



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE BORDE BASADOS EN RADIO
FRECUENCIA PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE INVENTARIO
DE PRODUCTOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: SANTIAGO DANIEL ROMERO ORTEGA
TUTOR: ING. JUAN PABLO BERMEO MOYANO, Mgtr.
CO-TUTOR: ING. LUIS FERNANDO GUERRERO VÁSQUEZ

Cuenca - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Santiago Daniel Romero Ortega con documento de identificación N° 0106378615, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 01 de septiembre del 2023

Atentamente,



Santiago Daniel Romero Ortega

0106378615

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Santiago Daniel Romero Ortega con documento de identificación N° 0106378615, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo académico: “Desarrollo de un sistema de borde basados en radio frecuencia para la generación automática de inventario de productos”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de septiembre del 2023

Atentamente,



Santiago Daniel Romero Ortega

0106378615

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Bermeo Moyano con documento de identificación N° 0102645884, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE BORDE BASADO EN RADIO FRECUENCIA PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE INVENTARIO DE PRODUCTOS, realizado por Santiago Daniel Romero Ortega con documento de identificación N° 0106378615, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de septiembre del 2023

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Bermeo Moyano, Mgtr.

0102645884

Desarrollo de un Sistema de Borde Basado en Radio Frecuencia para la Generación Automática de Inventario de Productos

1nd Santiago Daniel Romero Ortega *Universidad Politécnica Salesiana*
Electrónica y Automatización
 Cuenca, Ecuador
 sromero1@est.ups.edu.ec

Abstract—Efficient inventory management is essential for the success of companies and organizations today. In this context, Radio Frequency Identification (RFID) technology has emerged as a valuable tool to automate product inventory generation. This article presents the development of an RFID-based Edge System for the Automatic Generation of Product Inventory.

The overall objective of this study is to design and develop an electronic system capable of capturing and preprocessing data from RFID readers, implementing an efficient communication protocol to transmit this data to the server, and evaluating its performance in real-world environments. To achieve this goal, specific objectives have been established that include a comprehensive review of the state of the art in RFID-based product identification systems, the design and development of advanced electronic components, the implementation of reliable communication protocols and rigorous testing in situations practices.

The results of this study demonstrate that the proposed RFID-based Edge System is a comprehensive and effective solution for the automatic generation of product inventory, with a high degree of accuracy and efficiency. This approach has the potential to transform inventory management in various industrial applications, improving decision making and profitability for organizations seeking to optimize their logistics operations.

Index Terms—Automation; Radiofrequency; RFID; Edge system; RFID tags

I. INTRODUCCIÓN

En la era de la automatización y la tecnología de vanguardia, la gestión eficiente de inventario se ha convertido en un elemento fundamental para el éxito de las empresas y organizaciones en todo el mundo. Mantener un inventario preciso y actualizado es esencial para garantizar el flujo ininterrumpido de productos y servicios, minimizar costos operativos y satisfacer las demandas cambiantes de los clientes. Sin embargo, la gestión manual de inventario sigue siendo un desafío constante debido a la complejidad y la velocidad con la que los productos ingresan y salen de las cadenas de suministro modernas.

En respuesta a esta creciente necesidad, se ha desarrollado una amplia gama de tecnologías, entre las cuales los sistemas basados en Radio Frecuencia (RFID) han emergido como

una solución prometedora. Los sistemas RFID permiten la identificación y seguimiento automatizado de productos y activos a lo largo de la cadena de suministro mediante el uso de etiquetas RFID y lectores especializados. Aunque esta tecnología ha demostrado ser efectiva en muchos contextos, su implementación en el borde (edge) de la red, es decir, en las ubicaciones físicas donde se almacenan y manejan los productos, presenta desafíos específicos que requieren soluciones innovadoras.

Este artículo se enfoca en el desarrollo de un Sistema de Borde basado en RFID para la Generación Automática de Inventario de Productos. Nuestro objetivo general es desarrollar un sistema electrónico capaz de capturar y preprocesar datos de lectores RFID, implementar un protocolo de comunicación eficiente para transmitir estos datos al servidor y, finalmente, evaluar su desempeño en condiciones del mundo real.

Para lograr este objetivo, se han establecido objetivos específicos que abarcan desde la revisión del estado del arte en sistemas de identificación de productos basados en RFID hasta la evaluación rigurosa de nuestro sistema en situaciones prácticas. A través de este trabajo, buscamos contribuir al avance de la automatización y la eficiencia en la gestión de inventarios, ofreciendo una solución tecnológica sólida y confiable.

En las secciones siguientes, se presentará en detalle la revisión del estado del arte, el diseño y desarrollo del sistema electrónico, la implementación del protocolo de comunicación y los resultados de las pruebas de rendimiento, con el objetivo de proporcionar una visión completa de nuestro enfoque y sus contribuciones en el campo de la gestión de inventarios.

II. OBJETIVOS

A. Objetivos Generales

- Desarrollar un módulo de sistema de borde basados en radio frecuencia para la generación automática de inventario de productos.

B. Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte sobre los sistemas de identificación de productos utilizado tecnología RFID.
- Desarrollar un sistema electrónico que permita la captura y preprocesamiento de datos proveniente de un lector RFID.
- Implementar un protocolo de comunicación para la transmisión de datos entre el sistema electrónico y el servidor.
- Evaluar y validar el desempeño del sistema.

III. EQUIPOS Y MATERIALES

- Raspberry Pi 4B
- Lector RFID Speedway Revolution R420
- Antena RFID IPJ-A0311
- Tags RFID
- Pantalla Oled
- Computadora

IV. MARCO TEÓRICO

A. Estado del Arte de RFID.

La tecnología RFID se emplea en la gestión de inventario en una variedad de industrias, incluida la industria alimentaria, la logística, el comercio minorista y la fabricación, según la literatura estudiada. Las soluciones de inventario habilitadas para RFID mejoran la visibilidad y la precisión en el seguimiento de artículos. La tecnología RFID ofrece monitoreo e identificación de artículos en tiempo real, esto incrementa la eficacia en la administración de inventario y conlleva a una reducción en los gastos. La tecnología RFID también se ha utilizado en el control del tráfico, como la gestión de señales de tráfico y la identificación de vehículos en la calle.

Las soluciones de inventario habilitadas con RFID también pueden ayudar en la prevención de robos y la reducción de errores humanos en la gestión de inventario. Además, la tecnología se puede emplear en la gestión de inventario de activos fijos, lo que puede aumentar la gestión de activos y la eficiencia del mantenimiento.

Algunas de las tendencias y avances actuales en el ámbito de la tecnología RFID son:

- El desarrollo de etiquetas RFID inteligentes, que permiten la comunicación bidireccional y la transmisión de información más compleja.
- La implementación de la tecnología RFID en la industria de la moda con el propósito de administrar inventarios y mejorar la experiencia de compra tanto en tiendas físicas como en plataformas en línea.
- Gestión de inventarios de suministros médicos y la identificación de pacientes en hospitales
- Rastreo y seguimiento de la cadena de suministro de alimentos para garantizar la seguridad alimentaria
- La combinación de la tecnología RFID con otras tecnologías, como el internet de las cosas IoT, para mejorar la precisión y la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro y el seguimiento de inventarios.

