

## **Acta de Correcciones al Proyecto de Grado**

### **Ingeniería electrónica.**

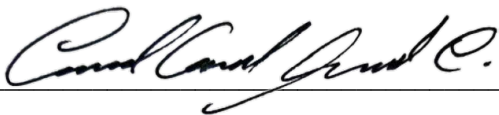
**Fecha:** 07 de febrero de 2025

**Autores:** Juan Esteban Villarroel Luengas y Mario Alejandro Pérez Jaramillo.

**Nombre del Proyecto de Grado:** “AUTOLAB: Automatización de la entrega de dispositivos electrónicos en el laboratorio de electrónica mediante RFID”

**Director:** Ms. Carlos Andrés Giraldo Castañeda

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.



---

Firma de Director(a) del Proyecto de Grado

Santiago de Cali, 9 de enero de 2025

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Dr. Luis Eduardo Tobón

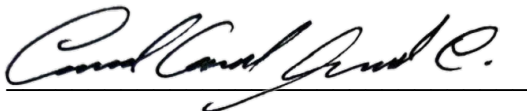
Director de la carrera de Ingeniería Electrónica

Cali

Cordial saludo.

Por medio de la presente nos permitimos informarle que los estudiantes de Ingeniería Electrónica Mario Alejandro Pérez Jaramillo (cc: 1006515674) y Juan Esteban Villarroel Luengas (cc: 1005965719) trabajan bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado **“AUTOLAB: Automatización de la entrega de dispositivos electrónicos en el laboratorio de electrónica mediante rfid”**, el cual consideramos apto para ser presentado y sometido a consideración del jurado.

Atentamente,



Ms. Carlos Andrés Giraldo Castañeda

*Director de trabajo de grado*

Santiago de Cali, 9 de enero de 2025

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Dr. Luis Eduardo Tobón

Director de la carrera de Ingeniería Electrónica

Cali

Cordial saludo.

Tenemos el placer de presentar ante usted el proyecto de grado titulado como: "**AUTOLAB: Automatización de la entrega de dispositivos electrónicos en el laboratorio de electrónica mediante RFID**", para ser sometido a consideración del jurado.

Esperamos que este proyecto reúna los requisitos académicos necesarios para su aprobación.

Atentamente,



---

Mario Alejandro Pérez Jaramillo  
Cédula: 1006515674



---

Juan Esteban Villarroel Luengas  
Cédula: 1005965719

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA DE CALI



DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

AUTOMATIZACIÓN DE LA ENTREGA DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS EN EL  
LABORATORIO DE ELECTRÓNICA MEDIANTE RFID (AUTOLAB)

Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero electrónico

Presentan:

Mario Alejandro Pérez Jaramillo

Juan Esteban Villarroel Luengas

Director:

Ms. Carlos Andrés Giraldo Castañeda

CALI, VALLE DEL CAUCA

Enero 2025

# Agradecimientos

Agradecemos profundamente a nuestro director de grado, cuyo compromiso y apoyo han sido fundamentales en cada etapa de este proyecto. Su orientación ha sido clave para sortear los desafíos técnicos y personales que surgieron durante los meses de desarrollo, permitiéndonos avanzar con confianza y claridad.

También extendemos nuestro agradecimiento a los docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica, quienes con su conocimiento y dedicación nos han brindado las herramientas necesarias para afrontar este reto. Gracias a su esfuerzo y enseñanzas, hemos podido construir una base sólida en nuestra formación profesional.

A nuestras familias, gracias por el apoyo incondicional y el impulso constante que nos han dado. Sus palabras de aliento y comprensión han sido el motor que nos mantuvo firmes en cada paso de este proceso. Sin su paciencia y amor, esta etapa no habría sido posible.

Finalmente, agradecemos a cada persona que, de alguna forma, contribuyó a que este proyecto tomara forma. Desde el apoyo emocional hasta los pequeños gestos de ayuda, cada acción fue una pieza esencial en este camino hacia el logro.

# Contenido

1. Resumen .....	12
2. Introducción .....	14
2.1 Planteamiento .....	16
2.2 Formulación .....	16
2.3 Justificación.....	17
3. Objetivos.....	19
3.1 Objetivo general .....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4. Estado del arte .....	20
4.1 RFID Labeling of Police Equipment .....	20
4.2 Smart Parking Applications Using RFID Technology.....	20
4.3 Self Service System for Library Automation .....	21
4.4 Resource Management with RFID Technology in Automatic Warehouse System 21	
5. Marco teórico.....	22
5.1 Sistema RFID: Componentes y Funciones .....	22
5.1.1 Tags RFID .....	22
5.1.2 Lector RFID .....	22
5.1.3 Antena RFID.....	23
5.1.4 Sistema de procesamiento de datos.....	23
5.1.5 Middleware o interfaz de usuario .....	23
5.2 ESPNOW .....	24
5.3 ¿Qué es una API? .....	25
5.3.1 ¿Qué significa API? .....	25

5.3.2	¿Cómo funcionan las API?	25
	API de SOAP	25
	API de RPC	25
	API de WebSocket	25
	API de REST	26
6.	Metodología de la investigación	27
6.1	Concebir	27
6.1.1	Análisis de la situación actual	27
6.1.2	Estudio de necesidades de los usuarios	28
6.1.3	Definición de requerimientos del sistema	28
6.2	Diseñar	29
6.2.1	Arquitectura del sistema	29
6.2.2	Diseño de la interfaz de usuario	32
6.2.3	Selección de hardware y software	34
6.3	Implementar	38
6.3.1	Firmware del procesador-casilleros	39
6.3.2	Firmware procesador-antena UHF	45
6.3.3	Desarrollo de la API	47
6.3.4	Base de datos	51
6.3.5	Hardware del tablero eléctrico	55
6.3.6	Servidor web e interfaces implementadas	60
6.3.7	Puesto de trabajo	66
6.3.8	Pruebas de integración	70
6.4	Operar	71
6.4.1	Despliegue del sistema en el laboratorio	72

6.4.2	Capacitación a usuarios .....	77
6.4.3	Monitoreo y ajustes del sistema.....	77
6.4.4	Evaluación del impacto.....	80
7.	Resultados, Discusión y Conclusiones. ....	84
7.1	Resultados y Discusión .....	84
7.2	Conclusiones.....	85
7.3	Trabajos futuros.....	85
8.	Anexos .....	87
8.1	Firmware para controlador del casillero .....	87
8.2	Firmware para controlador del lector UHF .....	87
8.3	Firmware para módulo esp32_relay x4_v1.1 .....	87
8.4	Backup de la base de datos .....	87
8.5	Manual para gestionar errores técnicos.....	87
8.6	API .....	87
8.7	Costos del proyecto.....	87
8.8	Servidor web .....	88
8.8.1	Componentes principales del código del servidor web en ESP32.....	88
8.8.2	Flujo del proceso de un caso de uso: Registro de usuario.....	90
8.9	Consideraciones de escalabilidad .....	92
8.9.1	Bloques Replicables .....	92
8.9.2	Protocolos y funciones para la escalabilidad .....	92
9.	Glosario .....	94
9.1	Automatización de procesos.....	94
9.2	RFID.....	94
9.3	Tag .....	94

9.4	Laboratorio de electrónica .....	95
9.5	Cerradura electromagnética .....	96
9.6	Base de datos .....	96
9.7	SQL.....	97
9.8	Raspberry pi 3.....	97
9.9	ESP32.....	97
9.10	Antena UHF Rfid De Largo Alcance Par.....	98
9.11	Módulo lector R200 .....	98
10.	Bibliografía .....	98

# Índice de figuras

Figura 5.1: Ejemplo de sistema RFID .....	22
Figura 5.2: ESP-NOW.....	24
Figura 6.1: Arquitectura del sistema.....	29
Figura 6.2: Cuadro comparativo para el microcontrolador-casilleros.....	34
Figura 6.3: Cuadro comparativo para pantalla .....	35
Figura 6.4: Cuadro comparativo para frecuencia de la antena .....	36
Figura 6.5: Cuadro comparativo para la base de datos.....	37
Figura 6.6: Cuadro comparativo para lenguaje de la API. ....	38
Figura 6.7: Diagrama de flujo para el firmware-casilleros.....	43
Figura 6.8: Diagrama de flujo del firmware-antena.....	46
Figura 6.9: Diagrama MSC API.....	50
Figura 6.10: Modelo relacional de la base de datos.....	55
Figura 6.11: Tablero eléctrico en etapa de desarrollo .....	56
Figura 6.12: Canaleta del tablero eléctrico.....	57
Figura 6.13: Ubicación del tablero eléctrico. ....	57
Figura 6.14: Despliegue de cableado en casilleros. ....	58
Figura 6.15: Circuito de los casilleros .....	59
Figura 6.16: Interfaz de bienvenida - Servidor web.....	60
Figura 6.17: Interfaz información del usuario - Servidor web.....	61
Figura 6.18: Interfaz registro de usuario - Servidor web.....	62
Figura 6.19: Interfaz mensaje de registro exitoso - Servidor web.....	62
Figura 6.20: Interfaz indicaciones para el préstamo - Servidor web. ....	63
Figura 6.21: Interfaz lectura de elementos - Servidor web. ....	63
Figura 6.22: Interfaz mensaje de préstamo exitoso - Servidor web.....	64

Figura 6.23: Interfaz para préstamo vigente - Servidor web.....	65
Figura 6.24: Interfaz pasos para devolución - Servidor web.....	65
Figura 6.25: Elaboración de clavija.....	67
Figura 6.26: Conexión del ESP32_Relay_x4.....	68
Figura 6.27: Tomacorriente doble.....	68
Figura 6.28: Circuito por fila - puestos de trabajo.....	69
Figura 6.29: Casilleros - cableado finalizado.....	72
Figura 6.30: Casilleros con kits de elemento básico de laboratorio.....	73
Figura 6.31: Ubicación antena UHF.....	74
Figura 6.32: Antena UHF.....	75
Figura 6.33: Puestos de trabajo con indicador de flujo eléctrico activado.....	76
Figura 6.34:ESP32_Relay_x4 con carcasa.....	76
Figura 6.35: Puestos de trabajo - vista general.....	77
Figura 8.1: Tabla de costos AUTOLAB.....	88

# 1. Resumen

El presente proyecto, denominado AUTOLAB, consiste en el desarrollo de un sistema automatizado para la entrega de dispositivos y materiales en el laboratorio de electrónica y telecomunicaciones de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. La motivación principal del proyecto surge de la necesidad de optimizar la disponibilidad de dispositivos de medición y herramientas en el laboratorio, ya que, aunque un laboratorista encargado presta estos servicios, su presencia en el sitio no siempre es permanente y mucho menos en los horarios no hábiles. Esto afecta especialmente a los estudiantes de las carreras de electrónica y biomédica, quienes requieren acceso continuo para realizar pruebas y desarrollar sus proyectos.

AUTOLAB utiliza una antena UHF para la lectura de etiquetas RFID, junto con un sistema de casilleros controlados por un microcontrolador ESP32. Este dispositivo gestiona la comunicación con una base de datos MySQL alojada en un servidor local, facilitando el registro de usuarios, la asignación de casilleros y la supervisión de préstamos y devoluciones de manera automatizada. También es tarea del ESP32 el suministro de fluido eléctrico a los puestos de trabajo los cuales cuentan con el servicio de un generador de señales, un osciloscopio y un computador de mesa. Cada vez que un casillero es reservado mediante un préstamo, el fluido eléctrico de un respectivo puesto de trabajo se activa hasta que se presente la devolución de los elementos prestados. Además, el sistema incluye una interfaz web para la visualización de información y la interacción con el usuario al momento del préstamo.

La metodología aplicada en el desarrollo del sistema abarcó desde el diseño del hardware y la integración de componentes electrónicos hasta la implementación de una API para la gestión de datos y la programación del servidor web en el ESP32. Se realizaron pruebas experimentales para validar la precisión de la lectura de las etiquetas RFID y la eficiencia en la gestión de los casilleros.

El resultado obtenido demuestra una mejora significativa en la accesibilidad y eficiencia del proceso de préstamos, permitiendo a los estudiantes acceder a los materiales que necesitan, incluso fuera del horario de atención del encargado del laboratorio. Esto proporciona un entorno más flexible y autónomo para la administración de los dispositivos del laboratorio. El proyecto concluye con la validación de la solución propuesta y su potencial para ser aplicada en otros entornos con necesidades similares de automatización en la entrega de materiales.

## Abstract

The AUTOLAB project consists of developing an automated system for the delivery of devices and materials in the electronics and telecommunications laboratory at Pontificia Universidad Javeriana de Cali. The main motivation for this project arises from the need to optimize the availability of measuring instruments and tools in the laboratory, as the assigned technician is not always present, especially outside working hours. This situation particularly affects students in electronics and biomedical engineering, who require continuous access to conduct tests and develop their projects.

AUTOLAB utilizes a UHF antenna for RFID tag reading, along with a locker system controlled by an ESP32 microcontroller. This device manages communication with a MySQL database hosted on a local server, facilitating user registration, locker assignment, and automated supervision of loans and returns. The ESP32 is also responsible for managing the power supply to the workstations, which includes a signal generator, an oscilloscope, and a desktop computer. Each time a locker is reserved, the corresponding workstation's power is activated until the borrowed items are returned. Additionally, the system features a web interface for data visualization and user interaction during the loan process.

The development methodology covered hardware design and component integration, the implementation of an API for data management, and server-side programming on the ESP32. Experimental tests were conducted to validate RFID reading accuracy and the efficiency of locker and workstation management.

The results demonstrate a significant improvement in accessibility and efficiency, allowing students to access the necessary materials even outside the laboratory staff's working hours. This provides a more flexible and autonomous environment for managing laboratory equipment. The project concludes with the validation of the proposed solution and its potential application in other environments with similar automation needs for material delivery.

## 2. Introducción

La cuarta revolución industrial, conocida como Industria 4.0, ha transformado diversos sectores a través de la automatización, digitalización e integración de tecnologías avanzadas, con el objetivo de optimizar procesos y mejorar la eficiencia [1]. En el ámbito educativo, y particularmente en los laboratorios universitarios, estas tecnologías pueden ser de gran valor para mejorar la gestión de recursos, especialmente en entornos donde el acceso a dispositivos y materiales es clave para el aprendizaje y desarrollo de proyectos.

En la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, el laboratorio de electrónica y telecomunicaciones es un espacio fundamental para la formación de estudiantes de ingeniería electrónica y biomédica. Estos estudiantes requieren acceso continuo a equipos y materiales para realizar pruebas, experimentos y proyectos que complementan su formación teórica. Sin embargo, la gestión de los préstamos de estos recursos se realiza de forma manual, a través de un encargado que supervisa la entrega y devolución de dispositivos. Si bien cada dispositivo cuenta con un código de barras único y los préstamos son registrados en un sistema, el proceso sigue dependiendo de la presencia del laboratorista para su ejecución.

Esta dependencia genera una limitación importante en cuanto a la disponibilidad de los recursos, ya que el encargado no puede estar permanentemente en el día y mucho menos en horarios no hábiles. Como resultado, los estudiantes enfrentan dificultades para acceder a los dispositivos y materiales en horarios extendidos, lo que puede retrasar el progreso de sus proyectos y limitar su capacidad de trabajo autónomo. En este contexto, la adopción de principios de la Industria 4.0, como la automatización y la digitalización avanzada, se presenta como una solución para mejorar la eficiencia y flexibilidad del acceso a los recursos del laboratorio.

El proyecto AUTOLAB propone el diseño de un sistema automatizado para la entrega de dispositivos y materiales básicos, integrando tecnología RFID y casilleros inteligentes controlados por un microcontrolador ESP32. Este sistema, además de digitalizar el proceso de préstamos, permite a los estudiantes acceder de manera autónoma a los recursos del laboratorio, sin depender de la disponibilidad del laboratorista.

Además, AUTOLAB incluye un sistema para gestionar la activación del fluido eléctrico en los puestos de trabajo, garantizando el acceso a herramientas esenciales como generadores de señales, osciloscopios y computadores de mesa. Cada vez que un estudiante realiza un préstamo, se activa la energía del puesto de trabajo correspondiente, la cual se desactiva automáticamente al devolver los dispositivos, optimizando el uso de los recursos energéticos del laboratorio.

A través de una base de datos MySQL y una interfaz web, AUTOLAB facilita la gestión de préstamos y uso de los puestos de trabajo, manteniendo un control preciso de los dispositivos en todo momento y mejorando la experiencia de los usuarios.

Con esta solución, el proyecto AUTOLAB se alinea con los principios de la Industria 4.0, al integrar tecnología avanzada para la automatización y digitalización de procesos, permitiendo a los estudiantes un acceso continuo y seguro a los recursos del laboratorio.

De esta manera, se busca optimizar la gestión de los préstamos, garantizar el acceso eficiente a los puestos de trabajo, promover la autonomía de los estudiantes y transformar el entorno de aprendizaje en un espacio más eficiente y accesible.

## 2.1 Planteamiento

La gestión eficiente de dispositivos y materiales en laboratorios universitarios es un aspecto esencial para el desarrollo de la formación académica en carreras como la ingeniería electrónica y la ingeniería biomédica. En la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, el laboratorio de electrónica y telecomunicaciones proporciona a los estudiantes los recursos necesarios para realizar pruebas, experimentos y proyectos. Sin embargo, el proceso de préstamos de estos dispositivos se gestiona de forma manual, lo que presenta importantes limitaciones en cuanto a la disponibilidad de los recursos.

Actualmente, cada dispositivo del laboratorio cuenta con un código de barras único y, cuando un estudiante solicita un préstamo, la información se registra en un sistema. A pesar de esta digitalización básica, la entrega y devolución de los dispositivos dependen de la presencia física de un encargado, quien supervisa cada transacción. Esta dependencia del factor humano genera restricciones significativas, ya que el laboratorista no puede estar disponible todo el tiempo en su jornada laboral ni mucho menos en horarios no hábiles, lo que limita el acceso de los estudiantes a los dispositivos fuera del horario regular de atención.

Esta situación afecta de manera directa a los estudiantes de ingeniería electrónica y biomédica, quienes, debido a la naturaleza de sus estudios, necesitan acceso flexible a los recursos del laboratorio para llevar a cabo proyectos y experimentos que requieren tiempos de trabajo prolongados. La falta de un sistema de préstamo autónomo dificulta el desarrollo continuo de sus proyectos, genera retrasos y limita la posibilidad de realizar pruebas en horarios nocturnos o durante los fines de semana, cuando el laboratorio permanece cerrado.

Ante esta problemática, se hace evidente la necesidad de un sistema más avanzado que permita automatizar la gestión de los préstamos y asegurar un acceso autónomo a los recursos básicos del laboratorio. El proyecto AUTOLAB busca satisfacer esta necesidad mediante la implementación de un sistema de casilleros inteligentes controlados por un ESP32, que utiliza tecnología RFID para la identificación de los dispositivos y la gestión del acceso, además de automatizar el suministro del fluido eléctrico en los puestos de trabajo. Este sistema se conecta a una base de datos y a una interfaz web, digitalizando el proceso de préstamos y garantizando una trazabilidad precisa de cada dispositivo prestado.

El sistema propuesto, al alinearse con los principios de la Industria 4.0, no solo mejora la disponibilidad y accesibilidad de los dispositivos, sino que también optimiza el control y la seguridad de los recursos del laboratorio. De este modo, AUTOLAB ofrece una solución integral que responde a la necesidad de flexibilidad en el acceso a los recursos, promoviendo un entorno de aprendizaje más autónomo y eficiente para los estudiantes de la universidad.

## 2.2 Formulación

¿Cómo incrementar la eficiencia en el servicio de préstamo de equipos del laboratorio de electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana Cali? (En este contexto, la eficiencia hace

referencia al tiempo que conlleva el proceso de préstamo de equipos para un estudiante, un sistema eficiente requeriría entonces menos tiempo para realizar la labor).

## 2.3 Justificación

En el contexto de la evolución tecnológica actual, muchos sectores industriales y de servicios están adoptando cada vez más la automatización como una estrategia para optimizar procesos y mejorar la eficiencia operativa. Este fenómeno es especialmente evidente en la era de la Industria 4.0, donde tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la digitalización de procesos están transformando la manera en que las organizaciones gestionan sus recursos y operaciones. La automatización no solo permite reducir la intervención humana en tareas repetitivas, sino que también mejora la precisión, la trazabilidad y la disponibilidad de los datos, aspectos críticos para la toma de decisiones [2] [3].

En el ámbito educativo, la tendencia hacia la automatización también se ha hecho presente [4], especialmente en entornos donde el acceso a equipamientos técnicos y laboratorios es esencial para el desarrollo formativo de los estudiantes. Los laboratorios de universidades que ofrecen carreras en ingeniería y tecnologías enfrentan el reto de proporcionar a los estudiantes acceso continuo a dispositivos y materiales para realizar pruebas y proyectos prácticos, lo cual es fundamental para su proceso de aprendizaje. Sin embargo, muchas instituciones aún dependen de métodos de gestión tradicionales para administrar el uso de los equipos, lo que puede generar ineficiencias y limitaciones en el acceso a estos recursos.

Diversos estudios en el estado del arte han demostrado que la automatización de los procesos de gestión de recursos en entornos educativos, como la implementación de sistemas de préstamo automatizados, contribuye significativamente a la optimización del uso de los equipos y a la mejora de la experiencia de los usuarios [5]. Las tecnologías de identificación automática, como el RFID (Radio Frequency Identification), se han convertido en una solución eficiente para controlar la entrada y salida de activos de forma precisa, asegurando un registro detallado de cada transacción. Además, el uso de microcontroladores y sistemas de base de datos permite diseñar soluciones flexibles y adaptadas a las necesidades específicas de cada entorno.

AUTOLAB plantea una solución que integra un sistema de casilleros inteligentes controlados por tecnología RFID, junto con una infraestructura de microcontroladores ESP32 para la gestión de los datos de préstamo y devolución de los dispositivos. Al automatizar el proceso, se logra reducir la carga de trabajo del personal, garantizando que los estudiantes puedan acceder a los dispositivos de manera autónoma y segura en cualquier momento que lo necesiten. Adicionalmente, el sistema permite gestionar el suministro eléctrico de los puestos de trabajo, procurando que estos solo se activen cuando se haya registrado un préstamo, lo que optimiza el consumo de energía y mejora la seguridad en el laboratorio. Este enfoque asegura una mayor eficiencia en la gestión de los recursos del laboratorio, al mismo tiempo que se mejora la experiencia de los estudiantes, quienes tienen la posibilidad de continuar con sus investigaciones y proyectos sin interrupciones.

Además, AUTOLAB contribuye a un uso más racional y controlado de los recursos del laboratorio, registrando cada movimiento en una base de datos que permite un seguimiento detallado del estado y disponibilidad de los dispositivos. Esto se traduce en una mayor transparencia y en la reducción de riesgos de pérdidas o usos indebidos. De esta forma, AUTOLAB no solo responde a la necesidad interna de la universidad de mejorar la administración de sus recursos, sino que también se alinea con las tendencias actuales de modernización en la educación, aportando a la visión de un campus más automatizado y adaptado a las necesidades tecnológicas del futuro.

## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema para automatizar el proceso de préstamo de equipos en el laboratorio de electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, mediante técnicas de automatización para la entrega, registro y monitoreo de equipos, así como la gestión del suministro eléctrico en los puestos de trabajo.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Analizar el sistema actual de préstamo de equipos en el laboratorio de electrónica de la PUJC.
- Identificar y evaluar las posibles tecnologías para el proceso de automatización requerido en el proyecto.
- Diseñar un subsistema para la entrega de equipos que le permita a los estudiantes solicitarlos de forma autónoma.
- Diseñar un subsistema que permita la inspección en tiempo real de información como total de equipos en inventario, total de equipos prestados y total de equipos disponibles.
- Diseñar un mecanismo automatizado para controlar el suministro eléctrico en los puestos de trabajo, asegurando que solo se active cuando se realicen préstamos autorizados.
- Prototipar y evaluar las características y el funcionamiento del sistema y de cada uno de los subsistemas.
- Implementar el diseño del sistema en las instalaciones del laboratorio de electrónica de la PUJC.

