

Javier González Montesinos

Informe del Proyecto: Sistema de Control de Acceso con ESP32

Resumen Ejecutivo:

Este proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de control de acceso basado en el microcontrolador ESP32, diseñado para gestionar el acceso a un despacho/habitación/vivienda mediante múltiples métodos de autenticación: RFID, PIN, Telegram y panel de control web. El sistema incluye un servidor web para configuración y monitoreo, registro de eventos guardados en tarjeta SD, notificaciones en tiempo real vía Telegram, y un LED RGB para indicar el estado del sistema en directo. Este informe detalla los objetivos, la implementación, los desafíos enfrentados, las soluciones aplicadas y las lecciones aprendidas durante el desarrollo.

Objetivos del Proyecto

Gestión del sistema de acceso a través del panel de control web: implementar un sistema que permita gestionar diferentes usuarios (dar de alta, dar de baja, editar, etc) los diferentes usuarios que deben de tener acceso. Además, este panel de control web nos debe de mostrar un historial de los últimos 15 eventos registrados que han sido previamente guardados en una tarjeta SD incluyendo fecha, método de apertura, usuario y estado del acceso en ese momento.

Indicadores Visuales: Utilizar un LED RGB para reflejar el estado del sistema (rojo: acceso restringido, verde parpadeante: acceso concedido, amarillo: puerta abierta con permiso concedido, rojo parpadeante: intrusión).

Notificaciones: Enviar alertas en tiempo real a través de Telegram para accesos, intrusiones y cambios de configuración además de poder consultar en que dirección IP se encuentra el panel de control web.

Escalabilidad: Diseñar un sistema modular que permita futuras mejoras, como soporte para más usuarios o métodos de autenticación. Dentro del panel de control web se podrán gestionar los usuarios ya existentes para modificar sus métodos de apertura así como poder eliminarlos si se desea.

Descripción Técnica

Hardware Utilizado con precio y link de compra:

Componente y precio aprox (EUR)	Descripción	Enlace en AliExpress
ESP32-WROOM-32D (4,15€)	Microcontrolador principal con soporte para WiFi, monitor serie a través de USB y posibilidad de conectar múltiples periféricos a través de sus pines GPIO.	<a href="#">ESP32-WROOM-32D (AliExpress)</a>
Cables de conexión Dupont (3,67€)	Para conectar los componentes al ESP32	

Componente y precio aprox (EUR)	Descripción	Enlace en AliExpress
<a href="#">Cables de conexión Dupont (AliExpress)</a>		
Lector RFID RC522 (4,64€)	Permite la lectura y autenticación mediante tarjetas RFID e identificar las tarjetas/llaveros RFID que se acerquen al lector.	
<a href="#">Lector RFID RC522 (AliExpress)</a>		
Tarjetas/llaveros RFID	Componente que debe llevar cada usuario registrado para poder acceder, se puede utilizar varios si se desea que hayan múltiples usuarios registrados a la vez, cada tarjeta/llavero está registrado a un usuario en concreto.	Incluido con el lector RC522
Módulo tarjeta SD (3,52€)	Almacenamiento de usuarios y logs de acceso.	
<a href="#">Módulo tarjeta SD (AliExpress)</a>		
Sensor magnético (4,26€)	Detecta el estado de la puerta (abierta/cerrada).	
<a href="#">Sensor magnético (AliExpress)</a>		
Relé 5V (0,98€)	Controla el cierre eléctrico de apertura de la puerta permitiendo o no el acceso.	
<a href="#">Relé 5V (AliExpress)</a>		
Cierre eléctrico 12V AC/DC (32,30€)	Controla el cierre eléctrico de apertura de la puerta permitiendo o no el acceso.	
<a href="#">Cierre eléctrico 12V AC/DC (AliExpress)</a>		
Transformador 220v a 12v AC (2,53€)	Bajamos el voltaje de 220V a 12V en AC.	

Componente y precio aprox (EUR)	Descripción	Enlace en AliExpress
<a href="#">Transformador 220v a 12v AC (AliExpress)</a>		
LED RGB WS2812 (1,21€)	Indicador visual del estado del sistema en tiempo real.	
<a href="#">LED RGB WS2812 (AliExpress)</a>		

## Software y Librerías

Software: Visual Studio Code: Software de programación creado por Microsoft usado para desarrollar este proyecto PlatformIO: Entorno IDE hecho para Visual Studio Code y dedicado al desarrollo de proyectos usando placas "Embedded" como Arduino o ESP32, etc. Arduino Framework: Programación del ESP32 en C++ usando parte del código abierto propio de Arduino.