1) *Trabajos relacionados a RFID:* Vishrut Chokshi explora la creación y despliegue de un sistema de control de inventario de laboratorio que emplea tecnología IoT y RFID para rastrear automáticamente el equipo de laboratorio y detener el retiro no autorizado de equipos de laboratorio de la universidad. El sistema permite a los estudiantes ver qué laboratorios están presentes en la universidad y el equipo presente en ellos, y solicitar el uso de un equipo en particular durante un intervalo de tiempo, que puede ser autenticado por una etiqueta RFID. Este sistema utiliza un microcontrolador ESP32, un módulo RFID MRC522 y diversos elementos de software tales como HTML, CSS, JavaScript, React, Node.js, Express y MongoDB son utilizados. También, ofrece una interfaz de usuario intuitiva para el manejo de inventario y el monitoreo de accesos. [1]

Por otro lado, Wenzhe Chen introduce un sistema de administración de inventario de señalización vial que hace uso de la tecnología RFID. El sistema consta de lectores RFID en vehículos y portátiles, una interfaz fácil de usar, software de control y una base de datos. Además, lleva a cabo una comparación entre el sistema propuesto y previas aplicaciones de carreteras que emplean RFID, mientras analiza los elementos a tener en cuenta para la efectiva implementación del sistema. El sistema propuesto utiliza múltiples antenas para reducir el riesgo de lecturas de etiquetas perdidas y cubrir un rango transversal más amplio y una distancia más larga. El sistema incluye un lector en el vehículo, un lector portátil y conectividad y sincronización de bases de datos. El rendimiento del sistema depende de las condiciones de propagación de la señal RFID, y se realizaron pruebas empíricas para evaluar los presupuestos de enlace, el mapa de potencia, la tasa de lectura de etiquetas y la simulación del rendimiento de lectura de etiquetas. El sistema permite la interrogación en tiempo real de los atributos de las señales de tráfico en la carretera de forma remota a una velocidad de conducción o en una señal individual en el campo cercano, lo cual resulta provechoso para potenciar la eficacia y adaptabilidad en la administración de inventario de señales de tráfico.[2]

Al final Wenshe Chen demuestra que el sistema puede lograr una tasa de escaneo de éxito del 100% a una velocidad de conducción de 72 km/h desde una distancia de 4,8 m, o una velocidad de 32 km/h desde una distancia de 11 m. Además, el sistema puede ser integrado en el entorno del IoT (Internet de las cosas) para facilitar la navegación de vehículos autónomos mediante la detección y identificación de señales de tráfico a través de un lector RFID incorporado en el vehículo. En comparación con otros sistemas en la literatura, el sistema propuesto tiene ventajas en términos de menor costo, mayor eficiencia operativa y mejor rendimiento.[2]

Henriette Knapp presenta un nuevo algoritmo de planificación de redes RFID para optimizar el diseño de puertas RFID para procesos automatizados de recepción de mercancías. El objetivo principal del algoritmo es minimizar el número de antenas necesarias para cubrir una determinada área y ajustar sus alturas y ángulos de montaje para garantizar una cobertura de etiquetas de al menos el 99%

y evitar reflejos en el suelo. El algoritmo se fundamenta en un modelo matemático que considera la geometría de la región cubierta, la disposición de las etiquetas RFID y la posición de las antenas. El modelo también tiene en cuenta la interferencia entre las antenas y la atenuación de la señal debido a la distancia y los obstáculos. El algoritmo se probó en un estudio de caso en la industria automotriz, donde se utilizó para optimizar la ubicación de las puertas RFID en un centro de distribución. Los resultados mostraron que el algoritmo era efectivo en la optimización de puertas RFID, reduciendo el número de antenas necesarias y mejorando la cobertura de etiquetas. Henriette Knapp también discute algunos de los problemas comunes con los sistemas RFID, como la interferencia de señal, la atenuación de la señal y la falta de estandarización. Sugiere soluciones para estos problemas, como el uso de antenas direccionales, la optimización de la ubicación de las antenas y la adopción de estándares de comunicación.[3]

Chenyang Li realiza una revisión exhaustiva de los métodos de localización de etiquetas RFID UHF para aplicaciones en interiores. Donde discute los principios y la construcción de un sistema típico de RFID UHF, así como la clasificación de los métodos de localización en dos categorías: basados en rango y sin rango. Los métodos basados en rango se dividen a su vez en medición de distancia y medición de ángulo. Para la implementación de estos métodos, se requiere de un sistema compuesto por un lector RFID en este caso utilizan un Speedway Revolution R420, etiquetas RFID y un ordenador superior.[4]

Las etiquetas RFID pueden ser clasificadas en tres tipos: etiquetas activas, etiquetas pasivas y etiquetas semi-activas, según la fuente de alimentación y el modo de operación. Las etiquetas activas están equipadas con una batería que transmite la señal al lector sin necesidad de una orden de consulta del lector. Por otro lado, la energía de las etiquetas pasivas es suministrada por la conversión de la energía de microondas en electricidad mediante un circuito de rectificación interno en lugar de una batería. Las etiquetas pasivas envían datos mediante la modulación de retrodispersión. Cuando el objeto con la etiqueta RFID pasiva entra en el rango de lectura efectivo, el lector transfiere la energía y la instrucción de interrogación a la etiqueta. Una vez que el chip está activado, la etiqueta refleja la señal modulada al lector con la información guardada en la etiqueta. La información de los tags es demodulada por el lector y transmitida al sistema de control del ordenador. Según la información extraída por el programa de control del lector, se puede estimar la ubicación utilizando el algoritmo de localización. [4]

En cuanto a los métodos de localización de etiquetas RFID UHF, Chenyang Li describe en detalle los métodos basados en rango, como RSSI, TOA, TDOA y fase, así como los métodos sin rango, como el fingerprinting. Discute las ventajas y limitaciones de cada método, a partir de esto destaca la importancia de un hardware de alta precisión y relojes de sincronización para los métodos basados en

rango, así como la necesidad de un entorno estable para el fingerprinting. En cuanto a la localización de etiquetas RFID UHF pasivas, se revisan los métodos de ángulo de llegada (AOA), diferencia de tiempo de llegada (TDOA) e imagen tomográfica de radio (RTI). Además, discute las ventajas y limitaciones de cada método y se proporcionan ejemplos de su aplicación en diferentes escenarios.[4]

Jiapeng Huang menciona tres secciones diferentes que describen diferentes aspectos de los sistemas RFID. La inicial sección explica un sistema RFID que está compuesto por un lector y múltiples etiquetas portadoras de números de identificación únicos. El lector puede recopilar información de las etiquetas de forma inalámbrica y clasificarlas en grupos según un segmento de interés en sus números de identificación. La segunda sección describe un método para estimar la cantidad de etiquetas RFID utilizando un mapa de bits y una distribución geométrica de 1/2. El método implica clasificar las etiquetas en dos grupos según su representación binaria y utilizar el mapa de bits para estimar la cantidad de etiquetas en cada grupo. La tercera sección cubre una variedad de técnicas y métodos para optimizar el desempeño y la eficacia de los sistemas RFID, incluyendo la estimación de etiquetas, los protocolos de identificación y la planificación de redes. También se discute temas como el desplazamiento de inventario, los algoritmos de conteo probabilístico y la búsqueda de categorías populares para las etiquetas RFID. En general, Jiapeng Huang proporciona una visión completa de los sistemas RFID y las técnicas utilizadas para mejorar su rendimiento y eficiencia.[5]

Jifang Cheng discute la construcción y aplicación de un módulo de gestión automatizado para consumibles médicos de alto valor basado en sensores RFID, que permite la monitorización científica, efectiva y de todo el proceso de la gestión de consumibles médicos de alto valor. El sistema también proporciona a los gerentes métodos eficientes de gestión, combinados con el sistema de "Plataforma de Recepción Unificada de HIS y SPD y la tecnología basada en códigos de barras, para lograr la aceptación de códigos de barras de medicamentos. Los resultados experimentales muestran que se logra el objetivo de la gestión de inventario cero de consumibles médicos de alto valor, y se logra la gestión de seguimiento completa de uso, almacenamiento, facturación y pago. Jifang Cheng presenta la eficacia de la tecnología RFID al implementar y desarrollar el módulo de manejo automático de SPD para artículos de alto valor en consumo.[6]