## 4. Estado del arte

Actualmente en el laboratorio de la universidad Javeriana de Cali, se maneja un sistema de registro por medio de código de barra los cuales son leídos con un lector laser. Además, se diligencia un formato sobre el papel en donde se registra al nombre de quién genera el préstamo de los dispositivos del laboratorio.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el uso de laboratorios es de suma importancia para el desarrollo de habilidades prácticas que los estudiantes de ingeniería electrónica y biomédica necesitan en su vida profesional. Si bien es cierto que en la universidad Javeriana los estudiantes tienen acceso a unos laboratorios de buen nivel, actualmente existe la oportunidad de mejorar la disponibilidad de estos espacios a través de sistemas óptimos para el proceso de solicitud de los materiales y herramientas electrónicas.

Para poder ofrecer una solución apropiada se consultó distintos proyectos que resolvieron problemáticas similares a la que se abarca en este proyecto en cuestión, a continuación, se listan algunos de los proyectos consultados.

### 4.1 RFID Labeling of Police Equipment

En 2021, Giulio Maria Bianco, Nicoletta Panunzio, Antonio Pintaudi y Salvatore Santamaria y otros llevaron a cabo un estudio para evaluar la viabilidad de utilizar la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) en la gestión del equipamiento de los departamentos de policía [6].

El problema que abordaron fue que la gestión de equipos en la policía se hacía de manera manual, lo que causaba retrasos y problemas como pérdida de elementos o asignaciones incorrectas.

Se evaluaron 12 objetos representativos del equipo policial para determinar si se podían integrar etiquetas RFID comerciales en ellos. Estas etiquetas se incorporaron a los artículos y se realizaron pruebas preliminares en un almacén de la policía utilizando una puerta RFID.

Los resultados fueron positivos, ya que la puerta RFID pudo leer exitosamente todos los elementos etiquetados en las cajas. Sin embargo, se observó que la presencia de dos elementos etiquetados idénticos reducía la distancia máxima de lectura en un 50%. Esto sugiere que se debe tener precaución al organizar los equipos dentro de las cajas, dependiendo de las dimensiones de la puerta RFID.

En resumen, los autores investigaron y demostraron experimentalmente que la tecnología RFID es viable y efectiva para la gestión del equipamiento de las fuerzas policiales, lo que podría reducir los problemas asociados con la gestión manual y mejorar la eficiencia en los departamentos de policía.

### 4.2 Smart Parking Applications Using RFID Technology

En septiembre de 2007, Zeydin PALA y Nihat INAN; abordaron una problemática en la gestión de estacionamientos con tecnología RFID. Ellos dispusieron de lectores RFID, etiquetas, barreras, computadoras y de un software para controlar los check-ins y check-outs de los estacionamientos [7]. El software utilizado en el estudio se encarga de la gestión,

el control, los informes de transacciones y las tareas de operación para los estacionamientos ubicados en diferentes partes de la ciudad. Por lo tanto, a través de lo mencionado, ellos dieron una solución para mejorar la gestión de estacionamientos y reducir los costos de personal mediante el uso de tecnología RFID, software y una base de datos para almacenar y administrar los datos de seguimiento de vehículos.

### **4.3 Self Service System for Library Automation**

En 2019, Nyoman Karna, Donny Pratama y Muhammad Ramzani de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Telkom en Bandung, Indonesia trabajaron en "Self Service System for Library Automation" [8]. El problema que abordaron fue el cómo mejorar los servicios de la biblioteca para los estudiantes mediante la implementación de sistemas de auto-servicio basados en RFID. La solución que propusieron fue un sistema de auto-devolución que minimiza las prácticas fraudulentas y mejora la eficiencia energética mediante la implementación de dos características adicionales: el sistema de auto-devolución se enciende solo cuando se presenta un libro y se apaga después de un tiempo específico, y envía la identificación del libro cada cierto tiempo.

### **4.4 Resource Management with RFID Technology in Automatic Warehouse System**

Guidong Liu, Wensheng Yu y Yu Liu, realizaron una investigación que abordó los desafíos en la gestión de recursos en un almacén automatizado [9]. Ellos propusieron un sistema de gestión de recursos que utiliza tecnología RFID para acceder a información en tiempo real sobre la posición y el proceso de operación de los equipos de manipulación de materiales, así como datos sobre los elementos de carga en el almacén.

El sistema de gestión de almacenes desarrollado tenía como objetivo seleccionar de manera eficiente los recursos disponibles para gestionar las órdenes de operación del almacén. Para validar la eficacia de este sistema, los autores construyeron un almacén experimental en el Instituto de Automatización de la Academia de Ciencias de China.

Los resultados de la investigación mostraron mejoras significativas en la utilización del espacio, la velocidad de carga y una reducción de errores relacionados con el trabajo, así como una disminución de los costos operativos en comparación con un sistema similar que no utilizaba tecnología RFID.

## 5. Marco teórico

### 5.1 Sistema RFID: Componentes y Funciones

Un sistema RFID (Radio Frequency Identification) permite identificar, rastrear y gestionar objetos o personas mediante la transmisión de datos sin contacto. Este tipo de sistema se utiliza ampliamente en aplicaciones de inventario, control de acceso y automatización de procesos. El sistema RFID está compuesto por los siguientes elementos clave:



*Figura 5.1: Ejemplo de sistema RFID*

#### 5.1.1 Tags RFID

- **Definición:** Los tags son dispositivos que almacenan la información de un objeto o producto en un pequeño chip. Pueden ser pasivos, semipasivos o activos, dependiendo de si necesitan o no una fuente de energía externa.
- **Función:** El tag almacena información, como un identificador único, que es leído por el lector RFID. En la imagen de referencia, el tag está en la etiqueta de una prenda de ropa y contiene información sobre el producto.

#### 5.1.2 Lector RFID

- **Definición:** Es un dispositivo que emite una señal de radiofrecuencia y recibe la información almacenada en el tag RFID. Puede ser un lector portátil (como el de la imagen) o fijo, según la aplicación.

- **Función:** Captura la información del tag cuando este se encuentra dentro del rango de la señal de radiofrecuencia. El lector decodifica los datos del tag y los envía a un sistema de procesamiento. En la imagen, el lector está integrado en una pistola de escaneo, permitiendo una lectura cómoda y rápida de etiquetas.

### 5.1.3 Antena RFID

- **Definición:** Es el componente del lector que genera el campo electromagnético necesario para activar el tag RFID y recibir la información de retorno.
- **Función:** Permite que el lector se comunice con los tags dentro del área de cobertura. En dispositivos portátiles como el de la imagen, la antena está integrada en el hardware del lector para mejorar la portabilidad.

### 5.1.4 Sistema de procesamiento de datos

- **Definición:** Es una plataforma o software que procesa y almacena la información recopilada por el lector RFID. Puede ser una base de datos local, un servidor o una solución basada en la nube.
- **Función:** Permite organizar, filtrar y analizar los datos recogidos. Por ejemplo, en el entorno mostrado, el sistema podría registrar el inventario, verificar el stock o gestionar la venta de productos en tiempo real.

### 5.1.5 Middleware o interfaz de usuario

- **Definición:** Es el software intermediario que conecta el hardware RFID con las aplicaciones de negocio o bases de datos.
- **Función:** Simplifica la gestión de datos y la integración del sistema RFID en procesos empresariales. En la imagen, la pantalla del lector muestra una interfaz que permite al operador visualizar los datos del tag y confirmar la lectura.

## Ejemplo de flujo de operación

El flujo básico de funcionamiento es el siguiente:

1. El lector RFID emite una señal electromagnética a través de su antena.
2. Cuando un tag RFID se encuentra dentro del rango de la señal, se activa y envía la información almacenada al lector.
3. El lector capta y decodifica la información del tag.
4. Los datos se envían al sistema de procesamiento, donde se almacenan y analizan según los requerimientos del negocio.
5. El operador puede visualizar los datos en tiempo real y tomar decisiones basadas en la información obtenida.

## 5.2 ESPNOW

ESP-NOW es un protocolo de comunicación inalámbrica definido por Espressif, que permite el control directo, rápido y de bajo consumo de dispositivos inteligentes, sin necesidad de un router. ESP-NOW puede funcionar con Wi-Fi y Bluetooth LE, y es compatible con las series de SoC ESP8266, ESP32, ESP32-S y ESP32-C. Es ampliamente utilizado en electrodomésticos inteligentes, control remoto, sensores, etc.

ESP-NOW es un protocolo de comunicación inalámbrica basado en la capa de enlace de datos, que reduce las cinco capas del modelo OSI a una sola. De este modo, no es necesario transmitir los datos a través de la capa de red, la capa de transporte, la capa de sesión, la capa de presentación y la capa de aplicación. Además, no hay necesidad de encabezados o desempaquetadores de paquetes en cada capa, lo que conduce a una respuesta rápida que reduce el retraso causado por la pérdida de paquetes en redes congestionadas [10].

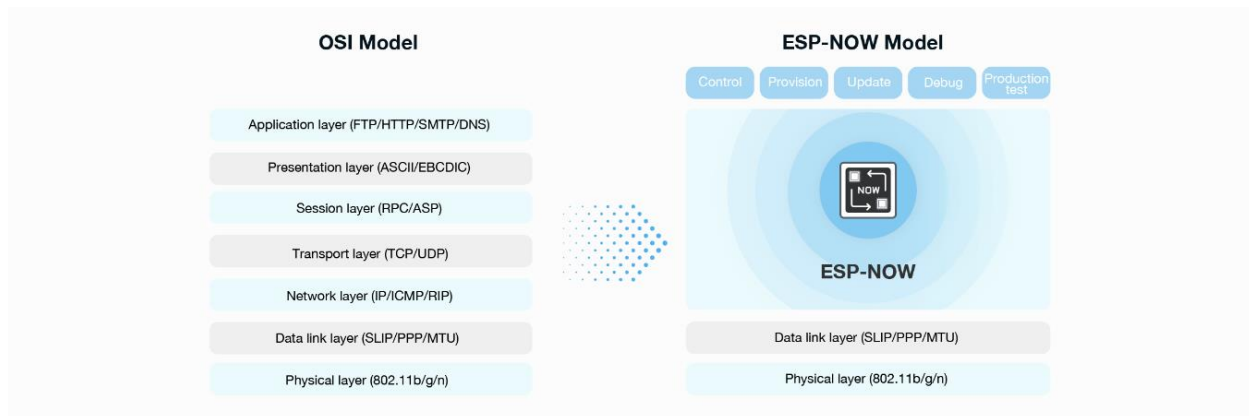


Figura 5.2: ESP-NOW

- Coexiste con Wi-Fi y Bluetooth LE, y es compatible con varias series de SoC Espressif con conectividad Wi-Fi.
- Ocupa menos recursos de CPU y flash.
- Los algoritmos ECDH y AES hacen que la transmisión de datos sea más segura.
- Tiene un método de emparejamiento rápido y fácil de usar que es adecuado para conectar dispositivos "uno a muchos" y "muchos a muchos", al mismo tiempo que los controla.
- Se puede utilizar como un protocolo independiente que ayuda con el aprovisionamiento de dispositivos, la depuración y las actualizaciones de firmware.
- El mecanismo de sincronización de ventanas reduce en gran medida el consumo de energía.

## 5.3 ¿Qué es una API?

Las API son mecanismos que permiten a dos componentes de software comunicarse entre sí mediante un conjunto de definiciones y protocolos. Por ejemplo, el sistema de software del instituto de meteorología contiene datos meteorológicos diarios. La aplicación meteorológica de su teléfono “habla” con este sistema a través de las API y le muestra las actualizaciones meteorológicas diarias en su teléfono.

### 5.3.1 ¿Qué significa API?

API significa “interfaz de programación de aplicaciones”. En el contexto de las API, la palabra aplicación se refiere a cualquier software con una función distinta. La interfaz puede considerarse como un contrato de servicio entre dos aplicaciones. Este contrato define cómo se comunican entre sí mediante solicitudes y respuestas. La documentación de su API contiene información sobre cómo los desarrolladores deben estructurar esas solicitudes y respuestas.

### 5.3.2 ¿Cómo funcionan las API?

La arquitectura de las API suele explicarse en términos de cliente y servidor. La aplicación que envía la solicitud se llama cliente, y la que envía la respuesta se llama servidor. En el ejemplo del tiempo, la base de datos meteorológicos del instituto es el servidor y la aplicación móvil es el cliente.

Las API pueden funcionar de cuatro maneras diferentes, según el momento y el motivo de su creación.

#### **API de SOAP**

Estas API utilizan el protocolo simple de acceso a objetos. El cliente y el servidor intercambian mensajes mediante XML. Se trata de una API menos flexible que era más popular en el pasado.

#### **API de RPC**

Estas API se denominan llamadas a procedimientos remotos. El cliente completa una función (o procedimiento) en el servidor, y el servidor devuelve el resultado al cliente.

#### **API de WebSocket**

La API de WebSocket es otro desarrollo moderno de la API web que utiliza objetos JSON para transmitir datos. La API de WebSocket admite la comunicación bidireccional entre las aplicaciones cliente y el servidor. El servidor puede enviar mensajes de devolución de llamada a los clientes conectados, por lo que es más eficiente que la API de REST.

## **API de REST**

Estas son las API más populares y flexibles que se encuentran en la web actualmente. El cliente envía las solicitudes al servidor como datos. El servidor utiliza esta entrada del cliente para iniciar funciones internas y devuelve los datos de salida al cliente. Veamos las API de REST con más detalle a continuación [11].

## **6. Metodología de la investigación**

La metodología utilizada en el desarrollo del proyecto AUTOLAB es la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), la cual es ampliamente utilizada en el ámbito de la ingeniería para guiar el desarrollo de soluciones tecnológicas. Esta metodología permite un enfoque integral que abarca desde la identificación de necesidades y la conceptualización de soluciones hasta la implementación y operación del sistema final. Cada una de las fases del modelo CDIO se detalla a continuación:

### **6.1 Concebir**

En esta primera fase se identifican y analizan las necesidades del laboratorio de electrónica y telecomunicaciones de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, con un enfoque en la problemática relacionada con la disponibilidad limitada del encargado del laboratorio para gestionar los préstamos de dispositivos. A partir de este análisis, se definieron los objetivos del proyecto AUTOLAB, que busca automatizar el proceso de préstamo de dispositivos a través de la implementación de un sistema de casilleros controlados por tecnología RFID y microcontroladores ESP32.

Las actividades desarrolladas en esta etapa incluyen:

#### **6.1.1 Análisis de la situación actual**

Actualmente en el laboratorio de electrónica de la Universidad Javeriana de Cali se maneja un sistema de registro por medio de un lector láser que reconoce códigos de barras, códigos sobre etiquetas o stickers que identifican a cada dispositivo o elemento dentro del inventario del laboratorio. Además, se diligencia un formato en papel en donde el estudiante registra sus datos básicos personales y el laboratorista registra los dispositivos y elementos prestados al estudiantes junto con un número denominado consecutivo, un número generado por computadora que asocia toda la información de dicho préstamo con un registro en la base de datos del software laborad, un programa diseñado específicamente para llevar un control sobre el inventario y el préstamo de equipos en el laboratorio de electrónica, de esta forma, cuando el laboratorista desee acceder a la información asociada con dicho préstamo, que contiene datos tales como fecha y hora del préstamo, nombre y código institucional del estudiante que solicitó el préstamo y dispositivos entregados, solo basta con digitar el número consecutivo en el programa.

Teniendo en cuenta el proceso descrito anteriormente, se realizó un diagnóstico del sistema de préstamos manual existente, identificando las limitaciones y desafíos del modelo actual, como la dependencia del personal para la supervisión y la limitación de acceso fuera de los horarios de atención.

### **6.1.2 Estudio de necesidades de los usuarios**

Según una encuesta realizada a estudiantes de ingeniería electrónica e ingeniería biomédica, se evidenció una alta demanda del servicio de préstamo de equipos en el laboratorio de Guayacanes. De los 50 estudiantes encuestados, cada uno realiza, en promedio, dos solicitudes de préstamo al día. Teniendo en cuenta que entre ambas carreras la cantidad total de estudiantes ronda los 180, esto resulta en un volumen significativo de solicitudes diarias.

Adicionalmente, el estudio mostró que un estudiante de estas carreras asiste al laboratorio, en promedio, 4 días a la semana, de los 5 que este permanece abierto, lo que refuerza la necesidad de un sistema de préstamo eficiente.

Otra problemática identificada es la naturaleza manual del proceso de préstamo de equipos, el cual puede ser lento y poco práctico. Según la misma encuesta, el 58% de los estudiantes consideró que el tiempo de espera para la entrega de equipos es alto, mientras que solo el 34% opinó que el tiempo es adecuado. El resto de los encuestados se dividió entre quienes calificaron el tiempo de espera como "muy bajo" (2%), "bajo" (4%) y "muy alto" (2%).

Ante esta situación, a partir de la encuesta y de entrevistas con estudiantes y personal del laboratorio, se identificó la necesidad de un sistema que permita un acceso más flexible y ágil a los dispositivos. Esto motivó la búsqueda de una solución automatizada para mejorar la experiencia de los usuarios y optimizar la gestión de préstamos de equipos en el laboratorio.

### **6.1.3 Definición de requerimientos del sistema**

Luego de conocer el funcionamiento y la situación actual del proceso de préstamo de elementos en el laboratorio, se logró identificar las características básicas a optimizar para poder alcanzar lo que se propone y poder dimensionar una mejora a través de la automatización.

1. El nuevo sistema de préstamo funcionará sin la estricta presencia del personal del laboratorio.
2. La interacción se dará entre el usuario y múltiples casilleros automatizados.
3. Se registrará y se llevará control de toda la actividad de préstamos que realice los estudiantes.
4. El usuario necesitará el carné estudiantil para realizar las solicitudes de estos dispositivos.
5. Se requiere una interfaz gráfica para visualizar a través de una pantalla de tal forma que el usuario pueda interactuar con el sistema.
6. Se requiere integrar una base de datos para poder gestionar la información de los préstamos y toda la actividad relacionada.
7. Se vinculará el control del flujo eléctrico de los puestos de trabajo con la asignación del casillero.

## 6.2 Diseñar

La fase de diseño consiste en la planificación detallada de la solución tecnológica que se va a desarrollar. En esta etapa, se elaboran los planos conceptuales del sistema y se seleccionan las tecnologías y componentes que formarán parte de AUTOLAB.

Las actividades llevadas a cabo durante el diseño incluyen:

### 6.2.1 Arquitectura del sistema

Partiendo de los requerimientos establecidos hasta el momento, se diseñó la estructura del sistema AUTOLAB, cuyo propósito es automatizar el proceso de préstamo de dispositivos en el laboratorio, prescindiendo de la presencia continua de un encargado.

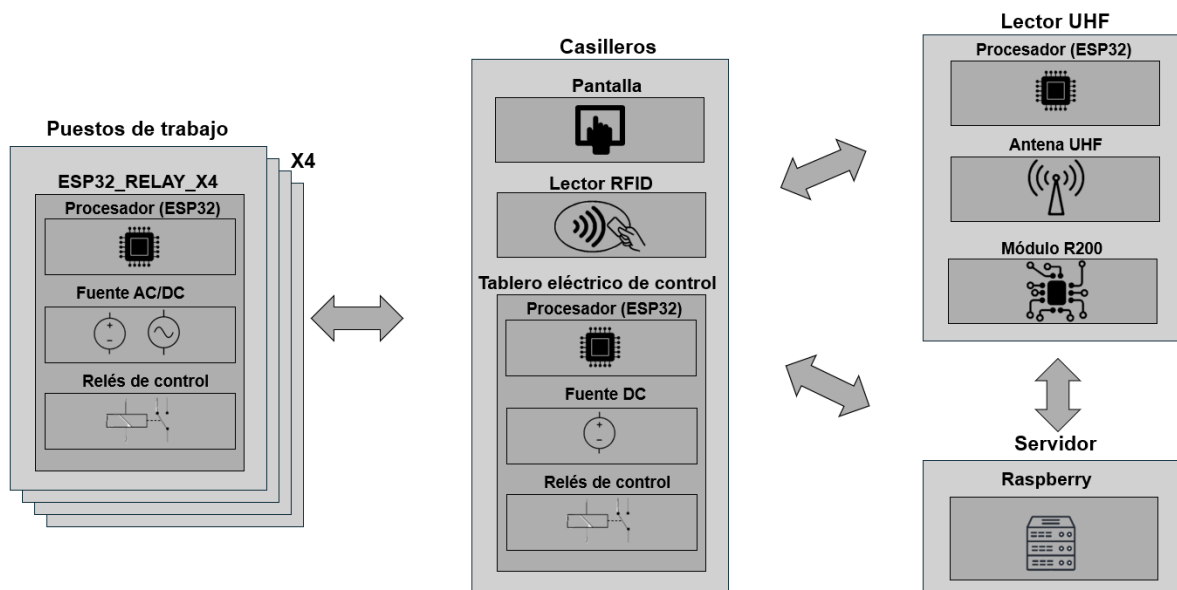


Figura 6.1: Arquitectura del sistema

En la figura 6.1 se ilustra una visión general de la estructura del sistema AUTOLAB, el cual está diseñado para automatizar la gestión de préstamos de dispositivos en un laboratorio académico, asegurando eficiencia y trazabilidad. Su funcionamiento se organiza en cuatro bloques principales: los casilleros, el lector UHF, el servidor y el control de los puestos de trabajo. A continuación, se detalla el rol de cada bloque y sus componentes de hardware.

#### 1. Casilleros

El bloque de los casilleros es el punto de interacción física del usuario con el sistema. Este bloque está compuesto por varios dispositivos clave que trabajan en conjunto para garantizar la experiencia del usuario:

- **Pantalla:** Una pantalla táctil instalada en los casilleros permite al usuario visualizar mensajes e interactuar con el sistema. Por ejemplo, el usuario puede ver el estado de los préstamos, leer instrucciones o confirmar la selección de los elementos a retirar.
- **Lector RFID:** Este dispositivo lee las tarjetas de identificación de los usuarios (tags RFID) a través de la placa MFRC522. Su función principal es autenticar al usuario y vincular su identidad con el sistema.
- **Tablero eléctrico de control:**
  - **Procesador (ESP32):** Actúa como el núcleo de procesamiento de este bloque. Recibe la información de la pantalla, el lector RFID y la antena UHF, envía comandos al servidor, a los puestos de trabajo y gestiona la apertura o cierre de los casilleros.
  - **Fuente DC:** Proporciona la energía necesaria para los distintos componentes electrónicos dentro del casillero.
  - **Relés de control:** Controlan el mecanismo de apertura y cierre de las puertas de los casilleros en respuesta a las instrucciones recibidas desde el procesador.

El flujo de funcionamiento inicia cuando el usuario se autentica con el lector RFID. El procesador valida la información con el servidor, y si el usuario es reconocido, se permite el acceso al casillero asignado. En una sección posterior se especifica el [firmware](#) que controla este primer módulo.

