

CONTROL DE ENCENDIDO/APAGADO Y MONITOREO REMOTO DE INTERRUPTORES Y TOMAS DE ALIMENTACIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA

**JOYCE MARIANA CARVAJAL SALGADO
KAREN JOHANA PÉREZ RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.**

2020



CONTROL DE ENCENDIDO/APAGADO Y MONITOREO REMOTO DE INTERRUPTORES Y TOMAS DE ALIMENTACIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA

**JOYCE MARIANA CARVAJAL SALGADO
KAREN JOHANA PÉREZ RODRÍGUEZ**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Director: M.Ing. Carlos Javier Mojica Casallas.
Co-Director: M.Ing. Jaime Vitola Oyaga.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2020**

A Dios, a nuestros padres, y hermanas por su invaluable e incondicional apoyo.
Dedicamos este proyecto a nuestros directores, quienes nos dieron las bases para realizarlo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros directores por sus enseñanzas y el tiempo dedicado, a nuestros padres por apoyarnos en cada decisión tomada, cada paso dado para llegar al punto donde nos encontramos y estar presentes no sólo en esta etapa de nuestra vida sino en todo momento, ofreciéndonos y buscando lo mejor para nosotras.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas que contribuyeron con el desarrollo de este proyecto para que fuera posible.

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

RECTOR GENERAL

R.P. FRAY JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

R.P. FRAY LUIS FRANCISCO SASTOQUE POVEDA, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

R.P. FRAY EDUARDO GONZALES GIL, O.P.

SECRETARIO GENERAL

Dra. INGRID LORENA CAMPOS VARGAS

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

R.P. FRAY ÉRICO JUAN MACCI CÉSPEDES, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

E.C. LUZ PATRICIA ROCHA CAICEDO

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ING. CARLOS ENRIQUE MONTENEGRO NARVÁEZ

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del tutor

Firma del tutor

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. _____ DE 2020

ADVERTENCIA

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

CONTENIDO

Introducción	11
1. Problema	12
2. Antecedentes	13
3. Justificación.....	17
4. Objetivos	18
4.1 Objetivo general.....	18
4.2 Objetivos específicos.....	18
5. Marco teórico	19
5.1 Internet de las cosas.....	19
5.1.1 Domótica.....	19
5.1.2 Inmótica.....	20
5.1.3 Aplicaciones móviles.....	20
5.1.4 Bases de datos en la nube.....	21
5.2 Protocolos de comunicación.....	21
5.3 Power Line Communication	22
5.3.1 Comunicación maestro-esclavo	23
5.3.2 FSK	23
5.4 Control encendido/apagado.....	24
5.4.1 Tiristores	24
5.4.2 Optoacoplador.....	24
6. Diseño metodológico	26
6.1 Redes de comunicación	26
6.1.1 Comunicación remota	28
6.1.2 Comunicación local	29
6.2 Circuitos.....	32
6.2.1 Módulo PLC	32
6.2.2 Circuito control encendido/apagado.....	33
6.3 Pruebas	34
7. Resultados	40
7.1 Aplicación móvil y comunicación inalámbrica	40

7.2	Protocolo de comunicación.....	45
7.3	Red y circuitos de comunicación local	46
7.4	Circuito de control encendido/apagado	49
7.5	Carcasas	50
7.5.1	Carcasa para interruptor de luz.....	50
7.5.2	Carcasa para toma de alimentación.....	51
7.6	Sistema completo	54
8.	Conclusiones.....	57
9.	Trabajo futuro.....	59
10.	Referencias Bibliográficas.....	60
11.	Referencias Figuras.....	63
12.	Anexos	64

GLOSARIO

API: Protocolos para el desarrollo de software, permite integrar productos y la comunicación de otras aplicaciones sin necesidad de saber cómo es su funcionamiento.

Aplicación móvil: Es un programa el cual se puede acceder y ejecutar desde un teléfono inteligente.

