry Pi para el procesamiento y análisis de datos, donde la información necesaria se mostrará en una interfaz gráfica para el usuario. El desarrollo de este sistema no solo mejorará la experiencia del usuario, sino que también optimizará la publicidad de tiendas dentro del centro comercial al ofrecer datos valiosos sobre cada local y el comportamiento del cliente aumentando la producción y eficiencia operativa en la seguridad. Esto permitirá a los administradores del centro comercial implementar estrategias más efectivas de marketing y gestión de espacio y seguridad.

La adopción de estas tecnologías está alineada con las tendencias tecnológicas y socio-económicas actuales que están transformando sectores clave en todo el mundo. Dentro de nuestro país hay un creciente interés por estas tecnologías en el ámbito académico como proyectos de estudio que se encuentran en fases de desarrollo y expansión en temas como entornos virtuales para universidades y aplicaciones en teléfono móvil para un centro turístico. Utilizar un sistema de sensores inalámbricos con estas tecnologías Beacons e IIoT en lugar de un sistema más simple con sensores individuales, tiene varias ventajas significativas al tratarse de la implementación en edificios o estructuras grandes como la fácil expansión y modificación del sistema sin tener que realizar cambios grandes en la infraestructura eliminando el cableado complejo, costoso y difícil de adaptarse a nuevos espacios. Además brinda fiabilidad, precisión y capacidad de monitoreo en tiempo real.

Con este proyecto se espera generar un camino de investigación a futuros estudiantes para mejoras de uso y aplicación de estas nuevas tecnologías en entornos como universidad, municipios, museos y otras áreas de afluencia de personas dentro de nuestro país.

1.5 Alcance del Proyecto

La presente propuesta tecnológica tiene como finalidad implementar un sistema de orientación y de condiciones ambientales dentro de un ambiente controlado que será desarrollado en el Laboratorio de Automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena; a continuación se detalla el alcance de este proyecto en base a los objetivos propuestos:

1.Desarrollo de un Sistema de Sensores Inalámbricos

- Configurar sensores de temperatura, humo y presencia que permitan monitorear el ambiente y mostrar la ubicación actual del usuario en tiempo real dentro del lugar.
- Desarrollar e implementar una red de comunicación inalámbrica con tecnología Beacons utilizando el módulo ESP32, dentro del laboratorio simulando varios escenarios, condiciones ambientales y afluencias de personas de un centro comercial.
- Establecer la transmisión de datos obtenidos por los sensores inalámbricos a un sistema de control centralizado.

2. Integración de Tecnologías Raspberry, PLC y HMI

- Programar la Raspberry para procesar, almacenar y analizar los datos recibidos de los sensores y enviar la información necesaria a un PLC.
- Configurar el PLC para recibir la información de la Raspberry y definir las funciones que permitan el registro de la ubicación del usuario en tiempo real dentro del lugar para el diseño de la interfaz HMI.
- Diseñar la interfaz HMI que permita visualizar la temperatura ambiente en caso de alguna emergencia y ayude al usuario con la orientación dentro del lugar desde su ubicación actual.

3. Simulación de escenarios dentro del laboratorio

- Simular las condiciones ambientales de un centro comercial dentro del laboratorio con la variación de temperatura, afluencia de personas, obstáculos de infraestructura y el diseño de un mapa para la localización del usuario.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de orientación y condiciones ambientales con la simulación de varios escenarios dentro del laboratorio.
- Registrar los resultados de las pruebas para la evaluación, corrección y mejora del sistema.

4. Desarrollo de la interfaz para el sistema de orientación

- Diseñar una interfaz gráfica para HMI que sea fácil de interactuar con el usuario y permita la visualización de las condiciones ambientales del lugar y la localización dentro de su entorno.
- Desarrollar funciones para el HMI que permita al usuario recibir una guía de como movilizarse dentro de un mapa simulado de un centro comercial en base a su ubicación en tiempo real y que muestre la temperatura ambiente en caso de emergencias.
- Establecer alertas dentro de la interfaz que indique al guardia de seguridad sobre alguna emergencia que se esté dando en un punto específico dentro del entorno simulado.

1.6 Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se aplican varios métodos de investigación que permitan obtener resultados que cumplan con los lineamientos de los objetivos propuestos:

- **Investigación Documental.** Se basa en la investigación retrospectiva de documentos oficiales o documentos personales, tesis, artículos científicos referentes a las tecnologías que se utilizarán para respaldar nuestro proyecto, por eso esencial tener en cuenta la calidad de los documentos al utilizarlos como evidencia. Este proceso abarca la conceptualización, el uso y la evaluación para el desarrollo del sistema. [13]
- **Investigación Aplicada.** Se enfoca en la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos de tecnologías IIoT y Beacon. Se relaciona con la investigación básica de hallazgos tecnológicos, resultados y propuestas, formando una relación entre la teoría y el producto que permitan el diseño del proyecto. [14]
- **Investigación Descriptiva.** Describe las características de las tecnologías IIoT y Beacons estudiadas para la implementación del sistema, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos para recopilar información que permita la descripción y desarrollo del tema del proyecto bajo estudio. El propósito de esta investigación es proporcionar de manera minuciosa técnicas que permitan el cumplimiento de los objetivos del proyecto. [14]
- **Investigación Experimental.** Es un enfoque sistemático y científico donde se manipula varias variables independientes y se observa el efecto sobre una variable

dependiente dentro de un ambiente controlado para obtener un correcto funcionamiento del sistema. Este método de investigación impulsa la innovación al probar sistemáticamente nuevas ideas e intervenciones. [15]

1.7 Resultados Esperados

Los resultados esperados de este proyecto se relacionan con el cumplimiento de los objetivos planteados:

- **Demostrar viabilidad y funcionamiento en tiempo real.** Se espera que la red de sensores inalámbricos funcione correctamente y cumpla con el propósito de su diseño. Se pretende evidenciar que el sistema es viable y capaz de operar de forma estable en un entorno cerrado, permitiendo la orientación dentro del lugar y el monitoreo ambiental en tiempo real.
- **Diseñar la arquitectura de la red.** Se espera obtener una arquitectura bien estructurada con los nodos emisores, los dispositivos Beacons y la plataforma IIoT. El diseño deberá facilitar la comunicación entre los dispositivos y garantizar que el sistema pueda mejorar a mayor escala sin afectar su funcionamiento principal.
- **Implementar los dispositivos Beacons y sensores** Se espera tener una correcta instalación y configuración de los sensores inalámbricos y Beacons para que puedan obtener y transmitir datos ambientales y de presencia de forma continua y confiable. Se busca que los dispositivos del sistema trabajen de manera coordinada dentro de la red sin interrupciones significativas.
- **Evaluar el desempeño del sistema** Se espera comprobar el rendimiento del sistema mediante pruebas que permitan medir aspectos como el tiempo de respuesta, la estabilidad de la señal y la pérdida de datos. En base a las pruebas que se realicen, se espera determinar si el sistema cumple con los parámetros establecidos y si el desempeño es adecuado para espacios grandes y concurridos.
- **Analizar la información recolectada** Se espera que los datos obtenidos del sistema puedan ser analizados de manera clara y ordenada para poder verificar la precisión y utilidad del mismo. En base a los resultados obtenidos se espera demostrar que el sistema aporta gran valor sobre el monitoreo ambiental y orientación dentro de un entorno.

CAPÍTULO II

2.1 Marco Contextual

El mundo presenta grandes transformaciones tecnológicas gracias a la expansión de la Internet de las Cosas (IoT) y la Internet Industrial de las Cosas (IIoT), tecnologías que han facilitado la automatización de procesos, mejor eficiencia operativa y la creación de soluciones innovadoras en varios sectores, como la industria, el comercio y grandes servicios. El IIoT ha permitido que un conjunto de dispositivos interconectados recopile y procese datos en tiempo real, lo que ofrece nuevas posibilidades para la gestión inteligente de entornos comerciales. La tecnología Beacon, ha revolucionado la localización y la navegación en interiores creando entornos más inteligentes, donde se pueden monitorear variables como la temperatura, la calidad del aire y la ubicación en tiempo real.

Dentro de nuestro país Ecuador, los centros comerciales experimentan un crecimiento significativo en estos últimos años debido a la modernización del uso de la tecnología, son puntos de encuentro y entretenimiento para miles de personas al ofrecer servicios de comercialización, recreación y bienestar. Sin embargo, a medida que estos centros comerciales se expanden, también crece la dificultad de gestionar el lugar, lo que genera la necesidad de buscar soluciones más eficientes y modernas. Otro problema que se presenta dentro de los centros comerciales es que algunas personas tienen dificultades para encontrar ubicaciones en lugares grandes con mucha multitud de personas, pueden llegar a sentirse desorientadas e incluso experimentar pánico, por eso la implementación de un sistema de orientación con tecnologías avanzadas como los Beacons e IIoT representa una mejora para la interacción del usuario, optimiza el uso de los recursos y genera datos valiosos para una toma de decisiones más informada, incluso como un sistema de seguridad para centros comerciales.

En distintos países del mundo, la aplicación de la tecnología Beacon con sistemas de monitoreo IIoT ha demostrado mejorar significativamente la experiencia del usuario, la gestión de infraestructuras y la recopilación de datos. En aeropuertos como el de Miami y estadios como el Levi's Stadium en California utilizan Beacons para orientar a los visitantes, enviar notificaciones contextuales y mejorar la seguridad del lugar. Entre otras aplicaciones de varios países están en los hospitales para rastrear activos médicos y mejorar la gestión de pacientes, en el transporte público, centros comerciales y centros turísticos para gestionar flujos de personas, ofrecer guías interactivas multilingües y datos contextuales en sitios

históricos.

La combinación de estas tecnologías para el seguimiento de los clientes en los centros comerciales puede ofrecer información valiosa sobre sus comportamientos, preferencias y necesidades, lo que permite ofrecer promociones personalizadas, mejorar el diseño del espacio y optimizar los servicios. La adopción de estas tecnologías puede representar una ventaja competitiva para los centros comerciales, especialmente en mercados emergentes como Ecuador, donde las soluciones tecnológicas avanzadas todavía están en una fase inicial. Dentro de nuestro país ha comenzado a existir un creciente interés por la implementación de tecnologías innovadoras que mejoren la experiencia de compra, la gestión del espacio y el análisis de comportamientos de los consumidores. La integración de estas tecnologías no solo posicionaría a los centros comerciales como líderes en innovación, sino que también contribuiría a la creación de un ecosistema digital que apoye la economía local y la transformación digital en el país. El propósito de este proyecto es contribuir al campo académico, proporcionando un tema de estudio para la integración de nuevas tecnologías como IIoT y Beacons en aplicaciones comerciales. A través de la implementación de este sistema, se espera proporcionar datos relevantes que puedan ser utilizados en futuras investigaciones y desarrollos en la automatización, el análisis de datos y la inteligencia artificial aplicada al sector comercial o turístico.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1. Sensores Inalámbricos

Los sensores inalámbricos son dispositivos electrónicos que tienen el objetivo de medir variables físicas como el movimiento, la presión, proximidad, temperatura y humedad, para luego transmitir los datos obtenidos a un receptor en un sistema central de manera inalámbrica. En lugar de utilizar cables para enviar la información, los sensores inalámbricos utilizan tecnologías de comunicación inalámbrica como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRa, entre otras, para enviar los datos a través de ondas de radio o señales electromagnéticas. [16]

2.2.2. Bluetooth

Bluetooth es un protocolo de comunicación inalámbrica de corto alcance que permite la conexión entre dispositivos digitales como un teléfono móvil y ordenadores que utilicen esta tecnología. Esta tecnología inalámbrica funciona en todas las direcciones ya que es omnidireccional. Su alcance inicial era alrededor de 10 metros en su versión original, pero con el tiempo ha mejorado, su versión más reciente llega hasta los 240 metros. Es una red de área personal (PAN-Personal Area Network) que permite la conexión entre dos

dispositivos a través de un enlace de radiofrecuencia en la banda de 2.4 GHz, banda que se utiliza para dispositivos industriales, científicos y médicos. [17]

Versiones Desde que esta tecnología fue creada, se han desarrollado diversas versiones que han ido mejorando significativamente. En la siguiente tabla se puede observar la comparación de estas versiones:

Especificaciones	v1.1	v2.0	v2.1	v3.0	v4.0	v4.1	v4.2	v5.0	v5.1
Año de salida:	2002	2004	2007	2009	2010	2013	2014	2016	2019
Basic Rate:	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Enhanced Data Rate (EDS):	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
High Speed (HS):	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Low Power (LE):	No	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si
Ancho de Banda (BW):	1Mb/s	3Mb/s	3Mb/s	24Mb/s	32Mb/s	32Mb/s	32Mb/s	50Mb/s	50Mb/s

Tabla 1: Características del Bluetooth según la versión

2.2.3. Bluetooth LE

La organización de Bluetooth Special Interest Group (SIG) lanzó la versión de Bluetooth 4.0 en el año 2010, incorpora los protocolos de BDR/EDR e introduce un nuevo protocolo BLE (Bluetooth Low Energy). El protocolo de comunicación BLE brinda una mejora en la transmisión de datos bidireccional, mejor interconexión entre dispositivos y mejor localización dentro de interiores como entornos industriales y logísticos. Este protocolo de comunicación se caracteriza por su bajo consumo de energía lo que permite el funcionamiento prolongado de dispositivos que utilizan baterías, la transmisión se envía en pequeñas cantidades de datos ideal para dispositivos como sensores y actuadores que se utilizan comúnmente en un sistema IIoT. [18]

Bajo consumo de energía: Bluetooth Low Energy transmite en pequeños paquetes de datos lo que causa un bajo consumo energético en los dispositivos, lo que es ideal para sensores que funcionan de manera periódica. Esto permite prolongar la duración de las baterías, mejorando la función de su uso en sistemas de beacons o balizas.

Compatibilidad: Esta tecnología es interoperable con la mayoría de los dispositivos actuales como los teléfonos inteligentes, tablets y microcontroladores. BLE al ser un pro-

protocolo de comunicación compatible facilita la integración con otros sistemas sin utilizar demás componentes de adaptación lo que permite reducir costos y complejidad del sistema al momento de realizar mejoras.

Fácil implementación: En comparación con otras tecnologías como ZigBee o Z-Wave, BLE es más sencilla de implementar al permitir conexiones de punto a punto entre los dispositivos. Existen plataformas de fácil uso como Home Assistant y Node-Red donde se pueden desarrollar aplicaciones para estos sistemas y visualizar los datos que se transmiten.

Velocidad de transmisión: Aunque no es la más rápida en comparación con otras tecnologías inalámbricas, la velocidad de transmisión va desde 1 Mbps hasta 2 Mbps según la versión y configuración, es suficiente para la transmisión de pequeñas cantidades de datos de sensores o actuadores en un sistema IIoT.

La tecnología BLE es estable, confiable, tiene bajo consumo de energía, está presente en muchos dispositivos inteligentes adaptándose y mejorando a las necesidades diarias de conexión.

Especificaciones	Bluetooth	BLE
Rango de alcance:	Hasta 100 metros	Más 100 metros
Velocidad de transmisión máxima:	Entre 1-3 Mbps	1 Mbps
Frecuencia:	2,4 GHz	2,4 GHz
Latencia:	100 ms	6 ms
Desfase:	100 ms	3 ms
Topología de red:	Estrella	Estrella
Consumo:	1W	0.01 - 0.05 W

Tabla 2: Especificaciones de Módulo ESP32 [19]

2.2.4. Otras Tecnologías Inalámbricas

El internet de las Cosas (IoT) ha mejorado los procesos de automatización en muchas industrias, gracias a esta tecnología se pueden obtener mejores resultados, obtener información en tiempo real lo que permite prevenir fallas con mantenimientos antes de que ocurran problemas y tener control sobre máquinas o equipos de manera remota.

Para el desarrollo de sistemas industriales de IoT basados en sensores inalámbricos, se necesita de tecnologías de comunicación confiables, que sean estables y de bajo consumo. Existen varias tecnologías entre las más importantes están RFID, NFC, UWB, WiFi

RTT, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee y Z-Wave, cada una de ellas tiene sus propias ventajas según el área donde se necesite aplicarlas, la topología de red diseñada, el funcionamiento constante o específico, velocidad de transmisión, paquetes de transmisión y sobre todo el costo de implementación.