## 2. Lector UHF

Este bloque se encarga de la lectura y gestión de los dispositivos etiquetados con tecnología RFID UHF. Sus principales componentes son:

- **Procesador (ESP32):** Es responsable de controlar la antena UHF y gestionar las lecturas de los tags RFID. Este procesador filtra las lecturas para evitar duplicados y envía los datos al servidor para su validación y luego ser enviados al procesador de los casilleros con el objetivo de que el usuario visualice las respectivas lecturas.
- **Módulo R200:** El módulo R200 es el dispositivo principal que permite realizar lecturas de alta frecuencia (UHF) de los tags RFID. Este módulo está conectado al procesador ESP32 a través de los pines de comunicación serial (RX y TX) y opera con una fuente de 5V. Su diseño optimiza la lectura de múltiples tags de manera simultánea, siendo ideal para aplicaciones que requieren identificar varios dispositivos en un corto periodo de tiempo.
- **Antena UHF:** Trabaja en conjunto con el módulo R200 para leer las etiquetas RFID en dispositivos electrónicos. Su capacidad de operar a distancia permite identificar elementos sin necesidad de contacto físico.

El lector UHF se activa durante las etapas de retiro o devolución de dispositivos. El módulo R200 y la antena UHF leen los tags RFID de los dispositivos, y el procesador ESP32 envía esta información al servidor para actualizar el estado de los préstamos. De igual manera en una sección posterior se especifica el [firmware](#) que controla este segundo módulo.

### 3. Servidor

El **servidor**, soportado en un Raspberry Pi 3, el cual es un ordenador de bajo coste y formato compacto constituye el tercer pilar del sistema, ofreciendo una solución robusta para la gestión de información. Este dispositivo integra tanto la base de datos como la API, elementos esenciales para el funcionamiento del sistema:

- **Base de datos:** Contiene la información de los usuarios, los dispositivos y casilleros disponibles y el historial de préstamos. Su diseño asegura un almacenamiento confiable y organizado de los datos, permitiendo generar reportes y mantener un registro detallado.
- **API:** Proporciona una interfaz de comunicación entre los procesadores (ESP32) de los casilleros y el lector UHF con el servidor. La API facilita la transmisión de datos, gestionando solicitudes como la validación de usuarios, el registro de préstamos o la actualización de la disponibilidad de casilleros.

El servidor centraliza todas las operaciones. Al autenticar un usuario, valida sus datos en la base de datos y permite o deniega el acceso al casillero. Durante el proceso de préstamo, registra qué dispositivos han sido retirados, y al final del ciclo, actualiza la disponibilidad de los dispositivos en el sistema. Mas adelante se encuentra más detalle sobre esta [base de datos](#) y la [API](#).

### 4. Puestos de trabajo

Este bloque es responsable del control del suministro de energía a los puestos de trabajo, permitiendo que los dispositivos utilizados en el laboratorio puedan encenderse o apagarse de manera remota según la autorización del sistema. Sus principales componentes son:

- **ESP32\_RELAY\_X4:**
  - **Procesador (ESP32):** Controla el encendido y apagado de los puestos de trabajo, según las solicitudes del servidor y la autenticación del usuario.
  - **Relés de control:** Actúan como interruptores para controlar el suministro eléctrico de cada puesto de trabajo.
  - **Fuente de alimentación:** Suministra energía a los componentes electrónicos del circuito de control.

Cuando se confirme que un préstamo fue correcto, este bloque recibe la orden de activar el flujo eléctrico en un respectivo puesto de trabajo. Una vez finalizado el préstamo, el suministro eléctrico se desactiva para garantizar la seguridad y el ahorro energético.

## Integración de los bloques

El sistema opera en un flujo sincronizado de información entre los cuatro bloques:

1. **Autenticación del usuario:** El usuario presenta su tarjeta RFID en el lector de los casilleros. La información es enviada al servidor para verificar su identidad y acceso.
2. **Selección y registro de dispositivos:** Una vez autenticado, el usuario puede acceder a los dispositivos almacenados en los casilleros. Durante este proceso, el lector UHF detecta los dispositivos que se retiran o devuelven.
3. **Gestión del suministro eléctrico:** Si el usuario realizó un préstamo correcto, se habilita el suministro en su puesto de trabajo hasta el momento que regrese y haga la devolución.
4. **Actualización del sistema:** Los datos recolectados por los procesadores en los casilleros y el lector UHF se envían al servidor. Este actualiza la base de datos y asegura que la información refleje el estado actual de los préstamos y dispositivos disponibles.

### 6.2.2 Diseño de la interfaz de usuario

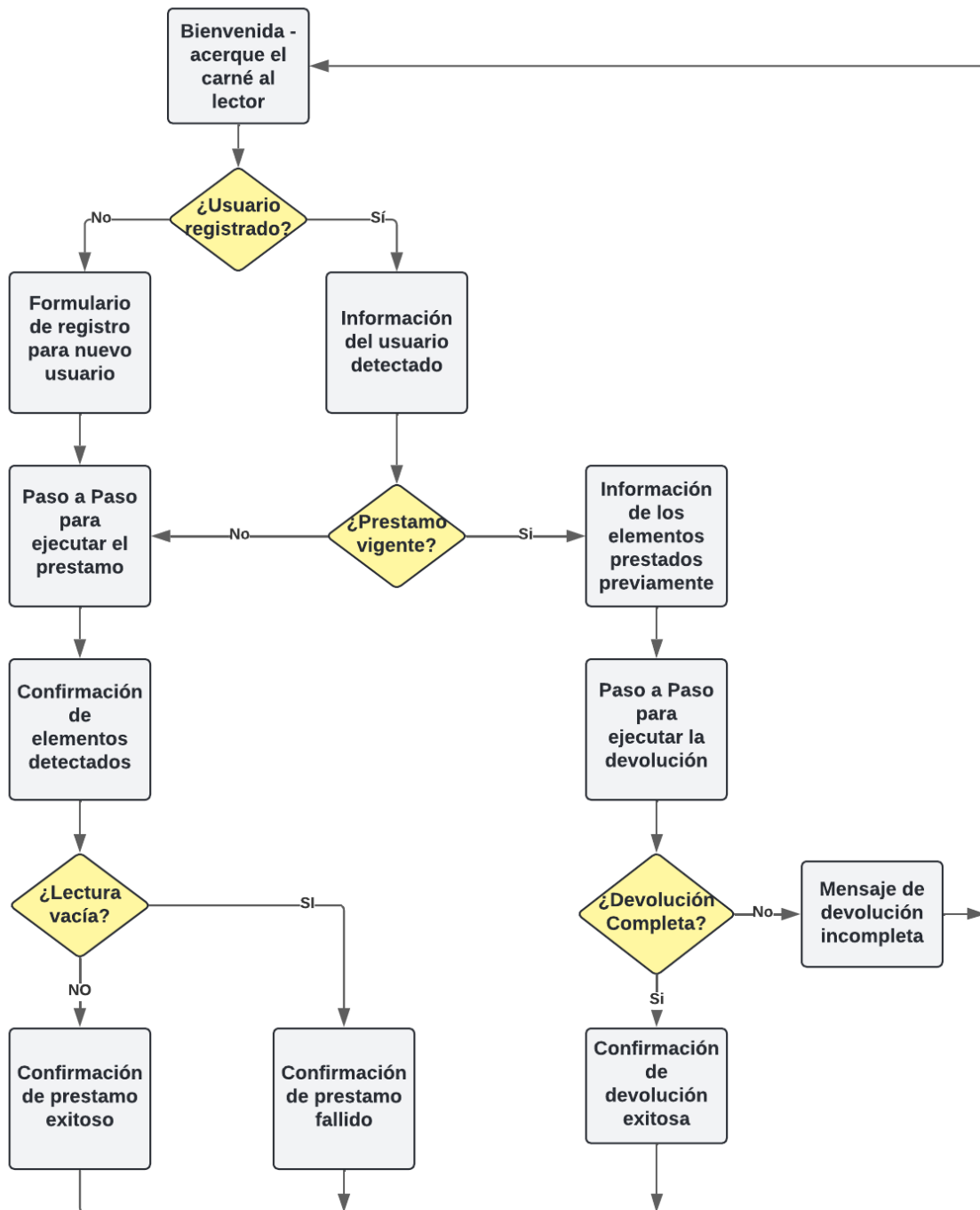
El diseño de la interfaz de usuario para AUTOLAB se enfoca en la creación de una experiencia de usuario intuitiva y accesible, facilitando la interacción de los estudiantes con el sistema de préstamo automatizado.

Para cumplir con estos objetivos de diseño se establecieron las siguientes propiedades:

- Se requiere que se muestre una pantalla de inicio permanentemente desde que no se detecte una lectura de carné.
- Una vez detectada una lectura, se muestra un formulario de registro con información básica la cual queda vinculada a ese código RFID del carné.
- Cuando es un usuario ya registrado, se muestra una pantalla con la información del usuario en cuestión.
- Luego de identificar el usuario, se muestra un paso a paso de cómo realizar el préstamo como tal.
- Finalizado el paso a paso, la siguiente pantalla corresponde a la lectura hecha por la antena UHF que pertenecería a los elementos detectados en el préstamo.
- En caso de ya contar con un préstamo vigente, se muestra los elementos que el usuario tiene en su poder.
- De la misma forma se le muestra un paso a paso para realizar la devolución de los elementos que tiene en su poder el usuario.
- Finalizado el paso a paso, la siguiente pantalla corresponde a la lectura hecha por la antena UHF que pertenecería a los elementos detectados para la devolución.

- Una vez confirmada las lecturas de préstamo o devolución, se debe mostrar una pantalla de fin del proceso.

El siguiente diagrama resume e indica el flujo de las propiedades descritas anteriormente.



### 6.2.3 Selección de hardware y software

A continuación, se abordará las consideraciones que se tuvieron al momento de seleccionar cada componente principal del sistema. El módulo de casilleros contiene una característica importante para el desempeño del sistema y debe ser elegida con bastante precisión. Se trata del dispositivo que va a procesar toda la interacción del sistema y también el que se va a comunicar con el resto de los subsistemas.

Para encontrar la opción pertinente se analizaron las ventajas y desventajas de cada alternativa para así poder decidir con un criterio bien fundamentado.

- **Selección del microcontrolador (para el módulo de casilleros y el lector UHF)**

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Arduino uno	Bajo Costo	No tiene conectividad nativa (WiFi/Bluetooth)
	Amplia comunidad para soporte	Limitado en capacidad de procesamiento
	Compatibilidad con variedad de modulos	
	Fácil de programar	
	Adecuada cantidad de pines	
ESP32	Wifi y bluetooth integrados	Menos pines disponibles
	Bajo Consumo energético	
	Amplia comunidad para soporte	
	Multitarea nativa	
	Se adapta a desarrollos para arduino	
Raspberry Pi 3	Sistema operativo	Alto consumo energético
	Mayor capacidad de procesamiento	Sobrecalificado para tareas simples
	Compatible con multiples lenguajes	Requiere almacenamiento externo

*Figura 6.2: Cuadro comparativo para el microcontrolador-casilleros*

Partiendo de los requerimientos más importantes de esta parte del sistema se opta por el ESP32. Este fue elegido por su conectividad WiFi/Bluetooth integrada, que es crucial para la comunicación del sistema, y su bajo consumo energético, que es ideal para un sistema autónomo. Además, ofrece multitarea, permitiendo gestionar varias funciones simultáneamente, lo cual puede ser una funcionalidad muy útil en caso de que se requieran ejecutar dos tareas simultáneamente.

Por otro lado, con esta elección no se va a subutilizar los recursos de un dispositivo con mayores características de desempeño ya que no se espera ejecutar sistemas operativos desde esta instancia del sistema.

- **Selección de la pantalla (interfaz de usuario)**

En este apartado se estudia la mejor opción para poder cumplir con los requerimientos que se han planteado para el diseño de la interfaz de usuario.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Pantalla TFT	Alta resolución	Compleja de programar
	Soporta gráficos en color	Mayor consumo energético
	Interfaz táctil	Costo superior
	Versatilidad	Soporte limitado
Pantalla OLED	Menor consumo energético	No soporta colores
	Excelente contraste	No es táctil
	Amplio uso en proyectos	Tamaño
Pantalla LCD	Económica	Baja resolución
	Amplia disponibilidad	No soporta gráficos complejos
	Resistente	No es táctil
		Tamaño

Figura 6.3: Cuadro comparativo para pantalla

Después de evaluar cuidadosamente opciones como las pantallas OLED y LCD, ampliamente utilizadas en proyectos de prototipado debido a su eficiencia energética y costos reducidos, se decidió implementar una pantalla TFT de 7 pulgadas modelo MaTouch ESP32-S3 Parallel TFT con tecnología táctil. Esta elección responde a la necesidad de contar con una interfaz de usuario avanzada, más atractiva y funcional, que no solo permitiera visualizar gráficos a color con alta resolución, sino que también ofreciera capacidades táctiles para una interacción más intuitiva y eficiente con el sistema de casilleros.

La pantalla TFT MaTouch ESP32-S3 Parallel de 7" es especialmente adecuada debido a su resolución de 1024x600 píxeles, que permite mostrar gráficos detallados y textos legibles, mejorando la experiencia visual del usuario. A diferencia de las pantallas OLED y LCD, que suelen estar limitadas a gráficos monocromáticos o de baja resolución, la TFT proporciona una gama de colores amplia, lo que permite diseñar interfaces de usuario atractivas y con una alta percepción de calidad. Además, su capacidad táctil elimina la necesidad de botones físicos, simplificando el diseño y el manejo del sistema.

Si bien esta pantalla presenta un mayor consumo energético y un costo superior comparado con las opciones OLED y LCD, sus ventajas en términos de usabilidad y experiencia de usuario compensan estos aspectos. La interacción táctil facilita la navegación y el control del sistema por parte de los usuarios, permitiéndoles seleccionar casilleros, visualizar información en tiempo real y realizar otras acciones de manera directa y sin necesidad de dispositivos adicionales. Esto mejora la accesibilidad del sistema AUTOLAB, haciéndolo más intuitivo y versátil para quienes lo operen.

- **Comparación de tecnologías: UHF vs. HF vs. LF**

Un factor relevante en este proyecto es poder lograr un sistema autónomo, por lo que principalmente se consideraron opciones que permitan al usuario llevar a cabo la operación de préstamo casi de manera natural en donde no tenga que preocuparse por realizar ningún tipo de registro de los elementos. Para lograr esto se consideró detectar los elementos sin contacto o cercanía a ningún sensor, Por lo tanto, lo que se requiere es un dispositivo que haga lectura de los movimientos de los elementos una vez retirados de su lugar de almacenamiento.

<b>Criterio</b>	<b>UHF (860-960 MHz)</b>	<b>HF (13.56 MHz)</b>	<b>LF (125-134 kHz)</b>
<b>Alcance de lectura</b>	Hasta 12 m (dependiendo del lector y las condiciones)	Generalmente hasta 1 m	Hasta 30 cm
<b>Capacidad de lectura múltiple</b>	Alta (soporta lectura simultánea de múltiples tags)	Media (lectura múltiple limitada)	Baja (dificultad para leer múltiples tags a la vez)
<b>Velocidad de lectura</b>	Alta	Media	Baja
<b>Interferencia</b>	Afectado por materiales metálicos y líquidos	Menos afectado por metales o líquidos	Funciona bien cerca de metales o líquidos
<b>Costos</b>	Moderados a altos (tags y lectores)	Moderados (tags y lectores)	Bajos (tags y lectores)
<b>Aplicaciones comunes</b>	Gestión de inventarios, logística, control de acceso en grandes áreas	Tarjetas inteligentes, pagos sin contacto	Control de acceso, sistemas de seguimiento de mascotas
<b>Frecuencia de operación</b>	860-960 MHz	13.56 MHz	125-134 kHz

*Figura 6.4: Cuadro comparativo para frecuencia de la antena*

Para permitir la funcionalidad que se busca evidentemente se necesitó un dispositivo tipo antena que tenga facultades de realizar lectura a cierta distancia, por lo que según la aplicación que se está desarrollando, se analizaron los rangos que aparecen la figura 6.4.

Sin embargo, luego de considerar la distribución física de los componentes del sistema, se definió que lo más apropiado es radiar un área que incluya toda la zona de los casilleros para que sea posible captar correctamente las respectivas lecturas de los elementos en cuestión.

Por lo tanto, lo más apropiado para esta funcionalidad es optar por una antena que trabaje a la frecuencia UHF las cual cumple con las características buscadas para este proyecto. Su capacidad de leer múltiples tags a una mayor distancia, lo que permite la identificación rápida y eficiente de los elementos prestados en el laboratorio sin que el usuario tenga que colocarlos uno por uno cerca de un lector. Aunque tecnologías como HF y LF tienen sus ventajas en términos de costos y resistencia a interferencias, la mayor velocidad y el alcance de lectura de UHF lo hacen ideal para un sistema automatizado de préstamos con múltiples dispositivos.

- **Selección de la base de datos (gestión del servidor)**

En un inicio se dimensionó trabajar con bases de datos de la universidad, por lo que para ello se gestionaron las respectivas reuniones de asesorías para poder conocer los requerimientos que se solicitan al momento de trabajar con estos recursos, sin embargo, debido a la compleja situación de permisos por privacidad y manejo de información confidencial, finalmente se optó por desarrollar bases de datos propias y gestionar localmente la información del sistema en desarrollo. Por lo anterior, se hizo necesario la búsqueda de una alternativa apropiada para ser implementada en este proyecto.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
MySQL	Escalable para múltiples usuarios	Requiere más recursos del servidor
	Amplio soporte en servidores	Mayor complejidad en la configuración
	Open Source	Varias de las utilidades de MySQL no están documentadas
	Garantiza un buen rendimiento de las aplicaciones	
	Es compatible con variedad de plataformas	
SQLite	Ligero	Menos escalable para múltiples usuarios
	No necesita servidor dedicado	Menos eficiente en operaciones concurrentes
	Fácil de implementar	Funcionalidad Limitada
	Es multiplataforma	
PostgreSQL	Robusto en manejo de grandes volúmenes de datos	Complejo de configurar
	Transacciones ACID fuertes	Requiere más recursos del sistema
	Seguridad avanzada	Lento en actualizaciones en bases de datos pequeñas
		Replicación complicada

*Figura 6.5: Cuadro comparativo para la base de datos.*

Aunque actualmente se encuentran alternativas muy interesantes y potentes para requerimientos como el propuesto, por experiencias anteriores y conocimientos en este tipo de gestores, MySQL fue seleccionada debido a su capacidad para manejar múltiples conexiones de usuarios simultáneamente, lo que es esencial para un sistema que interactúa

con varios módulos. Además, es ampliamente soportada y tiene una gran comunidad que facilita su integración.

- **Selección de lenguaje para la API (Comunicaciones)**

Desde el momento que se intentó trabajar con los servicios de la universidad, se tenía conocimiento de la necesidad de construir una API ya que para los estudiantes es complejo conseguir los permisos a la información directamente a la base de datos, por lo tanto, se requería construir una API para consumir un servicio que iba a ser proporcionado por el departamento encargado.

Finalmente, esta opción no se concretó, no obstante, ahora se hace necesario una API para poder acceder desde los ESP32 a una base de datos MySQL.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
PHP	Amplio soporte en servidores web	Menos eficiente en aplicaciones de alto rendimiento
	Fácil de aprender y usar	No tan moderno como otras opciones
	Buen rendimiento en tareas de servidor	
Python (Flask)	Excelente para desarrollo rápido	No es tan rápido como Node.js
	Gran soporte de bibliotecas	Más lento en operaciones intensivas de CPU
	Código simple y claro	
Node.js	Muy rápido y eficiente	Mayor curva de aprendizaje
	Ideal para manejar muchas conexiones concurrentes	Complejidad en la depuración

Figura 6.6: Cuadro comparativo para lenguaje de la API.

PHP fue seleccionado para desarrollar la API debido a su simplicidad, amplia adopción y soporte en la mayoría de los servidores web. Además, su buen rendimiento en tareas de servidor y facilidad para integrar bases de datos lo convierten en una opción óptima para AUTOLAB.

### 6.3 Implementar

La fase de implementación se enfoca en el desarrollo de cada módulo descrito en el sistema AUTOLAB y en la integración de todos los componentes, asegurando que funcionen de manera conjunta y sin contratiempos. Durante esta etapa, se realizan pruebas unitarias en cada módulo para verificar su correcto desempeño, antes de proceder con su integración en el sistema completo. Esta metodología permite detectar y solucionar problemas individuales en los componentes, facilitando una integración más eficiente y minimizando posibles errores en el sistema final.

Es importante señalar que durante el inicio de la implementación surgieron diversos inconvenientes con la configuración de la pantalla inicialmente seleccionada para la interfaz de usuario. La pantalla TFT elegida presentó incompatibilidades con varias librerías esenciales para el proyecto, lo que generó conflictos en el código y retrasos en las pruebas

iniciales. Aunque se intentó resolver estos problemas, incluyendo consultas al soporte técnico del proveedor, finalmente se determinó que continuar con esta pantalla implicaría un retraso considerable en el cronograma de implementación.

Ante esta situación, se decidió adoptar una alternativa más flexible. Se trató de la implementación de un servidor web accesible desde cualquier dispositivo inteligente conectado a la red local de AUTOLAB. Esta solución no solo eliminó la necesidad de una pantalla específica, sino que también añadió un nivel de versatilidad significativo, ya que los usuarios pueden visualizar la interfaz desde cualquier dispositivo compatible con un navegador web. Al mantener el mismo requerimiento funcional, esta opción permitió avanzar con las pruebas y validaciones del sistema sin comprometer la usabilidad ni el rendimiento esperado.

Las actividades desarrolladas en esta fase de implementación incluyen:

### 6.3.1 Firmware del procesador-casilleros

Luego de especificar que se va a usar el ESP32 como cerebro del sistema y como se observó desde la arquitectura presentada para el proyecto, este procesador situado y encargado de procesar la información de los casilleros debe soportar el funcionamiento de componentes como el lector RFID, el servidor web, el control de los cerrojos electromagnéticos y la comunicación inalámbrica con los otros módulos y el servidor de base de datos.

El código que se construyó para este apartado contiene librerías principales como:

#### **#include <WiFi.h>**

La librería **WiFi.h** proporciona las herramientas necesarias para conectar el ESP32 a redes Wi-Fi. Permite configurar el dispositivo como cliente o punto de acceso (AP), gestionar conexiones a redes, obtener información sobre la red, entre otras funcionalidades. Es fundamental para cualquier proyecto que requiera conectividad inalámbrica.

- **Funciones clave:**

- `WiFi.begin()`: Conecta a una red Wi-Fi.
- `WiFi.status()`: Devuelve el estado de la conexión.
- `WiFi.localIP()`: Obtiene la dirección IP local asignada al ESP32.

#### **#include <HTTPClient.h>**

La librería **HTTPClient.h** permite realizar solicitudes HTTP (GET, POST, PUT, DELETE) desde el ESP32. Es ideal para interactuar con APIs o servidores web, enviando y recibiendo datos a través de HTTP. Es esencial en proyectos donde el ESP32 actúa como cliente y debe comunicarse con servicios externos o internos.

- **Funciones clave:**
  - `http.begin(url)`: Inicia la conexión HTTP con un servidor.
  - `http.GET()`, `http.POST()`: Realiza solicitudes HTTP.
  - `http.getString()`: Obtiene la respuesta del servidor en formato de cadena.

#### **#include <ArduinoJson.h>**

La librería **ArduinoJson** es una herramienta poderosa para manipular datos en formato JSON, muy utilizada en proyectos que necesitan procesar datos de APIs, sistemas remotos, o almacenar información estructurada. Permite la creación, serialización y deserialización de objetos y arrays JSON.

- **Funciones clave:**
  - `deserializeJson()`: Convierte un string JSON en un objeto o array JSON.
  - `JsonDocument`: Estructura que almacena datos JSON.
  - `JsonObject` y `JsonArray`: Permite acceder a los valores y elementos del JSON.