Código binario: Sistema de representación y codificación de datos, utiliza dos dígitos o bits '1' y '0'.

Comunicación alámbrica: Transmisión de datos a través de un medio físico como cables o fibra óptica.

Comunicación inalámbrica: Trasmisión o recepción de datos sin utilizar un medio físico sino a través de ondas electromagnéticas.

Consumo fantasma: Consumo energético de electrodomésticos o dispositivos conectados a la red eléctrica sin estar en funcionamiento (modo de espera).

Corriente Alterna: Se denomina corriente alterna porque la corriente varía en magnitud y en sentido.

Corriente Continua: La corriente continua, a diferencia de la alterna, no cambia de sentido con el tiempo.

Digital to Analog Conversor (DAC): Sus siglas significan conversor análogo digital y su función es convertir señales análogas en digitales o datos binarios.

Domótica: Es un sistema que recoge información de sensores y envía órdenes a actuadores, generalmente se utiliza en viviendas, oficinas y/o establecimientos.

General Packet Radio Service (GPRS): Es una tecnología de comunicación basada en GSM que fracciona la información para ser enviada y luego la ensambla al llegar al receptor.

Global System for Mobile Communications (GSM): Es un estándar europeo para la transmisión de datos.

Hardware: Es el conjunto de elementos electrónicos o electromecánicos que conforman un dispositivo o un circuito.

Internet of Things (IOT): Es un concepto de interconexión donde los objetos con los que interactúa el usuario tienen conexión a internet para enviar y recopilar información.

Microcontrolador: Es un dispositivo electrónico que posee una CPU, unidades de memoria, puertos de entrada y de salida. Se programa para cumplir funciones específicas.

Modem: Dispositivo utilizado para la recepción de datos de proveedores de servicios de Internet principalmente por medio de cables o fibra óptica.

Multiple Input – Multiple Output (MIMO): Son sistemas que tienen múltiples señales de entrada y múltiples señales de salida.

Power Line Communication (PLC): Es una tecnología utilizada para la transmisión de datos sobre la red eléctrica.

PWM: Es una modulación por ancho de pulso utilizada para el envío de datos o para modificar el suministro de energía a una carga. Se crea modificando el ciclo útil de la señal.

Receptor: Recibe los datos o señales enviadas por un transmisor.

Red eléctrica: Conjunto de elementos utilizados para suministrar energía eléctrica desde una central.

SCI (Serial Communications Interface) o UART: Dispositivo que permite controlar los puertos seriales para el intercambio de datos.

Single Input Single Output (SISO): Sistemas que cuentan con una única entrada y salida.

Soft Access Point: Es un punto de acceso habilitado por software que permite al dispositivo actuar como router.

Software: Son programas que corren sobre un hardware para cumplir tareas o funciones específicas.

SPI (Serial Peripheral Interface): Es un estándar de comunicación para comunicar principalmente dispositivos e intercambiar información.

Transmisor: Un transmisor envía una señal o señales de datos a través de un canal hacia un receptor.

Wifi: Es la abreviatura de Wireless Fidelity', una tecnología que permite el envío de datos de manera inalámbrica, principalmente usada para Internet.

Zigbee: Es una tecnología de transmisión de datos inalámbrica que utiliza radiodifusión para tener un consumo bajo de energía.

RESUMEN

Por medio de una aplicación de celular conectada a internet, se realiza el control de tomas de alimentación e interruptores de luz de una propiedad, la comunicación entre los elementos se efectúa con módulos de comunicación PLC (Power Line Communication); estos módulos envían y reciben información de un modem de internet y la aplicación en el celular se encarga de generar las ordenes de encendido o apagado, además de conocer el estado de cada elemento.

El alcance de este proyecto es el monitoreo y control del estado de encendido/apagado tanto de tomas de alimentación como de interruptores de luz desde una aplicación remota en un celular con acceso a internet con las siguientes características: suspender el consumo de energía en caso de que al abandonar la propiedad, por olvido o prisa, quede algún aparato eléctrico conectado; asistir a personas con ciertas discapacidades; encender las luces del establecimiento con un temporizador, con el fin, de simular que hay personas en el lugar, entre otras; todo lo anterior para la comodidad y bienestar del usuario.

