



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES
INALÁMBRICOS USANDO TECNOLOGÍA LoRa E IIoT EN
UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA
SEGURIDAD EN EXTERIORES**

AUTOR

CÉSAR GERÓNIMO RICARDO ROSALES

TUTOR

ING. CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA, M.Sc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

Expresar mi sincero agradecimiento a todos los tutores que he tenido en mi vida, docentes, supervisores, jefes, aquellos que me han dado la oportunidad de crecer y demostrar lo que puedo lograr, en especial a él Ing. Carlos Saldaña que en su momento más que tutor fue consejero.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la familia de donde vengo, todos y cada uno de ellos me han ayudado en este camino que hoy concluye. A mi esposa Karen y en un futuro mi hija Samantha, que este trabajo le sirva de inspiración para sus propias metas.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: “**Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos Usando Tecnología LoRa e IIoT en un Sistema de Control y Monitoreo para la Seguridad en Exteriores.**”, elaborado por el estudiante **César Gerónimo Ricardo Rosales**, 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, M.Sc.
Tutor

TRIBUNAL DE GRADO

**Ing. Washington Torres Guin,
Mgt.
DECANO DE FACULTAD**

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


**Ing. Carlos Saldaña Enderica,
Mgt.
PROFESOR TUTOR**

**Ing. Luis Amaya Fariño, Mgt.
PROFESOR ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera González, Mgt.
SECRETARIA GENERAL**

DECLARACIÓN DEL AUTOR

César Gerónimo Ricardo Rosales, egresado de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, declaro que toda la responsabilidad de la investigación realizada del presente trabajo de titulación es de mi pertenencia y la parte intelectual de la misma le corresponde a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



César Gerónimo Ricardo Rosales

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta la implementación de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa y el IIoT para desarrollar un sistema de control y monitoreo enfocado en la seguridad en exteriores.

Este proyecto reúne elementos electrónicos tales como microcontroladores, sensores PIR, ordenadores compactos asequibles y una interfaz HMI vinculada a un PLC, incorporando herramientas de programación como Node-RED, MariaDB, TIA Portal, Arduino IDE y protocolos de comunicación. La propuesta se enfoca en asegurar una comunicación y transmisión de datos entre dispositivos, el monitoreo en tiempo real y la creación de alertas que mejoren la reacción frente a sucesos críticos, contribuyendo de esta manera a incrementar la seguridad a través de soluciones tecnológicas.

Palabras clave: Red de sensores inalámbricos, LoRaWAN, IIoT, PLC, Raspberry Pi, Monitoreo en tiempo real, Seguridad en exteriores.

ABSTRACT

This paper presents the implementation of a wireless sensor network using LoRa and IIoT technologies to develop a control and monitoring system focused on outdoor security.

This project brings together electronic components such as microcontrollers, PIR sensors, affordable compact computers, and an HMI interface linked to a PLC, incorporating programming tools such as Node-RED, MariaDB, TIA Portal, Arduino IDE, and communication protocols. The proposal focuses on ensuring communication and data transmission between devices, real-time monitoring, and the creation of alerts that improve response to critical events, thus contributing to increased security through technological solutions.

Keywords: Wireless sensor network, LoRaWAN, IIoT, PLC, Raspberry Pi, Real-time monitoring, Outdoor security.

Índice

Índice de figuras	10
Índice de cuadros	11
Capítulo I	13
1.1. Antecedentes	13
1.2. Descripción del proyecto	14
1.3. Objetivos del proyecto	15
1.4. Justificación	15
1.5. Alcance	16
1.6. Metodología	18
1.7. Resultados esperados	18
Capítulo II	20
2.1. Marco contextual	20
2.2. Marco conceptual	21
2.2.1. Tecnologías Aplicadas en el Proyecto	21
2.2.2. Herramientas de programación	22
2.2.3. Dispositivos electrónicos	23
2.3. Marco teórico	23
Capítulo III	25
3.1. Diseño de la propuesta	25
3.2. Comunicación entre dispositivos	26
3.2.1. Comunicación entre el ESP32 emisor y el ESP32 receptor	26
3.2.2. Conexión del ESP32 receptor a la Raspberry Pi 4	27
3.2.3. Integración de Node-RED para el control centralizado .	27
3.2.4. Conexión de la Raspberry Pi 4 con el PLC S7-1200 y el HMI	27
3.3. Diseño de la red de sensores inalámbricos	28
3.4. Diseño del sistema de monitoreo	28
3.4.1. Definición de variables de comunicación	29
3.5. Desarrollo de la propuesta	29
3.6. Tablas de datos obtenidos	35
Capítulo IV	38
4.1. Evaluación y resultados	38
4.1.1. Programación de los ESP32:	38
4.1.2. Configuración de la Raspberry Pi 4:	39

4.1.3.	Programación del PLC S7-1200 y HMI en TIA Portal:	40
4.1.4.	Integración del sistema completo:	40
4.1.5.	Pruebas de estabilidad y simulación de condiciones reales:	41
4.2.	Resultados	41
4.3.	Análisis técnico de linealidad y respuesta del sensor (Perímetro 1)	43
4.4.	Conclusiones	45
4.5.	Recomendaciones	46

Índice de figuras

1.	Diagrama de la propuesta	25
2.	Google maps, distancia desde el laboratorio a la entrada más lejana	28
3.	Simulación de las conexiones del módulo LoRa	30
4.	TIA Portal, comunicación con el HMI	35
5.	Pantalla principal de control	35
6.	Toma de datos, recopilación de 3 días	38
7.	Datos del perímetro 1	39
8.	Datos de los sensores a Node-Red	39
9.	TIA Portal, Configuración de red del PLC	40
10.	Módulos instalados en el laboratorio	41
11.	Gráfica de la señal en función de la distancia	44
12.	Formato de variables a utilizar entre plataformas	51
13.	Arduino IDE, configuración de red	51
14.	Arduino IDE, visualización de datos con el monitor serial	52
15.	MariaDB, tablas de datos	52
16.	Node-RED, flujo de datos para el almacenamiento en la base de datos	53
17.	MariaDB, flujo de datos del sensor	53
18.	MariaDB, flujo de datos para la comunicación al PLC	53
19.	TIA Portal, recepción de datos desde Node-RED	54
20.	TIA Portal, conversión de datos a tipo memoria	54
21.	TIA Portal, programación en Ladder	54
22.	TIA Portal, comunicación con el HMI	55
23.	DOPSoft, configuración del HMI	55
24.	DOPSoft, selección del HMI	56
25.	DOPSoft, configuración de las interfaces	56
26.	Nodos instalados para la comunicación con Node-RED	57
27.	Funcionamiento del módulo ESP32	57
28.	Ejecución del proyecto	58
29.	Pantalla en funcionamiento, perímetro 2	58
30.	Toma de datos diario	59
31.	Toma de datos, recopilación de 3 días	59

Índice de cuadros

1.	Abreviaturas y siglas técnicas utilizadas en el proyecto	12
2.	Velocidad de transmisión de datos por sensor (dos lecturas por sensor)	36
3.	Relación entre niveles de señal acústica y potencia de recepción (RSSI) por sensor	36
4.	Relación entre el estado del sensor y los parámetros de transmisión por sensor	37
5.	Métricas desempeño desviación estándar, relación señal-ruido (SNR), latencia y porcentaje de pérdida de paquetes por sensor.	37
6.	Grado de cumplimiento de los objetivos específicos y su evidencia en el documento	42

Nomenclatura y Abreviaturas

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

Sigla	Significado
LoRa	Tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance
LoRaWAN	Protocolo de red de área amplia basado en LoRa
IIoT	Internet Industrial de las Cosas
PLC	Controlador Lógico Programable
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
ESP32	Microcontrolador con conectividad Wi-Fi y Bluetooth
PIR	Sensor Infrarrojo Pasivo para detección de movimiento
RSSI	Indicador de la intensidad de la señal recibida
dBm	Unidad logarítmica de potencia (decibelios-milivatios)
dB	Unidad relativa usada para expresar ganancia o pérdida
Wi-Fi	Tecnología de red inalámbrica de corto alcance
OLED	Tecnología de pantalla de diodo orgánico emisor de luz
IDE	Entorno de desarrollo integrado
MQTT	Protocolo ligero para transmisión de mensajes
IP	Protocolo de Internet

Cuadro 1: Abreviaturas y siglas técnicas utilizadas en el proyecto

Capítulo I

1.1 Antecedentes

La evolución de las tecnologías de comunicación ha sido fundamental para el desarrollo de sistemas de seguridad en operaciones industriales, [1]. La implementación del IIoT, ha abierto nuevas posibilidades para la vigilancia y el monitoreo [2].

Las redes de sensores inalámbricos se han convertido en una herramienta clave para la recopilación de datos en tiempo real, especialmente en aplicaciones donde es necesario detectar eventos de forma inmediata. Este tipo de tecnologías resulta particularmente útil en entornos industriales y de seguridad, donde la vigilancia continua ayuda a actuar con rapidez ante situaciones potencialmente riesgosas [3].

En América Latina, el uso de tecnologías IIoT está en crecimiento [4], impulsado por la necesidad de lograr desarrollar sistemas funcionales en diversos sectores. [5]. Esto resalta la importancia de diseñar y simular redes de sensores inalámbricos, dirigidos a la detección y monitoreo en áreas exteriores, lo que podría ser un paso importante hacia la adopción de soluciones efectivas en seguridad [6], como se propone en este proyecto.

En el marco ecuatoriano, la implementación de tecnologías en desarrollo aún se topa con obstáculos significativos [7]. A pesar de que la infraestructura de telecomunicaciones ha progresado en años recientes, todavía hay zonas con cobertura restringida y problemas para utilizar soluciones tecnológicas actuales [8]. Estas restricciones proporcionan una posibilidad evidente para utilizar protocolos como LoRa, que debido a sus propiedades de largo alcance y bajo consumo energético, se ajustan correctamente a este tipo de ambientes. Esto facilita la transferencia de datos de manera segura a un costo asequible [9].

La necesidad creciente de fortalecer la seguridad en áreas urbanas y rurales ha impulsado la creación de otro tipo de soluciones para el seguimiento en tiempo real [10].

Por lo tanto, el desarrollar interfaces que faciliten la visualización de alertas y el seguimiento ambiental, es esencial para optimizar la respuesta frente a circunstancias de riesgo. Investigaciones anteriores señalan que llevar a cabo experimentos bajo parámetros regulados facilita la validación del funcionamiento de sistemas de comunicación sin cables, como los que emplean tecnología LoRa [11]. Estos ensayos son esenciales para valorar el desempeño de los sensores bajo circunstancias determinadas, asegurando que el sistema

se ajuste correctamente a diferentes circunstancias de riesgo [12].

El propósito de este proyecto es aportar al desarrollo y utilización continua de las tecnologías para incrementar la seguridad en zonas exteriores. Se pondrá en marcha una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa e IIoT con el objetivo de reforzar la seguridad en la zona.

1.2 Descripción del proyecto

El propósito de este proyecto es crear un sistema de comunicación inalámbrica para la seguridad en espacios exteriores, empleando tecnologías IIoT y LoRa. El sistema se basa en una Raspberry Pi 4 que actuará como nodo central. Esta unidad se encarga de recolectar y procesar los datos enviados por la red de sensores inalámbricos.

Contará con sensores de movimiento PIR, dotados con módulos LoRa para el envío de información. Estos sensores hacen un seguimiento constante del ambiente, favoreciendo la identificación rápida de situaciones de peligro, como intrusos o acciones sospechosas.

La comunicación activa y de largo alcance se logrará a través de la tecnología LoRa, diseñada para la transmisión de datos a largas distancias con bajo consumo energético, adaptándose a las condiciones específicas de cobertura.

La arquitectura de este trabajo estará compuesta por los siguientes elementos:

- **Raspberry Pi 4:** Servirá como el nodo central, gestionando la recolección de datos de los sensores y procesando la información para su visualización [13].
- **Sensores LoRa:** Los sensores de movimiento PIR, conectados a módulos LoRa, enviarán alertas al sistema cuando detecten actividad en su área de cobertura [9].
- **Gateway LoRa:** Es el dispositivo que funciona de puente entre los sensores y el nodo central, con pines y conexiones Wi-Fi, recibe los datos recolectados y los envía para el almacenamiento y procesamiento, debe estar en un lugar con buena conexión y línea de vista de los sensores.
- **Servidor de Datos:** Es el lugar de almacenamiento de datos, está instalado en la Raspberry haciendo uso de la memoria propia del ordenador. Recibe los datos del Gateway para entregarlos y procesarlos.