Librerías: Arduino: Gestión interna del hardware del ESP32. WiFi y AsyncTCP: Conexión a red y servidor web asíncrono. ESPAsyncWebServer: Gestión de solicitudes HTTP. Adafruit\_NeoPixel: Control del LED RGB. UniversalTelegramBot y ArduinoJson: Comunicación con Telegram. MFRC522: Interfaz con el lector RFID. SD y SPI: Acceso a la tarjeta SD. time: Sincronización de hora con servidor NTP.

## Sistema Operativo:

Sin sistema operativo, ejecutado directamente en el ESP32. Se intentó integrar en una fase avanzada del proyecto FreeRTOS para mejorar la gestión de las diferentes funciones que realiza el ESP32 a la vez y optimizar el uso de los recursos usando el modo multinúcleo del ESP32 con tareas pero finalmente no fue posible debido a incompatibilidades con la estructura general del código del proyecyo y la comunicación con los dispositivos con protocolo SPI.

## Funcionalidades Implementadas

Servidor Web: Página principal con estado de la puerta, temporizador, historial y accesos a otras funciones. Gestión de usuarios: añadir, editar, eliminar (protegido por contraseña). EN el caso de querer añadir un usuario nuevo, se puede escoger si se quiere tener sólo el método PIN o el método RFID o ambos para permitir el acceso.

Diferentes métodos de autenticación: RFID: Lee tarjetas y verifica el UID contra una lista de usuarios autorizados. PIN: Permite ingreso de un PIN de 4 dígitos a través de la interfaz web. Telegram: Autenticación remota mediante comando /abrir, nombre de usuario y PIN. Temporizador Web: Activa el relé por un tiempo configurable (1-3600 segundos).

Registro de Eventos: Almacena hasta 15 eventos en memoria y en archivo /access\_log.txt en la SD. Formato: Fecha y Hora,Método,ID,Usuario,Estado.

Indicadores LED: Rojo sólido: Acceso restringido. Verde parpadeante: Acceso concedido, puerta cerrada. Amarillo sólido: Acceso concedido, puerta abierta. Rojo parpadeante: Intrusión detectada (puerta abierta sin autorización).

Notificaciones Telegram: Alertas para accesos concedidos/denegados, intrusiones y cambios en usuarios. Comando /ip para obtener la IP del ESP32. Comando /abrir para el acceso a través de los usuarios registrados. Una vez ejecutado el comando el BOT nos pide el nombre de usuario y posteriormente el PIN y, si éste no tiene método PIN registrado, nos mandará un aviso de que no se permite el acceso a través de Telegram de usuario sin PIN. Una vez concedido o denegado el acceso, se verá reflejado en el historial de accesos reflejando el usuario y el método utilizado.

Sincronización de Hora: Usa el servidor NTP para registrar eventos con timestamps precisos, permite la sincronización de la fecha y hora cada vez que establece conexión a Internet.

Ejemplos de la interfaz WEB y conexión física del hardware

Pantalla principal interfaz de control WEB

Control de Acceso ESP32

Estado de la Puerta

CERRADA

Temporizador de Acceso

Segundos

Activar Acceso

Añadir Usuario

Añadir Nuevo Usuario

Ingresar PIN

Ingresar PIN

Lista de Usuarios

Ver Usuarios

Últimos Accesos

Fecha y Hora	Método	ID	Usuario	Estado
2025-06-25 10:56:33	RFID	33 05 FF AE	Victor	Acceso concedido
2025-06-25 10:52:16	RFID	33 05 FF AE	Victor	Acceso concedido
2025-06-25 00:18:09	RFID	D2 C8 C1 AB	Javier	Acceso concedido
2025-06-25 00:17:52	RFID	33 05 FF AE	Victor	Acceso concedido
2025-06-25 00:17:35	SENSOR	N/A	Ladrón	Intento de intrusión
2025-06-25 00:09:53	RFID	33 05 FF AE	Victor	Acceso concedido
2025-06-25 00:09:45	RFID	C3 04 B4 38	N/A	Acceso denegado
2025-06-25 00:09:31	RFID	D2 C8 C1 AB	Javier	Acceso concedido
2025-06-25 00:01:51	WEB	N/A	N/A	Acceso concedido
2025-06-25 00:01:12	RFID	D2 C8 C1 AB	Javier	Acceso concedido