#### **#include <esp\_wifi.h>**

Esta librería es parte del SDK de **ESP-IDF** y proporciona un control más bajo sobre la funcionalidad de Wi-Fi del ESP32. Permite configurar el comportamiento de la radio Wi-Fi, gestionar el canal de comunicación, ajustar los modos de energía y más.

- **Funciones clave:**
  - `esp_wifi_init()`: Inicializa la funcionalidad Wi-Fi.
  - `esp_wifi_set_mode()`: Establece el modo de funcionamiento (cliente o AP).
  - `esp_wifi_start()`: Inicia el Wi-Fi.

#### **#include <WebServer.h>**

La librería **WebServer.h** permite al ESP32 actuar como un servidor web. Esto es útil en proyectos donde el dispositivo debe proporcionar una interfaz basada en HTML a la que los usuarios pueden acceder desde sus navegadores.

- **Funciones clave:**
  - `server.on()`: Establece rutas HTTP para manejar peticiones específicas.
  - `server.begin()`: Inicia el servidor web.

- `server.handleClient()`: Procesa las solicitudes HTTP entrantes.

### **#include <esp\_now.h>**

La librería **ESP-NOW** permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos ESP32 sin necesidad de Wi-Fi. Utiliza una tecnología de red de corto alcance para enviar y recibir mensajes rápidamente entre varios dispositivos sin infraestructura de red.

- **Funciones clave:**

- `esp_now_init()`: Inicializa el protocolo ESP-NOW.
- `esp_now_send()`: Envía datos a otro dispositivo.
- `esp_now_register_recv_cb()`: Establece un callback para recibir mensajes.

### **#include <Arduino.h>**

Esta es la librería base que define las funciones esenciales de Arduino, como la inicialización del microcontrolador, control de pines, temporizadores, etc. Es parte de todos los programas escritos para la plataforma Arduino.

- **Funciones clave:**

- `setup()`, `loop()`: Funciones principales en cualquier sketch de Arduino.
- `digitalWrite()`, `digitalRead()`: Control de pines digitales.
- `analogRead()`, `analogWrite()`: Lectura y escritura de valores analógicos.

### **#include <SPI.h>**

La librería **SPI.h** permite al ESP32 comunicarse con dispositivos periféricos usando el protocolo **SPI** (Serial Peripheral Interface), como sensores, módulos de almacenamiento o pantallas. SPI es un protocolo rápido y eficiente para la transmisión de datos.

- **Funciones clave:**

- `SPI.begin()`: Inicia la comunicación SPI.
- `SPI.transfer()`: Envía y recibe datos en un solo ciclo de reloj.
- `SPI.end()`: Finaliza la comunicación SPI.

### **#include <MFRC522.h>**

La librería **MFRC522.h** está diseñada para interactuar con el lector de tarjetas RFID **MFRC522**. Este lector es comúnmente utilizado para leer etiquetas RFID de 13.56 MHz, permitiendo identificar objetos o personas mediante tarjetas o tags.

- **Funciones clave:**

- mfr522.PICC\_IsNewCardPresent(): Detecta si una tarjeta RFID está cerca del lector.
- mfr522.PICC\_ReadCardSerial(): Lee el número de serie de la tarjeta.
- mfr522.PCD\_Init(): Inicializa el lector RFID.

Luego de dar una descripción de las librerías utilizadas a continuación se va a mostrar el diagrama del funcionamiento del resultado del firmware diseñado para controlar todos los movimientos que concierne al módulo de casilleros.

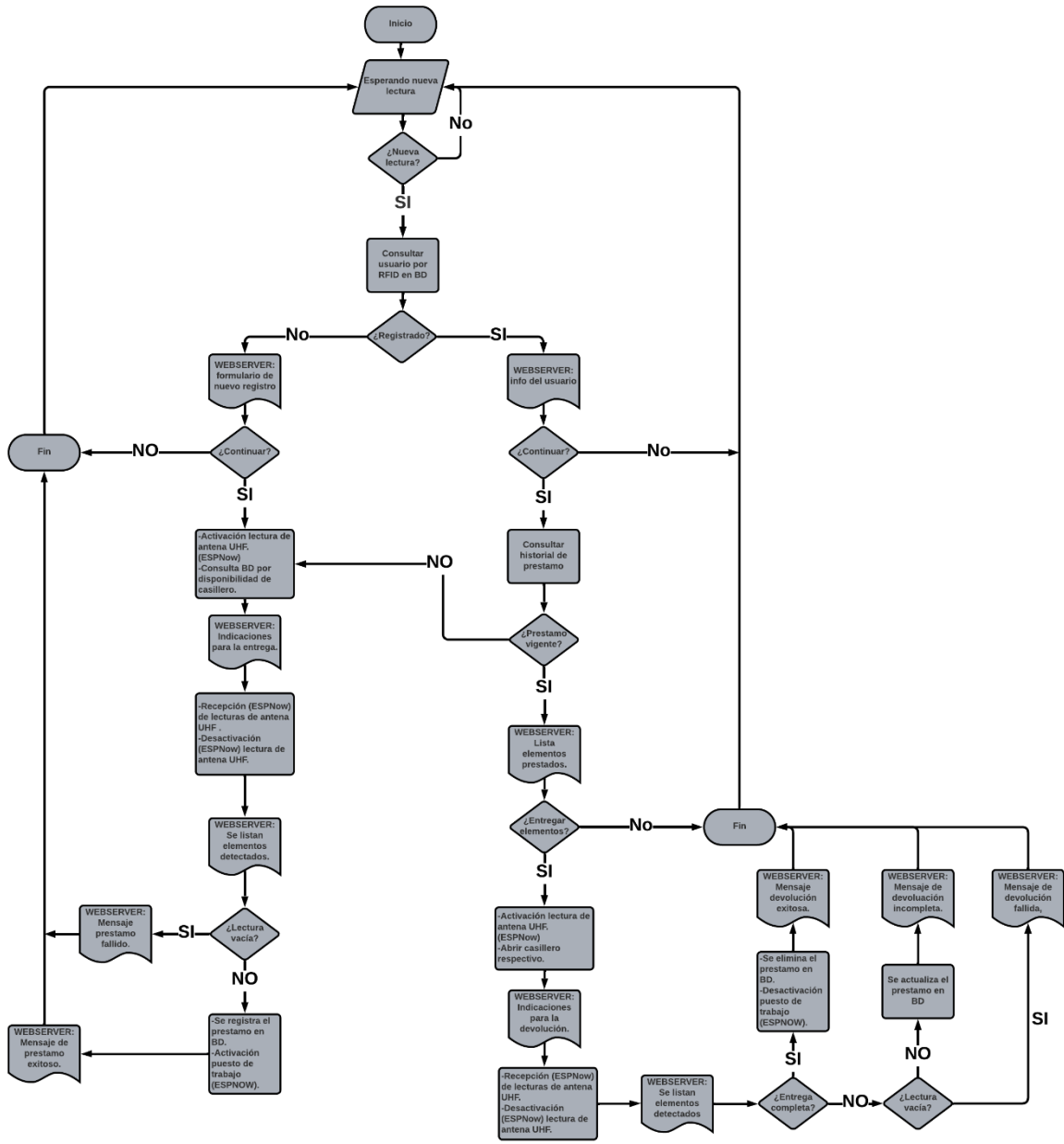


Figura 6.7: Diagrama de flujo para el firmware-casilleros.

La interpretación del diagrama de la figura 6.7 es el siguiente:

- Una vez se energiza el dispositivo y se conecta automáticamente a la red local, se queda a la espera de una nueva lectura, es decir que un usuario se aproxime al lector con su carné estudiantil.
- Dado esto último, se lleva a cabo una consulta a la base de datos para verificar el registro previo del estudiante.

- Luego de esta consulta, se consideran dos casos, el estudiante estaba o no registrado anteriormente.
- En caso de estar registrado previamente, en el servidor web se visualiza la información correspondiente.
- Por el otro lado, si no estaba registrado, el servidor web muestra un formulario de registro el cual debe diligenciar el usuario.
- Luego de este movimiento para ambos casos se le da la opción al usuario de finalizar el proceso en este punto desde el servidor web y volver al inicio.
- Si el usuario que se acabó de registrar decide continuar el procedimiento, entonces se pasa a activar la antena UHF y simultáneamente desde el servidor web se muestra los pasos a seguir para ejecutar el préstamo.
- De la misma manera si el usuario previamente desea continuar, entonces se realiza una consulta a la base de datos con el objetivo de conocer si cuenta con un préstamo vigente.
- En caso de que el usuario registrado previamente no cuente con un préstamo vigente, entonces se sigue con el mismo flujo del usuario recientemente registrado, es decir, desde el servidor web se muestra los pasos a seguir para ejecutar el préstamo.
- Una vez estos usuarios sigan los respectivos pasos de la entrega del préstamo y confirmen a través del servidor web, entonces se procede a desactivar las lecturas de la antena UHF.
- Lo siguiente es representar las lecturas que tuvo la antena en el servidor web para que el usuario las conozca y confirme.
- Finalmente, para este caso, si las lecturas no fueron nulas o vacías entonces se procede a almacenar el préstamo en la base de datos y el servidor web se redirige al inicio nuevamente a la espera de una nueva lectura.
- Efectuado el préstamo, se envía la señal para activar el flujo eléctrico en el puesto de trabajo respectivo.
- Ahora, si anteriormente el usuario que ya estaba registrado contaba con un préstamo vigente, el servidor web muestra dichos elementos.
- Si este usuario decide entregarlos entonces se activa la antena UHF y simultáneamente desde el servidor web se muestran las indicaciones para devolver dichos elementos prestados previamente.
- Cuando el usuario confirme que terminó el proceso entonces se procede a desactivar la antena UHF y al mismo tiempo desde el servidor web se listan los elementos detectados por la misma.
- Finalmente, cuando el usuario confirme que la lectura fue correcta, lo que queda es validar si el usuario entregó todos los elementos que registraban en su nombre en la base de datos.
- Si la entrega fue completa, se elimina el registro de la base de datos y el servidor web regresa al inicio.
- Simultáneamente a la confirmación de la correcta devolución, se hace el envío de la desactivación del flujo eléctrico al respectivo puesto de trabajo.
- Si la entrega fue incompleta, se actualiza la base de datos y se carga el material faltante para una próxima entrega e igualmente el servidor web regresa al inicio.
- Pero si la lectura fue vacía entonces no se altera nada en la base de datos y la operación no influirá en los registros, considerándose operación nula.

### 6.3.2 Firmware procesador-antena UHF

Aunque este módulo a controlar es más simple que el descrito anteriormente, de igual manera va a hacer uso de un ESP32 el cual soportará funciones como la de tener una comunicación serial con el módulo lector R200, consultar al servidor de base de datos y comunicarse inalámbricamente con el módulo del casillero.

Para el desarrollo de estas funciones se usaron las librerías **esp\_now.h**, **WiFi.h**, **Client.h** las cuales ya fueron descritas en la sección anterior.

A continuación, nuevamente para describir el proceso que lleva a cabo el firmware desarrollado para este apartado se usa un diagrama de flujo.

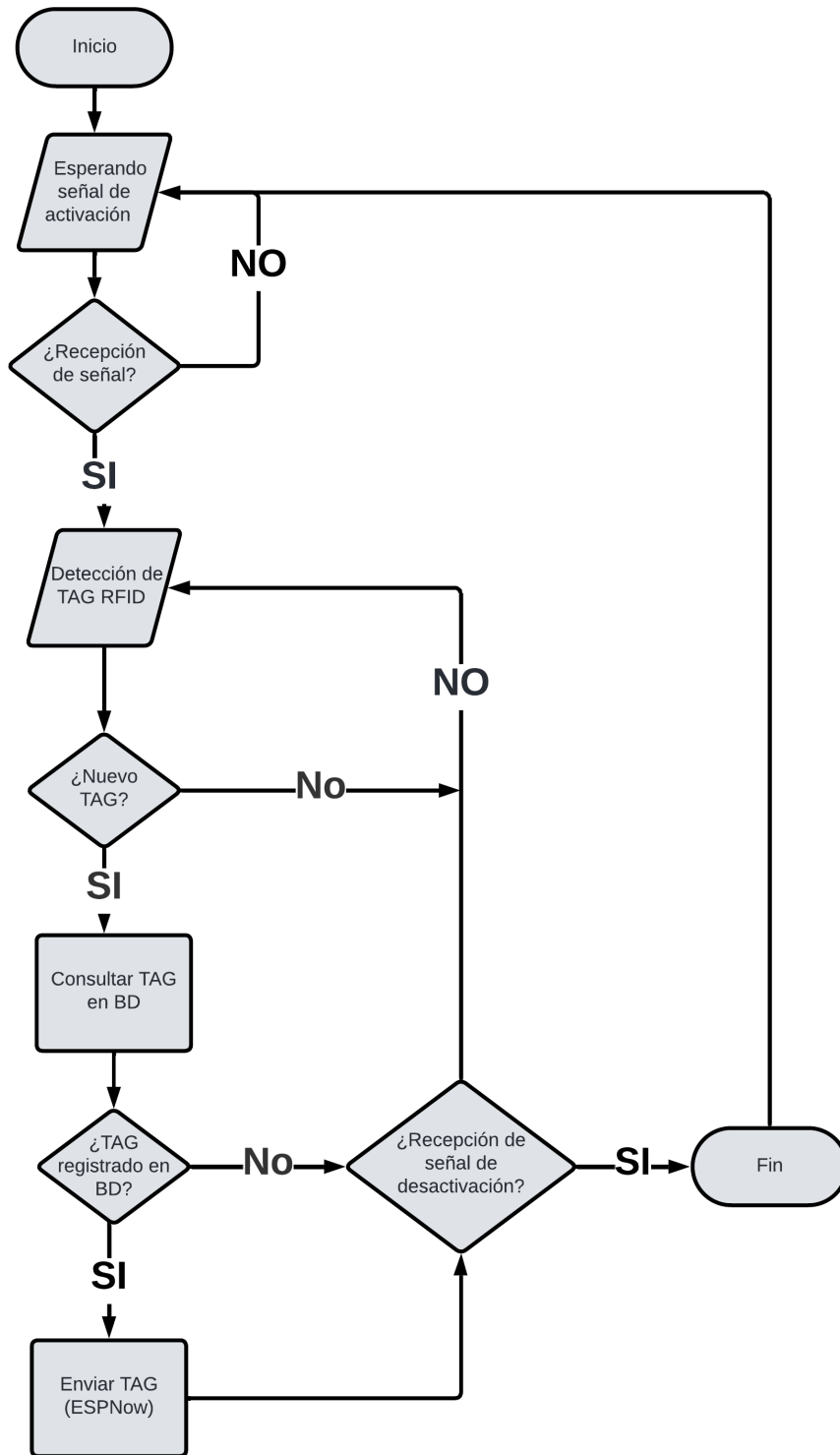


Figura 6.8: Diagrama de flujo del firmware-antena.

La interpretación del diagrama de la figura 6.8 es la siguiente:

- Una vez energizado el sistema y conectado a la red local, el ESP32 queda a la espera de la señal de activación para comenzar a detectar elementos etiquetados.
- En el momento que se detecta dicha señal de activación, la antena inicia a radiar la zona de los casilleros con el objetivo de poder detectar un elemento etiquetado.
- Inmediatamente se detecta un elemento etiquetado, se procede a consultar si dicho elemento pertenece a los registrados en la base de datos local.
- Si no pertenece a un elemento del sistema entonces se descarta dicha lectura.
- En caso de ser un elemento registrado en la base de datos, se procede a enviarlo inalámbricamente al módulo de casilleros.
- De esta manera se mantiene el ciclo hasta que llegue nuevamente una señal de desactivación de parte del módulo de casilleros.
- Cuando esta señal de desactivación llega, el sistema se reinicia y nuevamente se queda a la espera de la señal de activación.

### 6.3.3 Desarrollo de la API

La creación de una API para el proyecto fue una decisión clave para garantizar la correcta comunicación entre los distintos componentes del sistema y la base de datos.

Una API permite la integración de los diversos dispositivos del sistema, facilitando la consulta y modificación de los datos en tiempo real, lo que asegura un flujo continuo y sincronizado de información entre los módulos. Sin una API, la gestión de estos datos sería compleja, debido a las limitaciones que presentan los microcontroladores en cuanto al acceso directo a bases de datos, lo que generaría problemas de eficiencia y seguridad al intentar gestionar solicitudes de múltiples dispositivos simultáneamente.

#### 6.3.3.1 Inconvenientes de no contar con la API

No contar con una API hubiera resultado en varios inconvenientes, entre los cuales se destacan:

- **Acceso directo limitado a la base de datos:** Sin la API, los microcontroladores tendrían que gestionar conexiones directas a la base de datos, lo cual no es ideal debido a las restricciones de recursos y capacidades que tienen estos dispositivos. Además, requeriría configuraciones de seguridad y permisos de acceso complejos.
- **Falta de modularidad y escalabilidad:** La falta de una API modular limitaría la flexibilidad del sistema a la hora de agregar nuevas funcionalidades o integrar dispositivos adicionales. Una API bien estructurada facilita la escalabilidad del sistema y permite futuras mejoras sin necesidad de reestructurar todo el código base.

- **Seguridad y manejo de datos:** La API actúa como intermediario controlado, limitando el acceso directo a la base de datos. Sin ella, cualquier comunicación directa desde los microcontroladores aumentaría el riesgo de accesos no autorizados, lo que comprometería la seguridad del sistema.
- **Dificultad en la comunicación:** Los microcontroladores tienen diferentes niveles de procesamiento y no están diseñados para realizar consultas SQL complejas. Una API facilita la comunicación entre los dispositivos y la base de datos, mediante solicitudes HTTP más simples que estos dispositivos pueden manejar con facilidad.

### 6.3.3.2 Componentes de la API

La API de AUTOLAB se diseñó utilizando PHP y sigue un enfoque RESTful que permite realizar peticiones *GET* y *POST* para interactuar con la base de datos MySQL alojada en un servidor local. A continuación, se describen los componentes más importantes de la API:

1. **Funciones principales** La API incluye varias funciones diseñadas específicamente para las operaciones que requiere el sistema AUTOLAB. Estas funciones permiten interactuar con la base de datos de manera controlada y eficiente. Algunas de las funciones más importantes son:

- **Consultar elemento por EPC (GET)**

- Permite obtener información sobre un elemento específico en la base de datos mediante su código EPC. Esto es esencial para identificar los equipos almacenados en los casilleros.
- Ejemplo de consulta:

```
/api.php?action=consultar_elemento&epc=EPC1234
```

- **Actualizar disponibilidad de casilleros (POST)**

- Esta función actualiza el estado de un casillero (ocupado o disponible) después de que un usuario interactúa con él.
- Ejemplo de uso:

```
/api.php?action=actualizar_disponibilidad&id_casillero=2&estado=ocupado
```

- **Consultar usuario por código RFID (POST)**

- Consulta en la base de datos la información de un usuario a partir de su código RFID. Es vital para identificar a los usuarios al acercar su tarjeta o carné al lector.
- Ejemplo de uso:

/api.php?action=consultar\_usuario&codigo\_rfid=RFID1234

○ **Registrar un préstamo (POST)**

- Esta función registra un nuevo préstamo en la base de datos, actualizando la disponibilidad de los casilleros y registrando los elementos que el usuario ha tomado prestados.
- Ejemplo de uso:

/api.php?action=registrar\_prestamo&id\_usuario=1&id\_elemento=5

○ **Consultar historial de préstamos (GET)**

- Permite acceder al historial de préstamos de un usuario específico. Esta función es útil para llevar un control detallado de los elementos que han sido prestados y devueltos.
- Ejemplo de consulta:

/api.php?action=consultar\_historial&id\_usuario=1

### **Seguridad y control de acceso**

- La API se diseñó teniendo en cuenta la seguridad, permitiendo solo acceso controlado a las funciones mediante validaciones previas. Cada solicitud es gestionada de manera que solo usuarios o dispositivos autorizados puedan realizar consultas o modificaciones en la base de datos.
- Se utilizan claves de acceso para limitar las peticiones no autorizadas y proteger la integridad de la base de datos.

### **6.3.3.3 Beneficios de la API en el sistema AUTOLAB**

La API de AUTOLAB no solo facilita la interacción entre los microcontroladores y la base de datos, sino que también aporta múltiples beneficios al sistema en su conjunto:

- **Facilita el mantenimiento y las actualizaciones:** Dado que las operaciones están centralizadas en la API, las futuras mejoras o modificaciones del sistema pueden realizarse de manera eficiente sin alterar el código de los microcontroladores.
- **Optimiza la comunicación:** Al usar HTTP como protocolo de comunicación, la API permite una transmisión de datos rápida y segura, adecuada para el entorno en el que opera AUTOLAB.
- **Escalabilidad:** La estructura de la API permite que el sistema crezca, añadiendo nuevos dispositivos, casilleros o funcionalidades sin complicaciones.

### 6.3.3.4 Diagrama secuencial general

A continuación, se ilustra el diagrama secuencial general de la interacción de la API con las demás partes involucradas del sistema.

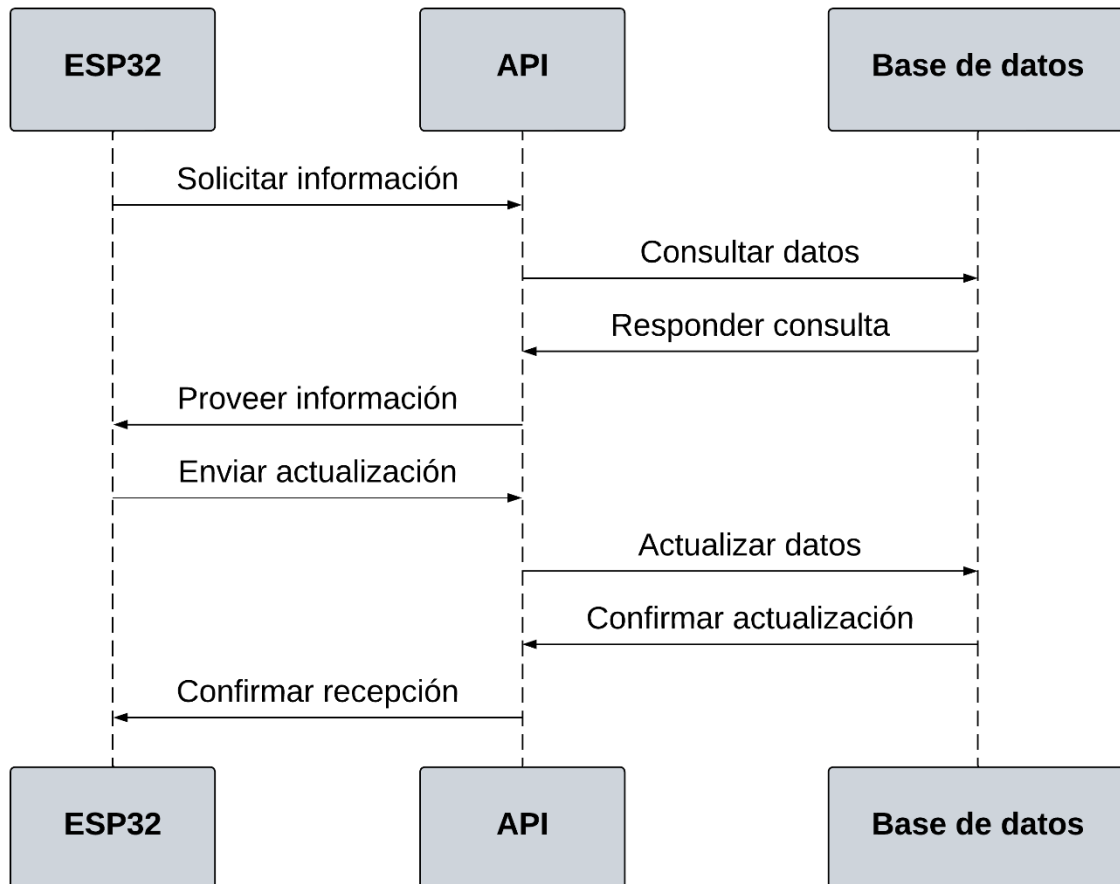


Figura 6.9: Diagrama MSC API

El diagrama muestra la interacción entre tres componentes principales: **ESP32**, **API** y **Base de datos**. La API actúa como un intermediario entre los ESP32 y la base de datos, permitiendo que los ESP32 envíen y reciban información sin interactuar directamente con la base de datos.