- **Interfaz HMI** (Interfaz Hombre-Máquina): Se implementará una interfaz de visualización diseñada para mostrar en tiempo real las alertas generadas por los sensores, así como el estado del sistema de monitoreo de presencia. .
- **Pruebas en Ambientes Controlados:** Realizaremos pruebas en el laboratorio limitando los parámetros externos para verificar el funcionamiento del proyecto, el consumo de energía y la calidad de transmisión

Con estas pruebas podremos detectar errores antes de implementar la solución al exterior, garantizando el funcionamiento de los equipos, el tiempo de respuesta y la precisión de los datos recolectados.

1.3 Objetivos del proyecto

Objetivo Principal

- Desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica para seguridad en exteriores que permita la detección y el monitoreo utilizando tecnología IIoT

Objetivos específicos

- Diseñar y simular una red de sensores inalámbricos que utilicen tecnología LoRa para detectar y monitorear en áreas exteriores.
- Implementar el protocolo de comunicación LoRa junto con la tecnología IIoT para asegurar la transmisión de datos.
- Desarrollar una interfaz HMI, para que los usuarios vean en tiempo real las alertas de detección y puedan monitorear el perímetro.
- Realizar pruebas para validar la funcionalidad del sistema en la detección dentro de un ambiente controlado

1.4 Justificación

La seguridad en exteriores se ha convertido en una prioridad en la actualidad, tanto en entornos urbanos como rurales. La preocupación ante los delitos, vandalismo y otros riesgos asociados a la falta de vigilancia ha llevado a la búsqueda de soluciones tecnológicas que ayuden a mejorar la seguridad de las comunidades[14]. Demostrando que, la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica basado en tecnología IIoT se presenta como una

respuesta efectiva y necesaria.

Elegimos la tecnología LoraWAN para desarrollar este proyecto por dos razones que se relacionan y benefician a los objetivos, la capacidad de comunicación y el ahorro energético. Tiene la capacidad de transmitir datos a largas distancias con pocas pérdidas teniendo una alimentación y consumo bastante bajo, lo que la vuelve la mejor opción para entornos rurales como la provincia de Santa Elena [15].

En el Ecuador, poco se ha relacionado la capacidad de las soluciones tecnológicas enfocadas a la seguridad en exteriores, esto debido a que no se cuenta con la infraestructura en telecomunicaciones adecuada. Este trabajo busca dar una alternativa práctica, replicable, diseñada para adaptarse a las condiciones locales y entornos similares del país

El proyecto se enmarca en las políticas nacionales que promueven el uso de tecnología para mejorar la seguridad ciudadana, la eficiencia operativa y la innovación en el sector público. Su desarrollo dentro de la Universidad Estatal Península de Santa Elena nos encamina a mejorar la seguridad institucional, y también a generar un caso de aplicación real que beneficie a la comunidad académica y pueda ser utilizado como base para futuras investigaciones y desarrollos relacionados con IIoT [16].

El desarrollo de esta investigación busca reunir la tecnología para mejorar la seguridad en las áreas abiertas de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, dejando también un sistema que sirva de modelo para adoptar estas soluciones en beneficio de la sociedad.

1.5 Alcance

El alcance detallado del proyecto, alineado con cada uno de los cuatro objetivos principales, se muestra a continuación:

1. Desarrollo de un sistema de adquisición de datos

- Implementar una red de sensores inalámbricos con tecnología LoRa en áreas exteriores, utilizando sensores de movimiento PIR y sensores de presencia.
- Configurar un Gateway LoRa para la transmisión de datos desde los sensores a un servidor local o en la nube, asegurando el almacenamiento y procesamiento de la información recolectada.

- Desarrollar la base de datos y parámetros de seguridad para mantener la integridad de la información obtenida. Definir los protocolos de comunicación a utilizar, para que mantengan la integridad de los datos transmitidos.

2. Integración de tecnologías LoRa, Raspberry Pi y HMI

- Definir los protocolos de comunicación a utilizar, para que mantengan la integridad de los datos transmitidos.
- Comunicar la Raspberry con los sensores, estableciéndola como nodo central y base de datos.
- Enviar la información de la base de datos hasta el PLC y HMI, evitando pérdidas significativas.

3. Desarrollo de una interfaz de usuario para la supervisión y control

- Desarrollar y programar una interfaz en el HMI que sea amigable al usuario para visualizar los parámetros relevantes del sistema de seguridad.
- Validar los datos mostrados en el HMI acorde a la información almacenada en la base de datos del nodo central
- Incorporar características en la interfaz HMI que faciliten a los usuarios la modificación manual de las respuestas automáticas basadas en el análisis de datos recibidos.

4. Simulación de escenarios de seguridad

- Realizar pruebas de laboratorio modificando el escenario y controlando los parámetros de transmisión para registrar la respuesta del sistema.
- Simular las condiciones ambientales que se aproximen a un entorno real para evaluar la precisión de los datos.
- Documentar la información obtenida de cada simulación para realizar ajustes y mejorar el sistema.

1.6 Metodología

- **Investigación descriptiva:** Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre tecnologías IIoT, redes de sensores inalámbricos y protocolos de comunicación LoRa. Esto ayudará a identificar las mejores prácticas y enfoques aplicables al desarrollo del sistema
- **Investigación Aplicada** Este proyecto busca analizar el comportamiento y aplicar el conocimiento del sistema de control en un área de la ingeniería en específico, integrándolo en la industria 4.0 para mejorar la gestión de la seguridad en áreas exteriores.
- **Investigación experimental** Para definir las variables que regulan el proyecto deben considerar los objetivos del mismo, junto a la monitorización del funcionamiento del sistema en condiciones reales, donde se evalúa su rendimiento y se realizan ajustes necesarios según la retroalimentación obtenida.

1.7 Resultados esperados

Los resultados esperados alineados con cada uno de los objetivos específicos del proyecto:

- **Desarrollo de un sistema de adquisición de datos**
 - Precisión en la recolección de datos: Los sensores deberán detectar y transmitir información relevante sobre la seguridad en áreas exteriores, como movimiento y presencia.
 - Transmisión eficaz: Aprovechando las características de la tecnología LoRa, relacionados con los estándares de eficiencia energética, la transmisión de datos no debe contener errores significativos ni pérdidas, incluso en condiciones de baja conectividad.
- **Integración de tecnologías LoRa, Raspberry Pi y HMI**
 - Integración exitosa: Los componentes del sistema (Raspberry Pi y HMI) deberán integrarse sin problemas, logrando una comunicación fluida y sincronizada entre ellos.
 - Automatización funcional: Este sistema deberá responder automáticamente a las alertas generadas por los sensores, ejecutando acciones de control apropiadas y minimizando la necesidad de intervención manual.

- **Desarrollo de una interfaz de usuario para la supervisión y control**
 - Usabilidad: La interfaz de usuario en el HMI deberá ser intuitiva y fácil de usar, accesible para personas con diversos niveles de habilidad técnica donde se pueda visualizar todos los parámetros relevantes del sistema de seguridad.
 - Funcionalidad completa: El HMI deberá facilitar a los usuarios poder ejecutar todas las funciones necesarias, lo que incluye la supervisión en tiempo real y la configuración de alertas.

- **Simulación de Escenarios de Seguridad**
 - Simulación realista: Los escenarios simulados deberán reflejar condiciones reales de seguridad en áreas exteriores, para así poder evaluar la efectividad del sistema en situaciones prácticas.
 - Adaptabilidad del sistema: El sistema deberá ser escalable, demostrar su capacidad para adaptarse a una variedad de situaciones simuladas, asegurando una respuesta adecuada ante posibles riesgos.

Capítulo II

2.1 Marco contextual

La seguridad en exteriores es un tema de creciente importancia en entornos rurales y urbanos debido al aumento de actividades delictivas, lo que pone en peligro tanto la integridad de las personas como la protección de sus bienes. Esta preocupación ha motivado la búsqueda de soluciones tecnológicas avanzadas que fortalezcan la seguridad y faciliten una respuesta rápida ante posibles amenazas [17].

El avance tecnológico de las comunicaciones inalámbricas, especialmente aplicada a IoT e IIoT, están abriendo nuevas posibilidades de monitoreo y vigilancia en tiempo real. La aplicación de estas redes de son una alternativa para la recolección de datos, detección y acción ante eventos críticos. Siendo estas redes especialmente útiles en entornos de baja conectividad y bajo consumo energético sin limitarse por la infraestructura del lugar[18] .

Latinoamérica está desarrollando e impulsando el uso de las tecnologías IIoT, debido a la demanda de seguridad que presenta, pero adoptar estas tecnologías implica desafíos[19], la falta de acceso a tecnologías avanzadas en regiones específicas, como es el caso de Ecuador, donde muchas áreas aun no cuentan con soluciones efectivas para la vigilancia y monitoreo.

La implementación del protocolo LoRa surge como una respuesta a estas limitaciones, dado a que logra transmitir datos por largas distancias teniendo un consumo energético bajo [14]. Esta característica lo hace ideal para aplicaciones en áreas extensas, donde la infraestructura convencional podría no estar disponible o ser costosa. En cambio, las cualidades de la tecnología LoRa se alinea ante esta necesidad debido preocupación por la seguridad, motivando la implementación de sistemas de monitoreo que mejoren la calidad de vida de las comunidades.

En el contexto nacional, diversos trabajos recientes demuestran el crecimiento del uso de tecnologías IIoT en Ecuador. Sistemas como un banco de pruebas para monitoreo y control industrial, enfocando la integración entre microcontroladores y plataformas de supervisión [20]. Y en el estudio realizado por la Universidad Salesiana se analizó los riesgos de ciberseguridad en redes IoT [21]. Estos estudios demuestran que el país avanza en la adopción de soluciones IIoT aplicadas a el control y seguridad.

El presente proyecto propone desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica para la seguridad en exteriores, utilizando tecnología IIoT y LoRa. Este sistema será implementado en los laboratorios de la Universidad Estatal península Santa Elena, donde se busca ofrecer un modelo que pueda ser replicado en otras instituciones y comunidades del país. Se realizó de esta

manera para tener un campo de prueba en el que podamos aprovechar las cualidades de la tecnología LoRa en el monitoreo ambiental y la detección de situaciones de riesgo.

2.2 Marco conceptual

En este apartado se describen los conceptos de los equipos, dispositivos y tecnologías utilizadas en este proyecto

2.2.1. Tecnologías Aplicadas en el Proyecto

Internet Industrial de las cosas: Es una rama especializada del IoT, que se centra en la interconexión y automatización de dispositivos y sistemas dentro de los entornos industriales[22]. El IIoT hace uso de redes de sensores y actuadores para recoger datos de maquinaria, procesos de producción, condiciones ambientales y otros parámetros relevantes, enfocados a la monitorización, el análisis y la optimización de procesos industriales en tiempo real.

A diferencia del IoT tradicional, que se aplica en entornos más generales (como el hogar inteligente o la salud), el IIoT está orientado a mejorar la seguridad y la toma de decisiones dentro de las fábricas, plantas de manufactura y otras instalaciones industriales[23]. Utiliza tecnologías de comunicación avanzadas, como LoRa, 5G, y Wi-Fi, para la transmisión de grandes volúmenes de datos de manera rápida y segura.

Para este proyecto, el IIoT proporciona la infraestructura necesaria para integrar sensores inalámbricos y dispositivos inteligentes con los que podamos realizar tareas como la supervisión de sistemas de seguridad en exteriores. Mediante el uso de dispositivos como Raspberry Pi, ESP32, y módulos LoRa, el sistema propuesto recopilará, procesará y almacenará datos para optimizar la respuesta ante situaciones de riesgo, como la detección de intrusos en áreas no autorizadas.

El IIoT también se complementa con tecnologías como Node-RED, para la creación de flujos de procesos de datos, y MariaDB, que gestiona la base de datos donde se almacenarán y organizarán los datos obtenidos de los sensores y dispositivos conectados. A través de la integración de estas tecnologías, el IIoT facilita la creación de un sistema inteligente y autónomo que mejora la seguridad, facilita el análisis y la toma de decisiones basado en datos en tiempo real.

LoRa: es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para aplicaciones de largo alcance y bajo consumo energético[24], ideal para el Internet de las Cosas (IoT) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT). LoRa logra una transmisión de datos a través de distancias mucho mayores que las tec-

nologías tradicionales como Wi-Fi o Bluetooth, alcanzando rangos de hasta 15 km en áreas rurales y 5 km en entornos urbanos, lo que lo convierte en una opción muy atractiva para redes de sensores en lugares extensos y de difícil acceso. Utiliza un esquema de modulación de radiofrecuencia llamado Chirp Spread Spectrum (CSS).