Proceso para añadir un usuario nuevo

Añadir Nuevo Usuario

Nombre:

Nombre del usuario

Métodos de autenticación:

☒

Usar PIN

PIN (4 dígitos)

☐

Usar RFID

Registrar Usuario

Volver

Lista de usuarios registrados

Lista de Usuarios

Nombre	PIN	UID RFID	Acciones	
Javier	N/A	D2 C8 C1 AB	Editar	Eliminar
Victor	1111	33 05 FF AE	Editar	Eliminar

Volver

Cableado de los componentes al ESP32

Componente	Pin del componente	Pin del ESP32	Descripción
RFID RC522	SDA (SS)	GPIO 15	Selección de chip para SPI (VSPI).
	SCK	GPIO 5	Reloj SPI (VSPI).
	MISO	GPIO 19	Salida de datos SPI (VSPI).

Componente	Pin del componente	Pin del ESP32	Descripción
Módulo Tarjeta SD	MOSI	GPIO 18	Entrada de datos SPI (VSPI).
	RST	GPIO 27	Pin de reset para el RC522.
	VCC	3.3V	Alimentación (3.3V del ESP32).
	GND	GND	Tierra común.
	CS	GPIO 16	Selección de chip para SPI (HSPI).
	SCK	GPIO 14	Reloj SPI (HSPI).
	MISO	GPIO 12	Salida de datos SPI (HSPI).
	MOSI	GPIO 13	Entrada de datos SPI (HSPI).
	VCC	3.3V	Alimentación (3.3V del ESP32).
	GND	GND	Tierra común.
Sensor Magnético	OUT	GPIO 23	Salida digital(HIGH cuando la puerta está abierta, LOW cuando está cerrada).
	GND	GND	Tierra común.
Relé	IN	GPIO 4	Señal de control (LOW activa el relé, HIGH lo desactiva).
	VCC	5V	Alimentación (5V del ESP32).
	GND	GND	Tierra común.
LED RGB WS2812	DIN	GPIO 21	Señal de datos para controlar el LED.
	VCC	5V	Alimentación (5V del ESP32).
	GND	GND	Tierra común.
LED integrado	-	GPIO 2	LED incorporado en el ESP32 para indicar conexión WiFi (control de Wifi)