#### Flujo de interacción

##### 1. Solicitud desde ESP32 a la API

- El ESP32 realiza una solicitud HTTP (GET o POST) a la API, enviando datos como identificadores de usuario, EPCs de etiquetas RFID o solicitudes de estado.

##### 2. Procesamiento en la API

- La API recibe la solicitud y la procesa, interpretando los datos recibidos.
- Dependiendo de la acción solicitada, la API puede realizar validaciones, transformar datos o generar respuestas adecuadas.

### **3. Interacción con la Base de datos**

- Si la solicitud requiere datos almacenados (como verificar si un usuario está registrado o consultar la disponibilidad de un casillero), la API envía una consulta a la base de datos.
- La base de datos responde con la información solicitada o actualiza los registros según corresponda.

### **4. Respuesta de la API al ESP32**

- Una vez obtenida la información de la base de datos, la API genera una respuesta y la envía de vuelta al ESP32.
- El ESP32 interpreta la respuesta y toma acciones, como mostrar información en una pantalla, permitir acceso a un casillero o continuar con el flujo del sistema.

## **6.3.4 Base de datos**

Luego de no poder concretar la integración de la base de datos de producción de la universidad por los temas comentados anteriormente, se procedió a desarrollar una base de datos local para darle manejo a toda la información que se genera en el sistema.

Como se apuntó en la sección de diseño, la base de datos seleccionada fue MySQL. Cabe resaltar que las primeras pruebas se desarrollaron usando XAMPP desde un computador.

La base de datos juega un rol crucial en el proyecto, ya que en ella se almacenan datos relacionados con los usuarios, los dispositivos y el historial de préstamos. Sin una base de datos centralizada, el manejo de la información se tornaría manual, complejo y susceptible a errores, dificultando la automatización que el sistema requiere.

El uso de una base de datos proporciona varias ventajas, como la capacidad de gestionar grandes volúmenes de información, acceder a los datos en tiempo real y realizar consultas específicas para la toma de decisiones en el sistema. Además, permite garantizar la integridad y seguridad de la información que se genera a lo largo del ciclo de préstamos y devoluciones.

#### 6.3.4.1 Estructura de la base de datos

La base de datos de AUTOLAB fue diseñada utilizando MySQL, debido a su robustez, su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y su compatibilidad con sistemas embebidos como los que se emplean en este proyecto. Además, se implementó MariaDB en un Raspberry Pi 3 para garantizar que la base de datos estuviera accesible en un servidor local de bajo costo, sin la necesidad de depender de servidores externos.

La base de datos incluye varias tablas que organizan la información necesaria para el correcto funcionamiento del sistema. A continuación, se describen las principales tablas y su propósito:

##### Tabla usuarios

Esta tabla almacena la información de todos los usuarios registrados en el sistema. Los campos clave incluyen:

- **Nombre:** El nombre completo del usuario.
- **Código RFID:** Un identificador único asociado con la tarjeta o carné RFID del usuario, utilizado para el acceso al sistema.
- **Identificación:** El número del documento de identidad.
- **Correo electrónico:** Información de contacto del usuario.
- **Programa:** Carrera a la que pertenece el usuario.

La tabla **Usuarios** es fundamental para autenticar a los usuarios que acceden al sistema, asegurando que solo los usuarios registrados puedan interactuar con los dispositivos y realizar préstamos.

##### Tabla elementos

Esta tabla contiene información sobre los dispositivos y materiales almacenados en los casilleros. Los campos clave incluyen:

- **Elemento:** Nombre registrado del respectivo elemento.
- **EPC (Electronic Product Code):** Código único asociado con la etiqueta UHF del elemento, que permite identificarlo cuando es radiado por el lector UHF.

La tabla **Elementos** permite llevar un control detallado de los dispositivos disponibles en el laboratorio, y facilita la identificación de los mismos cuando son prestados o devueltos.

### **Tabla historial\_prestamos**

Esta tabla registra todas las transacciones de préstamos y devoluciones realizadas en el sistema. Los campos clave incluyen:

- **Nombre\_Usuario:** Corresponde al nombre del usuario que realizó el préstamo de elementos.
- **Identificación:** Número del documento de identidad del respectivo usuario.
- **Casillero\_id:** Código de identificación del casillero asignado.
- **Elementos:** Cadena de texto de los nombres de los elementos que fueron requeridos por el usuario.

Esta tabla es fundamental para el seguimiento y control de los dispositivos prestados, asegurando que el sistema pueda registrar qué y a quién se entregaron los elementos.

### **Tabla casilleros**

Esta tabla gestiona la disponibilidad de los casilleros inteligentes. Los campos clave incluyen:

- **Casillero\_id:** Identificador único del casillero (del 1 al 12).
- **Disponibilidad:** Indica si el casillero está disponible u ocupado.

La tabla *casilleros* permite al sistema monitorear el estado de cada casillero en tiempo real, asegurando que los usuarios siempre reciban un casillero disponible al iniciar una sesión de préstamo.

#### **6.3.4.2 Funciones y consultas principales**

La base de datos fue diseñada para permitir operaciones clave que optimizan el flujo de información dentro del sistema AUTOLAB. Algunas de las principales funciones incluyen:

1. **Registro de usuarios:** La base de datos permite registrar nuevos usuarios, almacenando su información personal y el código RFID asociado, lo que le otorga acceso al sistema.
2. **Consulta de disponibilidad de casilleros:** Una consulta rápida a la tabla **casilleros** permite verificar qué casilleros están disponibles u ocupados en tiempo real.

3. **Consulta de elementos por EPC:** Cuando un usuario toma un elemento del laboratorio, el lector UHF lee su EPC, y se realiza una consulta en la tabla **elementos** para obtener información sobre el dispositivo.
4. **Registro de préstamos y devoluciones:** Cada vez que se realiza una transacción, se añade un registro en la tabla *historial\_prestamos*, permitiendo que el sistema mantenga un control detallado de las operaciones.
5. **Actualización del estado de los casilleros y elementos:** Después de cada transacción, el estado del casillero y del elemento involucrado se actualiza automáticamente, reflejando el nuevo estado (ocupado, disponible, en préstamo, etc.).

#### 6.3.4.3 Beneficios de la base de datos en AUTOLAB

La implementación de una base de datos centralizada en el presente proyecto trae consigo una serie de ventajas clave:

- **Acceso rápido a la información:** Los dispositivos del sistema pueden acceder en tiempo real a los datos que necesitan, como la disponibilidad de casilleros o el historial de préstamos, lo que asegura una experiencia fluida para los usuarios.
- **Seguridad de la información:** Los datos se almacenan de manera estructurada y segura, protegiendo la información confidencial de los usuarios y el inventario del laboratorio.
- **Escalabilidad:** La base de datos está diseñada para crecer junto con el sistema. Es posible agregar más usuarios, dispositivos y casilleros sin comprometer el rendimiento del sistema.
- **Trazabilidad:** Al mantener un registro detallado de todas las transacciones, el sistema puede auditar y verificar cualquier préstamo o devolución realizada en el laboratorio, mejorando el control y la responsabilidad.

#### 6.3.4.4 Modelo relacional

Habiendo descrito la estructura de las tablas y funciones de la base de datos a continuación se presenta el modelo relacional de la misma.

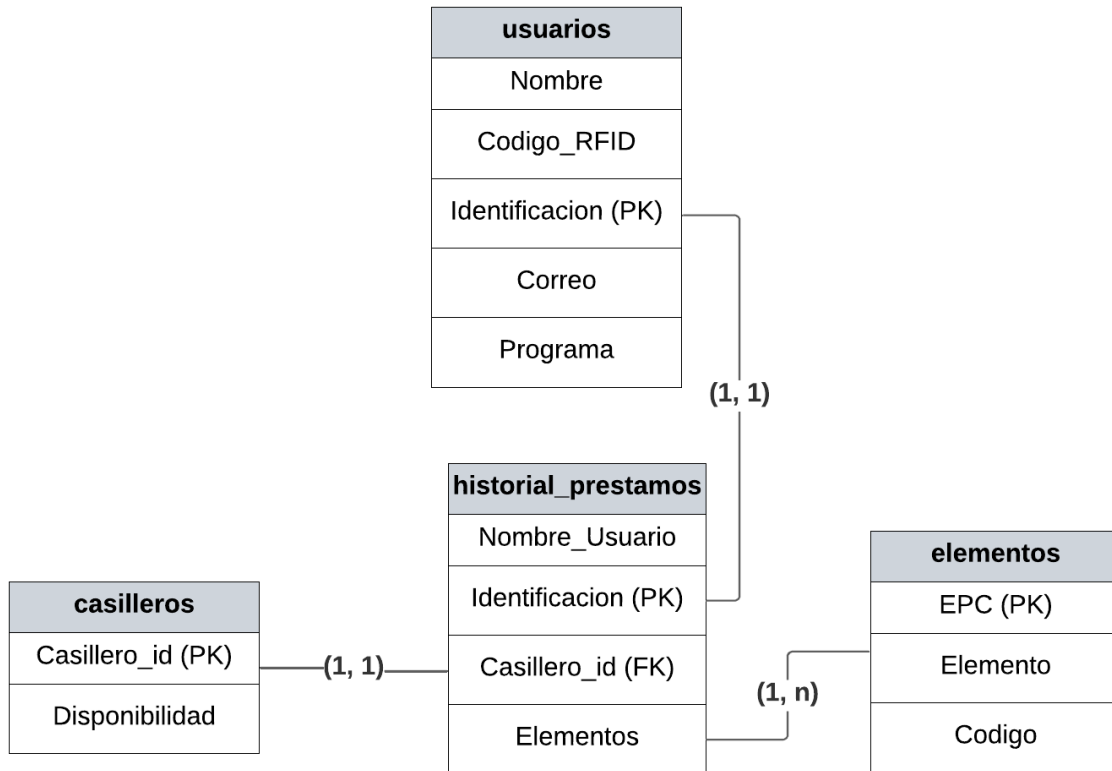


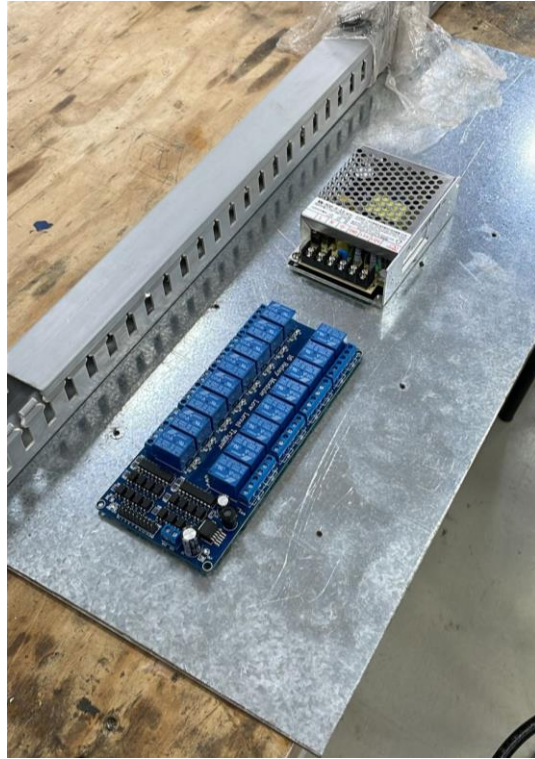
Figura 6.10: Modelo relacional de la base de datos.

Según la figura 6.10 las relaciones establecen que un usuario puede realizar un único préstamo vigente, asociado a un casillero específico y a varios elementos prestados. Este modelo permite gestionar de manera eficiente el registro y control de los préstamos dentro del sistema AUTOLAB.

### 6.3.5 Hardware del tablero eléctrico

Como ya se ha mencionado anteriormente el tablero eléctrico es uno de los componentes fundamentales para poder integrar todos los elementos que permiten que los casilleros desempeñen un funcionamiento automático. Por lo tanto, fue primordial procurar que cada parte de ese módulo quedara estratégicamente ubicado y debidamente alimentado, generando una interacción estable entre los mismos.

Para la construcción de este tablero se tomó como referencia un tablero industrial de control como los que se encuentran en los laboratorios de la universidad.



*Figura 6.11: Tablero eléctrico en etapa de desarrollo*

En la figura 6.11 se muestra la etapa inicial de la elaboración del mencionado tablero eléctrico, en donde se observa una lámina que soporta los dispositivos principales del sistema. También se aprecia la canaleta que permitirá dar orden y flujo al cableado que resultará luego de la interconexión de todos los componentes.



*Figura 6.12: Canaleta del tablero eléctrico.*

La figura 6.12 ilustra el soporte como tal del tablero propuesto, donde se establecieron canaletas para todos los lados de la lámina para contar con más opciones de ocultar el cableado excesivo que se pueda generar.



*Figura 6.13: Ubicación del tablero eléctrico.*

En la figura 6.13 se puede evidenciar la ubicación del soporte del tablero eléctrico, el cual permite ser almacenado dentro de un mismo casillero, dando una vista clara de los elementos que se conectarán para esta parte del sistema.



*Figura 6.14: Despliegue de cableado en casilleros.*

Para esta etapa que muestra la figura 6.14 se desplegó el cableado a cada casillero con el objetivo de poder llevar la señal de 12 voltios a las cerraduras electromagnéticas y a los indicadores de luz que también trabajan a 12 voltios, lo que implica que a cada casillero llegan dos cables para suplir esta alimentación.

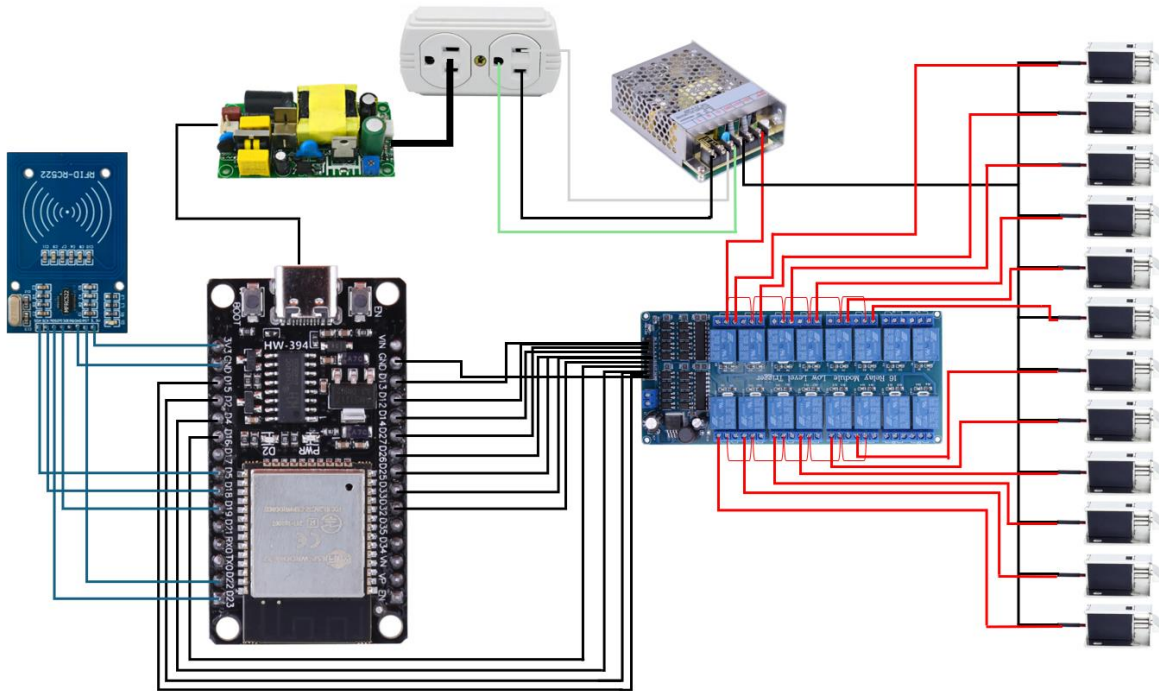


Figura 6.15: Circuito de los casilleros

La figura 6.15 muestra una representación de la conexión de los dispositivos que concierne al tablero eléctrico instalado en los casilleros. Este circuito utiliza una fuente de poder que se conecta a la corriente alterna de 120 Voltios para poder entregar dos salidas de alimentación para el circuito, una de 12 Voltios, 3 Amperios y otra de 5 Voltios, 5 Amperios.

La placa de relés requiere dos tipos de alimentación, una de 12 Voltios para energizar a las bobinas de los relés como tal y otra de 5 Voltios para controlar las señales de activación de estas, ya que la placa maneja una activación por señales de voltaje bajas.

Otro componente que requiere una alimentación de 12 Voltios corresponde a las cerraduras electromagnéticas, que dicha alimentación primero es intervenida por la placa de relés con el objetivo de controlar la ejecución de estas cerraduras luego de realizar ciertas validaciones dentro del sistema.

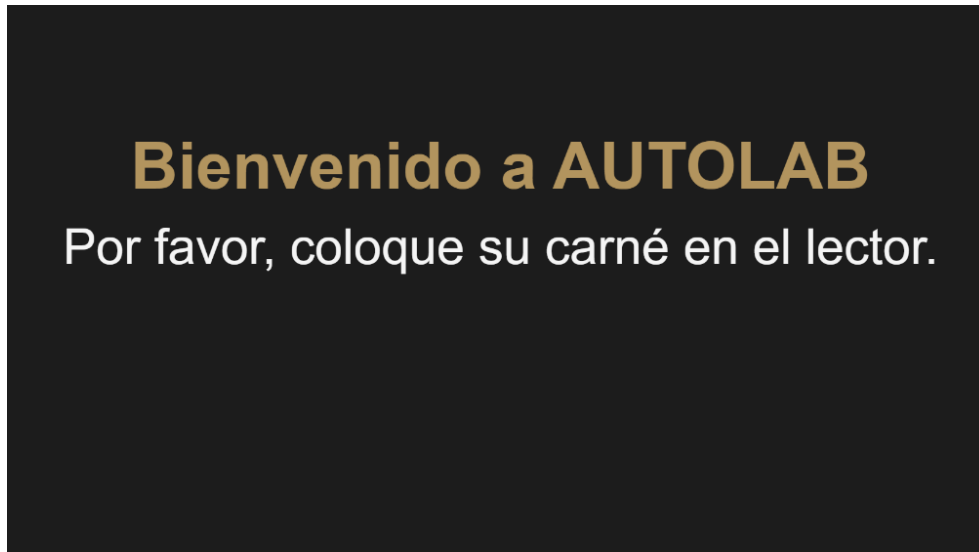
El lector RFID se alimenta de 3.3 Voltios, pero lo hace desde su conexión al ESP32, el cual a su vez se conecta a la fuente independiente de 5 Voltios que se observa en la figura.

La dinámica general de este circuito consiste en que dentro del procesador (ESP32) se validan las condiciones para activar una cerradura a través de la placa de relés luego de haber hecho lectura de un carné por medio del lector RFID RC522.

### 6.3.6 Servidor web e interfaces implementadas

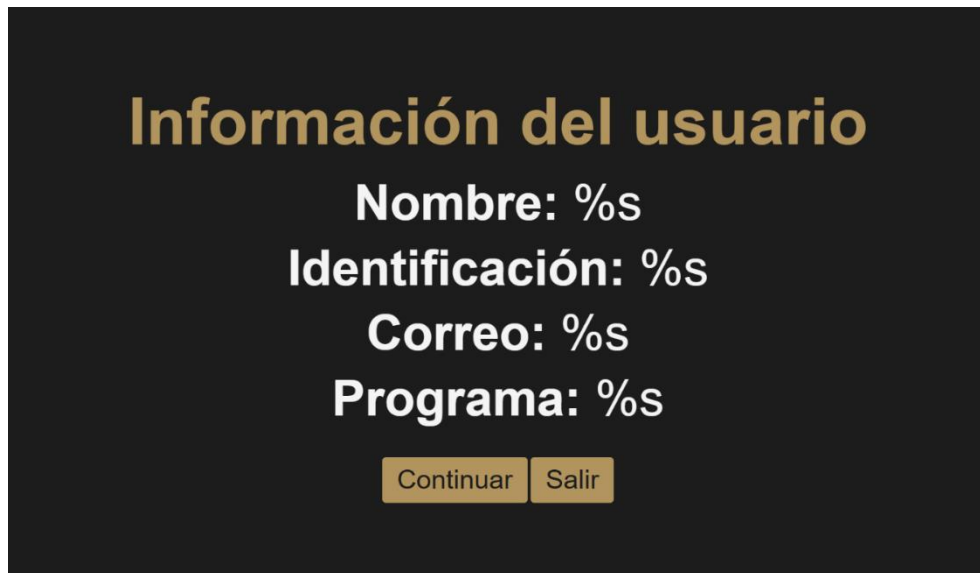
El servidor web finalmente quedó soportado dentro del firmware del procesador designado para los casilleros, ya que como se ha venido reiterando, no se logró configurar la pantalla seleccionada para el diseño propuesto en un inicio. Para conocer detalle del código implementado para el funcionamiento del servidor web por favor dirigirse al [anexo 8.8](#).

A continuación, se van a mostrar cómo lucen algunas de las interfaces que se crearon para ilustrar los mensajes con los que el sistema interactúa con los usuarios.



*Figura 6.16: Interfaz de bienvenida - Servidor web.*

La primera interfaz que se visualiza, en ausencia de una nueva lectura RFID que inicie un proceso de préstamo o devolución, es la pantalla de bienvenida (figura 6.16). Esta pantalla permanece visible hasta que el lector RFID detecte un carné estudiantil y muestre la información correspondiente. Se optó por un diseño sobrio y minimalista para comunicar de forma clara el paso a seguir en caso de que el usuario desee interactuar con el sistema de préstamo automático AUTOLAB. Esta interfaz inicial establece una guía visual sencilla y eficiente que introduce al usuario al flujo de acciones disponibles.



*Figura 6.17: Interfaz información del usuario - Servidor web.*

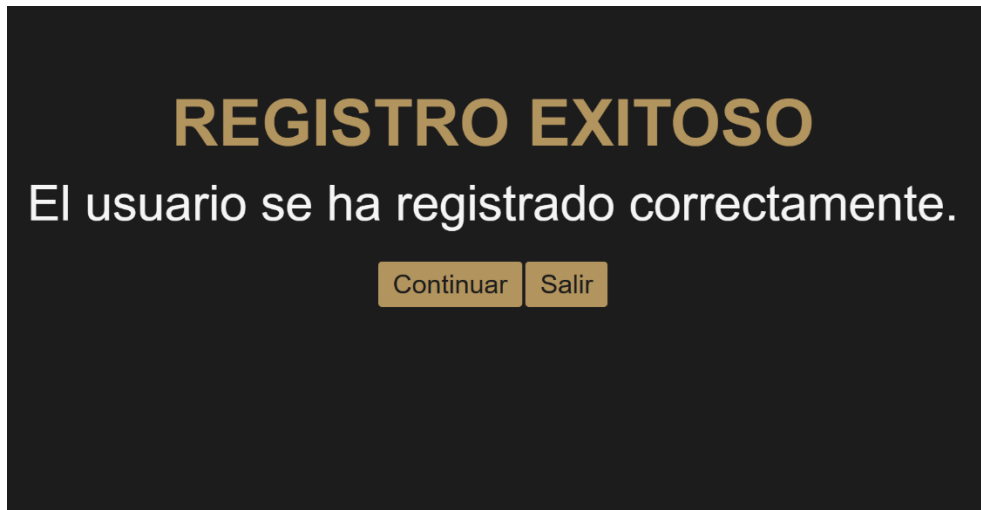
Cuando el lector RFID MRC522 detecta un carné estudiantil, el sistema procede a consultar la base de datos y determina si el usuario ya está registrado. En caso de que el usuario esté previamente registrado, el sistema despliega una pantalla de bienvenida personalizada (figura 6.17), que muestra los datos básicos del usuario y le permite dos opciones: "Salir", si solo quiere verificar su registro, o "Continuar", para avanzar al proceso de préstamo o devolución de equipos. Esta pantalla de confirmación inicial ayuda al usuario a decidir si proceder con la sesión de préstamo o abandonar el proceso.