RFID (Radio Frequency Identification) La tecnología RFID rastrea objetos por medio de ondas de radio, funciona a través de etiquetas electrónicas que guardan información que pueden ser leídas sin necesidad de contacto visual directo. Hay dos tipos de RFID: las pasivas no tienen baterías y solo se activan con el lector, y las activas si necesitan batería y alcanzan mayores distancias. Esta tecnología se aplica en logística, inventarios y control de accesos, pero en lugares con más movimiento no son tan precisas y su alcance es inferior a las demás tecnologías como BLE o UWB.[20]

NFC (Near Field Communication)

NFC es una tecnología de comunicación inalámbrica que se basa en RFID, pero solo funciona a distancias cortas de hasta 10 cm. Esta tecnología se aplica en pagos móviles, registro de entradas electrónicas y transferencia de información entre dispositivos. Al ser de corto alcance es muy seguro pero no sirve para sistemas de orientación.[21]

UWB (Ultra Wideband) La tecnología de banda ultraancha (UWB) permite encontrar la ubicación de objetos con gran exactitud con un margen de error menor a 10 cm en interiores, basándose en la medición del tiempo que tardan en llegar los pulsos de radiofrecuencia. UWB se utiliza en áreas donde es importante la precisión, como el seguimiento de procesos en tiempo real, la industria 4.0 y localización de equipos. [22]

Wi-Fi RTT (Round Trip Time)

El Wi-Fi RTT (IEEE 802.11mc) calcula distancias midiendo el tiempo que tarda la señal WiFi en ir y regresar entre un dispositivo y un punto de acceso. Esta tecnología se encuentra en teléfonos Android modernos, también permite localizar con mayor exactitud en espacios de interiores sin necesidad de un hardware extra. [23]

Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy (BLE) es una versión mejorada del Bluetooth clásico, creada con el fin de consumir mejor energía en el funcionamiento de sistemas. Se encuentra en dispositivos móviles, relojes inteligentes, sensores y otros equipos de un sistema IoT. La topología que se utiliza con esta tecnología es tipo estrella, aunque se puede utilizar con tipo malla

con software adicional. [24]

ZigBee La tecnología ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4, diseñada para redes de sensores inalámbricos, tanto en el hogar como para la industria. Su ventaja es que utiliza una topología de malla, lo que permite una mejor cobertura y estabilidad de la red. [25]

Z-Wave

Z-Wave es una tecnología creada especialmente para la automatización del hogar. Opera en bandas de frecuencia más bajas (sub-GHz), lo que permite una estabilidad muy buena y mejor alcance para manejar dispositivos como luces, cerraduras o sistemas de seguridad. [26]

Comparativa de tecnologías inalámbricas

Tecnología	Frecuencia	Velocidad	Alcance	Topología	Consumo	Aplicación
BLE	2.4 GHz	1–2 Mbps	10–100 m	Estrella	Muy bajo	Beacons, sensores móviles
ZigBee	2.4 / 868 MHz	250 Kbps	10–100 m	Malla	Bajo	Domótica, sensores industriales
Z-Wave	800–900 MHz	100 Kbps	30–100 m	Malla	Muy bajo	Automatización del hogar
Wi-Fi	2.4 / 5 GHz	Hasta 1300 Mbps	50–100 m	Estrella	Alto	Transmisión de datos, cámaras
UWB	3.1–10.6 GHz	110 Mbps	10–50 m	Estrella	Medio	Localización precisa, RTLS
RFID	125 kHz – 2.4 GHz	<100 Kbps	1–10 m	Punto a punto	Muy bajo	Control de acceso, inventarios
NFC	13.56 MHz	106–424 Kbps	<10 cm	Punto a punto	Muy bajo	Pagos, validación cercana

Tabla 3: Comparativa de tecnologías inalámbricas para sensores y automatización

Bluetooth Low Energy (BLE) destaca frente a las demás tecnologías en aplicaciones donde el bajo consumo de energía y la conectividad son esenciales.

2.2.5. Internet Industrial de las cosas (IIoT)

El Internet Industrial de las Cosas, conocido como IIoT por sus siglas en inglés (Industrial Internet of Things), se define como la conexión de máquinas, dispositivos, sensores y sistemas dentro del entorno industrial mediante internet o redes privadas. Esto permite recolectar, intercambiar y analizar datos en tiempo real para tomar decisiones más rápidas y precisas.

El IIoT se basa en la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), pero enfocado al sector industrial. Su objetivo principal es aumentar la eficiencia, mejorar los procesos de producción, reducir los costos y facilitar el control de manera remota de los sistemas industriales. [27]

2.2.6. Wi-Fi

Wi-Fi (Wireless Fidelity) es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite la conexión a redes locales (LAN) a través de ondas de radio, sin necesidad de cables. Wi-Fi permite que dispositivos como teléfonos móviles, computadoras, tabletas, televisores inteligentes, impresoras y otros dispositivos electrónicos se conecten a internet o a redes locales de manera inalámbrica, utilizando puntos de acceso (routers o hotspots) para transmitir y recibir datos. [28]

2.2.7. Raspberry

Una Raspberry Pi es una pequeña computadora de placa única (SBC - Single Board Computer), diseñada para ser accesible, económica y fácil de usar en proyectos de programación, electrónica y aprendizaje de computación. Fue creada por Eben Upton, quien creó la Fundación Raspberry Pi cuyo objetivo era ayudar a los jóvenes estudiantes fomentando la educación en informática y tecnología. [29]

Cada placa de Raspberry Pi es compatible con el sistema operativo Raspberry Pi SO, inicialmente llamado Raspbian, que es un sistema operativo creado por la fundación en 2012. Las versiones iniciales eran de 32 bits, sin embargo, las ediciones más recientes utilizan variantes en 64 bits. [30]

Modelo	Procesador	RAM	Puertos USB	Conectividad	Almacenamiento	Año
Raspberry Pi 1 Modelo A	BCM2835 (700 MHz)	256 MB	1	Sin Ethernet	Tarjeta SD	2012
Raspberry Pi 1 Modelo B	BCM2835 (700 MHz)	512 MB	1	Ethernet 10/100	Tarjeta SD	2012
Raspberry Pi 2 Modelo B	BCM2836 (900 MHz, 4 núcleos)	1 GB	4	Ethernet 10/100	MicroSD	2015
Raspberry Pi 3 Modelo B	BCM2837 (1.2 GHz, 4 núcleos)	1 GB	4	Wi-Fi, Bluetooth 4.1, Ethernet 10/100	MicroSD	2016
Raspberry Pi 4 Modelo B	BCM2711 (1.5 GHz, 4 núcleos)	2/4/8 GB	4 (2 USB 3.0)	Wi-Fi, Bluetooth 5.0, Ethernet Giga-bit	MicroSD	2019

Tabla 4: Versiones de Raspberry Pi

2.2.8. PLC

PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial para controlar y supervisar procesos y máquinas de forma automá-

tica. Los PLC son esenciales en la industria moderna, ya que permiten la automatización de tareas repetitivas y complejas, mejorando la eficiencia, precisión y seguridad de los procesos. [31]

2.2.9. HMI (Human-Machine Interface)

HMI hace referencia a la tecnología que permite la comunicación entre los operadores y las máquinas o sistemas automatizados. Esta interfaz funciona como un puente que permite al operador supervisar y controlar el funcionamiento del sistema, sea una máquina, un dispositivo o un proceso de funcionamiento mediante una pantalla gráfica o dispositivo táctil. [32]

2.3 Marco Teórico

El sector comercial en Ecuador necesita evolucionar hacia la transformación digital implementando tecnologías en la gestión de servicios no solo por mejorar la eficiencia y reducción de tiempo, sino por ofrecer mejores experiencias a los consumidores. Sin embargo, esto requiere una inversión en infraestructura, capacitación y educación tecnológica, así como una estrategia clara para integrar estas herramientas en el modelo de negocio de las empresas. Caballero de Tineo (Tineo, 2016), en su trabajo de masterado de 2016, presenta una solución para la industria turística utilizando Beacons y objetos turísticos con comunicación Bluetooth Low Energy (BLE), ofreciendo servicios de información que enriquecen las actividades de turismo cultural. La razón del estudio radica en la queja de turistas, que señalan la falta de información clara y oportuna que les permita aprovechar adecuadamente la riqueza cultural disponible. Leónidas Guevara y Stalin Vega (2023), en su trabajo de titulación “Implementación de una aplicación móvil en Android utilizando tecnología Beacon para una mejor experiencia del usuario dentro del Jardón Botánico de Quito” [10] proponen crear una aplicación móvil basada en tecnología Beacon que cumpla con las necesidades de los usuarios y evaluarla mediante métricas de software, brindando información personalizada a los visitantes dentro del jardín. El resultado mostró que la implementación de Beacons en la aplicación permitió una mejor conexión en interiores, cumpliendo con las expectativas y facilitando avances organizados en el proceso de desarrollo. La propuesta tecnológica de este proyecto en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, tiene como fin lograr un sistema de orientación basado en la entrega de información de la localización del usuario e información del ambiente del lugar en el que se encuentra, mediante el uso de componentes electrónicos que recojan dicha información en tiempo real mejorando la orientación dentro de un ambiente controlado. Los parámetros principales de este proyecto son de temperatura y humedad del aire, ubicación del usuario dentro de un mapa establecido y mostrar el recorrido dentro del lugar; entorno a

esta referencia, la propuesta busca obtener datos mediante sensores de temperatura colocados en puntos estratégicos que recolecten datos de la temperatura ambiente y sensores de proximidad que registren la ubicación del usuario a través de conexión Bluetooth y tecnología Beacon, datos que serán enviados mediante WiFi a un servidor que se integra a un módulo PLC donde el usuario podrá obtener información y registrar su recorrido mediante una interfaz HMI.

CAPÍTULO III

3.1 Componentes de la Propuesta

Para el desarrollo del sistema de orientación y de condiciones ambientales se integran las tecnologías Beacons e IIoT, lo que conlleva el uso de varios componentes físicos y de distintos componentes lógicos para poder establecer la comunicación entre ellos.

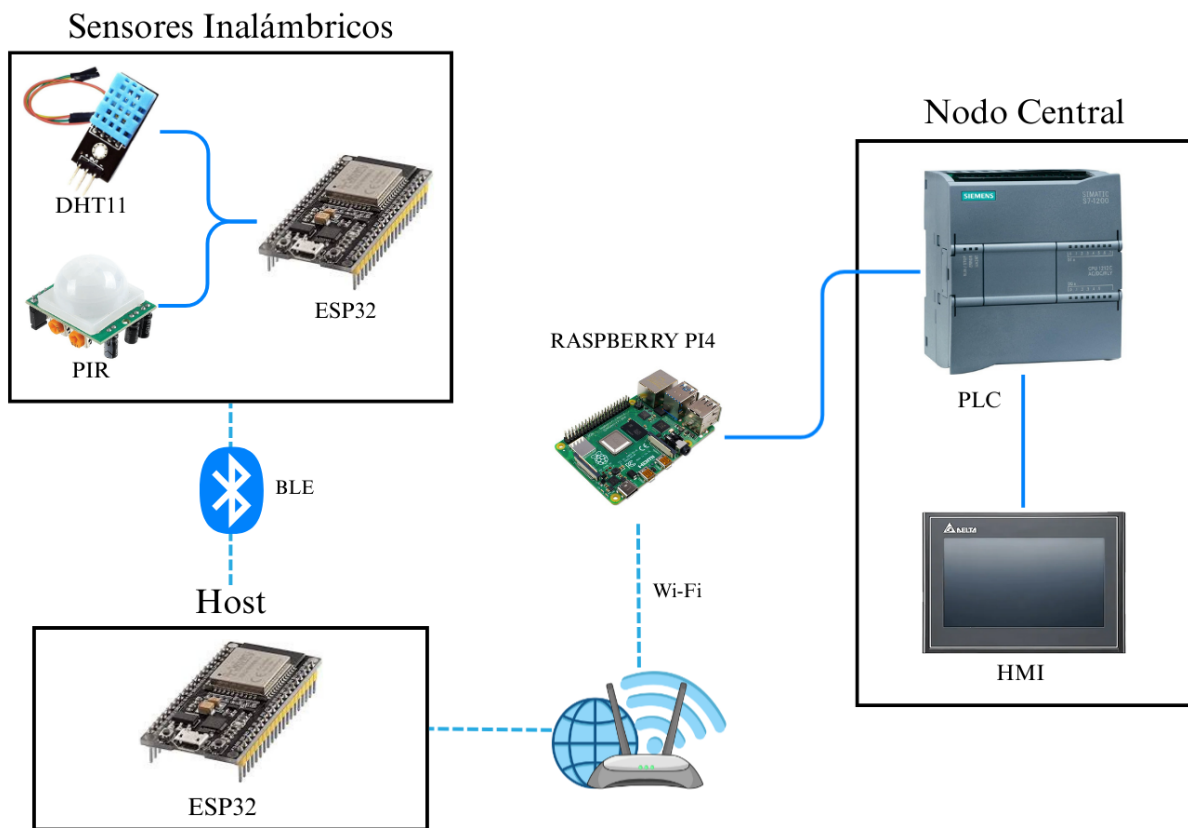


Figura 1: Arquitectura

3.1.1. Componentes Físicos

Los componentes seleccionados para este sistema tuvieron un análisis previo para garantizar la precisión, funcionalidad, eficiencia en el consumo de energía y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Sensores Inalámbricos Para el sistema de condiciones ambientales se utiliza el sensor de temperatura y humedad DHT11. Este dispositivo cuenta con un sensor de humedad capacitivo y un termistor que mide la temperatura del aire, los datos obtenidos se envían de manera digital mediante un pin de salida, lo que permite al sistema registrar y analizar las condiciones del entorno. [33] El sensor opera en un rango dentro de 0 a 50°C y de 20 % a 80 % de humedad relativa, con una precisión de mas o menos 5 % tanto en temperatura como en humedad. [34]. Al emitir una señal digital calibrada, este sensor facilita la integración con microcontroladores y sistemas IIoT. Gracias a su bajo consumo de energía, es ideal para proyectos que buscan eficiencia en costos y ahorro energético, como sistemas que utilizan tecnología Beacons.

Para el sistema de presencia se utilizó el sensor PIR HC-SR501, reconoce la luz infrarroja emitida por los objetos en movimiento en las proximidades del sensor de hasta 7 metros y su consumo de corriente es de 65 mA. Todos los objetos y personas que irradian calor también emiten un bajo nivel de radiación infrarroja, en relación con su temperatura; cuanto más caliente está un objeto, más radiación emite. [35] Este sensor convierte el infrarrojo que detecta en señales que se usan para monitorear ubicaciones y al ser de bajo costo es de mucha utilidad en el sistema de seguridad.

Los Beacons de este proyecto se componen de un microcontrolador ESP32, el cual funciona en dos modos diferentes: modo Servidor y modo Cliente. El módulo ESP32 posee doble núcleo, capacidades de GPIO y soporta protocolos Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE, ideal para la conexión simultánea de sensores y envío de datos a través de BLE y Wi-Fi. [36] Los Beacons clientes están integrados con los sensores de temperatura/humedad y de presencia, mientras que los Beacons servidores funcionan como Host pero necesitan de un Home Assistant para poder conectarse al nodo central. El bajo consumo de energía de estos microcontroladores (modo deep sleep vs active mode) y la capacidad de transmisión periódica los hacen ideal para el sistema de monitoreo ambiental.

Para poder establecer la comunicación al Nodo Central se necesita de un Home Assistant, el cual se compone de una Raspberry Pi 4. Esta placa base tiene Gigabit Ethernet y dos puertos USB 3.0 que permite un gran aumento de velocidad en redes y transferencia de datos a unidades de almacenamiento externas. [37] Raspberry Pi 4 al tener un procesador Broadcom BCM2711 de cuatro núcleos 1.5 GHz, maneja múltiples dispositivos y procesos simultáneamente, lo que es esencial para la conexión entre el sistema de Beacons e IIoT.

Nodo Centralizado

El nodo central del sistema es la conexión entre los Beacons y el procesador central compuesto por una Raspberry Pi 4, el cual al establecer comunicación con el Host, procede a guardar los datos de los sensores inalámbricos en una base de datos dentro de su sistema;

de igual manera, contiene NodeRed que será esencial a la hora de diseñar los nodos y procesar los datos recibidos que posteriormente serán enviados al PLC S7-1200.