INTRODUCCIÓN

Los desarrollos tecnológicos han avanzado exponencialmente en un corto periodo de tiempo, cada día surgen soluciones diversas para distintas necesidades e incluso para brindar mayor comodidad a las personas. La automatización de procesos ha sido una de las mayores aplicaciones e incluso ha sido aplicada en automóviles y viviendas, a este último se le llama domótica.

También se ha visto una precipitación en la interconexión de ‘cosas’, es decir, tener conectado a internet objetos como los autos, edificios, electrodomésticos, entre otros. Esto ha empezado a cambiar los procesos en las industrias, la interacción de las personas con las viviendas, la obtención de datos para el monitoreo del clima, del transporte, del comportamiento del suelo y más. De esta manera, el siguiente trabajo se enfoca en hacer uso del internet de las cosas en la rama de la domótica.

En este documento se encuentra el desarrollo del proyecto de grado “Control de encendido/apagado y monitoreo remoto de interruptores y tomas de alimentación de una red eléctrica”, el cual busca solucionar algunas necesidades de las personas como el consumo ‘fantasma’ de dispositivos electrónicos o electrodomésticos, entre otros.

Se han hecho trabajos similares utilizados como referencia para el desarrollo del proyecto, sin embargo, se propone una idea diferente al incluir la unión de comunicación inalámbrica y comunicación alámbrica, para controlar todo el sistema desde una aplicación móvil y una base de datos en la nube, además enviar información por la red eléctrica a cada módulo situado en el inmueble.

1. PROBLEMA

La demanda de energía es mayor cada año por el incremento de electrodomésticos y aparatos electrónicos. En los hogares, empresas e industrias el hecho de mantener un aparato conectado y apagado implica un consumo energético innecesario que parece insignificante, por ejemplo, un cargador del celular consume 0.26w en una hora, una estufa sin ser usada, pero estando conectada consume 4.21w o un computador de escritorio consume 2.84w [1]; al sumar esas pequeñas magnitudes de todos los dispositivos, se tienen repercusiones económicas importantes además de las afectaciones para el medio ambiente. Además, también el consumo de energía que es provocado por el uso inútil de iluminación, en muchos casos por descuido del personal humano, se suma a las repercusiones económicas y ambientales.

Por otra parte, en propiedades donde residen personas con alguna limitación física que tengan inconveniente en su movilidad, se hace más difícil la interacción con determinadas tomas eléctricas para conectar o desconectar algún aparato o con interruptores para manejar la iluminación, puesto que estas personas dependen de otros para realizar estas actividades.

Otro aspecto a tener en cuenta, son las exhaustivas horas de trabajo y las ocupaciones diarias que limitan el tiempo de las personas y que al llegar al hogar tienen que esperar después de encender el calentador de agua o el aire acondicionado, la cafetera, el horno eléctrico, etc., para que estos dispositivos comiencen a funcionar y poder ser usados; pequeñas acciones que mejoran la calidad de vida de los seres humanos.

Por último, según estadísticas de la Policía Nacional [2], entre enero y septiembre del año 2017 fueron robadas 2.530 casas en Bogotá, Colombia. En la complicada situación que atraviesa el país con respecto a seguridad, al salir de la vivienda, se está expuesto a robos y la ausencia de iluminación puede ser una señal para personas mal intencionadas que buscan ingresar cuando la propiedad está desocupada.

2. ANTECEDENTES

Los proyectos de domótica tienen muchos diseños diferentes, tanto físicos, como en la interacción con el usuario o en la comunicación. Uno de los artículos propone la creación de una red domótica para una casa familiar de 67 metros cuadrados con una transmisión de datos por cableado tipo TP1 capaz de albergar 64 dispositivos por línea, el control del sistema se hace medio de un panel con pantalla táctil [3], no obstante, el cableado extra necesita obra civil generando costos extra en la instalación y el control por un panel fijo no permite el manejo del sistema desde cualquier lugar.