Aishwarya Raj Laxmi describe la ejecución de un sistema de rastreo de envíos que emplea tecnología RFID con el uso de Raspberry Pi y el protocolo MQTT. El propósito principal del sistema consiste en potenciar la eficacia y la exactitud en la administración logística mediante la supervisión en tiempo real de los envíos. Aishwarya Raj Laxmi discute la importancia de la logística en la economía global y cómo la tecnología IoT tiene el potencial de aumentar la eficacia en el manejo de la cadena de suministro. Luego, discute la

tecnología RFID y cómo se puede utilizar para el seguimiento de envíos. Explica cómo funciona el sistema RFID y cómo se pueden leer las etiquetas RFID pasivas utilizando un lector RFID. También menciona los diferentes tipos de etiquetas RFID y cómo se pueden utilizar en diferentes aplicaciones. [7] Aishwarya Raj Laxmi explica cómo se puede configurar la Raspberry Pi y el módulo RFID para leer las etiquetas RFID y cómo se pueden enviar los datos a través del protocolo MQTT. Por otra parte discute cómo se puede utilizar una GUI basada en web para la gestión y el monitoreo de la logística.[7]

Aishwarya Raj Laxmi también discute la implementación del sistema propuesto y cómo se puede utilizar en diferentes aplicaciones de logística, los diferentes desafíos que pueden surgir durante la implementación del sistema y cómo se pueden abordar, las diferentes oportunidades que ofrece el sistema para la automatización en la gestión logística. [7]

Norsaidah Muhamad Nadzir detalla el procedimiento de creación de un sistema de supervisión indoor utilizando tecnología UHF RFID y Raspberry Pi 3. El propósito fundamental del sistema radica en ofrecer una solución de supervisión en tiempo real para la ubicación y seguimiento de objetos en un entorno cerrado. El sistema se compone de tres componentes principales: el módulo lector RFID, la base de datos junto con el módulo de interfaz de usuario. El módulo lector RFID se enlaza con el Raspberry Pi 3 a través de un algoritmo desarrollado específicamente para este propósito. El algoritmo se encarga de la comunicación entre el módulo lector RFID y el Raspberry Pi 3, y permite la lectura de etiquetas UHF RFID. Se evaluó el rendimiento de dos etiquetas UHF RFID, UPM DogBone y AZ-9640, y se concluyó que UPM DogBone mostró un mejor rendimiento debido a su tamaño de antena más grande. La base de datos se emplea para almacenar y administrar la información recolectada por el módulo lector de RFID. Se utilizó MySQL como una plataforma de administración de bases de datos, y se diseñó un esquema de base de datos particular para el sistema de supervisión. La base de datos guarda detalles acerca de la ubicación de los objetos identificados, la hora de la lectura y otra información relevante. El módulo de interfaz de usuario se desarrolló utilizando Python y se utiliza para mostrar los resultados del sistema de monitoreo. La interfaz de usuario muestra la ubicación de los objetos etiquetados en tiempo real, y permite la búsqueda y filtrado de datos. El sistema de monitoreo se probó en un entorno de laboratorio y se demostró que es capaz de proporcionar una solución de monitoreo en tiempo real para la ubicación y seguimiento de objetos en un entorno cerrado. El sistema ofrece un mecanismo completo de monitoreo desde el transpondedor hasta el procesamiento y observación de datos. En conclusión, el sistema de monitoreo indoor desarrollado ofrece una solución eficiente y efectiva para la ubicación y seguimiento de objetos en un entorno cerrado.[8]

2) Tabla comparativa de equipos:

MICROCONTROLADORES	
CARACTERÍSTICAS	ESP32
Procesador	Dual-core Xtensa LX6
Velocidad de reloj	Hasta 240 MHz
Memoria RAM	520 KB SRAM + 4 MB PSRAM
Almacenamiento	Hasta 16 MB Flash interna
Conectividad Wi-Fi	Si
Puerto USB	2
Puertos GPIO	Hasta 34 pines
Salida de vídeo HDMI	No
Conector Ethernet	No
Sistema Operativo	Varias opciones
CARACTERÍSTICAS	Raspberry Pi 3
Procesador	Quad-core Cortex-A53
Velocidad de reloj	1.2 GHz
Memoria RAM	1 GB
Almacenamiento	Ranura microSD
Conectividad Wi-Fi	Si
Puerto USB	4
Puertos GPIO	40 pines
Salida de vídeo HDMI	Si
Conector Ethernet	Si
Sistema Operativo	Varias opciones
CARACTERÍSTICAS	Raspberry Pi 4
Procesador	Quad-core Cortex-A72
Velocidad de reloj	1.5 GHz (1.8 GHz en 4GB y 8GB modelos)
Memoria RAM	2 GB, 4 GB, 8 GB
Almacenamiento	Ranura microSD
Conectividad Wi-Fi	Si
Puerto USB	2 USB 3.0, 2 USB 2.0
Puertos GPIO	40 pines
Salida de vídeo HDMI	Si
Conector Ethernet	Si
Sistema Operativo	Varias opciones

TABLE I
COMPARACIÓN DE MICROCONTROLADORES

LECTORES	
CARACTERÍSTICAS	MRC522
Frecuencia	13.56 MHz
Alcance de lectura	Cerca (cm)
Protocolos compatibles	ISO 14443A/B
Modo de operación	Pasivo
Interfaz comunicación	SPI
Potencia de salida	Baja
Aplicaciones	Identificación y autenticación
Antenas compatibles	Antena integrada (opcional)
CARACTERÍSTICAS	Speedway Revolution
Frecuencia	UHF (860 - 960 MHz)
Alcance de lectura	Medio a largo (metros)
Protocolos compatibles	EPC Gen2, ISO 18000-6C
Modo de operación	Pasivo
Interfaz comunicación	Ethernet, Serial, USB
Potencia de salida	Alta
Aplicaciones	Logística, Control de inventario
Antenas compatibles	Varias opciones
CARACTERÍSTICAS	Módulo Cottonwood
Frecuencia	UHF (860 - 960 MHz)
Alcance de lectura	Largo (metros)
Protocolos compatibles	EPC Gen2, ISO 18000-6C
Modo de operación	Pasivo
Interfaz comunicación	UART, RS232, RS485, GPIO
Potencia de salida	Alta
Aplicaciones	Logística, Control de inventario
Antenas compatibles	Varias opciones

TABLE II
COMPARACIÓN DE LECTORES

V. PROCEDIMIENTO

El diseño y la ejecución de sistemas de borde que utilizan la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) para

la generación automática de registros de inventario de productos ha aumentado su relevancia en el ámbito de la gestión logística y comercial. Un sistema de borde involucra el procesamiento, análisis y almacenamiento de datos en proximidad a su origen, con el propósito de posibilitar respuestas rápidas[9]. Estos sistemas, que combinan la tecnología RFID con redes de comunicación inalámbrica, permiten un seguimiento preciso y en tiempo real de los artículos guardados en un lugar específico, simplificando la automatización del procedimiento de inventario. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar los distintos componentes y etapas necesarios para diseñar e implementar de manera efectiva un sistema de borde que utilice la tecnología RFID, poniendo especial énfasis en los aspectos de conectividad, eficiencia energética y exactitud en la recopilación de datos.

A. Funcionamiento del sistema

La antena de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) emite señales de radiofrecuencia que son captadas por las etiquetas RFID adheridas a los productos. Una vez que una etiqueta recibe una señal proveniente de la antena, transmite su código de identificación único al lector RFID mediante el microchip que ha sido integrado en la etiqueta. La función principal del lector RFID consiste en adquirir y transmitir estos códigos de identificación a una Raspberry Pi.