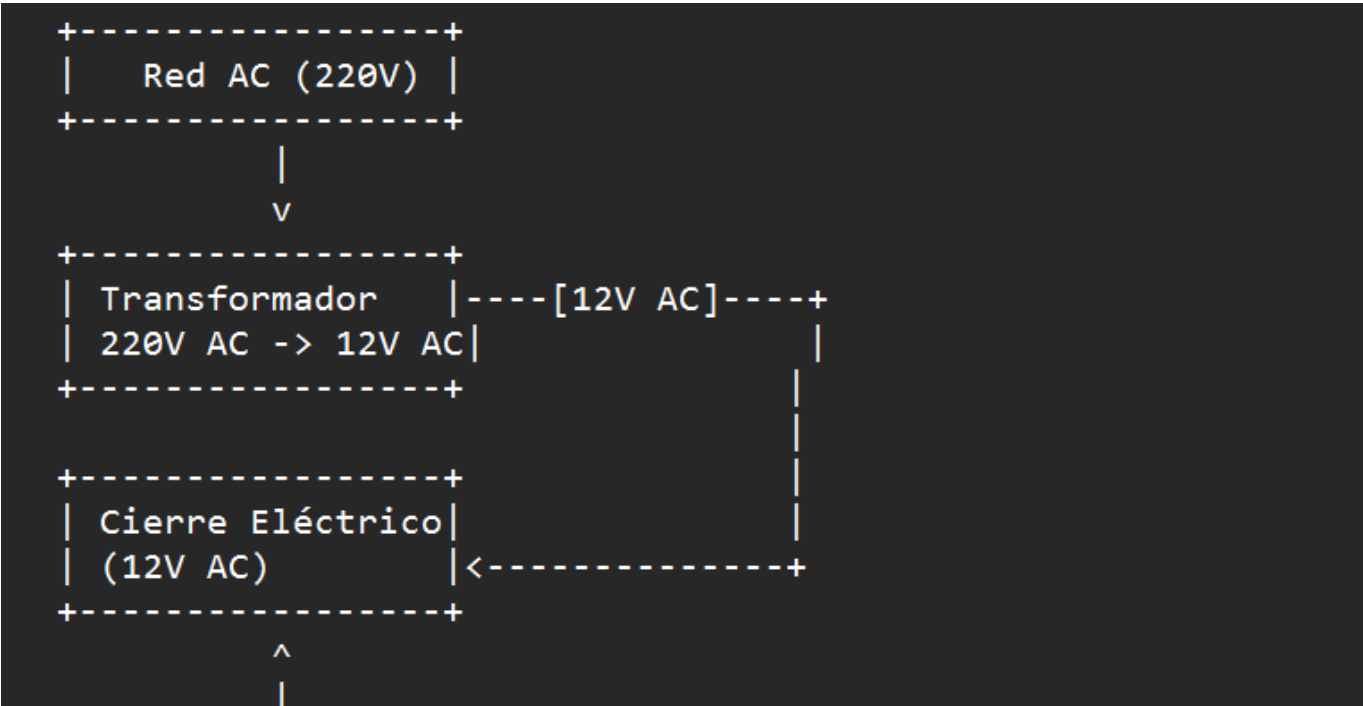
Cableado del relé al cierre eléctrico con corriente alterna

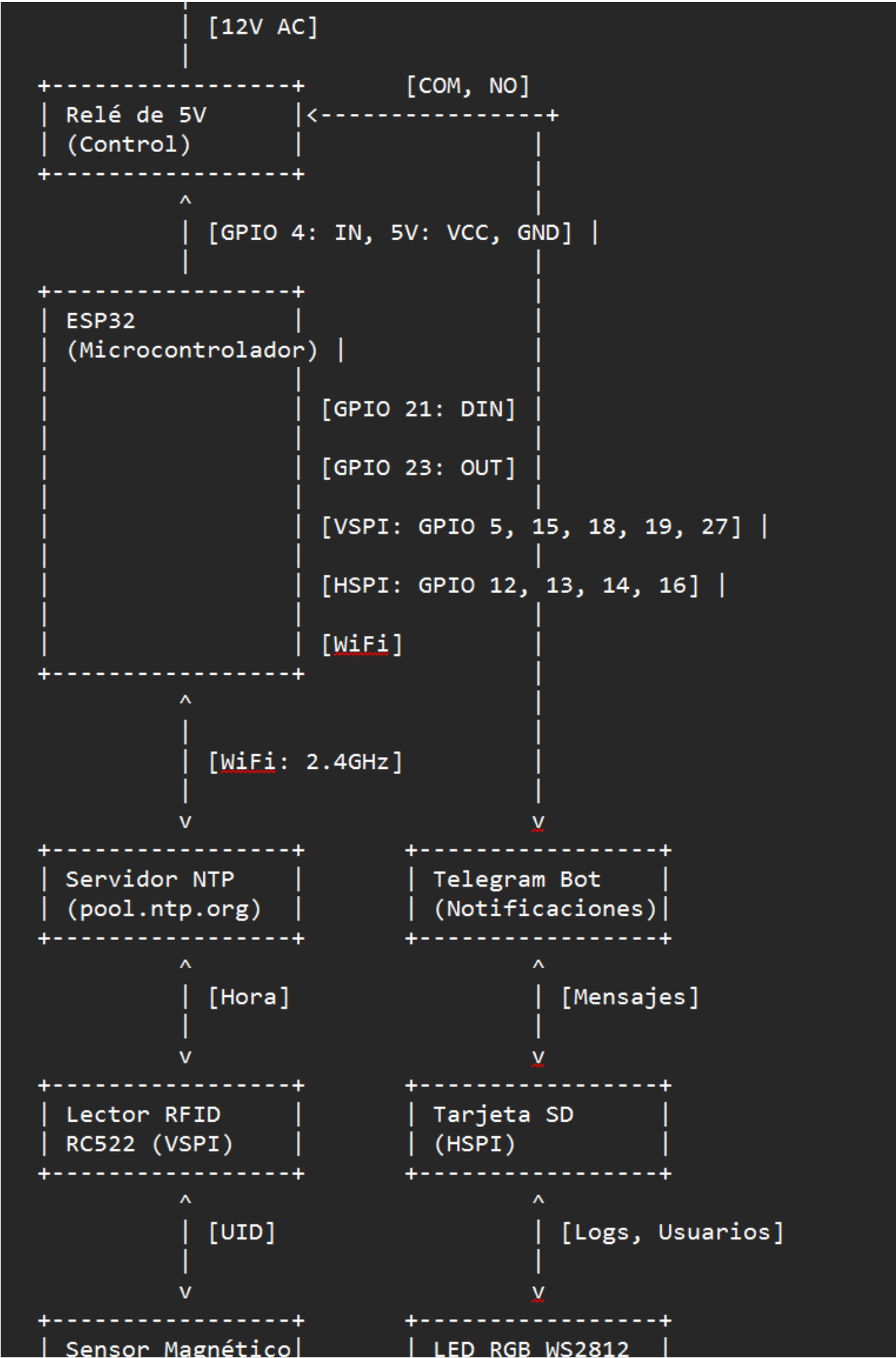
Componente	Pin/Terminal	Conexión	Descripción
ESP32	GPIO 4	Pin IN del módulo de relé	Señal de control para activar/desactivar el relé (LOW activa el relé).
	5V (VIN)	VCC del módulo de relé	Alimentación de 5V para el módulo de relé.
	GND	GND del módulo de relé	Tierra común para el módulo de relé y el ESP32.