LoRaWA: es un protocolo de comunicación de red de área amplia que utiliza la modulación LoRa para la transmisión de datos a largas distancias con un consumo energético muy bajo[9]. Este protocolo es ideal para aplicaciones de IoT, porque puede conectar múltiples dispositivos en áreas extensas sin la necesidad de una infraestructura compleja. LoRaWAN es especialmente útil en entornos donde la conectividad a redes celulares es limitada, facilitando la comunicación entre sensores y un nodo central.

Esta tecnología se utilizará para crear una red de sensores inalámbricos que conecten los sensores con una Raspberry Pi y un PLC como nodo central. La comunicación entre los dispositivos de campo y la unidad central se realizará a través de módulos LoRa, estos módulos enviarán los datos recolectados por los sensores (detección de movimiento) al nodo central para su procesamiento y almacenamiento.

Red de Sensores Inalámbricos: Son un grupo de aparatos capaces de registrar variables físicas (tales como temperatura, humedad, movimiento, etc.) y enviar dichos datos de forma inalámbrica a un receptor de nombre [25]. A pesar de que los sensores individualmente se clasifican como 'alámbricos', estos están vinculados a los dispositivos LoRa para garantizar la transmisión de larga distancia.

Los sensores de movimiento inalámbricos facilitan la recopilación constante de información en tiempo real, lo cual es vital para la identificación de peligros en zonas exteriores.

2.2.2. Herramientas de programación

Para desarrollar este proyecto debemos conocer las herramientas que usaremos para la configuración de los dispositivos. Para la programación de los módulos de comunicación LoRa, se utilizó Arduino IDE, una plataforma de desarrollo que facilita la escritura y carga de código en microcontroladores, asegurando que los dispositivos respondan correctamente a las condiciones del entorno [26]. Para la gestión de datos y automatización, se implementó Node-RED, una herramienta de programación visual con la que tenemos la interconexión entre dispositivos IoT, simplificando el flujo de información entre los sensores, la Raspberry Pi y el PLC lo que agiliza el desarrollo del

sistema y su integración [27].

EL almacenamiento de datos recolectados por los sensores, se realiza con MariaDB, un sistema de gestión de bases de datos para la ejecución de consultas en tiempo real, facilitando el análisis y la detección de patrones de comportamiento que podrían indicar situaciones de riesgo [28]. Para la configuración y programación del PLC usamos TIA Portal, un software de automatización industrial diseñado para la programación y configuración de PLCs, el cual nos ayuda a establecer el control de los dispositivos a partir de las alertas detectadas por los sensores. A través de este software, se estableció la lógica de control para la activación de respuestas automáticas dentro del sistema[29].

2.2.3. Dispositivos electrónicos

Los equipos utilizados para la elaboración de este proyecto se resumen en este apartado. La Raspberry Pi 4 desempeñó un papel fundamental como nodo central del sistema, encargándose del procesamiento de datos obtenidos por los sensores y comunicación entre ellos. La compatibilidad con múltiples dispositivos la convierten en una opción ideal para proyectos de IoT, logrando una interacción fluida entre los distintos componentes del sistema [13]. Utilizamos el PLC para el procesamiento de datos y la configuración de los equipos como el HMI. La capacidad de respuesta en tiempo real garantiza un sistema funcional para la toma de decisiones en entornos industriales y de seguridad [30]. Mientras que el HMI sirve para la interacción entre los usuarios y el sistema de monitoreo. Con esta interfaz, los operadores pueden supervisar las alertas generadas por los sensores y tomar decisiones informadas ante cualquier anomalía. En un entorno de seguridad, la HMI es una herramienta clave que mejora la capacidad de respuesta y gestión del sistema [31].

En conjunto estos tres elementos, Raspberry Pi 4, PLC y HMI forman el sistema completo de monitoreo, adaptable a futuras necesidades, para la detección de eventos en exteriores, la automatización de respuestas y una gestión centralizada de la información.

2.3 Marco teórico

En este proyecto se detallan los conceptos y tecnologías clave que fundamentan la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica para la seguridad en exteriores, orientado al uso de IIoT y protocolos de comunicación y modulación como LoRa y LoRaWAN.

Frente a otras tecnologías inalámbricas de corto alcance, LoRa tiene alcances superiores a 2 km en entornos despejados, con una tasa de transmisión suficiente para datos de sensores, estas características son esenciales para la vigilancia en áreas exteriores donde las soluciones de telecomunicaciones tradicionales suelen ser limitadas tal como lo menciona el trabajo de integración curricular *"Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores de bajo costo, para la medición de parámetros de la calidad del aire"* de la universidad Nacional de Loja [32]. La integración de sensores de movimiento (PIR) y de presencia en el sistema está enfocada a la detección temprana de posibles riesgos, facilitando una respuesta oportuna.

Esta infraestructura de procesamiento se complementa con Node-RED, una herramienta para la programación de flujos de datos en la que se pueden integrar múltiples dispositivos IIoT y facilita el procesamiento de eventos en tiempo real. [33]. Teniendo una Raspberry Pi 4 como nodo central, responsable de recibir, procesar y almacenar los datos generados por la red de sensores inalámbricos en una base de datos gestionada con MariaDB. Se implementa un HMI, para que los operadores puedan monitorear el estado del sistema y visualizar alertas en tiempo real.

La implementación de Arduino IDE y TIA Portal en este proyecto simplifica la configuración y programación de los sensores, con la vinculación con el PLC y otros aparatos de automatización industrial, proporcionando una mayor flexibilidad entre los dispositivos. [34]. Esta arquitectura de sistema ofrece un modelo de supervisión flexible e integral, que asegura una mejor supervisión y administración de datos en tiempo real, brindando de esta manera una solución tecnológica de vanguardia para incrementar la seguridad en ambientes exteriores.

Capítulo III

3.1 Diseño de la propuesta

En este apartado se presenta el diseño principal propuesto para este proyecto. Dado que el sistema desarrollado está orientado como prototipo, se ha optado por utilizar un sensor de movimiento PIR para las pruebas. Sin embargo, el sistema está diseñado para funcionar de la misma manera con un sensor de nivel industrial, garantizando que el proyecto pueda adaptarse a aplicaciones más exigentes.

Cada sensor PIR está conectado a un ESP32 que actúa como emisor, mientras que otro ESP32 funcionará como receptor. Este último estará vinculado a la Raspberry Pi 4, que se encargará de almacenar y gestionar los datos para su procesamiento, en conjunto, el PLC Siemens S7-1200 y el HMI son para el monitoreo en tiempo real de los eventos presentes facilitando la supervisión de las alertas generadas.

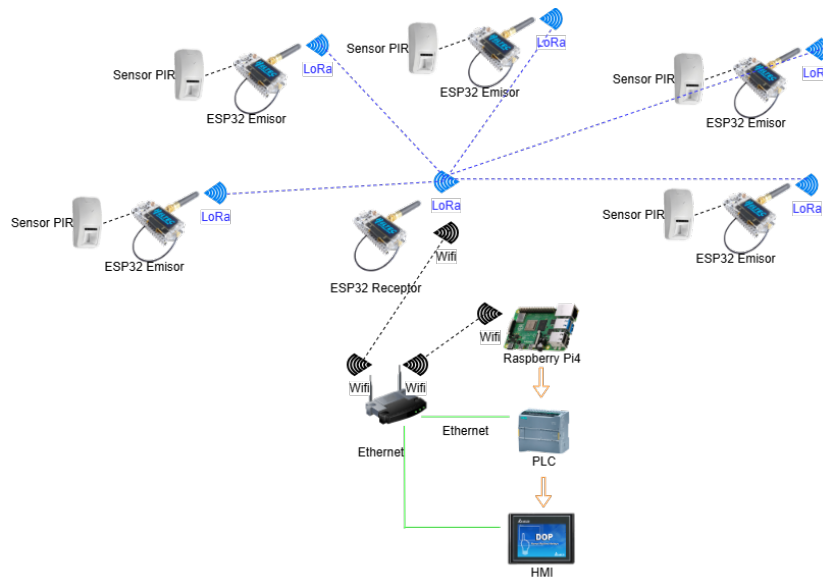


Figura 1: Diagrama de la propuesta

Los sensores de movimiento se conectan de manera física al módulo, mediante los pines de conexión, los módulos requieren una programación específica tanto para el emisor como para el receptor. La comunicación es mediante tecnología LoRa, la cual mencionamos que es utilizada para garantizar

la transmisión de datos de manera correcta a largas distancias. El módulo receptor está configurado con una dirección IP y una conexión Wi-Fi local para la comunicación con la Raspberry. Los datos obtenidos por el receptor son enviados por Wi-Fi hasta la Raspberry usando el protocolo Modbus. La Raspberry actúa como el nodo central del sistema, gestionando el almacenamiento de datos en MariaDB y asegurando la correcta transmisión de la información hacia otros dispositivos.

Dentro del flujo de datos de Node-RED se realiza la comunicación con el PLC Siemens S7-1200, está configurado con TIA Portal y se encarga de la automatización del sistema de respuesta, activando alarmas, luces indicadoras y posibles mecanismos de seguridad en caso de detectar movimiento en áreas no autorizadas.

Finalmente, la plataforma cuenta con un HMI el cual está configurado en DOPSoft, este, deja a los operadores visualizar en tiempo real el estado del sistema, las alertas generadas y los eventos registrados por los sensores facilitando el monitoreo.

Si bien este diseño se presenta como un prototipo, la infraestructura planteada es completamente adaptable para el uso en entornos industriales o de mayor exigencia. Además, si bien se ha optado por utilizar sensores PIR debido a su disponibilidad y facilidad de implementación, la forma en que está construido ayuda a que la solución sea adaptable para distintas aplicaciones dentro del ámbito de la seguridad en exteriores.

3.2 Comunicación entre dispositivos

Para la comunicación entre los componentes físicos del proyecto usamos conexiones como cables ethernet y pines de conexión, y de medios inalámbricos como el protocolo LoRa y Wi-Fi. Por su parte los componentes digitales como los programas y sistemas operativos usaran un direccionamiento por IP's mediante una red local, asegurando que todos los datos generados por los sensores y procesados por los dispositivos sean transmitidos correctamente hacia la plataforma de supervisión. A continuación, se describe cómo se realizará esta conexión en el sistema.

3.2.1. Comunicación entre el ESP32 emisor y el ESP32 receptor

La comunicación de los sensores inalámbricos se realiza mediante tecnología LoRa, que opera en la banda de frecuencia libre de 915 MHz. El sensor PIR, conectado a los pines digitales del módulo transmisor, detecta movimiento y envía los datos capturados al ESP32, y este los transmite mediante LoRa al módulo receptor. Con programación desarrollada en Arduino IDE

podemos definir si la transmisión se realiza de forma continua o bajo condiciones específicas, como intervalos de tiempo, cambios de estado o eventos detectados, esto nos ayudara para las pruebas funcionamiento.

3.2.2. Conexión del ESP32 receptor a la Raspberry Pi 4

Esta conexión se realiza dentro de una red local y se logra mediante el protocolo Modbus TCP/IP, a través de una conexión Wi-Fi. El ESP32, que opera a 3.3V y cuenta con esta conexión, transmite los datos estructurados a través del puerto 502 bajo el protocolo maestro/esclavo que caracteriza a Modbus. La Raspberry Pi 4, equipada con Raspberry Pi OS, posee conectividad Ethernet y Wi-Fi, y actúa como cliente maestro, gestionando la recepción de los paquetes. Una vez recibida, la información es procesada y almacenada en una base de datos MariaDB para su posterior análisis y registro.

3.2.3. Integración de Node-RED para el control centralizado

Node-RED actuará como el puente de comunicación y control entre los dispositivos, la base de datos en MariaDB, y los distintos puntos de entrada y salida de datos del sistema. Mediante flujos diseñados en Node-RED, centralizando la comunicación entre el PLC y los ESP32. Para ello, se emplean nodos específicos como node-red-contrib-modbus para el intercambio de datos con el PLC vía Modbus TCP/IP, y node-red-node-mysql para interactuar con MariaDB. También, se utilizan funciones personalizadas en nodos de tipo "function" para procesar los datos entrantes y convertir cadenas a valores numéricos antes de almacenarlos.

3.2.4. Conexión de la Raspberry Pi 4 con el PLC S7-1200 y el HMI

La Raspberry Pi se conecta con el PLC S7-1200 mediante un cable Ethernet dentro de una red local, utilizando el protocolo industrial S7comm o mediante integración con Modbus TCP/IP, gracias a los nodos configurados en Node-RED. Esta comunicación sirve para que los datos procesados por la Raspberry Pi, incluyendo lecturas de sensores y eventos registrado, sean enviados al PLC para ejecutar acciones lógicas, como la activación o desactivación de dispositivos de salida. El HMI, diseñado en DOPSoft y también conectado al mismo switch de red que el PLC, actúa como la interfaz de usuario. Esta interfaz muestra eventos en tiempo real, alertas generadas por los sensores, y ofrece la posibilidad de modificar parámetros operativos del sistema.