Para solucionar el problema de un nuevo cableado, se encontró un artículo que utiliza comunicación vía Bluetooth con un sensor de efecto hall y un circuito con relé para el control de tomas eléctricas [4], este proyecto solo realiza el control de las tomas de corriente, no propone el control de interruptores de luz, y la comunicación por Bluetooth solo alcanza los 10 metros. Otro artículo, a diferencia del anterior propone una comunicación por ZigBee que alcanza 75 metros, agregando un nuevo hardware que deberá llevar el usuario para que pueda interactuar con las tomas de corriente y los interruptores de luz cuando éste ingrese en una habitación [5], el hardware extra no es muy práctico pues es necesario llevarlo todo el tiempo.

Tal como el artículo anterior, un proyecto propone realizar dicha comunicación pero el sistema funcionaria de manera autónoma, el usuario no tiene control del sistema, éste decide basado en la prioridad de la toma de corriente, es decir, cual tiene más consumo de energía y por qué periodo de tiempo [6], en consecuencia, el usuario no tendría interacción alguna con el sistema, en cambio un artículo presenta un sistema controlado por una aplicación de celular [7], en conjunto con una comunicación ZigBee y una conexión por Wifi, la alternativa propuesta puede ser usada como referencia para el proyecto en cuestión, su esquema general puede llegar a ser una guía para el desarrollo del prototipo al cual se quiere llegar.

Por otra parte, un proyecto plantea un sistema para el control y gestión de las tomas de corriente donde la arquitectura que plantea se compone de un microcontrolador y varios sensores (temperatura, gas, movimiento, fotoeléctrico, etc.), el control de los relés y el monitoreo de los sensores se hace a través de una aplicación móvil que usa una comunicación GPRS (Servicio general de paquetes vía radio) [8], esta comunicación tiene una capacidad limitada y la velocidad de transmisión es baja e inestable, y aunque los sensores son de gran utilidad a la hora de monitorear, estos ocupan mucho espacio en el módulo lo cual podría ser perjudicial a la hora de crear un prototipo.

Utilizando una comunicación Wifi para el control de consumo energético y monitoreo de temperatura un artículo propone módulos con sensor de temperatura y un relé para restringir el paso de corriente, éstos se conectan a un router que envía información a la nube y posteriormente esos datos llegan a una aplicación Android [9]. La comunicación por Wifi entre tomas de corriente puede llegar a ser un inconveniente pues se está sujeto a la cobertura que tenga la señal e interferencias en la propiedad, siendo crucial para que los datos lleguen sin ningún problema, por eso, Wifi no sería la mejor opción de comunicación ni la más segura.

Parte importante a la hora de realizar redes de comunicación es la incorporación de un protocolo que se adapte a las necesidades de la red, es por eso que un artículo hace un análisis de algunos protocolos de comunicación usados para redes domóticas como Instabus-EIB, X-10, Bluetooth, Wifi, ZigBee, Lon Works-Lon Talk y Batibus [10]. Evaluaron características como el ancho de banda, el área de cobertura, la fiabilidad en la transferencia de datos, las aplicaciones que pueda tener la comunicación, sus restricciones, la topología, los costos de instalación y la seguridad. Después del análisis se concluye que la mejor opción para una red domótica es el protocolo X-10, ya que no necesita obra civil extra pues la comunicación se hace a través de la red eléctrica existente en la propiedad, su área de cobertura llega hasta encontrar un transformador, puede controlar hasta 256 dispositivos, la programación del sistema es amigable y para asegurar los datos usa un código inicial, una identificación, un código numérico y un código de la función (comandos).