En la Raspberry Pi, se lleva a cabo un proceso de redes en la niebla que implica un preprocesamiento de los datos obtenidos del lector RFID. Una vez completadas las etapas de preprocesamiento, los datos son enviados a un servidor utilizando el protocolo de mensajería MQTT.

Asimismo, el sistema está equipado con una pantalla que se encuentra conectada a la Raspberry Pi, y a través de esta interfaz se reciben notificaciones relevantes provenientes del servidor. Estas notificaciones pueden incluir alertas de inventario bajo u otra información importante para el usuario.

B. Diseño del sistema

En la figura 1 se exhibe el esquema en bloques a emplear en la creación de un sistema de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) de frecuencia ultra alta (UHF).

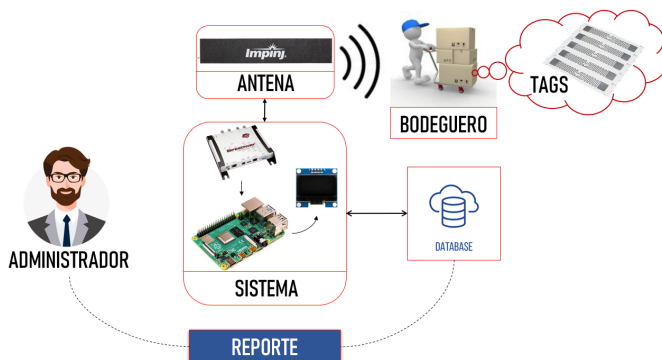


Fig. 1. Diagrama de bloque

C. Equipos a utilizar

1) *Microcontrolador*: Para este proyecto, se empleará la Raspberry Pi, un dispositivo informático compacto y de costo accesible, con un tamaño similar al de una tarjeta de crédito. Puede conectarse a un monitor de computadora o televisor y utilizarse con periféricos estándar como ratón y teclado. Es una pequeña máquina informática que funciona con el sistema operativo Linux, permitiendo la programación en idiomas como Scratch y Python. Tiene la capacidad de llevar a cabo la mayoría de las actividades usuales de un ordenador de sobremesa, como la navegación web, la reproducción de videos en alta resolución, la administración de documentos de oficina y la ejecución de juegos.[10]



Fig. 2. Raspberry Pi 4 [10]

Además, la Raspberry Pi posee la capacidad de interactuar con el entorno externo, esto la convierte en una herramienta adaptable para una diversidad de proyectos digitales. Puede utilizarse como reproductor de música y vídeo, detector de movimiento, estación meteorológica e incluso en cajas de observación de aves equipadas con cámaras infrarrojas y en este caso se utilizara para un sistema de borde RFID.

2) *Lector RFID*: Un dispositivo lector de RFID (Identificación por Radiofrecuencia, en inglés) se emplea para leer y procesar los datos almacenados en etiquetas RFID. La tecnología RFID se fundamenta en el uso de etiquetas o tags que incorporan un chip electrónico y una antena, y pueden ser adheridas a objetos, productos o incluso incorporadas en tarjetas de identificación. Estas etiquetas pueden almacenar datos y transmitirlos mediante ondas de radio.[11]



Fig. 3. Tags RFID [11]

El lector RFID se comunica con las etiquetas a través de ondas de radio y recibe las señales emitidas por las etiquetas. Cuando el lector está dentro del rango de alcance de una etiqueta RFID, recoge la información almacenada en la etiqueta, como un identificador único, y la procesa para su uso en diferentes aplicaciones. Los lectores RFID pueden ser de diferentes tipos, como lectores fijos, lectores portátiles o integrados en otros dispositivos, y utilizan distintas frecuencias de radio dependiendo del estándar RFID utilizado.[11]



Fig. 4. Lector RFID Speedway Revolution R420 [11]

El lector que se utilizara en este proyecto es el Speedway Revolution R420 este dispositivo encuentra aplicación en una diversidad de contextos, como en la gestión de inventario, seguimiento de activos, sistemas de acceso y seguridad, gestión de productos en cadenas de suministro, entre otros. Permiten una lectura rápida y sin contacto de las etiquetas, lo que agiliza procesos y facilita la automatización de tareas.

El Speedway Revolution R420 tiene 5 opciones de salida disponible para este proyecto es importante tener en cuenta que solo 3 de estas salidas nos entregan datos en tiempo real. Las salidas son:

- Serial Port (transmisión en tiempo real)
- Keyboard Emulation (transmisión en tiempo real)
- USB Flash Drive
- TCP / IP Socket (transmisión en tiempo real)
- HTTP Post

3) *Antena RFID*: La antena de RFID es encargada de emitir y recibir señales de radiofrecuencia utilizadas para la comunicación con las etiquetas RFID. Cuando una etiqueta de RFID está dentro del campo de alcance de la antena, la antena emite una señal de radiofrecuencia que energiza la etiqueta y le permite transmitir su información almacenada de vuelta a la antena.[11] La antena que se utilizara en este proyecto es la antena RFID IPJ-A0311.



Fig. 5. Antena RFID IPJ-A0311[12]

4) *Pantalla*: La pantalla sera utilizada para visualizar notificaciones recibidas del servidor por lo que no es necesaria una pantalla touch y se necesita que se pueda visualizar por lo menos una oración entonces la mejor opción es una pantalla oled, existen varios tamaños de esta pero la que se utilizara en este proyecto es la pantalla oled de 1.3 pulgadas y de 128x64 píxeles.

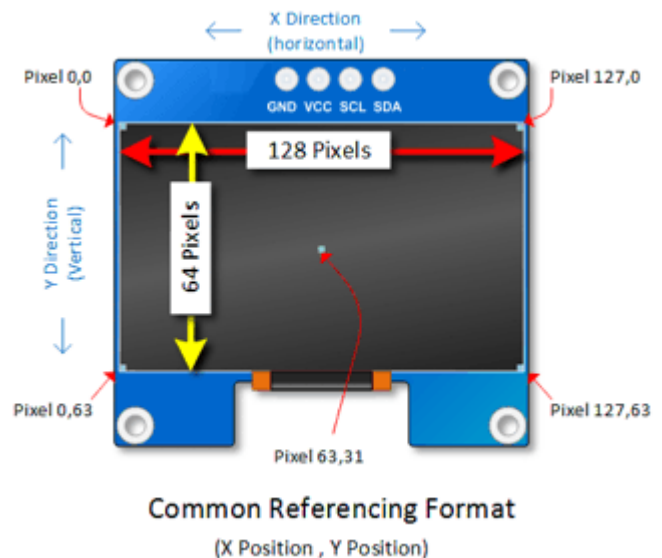


Fig. 6. Pantalla Oled [13]

D. Implementación del sistema

Para llevar a cabo la ejecución del sistema, se ajustan tanto los componentes de hardware como los de software a continuación se presenta brevemente como se realiza la implementación de cada parte y al final la implementación del algoritmo.

1) *Implementación del lector y antena RFID*: Para llevar a cabo la implementación del lector RFID Speedway Revolution R420, se emplea el protocolo de control de transmisión (TCP)/protocolo de Internet (IP). Dicho protocolo permite establecer la comunicación entre el lector RFID y la Raspberry Pi mediante un socket, el cual actúa como una interfaz entre el proceso de la aplicación y el protocolo de transporte TCP.[14]

Hardware

- Conecta el lector RFID Speedway Revolution R420 al Raspberry Pi 4 utilizando un cable Ethernet.