3.3 Diseño de la red de sensores inalámbricos

Aprovechando las características de largo alcance y bajo consumo energético de los módulos LoRa, se diseñó una red de sensores inalámbricos capaz de cubrir múltiples puntos estratégicos de acceso en la universidad. Aunque el prototipo actual opera con un solo sensor ubicado en el laboratorio, el sistema ha sido simulado para cinco nodos distribuidos, siendo el punto más lejano a aproximadamente 800 metros del nodo central, distancia dentro del rango típico de cobertura de LoRa en espacios abiertos. La red está planteada para operar en la banda de frecuencia ISM de 915 MHz, con una tasa de transmisión adaptativa que puede variar entre 0.3 kbps y 27 kbps según la calidad del enlace en -dB. El diseño considera una arquitectura tipo estrella, donde cada nodo transmite directamente al nodo central, ubicado en el laboratorio. Esta estructura sirve para escalar el sistema fácilmente, añadiendo más sensores sin comprometer la estabilidad de la red, lo que la hace adecuada para aplicaciones en exteriores donde el monitoreo distribuido es esencial.

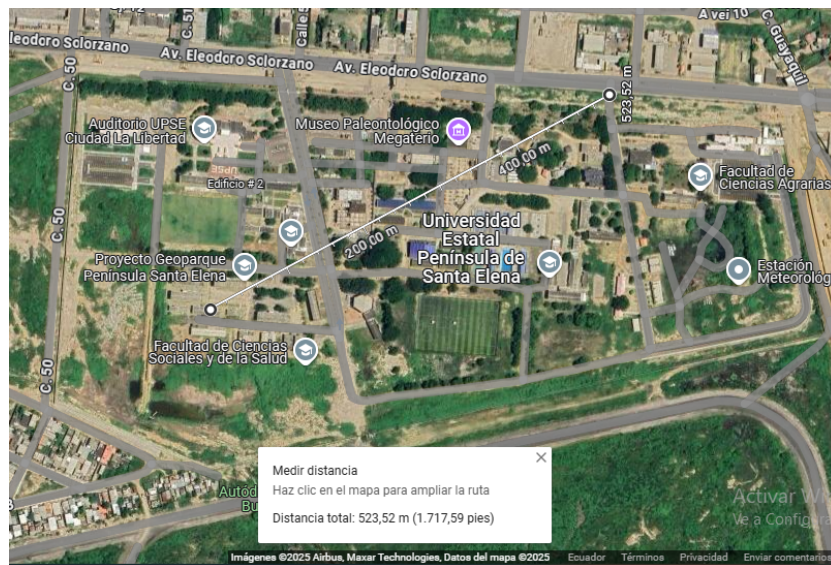


Figura 2: Google maps, distancia desde el laboratorio a la entrada más lejana

3.4 Diseño del sistema de monitoreo

Para el diseño del sistema de monitoreo se emplea el software TIA Portal, configurando el PLC Siemens S7-1200 como el núcleo de control dentro de la

red local. Usamos el software DOPSoft para el desarrollo del HMI, haremos una representación gráfica del entorno de monitoreo. Esta interfaz estará conectada al PLC a través de comunicación Ethernet, dejando a los operadores visualizar en tiempo real la ubicación lógica de los sensores distribuidos, junto con el estado de cada uno y las alertas generadas por eventos detectados. El diseño de la HMI sigue las recomendaciones de la norma ISA-101, que promueve interfaces organizadas, jerarquizadas y estandarizadas, lo cual facilita una rápida interpretación del sistema.

3.4.1. Definición de variables de comunicación

Creamos las variables en TIA Portal que estarán asociadas al valor de los sensores, así como a otros elementos de control. A cada variable se le asignan direcciones específicas de memoria dentro del PLC S7-1200 para que estas puedan ser leídas y escritas desde la HMI mediante comunicación interna con el PLC. Estas direcciones de memoria se configuran cuidadosamente según la lógica programada y corresponden a los datos captados por los sensores y procesados previamente por la Raspberry Pi. Para asegurar la coherencia del flujo de datos entre los distintos nodos del sistema (ESP32, Raspberry Pi, PLC y HMI), se elaboró una tabla de variables que contiene información clave como el nombre de la variable, su origen, destino, tipo de dato, dirección en memoria y función dentro del sistema. Esta tabla actúa como una guía de referencia técnica para la trazabilidad de la información, facilitando el diseño, el mantenimiento y la escalabilidad futura del sistema de monitoreo. Fig. 11 del Anexo

3.5 Desarrollo de la propuesta

En este apartado se redacta el proceso en orden cronológico del desarrollo de este proyecto, iniciando con los circuitos eléctricos, conexiones, cableado, siguiendo por la configuración y prueba de sensores, configuración de los microcontroladores y terminando con la programación del PLC y el HMI

Durante el desarrollo del circuito se prestó especial atención a la correcta conexión de los pines según las especificaciones del fabricante. El módulo se integró al circuito conectando su pin de alimentación (VCC) y tierra (GND) a una batería de 9V, garantizando un suministro estable de energía. Se establecieron también las conexiones de comunicación mediante los pines TXD y RXD, fundamentales para el intercambio de datos en tiempo real. Se incorporaron bornes para facilitar las conexiones eléctricas y futuras expansiones, así como un botón de reinicio que deshabilita el módulo durante pruebas y depuración.

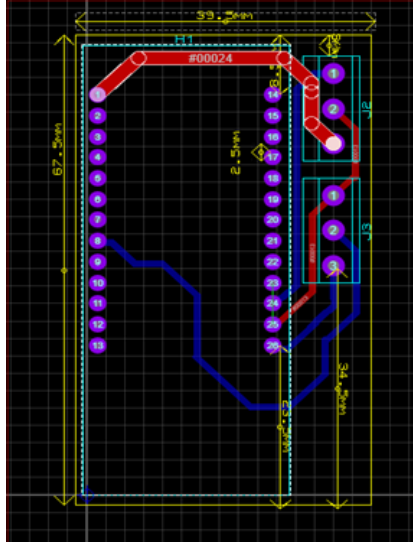


Figura 3: Simulación de las conexiones del módulo LoRa

Durante la fase de diseño de la PCB, se tomaron en cuenta las necesidades eléctricas fundamentales, como la operación a 3.4V, imprescindible para suministrar energía al sensor infrarrojo y al módulo LoRa. Se establecieron dimensiones exactas: (35 mm x 67 mm) Para prevenir cortocircuitos y mantener la integridad de la señal entre el sensor y el módulo, se conservó una separación de 2.5 mm entre los pines. Este análisis aseguró conexiones eléctricas seguras.

Los microcontroladores están configurados bajo la siguiente lógica de programación:

```

Iniciar Serial a 115200
Imprimir "Iniciando sistema PIR + LoRa..."

Configurar LED_PIN como salida

Iniciar comunicación I2C con OLED (SDA = 21, SCL = 22)
Si no se detecta OLED:
    Imprimir "Error al iniciar OLED"
    Detener ejecución

Configurar pines de LoRa (SS = 18, RST = 14, DIO = 26)

```

```

Si LoRa no inicia a 915 MHz:
    Imprimir "Error al iniciar LoRa"
    Detener ejecución

Limpiar pantalla OLED
Mostrar "PIR + LoRa Sender"
Esperar 2 segundos

Guardar tiempoInicial = millis()

Mientras se ejecuta:
    Leer valor analógico del sensor PIR (valorPIR)
    hayMovimiento = (valorPIR > THRESHOLD)
    valorBinario = 1 si hayMovimiento, sino 0

    tiempoTranscurrido = (millis() - tiempoInicial) / 1000.0
    decibelios = mapear valorPIR de 0-4095 a 30-120

Si hayMovimiento estadoAnterior:
    Guardar ultimoTiempoCambio = tiempoTranscurrido

    Iniciar paquete LoRa
    Enviar valorBinario, tiempoTranscurrido, decibelios
    separados por comas
    Finalizar paquete LoRa

    estadoAnterior = hayMovimiento

Encender LED si hayMovimiento, apagar si no

Limpiar pantalla OLED
Mostrar:
    "Estado PIR + LoRa"
    "Val: " + valorBinario
    "MOVIMIENTO DETECTADO" si hayMovimiento, sino
    "SIN MOVIMIENTO"
    "Cambio en: " + ultimoTiempoCambio
    "dB: " + decibelios
Actualizar pantalla OLED

Esperar 100 ms

```

Realizada las conexiones del sensor y configurado el microcontrolador como emisor, configuramos el receptor, este debe incluir la dirección IP asignada para el enrutamiento, así como la SSID y la contraseña de la red local para su conexión con la Raspberry Pi:

```
Iniciar Serial a 115200
Imprimir encabezado para el Plotter Serial
```

```
Configurar LED como salida y apagarlo
```

```
Inicializar OLED por I2C
Si falla, detener ejecución
```

```
Mostrar "LoRa Receptor" en pantalla OLED
```

```
Conectar a red WiFi (Lab.Automatizacion)
Esperar hasta estar conectado
```

```
Configurar servidor Modbus
Agregar registro para movimiento
```

```
Mientras se ejecuta:
```

```
  Verificar si llegó un paquete LoRa
```

```
  Si llegó:
```

```
    Encender LED
```

```
    Leer paquete como cadena
```

```
    Separar datos por comas:
```

```
      - valorBinario (0 o 1)
```

```
      - tiempoTranscurrido (segundos)
```

```
      - decibelios
```

```
    Mostrar datos en el Plotter Serial:
```

```
      tiempoTranscurrido \t valorBinario \t decibelios
```

```
    Apagar LED
```

```
Cada 200 ms:
```

```
  Actualizar registro Modbus con valorBinario
```

```
  Ejecutar tarea Modbus
```

```
Mostrar datos en pantalla OLED:
```

```
  - Título
```

```
  - valorBinario
```

- Estado de movimiento
- Tiempo transcurrido
- Decibelios

Con la conexión establecida obtendremos nuestro primer sensor inalámbrico, este se replicará cinco veces para cada una de las entradas (a manera de simulación) para obtener la red deseada. La gestión de este grupo de sensores la realizamos desde la Raspberry. Como base usamos el SO Raspbian propio de Raspberry, en este instalaremos MariaDB, y los complementos necesarios para ejecutar Node-Red. La lógica utilizada para esta configuración es:

INICIO

// INICIO DEL SERVICIO MARIADB

Ejecutar: sudo systemctl start mariadb

Ejecutar: sudo systemctl enable mariadb

Con estas líneas iniciamos MariaDB para que esté disponible para la conexión y la configuramos para que inicie automáticamente

// CREACIÓN DE BASE DE DATOS

Abrir cliente MariaDB:

Ejecutar: sudo mariadb

Dentro del cliente:

Ejecutar: CREATE DATABASE Tesis_DB;

Verificar con: SHOW DATABASES;

Salir con: EXIT;

Ejecutamos MariaDB para que tenga permisos de administrador, creamos y mostramos la base de datos.

// INICIAR NODE-RED

Ejecutar: node-red-start

Ejecutar: sudo systemctl enable nodered.service

// ACCESO A NODE-RED

Abrir navegador en:

<http://172.0.0.1:1880>

// CONFIGURAR CONEXIÓN DE NODE-RED A MARIADB

1. Abrir menú ‘Manage palette’

2. Instalar: node-red-node-mysql

3. Insertar nodo ‘mysql’ y configurar con:

```
Host: localhost
Puerto: 3306
Base de datos: Tesis_DB
Usuario: admin
Contraseña: [auto]
```

Realizamos la conexión entre mediante una red local usando el puerto e IP definidas.

FIN

La información proporcionada por los sensores inalámbricos es enviada mediante la red local con el protocolo modbus TCP IP hasta la Raspberry siguiendo esta secuencia:

1. Recibir valor del sensor vía WiFi usando Modbus TCP
2. Leer registro Modbus: `mb.Hreg(0)`
3. Enviar `msg.payload` a un function node
4. Convertir el valor si es necesario:
`let valor = parseInt(msg.payload);`
`global.set("valorSensor", valor);`
5. Usar nodo "timestamp" para obtener hora actual
6. Insertar datos en MariaDB:
`query: INSERT INTO Tesis_DB (tiempo, valor)`
7. Redireccionar con un nodo "switch":
extraer los datos de la Base de datos
8. En function node, transformar el valor para PLC.
9. Enviar valor convertido a PLC con nodo Modbus.