Monitor Central El PLC Simatic S7-1200 es un controlador lógico programable compacto y potente desarrollado por Siemens, está diseñado para automatizar y controlar procesos industriales. Este modelo de PLC es ideal para aplicaciones pequeñas y medianas debido a su estructura modular y escalable que permite una fácil expansión del sistema según las necesidades requeridas del proyecto. [38]

El PLC cuenta con dos componentes principales: hardware y software.

- El hardware está compuesto por una fuente de alimentación, la unidad central de procesamiento (CPU), módulos de entrada/salida y los módulos de comunicación.
- El software que utiliza el PLC es TIA Portal, este software brinda acceso completo al sistema de automatización digital, desde la planificación y diseño hasta la programación y monitoreo integrado.[39]

Mediante el software se configuran las variables necesarias para desarrollar la interfaz del sistema que se muestra en un HMI Delta DOP-B03E211. Esta interfaz humano-máquina (HMI) funciona como una pantalla táctil o panel que convierte los datos técnicos en información visual clara y comprensible para el operador. La serie DOP de los HMI ofrece una gran variedad de pantallas táctiles en distintos tamaños y colores, lo que permite un control rápido, práctico y eficiente de los equipos industriales automatizados. Utiliza un software de programación DOPSoft, el cual facilita la edición de gráficos e imágenes y la configuración del protocolo de comunicación que se necesita para la conexión con el sistema. [40] El HMI se comunica directamente con el PLC para obtener los datos necesarios de los sensores de entrada/salida y permitirle al usuario visualizar la información en tiempo real que necesita.

3.1.2. Componentes Lógicos

Cada componente físico necesita ser programado correctamente para lograr cumplir sus funciones establecidas dentro del sistema. El software Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), contiene un editor de texto para escribir un código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes y una serie de menús. Se conecta al hardware para poder cargar programas y comunicarse con ellos. Este software es utilizado para programar los módulos de ESP32 con las respectivas configuraciones de Beacons y Host. De igual manera, se utilizó para la respectiva programación del Home Assistant y de la Raspberry del nodo central. MariaDB es una base de datos de código abierto que ayuda a almacenar y organizar datos. Es similar a

otros programas de bases de datos como MySQL, pero tiene algunas características y mejoras únicas. Esta base de datos es utilizada en la Raspberry para alojar un servidor web y poder procesar los datos en información necesaria. Node-RED es una plataforma de programación que permite la conexión entre dispositivos electrónicos, servicios en línea y diferentes aplicaciones. Permite crear flujos de trabajo necesarios para el sistema, desarrollando proyectos de automatización y soluciones para sistemas IoT sin programación compleja. Proporciona un editor basado en un navegador que facilita la conexión de flujos utilizando la amplia gama de nodos que se pueden implementar en su tiempo de ejecución con un solo clic. En el contexto del acceso a las etiquetas PLC en el TIA Portal, Node-RED ofrece nodos específicos que utilizan el protocolo de comunicación S7, lo que permite una conectividad y comunicación sin interrupciones con los PLC de Siemens.

Para poder crear las funciones principales del sistema se utilizó TIA Portal (Portal de Automatización Totalmente Integrada), una aplicación que permite diseñar programas para el PLC, pantallas HMI y sistemas de control, todo dentro de un mismo software.

El TIA Portal es una plataforma desarrollada por Siemens que cuenta con todas las herramientas necesarias para programar, configurar y supervisar dispositivos de automatización industrial como PLC, HMI y redes de comunicación. Su diseño facilita el desarrollo, la simulación y la puesta en marcha de proyectos automatizados. Para programar el PLC, TIA Portal procesa la información obtenida desde Node-RED y los sensores conectados, mostrando los datos dentro de un HMI.

La interfaz de HMI se programa en DOPSoft, un software desarrollado por Delta Electronics que permite diseñar, programar y simular interfaces. Esta plataforma permite desarrollar interfaces gráficas interactivas que facilitan la comunicación entre el operador y los sistemas automatizados de procesos industriales. También ofrece varias funciones como una biblioteca de imágenes o íconos para botones, soporte para varios idiomas y simulaciones que permiten realizar varias pruebas y ajustar la interfaz antes de la implementación asegurando un resultado eficiente, intuitivo y confiable de un proyecto.

3.2 Diseño de la Propuesta

Para el desarrollo del sistema de esta propuesta tecnológica, necesitamos diseñar las conexiones entre los dispositivos y protocolos de comunicación que permitan el funcionamiento de la integración de la tecnología Beacons e IIoT.

La arquitectura del sistema de orientación y condiciones ambientales sigue una estructura modular y escalable donde el proceso inicia con la medición de variables ambientales cuyos datos serán captados por un Beacon emisor y serán enviados a un Beacon receptor mediante BLE, datos que serán transmitidos a un nodo central que se encargará de en-

viar dicha información a un PLC y HMI para poder procesar la información necesaria y visualizar en la interfaz gráfica el sistema. Esta arquitectura garantiza un flujo de datos eficiente, en tiempo real y facilita la integración de mejoras a futuro.

Tecnología Beacon

Los sensores de temperatura y humedad estarán ubicados en cada local, donde se muestran las condiciones ambientales del lugar dentro del mapa establecido, que a su vez servirán como un sistema de alerta para el guardia de seguridad en caso de algún accidente. El sensor de presencia estará ubicado junto al HMI para que cada vez que el usuario se acerque muestre en la pantalla su ubicación actual dentro del mapa y pueda orientarse hacia donde quiere ir. Cada Beacon está compuesto por un módulo ESP32 que servirán como emisor y otros como receptor utilizando la comunicación del protocolo BLE, la programación de estos módulos se realiza en la interfaz Arduino IDE. Para programar el ESP32 desde Arduino IDE, hay que agregar las URLs de las placas ESP32 para poder descargar el núcleo. La ventaja de utilizar el protocolo de comunicación BLE es que tiene un consumo mucho más bajo que el bluetooth tradicional, en pico de gasto BLE consume un 50 por ciento y en reposo un 1 por ciento, lo que implica que la duración del consumo de energía pueda extenderse de unos pocos días a años.

Los sensores de temperatura y de humedad DHT11 se conectan en las entradas digitales del módulo ESP32 y dentro de su programación se definen las variables de memoria para la lectura de datos de manera periódica en un intervalo de tiempo de 5 segundos para maximizar la eficacia energética. Estos módulos se encargarán de enviar los datos recolectados al Beacon receptor configurado como Host, también compuesto por un módulo ESP32. Los beacons emiten señales con información básica, para poder gestionar y transmitir los datos captados por los sensores hasta el nodo central. El Host actúa como el punto de conexión con el nodo central permitiendo a los Beacons conectarse a la red, pero para eso se necesita de un Home Assistant, el cual está compuesto por una Raspberry Pi 4. En el Home Assistant se puede visualizar de manera gráfica los datos sensados por el DTH11.

Nodo Central

La Raspberry Pi 4 es la que se encarga de recibir todos los datos recolectados, guardarlos en la base de datos MariaDB y posteriormente convertirlos en información útil. Para poder acceder a la Raspberry e instalar la base de datos se utiliza el software de VNC, el mismo que permite controlar la Raspberry de manera remota y realizar las respectivas configuraciones. Los datos recolectados por los sensores son almacenados en la base de datos, los cuales serán necesarios para el desarrollo de nuestro sistema en Node-Red; aquí se definen las tablas y variables necesarias para gestionar los datos recibidos de temperatura, humedad y movimiento.

Dentro de la Raspberry se utiliza la plataforma Node-Red para el diseño e integración de todos los dispositivos, podemos desarrollar nodos de entradas (datos sensores), nodos de procesamiento (conversiones de datos) y nodos de salida que es la información que va a recibir el PLC para definir las acciones de los componentes del sistema. Por medio de este software se desarrollan varios bloques de función donde se realiza la conversión del tipo de datos para poder enviar toda la información al PLC y que pueda ser utilizada, y también aquí se establece la comunicación con el PLC. Para el prototipo solo se utiliza un Beacon, por esta razón los demás datos son generados dentro de Node-Red para poder lograr el cumplimiento de las funciones del sistema.

Interfaz Gráfica

Una vez que se establece la comunicación con la Raspberry Pi, el PLC recibe toda la información necesaria captada por los sensores inalámbricos, información que se utiliza para la programación de los bloques de cada funcionamiento del sistema en ladder dentro de TIA Portal. El TIA Portal permite la programación y configuración del PLC S7-1200 y del HMI Delta, aquí se crea un proyecto para definir la lógica de las operaciones y controles de nuestro sistema mediante el uso de variables definidas dentro de la base de datos y del Node-Red, y de variables tipo memoria que serán necesarias para creación de los bloques de programación que cumplan con los objetivos del sistema al momento de desarrollar la interfaz gráfica. Dentro de este software se configura la conexión con el HMI.

El desarrollo de la interfaz gráfica que se visualizará en el HMI Delta, se realiza en la plataforma de DOPSoft utilizando las variables creadas en TIA Portal que permiten programar las funciones de cada botón. Dentro de este software se crean las funciones del sistema como la guía para orientarse dentro del lugar conociendo su ubicación en tiempo real y mostrando la calidad de temperatura de cada local del centro comercial, además de tener un sistema de seguridad donde solo el guardia de seguridad podrá ingresar y poder visualizar las variaciones de las condiciones ambientales para evitar algún tipo de accidente. Se diseñan varias pantallas que cumplan con el sistema de orientación y la ubicación actual del usuario, permitiendo visualizar las condiciones ambientales dentro del mapa.

Ambiente controlado

Las pruebas del funcionamiento de este sistema de orientación y condiciones ambientales con tecnología Beacons e IIoT para un centro comercial, será simulada en un ambiente controlado dentro del Laboratorio de Automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Se realizarán diferentes pruebas en varios escenarios con condiciones similares a un centro comercial, donde se llevará un registro de resultados para la comprobación del cumplimiento de los objetivos establecidos y mejoras a futuro.

3.2.1. Comunicación entre dispositivos

El sistema de orientación y de condiciones ambientales dirigida a un centro comercial, se compone de la comunicación entre varios dispositivos hardware y software mediante tecnología Beacons e IIoT.

Beacons

La comunicación de la transmisión de datos que utiliza la tecnología Beacons hacia el Host en este sistema, son enviados por medio del protocolo BLE. El Host recepta y envía al siguiente nivel de procesamiento de información del nodo central mediante vía Wi-Fi, estableciendo la comunicación por medio de un API que se obtiene dentro del Home Assistant, comunicación que también se establece mediante Wi-Fi.

Nodo Central

Al llegar al núcleo de procesamiento de la Raspberry por medio de via Wi-Fi, se utiliza MariaDB para almacenar los datos que se necesitarán en Node-Red para la programación visual del funcionamiento de nuestro sistema, el cual conecta los dispositivos hardware con los servicios en línea. Para la lectura de datos de los sensores en tiempo real, Node Red utiliza el protocolo MQTT y se necesita el API de Home Assistant para establecer la comunicación. El protocolo MQTT se utiliza por su eficiencia en entornos donde el ancho de banda es limitado y la latencia debe ser mínima, además facilita una comunicación escalable entre sensores y el servidor central. Este software usa el nodo S7, el cual mediante Ethernet TCP, permite conectarse al PLC.

Interfaz Gráfica

Dentro de PLC se establece la conexión con el HMI por medio de Ethernet con la respectiva configuración de direcciones IP en el software de TIA Portal y se desarrollan los bloques de función para el diseño de la interfaz dentro de DOP-Soft. La pantalla de interacción se mostrará cada vez que el sensor de movimiento detecte que el usuario se encuentra frente al HMI.

CAPÍTULO IV

4.1 Análisis y Resultados

A continuación se detalla el análisis de cada proceso que se realizó en el desarrollo de este sistema con sus respectivos resultados, incluyendo las pruebas simuladas de un ambiente controlado dentro del laboratorio, junto con la calidad de la señal en la transmisión de datos y tiempos de respuesta.

Entorno de Pruebas

Se instalan los Beacons dentro del laboratorio de Automatización, ubicando al receptor dentro de un módulo principal y los emisores se ubican de manera estratégica en distintos lugares dentro y fuera del laboratorio para receptar datos de los sensores de temperatura. Se toma en cuenta los obstáculos que normalmente se encuentran dentro de un establecimiento como paredes y muebles. Este método de prueba de Beacons en varios ambientes permite recrear las condiciones típicas de un centro comercial, tomando en cuenta la cantidad de afluencia de personas y demás limitaciones que puedan influir en la transmisión de datos del sistema y lograr obtener resultados eficaces.

Medición de la Intensidad de Señal (RSSI)

En esta etapa, se recopilan datos sobre la intensidad de la señal (RSSI-dBm) en distintas zonas del entorno simulado, con el objetivo de evaluar la calidad de la conectividad entre los Beacons y el módulo principal. Esto permite identificar las áreas con señal débil que podrían comprometer la eficacia del sistema de monitoreo. De esta manera se logrará optimizar la distancia y ubicación entre los dispositivos del sistema asegurando una cobertura estable y continua dentro del entorno.

Precisión de Sensores

En esta fase, se analiza el rendimiento de cada sensor en tiempo real tomando en cuenta métricas específicas según su tipo. El propósito es asegurar que cada dispositivo sea capaz de detectar con exactitud los eventos y condiciones ambientales de cada local dentro de un centro comercial y alertar a seguridad, a su vez ayudar a personas que tengan dificultad de orientación en lugares grandes y con mucha afluencia de personas. En este proceso, también se realiza la revisión de lecturas que se mantengan dentro de los valores esperados,

garantizando precisión de información y comunicación del sistema en situaciones diarias.

Sensor	Tasa de éxito (%)	Tasa de error (%)	Observaciones
Temperatura (DHT11)	94	6	Valores estable, margen $\pm 1^\circ\text{C}$
Movimiento (PIR HC-SR501)	91	9	Cobertura 4–6 m; falsos positivos ocasionales

Tabla 5: Desempeño de sensores en el entorno controlado.

Transmisión de Datos

En esta fase, se evalúa la conectividad del sistema y la eficiencia con la que los datos obtenidos por los sensores se transmiten hasta el módulo central. De esta manera, se logra que durante el trayecto de transmisión de datos no haya pérdida de información ni retraso por latencia de la red mediante la identificación de problemas registrados durante las pruebas.

Implementación Beacons

Los Beacons emisores envían paquetes de datos en intervalos regulares (cada 1 segundo) obtenidos por los sensores de temperatura y humedad DHT11. Los paquetes de datos tienen un payload estructurado con los ID de cada beacon, el dato de temperatura y un timestamp.

A continuación se detalla las pruebas realizadas de recepción de datos a distancias de 1m, 5m, 10m y 20m, determinando la estabilidad de la señal hasta aproximadamente 15 metros en ambientes cerrados con obstáculos.

Distancia(m)	Paquetes recibidos %	RSSI promedio (dBm)
1	100 %	-45
5	98 %	-60
10	93 %	-70
15	85 %	-78
20	60 %	-85

Tabla 6: Estabilidad de la señal

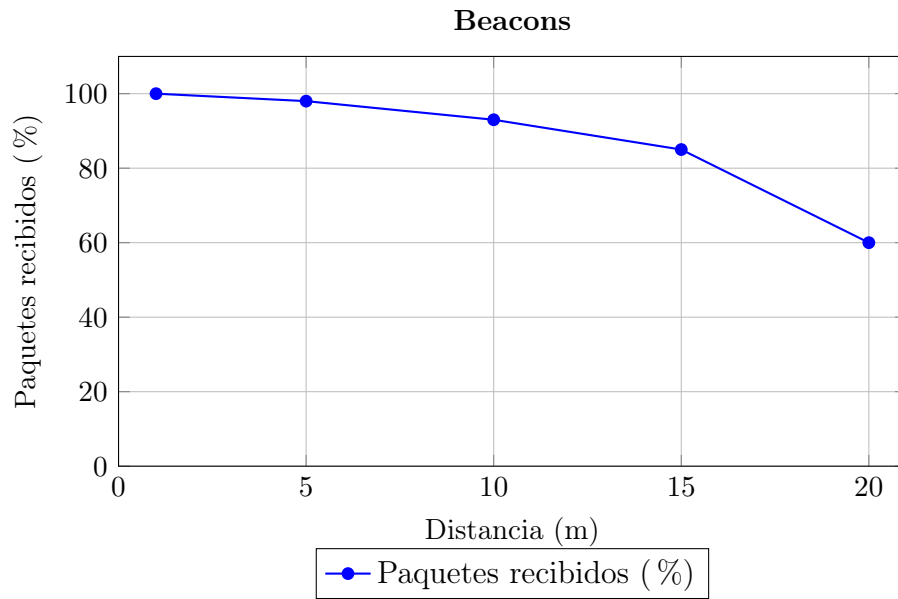


Figura 2: Disminución del porcentaje de paquetes recibidos con el aumento de distancia.