Una de las investigaciones encontradas, presenta un modelo para el control de electrodomésticos con protocolo X-10 y WAP, la comunicación se hace a través de la red eléctrica que transporta información entre módulos de transmisión y recepción, la sincronización se realiza a través de módulos con detección de cruces por cero y el sistema se controla por un teléfono móvil. El protocolo se basa en una codificación binaria en una señal sinusoidal emitida durante un 1ms a partir de un cruce por cero, en un principio se envía un código de inicio, seguido de un código carta, un código numérico, un bit para informar al receptor que se enviarán datos y un código comando, esta secuencia permite seguridad y fiabilidad en el sistema [11]. La segunda versión del protocolo X-10 tiene la capacidad de dirigirse a 256 dispositivos diferentes a través de un operador de 120 kHz, mientras que, el protocolo PLCBUS-System puede dirigirse a 64000 dispositivos también es más rápido y resistente al ruido de línea.

La comunicación PLC (Power Line Communication) plantea la posibilidad de utilizar la red eléctrica como medio de comunicación dada la generalizada infraestructura que esta tiene, en un artículo se plantean dos modelos para el mantenimiento de la comunicación de líneas eléctricas, esto se debe a que los sistemas de banda ancha de Power Line Communication operan a frecuencias superiores a 1.8 MHz con lo cual, la línea de alimentación produce radiación electromagnética que puede interferir con otros servicios que operen a esa frecuencia y conduce a limitaciones en la emisión electromagnética (EM). El primer modelo es el SISO (single input single output) una única entrada y una única salida, el segundo modelo es el MIMO (multiple input multiple output) múltiples entradas y múltiples salidas, que realiza la transmisión a través de todas las líneas de alimentación, esta configuración genera comunicación simultánea, para permitir una mayor velocidad y garantiza una mejor estabilidad [12]. Aunque la velocidad no es una limitante para el proyecto que se realizará porque no se tiene una cantidad masiva de datos que requiera ser tratada a altas velocidades, se puede apreciar, gracias al artículo que el modelo MIMO para comunicación por PLC es una mejor elección debido a su modulación multiportadora que permite mayor velocidad, estabilidad y evita el desvanecimiento de datos en grandes trayectos.

La nueva generación de PLC es de las tecnologías más actuales en módems y en equipos de cabecera para brindar velocidad de transmisión de banda ancha, utiliza la red eléctrica en niveles de distribución de medio y bajo voltaje. Un artículo genera una tabla comparativa entre diferentes tecnologías de acceso (ADSL, Cable, Wireless, Fibra Óptica, Satélite y PLC), se comparó la máxima velocidad (Mbps), el costo de la instalación y el tiempo de instalación. Una plataforma PLC (Power Line Communication), está conformada por unidades de control y gestión, unidades de acceso head end y repetidor, unidades terminales modem PLC conocidos como equipo de instalaciones de clientes (Customers Premises Equipment) o CPE los cuales pueden tener posibilidad de brindar servicios de voz, datos y otras prestaciones como video y televisión). El head end es capaz de atender hasta 254 nodos, el repetidor se utiliza para ampliar distancias entre el head end y el CPE, con la tecnología Marveric se alcanzan distancias de 600m, y con la tecnología Wisconsin se alcanzan 1500m sin repetidores [13]. La tecnología PLC (Power Line Communication) puede utilizar tanto IPv4 como IPv6, esto permite una mayor cantidad de direcciones para asignar una IP a cada equipo de la propiedad.

Para el control y monitoreo de la iluminación de un lugar por medio de PLC (Power Line Communication), un equipo de investigadores realiza una modulación a una señal portadora que se codifica antes de ser enviada a los módulos PLC, después la señal recibida se decodifica y demodula para controlar el sistema. Se usa una capa física, una de red y una de aplicación [14]. Los módulos PLC, un router y un computador conforman el sistema; la interacción con el usuario es por medio de una aplicación de computador por lo cual, se limita el control de manera remota.