Con el TIA Portal, establecimos el PLC a través de la generación de variables para guardar y utilizar la información obtenida de los sensores inalámbricos. Se acepta la información como variables de tipo real, se establecen variables del tipo Bool y se utiliza un bloque de función (FC) con un rango de validación que convierte cualquier dato que no sea cero en un valor lógico alto (1), y el resto en un valor lógico bajo (0). Esto facilita la normalización de la información y nos proporciona mayor sencillez para su uso futuro en la lógica de control del PLC.

Los datos convertidos a binario son almacenados en una variable de memoria y utilizados dentro de la programación Ladder para ejecutar las funciones requeridas por el sistema. Se crean redes lógicas en las que, al detectarse un valor alto en la variable correspondiente a un sensor, se activa una salida

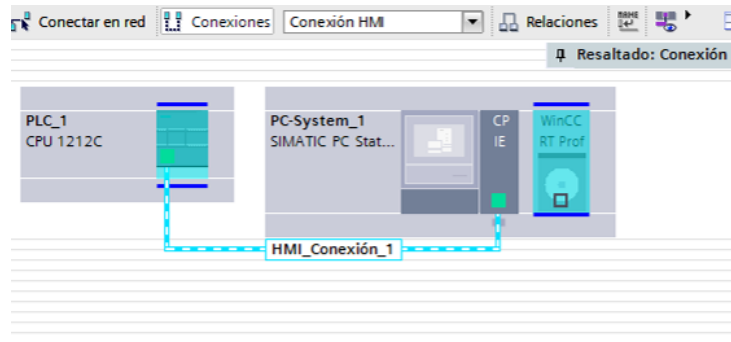


Figura 4: TIA Portal, comunicación con el HMI

digital que está asociada a una alarma. cada uno de los sensores indicara un estado propio para cada entrada. Las variables para el botón de detener el sistema y el botón para quitar las alarmas una vez el perímetro este seguro.

El HMI está diseñado con DOPSoft y se comunica directamente con el PLC, usa las direcciones de memoria configuradas en TIA Portal. Cuando se cumple la condición, cambia el indicador de verde a rojo y arroja el mensaje: alerta en zona 3.

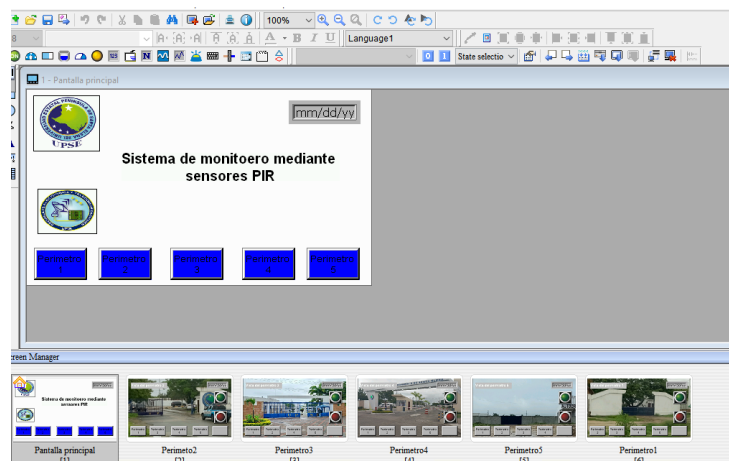


Figura 5: Pantalla principal de control

3.6 Tablas de datos obtenidos

Las siguientes tablas presentan los resultados obtenidos en las pruebas de transmisión de datos mediante módulos LoRa. Se registraron dos lecturas

por cada uno de los cinco sensores, incluyendo los valores de tiempo y el intervalo entre lecturas. Estos datos sirven para verificar el comportamiento temporal del sistema y la recepción correcta en el nodo central.

Sensor	Lectura	Tiempo [s]	Intervalo [s]
1	1	0.0	–
1	2	4.7	4.7
2	1	10.2	–
2	2	15.3	5.1
3	1	21.8	–
3	2	25.6	3.8
4	1	30.0	–
4	2	35.4	5.4
5	1	41.0	–
5	2	45.5	4.5

Cuadro 2: Velocidad de transmisión de datos por sensor (dos lecturas por sensor)

Las mediciones de señal fueron obtenidas desde cada nodo sensor durante la transmisión. Se registraron los valores en decibelios (dB) correspondientes a las dos lecturas por sensor, con el fin de analizar las variaciones locales en el entorno inmediato del dispositivo.

Sensor	Lectura	Decibelios [dB]	RSSI [dBm]
1	1	120.0	-70
1	2	120.0	-65
2	1	30.0	-67
2	2	30.0	-26
3	1	30.0	-22
3	2	120.0	-21
4	1	120.0	-27
4	2	30.0	-20
5	1	60.0	-75
5	2	60.0	-71

Cuadro 3: Relación entre niveles de señal acústica y potencia de recepción (RSSI) por sensor

Los valores de RSSI registrados reflejan la intensidad de señal recibida por el nodo receptor para cada paquete transmitido. Se incluyen dos mediciones por sensor, útiles para observar la calidad de enlace en la comunicación LoRa.

Sensor	Lectura	Valor Binario	Decibelios [dB]	RSSI [dBm]
1	1	1	120.0	-70
1	2	1	120.0	-65
2	1	0	30.0	-67
2	2	1	120.0	-27
3	1	0	30.0	-21
3	2	1	120.0	-21
4	1	0	30.0	-22
4	2	1	120.0	-26
5	1	1	120.0	-28
5	2	0	30.0	-24

Cuadro 4: Relación entre el estado del sensor y los parámetros de transmisión por sensor

Sensor	RSSI medio [dBm]	SNR estimado [dB]	Latencia [ms]
1	-67.5	52.5	8.7
2	-47.0	73.0	8.9
3	-21.0	99.0	8.5
4	-24.0	96.0	8.8
5	-26.0	94.0	8.6
Promedio	-37.1	82.9	8.7

Cuadro 5: Métricas desempeño desviación estándar, relación señal-ruido (SNR), latencia y porcentaje de pérdida de paquetes por sensor.

A continuación, se muestra una representación de los datos obtenidos con respecto al tiempo, se observa un incremento de datos en las horas más transcurridas de la universidad.

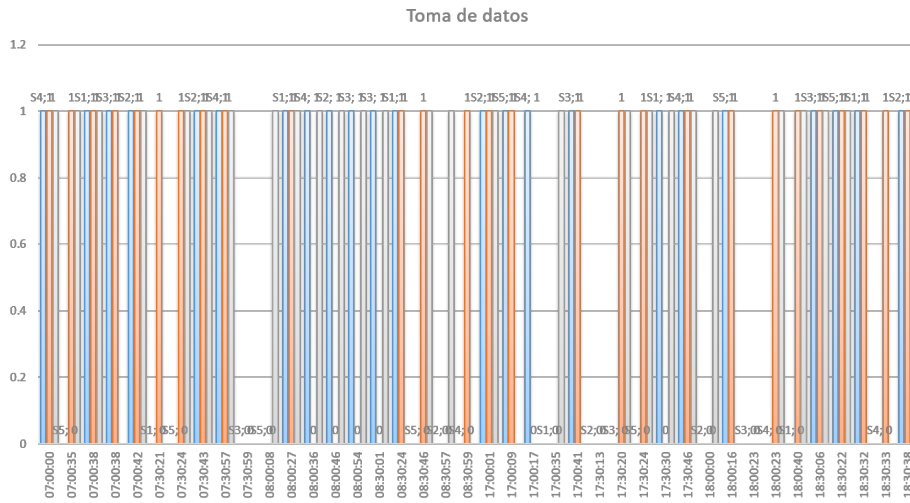


Figura 6: Toma de datos, recopilación de 3 días

Capítulo IV

4.1 Evaluación y resultados

En este capítulo se detallará el proceso el correcto funcionamiento, así como los resultados obtenidos en cada una de las etapas que componen el sistema. Se presenta el desarrollo por fases, lo cual asegura que el proyecto sea completamente escalable, tanto por etapas como por su integración en un modelo de comunicación integral.

4.1.1. Programación de los ESP32:

En el entorno de Arduino IDE se cargó el código correspondiente a los módulos LoRa, configurando uno como emisor y otro como receptor. Cada módulo opero de manera independiente sin la intervención de la Raspberry Pi, pues en esta etapa se buscó validar únicamente la red LoRa. Para ello, usamos una pantalla OLED con la que podemos ver directamente los datos transmitidos. El siguiente gráfico representa los datos obtenidos en función del tiempo transcurrido:

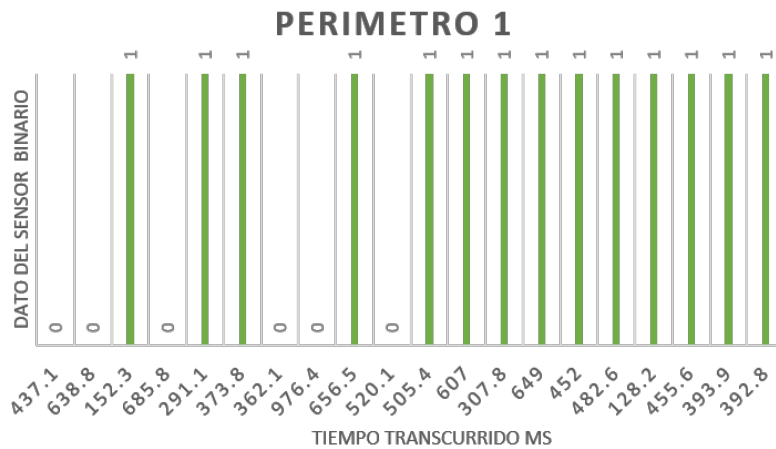


Figura 7: Datos del perímetro 1

4.1.2. Configuración de la Raspberry Pi 4:

En el sistema operativo Raspbian dentro de la interfaz gráfica de Node-Red se requiere la instalación manual de los bloques de funciones para la comunicación modbus y también la comunicación al PLC. Para visualizar los nodos instalados véase la Fig. 15 y Fig.17 del Anexo. Usando los bloques de función "debug", obtenemos datos repetidamente desde el sensor para determinar el tiempo que tarda en recibir la respuesta

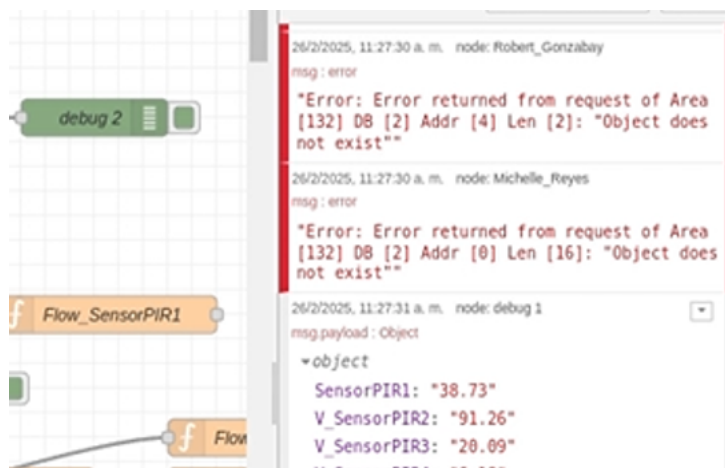


Figura 8: Datos de los sensores a Node-Red

4.1.3. Programación del PLC S7-1200 y HMI en TIA Portal:

Dentro de las especificaciones relevantes para este proyecto están los complementos en red, la dirección IP específica del PLC que será la 192.168.0.6 del módulo de automatización industrial No. 6. Las configuraciones adicionales las puede verificar en las Fig.21, Fig.22, Fig.23 del Anexo.

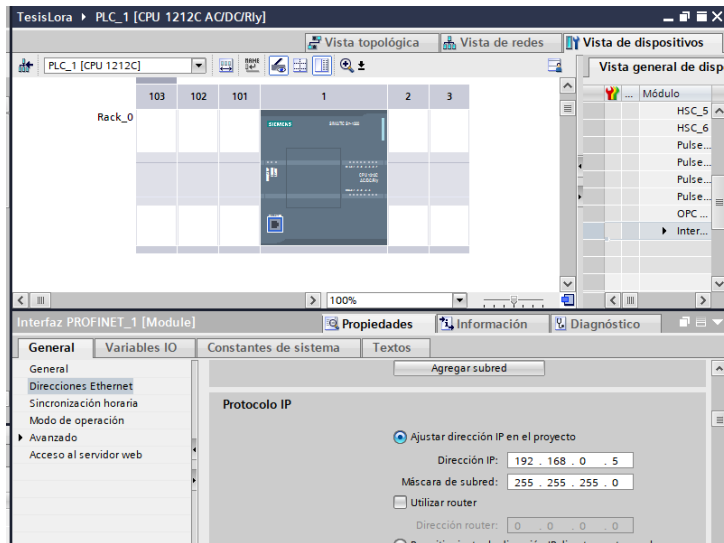


Figura 9: TIA Portal, Configuración de red del PLC

Debemos establecer una conexión entre el PLC y el HMI en el apartado de redes y conexión, esta conexión es importante y requiere cuidado al subir los archivos debido a que al tratarse del laboratorio de redes el cual está conectado mediante una red local, podemos subir un archivo de manera errónea a otro PLC o bien cambiar la dirección IP generando un error de redundancia por una IP duplicada. Aunque, si bien el programa puede compilar e incluso cargarse en el PLC, este no obtendrá datos de la Raspberry.