Para aquellos usuarios cuya información no esté en la base de datos, el sistema redirige a una pantalla de registro (figura 6.18). Esta interfaz presenta un formulario donde el usuario debe ingresar su información personal, completando el proceso para incorporarse al sistema. Al finalizar el formulario, el sistema muestra una pantalla de confirmación que le permite al usuario decidir si desea "Salir" o "Continuar" para iniciar su primer préstamo.

The image shows a registration form on a dark background. At the top, the title "REGISTRO DE USUARIO" is displayed in yellow. Below the title, there is a dark gray form box containing the following fields: "Nombre:" with a text input field, "Documento de identidad:" with a text input field, "Correo:" with a text input field, and "Programa:" with a dropdown menu showing "Ing. Electrónica". At the bottom of the form box is a yellow button labeled "Registrar".

*Figura 6.18: Interfaz registro de usuario - Servidor web*

Posteriormente cuando el respectivo usuario diligencia la información solicitada, se muestra una siguiente pantalla de confirmación (figura 6.19).



*Figura 6.19: Interfaz mensaje de registro exitoso - Servidor web*

De igual manera para esta instancia se le da la opción al usuario de decidir si abandonar la sesión de préstamo a través del botón de *Salir* o si es el caso que quiere realizar un préstamo por primera vez entonces puede proseguir usando el botón *Continuar*.

# RETIRAR ELEMENTOS

NO CONTINUE hasta que:

- Abra el casillero asignado.
- Retire los elementos que requiere.
- Cierre el casillero.
- Presione el botón "Finalizar".

Finalizar

Figura 6.20: Interfaz indicaciones para el préstamo - Servidor web.

Si el usuario opta por "Continuar" en cualquiera de los casos anteriores, se muestra una pantalla con instrucciones detalladas para el proceso de préstamo (figura 6.18). Esta interfaz guía al usuario mediante un conjunto de pasos que aseguran una correcta interacción con el sistema, indicando claramente cómo acceder al casillero y retirar los elementos. Una vez completado el retiro de los equipos, el usuario debe pulsar el botón "Finalizar" para proceder al siguiente paso, que consiste en la verificación de los elementos mediante la antena UHF.

## Confirmación de lectura

**Elemento 1: Multímetro\_1**

**Elemento 2: Kit\_Perilleros\_1**

**Elemento 3: Kit\_Pinzas\_1**

**Elemento 4: Kit\_Cables\_1**

**Elemento 5: Protoboard\_1**

Confirmar elementos

Figura 6.21: Interfaz lectura de elementos - Servidor web.

Una vez finalizado el paso a paso para el préstamo, la figura 6.21 ilustra la siguiente pantalla que contiene el resultado de la lectura por parte de la antena UHF sobre los elementos gestionados por el usuario durante el préstamo, la situación ideal es que a medida que el

usuario saque los elementos del casillero la antena inmediatamente los debe ir identificando uno a uno, aunque la antena también tiene la facultad de leer varios tags a la vez se asume uno a uno ya que es el orden en el que se retiran del casillero.



*Figura 6.22: Interfaz mensaje de préstamo exitoso - Servidor web.*

Posteriormente de confirmar la lectura aparece el mensaje que muestra la figura 6.22, dando a entender que todo marchó correctamente y el préstamo fue exitoso.

No obstante, para el primer caso que se mencionó al empezar, cuando el nuevo carné es detectado y corresponde a un usuario previamente registrado, se debe considerar la opción de que dicho usuario aparte de ya estar registrado, puede que también cuente con un préstamo vigente realizado anteriormente.

Luego de mostrar la información del usuario registrado previamente, se prosigue con la información del préstamo vigente si corresponde el caso, tal y como se evidencia en la figura 6.23.

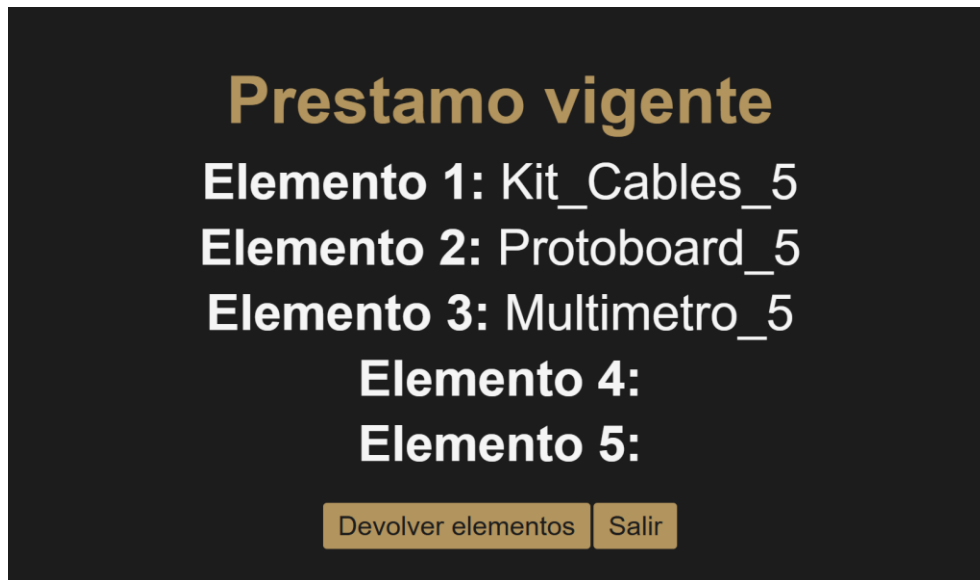


Figura 6.23: Interfaz para préstamo vigente - Servidor web.

La figura 6.23 muestra la información de los elementos que el respectivo usuario ha solicitado con anterioridad. Esto le permite al usuario simplemente conocer esta información y finalizar la sesión, por otro lado, también le concede al usuario la alternativa de devolver a los casilleros esos elementos que el usuario tenía en su poder, esto presionando la opción de *Devolver elementos*.

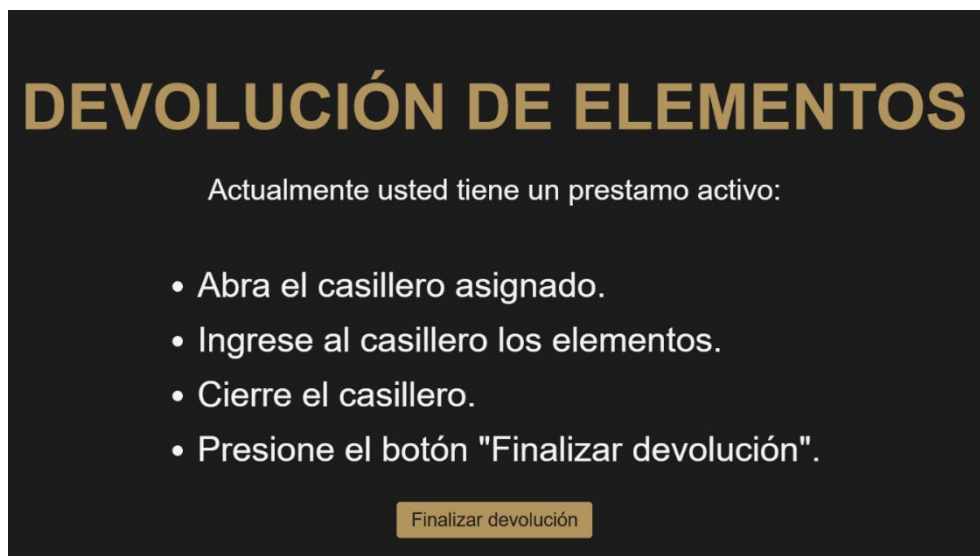


Figura 6.24: Interfaz pasos para devolución - Servidor web.

Al igual que en el proceso de préstamo, si el usuario selecciona la opción de devolver equipos, el sistema despliega una pantalla con instrucciones paso a paso para completar el proceso de devolución (figura 6.24). Luego de seguir los pasos, la antena UHF verifica los elementos devueltos y emite un mensaje de confirmación. Dependiendo de los resultados de la lectura, el sistema puede mostrar tres posibles mensajes: "Devolución

Exitosa", si todos los elementos se han devuelto correctamente; "Devolución Incompleta", si faltan elementos; o "Devolución Nula", en caso de que no se haya registrado ninguna devolución.

### **6.3.7 Puesto de trabajo**

En el laboratorio de electrónica y telecomunicaciones, se disponen de 12 estaciones de trabajo completamente equipadas, cada una de las cuales cuenta con un generador de señales, un osciloscopio para la visualización de señales eléctricas y un computador para análisis y programación. La propuesta inicial plantea que los 12 casilleros controlados en el sistema AUTOLAB estén vinculados directamente a estas estaciones de trabajo, permitiendo una gestión centralizada de acceso y utilización de los recursos del laboratorio.

Esta vinculación implica que cada casillero esté configurado para gestionar la energización de su estación de trabajo correspondiente. Es decir, cuando un usuario realiza una solicitud de préstamo, por ejemplo, del casillero número 1, el sistema autoriza automáticamente el flujo eléctrico hacia el puesto de trabajo número 1. Este enfoque asegura que solo los usuarios con una reserva activa tengan acceso al suministro de energía en su puesto, optimizando el uso de los recursos y asegurando la disponibilidad del equipamiento exclusivamente para los estudiantes autorizados.

Esta funcionalidad se logra mediante el uso de un sistema de control de relés en cada puesto de trabajo, el cual es activado inalámbricamente por la plataforma de AUTOLAB. Al asignar un casillero, se activa el relé correspondiente que permite la circulación de corriente hacia la fuente de alimentación y otros dispositivos del puesto de trabajo. Con este diseño, se busca mejorar la eficiencia energética y controlar el uso de los recursos del laboratorio, al tiempo que se facilita un acceso más seguro y organizado a las herramientas necesarias para el desarrollo de prácticas y proyectos.

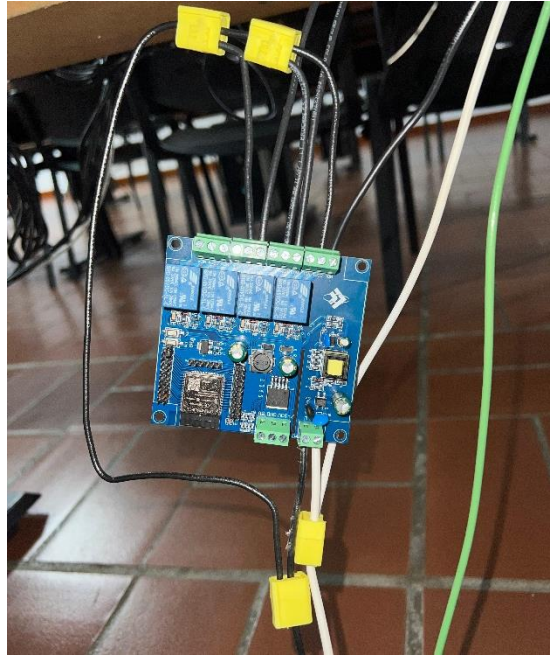
Los puestos de trabajo están organizados en cuatro filas de tres puestos de trabajo, para la cual en cada fila se tiene un módulo de ESP32\_Relay\_x4 para controlar la energización de cada lugar de trabajo. Este módulo corresponde a una placa electrónica que contiene un ESP32 y cuatro relés de control que permiten desarrollar esta función propuesta.



*Figura 6.25: Elaboración de clavija.*

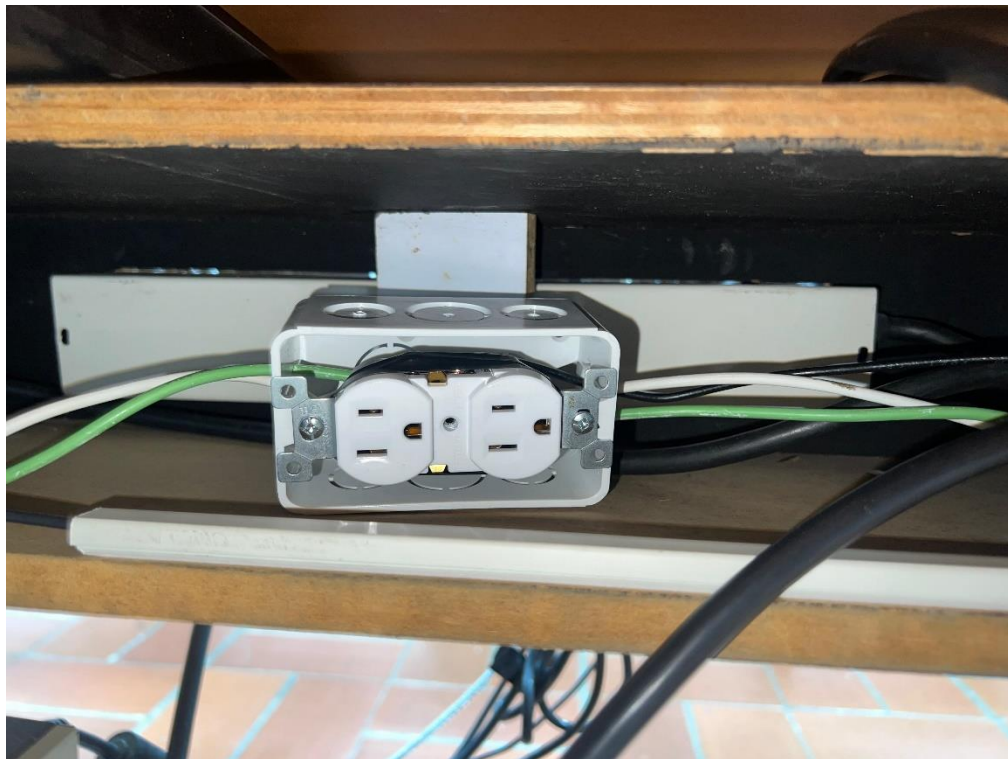
En la figura 6.25 se observa un paso de los que se tuvo que llevar a cabo para poder construir el circuito establecido el cual permite controlar la fase con los relés. La figura muestra la elaboración de una clavija que servirá para alimentar las regletas a controlar sin necesidad de intervenir los dispositivos convencionales, tal y como fue propuesto.

Esta clavija sirve para poder alimentar la placa de relés y también para poder intervenir la fase de la conexión mediante los relés para poder ejercer un control del flujo eléctrico, la figura 6.26 ilustra cómo se ve la conexión del ESP32\_Relay\_x4.

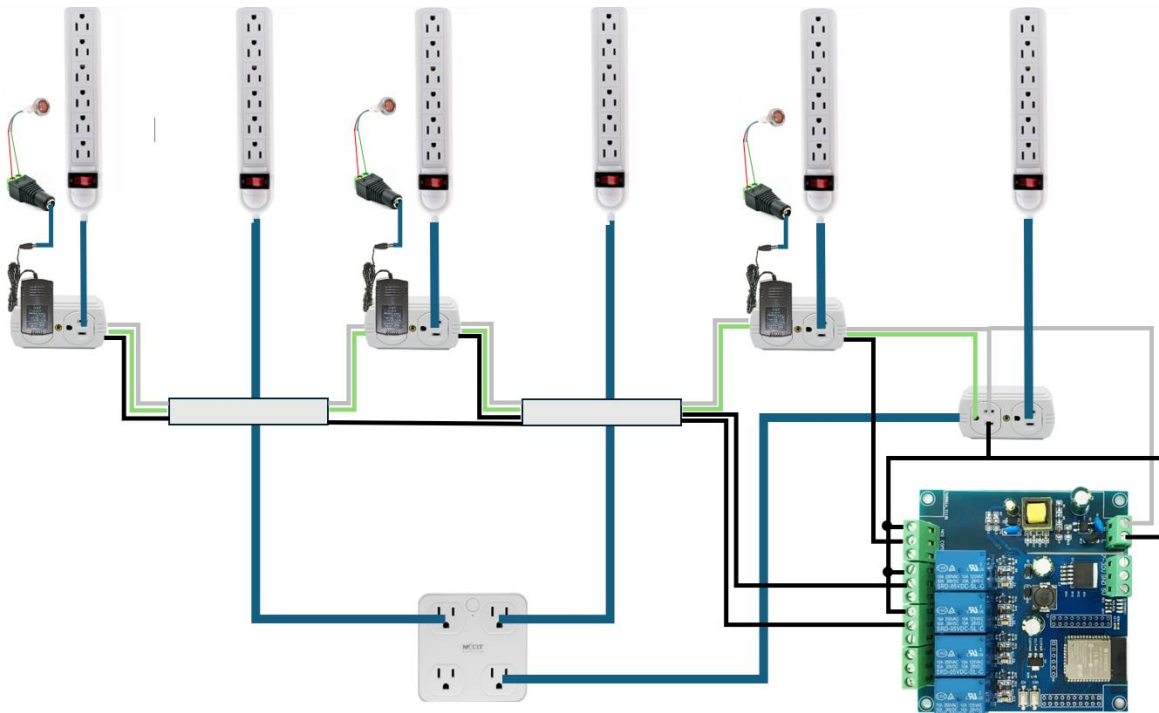


*Figura 6.26: Conexión del ESP32\_Relay\_x4.*

De igual manera, como lo que se debe controlar son dos elementos, es decir, la regleta y el indicador de luz, entonces se implementaron varios nuevos tomacorrientes dobles (figura 6.27) para activar y desactivar el flujo eléctrico.



*Figura 6.27: Tomacorriente doble*



*Figura 6.28: Circuito por fila - puestos de trabajo.*

La figura 6.28 es la representación fiel del circuito eléctrico de control por cada una de las filas de los puestos de trabajo. Lo que quiere decir que para cada una de las otras tres filas de puestos de trabajo se tiene el mismo circuito.

Lo que se observa es una cantidad de seis regletas eléctricas disponibles para conectar dispositivos, de las cuales sólo para tres regletas se le controlará su flujo eléctrico. Las regletas por controlar son únicamente a donde van conectado el cableado de cada estación de trabajo, por ejemplo, la primera regleta de izquierda a derecha servirá para conectar la primera estación de trabajo que integra un generador de señales, un osciloscopio y un computador de escritorio. También se destaca que cada estación controlada contará con un indicador led que notificará cuando el puesto está energizado, ya que la regleta no está a simple vista.

El cableado de cada estación de trabajo está acotado de tal forma que los cables se limiten a conectarse en su respectiva regleta. Por lo tanto, aunque se aprecia que van a quedar tres regletas directamente conectadas a un tomacorriente sin intervención de ningún dispositivo de control, no será práctico conectarse a estas para omitir el control. Las regletas que no se controlan quedan a libre disposición para uso particular.

### 6.3.8 Pruebas de integración

Durante la implementación de AUTOLAB, se realizaron diversas pruebas de integración con el fin de asegurar que cada módulo interactuara adecuadamente con el resto del sistema, manteniendo una funcionalidad estable y alineada con los requisitos del proyecto. A continuación, se describen las principales pruebas realizadas:

#### Pruebas de interoperabilidad entre el ESP32 y el servidor de bases de datos

- **Objetivo:** Garantizar que el ESP32 pudiera enviar y recibir datos del servidor de bases de datos a través de la API, manteniendo una sincronización en tiempo real de todos los préstamos y registros.
- **Procedimiento:** Se ejecutaron varias solicitudes de prueba desde el ESP32 para registrar nuevos usuarios, realizar consultas sobre el estado de los casilleros, y actualizar préstamos. Se midió el tiempo de respuesta y la precisión de los datos enviados y recibidos.
- **Resultado esperado:** El tiempo de respuesta debía ser inferior a 300 ms, y todos los datos enviados desde el ESP32 debían reflejarse en el servidor sin inconsistencias.

#### Prueba de integración del módulo RFID y el servidor web

- **Objetivo:** Verificar que el servidor web detecte correctamente al usuario cuando se escanea un carné mediante el módulo RFID y permita visualizar la información relacionada.
- **Procedimiento:** Con un lector RFID conectado al módulo de casilleros, se escaneó una tarjeta representativa de un usuario en la base de datos. La pantalla del servidor web debía mostrar el nombre del usuario y demás información de interés.
- **Resultado esperado:** Al acercar los carnés estudiantiles al lector, rápidamente se hacía lectura de este y se representaba la información del usuario en el servidor web.

#### Prueba de identificación de usuario y asignación de casillero

- **Objetivo:** Validar que el sistema reconozca al usuario y asigne un casillero disponible.
- **Procedimiento:** Un usuario simulado colocaba su tarjeta RFID en el lector. El sistema, a través de la API, consultaba la base de datos para identificar al usuario. En respuesta, se le asignaba un casillero.
- **Resultado esperado:** El usuario debería ver su información y recibir un mensaje de asignación de casillero en la interfaz. El sistema debería activar el casillero designado.

### Prueba de comunicación del lector UHF y el servidor de bases de datos

- **Objetivo:** Asegurar que el lector UHF pueda identificar los tags de los dispositivos de forma confiable y transmitir la información al servidor para su registro.
- **Procedimiento:** Los tags de RFID se colocaron en representación de dispositivos almacenados en los casilleros, y el lector UHF se configuró para leer los códigos de estos tags cada 60 ms. Cada lectura debía almacenarse temporalmente y luego enviarse a la base de datos mediante la API para ser consultados y corroborar que se trataran de dispositivos registrados como parte del sistema AUTOLAB.
- **Resultado esperado:** Las lecturas hechas por la antena fueron precisas a lo que verdaderamente estaba siendo sometido a las pruebas, de tal forma que se pudo consultar a la base de datos y verificar que estas lecturas correspondieran a elementos previamente registrados en el sistema y no de pronto otro activo fijo de la universidad distinto al sistema AUTOLAB.

### Prueba de energización de estaciones de trabajo

- **Objetivo:** Validar la función que vincula cada casillero con su respectiva estación de trabajo, activando la energía de la estación cuando un casillero es reservado.
- **Procedimiento:** Se activó el préstamo de un casillero específico para observar la habilitación automática de la estación de trabajo correspondiente. También se probó la desactivación automática una vez el préstamo finalizaba.
- **Resultado esperado:** La estación de trabajo debía encenderse solo cuando el casillero estaba reservado y apagarse al final del préstamo.

## 6.4 Operar

La fase final de la metodología CDIO se centra en la puesta en funcionamiento del sistema AUTOLAB, la capacitación de los usuarios y la evaluación continua de su desempeño para asegurar que cumpla con los objetivos planteados. Esta etapa también incluye el mantenimiento del sistema y ajustes para mejorar su rendimiento.

Las actividades de esta fase incluyen:

### 6.4.1 Despliegue del sistema en el laboratorio

Se instaló y configuró el sistema AUTOLAB en el laboratorio de electrónica, asegurando que los casilleros y el lector RFID estén operativos y conectados a la red local.

Para los casilleros se desplegó el cableado por cada casillero para poder llevar la señal que activa las cerraduras electromagnéticas y el indicador de luz que ayuda al usuario a identificar qué casillero está activado.