- Conectar el lector RFID Speedway Revolution R420 a la antena PJ-A0311 utilizando el cable RP-TNC a RP-TNC o mas conocido como cable de extensión de antena RP-TNC



Fig. 7. Conexión de microcontrolador y antena al lector RFID

Software

Para configura el lector RFID se utiliza la interfaz web del software para actualiza la versión del software del lector utilizando un archivo .upg en este caso se utiliza el archivo 'SpeedwayConnect-2.8.0.0.upg' descargado de la pagina oficial de Impinj con este archivo se actualiza a la versión 2.8.0.0 y se procede a reinicia al lector.

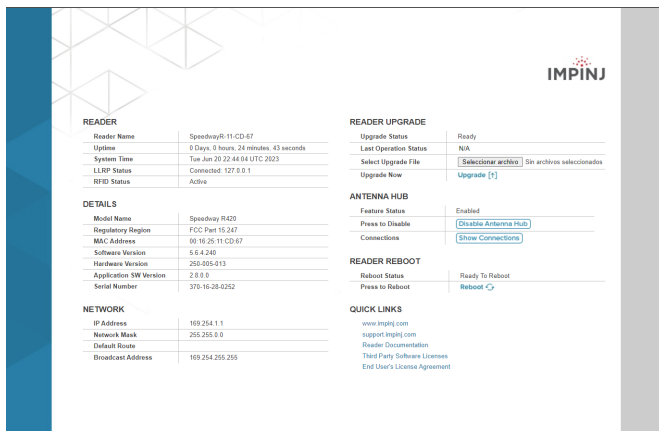


Fig. 8. Interfaz web actualización del lector

Luego se configura el Lector RFID.

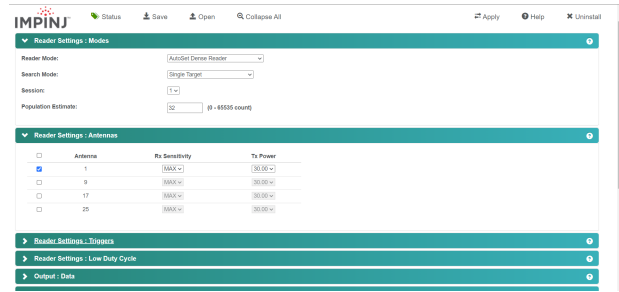


Fig. 9. Interfaz web configuración (Modos y Antenas)

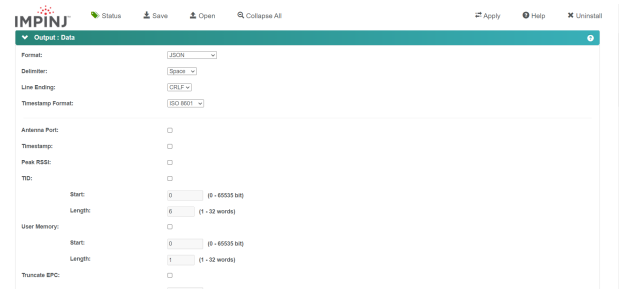


Fig. 10. Interfaz web configuración (Datos de salida)

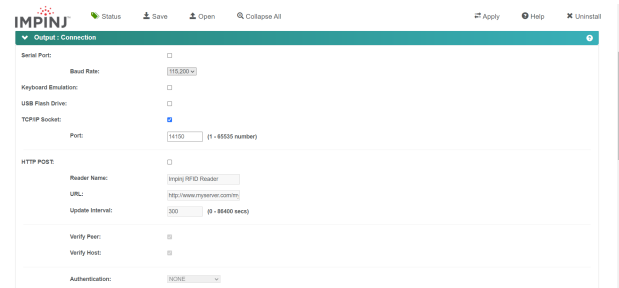


Fig. 11. Interfaz web configuración (Conexión de salida)

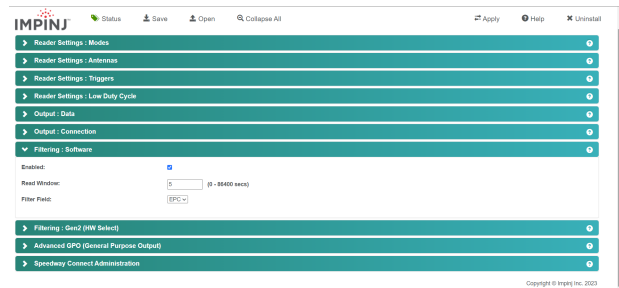


Fig. 12. Interfaz web configuración (Filtro)

2) *Implementación de la pantalla oled:* La pantalla emplea un controlador interno (SSH1106) que se comunica a través de SPI, un protocolo de alta velocidad perfecto para las pantallas OLED. Aunque todo el sistema funciona internamente a 3,3V, se ha diseñado para funcionar sin problemas a 5V al adaptar

tanto la alimentación como los pines de entrada. Esta característica lo convierte en una elección óptima para su aplicación junto a la Raspberry Pi.[15]

Hardware

- Se conecta los pines de la pantalla a los pines de la Raspberry Pi como se muestra en la tabla III.

PINES	
Pantalla Oled	Raspberry Pi 4
GND	6 = Ground
VCC	4 = 5v power
SCL	5 = GPIO3(SCL)
SDA	3 = GPIO2(SDA)

TABLE III
CONEXIÓN ENTRE PINES DE PANTALLA Y RASPBERRY PI

Software

En la raspberry pi se habilita la interfaz I2C y se instalan las bibliotecas necesarias para que funcione el algoritmo en este caso los comandos son:

- `pip install luma.core`
- `pip install luma.oled`

3) *Implementación de la comunicación:* Para el intercambio de información entre el sistema y el servidor web se emplea el protocolo MQTT, que representa las iniciales de Message Queuing Telemetry Transport, es un protocolo de publicación-suscripción ligero que permitirá conectar una gran cantidad de dispositivos con mayor facilidad. Este protocolo también simplifica la verificación de que el mensaje fue entregado a su destinatario y brindar seguridad a través de certificados electrónicos[16].

El protocolo MQTT emplea una topología de tipo PUSH/SUBSCRIBE que opera mediante la pila de protocolos TCP/IP. La arquitectura de MQTT consta de dos elementos fundamentales: los clientes y los brókeres. El bróker es un servidor que recibe información de ciertos clientes y la transmite a otros; mientras que los clientes no interactúan directamente entre sí, sino a través del bróker. Cada cliente puede actuar como editor o suscriptor. También es un protocolo controlado por eventos, lo que significa que no se transmiten datos de forma regular o continua. Esto minimiza el volumen de transmisión. Cuando hay datos para enviar, un cliente publica y un bróker entrega información a los suscriptores a medida que llegan nuevos datos[17].

Software

La Raspberry Pi se utilizara como broker del servidor por lo que se instala mosquitto con el comando:

- `sudo apt-get install mosquitto`

Posterior a ello se configura el archivo `/etc/mosquitto/mosquitto.conf` para hacer que tenga una forma de autenticar a los usuarios que ingresen a la comunicación para ello se agrega las siguientes líneas:

- `listener 1883`
- `allow_anonymous false`
- `password_file /etc/mosquitto/passwd`
- `acl_file /etc/mosquitto/acl`

En la Raspberry Pi se instalan las bibliotecas necesarias para que funcione el algoritmo funcione como cliente para ello se utiliza el comando:

- `pip install paho-mqtt`

4) *Implementación de hilos:* Para que el algoritmo funcione de mejor de manera se utilizaron varios hilos estos permiten que un programa pueda ejecutar varias acciones al mismo tiempo, en la Raspberry pi se utiliza para que nunca se detenga la lectura así se puede utilizar tanto la pantalla como el lector RFID al mismo tiempo.[18]

Software

En la raspberry pi se instalan la biblioteca necesaria para que funcione el algoritmo para ello se ingresa el comando:

- `pip install pillow`

5) *Implementación de la Base de Datos:* Una base de datos es una colección ordenada de datos o información estructurada, que se almacena electrónicamente en un sistema informático. Para asegurar su funcionamiento adecuado, una base de datos necesita un sistema de gestión de bases de datos (DBMS, por sus siglas en inglés) que supervise y administre su contenido. De forma conjunta, los datos, el DBMS y las aplicaciones relacionadas constituyen el sistema de bases de datos, también denominado base de datos en términos generales.[19]

Software

Para la creación de la base de datos, se empleó MySQL Workbench, una aplicación de código abierto que posibilita la elaboración, modificación, actualización y eliminación de tablas. Para implementarlo se creo una tabla para observar el código de los tags, la bodega de la que proviene, etc.