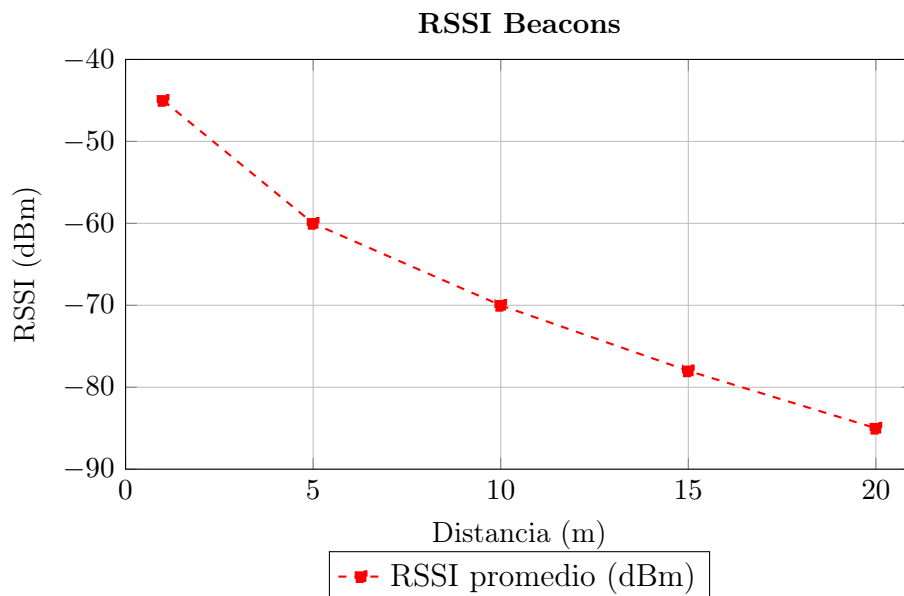


Figura 3: Variación del RSSI promedio según la distancia entre dispositivos BLE.

Integración con Home Assistant

El módulo ESP32 que funciona como Host, comunica los datos obtenidos de los Beacons con sensores ambientales a Home Assistant mediante protocolo MQTT. Esta plataforma permite visualizar los valores en tiempo real, generando alertas en caso de que los valores se encuentren fuera de rango y permite obtener el historial de los valores sensados.

Se realizó una evaluación de latencia promedio entre las lecturas de los sensores y la visualización de dichos datos en el panel de control, obteniendo un tiempo de respuesta entre 1.2 y 1.5 segundos.

Procesamiento y Visualización a través del PLC

El Node-RED actúa como puente para enviar los valores de la base de datos al PLC para su posterior visualización en el HMI Delta. La interfaz gráfica del sistema muestra valores actuales de temperatura, gráficos históricos y alertas visuales cuando se exceden ciertos umbrales de temperatura. Este sistema es útil para centros comerciales al permitir la supervisión ambiental de distintas zonas en tiempo real, que junto al sistema de orientación puede indicar áreas con mejor confort.

Evaluación del Desempeño del Sistema

Se analiza los siguientes factores:

- **Consumo energético de Beacons:** Bajo consumo debido al uso del protocolo BLE, con una autonomía estimada de 72 horas con una batería Li-ion de 100 mAh.
- **Escalabilidad del sistema:** Se puede optimizar el sistema añadiendo múltiples beacons sin interferencia significativa, gracias al protocolo BLE.
- **Fiabilidad de los datos:** Tasa de pérdida menor al 5 % en condiciones normales de operación.

Frecuencia de Transmisión de Beacons

Intervalo promedio entre transmisiones:	1.95 seg
Desviación estándar:	± 287.98 seg (momentos de interrupción)
Intervalo más corto:	-4333.13 s
Intervalo más largo:	4116.67
Total de registros analizados	4112

Tabla 7: Transmisión entre Beacons

Esta tabla indica que en condiciones normales, la transmisión de datos se realiza aproximadamente cada 2 segundos, como se esperaba. Sin embargo, hay valores de interrupciones significativas que se den por pérdida de señal debido a la conexión de red.

Latencia Estimada entre Componentes

Tramo	Latencia Estimada	Observaciones
Beacons - Host	20-50 ms	BLE
Host - Home Assistant	100-300 ms	Depende red local
Home Assistant - Base de Datos	150-400 ms	Carga de CPU
NodeRED-HMI	300-700 ms	Protocolo HMI
Tiempo total	600-1500 ms	Ambiente controlado

Tabla 8: Latencia Estimada

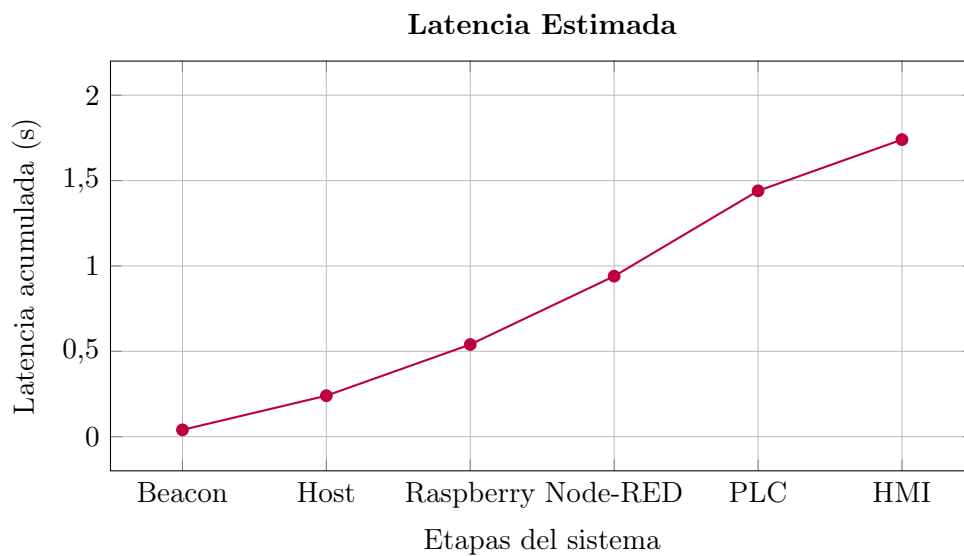


Figura 4: Latencia acumulada a través de cada componente del sistema.

Se midió la latencia del sistema y la tasa de pérdida en cada punto de conexión, según los resultados experimentales muestran que la latencia total promedio se mantuvo dentro del rango de 600-1500 ms en condiciones normales y con picos de hasta 1800 ms durante el tráfico de red. Los valores se obtuvieron a partir de la suma de las latencias parciales en cada tramo del sistema: Beacon-Host (20-50 ms), Host-Home Assistant (100-300 ms), Home Assistant-MariaDB (150-400 ms) y Node-Red-HMI (300-700 ms). La fiabilidad de la transmisión de datos presentó una pérdida menor al 5 % dentro de un ambiente controlado.

4.2 Pruebas de fallo de nodos, reconexión, watchdogs y telemetría

Se diseñaron y ejecutaron pruebas de tolerancia a fallos para los tres tipos de nodos: beacon (ESP32 emisor), host (ESP32 receptor / Raspberry Pi) y base de datos (MariaDB). Las pruebas incluyeron:

- Desconexión física y por red del beacon para validar detección de ausencia y reaparición.

- Corte de la conexión Wi-Fi del host y reinicio del servicio MQTT para medir el tiempo de reconexión automática.
- Apagado temporal del servicio de base de datos y verificación de mecanismos de reintento (reconnect/backoff) en Node-RED y en la cola de mensajes.
- Implementación y verificación de watchdog en los ESP32; si el proceso principal queda bloqueado, el watchdog reinicia el MCU y restablece la conexión MQTT.

Durante estas pruebas se midió el tiempo de recuperación (reconexión automática) y la integridad de los registros guardados en la base de datos. Se recomienda incluir en la HMI un panel de telemetría de salud que muestre: uptime, uso de CPU/RAM de la Raspberry Pi, número de beacons activos, latencia media y tasa de paquetes perdidos para facilitar mantenimiento y alertas tempranas.

Limitaciones del sistema

Durante la fase de pruebas se identificaron algunas limitaciones técnicas y prácticas que pueden influir en el rendimiento del sistema y también es importante considerar para futuras mejoras:

- La tecnología Bluetooth Low Energy cumple con una comunicación eficiente en el entorno controlado del laboratorio, su alcance y estabilidad se ven afectados por obstáculos físicos como paredes gruesas, estructuras metálicas o la presencia de muchas personas, lo cual puede provocar pérdida de señal o latencia elevada en ambientes reales y más grandes.
- Cada dispositivo individual (ESP32, sensores, microcontroladores) tiene bajo consumo, al momento de integrar todo en el sistema a decenas o cientos de nodos dentro de un espacio más grande o como un centro comercial, la gestión energética se vuelve crítica. No se ha implementado fuentes de energía renovable ni modos de ahorro avanzados como un deep sleep en esta fase.
- El diseño de la arquitectura del sistema se basa en la conectividad inalámbrica para transmitir datos entre los dispositivos como Beacons, Raspberry Pi y el nodo central. En entornos con redes saturadas, es posible que presenten retardos en el envío de información e incluso pérdida de datos, lo que afecta el funcionamiento continuo del sistema.
- Aunque los tiempos de respuesta promedio se mantuvieron dentro de rangos aceptables (entre 600 y 1500 ms), se registraron picos de latencia debido a interrupciones breves en la red del laboratorio. Esto podría afectar negativamente en aplicaciones donde se necesita precisión de información.

- Las pruebas se realizaron en un ambiente controlado dentro del laboratorio con condiciones simuladas a un centro comercial pero sin la participación de muchos usuarios externos y cabe recalcar que también es un espacio pequeño. Por lo tanto, la interfaz del sistema en el HMI no ha sido validada en la usabilidad, accesibilidad ni experiencia de usuarios en alta concurrencia.
- En esta etapa inicial como propuesta tecnológica, solo se utilizaron sensores de temperatura y presencia con pocos Beacons. Para una implementación real en espacios amplios y concurridos como centros comerciales es necesario una red de internet estable y un sistema de comunicación inalámbrica con más sensores para lograr una cobertura en todas las zonas y aspectos relevantes del lugar.

La validación del sistema en el laboratorio de automatización está limitada por la poca concurrencia de personas y el tamaño controlado del lugar, es recomendable realizar pruebas a escala en un entorno real para validar la cobertura y la experiencia del usuario en condiciones de alta concurrencia. Estas limitaciones no comprometen la viabilidad del sistema, pero nos muestran aspectos importantes que requieren de investigación y profundizar el desarrollo de mejorar el sistema para la implementación a escala real.

Análisis de los resultados del sistema

A continuación se detallan los resultados obtenidos durante las pruebas del sistema de monitoreo ambiental y orientación, haciendo énfasis en el rendimiento de los sensores, la estabilidad de la comunicación inalámbrica con BLE, la latencia operativa y la precisión en el almacenamiento de datos.

Precisión de los sensores

Los Beacons utilizados en el sistema incorporan sensores de temperatura (DHT11) y movimiento (PIR), después de varias pruebas dentro del entorno controlado del laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Los sensores de temperatura mostraron lecturas de datos consistentes y coherentes comparados con un termómetro de referencia, tuvo una variación inferior a $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$.
- Los sensores PIR detectan movimiento de forma efectiva en un rango de 0,5 a 1 metro. Sin embargo presentaron algunos falsos positivos, posiblemente por variaciones térmicas o corrientes de aire.

Los resultados que se obtuvieron indican que el sistema es fiable para el monitoreo básico de condiciones ambientales y orientación. Sin embargo se recomienda aplicar técnicas de

filtrado de datos o recalibración en algunos sensores para minimizar falsos positivos.

Calidad de la señal BLE (RSSI) y cobertura

Durante las pruebas que se realizaron en el laboratorio se pudo notar que la señal BLE se mantiene estable en un rango de hasta 10 metros con visión directa. Los valores promedios que se obtuvieron de la intensidad de la señal RSSI son los siguientes:

- A 3 metros: -55 dBm, lo que indica muy buena señal.
- A 6 metros (con obstáculos): -68 dBm, se considera aceptable.
- A 10 metros: -78 dBm, se registraron pérdidas intermitentes de paquetes.

Los resultados indican que la cobertura de la comunicación BLE es adecuada para entornos cerrados, como locales pequeños. También nos muestra que en estructuras más grandes con paredes gruesas pueden afectar significativamente la calidad de la señal.

Latencia total del sistema

Se evaluó el tiempo transcurrido desde la detección de movimiento hasta la visualización de datos en la interfaz del HMI. En condiciones normales la latencia promedio que se obtuvo fue entre 600 y 1200 milisegundos, mientras que en momentos donde el tráfico de red fue intenso se registraron picos de hasta 1800 milisegundos.

A pesar de los picos que se registraron, la latencia se mantiene dentro de los parámetros aceptables para el sistema de monitoreo ambiental no crítico y movimiento, cumpliendo con el objetivo de obtener información en tiempo real.

Gestión de datos y almacenamiento

Todos los datos que fueron obtenidos de los sensores y simulados mediante Node-RED, fueron almacenados de manera correcta en la base de datos MariaDB. Durante la fase de prueba se verificó la integridad de los datos registrados sin evidencia de pérdida de información durante el funcionamiento del sistema.

Análisis

El sistema funcionó de manera estable bajo las condiciones de prueba establecidas. La integración de las tecnologías Beacons con IIoT fue eficaz y permitió visualizar en la interfaz desarrollada información clara y continua de los eventos que se generaban.

La limitación principal que se observó fue con la cobertura BLE, este aspecto se debe considerar al momento de implementar este sistema en espacios más grandes o con mayor interferencia.

De manera general, los resultados que se obtuvieron durante las pruebas respaldan la viabilidad del sistema dentro de un entorno controlado y el potencial que tiene para su aplicación en instalaciones de un centro comercial.

Sensor	Tasa de éxito (%)	Tasa de error (%)	Cobertura efectiva	Observaciones
Temperatura (DHT11)	94	6	100 % del área monitoreada	Valores estables con margen de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $\pm 4\%$ HR.
Movimiento (PIR HC-SR501)	91	9	4-6 m	Falsas detecciones ocasionales por variaciones térmicas.