Por medio de una comunicación PLC (Power Line Communication) se realiza el control y monitoreo de los electrodomésticos de un hogar [15] usando módulos que se insertan en las tomas de corrientes y que sirven para el envío y la recepción de datos, junto con un relé de estado sólido (no tiene partes mecánicas) que restringe el paso de corriente. También integra un medidor de potencia para saber el consumo energético de cada electrodoméstico y un microcontrolador que se encarga de leer el registro del sensor de corriente y luego espera una respuesta el módulo PLC para proceder a encender o mantener apagado el relé, sin embargo, primero debe verificar si la respuesta obtenida es para esa toma de corriente en particular o no. El usuario interactúa con el sistema por medio de un buscador/navegador web, desde un dispositivo que tenga acceso a este podrá visualizar una interfaz gráfica que controla el sistema. El módulo PLC tiene un problema, debe ser conectado a la toma de corriente y es a este al cual se le conectan los electrodomésticos, eso quiere decir más espacio ocupado y podría llegar a ser estorboso, además, únicamente controla las tomas de corriente y no los interruptores de luz.

Para el control de equipos de laboratorio y ahorro de energía de una universidad por el aumento de usuarios en los laboratorios de Ingeniería Electrónica y la congestión al acceso que estos usuarios generan se pretende aprovechar la red eléctrica para generar una red domótica con tecnología PLC (Power Line Communication) [16]. El sistema está conformado por un núcleo como estación de trabajo, un lector de tarjeta inteligente y un actuador, los bloques del transceptor incluyen un bloque de alimentación, un bloque de protección, un filtro de señales que procedan directamente de la red eléctrica y un amplificador que adecue los

datos de salida. Aunque la red eléctrica limita la transmisión de señales de la información (voz, datos, videos, etc.) cuando no se tiene una técnica de codificación, comprensión y modelación más eficiente, para el proyecto no es necesario hacer la transmisión de este tipo de datos.

La comunicación por PLC (Power Line Communication) hoy en día se usa para la medición de energía en sistemas de redes inteligentes. Aunque también se usa para sistemas de automatización, se desea integrar este concepto para hogares inteligentes. Generalmente se usan protocolos inalámbricos como ZigBee, LoRa y Sigfox, aunque también existen tecnologías muy populares que integran las comunicaciones inalámbricas con las alámbricas. Una de las investigaciones propone crear una aplicación web que se pueda manejar localmente o de forma remota a través de internet, se tiene una unidad central que cuenta con una conexión web en conjunto con una base de datos y se comunica por medio de esclavo-maestro a los periféricos manejados por una red PLC [17], el diseño propuesto en el artículo se puede utilizar como guía para desarrollar el proyecto pues combina una comunicación alámbrica e inalámbrica en conjunto con una conexión a internet.

3. JUSTIFICACIÓN

Al poder controlar el encendido y apagado de las tomas de corriente y los interruptores de luz de manera inalámbrica mediante una aplicación móvil es posible generar un ahorro energético suprimiendo el suministro de energía a los electrodomésticos y dispositivos electrónicos que se mantienen apagados, conectados a la red eléctrica y generan consumo. Todos los aparatos que no estén en uso, al retirarles el suministro de energía se elimina el consumo 'Fantasma', se disminuye el gasto de energía y se genera un ahorro económico, al mismo tiempo, se colabora con la preservación del medio ambiente.

El fácil manejo de tomas de corriente y los interruptores de luz desde una aplicación que unifica el control de todos los aparatos a partir de una orden sencilla como lo es una pulsación es conveniente para el usuario, sobre todo si presenta limitaciones físicas. Una persona con discapacidad puede tener más autonomía en su residencia, al controlar el encendido/apagado de los aparatos eléctricos y las luces de la vivienda desde cualquier lugar dentro o fuera de la propiedad contando con una conexión a internet.

Por otro lado, para un aparato eléctrico que necesita un tiempo previo para poder ser usado o ver un resultado, se genera un horario o una orden de encendido aún sin estar en la propiedad para que ese tiempo que se gasta no sea un inconveniente para el usuario. Por ejemplo, se puede encender la calefacción o el aire acondicionado con anticipación.