Producto	
idProductos	VARCHAR(24)
Tipo	VARCHAR(50)
Nombre	VARCHAR(50)
Bodega	VARCHAR(50)
Hora	DATETIME
Artículo	VARCHAR(45)
Indexes	

Fig. 13. Tabla de base de datos

6) Algoritmo:

E. Pruebas del Sistema

1) *Colocación de Antena:* Durante la etapa de posicionamiento de la antena, se realizó un detallado análisis del

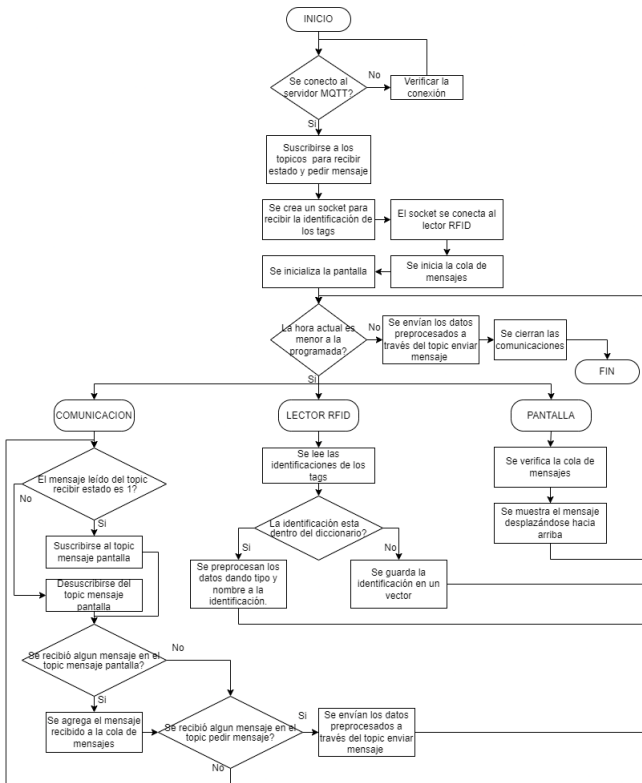


Fig. 14. Diagrama de flujo

alcance geográfico mediante la revisión detallada de la documentación facilitada por el fabricante. Durante este análisis, se estudió minuciosamente la zona de lectura de la antena, y con base en los datos gráficos obtenidos, se procedió a la generación de una representación tridimensional.

Resultados:

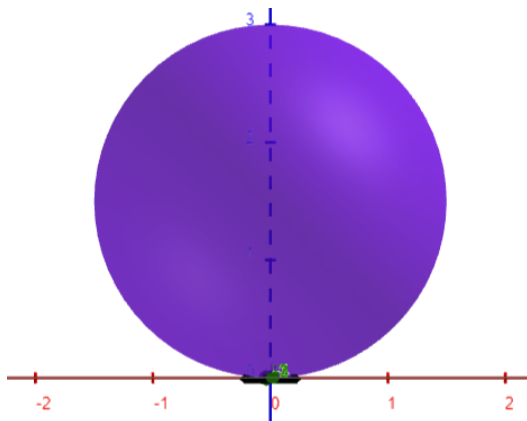


Fig. 15. Área vista lateral

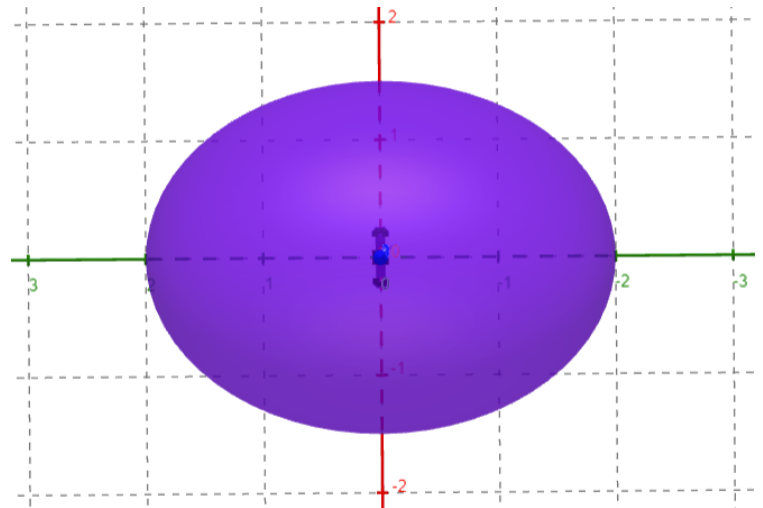


Fig. 16. Área vista Superior

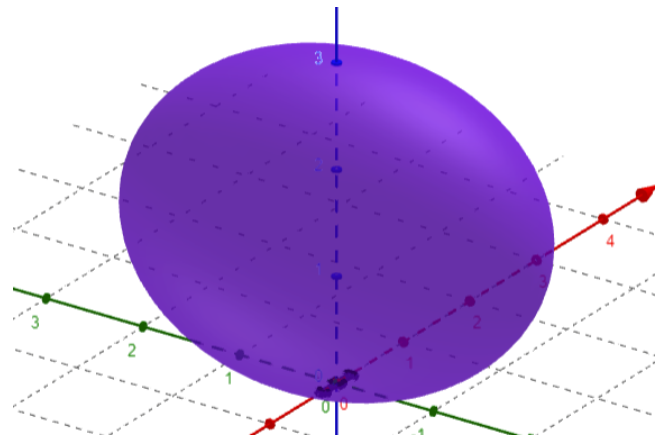


Fig. 17. Área de detección de la antena

Es relevante destacar que la representación tridimensional del área de detección de la antena se encuentra en unidades de metros, si bien es una aproximación. A partir de esto, es posible inferir que la posición óptima para instalar la antena dependerá de la situación específica, como si se trata de una puerta o un pasillo, ya que esta antena desempeñará su función tanto en entornos interiores como exteriores. Es fundamental garantizar que los tags se encuentren dentro del rango de detección de la antena para su correcto funcionamiento.

2) *Colocación de los chips:* Este ensayo se realizó con un grupo de 3 cajas iguales a las cuales se les colocó los chips RFID en diferentes ubicaciones:

- Tag en la parte lateral de la caja:



Fig. 18. Tag en la parte lateral de la caja

- Tag en la parte superior de la caja:



Fig. 19. Tag en la parte superior de la caja

- Tag en la parte interior de la caja:



Fig. 20. Tag en la parte interior de la caja

Resultados:

Se llevó a cabo un ensayo simulado para evaluar el rendimiento del sistema de ingreso de productos mediante la lectura de etiquetas RFID. Se registraron varias lecturas exitosas, lo que indica un correcto funcionamiento del sistema al detectar las etiquetas ubicadas en diversas áreas de la caja.

Sin embargo, se observó que la ubicación óptima para colocar las etiquetas es en la parte lateral de la caja, ya que esto facilita la detección por parte de la antena receptora.