Tabla 9: Desempeño de sensores durante pruebas en entorno controlado

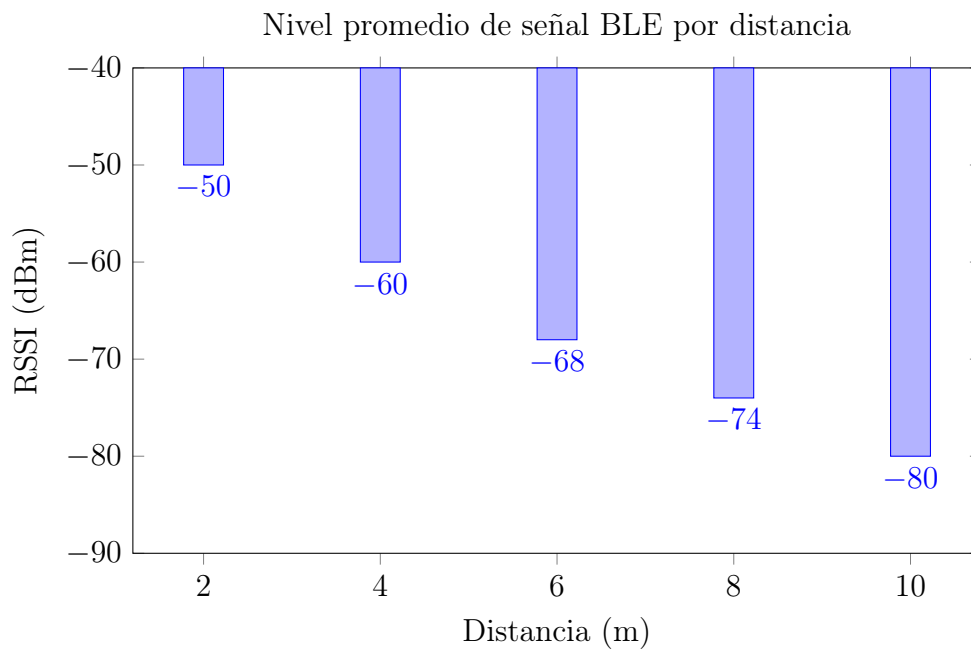


Figura 5: Valores promedio de RSSI obtenidos durante pruebas

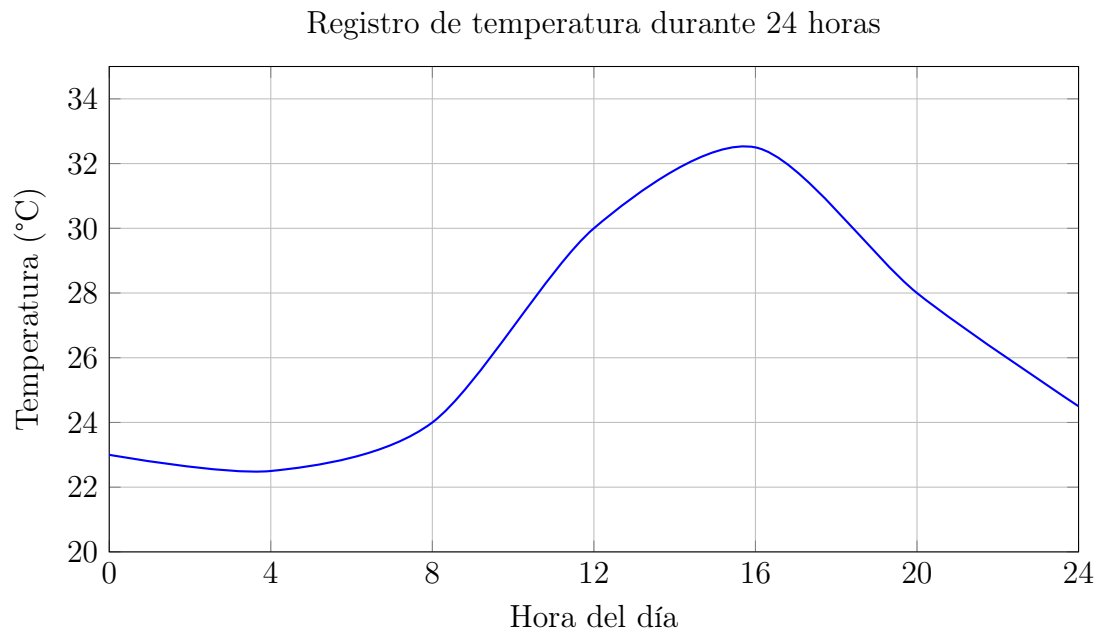


Figura 6: Comportamiento de temperatura ambiental detectada por el sensor DHT11

Conclusiones

- En relación al objetivo principal se logró implementar un sistema de adquisición de datos basado en módulos ESP32 configurados como Beacons, permitiendo una continua recolección de variables ambientales y de presencia en tiempo real. La comunicación mediante Bluetooth Low Energy (BLE) demostró ser adecuada para este tipo de aplicaciones, debido a su bajo consumo energético y capacidad de transmisión estable en entornos controlados.
- La integración del sistema mediante una arquitectura centralizada basada en Raspberry Pi, Node-RED y PLC permitió el procesamiento, almacenamiento y visualización de los datos de manera eficiente. Se evidenció que la interoperabilidad entre estas tecnologías facilita la comunicación entre dispositivos y mejora la gestión de los datos dentro del sistema.
- Mediante la simulación de varios escenarios dentro del laboratorio, se validó el correcto funcionamiento del sistema bajo condiciones controladas, obteniendo una transmisión de datos estable y continua, y sin pérdidas significativas en condiciones normales de funcionamiento. Esto demuestra la viabilidad del sistema en escenarios simulados.
- El análisis de la intensidad de señal (RSSI) mostró una reducción gradual a medida que se incrementa la distancia entre los nodos Beacon y el receptor, registrando valores cercanos a -50 dBm en distancias cortas y hasta aproximadamente -85 dBm en áreas más lejanas o con presencia de obstáculos. Este comportamiento es consistente en modelos de propagación en entornos interiores.
- Se determinó que la presencia de obstáculos físicos, como paredes y estructuras dentro del entorno de prueba genera variaciones en la intensidad de la señal, provocando atenuación y fluctuaciones en los valores RSSI. Esto afecta directamente la estabilidad de la comunicación y la precisión en la estimación de la ubicación.
- El sistema presentó tiempos de respuesta adecuados para aplicaciones de monitoreo, evidenciando una latencia baja en la transmisión de datos desde el sistema de sensores inalámbricos hasta el sistema central. Esto garantiza la visualización de las variables ambientales en la interfaz HMI prácticamente en tiempo real.
- El diseño de la interfaz HMI permitió una visualización clara de variables ambientales, así como la ubicación del usuario dentro del entorno simulado, facilitando la interacción con el sistema cumpliendo con la función de monitoreo y orientación básica. Sin embargo, al tratarse de un sistema estático, la orientación proporcionada se limita a una referencia inicial sin actualizaciones dinámicas en tiempo real.

- El uso de tecnología BLE reduce significativamente el consumo energético de los nodos sensores, lo cual representa una gran ventaja frente a otras tecnologías inalámbricas, especialmente en sistemas donde se requiere una operación continua.
- La integración de tecnologías Beacon e IIoT se presenta como una opción viable para el desarrollo de sistemas inteligentes, ya que no solo facilita el monitoreo de variables ambientales, sino que establece las bases para futuras aplicaciones enfocadas en la automatización, el análisis de datos y la mejora de la experiencia del usuario.

Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a mejorar su desempeño y facilitar futuras implementaciones:

- Se recomienda mejorar el sistema de orientación mediante el uso de técnicas de localización más precisas, como el uso de múltiples nodos Beacon y métodos de triangulación, con el fin de perfeccionar la estimación de la ubicación del usuario dentro del entorno.
- Se plantea profundizar el análisis del comportamiento de la señal, considerando la medición de parámetros como la latencia, la pérdida de paquetes y la variación del RSSI en diferentes condiciones, lo que permitiría obtener una evaluación más completa del rendimiento del sistema.
- Se propone realizar pruebas en entornos reales con mayor afluencia de personas y presencia de obstáculos, ya que estos factores influyen directamente en la propagación de la señal y en la estabilidad de la comunicación inalámbrica.
- Se sugiere incorporar técnicas de filtrado y suavizado de la señal RSSI para reducir las fluctuaciones causadas por interferencias y mejorar la estabilidad en la estimación de proximidad.
- Se recomienda incorporar protocolos de seguridad en la comunicación entre dispositivos, como el cifrado de datos y la autenticación, para asegurar la integridad y confidencialidad de la información transmitida dentro del sistema.
- Se propone mejorar la interfaz HMI mediante la incorporación de funciones dinámicas que permitan actualizar la ubicación del usuario en tiempo real, así como la integración de rutas de navegación más intuitivas que faciliten la orientación dentro del entorno.
- Se considera conveniente analizar la integración del sistema con plataformas en la nube, ya que esto permitiría el almacenamiento y análisis de datos a gran escala, facilitando la toma de decisiones y la implementación de nuevas funcionalidades.
- Se sugiere evaluar el comportamiento del sistema ante fallos intencionales, como desconexión de nodos o interrupciones de red, para analizar su capacidad de recuperación y robustez en escenarios críticos.
- Se recomienda considerar la integración del sistema con aplicaciones móviles o interfaces externas, lo cual permitiría ampliar el acceso a la información y mejorar la interacción del usuario con el sistema.

Referencias

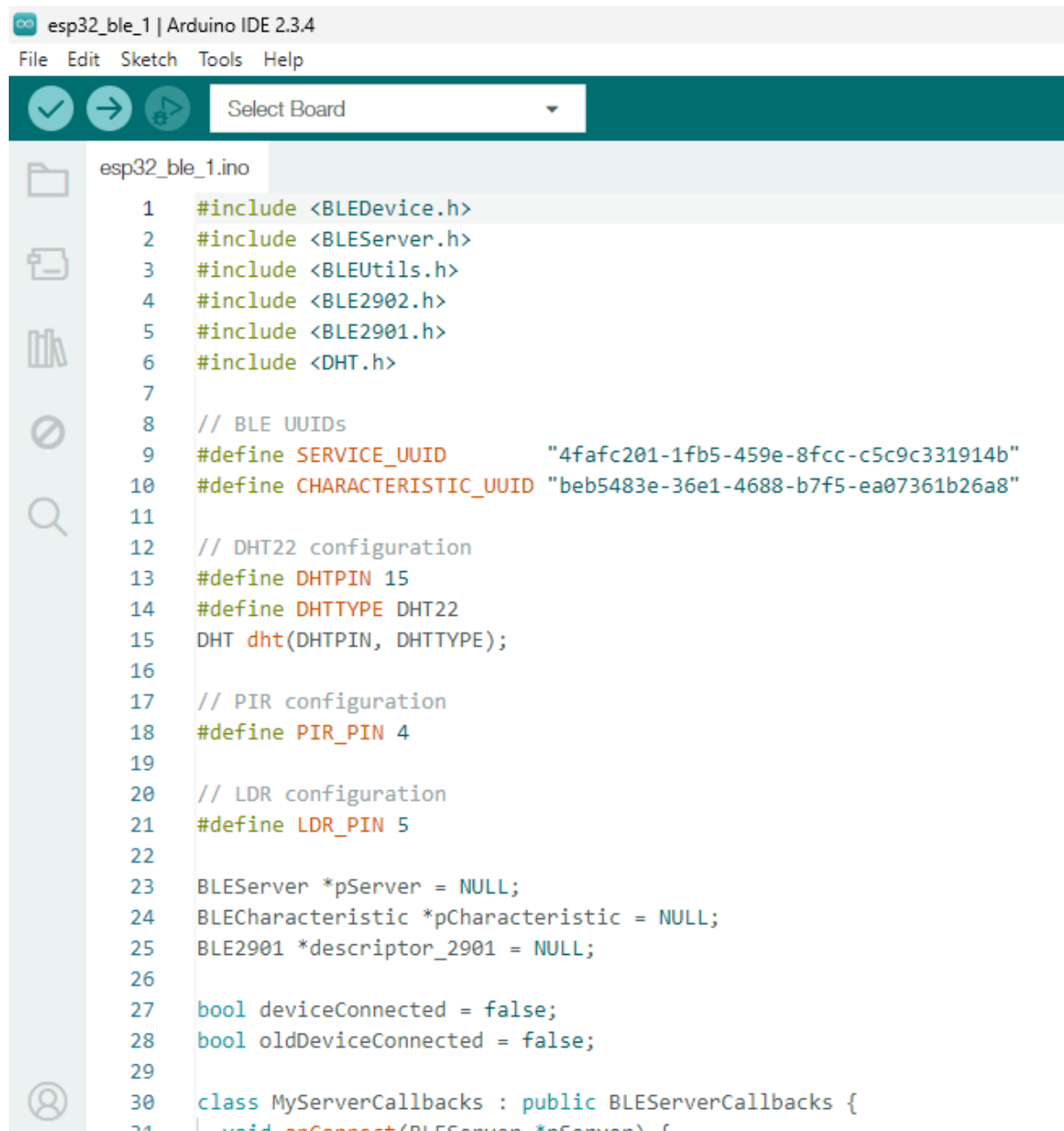
- [1] V. S. Guevara Leónidas, «Implementación de una Aplicación Móvil en Android Utilizando Tecnología Beacon para una Mejor Experiencia del Usuario Dentro del Jardín Botánico de Quito,» 2023. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24425>.
- [2] A. Sari, A. Lekidis e I. Butun, «Industrial Networks and IIoT: Now and Future Trends,» en *Industrial IoT : Challenges, Design Principles, Applications, and Security*, I. Butun, ed. Springer International Publishing, 2020, ISBN: 978-3-030-42500-5. DOI: 10.1007/978-3-030-42500-5_1.
- [3] K. Tange, M. De Donno, X. Fafoutis y N. Dragoni, «A Systematic Survey of Industrial Internet of Things Security: Requirements and Fog Computing Opportunities,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, n.º 4, págs. 2489-2520, 2020. DOI: 10.1109/COMST.2020.3011208.
- [4] A. Ilmudeen y B. Malik, «A review of information technology governance, business strategy and information technology strategy,» *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 6, n.º 6, págs. 120-129, 2016.
- [5] S. A. Memon, M. A. Memon, F. Abassi, F. A. Memon, M. H. Memon y M. A. Nizamani, «Real-time indoor positioning and route guidance system by using beacons,» *International Journal of Intelligent Engineering Informatics*, 2022. DOI: 10.1504/ijiei.2023.132698.
- [6] B. P. Guaman y J. Cordero, *Indoor positioning system using Beacon technology*, 2020. DOI: 10.23919/CISTI49556.2020.9141009.
- [7] A. A. Paz Penitú y E. R. Rodrich Torres, *Navegabilidad en Centros Comerciales de Lima Metropolitana Mediante Sistemas de Posicionamiento Indoor Para Mejorar La Afluencia de Público*, Lima, Perú, 2019. dirección: <http://hdl.handle.net/10757/626648>.
- [8] A. M. López, «Implementación de la tecnología Beacon en tiendas y almacenes de cadena en la ciudad de Medellín y caso de aplicación,» Trabajo de grado, Universidad EIA, Envigado, Colombia, 2018.
- [9] M. P. Cardona, *La tecnología iBeacon y su potencial en el marketing digital*, 2024. dirección: <https://tu-sitio-web.com>.
- [10] M. de Quito, *Quito APP: La primera aplicación móvil para el espacio público en Latinoamérica*, 2017. dirección: <https://www.quito.gob.ec/quito-app>.

- [11] S. Messaoud, S. Bouaafia, A. Bradai, M. A. Hajjaji, A. Mtibaa y M. Atri, «Network Slicing for Industrial IoT and Industrial Wireless Sensor Network: Deep Federated Learning Approach and Its Implementation Challenges,» en *Emerging Trends in Wireless Sensor Networks*, V. K. Parimala, ed., Rijeka: IntechOpen, 2022, cap. 3. DOI: 10.5772/intechopen.102472.
- [12] V. P. Gupta, «Smart Sensors and Industrial IoT (IIoT): A Driver of the Growth of Industry 4.0,» en *Smart Sensors for Industrial Internet of Things: Challenges, Solutions and Applications*, D. Gupta, V. Hugo C. de Albuquerque, A. Khanna y P. L. Mehta, eds. Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-52624-5_3.
- [13] O. A. Morales, *Fundamentos de la Investigación Documental y la Monografía*. Departamento de Investigación, Facultad de Odontología, 2024.
- [14] J. Lozada, «Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria,» *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, vol. 3, n.º 1, págs. 47-50, 2014, ISSN: 1390-9592. dirección: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1234567>.
- [15] C. Ramos-Galarza, «Diseños de investigación experimental,» *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, vol. 10, n.º 1, págs. 1-7, 2021, ISSN: 1390-9592. dirección: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1234567>.
- [16] IEEE, «Towards Power Autonomous Wireless Sensors,» *2021 XXXIVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS)*, 2021. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9560468/>.
- [17] S. Sandhya y K. A. S. Devi, «Analysis of Bluetooth threats and v4.0 security features,» Tesis de mtría., 2012 International Conference on Computing, Communication y Applications, Dindigul, Tamilnadu, 2012. DOI: 10.1109/ICCCA.2012.6179149. dirección: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/179208/TFG_DenysOvsiyenko.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [18] DFRobot, *A Comprehensive Guide to Smart Home Protocol: Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Thread, and Matter*, Última actualización el 18 de octubre de 2023, 2023. dirección: <https://electrodaddy.com/resumen-tecnologias-inalambricas-bluetooth-wifi-ble-zigbee-z-wave/>.
- [19] P. Consani. «Bluetooth clásico frente a Bluetooth de baja energía (BLE).» Laboratorio de IoT - Blog de Tertium Cloud. dirección: <https://iotlab.tertiumcloud.com/2020/08/19/classic-bluetooth-vs-bluetooth-low-energy-ble/>.