Con un horario preestablecido por el usuario para el encendido o apagado de las luces automático, se puede dar la impresión de que la propiedad no se encuentra vacía y engañar a personas mal intencionadas que deseen irrumpir en la propiedad cuando se encuentre desocupada. Y finalmente, al ingresar a la aplicación móvil se puede monitorear el estado actual de cada interruptor de luz o toma de alimentación registrado en la base de datos modificado anteriormente por el usuario desde la aplicación móvil o por una alarma.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Monitorear y controlar el estado de los interruptores y las tomas de corriente monofásicas (120 Vrms / 60 Hz) de la red eléctrica de un establecimiento, por medio de un sistema de comunicación entre dispositivos móviles y módulos locales, los cuales interactúan por medio de una red Wifi y PLC (Power Line Communication).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una aplicación móvil para utilizar el sistema.
- Diseñar un protocolo para la transmisión de instrucciones de encendido/apagado a los interruptores de luz y tomas de alimentación.
- Realizar una red y el circuito de comunicación local con los módulos PLC (Power Line Communication) de los interruptores y de las tomas de corriente de energía.
- Diseñar e implementar un circuito para el control (encendido/apagado) de tomas de corriente e interruptores de luz.
- Diseñar las carcasas de las tomas de corriente e interruptores que contendrán los circuitos de control (encendido/apagado) y el sistema de comunicación.
- Validar el proyecto con pruebas pertinentes.

5. MARCO TEÓRICO

Se presenta el siguiente marco teórico para conocer los conceptos básicos requeridos para el desarrollo de este proyecto. Se realiza una definición de Internet de las cosas y de temáticas que componen el proyecto, con el fin de tener una referencia para el lector.

Posteriormente se describe cómo se compone un protocolo de comunicación, la definición y funcionamiento de “Power Line Communication”, para poder comprender el desarrollo del proyecto. Por último, se definen los componentes que hacen parte del sistema de control de encendido/apagado con el fin de explicar su función en el trabajo.

5.1 INTERNET DE LAS COSAS

El internet de las cosas (IOT por sus siglas en inglés) significa en términos generales ‘la interconexión de las cosas’, es decir, tener elementos conectados a internet para recibir datos que se convierten en información. Las herramientas principales son los sensores, que envían datos a la nube y de allí se analizan para transformarlos en información, por ejemplo, los pronósticos del clima son cada vez más precisos y exactos, ya que cuentan con diversos sensores en diferentes ubicaciones con datos sobre humedad, velocidad del viento, radiación, temperatura y demás. También se incluyen actuadores que se utilizan para realizar acciones luego de tomar decisiones con la información obtenida de los sensores [18].

Existen cuatro bloques de construcción en un sistema IOT [19]:

- Generación de información: En este bloque se encuentran los sensores, sistemas SCADA y demás dispositivos o sistemas para la recopilación de datos.
- Transmisión de información: Aquí es donde se envían los datos a la nube. Usualmente se utiliza RFID, Zigbee, Wifi y Bluetooth.
- Procesamiento de la información: Los datos se convierten en información útil para tomar decisiones o hacer análisis.
- Aplicación de la información: Cuando se tiene la información procesada y es útil para algún sistema, se pueden ofrecer servicios como domótica, redes inteligentes e incluso cirugías remotas.

El internet de las cosas tiene el potencial de incrementar la rentabilidad de los negocios e impactar en la vida diaria de las personas. Solo el 1% de los datos recompilados son usados para control en tiempo real, el porcentaje restante, por ejemplo, puede ser usado en la predicción de fallas y la optimización de los sistemas [20].

5.1.1 Domótica.

La domótica es un término para describir las viviendas o edificaciones automatizadas con ayuda de diferentes dispositivos de un sistema que controlan varios elementos del hogar.