LECTURA	SUPERIOR	LATERAL	INTERIOR
Entre 0 y 2 metros a velocidad lenta	Si	Si	Si
Entre 0 y 2 metros a velocidad promedio	Si	Si	Si
Entre 0 y 2 metros a velocidad rápida	Si	Si	Si
Entre 2 y 3 metros a velocidad lenta	Si	Si	Si
Entre 2 y 3 metros a velocidad promedio	Si	Si	Si
Entre 2 y 3 metros a velocidad rápida	Si	Si	No
Entre 3 y 3.5 metros a velocidad lenta	Si	Si	No
Entre 3 y 3.5 metros a velocidad promedio	No	Si	No
Entre 3 y 3.5 metros a velocidad rápida	No	No	No

TABLE IV
RESULTADO DE LA COLOCACIÓN DE CHIPS

Es relevante tener en cuenta que los ensayos se realizaron utilizando cajas vacías. La eficiencia de la lectura de la etiqueta puede variar dependiendo del producto contenido en cada caja. Por ejemplo, si se emplea un material metálico dentro de la caja, la lectura será ineficiente para el tag ubicado dentro, requiriendo el uso de un tipo diferente de etiqueta RFID para una lectura exitosa.

3) *Simulación de inventario:* Para realizar este ensayo el equipo se mantendrá activo durante aproximadamente 4 horas, entraran y saldrán productos (las cajas con los tags) se simulara que la identificación de una de estas cajas no esta registrada y se enviara varios mensajes a la pantalla durante el proceso.

- 1) Se inicia la simulación enviando el mensaje '1' al topic 'prueba/recibir/estado' para que la Raspberry Pi se suscriba al topic 'prueba/recibir/mensaje' y habilite el cambio de mensajes en la pantalla.

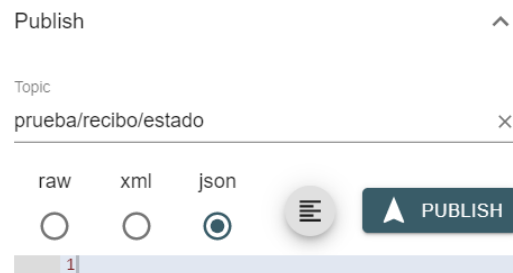


Fig. 21. Envío al topic prueba/recibir/estado

- 2) Utilizando el tópic 'prueba/recibir/mensaje', se transmite el mensaje 'Inicio Prueba' con el propósito de mostrarlo en la pantalla. Luego, después de unos segundos, se envía el mensaje 'Ingresar Productos' a través del mismo topic.

- 3) Se procede a ingresar los productos.
- 4) Con el fin de desuscribir la Raspberry Pi del topic 'prueba/recibir/mensaje' y mostrar únicamente el mensaje 'Realizando Proceso de Lectura' como esta en la figura 22, para ello se envía cualquier mensaje, excepto el '1', al topic 'prueba/recibir/estado'.

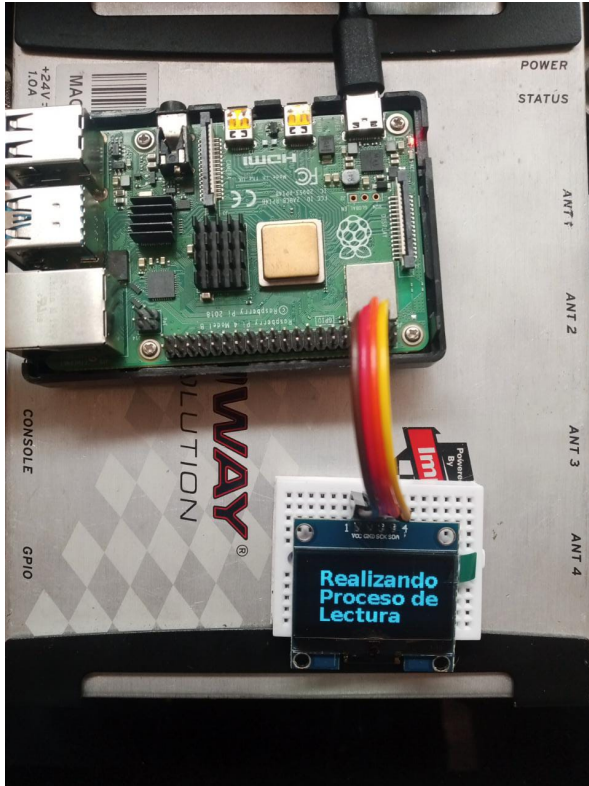


Fig. 22. Mensaje en Pantalla Oled

- 5) Se envía cualquier mensaje al topic "prueba/envio/solicitud" para que la Raspberry Pi envíe todos los datos almacenados hasta el momento a través del topic "prueba/envio/mensaje". Estos datos quedarán registrados en la base de datos y serán presentados en la representación gráfica mostrada en la figura 23 del inventario, mostrando que se han ingresado 4 productos conocidos y uno desconocido.

idProductos	Tipo	Nombre	Bodega	Hora	Estado
0000000000000000000000004400	Productos sin EPC		Principal	2023-07-25 08:12:58	O
E2801160600002053CDCFB73	Tecnologia	Parlante	Principal	2023-07-25 08:12:58	O
E2801160600002053CDD5964	Herramientas	Playo	Principal	2023-07-25 08:12:58	O
E2801160600002053CDDCB12	Moda	Pantalón	Principal	2023-07-25 08:12:58	O
E2801160600002053CDDDE5A4	Limpieza	Lava platos	Principal	2023-07-25 08:12:58	O

Fig. 23. Base de datos con todos los productos dentro

- 6) Después de dejar transcurrir aproximadamente 2 horas, se repite el paso 1. Luego, se envía el mensaje "Sacar algunos productos" a través del topic "prueba/recibir/mensaje" para observar en la pantalla y se repite el paso 4 para desuscribir la Raspberry Pi del topic de mensajes y mostrar solo el mensaje "Realizando Proceso de Lectura".
- 7) Se retiran algunos productos del inventario.

- 8) Se repite el paso 5 para enviar nuevamente los datos a través del topic "prueba/envio/mensaje". En la figura 24 del inventario (base de datos), se observa que se han retirado 2 productos conocidos.

idProductos	Tipo	Nombre	Bodega	Hora	Estado
0000000000000000000000004400	Productos sin EPC		Principal	2023-07-25 08:12:58	O
E2801160600002053CDCFB73	Tecnologia	Parlante	Principal	2023-07-25 08:12:58	O
E2801160600002053CDD5964	Herramientas	Playo	Principal	2023-07-25 10:07:08	X
E2801160600002053CDDCB12	Moda	Pantalón	Principal	2023-07-25 08:12:58	O
E2801160600002053CDDDE5A4	Limpieza	Lava platos	Principal	2023-07-25 10:07:08	X

Fig. 24. Base de datos con algunos de los productos dentro

- 9) Después de dejar transcurrir aproximadamente 2 horas, se retiran los productos restantes y se detiene el programa con 'Ctrl+C'. Al actualizar la base de datos, se reflejará que todos los productos se encuentran fuera del inventario, tal y como se ilustra en la figura 25.

idProductos	Tipo	Nombre	Bodega	Hora	Estado
0000000000000000000000004400	Productos sin EPC		Principal	2023-07-25 12:12:45	X
E2801160600002053CDCFB73	Tecnologia	Parlante	Principal	2023-07-25 12:12:45	X
E2801160600002053CDD5964	Herramientas	Playo	Principal	2023-07-25 10:07:08	X
E2801160600002053CDDCB12	Moda	Pantalón	Principal	2023-07-25 12:12:45	X
E2801160600002053CDDDE5A4	Limpieza	Lava platos	Principal	2023-07-25 10:07:08	X