- [20] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 3rd. John Wiley & Sons, 2010, ISBN: 9780470665121.
- [21] V. Coskun, K. Ok y B. Ozdenizci, «Near Field Communication (NFC): From theory to practice,» *Wiley Publishing*, 2013.
- [22] S. e. a. Gezici, «Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks,» *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, n.º 4, págs. 70-84, 2005. DOI: 10.1109/MSP.2005.1458286.
- [23] IEEE, «IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,» 2016, https://standards.ieee.org/standard/802_11-2016.html.
- [24] R. Faragher y R. Harle, «Location fingerprinting with Bluetooth Low Energy beacons,» *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, n.º 11, págs. 2418-2428, 2015. DOI: 10.1109/JSAC.2015.2430282.
- [25] ZigBee Alliance, «ZigBee Specification,» 2004, <https://zigbeealliance.org>.
- [26] Z.-W. Alliance, «Z-Wave: The Standard for Wireless Smart Home Automation,» 2018, <https://z-wavealliance.org>.
- [27] S. Jeschke, C. Brecher, H. Song y D. B. Rawat, *Industrial Internet of Things: Cybermanufacturing Systems*. Springer, 2017. dirección: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-42559-7>.
- [28] IEEE, *IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks–Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, 2020. dirección: https://standards.ieee.org/standard/802_11-2020.html.
- [29] I. H. Pérez-Tavera, «Raspberry Pi,» *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, vol. 9, n.º 17, págs. 40-41, 2021. dirección: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/6655/7546>.
- [30] Raspberry Pi Foundation, *Teach, learn, and make with the Raspberry Pi Foundation*, Accedido el 17 de marzo de 2025, 2025. dirección: <https://www.raspberrypi.org/>.
- [31] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, 6th. Newnes, 2015. dirección: https://books.google.com/books/about/Programmable_Logic_Controllers.html?id=sDqnBQAAQBAJ.

- [32] E. D. Knapp, *Industrial Automation and Control System Security Principles*. ISA, 2017. dirección: https://books.google.com/books/about/Industrial_Automation_and_Control_System.html?id=FdEEvgAACAAJ.
- [33] A. Industries, *DHT11 basic temperature-humidity sensor*, 2025. dirección: <https://www.adafruit.com/product/386>.
- [34] Elprocus, «Definición, funcionamiento y aplicaciones del sensor DHT11,» *El Procus*, 2025. dirección: <https://www.elprocus.com/a-brief-on-dht11-sensor/>.
- [35] AAI Security, *What is a PIR Sensor and How does it Work?* 2025. dirección: <https://www.aaisecurity.co.uk/news/pir-sensor/>.
- [36] ESPHome, *Baliza Bluetooth de baja energía ESP32*, 2025. dirección: https://esphome.io/components/esp32_ble_beacon.html.
- [37] Raspberry Pi Trading Ltd., *Raspberry Pi 4 Computer Model B*, 2020. dirección: <https://www.raspberrypi.org>.
- [38] IndMALL, *¿Para qué se utiliza el Simatic S7-1200? | Aplicaciones, Industrias*, 2025. dirección: https://www.indmall.in/faq/what-is-simatic-s7-1200-used-for/?srsltid=AfmB0oqbVi2qrFVdBGroZnr42vyFwu_GEXC7kXR1DyqsNRlHnBm_9SL1.
- [39] Siemens, *SIMATIC S7-1200 - Siemens España*, 2025. dirección: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>.
- [40] DeltaACDrives.com, *Pantalla táctil HMI de la serie Delta DOP-B03E211 DOP-B*, 2025. dirección: <https://deltaacdrives.com/deltadop-b03e211-human-machine-interface/>.

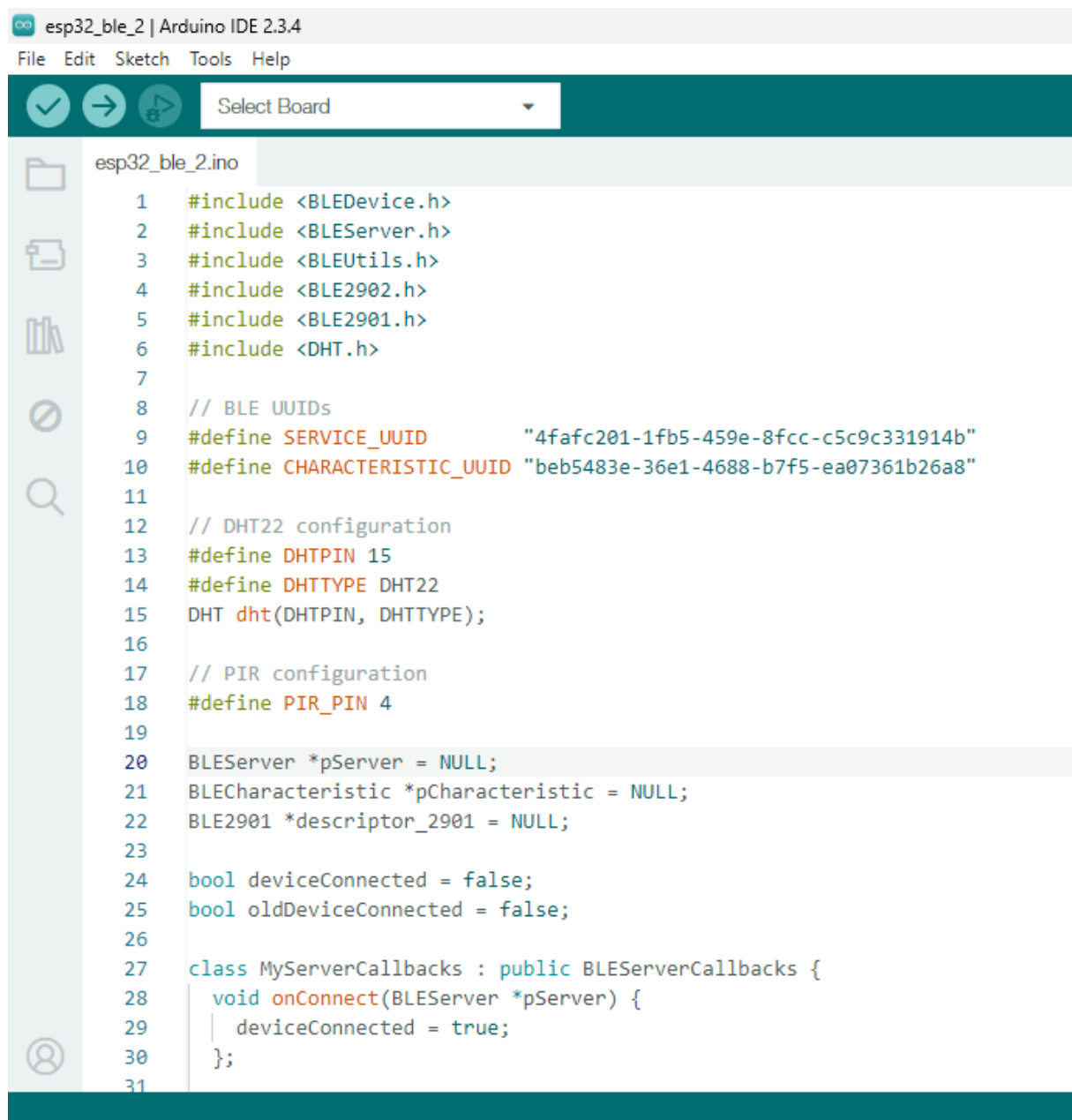
Anexos



```
esp32_ble_1 | Arduino IDE 2.3.4
File Edit Sketch Tools Help

esp32_ble_1.ino
1  #include <BLEDevice.h>
2  #include <BLEServer.h>
3  #include <BLEUtils.h>
4  #include <BLE2902.h>
5  #include <BLE2901.h>
6  #include <DHT.h>
7
8  // BLE UUIDs
9  #define SERVICE_UUID          "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
10 #define CHARACTERISTIC_UUID   "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"
11
12 // DHT22 configuration
13 #define DHTPIN 15
14 #define DHTTYPE DHT22
15 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
16
17 // PIR configuration
18 #define PIR_PIN 4
19
20 // LDR configuration
21 #define LDR_PIN 5
22
23 BLEServer *pServer = NULL;
24 BLECharacteristic *pCharacteristic = NULL;
25 BLE2901 *descriptor_2901 = NULL;
26
27 bool deviceConnected = false;
28 bool oldDeviceConnected = false;
29
30 class MyServerCallbacks : public BLEServerCallbacks {
31 | void onConnect(BLEServer *pServer) {
```

Figura 7: Programación de sensores DHT11



```
esp32_ble_2 | Arduino IDE 2.3.4
File Edit Sketch Tools Help

esp32_ble_2.ino
1  #include <BLEDevice.h>
2  #include <BLEServer.h>
3  #include <BLEUtils.h>
4  #include <BLE2902.h>
5  #include <BLE2901.h>
6  #include <DHT.h>
7
8  // BLE UUIDs
9  #define SERVICE_UUID          "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
10 #define CHARACTERISTIC_UUID   "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"
11
12 // DHT22 configuration
13 #define DHTPIN 15
14 #define DHTTYPE DHT22
15 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
16
17 // PIR configuration
18 #define PIR_PIN 4
19
20 BLEServer *pServer = NULL;
21 BLECharacteristic *pCharacteristic = NULL;
22 BLE2901 *descriptor_2901 = NULL;
23
24 bool deviceConnected = false;
25 bool oldDeviceConnected = false;
26
27 class MyServerCallbacks : public BLEServerCallbacks {
28   void onConnect(BLEServer *pServer) {
29     deviceConnected = true;
30   };
31 }
```

Figura 8: Programación de sensor PIR

× prueba-beacon.yaml

```
1  esphome:
2    name: prueba-beacon
3    friendly_name: PRUEBA BEACON
4
5  esp32:
6    board: esp32dev
7    framework:
8      type: arduino
9
10 # Enable logging
11 logger:
12
13 # Enable Home Assistant API
14 api:
15   encryption:
16     key: "6fm2E7C/tBGo7sYYf3Dn11Wr5lJgs6IXwRxRkaW0nc4="
17
18 ota:
19   - platform: esphome
20     password: "5d5615401bd37ca2d2929d2b5de46127"
21
22 wifi:
23   ssid: !secret wifi_ssid
24   password: !secret wifi_password
25
26 # Enable fallback hotspot (captive portal) in case wifi connection fails
27 ap:
28   ssid: "Prueba-Beacon Fallback Hotspot"
```

Figura 9: Fragmento 1 Código ESP32 como HOST

× prueba-beacon.yaml

```
29 | password: "VH47udF9KCWr"
30 |
31 | captive_portal:
32 |
33 | esp32_ble_tracker:
34 | ble_client:
35 |   - mac_address: 2C:BC:BB:0D:DE:6E
36 |     id: t_beacon_1
37 |     on_connect:
38 |       then:
39 |         - logger.log: "Conectado al dispositivo BLE Fijo 1"
40 |           # Configurar acciones adicionales si es necesario
41 |     on_disconnect:
42 |       then:
43 |         - logger.log: "Desconectado del dispositivo BLE Fijo 1"
44 |           # Configurar acciones adicionales si es necesario
45 |
46 |   - mac_address: BC:DD:C2:CC:DE:1E
47 |     id: t_beacon_2
48 |     on_connect:
49 |       then:
50 |         - logger.log: "Conectado al dispositivo BLE Fijo 2"
51 |           # Configurar acciones adicionales si es necesario
52 |     on_disconnect:
53 |       then:
54 |         - logger.log: "Desconectado del dispositivo BLE Fijo 2"
55 |           # Configurar acciones adicionales si es necesario
--
```

Figura 10: Fragmento 2 Código ESP32 como HOST

✕ prueba-beacon.yaml

SA

```
70 #Configuracion de Sensores obtencin de datos t_beacon_1
71 sensor:
72   - platform: ble_client
73     type: characteristic
74     ble_client_id: t_beacon_1
75     name: "Temperature"
76     service_uuid: 4FAFC201-1FB5-459E-8FCC-C5C9C331914B
77     characteristic_uuid: BEB5483E-36E1-4688-B7F5-EA07361B26A8
78     device_class: "temperature"
79     unit_of_measurement: "°C"
80     accuracy_decimals: 2
81     update_interval: 5s
82     lambda: |-
83       std::string data(x.begin(), x.end());
84       size_t temp_pos = data.find("T:");
85       size_t pir_pos = data.find(",PIR:");
86       size_t ldr_pos = data.find(",LDR:");
87       if (temp_pos == std::string::npos || pir_pos == std::string::npos || ldr_pos == std::string::npos) {
88         ESP_LOGE("ble_client", "Received data does not contain expected format: %s", data.c_str());
89         return NAN;
90       }
91       std::string temp_str = data.substr(temp_pos + 2, pir_pos - (temp_pos + 2));
92       float temperature = atof(temp_str.c_str());
93       return temperature;
94
95   - platform: ble_client
96     type: characteristic
97     ble_client_id: t_beacon_1
```