Componente	Pin/Terminal	Conexión	Descripción
Relé de 5V	VCC	5V (VIN del ESP32 o fuente externa)	Alimentación del módulo de relé.
	GND	GND	Tierra común.
	IN	GPIO 4 del ESP32	Entrada de control (LOW: relé ON, HIGH: relé OFF).
	COM	12V transformador AC	Terminal común del relé, conectado al suministro de 12V DC.
	NO	Cualquier terminal del cierre eléctrico	Terminal normalmente abierto, conectado al cierre cuando el relé está ON.
Transformador AC	NC	No conectado	Terminal normalmente cerrado, no usado en este caso.
Transformador AC	Primario (220V)	Red eléctrica (Línea y Neutro)	Conexión a la red AC.
	Secundario (12V AC)	Un polo al cierre eléctrico y el otro polo al puerto COM del Relé	Conexión del transformador AC a la red eléctrica y tanto a relé como al cierre eléctrico.
Cierre eléctrico	Primer terminal	NO del relé 5V	Recibe 12V DC cuando el relé está activado.
	Segundo terminal	Secundario del transformador AC	Completa el circuito AC con el transformador.

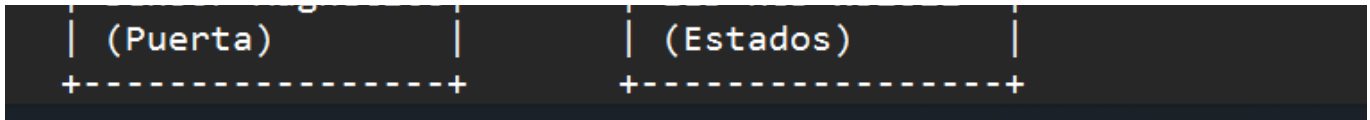
Diagrama de bloques del proyecto

Diagrama de bloques









## Desafíos y Soluciones

### 1. Errores de Compilación

En general no hemos tenido muchos problemas para desarrollar la estructura principal del programa. Nos hemos apoyado mucho en la inteligencia artificial (ChatGPT, DeepSeek y Grok principalmente) para poder desarrollar todas las funciones que posee el proyecto que permiten tener todas las características que queremos en nuestro proyecto.

### 2. Gestión de Historial

Problema: Requerimiento de limitar el historial a 15 eventos para optimizar memoria. Solución: Implementación de un array circular (`accessHistory[15]`) y lógica en `loadAccessHistory()` para cargar solo los últimos 15 registros desde la SD.