Fig. 25. Base de datos con todos los productos fuera

VI. CONCLUSIONES

En el presente artículo se generó un sistema de borde basado en radio frecuencia, dejando como principales conclusiones las siguientes:

Se llevó a cabo una investigación teórica en diversos campos en los que se emplea la tecnología RFID, con un enfoque particular en la gestión de inventarios. Seguidamente, se realizó un breve análisis del estado del arte de la tecnología RFID y su aplicación en la planificación y desarrollo. Durante este análisis, se examinaron documentos de varios autores destacados, entre ellos Jifan Cheng, quien presentó un enfoque automatizado para la gestión de consumibles médicos mediante RFID; Vishrut Chokshi, cuyo trabajo se enfocó en un sistema de inventario de laboratorio basado en RFID; y Henriette Knapp, cuyo algoritmo de planificación de redes RFID resultó particularmente interesante debido a su objetivo de minimizar la cantidad de antenas necesarias para cubrir una determinada área y garantizar la efectiva lectura de etiquetas RFID. Las conclusiones son:

- En la revisión de las tecnologías RFID, se analizaron 7 sistemas RFID de 8 artículos, estableciendo ventajas y desventajas de cada una de ellas. Este análisis investigativo fue fundamental para mejorar la comprensión del tema en estudio y ha proporcionado los criterios adecuados para la selección de los equipos que posteriormente se utilizaron porque dichos equipos cumplen con las especificaciones del sistema y son fáciles de encontrar según se indica en las tablas comparativas I y II.

En la elaboración e implementación del sistema de borde basado en RFID. En un principio, se presentó un diagrama de bloques que proporcionó una clara explicación del funcionamiento del sistema. Posteriormente, se procedió a una

breve exposición de los equipos que serían utilizados en el sistema, abarcando tanto su implementación en términos de software como de hardware. Además, se presentó el diagrama de flujo que describe el algoritmo empleado en el microcontrolador. Como conclusión obtuvimos:

- Se describe la construcción e implementación, tanto en el aspecto del software como del hardware realizado, lo que permitió la captura, preprocesamiento de datos recibidos por las etiquetas RFID, comunicación con el servidor, implementación de un control básico y gestión del sistema, el algoritmo utilizado se describe en el diagrama de flujo de la figura 14, por lo que se puede concluir que es posible la implementación de un sistema de gestión de inventarios básicos, acorde a la simulación de inventario desarrollado.

Además, se describen detalladamente las distintas prácticas realizadas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema implementado. La primera práctica se centró en evaluar el área de detección de la antena utilizada. Durante este experimento, se realizó una representación en 3D del alcance del sistema de detección.

En el segundo experimento, se llevó a cabo una evaluación minuciosa para determinar la forma más eficiente y óptima de colocar las etiquetas RFID en las cajas de productos. El objetivo principal de esta práctica fue garantizar una lectura efectiva y confiable de las etiquetas, evitando posibles interferencias o problemas en la lectura que pudieran surgir debido a una ubicación inadecuada.

Finalmente, la última práctica consistió en realizar una simulación de inventario prolongada. Durante este experimento, se dejó el sistema de borde activo por un tiempo extendido, con el fin de evaluar su rendimiento a largo plazo y verificar su capacidad para mantener una gestión precisa y constante del inventario durante un período de uso continuo.

Las conclusiones de este apartado fueron:

- Gracias a la representación tridimensional indicada en la figura 17 se logró determinar el área de detección aproximada de la antena, lo que permite tener una estimación del área de cobertura del sistema RFID.
- Mediante la experimentación de la colocación de las etiquetas RFID en las cajas de productos realizado, se evaluaron las configuraciones más adecuadas para garantizar una lectura eficiente y confiable de las etiquetas según se indica en la tabla de resultados IV, de las cuales se pudo seleccionar la que brindaba mejores resultados para la implementación del sistema.
- La simulación de inventario realizada, demostró que el sistema implementado es adecuado para la gestión básica de inventarios, tanto para el monitoreo, como su control.

REFERENCES

- [1] V. Chokshi, M. Shah, P. Mehta, M. Vairale, S. Mehta, and K. Talele, "Implementation of rfid-based lab inventory system," Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, ISBN: 9781665492911. DOI: 10.1109/IBSSC56953.2022.10037518.
- [2] W. Chen, J. Childs, S. Ray, B. S. Lee, and T. Xia, "Rfid technology study for traffic signage inventory management application," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, pp. 17 809–17 818, 10 Oct. 2022, ISSN: 15580016. DOI: 10.1109/TITS.2022.3164579.
- [3] H. Knapp and G. Romagnoli, "Rfid systems optimisation through the use of a new rfid network planning algorithm to support the design of receiving gates," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Mar. 2021, ISSN: 15728145. DOI: 10.1007/s10845-021-01858-0.
- [4] C. Li, L. Mo, and D. Zhang, "Review on uhf rfid localization methods," *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, vol. 3, pp. 205–215, 4 Dec. 2019, ISSN: 24697281. DOI: 10.1109/JRFID.2019.2924346.
- [5] J. Huang, Z. Wen, L. Kong, L. Ge, M. Y. Wu, and G. Chen, "Accelerate the classification statistics in rfid systems," *Theoretical Computer Science*, vol. 788, pp. 39–52, Oct. 2019, ISSN: 0304-3975. DOI: 10.1016/J.TCS.2018.11.031.
- [6] J. Cheng, C. Wen, S. Jiang, L. Zhang, X. Zhu, and W. Qian, "Construction and application of spd automated management module for interventional high-value consumables based on rfid sensors," *Journal of Sensors*, vol. 2022, 2022, ISSN: 16877268. DOI: 10.1155/2022/2184694.
- [7] A. R. Laxmi and A. Mishra, "Rfid based logistic management system using internet of things (iot)," Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2018, pp. 556–559, ISBN: 9781538609651. DOI: 10.1109/ICECA.2018.8474721.
- [8] N. M. Nadzir, F. Zubir, and M. Rahim, *Wireless Sensor Node with UHF RFID for Monitoring System*. 2017, ISBN: 9781538604656.
- [9] intel, *¿qué es la computación de borde? — intel*. [Online]. Available: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/edge-computing/what-is-edge-computing.html>.
- [10] R. Pi, *¿que es raspberry pi?* [Online]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>.
- [11] Dipole, *Lectores rfid fijos*. [Online]. Available: <https://www.dipolerfid.es/lectores-rfid-fijos>.
- [12] Imping, "Threshold-fs antenna datasheet ipj-a0311-usa overview," 2009. [Online]. Available: www.impinj.com.
- [13] FIRTEC, *Firtec - pantalla oled con raspberry pi*. [Online]. Available: <https://www.firtec.com.ar/cms/10-notas-tecnicas/71-pantalla-oled-con-raspberry-pi>.
- [14] D. Morató, "Material parcialmente adaptado del libro computer networking: A top down approach featuring the internet," *Jim Kurose*, vol. 3, 2004.
- [15] BricoGeek, *Pantalla oled 1.3' ssh1106 (128x64)*. [Online]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/pantallas-oled/905-pantalla-oled-13-ssh1106-128x64.html>.
- [16] A. L. Cosin, "Uso de mqtt para el control de dispositivos de iot 2," 2021.
- [17] P. the monitoring experts, *¿qué es mqtt? definición y detalles*, 2023. [Online]. Available: <https://www.paessler.com/es/it-explained/mqtt>.
- [18] V. Berzosa, *¿qué es un hilo en programación? aprende sobre los hilos y multihilos en profundidad — qué es*, Feb. 2023. [Online]. Available: <https://quees.com/hilo-programacion/>.
- [19] Oracle, *Qué es una base de datos*, 2023. [Online]. Available: <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/>.