*Figura 6.29: Casilleros - cableado finalizado.*

Este cableado se organizó de tal manera que no fuera tan visible usando canaletas apropiadas para darle orden al despliegue de cables que en este caso corresponde a cables trenzados de UTP. Cada casillero recibe un par de cables, los cuales vienen desde el tablero eléctrico, estos cables son el positivo y el negativo que funcionan para activar la cerradura electromagnética, tal y como se explicó en la etapa de implementación.

Se asignó los kits de elementos básicos a cada casillero (figura 6.30), permitiendo dar una vista completa del sistema, ya que con esto se integran todos los componentes fundamentales del módulo de casilleros



*Figura 6.30: Casilleros con kits de elemento básico de laboratorio*

De la misma manera se procedió con la identificación de la ubicación (figura 6.31) para la antena que hace lectura de los elementos etiquetados, de tal manera que permita radiar completamente el área de los casilleros.



*Figura 6.31: Ubicación antena UHF.*

Esta ubicación logra la correcta identificación de los elementos que contendrán los casilleros por parte de la antena UHF, y el módulo R200.

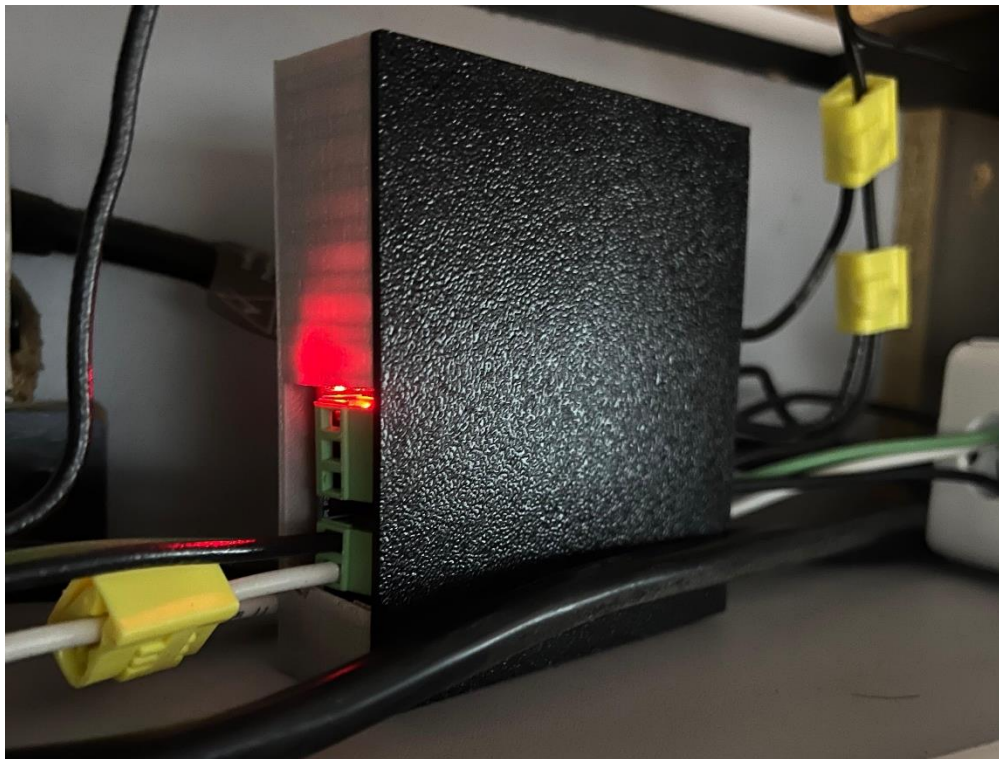


*Figura 6.32: Antena UHF.*

Por otro lado, las estaciones de trabajo quedaron correctamente instaladas teniendo en cuenta que se logró controlar el flujo eléctrico de las mismas a partir del sistema central, ya sea en el caso de que esté funcionando en conjunto con la reserva de un respectivo casillero o también cuando se genere el comando de activación general de todos los puestos simultáneamente con el objetivo de una clase o cualquier actividad colectiva.



*Figura 6.33: Puestos de trabajo con indicador de flujo eléctrico activado.*



*Figura 6.34: ESP32\_Relay\_x4 con carcasa.*



*Figura 6.35: Puestos de trabajo - vista general.*

La figura 6.35 corresponde a una visión general de los puestos de trabajo con el indicador led de flujo eléctrico encendido, dando a entender que en ese preciso momento cada puesto de trabajo permite hacer uso de las herramientas allí dispuestas.

La placa Raspberry que actúa como servidor y soporta la base de datos del proyecto se situó dentro del casillero de control para permitir buena cobertura al momento de realizar consultas a la base de datos por parte de los otros dispositivos conectados a red.

### **6.4.2 Capacitación a usuarios**

Se realizó la capacitación del personal del laboratorio sobre el uso de la interfaz web para gestionar los préstamos de dispositivos y el procedimiento para retirar y devolver equipos de los casilleros.

### **6.4.3 Monitoreo y ajustes del sistema**

El monitoreo y ajuste del sistema AUTOLAB fue esencial para garantizar un funcionamiento óptimo y cumplir con los requerimientos establecidos. Este proceso incluyó la supervisión de los componentes de hardware, las interfaces de usuario y los datos registrados en la base de datos. A continuación, se describen los principales casos de monitoreo y los ajustes realizados:

#### **Caso 1: Verificación de la comunicación entre módulos**

**Descripción:**

Se monitoreó la conexión entre los ESP32 principales (ubicados en los casilleros y la antena UHF) para asegurar que los datos intercambiados fueran correctos y consistentes. Esto incluyó el seguimiento del estado de la red WiFi, la respuesta del servidor web y la interacción con la base de datos en el Raspberry Pi.

**Ajustes realizados:**

- Se optimizaron los tiempos de consulta a la base de datos para evitar retrasos en las respuestas.
- Se estableció un canal predeterminado para la comunicación WiFi.
- Se configuraron IP estáticas para el servidor y el ESP32 del módulo de casilleros.

**Caso 2: Supervisión del funcionamiento del lector RFID****Descripción:**

El lector RFID MFRC522 fue monitoreado para garantizar que pudiera leer correctamente los carnés estudiantiles. Se verificaron las señales eléctricas, la conexión SPI con el ESP32 y la respuesta a diferentes condiciones y posiciones del carné.

**Ajustes realizados:**

- Se recalibró la posición física del lector y la carcasa diseñada para mejorar la tasa de detección.
- Se ajustaron los tiempos de espera en el código para asegurar que las lecturas fueran estables.

**Caso 3: Validación del sistema de energización de los puestos de trabajo****Descripción:**

Se probó el circuito de energización que comunica los casilleros con los puestos de trabajo. Esto incluyó la verificación del flujo de corriente controlado por relés y la sincronización con las solicitudes de préstamo.

**Ajustes realizados:**

- Se diseñó un case 3D para proteger la placa de relés.
- Se optimizó el código del ESP32 para reducir los tiempos de activación del flujo eléctrico.

- Se añadieron indicadores LED en los puestos de trabajo para confirmar el estado de energización.
- Se conectó el sistema durante una jornada completa para validar la estabilidad de las conexiones eléctricas.

#### **Caso 4: Monitoreo del rendimiento de la antena UHF**

##### **Descripción:**

La antena UHF conectada al lector R200 fue monitoreada para asegurar que las lecturas de los tags RFID fueran precisas y rápidas. Esto incluyó pruebas con diferentes cantidades de elementos en el área de lectura y la detección de múltiples tags simultáneamente.

##### **Ajustes realizados:**

- Se ajustaron los parámetros de potencia de transmisión de la antena para evitar interferencias.
- Se filtraron lecturas duplicadas desde el código para mejorar la claridad de los datos.
- Se realizó un mantenimiento preventivo en los conectores de la antena para garantizar su correcto funcionamiento.

#### **Caso 5: Seguimiento del estado de la base de datos**

##### **Descripción:**

Se monitoreó la base de datos MariaDB alojada en el Raspberry Pi para verificar la integridad y consistencia de los datos. Esto incluyó pruebas de carga con múltiples solicitudes simultáneas de consulta y escritura.

##### **Ajustes realizados:**

- Se configuraron respaldos para prevenir la pérdida de información.
- Se ajustaron los permisos de acceso para garantizar la seguridad de los datos.
- Se validaron errores que se presentaban al momento de registrar nueva información, debido a tipos de datos incorrectos, repetidos, etc.

#### **Caso 6: Evaluación de la experiencia del usuario en las interfaces**

##### **Descripción:**

Se supervisó la interacción de los usuarios con las interfaces del sistema web, evaluando

su claridad y facilidad de uso. Las pruebas incluyeron la validación de formularios, navegación entre pantallas y mensajes de retroalimentación.

#### **Ajustes realizados:**

- Se rediseñaron algunos mensajes para que fueran más intuitivos.
- Se agregaron notificaciones en tiempo real para informar al usuario sobre el progreso del proceso de préstamo o devolución.

#### **6.4.4 Evaluación del impacto**

La evaluación del impacto del sistema AUTOLAB se llevó a cabo mediante una serie de pruebas cuantitativas y cualitativas diseñadas para medir el desempeño técnico, la aceptación del usuario y el impacto operativo en la gestión de préstamos del laboratorio. A continuación, se describen las pruebas realizadas, los resultados obtenidos y las observaciones derivadas de los datos recopilados.

#### **Pruebas de desempeño técnico**

##### **1. Tiempo de procesamiento por interacción:**

- **Objetivo:** Evaluar la eficiencia del sistema para procesar las solicitudes de préstamo y devolución.
- **Procedimiento:** Se midió el tiempo transcurrido desde que un usuario coloca su carné en el lector RFID hasta que se registra el préstamo o devolución en la base de datos.
- **Resultados:**
  - Tiempo promedio de procesamiento para un usuario registrado: **5.1 segundos**.
  - Tiempo promedio para el registro de un nuevo usuario: **9.3 segundos**.
  - Tiempo promedio para procesar la lectura de un conjunto de 10 tags RFID mediante la antena UHF: **1.8 segundos por tag**.
- **Observación:** Los tiempos de procesamiento cumplen con los requisitos esperados de rapidez, garantizando una experiencia fluida para el usuario.

##### **2. Precisión en la lectura de tags RFID:**

- **Objetivo:** Validar la capacidad del sistema para identificar correctamente los elementos retirados o devueltos.

- **Procedimiento:** Se realizaron **50 iteraciones** de lectura con diferentes combinaciones de tags (de 1 a 8 tags simultáneamente) y diferentes ubicaciones dentro del área de alcance de la antena.
- **Resultados:**
  - **Precisión promedio de lectura:** 90.6%.
  - **Errores de lectura:** Solo se identificaron lecturas inconclusas en el 9.4% de las pruebas.
- **Observación:** El sistema presenta una alta precisión en la identificación de elementos, con un margen de error mínimo que radican principalmente en la calidad de ciertos tags con los que se hicieron pruebas. Esto se puede mitigar usando tags con mejores características.

### 3. Disponibilidad y estabilidad del sistema:

- **Objetivo:** Verificar la capacidad del sistema para operar de manera continua sin interrupciones significativas.
- **Procedimiento:** El sistema se sometió a una prueba de carga durante **72 horas continuas**, simulando interacciones constantes de préstamos y devoluciones.
- **Resultados:**
  - **Porcentaje de disponibilidad:** 99.2%.
  - **Eventos de falla:** Se detectó lentitud de respuesta en ocasiones debido a la no interacción del sistema por largos periodos de tiempo.
- **Observación:** El sistema es altamente confiable, con una disponibilidad operativa consistente y una rápida recuperación ante fallas menores.

## Pruebas de aceptación del usuario

### 1. Encuesta de satisfacción:

- **Objetivo:** Evaluar la percepción de los usuarios sobre la facilidad de uso y efectividad del sistema.
- **Procedimiento:** Se aplicó una encuesta a **22 estudiantes** de electrónica y biomédica que interactuaron con el sistema en condiciones reales. La encuesta incluyó preguntas sobre:
  - Facilidad de uso (escala de 1 a 5).

- Rapidez en los procesos (escala de 1 a 5).
- Confianza en la lectura de los dispositivos (escala de 1 a 5).
- **Resultados:**
  - **Facilidad de uso:** 4.8/5.
  - **Rapidez:** 4.77/5.
  - **Confianza en el sistema:** 4.5/5.
- **Comentarios destacados:** Los usuarios destacaron la claridad de las interfaces y el diseño intuitivo del sistema. Sin embargo, algunos señalaron la necesidad de mejorar la seguridad en general del sistema.
- **Observación:** El sistema fue altamente aceptado por los usuarios, quienes valoraron su eficiencia y facilidad de uso.

## 2. Prueba de comparación con el método tradicional:

- **Objetivo:** Comparar la eficiencia del sistema automatizado con el proceso manual previamente implementado.
- **Procedimiento:** Se realizó un experimento donde **10 usuarios** completaron una solicitud de préstamo utilizando ambos métodos, y se midió el tiempo necesario en cada caso.
- **Resultados:**
  - Tiempo promedio del método manual: **5.4 minutos**.
  - Tiempo promedio con **AUTOLAB:** **1.3 minutos**.
- **Observación:** El sistema reduce significativamente el tiempo requerido para gestionar un préstamo o devolución, aumentando la eficiencia operativa.

## Impacto operativo

### 1. Incremento en la disponibilidad del laboratorio:

- **Datos:** Se observó un aumento del **35%** en el número de usuarios que pudieron acceder a equipos de laboratorio fuera del horario habitual gracias a la automatización del sistema.
- **Interpretación:** El sistema permite un acceso más flexible y autónomo, optimizando los recursos del laboratorio.

## 2. Reducción de errores humanos:

- **Datos:** Según los registros históricos, los errores en la asignación o devolución de equipos disminuyeron de un **12%** (método manual) a menos del **1%** con **AUTOLAB**.
- **Interpretación:** La digitalización y automatización de los procesos minimizan las inconsistencias en el manejo de los equipos.

## 7. Resultados, Discusión y Conclusiones.

La culminación del proyecto AUTOLAB marcó un avance significativo en la automatización de la gestión de préstamos de equipos en el laboratorio de electrónica y telecomunicaciones. Los resultados obtenidos, junto con los análisis realizados en la evaluación del impacto, permiten concluir que el sistema cumple con los objetivos planteados inicialmente y presenta un alto potencial de expansión y replicabilidad. A continuación, se presentan los resultados alcanzados, una discusión crítica sobre los hallazgos y las conclusiones derivadas del proyecto.

### 7.1 Resultados y Discusión

#### Diseño e implementación del sistema de préstamo automatizado:

- Se desarrolló e integró un sistema compuesto por módulos de casilleros inteligentes, un lector UHF para la identificación de equipos, y un servidor local con base de datos MariaDB.
- Las pruebas de desempeño técnico demostraron que el sistema puede procesar solicitudes de préstamo y devolución en un tiempo promedio de **1.3 minutos**, significativamente menor al tiempo requerido por el proceso manual previo (**5.4 minutos**).

#### Automatización del control de acceso a las estaciones de trabajo:

- Cada casillero se vinculó exitosamente a un puesto de trabajo, asegurando que este último solo se energizara cuando se activara un préstamo desde el casillero correspondiente. Este mecanismo incrementó la eficiencia energética y redujo el uso no autorizado de los recursos del laboratorio.

#### Gestión eficiente de préstamos y devoluciones:

- El uso combinado de tecnología RFID y UHF permitió una precisión promedio de lectura del **90.6%**, asegurando que los elementos gestionados fueran correctamente identificados y registrados.
- La implementación de un sistema de registro digital en tiempo real redujo los errores humanos en la asignación y devolución de equipos de un **12%** (método manual) a menos del **1%** con el sistema automatizado.

#### Desarrollo de una interfaz de usuario amigable y accesible:

- La interfaz web basada en un servidor ESP32 permitió a los usuarios interactuar con el sistema desde cualquier dispositivo conectado a la red local, eliminando la necesidad de hardware dedicado como una pantalla TFT. Los usuarios calificaron la experiencia de uso con un promedio de **4.8/5** en las encuestas de satisfacción.

## **Discusión de los resultados:**

El sistema AUTOLAB logró una notable mejora en la eficiencia operativa y la experiencia del usuario, lo que representa un avance significativo en la automatización de procesos dentro de entornos académicos. Sin embargo, la implementación no estuvo exenta de desafíos, como las incompatibilidades iniciales con el hardware (pantalla TFT) y los problemas de conectividad Wi-Fi mediante dispositivos embebidos, que fueron resueltos con ajustes en el diseño y configuración del sistema.

Además, aunque el sistema no fue diseñado para gestionar múltiples usuarios simultáneamente, su desempeño en pruebas individuales fue sobresaliente, lo que sugiere que puede adaptarse en el futuro para cubrir este aspecto. La combinación de tecnologías como RFID y UHF demostró ser efectiva, aunque sería valioso explorar alternativas para reducir el costo total del proyecto sin comprometer la precisión y funcionalidad.

## **7.2 Conclusiones**

El proyecto AUTOLAB cumplió con los objetivos planteados, ofreciendo una solución innovadora y eficiente para la gestión automatizada de equipos en el laboratorio de electrónica y telecomunicaciones. Entre las principales conclusiones destacan:

**Impacto en la eficiencia operativa:** AUTOLAB optimizó los tiempos de préstamo y devolución, reduciendo el tiempo promedio de interacción a menos de un tercio del método manual. Esto no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también libera al personal del laboratorio de algunas tareas administrativas repetitivas.

**Precisión y trazabilidad:** La integración de tecnologías RFID y UHF permitió un registro preciso y automatizado de los elementos gestionados, asegurando la trazabilidad completa de los préstamos.

**Flexibilidad en el diseño y accesibilidad:** La decisión de implementar una interfaz web eliminó las restricciones asociadas al uso de hardware específico, proporcionando un acceso más amplio y adaptabilidad a diferentes dispositivos.

**Contribución a la formación académica:** El sistema AUTOLAB no solo mejora la logística del laboratorio, sino que también fomenta una cultura de responsabilidad entre los estudiantes, quienes ahora tienen un mayor control sobre el acceso y la gestión de los equipos.

## **7.3 Trabajos futuros**

El desarrollo de AUTOLAB abre múltiples posibilidades para la ampliación y perfeccionamiento del sistema. Las siguientes áreas representan líneas de trabajo futuras para optimizar el sistema y expandir sus capacidades:

- **Gestión de múltiples usuarios simultáneos:** La implementación de un sistema de concurrencia que permita la gestión de múltiples usuarios en paralelo sería una mejora significativa para AUTOLAB. Esto podría incluir la asignación de prioridad en los préstamos y un sistema de notificación para alertar a los usuarios cuando sus recursos están disponibles.
- **Integración de seguridad avanzada:** La incorporación de autenticación multifactor para los usuarios y el uso de encriptación en las comunicaciones entre los módulos y el servidor podrían aumentar la seguridad del sistema. También podría ser útil explorar sistemas biométricos, como lectores de huellas digitales, para una validación de usuario más robusta.
- **Ampliación de la infraestructura de monitoreo y diagnóstico:** Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real que proporcione información sobre el estado de los módulos (casilleros, antena UHF, puestos de trabajo) permitiría una respuesta proactiva ante fallos y la mejora de la estabilidad operativa del sistema.
- **Expansión de funcionalidades a través de una aplicación móvil:** Una aplicación móvil podría ofrecer una interfaz más intuitiva y personalizable para los usuarios, permitiendo reservas de equipos, consultas de disponibilidad en tiempo real y alertas de devolución. Esta aplicación podría comunicarse con AUTOLAB mediante la API ya implementada, facilitando el acceso remoto a la plataforma.
- **Optimización de la base de datos y almacenamiento en la nube:** Aunque actualmente el sistema utiliza un servidor local en un Raspberry Pi, migrar el sistema a una solución híbrida que combine almacenamiento local y en la nube podría mejorar el acceso y permitir una gestión remota de los datos. Esto permitiría, por ejemplo, realizar respaldos automáticos y facilitar el mantenimiento del sistema desde cualquier ubicación.

Estas mejoras y expansiones proyectadas apuntan a consolidar AUTOLAB como una solución avanzada y completa para la gestión de recursos en laboratorios educativos, promoviendo su adopción en otros espacios académicos y extendiendo su impacto en la comunidad educativa.

## **8. Anexos**

**8.1 [Firmware para controlador del casillero](#)**

**8.2 [Firmware para controlador del lector UHF](#)**

**8.3 [Firmware para módulo esp32 relay x4 v1.1](#)**

**8.4 [Backup de la base de datos](#)**

**8.5 [Manual para gestionar errores técnicos](#)**

**8.6 [API](#)**

**8.7 Costos del proyecto**

La siguiente tabla presenta un detallado de los componentes, materiales y equipos utilizados para la implementación del sistema AUTOLAB, incluyendo su cantidad, precio unitario y costo total en pesos colombianos (COP).

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD (COP)	TOTAL (COP)
Antena UHF RFID	1	\$ 826.781,00	\$ 826.781,00
Cerradura electromagnetica	12	\$ 18.495,00	\$ 221.940,00
Tarjeta tipo sticker 50 unidades	1	\$ 284.900,00	\$ 284.900,00
Placa de 16 canales a relé	1	\$ 55.000,00	\$ 55.000,00
Fuente doble salida 5v5a 12v3a	1	\$ 147.295,00	\$ 147.295,00
Tarjeta De Desarrollo Esp32	3	\$ 24.000,00	\$ 72.000,00
Modulo lector RFID R200	1	\$ 214.197,00	\$ 214.197,00
esp32_relayx4_v1.1	4	\$ 40.000,00	\$ 160.000,00
Raspberry pico 3	1	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00
Adaptador 12V 1A	12	\$ 7.343,00	\$ 88.116,00
Luz indicadora LED de 10mm, 12V	24	\$ 2.200,00	\$ 52.800,00
Conector DC Bornera Jack Hembra	12	\$ 1.872,00	\$ 22.464,00
Caja de empalme	12	\$ 900,00	\$ 10.800,00
Tomacorriente doble con polo a tierra	12	\$ 3.500,00	\$ 42.000,00
Canaleta 12x9 adhesiva x2m	10	\$ 7.900,00	\$ 79.000,00
Cable calibre 12 awg x1 metro	55	\$ 4.000,00	\$ 220.000,00
Shield tarjeta de expansión de pines para ESP32	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Suiche balancín ojo de gato	3	\$ 2.499,00	\$ 7.497,00
Conector circular hembra de 8 pines	2	\$ 3.094,00	\$ 6.188,00
Conector circular macho de 8 pines	2	\$ 3.094,00	\$ 6.188,00
Otros gastos varios	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
<b>TOTAL (COP)</b>			<b>\$ 2.852.166,00</b>

Figura 8.1: Tabla de costos AUTOLAB

## 8.8 Servidor web

A continuación, se va a mostrar una descripción detallada de cómo se implementó el servidor web desde un código ejemplo desarrollado y las funciones básicas.

### 8.8.1 Componentes principales del código del servidor web en ESP32

#### Configuración del servidor web:

- **Descripción:** Inicializa el servidor en el ESP32 para que actúe como host de páginas HTML y permita la interacción con el usuario.
- **Código ejemplo:**  

```
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>

WebServer server(80); // Inicializa el servidor web en el puerto 80
```
- **Función:** Define la instancia del servidor web en el puerto 80. Esto permite que el ESP32 reciba solicitudes HTTP, como GET y POST, desde un navegador o cualquier cliente HTTP.