Figura 11: Fragmento 3 Código ESP32 como HOST

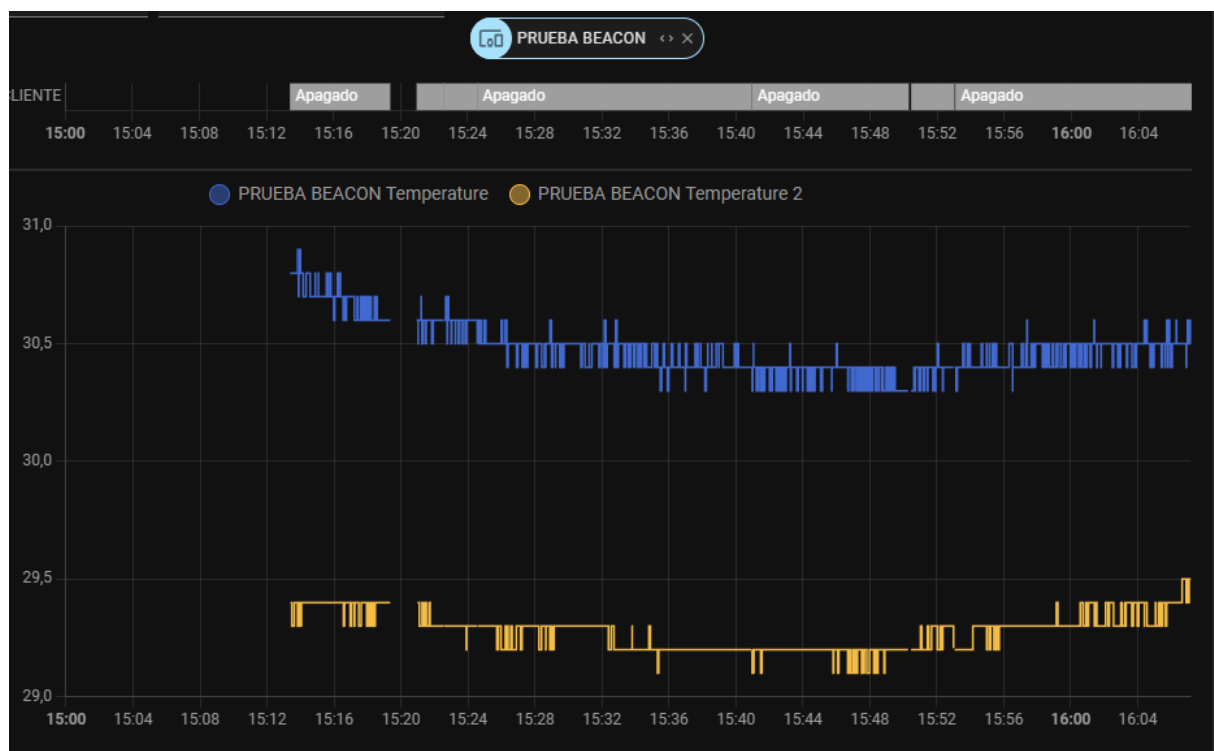


Figura 12: Valores de temperatura

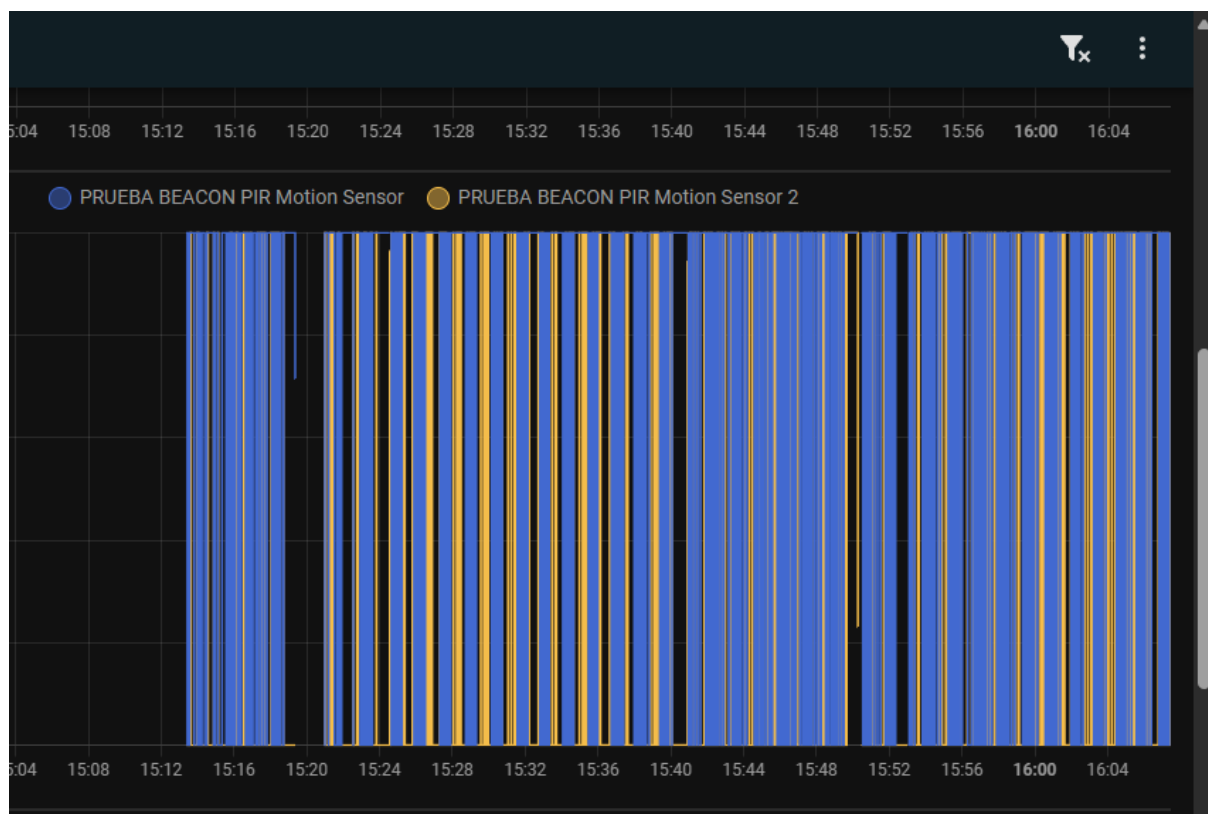
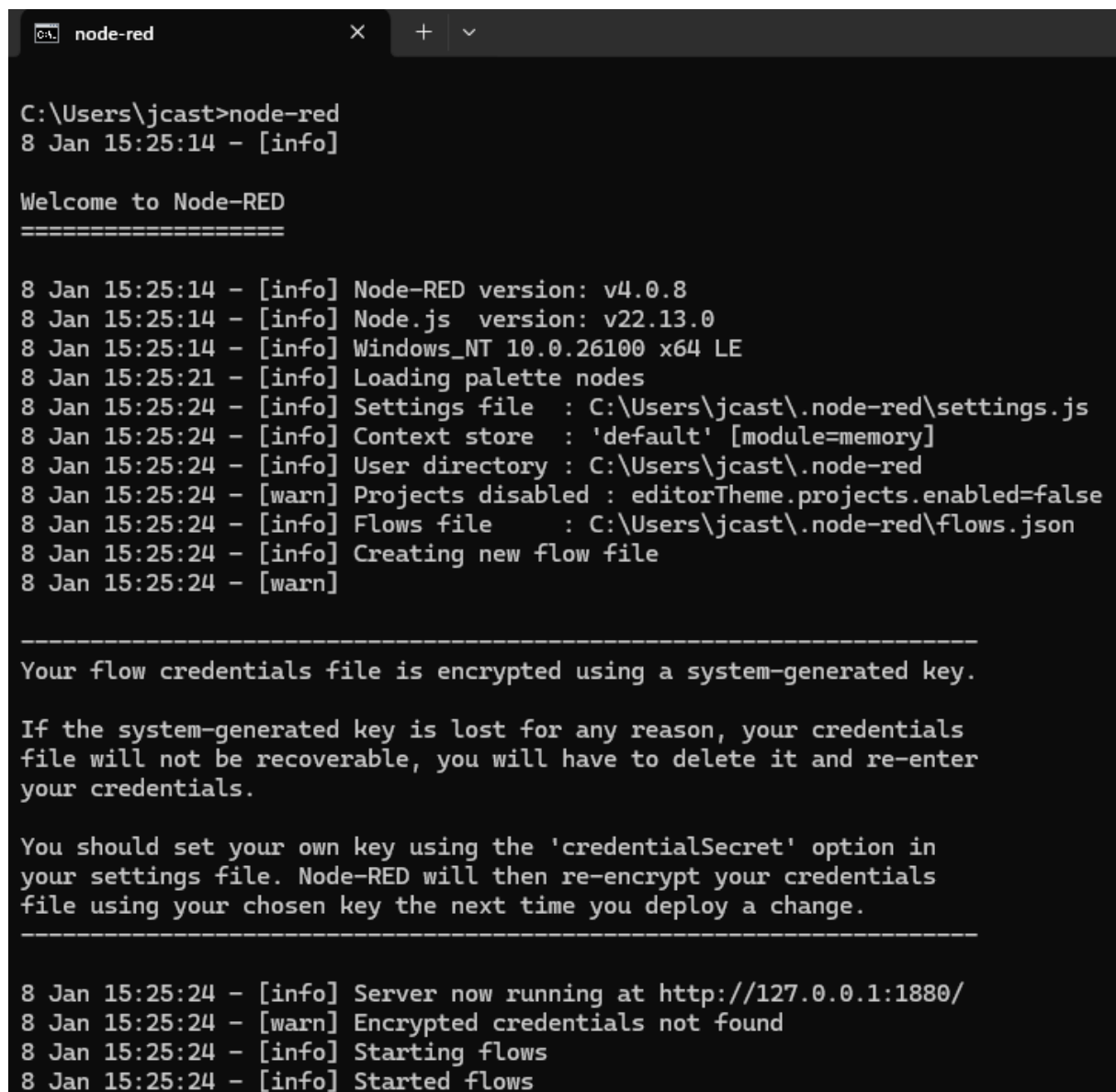


Figura 13: Valores de presencia

```
[15:33:28][D][esp32_ble_client:110]: [1] [BC:DD:C2:CC:DE:1E] ESP_GATTC_READ_CHAR_EVT
[15:33:28][D][sensor:094]: 'Temperature 2': Sending state 29.20000 °C with 2 decimals of accuracy
[15:33:28][D][sensor:094]: 'PIR Motion Sensor 2': Sending state 1.00000 with 0 decimals of accuracy
[15:33:28][D][sensor:094]: 'LDR Sensor 2': Sending state 0.00000 lx with 0 decimals of accuracy
[15:33:28][D][esp32_ble_client:110]: [1] [BC:DD:C2:CC:DE:1E] ESP_GATTC_READ_CHAR_EVT
[15:33:28][D][sensor:094]: 'Temperature 2': Sending state 29.20000 °C with 2 decimals of accuracy
[15:33:28][D][sensor:094]: 'PIR Motion Sensor 2': Sending state 1.00000 with 0 decimals of accuracy
[15:33:28][D][sensor:094]: 'LDR Sensor 2': Sending state 0.00000 lx with 0 decimals of accuracy
[15:33:28][D][esp32_ble_client:110]: [0] [2C:BC:BB:0D:DE:6E] ESP_GATTC_READ_CHAR_EVT
[15:33:28][D][sensor:094]: 'Temperature': Sending state 30.50000 °C with 2 decimals of accuracy
[15:33:28][D][sensor:094]: 'PIR Motion Sensor': Sending state 1.00000 with 0 decimals of accuracy
[15:33:28][D][sensor:094]: 'LDR Sensor': Sending state 0.00000 lx with 0 decimals of accuracy
[15:33:29][D][esp32_ble_client:110]: [1] [BC:DD:C2:CC:DE:1E] ESP_GATTC_READ_CHAR_EVT
[15:33:29][D][sensor:094]: 'Temperature 2': Sending state 29.20000 °C with 2 decimals of accuracy
[15:33:29][D][sensor:094]: 'PIR Motion Sensor 2': Sending state 0.00000 with 0 decimals of accuracy
[15:33:29][D][sensor:094]: 'LDR Sensor 2': Sending state 0.00000 lx with 0 decimals of accuracy
[15:33:29][D][esp32_ble_client:110]: [0] [2C:BC:BB:0D:DE:6E] ESP_GATTC_READ_CHAR_EVT
[15:33:29][D][sensor:094]: 'Temperature': Sending state 30.50000 °C with 2 decimals of accuracy
[15:33:29][D][sensor:094]: 'PIR Motion Sensor': Sending state 1.00000 with 0 decimals of accuracy
[15:33:29][D][sensor:094]: 'LDR Sensor': Sending state 0.00000 lx with 0 decimals of accuracy
[15:33:29][D][esp32_ble_client:110]: [0] [2C:BC:BB:0D:DE:6E] ESP_GATTC_READ_CHAR_EVT
[15:33:29][D][sensor:094]: 'Temperature': Sending state 30.50000 °C with 2 decimals of accuracy
[15:33:29][D][sensor:094]: 'PIR Motion Sensor': Sending state 1.00000 with 0 decimals of accuracy
[15:33:29][D][sensor:094]: 'LDR Sensor': Sending state 0.00000 lx with 0 decimals of accuracy
[15:33:31][D][esp32_ble_client:110]: [1] [BC:DD:C2:CC:DE:1E] ESP_GATTC_READ_CHAR_EVT
```

Figura 14: Historial de la lectura de datos



```
C:\Users\jcast>node-red
8 Jan 15:25:14 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

8 Jan 15:25:14 - [info] Node-RED version: v4.0.8
8 Jan 15:25:14 - [info] Node.js version: v22.13.0
8 Jan 15:25:14 - [info] Windows_NT 10.0.26100 x64 LE
8 Jan 15:25:21 - [info] Loading palette nodes
8 Jan 15:25:24 - [info] Settings file : C:\Users\jcast\.node-red\settings.js
8 Jan 15:25:24 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
8 Jan 15:25:24 - [info] User directory : C:\Users\jcast\.node-red
8 Jan 15:25:24 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
8 Jan 15:25:24 - [info] Flows file : C:\Users\jcast\.node-red\flows.json
8 Jan 15:25:24 - [info] Creating new flow file
8 Jan 15:25:24 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----

8 Jan 15:25:24 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
8 Jan 15:25:24 - [warn] Encrypted credentials not found
8 Jan 15:25:24 - [info] Starting flows
8 Jan 15:25:24 - [info] Started flows
```