### 3. Codificación de Caracteres

Problema: Caracteres acentuados (á, é, í, ó, ú) no se mostraban correctamente en la interfaz web. Solución: Agregado de `lang='es'` en todas las páginas HTML.

### 4. Interfaz Web

Problema: Falta de un título consistente en la pestaña del navegador. Solución: Inclusión de en todas las respuestas HTML generadas por el servidor.

### 5. Comportamiento del LED

Problema: El LED verde era estático y el rojo parpadeante era demasiado lento, dificultando la distinción visual. Solución: Modificación de `updateRGBStatus()` para introducir parpadeo en el estado verde (intervalo de 300ms). Aumento de la velocidad del parpadeo rojo en el estado `BLINKING_RED` (intervalo de 200ms). Uso de intervalos diferenciados (`BLINK_INTERVAL_RED` y `BLINK_INTERVAL_GREEN`) para claridad.

### 6. Gestión de Recursos

Problema: Múltiples dispositivos SPI (RFID, SD) compartiendo el bus. Por la naturaleza de la placa de conexiones que hemos usado con nuestro ESP32, no podíamos compartir ningún pin GPIO entre el lector RFID y el lector de tarjetas SD aunque ambos usen el protocolo SPI. Por lo tanto, cada dispositivo fue conectado a pines diferentes y teníamos que gestionar el acceso a ambos dispositivos usando buses SPI diferentes (como por ejemplo el HSPI y el VSPI). Solución: Implementación de `configureSPI Pins()` para alternar configuraciones SPI según el dispositivo activo. La desventaja principal de esta solución es el incremento de los recursos del ESP32 al exigir más trabajo a la CPU.

## Lecciones Aprendidas

Planificación de Requerimientos: La importancia de definir claramente los requerimientos (e.g., límite de historial, codificación UTF-8) desde el inicio para evitar iteraciones innecesarias.

**Depuración Incremental:** Probar cada módulo (RFID, SD, WiFi, Telegram) por separado antes de integrarlos nos ayudó a identificar errores específicos, por ejemplo, el primer lector RFID no funcionaba y lo descubrimos al probarlo por separado.

**Optimización de Memoria y Recursos:** Limitar el historial a 15 eventos y usar arrays circulares fue crucial para operar dentro de las restricciones del ESP32, al tener poca memoria Flash y RAM no podemos gestionar de la mejor manera todas las funciones del proyecto y esto a veces repercute en una respuesta un poco lenta del sistema, por ejemplo, al leer tarjetas/llaveros RFID o al cambiar el estado del LED RGB.

**Interfaz de Usuario:** La consistencia visual (títulos, codificación) mejora la experiencia del usuario y reduce confusiones.

**Documentación:** Realizar un informe detallado que explique todo el desarrollo del proyecto, incluyendo desde los objetivos iniciales hasta los problemas enfrentados y ejemplos del proyecto con fotografías o capturas de pantalla.

## **Conclusiones**

El sistema de control de acceso cumple con los objetivos establecidos, ofreciendo una solución robusta y versátil para la gestión de accesos. Las iteraciones realizadas para corregir errores de compilación, optimizar el historial, garantizar la codificación adecuada y mejorar el comportamiento del LED han resultado en un producto funcional y visualmente claro. Aunque el sistema es operativo, hay oportunidades de mejora, como optimizar la gestión de los recursos del ESP32, soportar más métodos de autenticación (por ejemplo reconocimiento facial o huella dactilar) o implementar encriptación para la comunicación web segura.

## **Recomendaciones para Futuras Mejoras**

**Seguridad Avanzada:** Implementar certificados SSL para el acceso a través de HTTPS en el servidor web y autenticación multifactor. **Escalabilidad:** Aumentar el límite de usuarios almacenando datos en una base de datos externa, teniendo en cuenta los recursos limitados de una placa como el ESP32. **Interfaz Mejorada:** Desarrollar una interfaz web más moderna usando frameworks modernos y posiblemente añadir animaciones para mejorar el aspecto visual. **Monitoreo Remoto:** Agregar soporte para cámaras o sensores adicionales con notificaciones multimedia en Telegram. **Batería de Respaldo:** Incorporar un sistema de alimentación ininterrumpida para garantizar operación continua.