4.1.4. Integración del sistema completo:

Una vez validadas las partes individuales, integramos el sistema para verificar la comunicación continua entre ESP32, Raspberry Pi, PLC y HMI. Estas pruebas sirvieron para identificar posibles latencias, pérdidas de datos o errores en la respuesta de los actuadores. Node-RED gestiona el flujo de datos y su almacenamiento en MariaDB. véase la Fig.28 del Anexo



Figura 10: Módulos instalados en el laboratorio

4.1.5. Pruebas de estabilidad y simulación de condiciones reales:

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio, y los resultados obtenidos confirmaron que la comunicación entre los sensores y el receptor LoRa era estable, con latencias que no superaron los 9 milisegundos, lo que demuestra una rápida transmisión de los datos. A través de estas simulaciones, se evaluó cómo el sistema respondía a la atenuación de la señal y la variabilidad en el RSSI, que mostró variaciones típicas en escenarios con obstáculos, pero que mantuvo una capacidad de transmisión confiable hasta distancias de 600 metros. Se concluyó que el sistema cumple con los requisitos establecidos para su implementación en un entorno de seguridad exterior. Las pruebas demostraron que la solución es completa y adaptable a diversas condiciones, lo que la hace adecuada para aplicaciones de monitoreo y control en exteriores.

4.2 Resultados

Durante las pruebas en campo se obtuvo tener una comunicación de hasta 800 metros con línea de vista despejada y 600 metros con obstáculos cubriendo sin inconvenientes los límites planteados en este proyecto, puesto a que la distancia máxima entre el laboratorio y el sensor a mayor distancia es de 550 metros. Las pantallas del HMI para cada perímetro se pueden visualizar en las Fig. A

Logramos integrar de manera exitosa el protocolo LoRa junto con tecnología IIoT. Durante el proceso se usaron los terminales de cada sistema

operativo teniendo una latencia máxima de 9 milisegundos, esto garantizó una transmisión rápida y estable. Luego, conectamos todo a Node-RED y MariaDB para almacenar y analizar los datos en tiempo real, lo que nos dio un registro para corrección de errores.

El HMI se configuro de manera exitosa siguiendo los requerimientos y sugerencias del tutor, una interfaz sencilla e intuitiva que ayude a los encargados de la seguridad reconocer los perímetros en donde existen movimientos no autorizados y responder rápido ante la alerta.

N°	Objetivo específico	Grado de cumplimiento	Evidencia
1	Diseñar y simular una red de sensores inalámbricos con tecnología LoRa para detectar y monitorear en áreas exteriores.	Cumplido: se estableció la comunicación hasta 800 m en línea de vista y 600 m con obstáculos.	Cap. 4.2, Anexos
2	Implementar el protocolo de comunicación LoRa en combinación con tecnología IIoT para asegurar la transmisión de datos.	Cumplido: integración exitosa con Node-RED y MariaDB, latencia máxima de 9 ms.	Cap. 4.3, Anexos
3	Desarrollar una interfaz HMI que permita visualizar en tiempo real las alertas y el monitoreo ambiental.	Cumplido: desarrollo exitoso, la interfaz es amigable al usuario y muestra alertas ante un movimiento.	Cap. 4.4, Anexos
4	Realizar pruebas para validar la funcionalidad del sistema en la detección dentro de un ambiente controlado.	Cumplido: pruebas en laboratorio demostraron transmisión estable y registro continuo de datos.	Cap. 4.1, Tabla Fig.11

Cuadro 6: Grado de cumplimiento de los objetivos específicos y su evidencia en el documento

4.3 Análisis técnico de linealidad y respuesta del sensor (Perímetro 1)

Para validar el comportamiento del nodo LoRa ubicado en el Perímetro 1, se realizó el procedimiento de evaluación metrológica. Este análisis considera la relación entre la distancia (variable independiente) y la potencia de señal recibida (RSSI en dBm, variable dependiente), evaluando la coherencia de la respuesta del sistema frente a una condición física controlada.

Linealidad. Aplicamos un ajuste por mínimos cuadrados a los datos medidos, obteniendo el modelo:

$$RSSI = -0,1547 \cdot d - 29,8267 \quad (1)$$

donde d es la distancia en metros. El error máximo de linealidad fue de $\Delta = 0,5733$ dB, lo que representa el 1,27% del fondo de escala ($FSC = 45$ dB),

Exactitud. Comparando los datos experimentales con el modelo teórico logarítmico de pérdida de propagación libre, se obtuvo un error máximo de exactitud de 10,67 dB, equivalente al 23,71% del fondo de escala, perdida que asociamos a efectos ambientales.

Umbral. Tomamos los datos de cinco mediciones en condiciones controladas a 10 metros, se determinó un umbral de fluctuación de $U = 0,64$ dB, calculado como $U = 3\sigma$, siendo σ la desviación estándar del RSSI en ese punto.

Resolución. Bajo las condiciones establecidas de operación (40–60 metros), se estimó la resolución como $R = 0,31$ dB, con este valor podemos diferenciar variaciones pequeñas de señal en esa zona.

Estas pruebas nos indican el comportamiento del sensor 1 en condiciones simuladas comparándolas con los datos obtenidos en condiciones reales. Regostamos un consumo en promedio 0.33 W (8 Wh diarios) por nodo y cada uno cuesta alrededor de 18 USD, mientras que el nodo central basado en Raspberry Pi, HMI y PLC tiene un costo estimado de 210 USD. En conjunto, el prototipo completo con cinco sensores genera un consumo total inferior a 0.1 kWh por día.

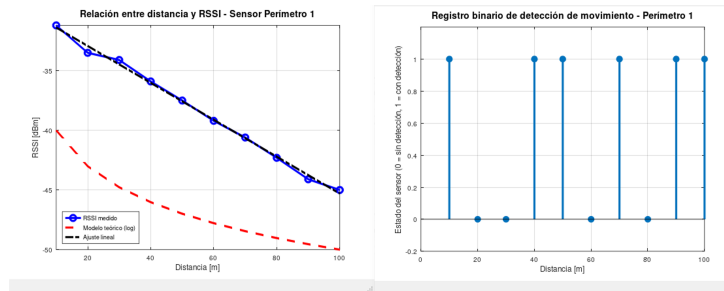


Figura 11: Gráfica de la señal en función de la distancia

La red mostró un rendimiento óptimo hasta 800 m en línea de vista, aunque en entornos urbanos el alcance puede disminuir por interferencias o colisiones de paquetes al aumentar el número de nodos. El sistema opera en la banda ISM de 915 MHz, regulada en Ecuador por la ARCOTEL según la Resolución 03-03-ARCOTEL-2015 y la NT-002-ARCOTEL-2019, que limitan la potencia de transmisión a 1 W (30 dBm) y exigen evitar interferencias con servicios licenciados. La coexistencia con otras tecnologías de 915 MHz como RFID, ZigBee o Wi-Fi puede generar interferencias puntuales, por lo que el cumplimiento de la normativa y la correcta configuración de la potencia de transmisión son esenciales para garantizar la integridad dentro del espectro en que funciona el sistema.

4.4 Conclusiones

- Se diseñó y simuló una red de sensores inalámbricos basada en tecnología LoRa, demostrando que esta arquitectura es adecuada para aplicaciones de seguridad en exteriores. La capacidad de comunicación a larga distancia y el bajo consumo energético ayudaron a establecer un sistema funcional y de fácil mantenimiento, apropiado para zonas abiertas o de difícil acceso.
- La implementación del protocolo LoRa en conjunto con conceptos de IIoT nos dejó establecer una transmisión confiable entre plataformas con los datos generados por los sensores hacia los sistemas de procesamiento. La integración con herramientas como Node-RED, MariaDB y el PLC S7-1200 facilitó la gestión y el almacenamiento de la información en tiempo real, garantizando la comunicación.
- Se desarrolló la interfaz HMI funcional en un HMI Delta, lo que ayudó a la visualización en tiempo real del estado de los sensores y la generación inmediata de alertas ante eventos detectados. Esta interfaz facilita la supervisión de los perímetros monitoreados y facilita una respuesta oportuna ante posibles incidentes de seguridad.
- Las pruebas realizadas en un entorno controlado y simulado demostraron el funcionamiento del sistema propuesto, mostrando precisión en la detección de eventos, pérdidas no significativas, almacenamiento adecuado y una transmisión de datos confiable. Los resultados confirmaron que el sistema cumple con los objetivos planteados y demuestra lo viable de la solución.

4.5 Recomendaciones

- Desde la propuesta del proyecto, se consideró que una de sus fortalezas más destacadas sería su habilidad para expandirse e integrarse con tecnologías emergentes. Se aconseja seguir investigando y renovando las herramientas empleadas, como Node-RED y TIA Portal, para maximizar sus capacidades y asegurar la compatibilidad con dispositivos futuros.
- Un campo no explorado en este proyecto, pero que se consideró, fue el uso de técnicas de cifrado para potenciar la protección en la transmisión de datos.
- Es aconsejable optimizar el consumo energético de los dispositivos LoRa y sensores utilizados, ya que, al tratarse de un sistema de monitoreo en exteriores, es crucial prolongar la duración de las baterías o fuentes de alimentación autónomas como paneles solares. Implementar técnicas de ahorro de energía, como el modo de suspensión en los microcontroladores para ahorrar energía.
- Finalmente se obtendrían resultados más confiables si se realizan pruebas en diferentes entornos y condiciones climáticas.

Bibliografía

Referencias

- [1] Y. Liu, M. Kashef, K. B. Lee, L. Benmohamed y R. Candell, «Wireless Network Design for Emerging IIoT Applications: Reference Framework and Use Cases,» *Proceedings of the IEEE*, vol. 107, n.º 6, págs. 1166-1192, 2019. DOI: 10.1109/JPROC.2019.2905423.
- [2] R. E. Flores Marciallo Mónica Andrea Rosero Yugsi, *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Diseño e implementación de un sistema de seguridad con comunicación inalámbrica utilizando tecnología zigbee y control de eventos por medio de sms para la empresa de calzado Docceti Shoes*, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6330>, (Accessed on 09/29/2024), 2014.
- [3] F. J. A. F. Lidice Romero, *Redes de Sensores Inalámbricos Definidas por Software: revisión del estado del arte*, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282020000200039, (Accessed on 10/01/2024), ago. de 2020.
- [4] A. Chong y M. Yáñez-Pagans, *Information Technologies and Economic Development in Latin America*. Anthem Press, 2020, ISBN: 9781785272004. dirección: <https://books.google.com.ec/books?id=2VXUDwAAQBAJ>.
- [5] C. E. López Pujota, *Repositorio Digital - EPN: Tecnologías de comunicaciones en IoT : simulación de un sistema de comunicaciones utilizando la tecnología NB-IOT (Narrow Band – Internet of Things)*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22715?locale=de>, (Accessed on 09/29/2024), feb. de 2022.
- [6] C. Y. Burbano Ordoñez, *Implementación de una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante módulos LoRa para el monitoreo de la calidad del agua en 2 ríos*, <https://repository.udistrital.edu.co/items/c6b6c007-5f00-42bf-8c93-c5d7fa22be08>, (Accessed on 09/29/2024), Agosto de 2018.
- [7] H. D. Malucín Orquera, *DSPACE ESPOCH.: Implementación de un Cloud SCADA para el control y monitoreo de una estación didáctica de lavado y pintura de carrocerías, mediante V-NET*. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/21969>, (Accessed on 10/01/2024), Abril de 2024.