### Conexión a la red WiFi:

- **Descripción:** Conecta el ESP32 a la red WiFi local para permitir el acceso remoto al servidor.
- **Código ejemplo:**

```
void setup() {  
  WiFi.begin("SSID", "password"); // Conecta a la red WiFi  
  
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    delay(500);  
  }  
  
  // Una vez conectado, muestra la dirección IP  
  Serial.println(WiFi.localIP());  
}
```

- **Función:** Este código asegura que el ESP32 obtenga una dirección IP en la red, necesaria para que otros dispositivos puedan acceder al servidor web.

### Manejo de rutas y páginas HTML:

- **Descripción:** Define las rutas HTTP y las páginas HTML a mostrar. Cada ruta es una URL específica que el servidor reconoce y responde.
- **Ejemplo de una ruta / para la página principal:**

```
server.on("/", HTTP_GET, [ ]() {  
  server.send(200, "text/html", "<html><body><h1>Bienvenido a  
AUTOLAB</h1></body></html>");  
});
```

- **Función:** El código `server.on()` define rutas específicas y responde a solicitudes HTTP GET enviando HTML al navegador. Otras rutas existentes son `/register`, `/confirmation`, o `/user-info`.

### Funciones de procesamiento de datos:

- **Descripción:** Controla los datos que el ESP32 recibe o envía mediante solicitudes POST.
- **Código ejemplo:**

```
server.on("/register", HTTP_POST, [ ]() {  
  String nombre = server.arg("nombre");  
  String identificacion = server.arg("identificacion");  
  // Aquí puedes agregar la lógica para procesar los datos  
  recibidos  
  
  server.send(200, "text/html", "<html><body><p>Usuario registrado.  
</p></body></html>");  
});
```

- **Función:** Usa `server.arg()` para acceder a los datos enviados desde un formulario HTML y los guarda en variables para su posterior procesamiento.

#### Control de flujo del código:

- **Descripción:** Gestiona las rutas de redireccionamiento y controla el flujo entre páginas, como `/retirar` o `/confirmation`.
- **Ejemplo de botón con redireccionamiento:**

```
<button
onClick="window.location.href='/confirmation'">Finalizar</button>
```

- **Función:** Permite que el usuario navegue de una página a otra y asegure un flujo coherente dentro del sistema de AUTOLAB.

#### Inicialización del servidor en `loop()`:

- **Descripción:** Mantiene el servidor activo y pendiente de solicitudes entrantes.
- **Código ejemplo:**

```
void loop() {
  server.handleClient(); // Maneja solicitudes HTTP
  entrantes
}
```

- **Función:** `server.handleClient()` verifica si hay solicitudes nuevas y ejecuta la función correspondiente.

### 8.8.2 Flujo del proceso de un caso de uso: Registro de usuario

Aquí se describe cómo el código maneja el caso de registro de usuario desde que el usuario accede a la página hasta que se completa el registro.

#### Paso a paso del flujo del registro de usuario

##### 1. Usuario accede a la página de registro:

- El navegador envía una solicitud GET a la ruta `/register`.
- **Código:**

```
server.on("/register", HTTP_GET, [] () {
  String htmlPage = "<html><body><h1>Registro de
Usuario</h1><form action='/register'
method='post'>...</form></body></html>";
  server.send(200, "text/html", htmlPage);
});
```

- **Descripción:** El ESP32 responde con una página HTML de formulario de registro, en la cual el usuario puede ingresar datos.

## 2. Usuario completa el formulario y envía datos:

- Al enviar el formulario, se realiza una solicitud POST con la información ingresada a la misma ruta /register.
- **Código**

```
server.on("/register", HTTP_POST, [] () {
    String nombre = server.arg("nombre");
    String identificacion = server.arg("identificacion");
    // Procesamiento y almacenamiento en base de datos o API

    server.send(200, "text/html", "<html><body><p>Registro
completado</p></body></html>");
});
```

- **Descripción:** En esta función POST, el ESP32 recibe los datos del usuario y realiza acciones como:
  - Guardar la información en la base de datos a través de la API.
  - Responder con una página de confirmación.

## 3. Confirmación y redireccionamiento:

- Después de procesar la solicitud, el ESP32 redirige al usuario a una página de confirmación o les muestra un mensaje de éxito.

- **Código:**

```
<button
onClick="window.location.href='/confirmation'">Continuar</but
ton>
```

- **Descripción:** Este botón permite al usuario avanzar en el flujo, rediriéndolo a una página de confirmación o a una página de menú principal.

### Diagrama resumido del flujo

1. **Usuario accede a /register** → Página de formulario de registro cargada
2. **Formulario enviado a /register (POST)** → Procesamiento de datos

**Confirmación de registro** → Redireccionamiento a la siguiente etapa o menú principal

## 8.9 Consideraciones de escalabilidad

La escalabilidad del sistema AUTOLAB implica la capacidad de agregar nuevos bloques de casilleros y antenas sin afectar el rendimiento general. Para lograr esto, se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Base de datos:** Debe permitir la incorporación de nuevos casilleros y dispositivos sin afectar las consultas y tiempos de respuesta.
- **API:** Debe gestionar múltiples solicitudes concurrentes sin generar conflictos.
- **ESP32:** Se debe evaluar si un solo ESP32 puede manejar nuevos bloques o si es necesario agregar más microcontroladores.
- **Protocolos de comunicación:** Se deben seleccionar protocolos eficientes que permitan la interconexión de dispositivos sin saturar los recursos.

### 8.9.1 Bloques Replicables

Los bloques que pueden ser replicados en el sistema AUTOLAB incluyen:

- **Casilleros:** Cada casillero tiene un identificador único en la base de datos, por lo que se pueden agregar nuevos casilleros simplemente creando nuevas filas con IDs consecutivos. Ejemplo:
  - Si los casilleros actuales tienen IDs del 1 al 12, se pueden agregar nuevos casilleros con IDs del 13 al 24 sin afectar el sistema.
- **ESP32 y Antenas UHF:**
  - Se puede agregar un nuevo ESP32 por cada conjunto de casilleros y antenas.
  - Cada ESP32 se conectará a la API para registrar y consultar información.
  - Se pueden usar nombres de dispositivos o direcciones IP para identificarlos en la API.
- **Usuarios y Préstamos:**
  - La base de datos y la API ya permiten el registro de nuevos usuarios y préstamos sin límites fijos.

### 8.9.2 Protocolos y funciones para la escalabilidad

Para garantizar la escalabilidad del sistema, se deben considerar los siguientes protocolos y funciones:

#### Base de datos

- **Uso de claves primarias y autoincrementales** para agregar nuevos casilleros, usuarios y préstamos sin conflictos.
- **Optimización de consultas SQL** para manejar un volumen creciente de datos sin afectar el rendimiento.

## API

- **Manejo de concurrencia:** La API debe permitir que múltiples ESP32 realicen consultas simultáneas sin generar errores.
- **Identificación de dispositivos:** Se pueden usar direcciones IP o tokens para que la API reconozca de qué ESP32 proviene la solicitud.

## ESP32

### Límites y soluciones

El ESP32 tiene una cantidad limitada de pines, lo que podría dificultar la conexión de nuevos dispositivos. Para superar esto, se pueden aplicar las siguientes estrategias:

- **Multiplexores (CD74HC4067):** Permiten manejar hasta 16 dispositivos con solo 4 pines.
- **Uso de buses de comunicación:**
  - **I2C:** Se pueden conectar varios dispositivos usando solo dos pines (SDA y SCL).
  - **SPI:** Permite conectar múltiples dispositivos con un pin adicional por cada uno.
  - **UART:** Puede manejar múltiples dispositivos, aunque el ESP32 tiene un límite de 3 UARTs por hardware.

### Comunicación entre ESP32

Para manejar varios bloques de casilleros y antenas, se pueden emplear:

- **ESP-NOW:** Protocolo de comunicación de baja latencia entre ESP32 sin necesidad de WiFi.
- **WiFi + API:** Cada ESP32 consulta la API directamente.
- **Nodo Maestro-Esclavo:** Un ESP32 actúa como maestro y otros como esclavos, comunicándose a través de I2C o UART.

## **Conclusiones**

El proyecto AUTOLAB puede escalarse mediante la adición de nuevos bloques de casilleros y antenas sin afectar el rendimiento si se siguen las siguientes estrategias:

- La base de datos soporta nuevos casilleros con identificadores únicos.
- La API maneja concurrencia y puede identificar la fuente de las solicitudes.
- Se pueden usar varios ESP32 en paralelo para distribuir la carga.
- Se pueden emplear protocolos de comunicación eficientes como I2C, SPI y ESP-NOW.

Siguiendo estas reformas, AUTOLAB podría crecer sin problemas y adaptarse a nuevas necesidades del laboratorio y otros ambientes.

## **9. Glosario**

### **9.1 Automatización de procesos**

La automatización de procesos es la traslación de las tareas rutinarias empresariales al entorno tecnológico y digital para una ejecución automática.

Este proceso se realiza a través del diseño y desarrollo de métodos y aplicaciones informáticas o robóticas capaces de recibir, procesar, analizar y gestionar grandes volúmenes de información o materiales en tiempo real.

Los estándares de calidad y las estructuras organizativas actuales han convertido la automatización de procesos en una necesidad empresarial, de ahí que podemos encontrarla en cualquier departamento: finanzas, recursos humanos, marketing, ventas o logística eCommerce [12].

### **9.2 RFID**

La tecnología RFID es una forma de comunicación inalámbrica entre un lector y un emisor. Se puede comparar con un código de barras, aunque en lugar de marcas de tinta se utilizan ondas de radio. De hecho, las etiquetas con esta tecnología son muy utilizadas en la industria, tanto para localizar objetos como para asegurarse de que estos no se sacan de un establecimiento sin los permisos pertinentes [13].

### **9.3 Tag**

Los tags o etiquetas RFID utilizan tecnología de radiofrecuencia para su seguimiento y localización. Mediante la radiofrecuencia, los tags transmiten datos desde la etiqueta al lector, el cual recibe la información y es usada en conveniencia. Los tags RFID tienen

multitud de usos, como rastrear o identificar vehículos, artículos, mascotas e incluso pacientes. Están compuestos por una antena, un transductor de radio y un material encapsulado o chip. El propósito de la antena es permitirle al chip transmitir la información de identificación contenida en el chip.

Los tags o etiquetas RFID se colocan en objetos y, a menos que sean tags RFID activos, esperan a que el lector las lea o las interroge. Normalmente tienen uno o más bancos de memoria para almacenar información diversa e identificadores únicos [14].

**Tags pasivos:** Los tags pasivos no poseen ningún tipo de alimentación. La señal que les llega de los lectores induce una corriente eléctrica mínima que basta para operar el circuito integrado del tag para generar y transmitir una respuesta. Los tags pasivos suelen tener distancias de uso práctico comprendidas entre los 10 cm y llegando hasta unos pocos metros. Como carecen de autonomía energética el dispositivo puede resultar muy pequeño, como una etiqueta.

**Tags activos:** Los tags activos poseen su propia fuente autónoma de energía, que utilizan para dar corriente a sus circuitos integrados y propagar su señal al lector. Estos tags son mucho más fiables que los pasivos debido a su capacidad de establecer sesiones con el lector. Gracias a su fuente de energía son capaces de transmitir señales más potentes que las de los tags pasivos, lo que les lleva a ser más eficientes en entornos difíciles para la radiofrecuencia como el agua o el metal (contenedores, vehículos). También son efectivos a distancias mayores pudiendo generar respuestas claras a partir de recepciones débiles.

**Tags semipasivos:** Los tags semipasivos poseen una fuente de alimentación propia, aunque en este caso se utiliza principalmente para alimentar el microchip y no para transmitir una señal. La energía contenida en la radiofrecuencia se refleja hacia el lector como en un tag pasivo. La batería puede permitir al circuito integrado de la etiqueta estar constantemente alimentado y eliminar la necesidad de diseñar una antena para recoger potencia de una señal entrante. Los tags RFID semipasivos responden más rápidamente, por lo que son más fuertes en el ratio de lectura que los pasivos, tienen una fiabilidad comparable a la de los tags activos y mayor duración, a la vez que pueden mantener el rango operativo de un tag pasivo. [15]

## 9.4 Laboratorio de electrónica

Un Laboratorio de electrónica es un espacio donde se permita el diseño, construcción y prueba de circuitos y dispositivos electrónicos basados en electrónica analógica y digital [16].

## 9.5 Cerradura electromagnética

Chapa de control de acceso con lengüeta larga. Es del tipo electromagnética e impermeable. Utilizado en todo tipo de puertas, ventanas, cajas, armarios, cajones, tales como: taquillas, cajas fuertes, armarios de distribución, buzones, jaulas para mascotas, etc.

Un cerrojo de puerta electromagnético, también conocido como cerradura magnética, es un tipo de mecanismo de cierre que, en lugar de emplear una llave y un mecanismo de cilindro, utiliza electricidad para mantener cerrada una puerta. Su principio de funcionamiento se basa en el fenómeno de electromagnetismo, de donde toma su nombre. [17]

**Modo de funcionamiento:** el pasador de bloqueo se extiende cuando la alimentación está apagada y se retrae cuando la alimentación está encendida. [18]

## 9.6 Base de datos

Una base de datos es una recopilación de datos sistemática y almacenada electrónicamente. Puede contener cualquier tipo de datos, incluidos palabras, números, imágenes, vídeos y archivos. Puede usar un software denominado sistema de administración de bases de datos (DBMS) para almacenar, recuperar y editar datos. En los sistemas informáticos, la palabra *base* de datos también puede referirse a cualquier DBMS, al sistema de base de datos o a una aplicación asociada con la base de datos [19].

Una base de datos de alto rendimiento es crucial para cualquier organización. Las bases de datos sustentan las operaciones internas de las empresas y almacenan las interacciones con clientes y proveedores. Además, albergan información administrativa y datos más especializados, como modelos de ingeniería o económicos. Algunos ejemplos son los sistemas de bibliotecas digitales, los sistemas de reserva de viajes y los sistemas de inventario. A continuación, se exponen algunas razones por las que las bases de datos son esenciales.

**Escalado eficiente:** Las aplicaciones de bases de datos pueden administrar grandes cantidades de datos, que pueden escalar a millones, miles de millones y más. Es imposible almacenar esta cantidad de datos digitales sin una base de datos.

**Integridad de los datos:** Las bases de datos con frecuencia tienen reglas y condiciones incorporadas para mantener la coherencia de datos.

**Seguridad de los datos:** Las bases de datos son compatibles con los requisitos de privacidad y conformidad asociados a cualquier dato. Por ejemplo, para acceder a la base de datos, los usuarios deben iniciar sesión. Los diferentes usuarios también pueden tener diferentes niveles de acceso, como el de solo lectura.

**Análisis de datos:** Los sistemas de software modernos utilizan bases de datos para analizar los datos. Estos sistemas son capaces de identificar tendencias y patrones, así como de realizar predicciones. Los análisis de datos ayudan a las organizaciones a tomar decisiones empresariales con confianza.

- **¿Cuáles son los tipos de bases de datos?**

Las bases de datos se pueden clasificar según su caso de uso, el tipo de datos y el método de almacenamiento de datos. A continuación, se presentan tres ejemplos de formas de clasificar las bases de datos:

- Según su contenido, como texto de documentos, estadísticas u objetos de contenido multimedia
- Según su ámbito de aplicación, como la contabilidad, el cine o la fabricación
- Según sus aspectos técnicos, como la estructura de la base de datos o el tipo de interfaz

## **9.7 SQL**

El SQL es un lenguaje de programación que utilizan casi todas las bases de datos relacionales para consultar, manipular y definir los datos, además de para proporcionar control de acceso. El SQL se desarrolló por primera vez en IBM en la década de 1970 con Oracle como uno de los principales contribuyentes, lo que dio lugar a la implementación del estándar ANSI SQL. El SQL ha propiciado muchas ampliaciones de empresas como IBM, Oracle y Microsoft. Aunque el SQL se sigue utilizando mucho hoy en día, están empezando a aparecer nuevos lenguajes de programación [20].

## **9.8 Raspberry pi 3**

Es un ordenador de bajo coste y formato compacto destinado al desarrollado para hacer accesible la informática a todos los usuarios. La Raspberry Pi también se caracteriza por ser muy utilizada para desarrollar pequeños prototipos y para la formación sobre informática y electrónica en los colegios.

Todos los diseños de Raspberry Pi se basan en el hardware libre y habitualmente se utilizan también sistemas operativos libres basados en GNU/Linux. Para este microordenador se ha desarrollado Raspberry Pi OS (antes conocido como Raspbian) que es una versión personalizada de Debian [21].

## **9.9 ESP32**

El ESP32 es un microcontrolador creado por Espressif Systems. Este dispositivo es el sucesor del ESP8266. Tiene WiFi y Bluetooth y funciona con bajo consumo. Esto lo hace perfecto para proyectos que usan baterías. Además, es más rápido que un Arduino. Tiene pines sensibles al tacto y un sensor de efecto Hall [22].

## 9.10 Antena UHF Rfid De Largo Alcance Par

Las antenas RFID de largo alcance permiten su uso en múltiples aplicaciones y sistemas. Son antenas que se utilizan tanto para interior, como para exterior.

Las antenas RFID de largo alcance para frecuencias UHF están preparadas para capturar tags y etiquetas hasta 18 metros de distancia, pudiendo regular el alcance en función de las prestaciones del lector y del tag [23].

## 9.11 Módulo lector R200

Este lector se basa en el chip R200 que trabaja a frecuencias de 865 MHz, pero no solo eso, es capaz de leer una gran cantidad de tags por segundo. Este modelo es capaz de leer hasta 60 tags por segundo.

El protocolo de comunicación es serial TTL y funciona a 3.3 y 5V, así que lo puedes usar tanto con Arduino como con Raspberry Pi [24].

## 10. Bibliografía

- [1] C. Quispe, «Transformación Digital en la Industria 4.0 una Revisión de la Literatura,» Jul 2023. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Quispe-8/publication/374057800\\_Transformacion\\_Digital\\_en\\_la\\_Industria\\_40\\_una\\_Revisio\\_n\\_de\\_la\\_Literatura/links/650bae5382f01628f0346af8/Transformacion-Digital-en-la-Industria-40-una-Revision-de-la-Literatura.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Quispe-8/publication/374057800_Transformacion_Digital_en_la_Industria_40_una_Revisio_n_de_la_Literatura/links/650bae5382f01628f0346af8/Transformacion-Digital-en-la-Industria-40-una-Revision-de-la-Literatura.pdf). [Último acceso: 12 Oct 2024].
- [2] E. C. Nieto, «Manufactura y automatización,» *SciELO Analytics*, vol. 26, nº 3, pp. 120-128, 2006.
- [3] M. Rüßmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, P. Engel, M. Harnisch y J. Justus, «Industria 4.0: el futuro de la productividad y el crecimiento en las industrias manufactureras,» BCG, 09 abril 2015. [En línea]. Available: [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries). [Último acceso: 1 Noviembre 2024].
- [4] M. Area Moreira, «Hacia la universidad digital: ¿dónde estamos y a dónde vamos?,» *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 21, nº 2, pp. 25-28, 2018.

- [5] P. A. Q. ROBAYO, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS BASADO EN TIC EN LOS LABORATORIOS DE PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL,» 2024. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/734a4988-e947-4609-8138-0ab804e18539/content>. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [6] N. P. A. P. S. S. F. F. C. O. G. M. Giulio Maria Bianco, «RFID Labeling of Police Equipment,» *IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA)*, p. 4, 2021.
- [7] N. I. Zeydin Pala, «Smart Parking Applications Using RFID Technology,» *IEEE*, p. 3, 2007.
- [8] D. P. y. M. R. Nyoman Karna, «Self Service System for Library Automation,» *International Conference on Information and Communications Technology IEEE*, p. 5, 2019.
- [9] W. Y. y. Y. L. Guidong Liu, «Resource Management with RFID Technology,» *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, p. 6, 2006.
- [10] espressif, «ESP-NOW,» [En línea]. Available: <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>. [Último acceso: 12 noviembre 2024].
- [11] aws, «¿Qué es una interfaz de programación de aplicaciones (API)?,» [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/api/>. [Último acceso: 12 noviembre 2024].
- [12] D. Bengochea, «¿Cómo funciona la automatización de procesos?,» outvio, 16 Mar 2023. [En línea]. Available: <https://outvio.com/es/blog/automatizacion-de-procesos/#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20funciona%20la%20automatizaci%C3%B3n%20de%20procesos%3F%201%20Qu%C3%A9,procesos%20y%20cu%C3%A1ndo%20realizarlos%20...%205%20Conclusi%C3%B3n%20>. [Último acceso: 06 Sep 2023].

- [13] Universidad Intenrnacional de Valencia, «Rfid: qué es y cómo funciona,» 12 Oct 2017. [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/rfid-que-es-y-como-funciona>. [Último acceso: 03 Sep 2023].
- [14] NextPoints, «Etiquetas RFID ¿Qué son y para qué se utilizan?,» [En línea]. Available: <https://nextpoints.com/que-son-etiquetas-rfid/>. [Último acceso: 03 Sept 2023].
- [15] «Tags RFID activos, pasivos y semipasivos,» ACTUM, [En línea]. Available: <https://www.actum.es/preguntas-frecuentes/tipos-de-tags>. [Último acceso: 21 Diciembre 2024].
- [16] MADE (Mecatrónica, Automatización y Diseño Electrónico), «Equipo Esencial en un Laboratorio de Electrónica,» [En línea]. Available: <https://electronicamade.com/equipo-esencial-en-un-laboratorio-de-electronica/#>. [Último acceso: 03 Sept 2023].
- [17] Electricity – Magnetism, «¿Cómo funciona un cerrojo de puerta electromagnético?,» [En línea]. Available: <https://www.electricity-magnetism.org/es/como-funciona-un-cerrojo-de-puerta-electromagnetico/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [18] E. L. Manufacturers, «Cerradura electromagnética de lengua ancha impermeable SM03, bloqueo de control eléctrico DC12V, resistente a la tensión radial de 150KG, directo de fábrica,» Aliexpress, [En línea]. Available: <https://acortar.link/OIRIZA>. [Último acceso: 21 Diciembre 2024].
- [19] aws, «¿Qué es una base de datos?,» [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/database/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [20] Oracle, «¿Qué es el lenguaje de consulta estructurada (SQL)?,» 24 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/#WhatIsDBMS>. [Último acceso: 11 noviembre 2024].
- [21] R. Solé, «Raspberry Pi: Crea proyectos DIY por muy poco dinero,» 18 junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2021/07/18/que-es-raspberry-pi/>. [Último acceso: 12 noviembre 2024].

- [22] E. R. Moraguez, «Todo sobre ESP32: Guía y Aplicaciones Prácticas,» [En línea]. Available: <https://lovtechnology.com/todo-sobre-esp32-guia-y-aplicaciones-practicas/>. [Último acceso: 12 noviembre 2024].
- [23] Dipole|RFID, «Antenas RFID Largo Alcance,» [En línea]. Available: <https://www.dipolerfid.es/antenas-rfid-largo-alcance>. [Último acceso: 12 noviembre 2024].
- [24] bricogeek, «Módulo lector RFID de largo alcance (R200 UHF) con antena 5 dBi,» [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/modulos-rfid/1946-modulo-lector-rfid-de-largo-alcance-r200-uhf-con-antena-5-dbi.html>. [Último acceso: 12 noviembre 2024].
- [25] nocte, «Tipos de cerrojo para instalar en puertas,» [En línea]. Available: <https://nocte.es/blog/tipos-de-cerrojo/#:~:text=Cerrojo%20electr%C3%B3nico%20Son%20cerrojos%20de%20seguridad%20que%20se,se%20accionan%20con%20reconocimiento%20facial%20o%20mediante%20huella..> [Último acceso: 03 sept 2023].
- [26] G. R. G. y M. A. L. C., «CDIO: Una gran estrategia de formación en ingeniería,» *Ingeniería & sociedad*, p. 7.