Figura 15: Inicio de NodeRED

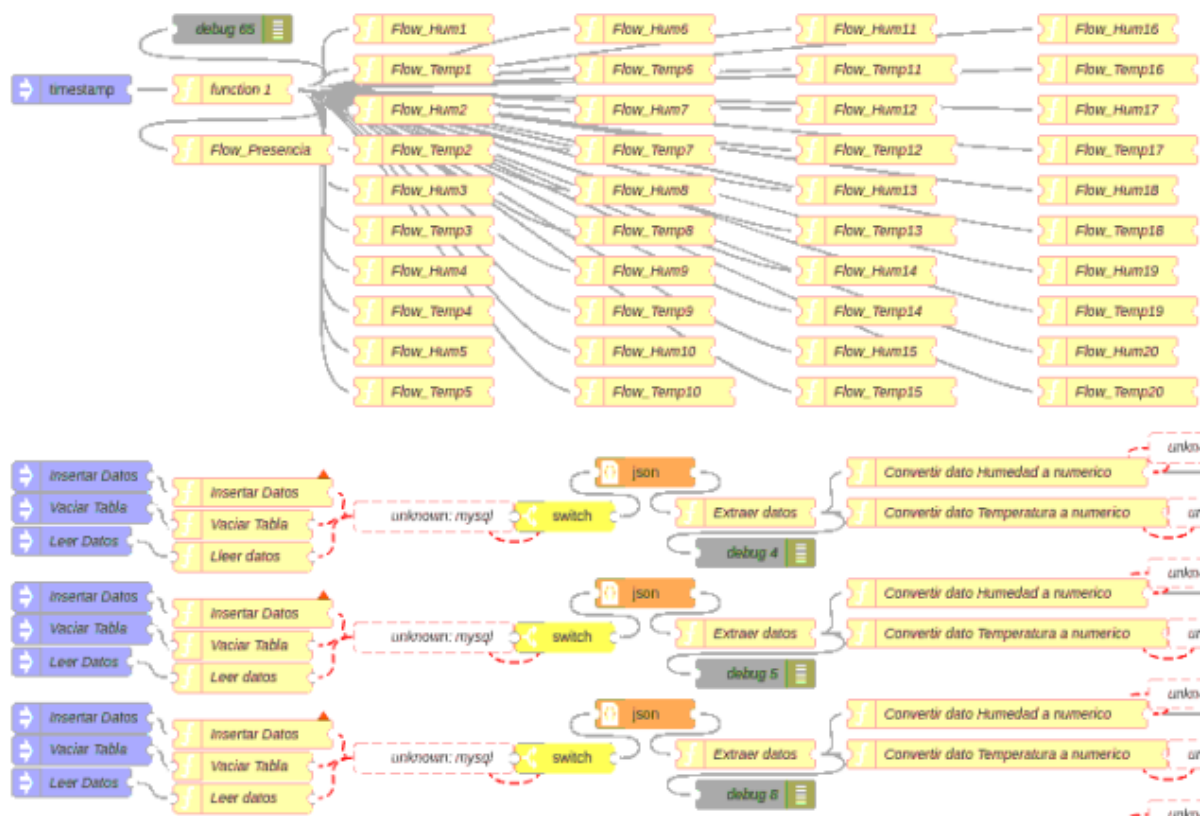


Figura 16: Bloques de datos en NodeRED

Name: extraccion de datos

Setup On Start On Message On Stop

```

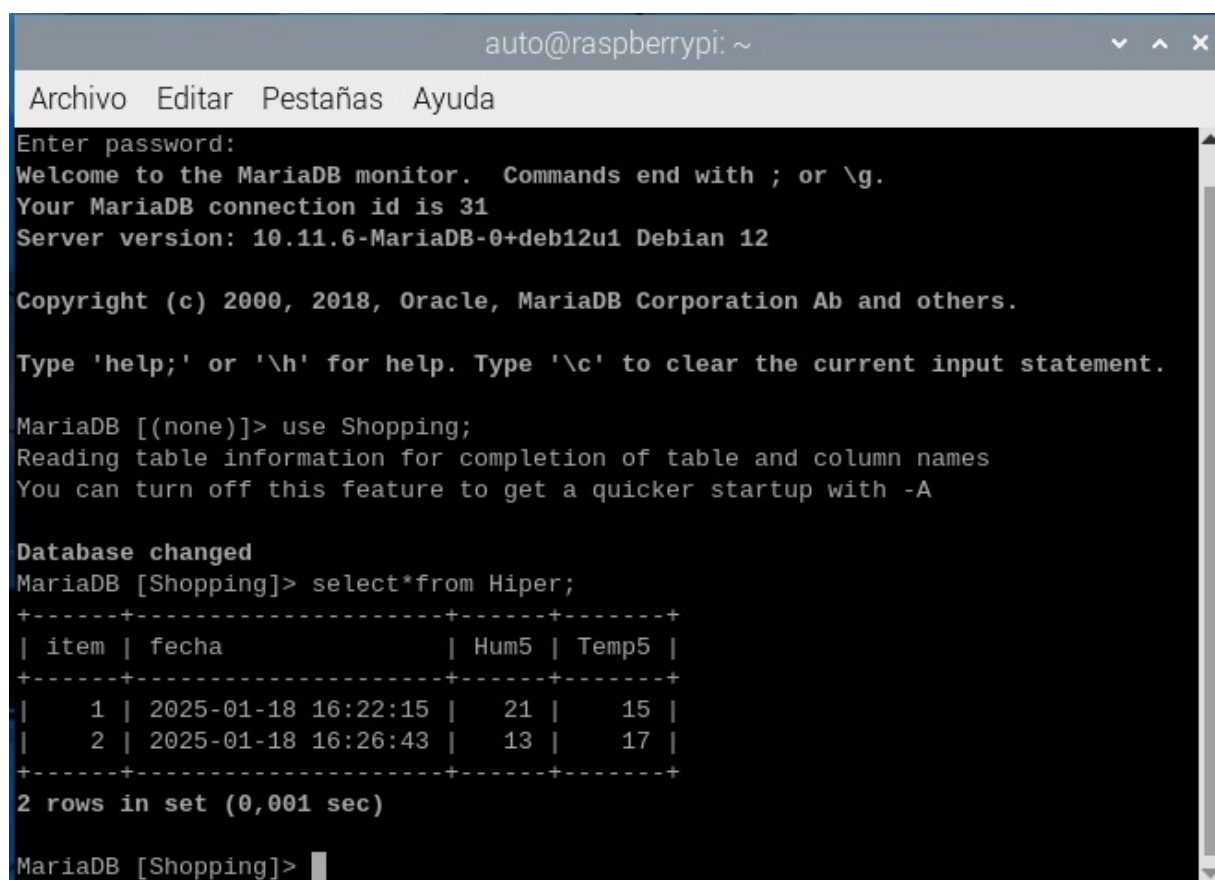
1 // Convierte el payload de string JSON a objeto
2 let data = JSON.parse(msg.payload);
3
4 // Asegurate de que el array no esté vacío
5 if (Array.isArray(data) && data.length > 0) {
6     let item = data[0]; // Obtén el primer elemento del array
7     msg.humo = item.Humo; // Extrae el valor de corriente
8     msg.temperatura = item.Temperatura; // Extrae el valor de Temperatura
9     msg.microubica = item.Microubica; // Extrae la fecha
10 } else {
11     // Si el array está vacío, muestra un mensaje
12     msg.error = "No hay datos disponibles";
13 }
14
15 return msg;
16

```

Figura 17: Conversión de datos para S7

```
auto@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
auto@raspberrypi:~ $ ping 172.17.12.188  
PING 172.17.12.188 (172.17.12.188) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=1 ttl=63 time=7.30 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=2 ttl=63 time=6.88 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=3 ttl=63 time=6.30 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=4 ttl=63 time=11.1 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=5 ttl=63 time=5.94 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=6 ttl=63 time=9.00 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=7 ttl=63 time=10.3 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=8 ttl=63 time=9.69 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=9 ttl=63 time=3.25 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=10 ttl=63 time=2.99 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=11 ttl=63 time=6.69 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=12 ttl=63 time=9.22 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=13 ttl=63 time=8.44 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=14 ttl=63 time=7.70 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=15 ttl=63 time=17.3 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=16 ttl=63 time=3.24 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=17 ttl=63 time=10.4 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=18 ttl=63 time=10.3 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=19 ttl=63 time=15.7 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=20 ttl=63 time=152 ms  
64 bytes from 172.17.12.188: icmp_seq=21 ttl=63 time=7.04 ms  
^C
```

Figura 18: Tiempo de respuesta sensores



```
auto@raspberrypi: ~
Archivo  Editar  Pestañas  Ayuda
Enter password:
Welcome to the MariaDB monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MariaDB connection id is 31
Server version: 10.11.6-MariaDB-0+deb12u1 Debian 12

Copyright (c) 2000, 2018, Oracle, MariaDB Corporation Ab and others.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

MariaDB [(none)]> use Shopping;
Reading table information for completion of table and column names
You can turn off this feature to get a quicker startup with -A

Database changed
MariaDB [Shopping]> select*from Hiper;
+-----+-----+-----+-----+
| item | fecha                | Hum5 | Temp5 |
+-----+-----+-----+-----+
| 1    | 2025-01-18 16:22:15 | 21   | 15    |
| 2    | 2025-01-18 16:26:43 | 13   | 17    |
+-----+-----+-----+-----+
2 rows in set (0,001 sec)

MariaDB [Shopping]> 
```

Figura 19: Base de datos en MariaDB

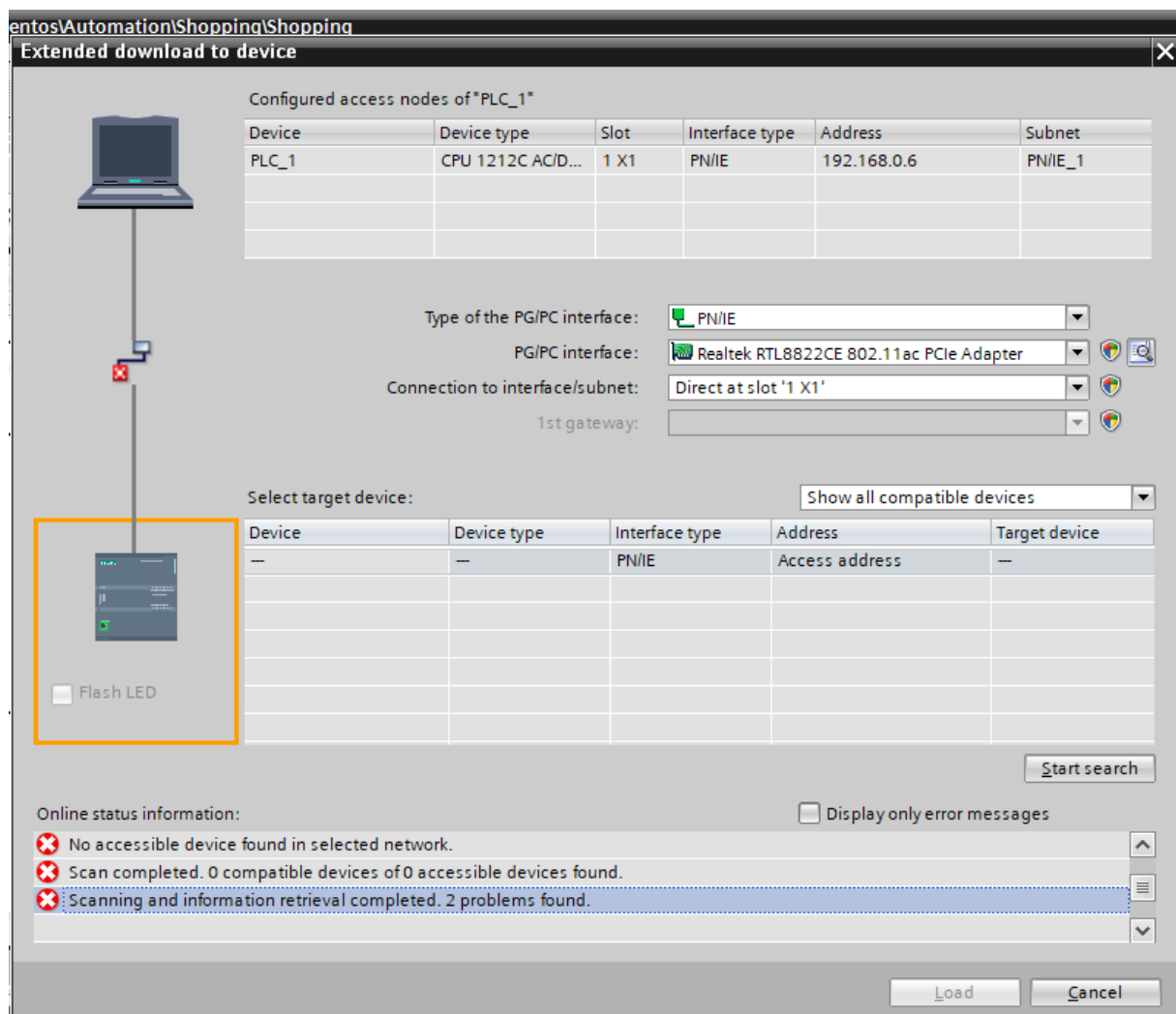


Figura 20: Conexión con PLC - 192.168.0.6

Tag table_1				
		Name	Data type	Address
4		Sensor_temp14	Real	%MD132
5		Sensor_temp15	Real	%MD136
6		Sensor_temp16	Real	%MD140
7		Sensor_temp17	Real	%MD144
8		Sensor_temp18	Real	%MD148
9		Sensor_temp19	Real	%MD152
0		Sensor_temp20	Real	%MD156
1		Sensor_presencia	Real	%MD160
2		Sensor_temp21	Real	%MD164
3		Led_pres	Bool	%Q0.0
4		<Add new>		

Figura 21: Declaración de variables en TIA PORTAL

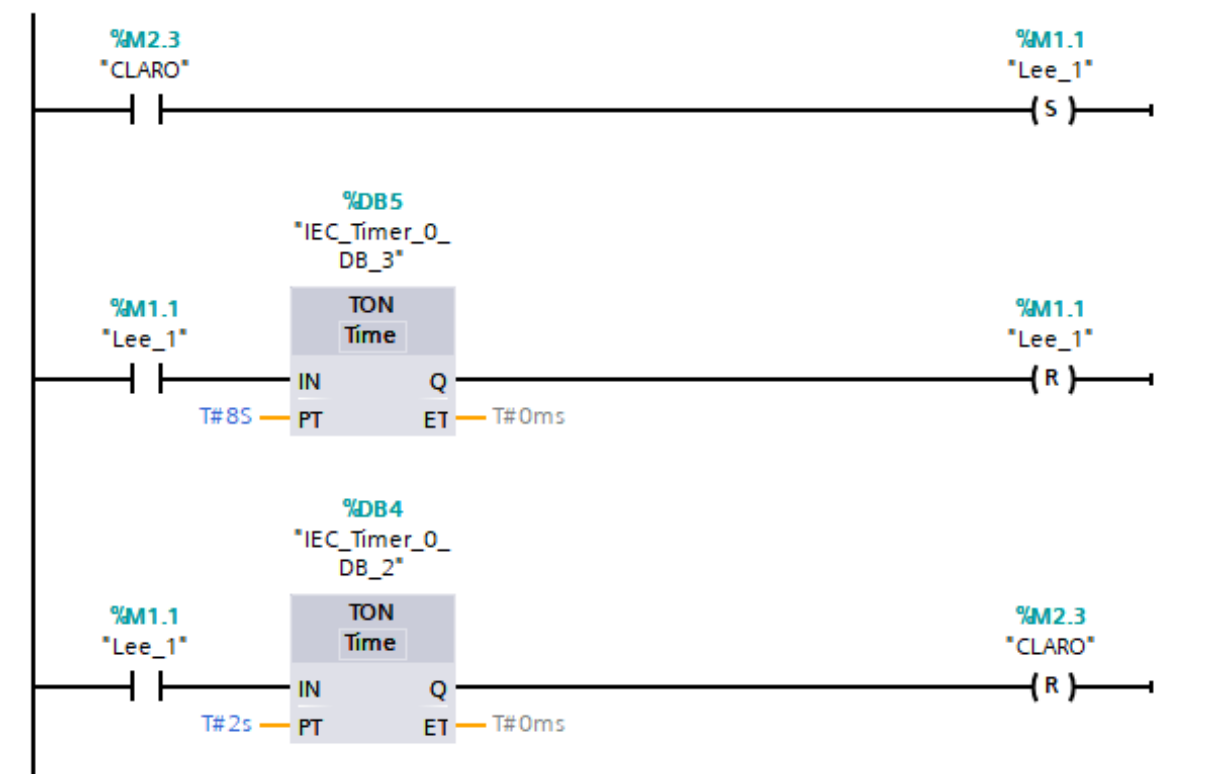


Figura 22: Bloques de programación en TIA PORTAL



Figura 25: Sistema de Beacons



Figura 26: Subiendo el sistema al HMI



Figura 27: Prueba del sistema en HMI

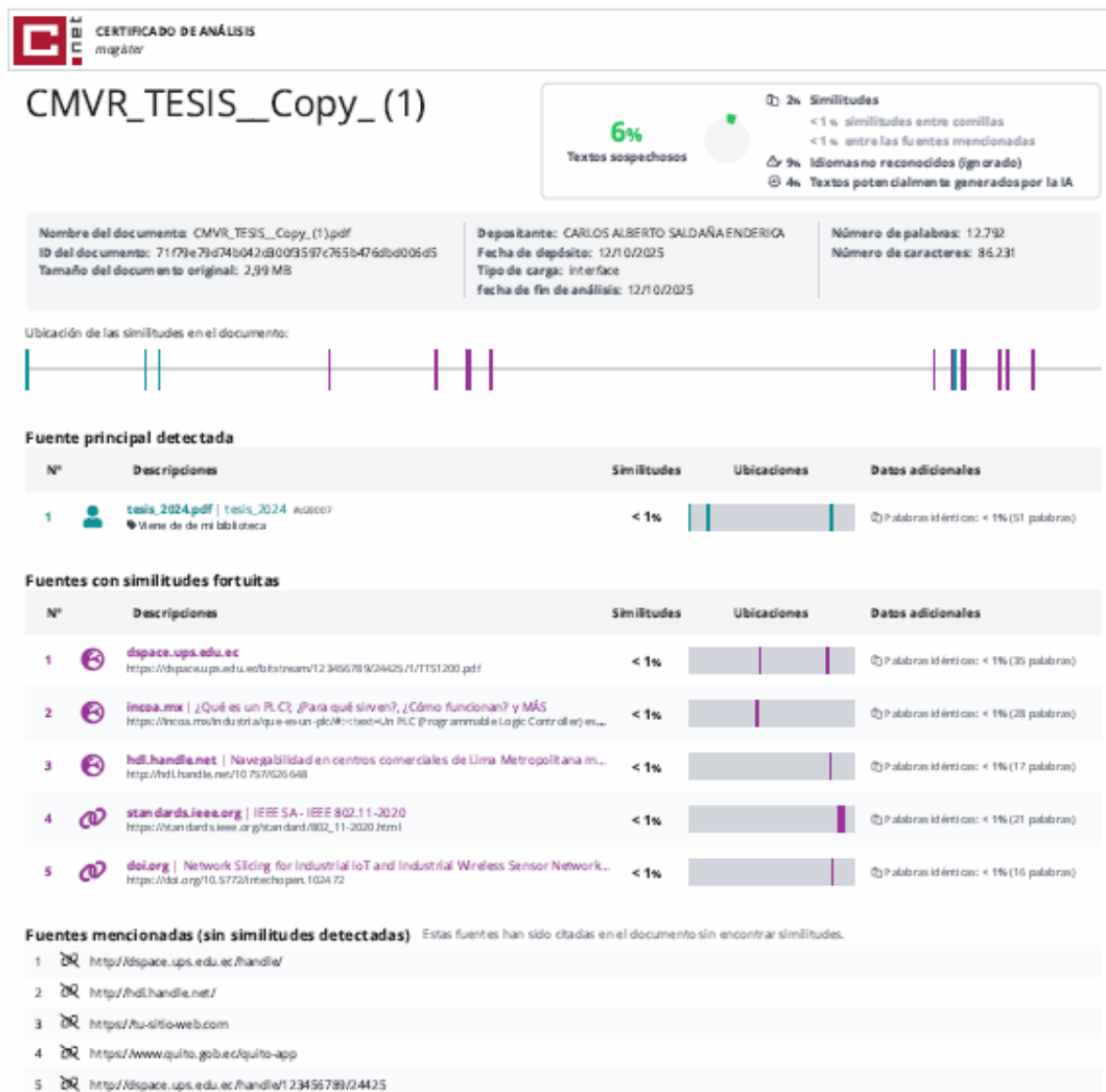


Figura 28: Certificado de antiplagio