- [8] M. G. Ortiz Sosa, *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa para el monitoreo de un sistema*, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18469>, (Accessed on 09/29/2024), feb. de 2020.
- [9] LoRaAlliance, *what-is-lorawan.pdf*, <https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>, (Accessed on 09/29/2024), nov. de 2015.
- [10] J. F. Saa Ayala, *Análisis de un sistema de seguridad basado en el internet de las cosas para viviendas urbanas*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14249>, (Accessed on 10/01/2024), Abril de 2023.
- [11] J. W. Tianyu Zhang Chuanyu Xue, *A Survey on Industrial Internet of Things (IIoT) Testbeds for Connectivity Research*, <https://arxiv.org/html/2404.17485v1>, (Accessed on 09/30/2024), Abril de 2024.
- [12] R. Martínez Carreras, *Retos Tecnológicos en la IoT en el ámbito de las redes de sensores*, <https://repositorio.upct.es/entities/publication/6f432802-8c5f-4f9b-ac70-998bd0ce0ce7>, (Accessed on 10/01/2024), 2016.
- [13] RaspberryPi, *Raspberry Pi for industry*, <https://www.raspberrypi.com/for-industry/>, (Accessed on 10/01/2024), 2025.
- [14] E. F. Robalino Peña, *Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Sistema de comunicación Iot para el rastreo y localización de niños con tecnología Sigfox para la ciudad de Ambato, Ecuador*, <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/40786>, (Accessed on 10/01/2024), feb. de 2024.
- [15] R. Chisab, A. Majeed y H. Shehab, «IoT-Based Smart Wireless Communication System for Electronic Monitoring of Environmental Parameters with a Data-Logger,» *International Journal of Electrical and Electronic Engineering Telecommunications*, vol. 12, págs. 450-458, feb. de 2024. DOI: 10.18178/ijeetc.12.6.450-458.
- [16] D. P. A. Balanta, *Agenda-transformacion-digital-2022-2025.pdf*, <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Agenda-transformacion-digital-2022-2025.pdf>, (Accessed on 10/08/2024), 2022.

- [17] M. Romo, *Plan Nacional de Seguridad Ciudadana*, [Online; accessed 2025-11-03], 2019. dirección: https://www.ministeriodegobierno.gob.ec/wp-content/uploads/2019/08/PLAN-NACIONAL-DE-SEGURIDAD-CIUDADANA-Y-CONVIVENCIA-SOCIAL-PACIFICACION-2019-2030-1_compressed.pdf.
- [18] K. A. Cajas Tapia, *Repositorio Digital - EPN: Redes de sensores inalámbricos para IoT : automatización de redes inalámbricas de sensores*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22656>, (Accessed on 11/16/2024), 2022.
- [19] M. Ludeña, *Principales desafíos que enfrenta América Latina bajo la Industria 4.0. Los proyectos de ciencia, tecnología e innovación ¿una alternativa viable?* <https://www.redalyc.org/journal/4255/425577490007/html/>, (Accessed on 11/16/2024), 2023.
- [20] O. A. V. Guillen, *Desarrollo de un sistema basado en internet industrial de las cosas para el monitoreo y control de un banco de pruebas de intercambiadores de calor*, [Online; accessed 2025-11-02], 2022. dirección: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21950/1/UPS-GT003631.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- [21] A. M. C. Sandoya, *Soluciones de ciberseguridad contra los ataques a redes IOT en america latina, una revision sistematica de la literatura*, [Online; accessed 2025-11-02], 2023. dirección: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25904/1/UPS-GT004547.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- [22] E. R. Montero, *Industria 4.0: Conceptos, tecnologías habilitadoras y retos*, [Online; accessed 2025-02-11], 2020. dirección: <https://books.google.com.ec/books?id=ZVy-DwAAQBAJ>.
- [23] A. G. Herbert Endres Marta Indulska, *Unlocking the potential of Industrial Internet of Things (IIOT) in the age of the industrial metaverse: Business models and challenges - ScienceDirect*, [Online; accessed 2025-02-11], mayo de 2024. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019850124000440>.
- [24] TheThingsNetwork, *What are LoRa and LoRaWAN?* [Online; accessed 2025-02-11], 2025. dirección: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>.
- [25] S. N. M. Barragán, *Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de variables microclimáticas en el Relicto Vegetal Cedro Rosado*, <https://www.redalyc.org/journal/849/84959055009/html/>, (Accessed on 11/16/2024), 2018.

- [26] Arduino, *Descripción general de Arduino IDE 1 | Arduino Documentación*, <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment/>, (Accessed on 11/16/2024), 2025.
- [27] Node-Red, *Nodo-RED*, <https://nodered.org/#features>, (Accessed on 11/16/2024), 2025.
- [28] MariaDB, *Documentation - MariaDB.org*, <https://mariadb.org/documentation/>, (Accessed on 11/16/2024), 2025.
- [29] Siemens, *Portal de automatización totalmente integrada - Siemens AR*, <https://www.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia-portal.html>, (Accessed on 11/16/2024), 2025.
- [30] E. T. Mireya Zapata Liliana Topón-Visarrea, *DSpace Universidad Indoamerica: Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*, <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2226>, (Accessed on 11/16/2024), 2021.
- [31] P. M. D. Michael, *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Implementación de un sistema de control en el proceso de purificación de agua embotellada mediante un PLC*, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27770>, (Accessed on 11/16/2024), 2024.
- [32] P. A. A. Ortiz, *Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja: Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores de bajo costo, para la medición de parámetros de la calidad del aire*, <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/28676>, (Accessed on 11/16/2024), 2023.
- [33] S. C. P. A. Barahona Damián Farré Imbago Kamila Teresa Ramírez Astudillo Sebastián Alejandro, *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Nodo de sensores inalámbricos para monitoreo de entornos mediante Node-Red*, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23603>, (Accessed on 11/17/2024), 2022.
- [34] C. M. D. J. Castillo Adriano, *DSpace en ESPOL: Diseño e implementación de un sistema electrónico de control y de monitoreo de temperatura para un secador rotatorio*, <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/39057>, (Accessed on 11/18/2024), 2016.

Anexos

Tabla de Variables						
	Arduino IDE	Maria DB	Node-Red	Tia Portal		dopsoft
		Grupo1				
1	RegMovimiento	SensorPIR1	SensorPIR1	SensorPIR1	%DB1.DBD0	SensorPIR1
2		V_SensorPIR2	V_SensorPIR2	V_SensorPIR2	%DB1.DBD4	V_SensorPIR2
3		V_SensorPIR3	V_SensorPIR3	V_SensorPIR3	%DB1.DBD8	V_SensorPIR3
4		V_SensorPIR4	V_SensorPIR4	V_SensorPIR4	%DB1.DBD12	V_SensorPIR4
5		V_SensorPIR5	V_SensorPIR5	V_SensorPIR5	%DB1.DBD16	V_SensorPIR5
6		V_SensorPIR6	V_SensorPIR6	V_SensorPIR6	%DB1.DBD20	V_SensorPIR6
7		V_SensorPIR7	V_SensorPIR7	V_SensorPIR7	%DB1.DBD24	V_SensorPIR7
8		V_SensorPIR8	V_SensorPIR8	V_SensorPIR8	%DB1.DBD28	V_SensorPIR8
9		V_SensorPIR9	V_SensorPIR9	V_SensorPIR9	%DB1.DBD32	V_SensorPIR9
10		V_SensorPIR10	V_SensorPIR10	V_SensorPIR10	%DB1.DBD36	V_SensorPIR10

Figura 12: Formato de variables a utilizar entre plataformas

```

23 #define LED_PIN 2
24
25 // Variables globales
26 Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
27 int valorBinario = 0;
28 float tiempoTranscurrido = 0;
29 float decibelios = 0;
30 String ultimoRSSI = "";
31
32 // Configuración Modbus
33 const int RegMovimiento = 0; // Registro para el estado de movimiento
34 ModbusIP mb;
35
36 // Direcciones IP
37 byte ip[] = { 172, 17, 12, 151 }; // Cambia según tu red
38 byte gateway[] = { 172, 17, 12, 1 };
39 byte subnet[] = { 255, 255, 255, 0 };
40
41 // Temporizador para Modbus
42 unsigned long tmi;

```

Figura 13: Arduino IDE, configuración de red

```

Tiempo transcurrido: 1086.7 s
Decibelios: 30.0 dB
RSSI: -22
=====
==== Datos Recibidos por LoRa ====
Valor binario: 1
Tiempo transcurrido: 1100.3 s
Decibelios: 120.0 dB
RSSI: -23
=====
==== Datos Recibidos por LoRa ====
Valor binario: 0
Tiempo transcurrido: 1105.3 s
Decibelios: 30.0 dB
RSSI: -27
=====

```

Figura 14: Arduino IDE, visualización de datos con el monitor serial

```

MariaDB [Tesis_DB]> create table Grupo1 ( item int not null auto_increment primary key, fecha
oat, V_SensorPIR4 float, V_SensorPIR5 float, V_SensorPIR6 float, V_SensorPIR7 float, V_Sensor
Query OK, 0 rows affected (0.013 sec)

MariaDB [Tesis_DB]> describe Grupo1;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field | Type | Null | Key | Default | Extra |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| item  | int(11) | NO | PRI | NULL | auto_increment |
| fecha | timestamp | YES | | current_timestamp() | |
| SensorPIR1 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR2 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR3 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR4 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR5 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR6 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR7 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR8 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR9 | float | YES | | NULL | |
| V_SensorPIR10 | float | YES | | NULL | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
12 rows in set (0.003 sec)

```

Figura 15: MariaDB, tablas de datos

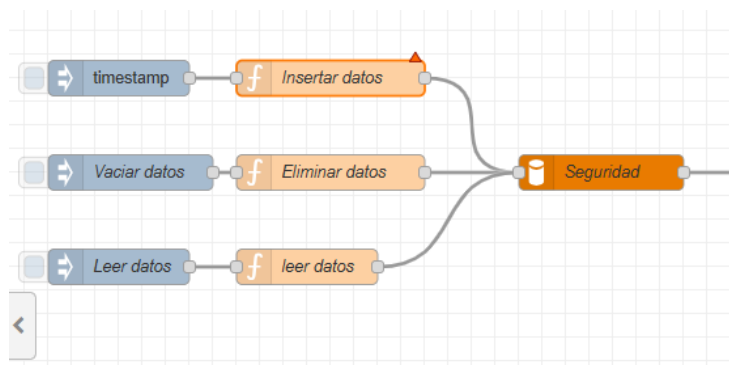


Figura 16: Node-RED, flujo de datos para el almacenamiento en la base de datos

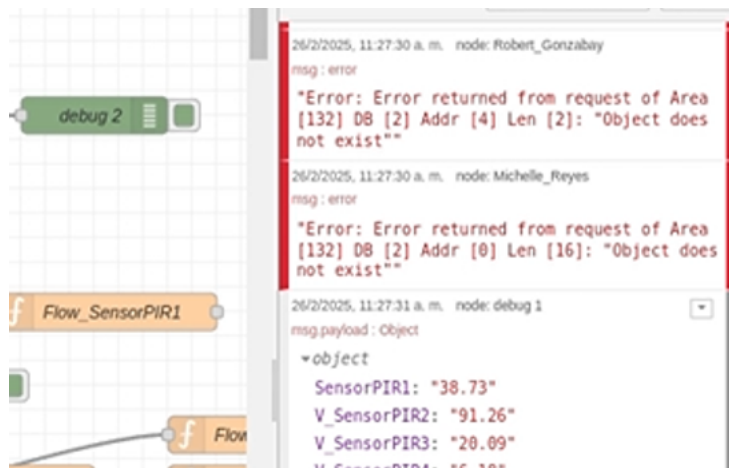


Figura 17: MariaDB, flujo de datos del sensor

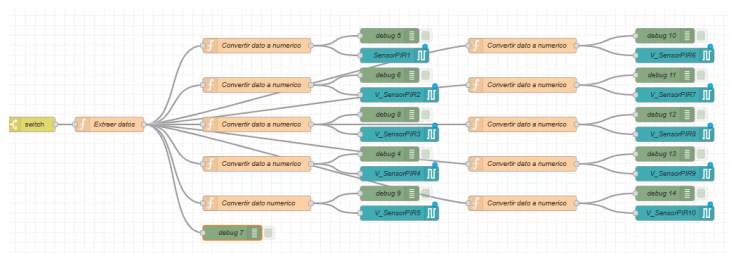


Figura 18: MariaDB, flujo de datos para la comunicación al PLC

	Nombre	Dirección	Formato visualiza...	Valor de observac...	Valor de forzado
1	"Bloque de datos_1".SensorPIR1	%DB1.DB0	Número en coma...		
2	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR2	%DB1.DB4	Número en coma...		
3	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR3	%DB1.DB8	Número en coma...		
4	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR4	%DB1.DB12	Número en coma...		
5	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR5	%DB1.DB16	Número en coma...		
6	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR6	%DB1.DB20	Número en coma...		
7	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR7	%DB1.DB24	Número en coma...		
8	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR8	%DB1.DB28	Número en c...		
9	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR9	%DB1.DB32	Número en coma...		
10	"Bloque de datos_1".V_SensorPIR10	%DB1.DB36	Número en coma...		
11		<Agrega>			

Figura 19: TIA Portal, recepción de datos desde Node-RED

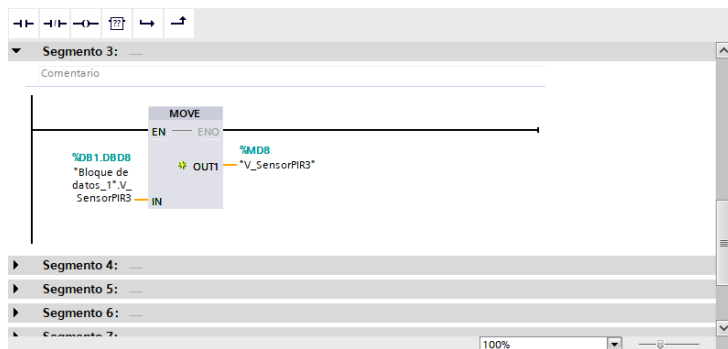


Figura 20: TIA Portal, conversión de datos a tipo memoria

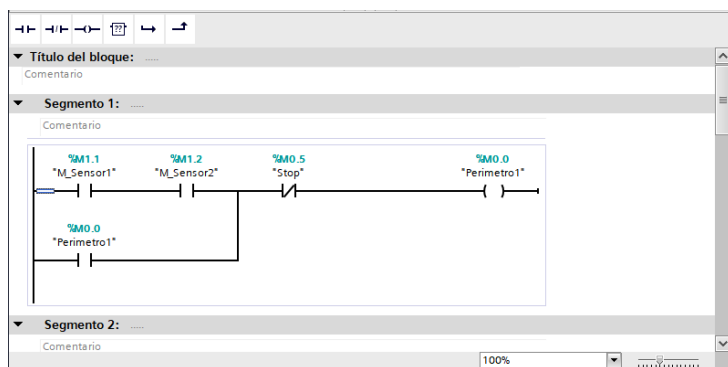


Figura 21: TIA Portal, programación en Ladder

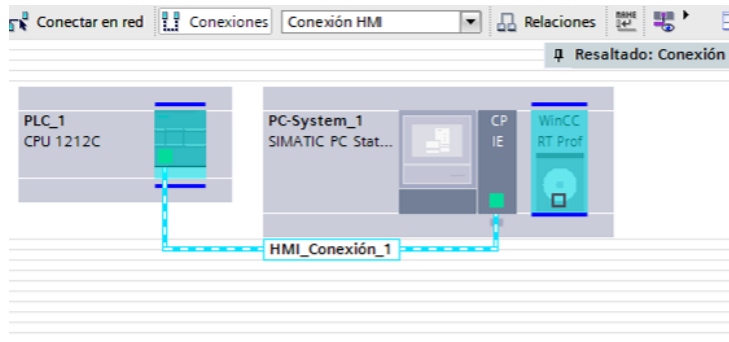


Figura 22: TIA Portal, comunicación con el HMI

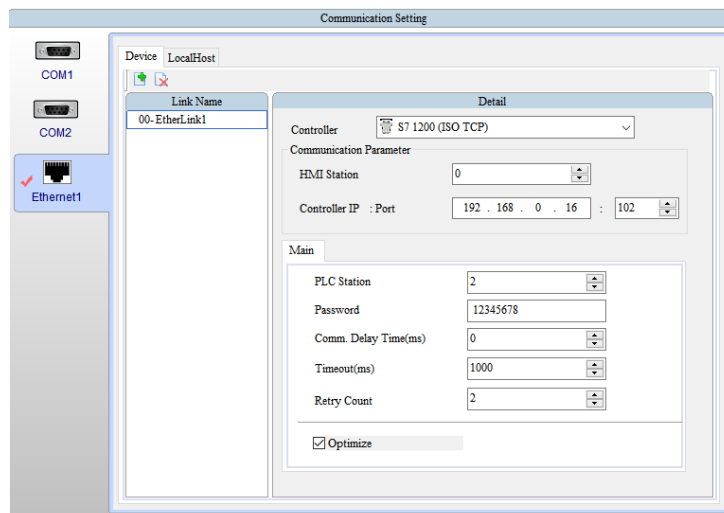


Figura 23: DOPSoft, configuración del HMI

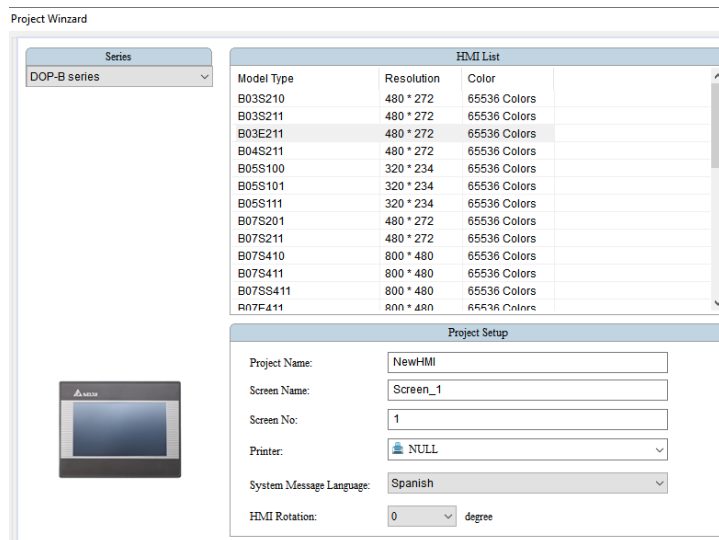


Figura 24: DOPSoft, selección del HMI

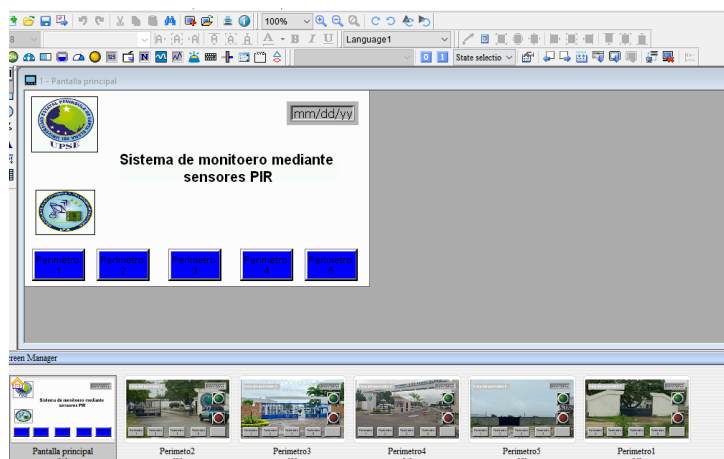


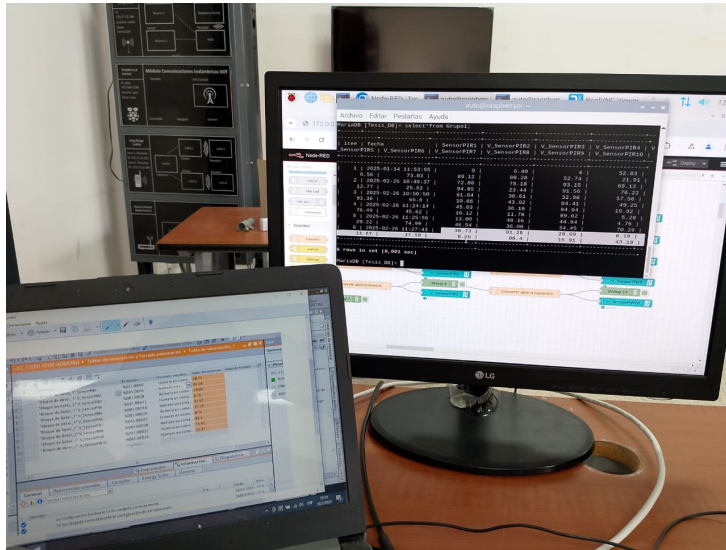
Figura 25: DOPSoft, configuración de las interfaces



Figura 26: Nodos instalados para la comunicación con Node-RED



Figura 27: Funcionamiento del módulo ESP32



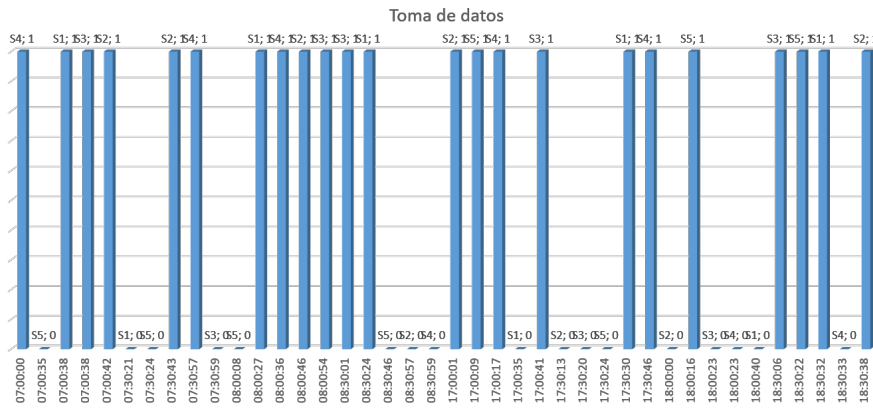


Figura 30: Toma de datos diario

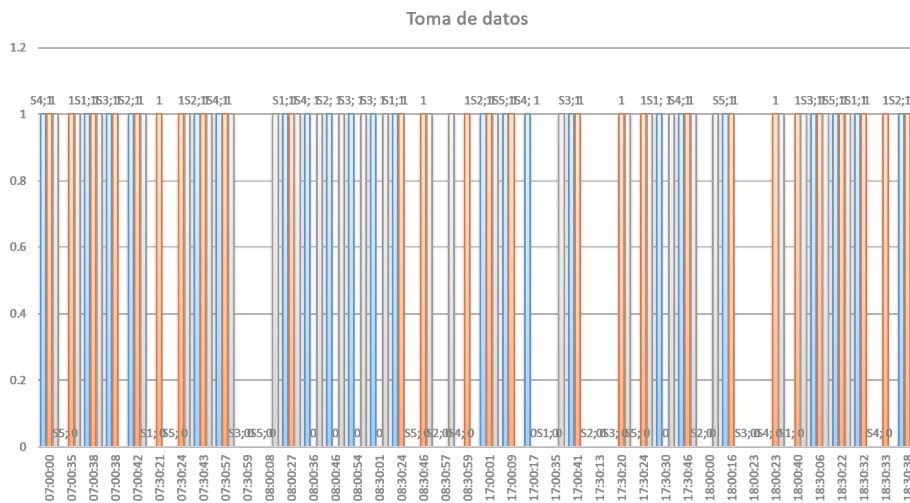


Figura 31: Toma de datos, recopilación de 3 días



Tesis_Ricardo_Cesar (8)

6%
Textos sospechosos



- 2% Similitudes (ignorado)
0 % similitudes entre comillas
< 1 % entre las fuentes mencionadas
- 7% Idiomas no reconocidos (ignorado)
- 6% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Tesis_Ricardo_Cesar (8).pdf
ID del documento: 36ad86e60590b26648eea71997a8bb93f3ee4bfa
Tamaño del documento original: 3,26 MB

Depositante: CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA
Fecha de depósito: 26/1/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 26/1/2026

Número de palabras: 12.296
Número de caracteres: 76.477

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	1library.co Identificación y control del sistema de lavado de botellones de agua ... https://1library.co/document/zwp5kvq-identificacion-control-sistema-lavado-botellones-mej... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)
2	Tesis_Reyes_Valencia_(2)_signed.pdf Tesis_Reyes_Valencia_(2)_signed #77e6e9 Viene de de mi biblioteca	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
3	TESIS_DAVE (3).pdf TESIS_DAVE (3).pdf #1179d2 Viene de de mi grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (56 palabras)
4	dspace.ups.edu.ec https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21950	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec Identificación y control del sistema de lavado de botell... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4787/1/UPSE-TET-2019-0005.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec Estudio de factibilidad para virtualización en la nube c... http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/bitstream/46000/3681/6/UPSE-TIN-2016-0040.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	scielo.sld.cu http://scielo.sld.cu/pdf/eyd/v168n1/0252-8584-eyd-168-01-e10.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
4	1library.co Top PDF Modelo de gestión administrativa para la comuna El Real, p... https://1library.co/title/modelo-de-gestion-administrativa-para-la-comuna-el-real-parroquia-c-...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
5	doi.org IoT-Based Smart Wireless Communication System for Electronic Monitor... https://doi.org/10.18178/ijeetc.12.6.450-458	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <http://172.0.0.1:1880>
- <https://books.google.com.ec/books?id=2VXUDwAAQBAJ>
- <https://www.sciencedirect.com/science/>
- <https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2905423>
- <https://books.google.com.ec/>