Existen diversos servicios que la domótica puede ofrecer como la gestión energética, la seguridad, las comunicaciones, la accesibilidad, entre otros, principalmente para la comodidad del usuario.

En algunos sistemas domóticos se cuentan con diferentes sensores los cuales recopilan datos de parámetros físicos como la temperatura, la humedad, la luminosidad y otras señales que son procesadas por un sistema central, el cual genera órdenes a distintos actuadores. Los ejemplos más sencillos son, la captura de datos de temperatura para regular el termostato o capturar datos de radiación para controlar las cortinas. También se realizan procesos más complejos para la gestión de energía, tomando datos del consumo energético y realizando acciones para el ahorro de energía. Se utilizan distintos protocolos de comunicación, alámbricos o inalámbricos, para comunicar los diferentes dispositivos.

La domótica evoluciona constantemente y cambia dependiendo de los requerimientos del usuario, por lo cual, se requieren diseños de tecnología innovadores, siendo un sistema prometedor que podría ser adquirido por todos con el tiempo [21].

5.1.2 Inmótica

La inmótica es el proceso de automatizar edificios no destinados a viviendas, como oficinas, centros comerciales, escuelas, hospitales, entre otros. De la misma manera que la domótica, con el uso de sensores se recopila información y se realiza control a los diferentes componentes que hacen parte de la estructura, para gestionar la energía y brindar seguridad y bienestar a los usuarios. Igualmente, la inmótica se utiliza para registrar los datos de los elementos y poder revisar su funcionamiento, generar alertas en caso de fallo y programar mantenimiento a las instalaciones [22].

5.1.3 Aplicaciones móviles.

Las aplicaciones móviles comenzaron su auge cuando surgió la tienda de aplicaciones en el iPhone y luego se expandió a diferentes plataformas como Android, BlackBerry e incluso Windows con los teléfonos móviles Nokia [23]; son herramientas con funciones que varían mucho dependiendo del objetivo para el que se utiliza, como entretenimiento y diversión o actividades productivas y prestación de servicios. Existen diferentes tecnologías para desarrollar aplicaciones, dentro de las más comunes esta: Java, C, Python, Flash Lite, XHTML/CSS, entre otros y cada uno tiene características distintivas que suplen ciertos requisitos al desarrollar las aplicaciones [24].

Existen dos enfoques para el desarrollo de aplicaciones móviles, las aplicaciones nativas y las aplicaciones multiplataforma. Las aplicaciones nativas son desarrolladas para usar una plataforma específica, estas tienen acceso directo a las funcionalidades nativas del sistema operativo para entregar un mejor rendimiento; en cambio las aplicaciones móviles multiplataforma buscan la adaptabilidad de su desarrollo para trabajar en distintos tipos de plataformas móviles [25].

5.1.4 Bases de datos en la nube.

Las bases de datos en la nube son un servicio de base de datos que se accede a través de internet, su funcionalidad es igual a la de una base de datos tradicional, pero ofrece mayor accesibilidad, sin hardware dedicado y facilidad en su escalabilidad [26].

La accesibilidad a las bases de datos hace mediante plataformas web o APIs (Interfaz de programación de aplicaciones), usualmente son bases de datos con réplicas y tienen copias de seguridad que son realizadas con frecuencia e incluso de manera automática para hacer la recuperación de datos más fácil en caso de fallas en la base de datos principal [27].

5.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Un protocolo de comunicación es una serie de reglas y convenciones que regulan la comunicación entre dispositivos o computadores, también define las especificaciones técnicas y físicas como lo son el formato del mensaje a intercambiar, el direccionamiento de los datos, la detección y corrección de errores, el medio o canal por el cual viajarán los datos, entre otros.

Los protocolos de comunicación usan un modelo de referencia llamado el modelo OSI (Open System Interconnection). Este modelo se compone de 7 capas: Capa física, capa de enlace de datos, capa de red, capa de transporte, capa de sesión, capa de presentación y capa de aplicación [28].

1. Capa física

En la capa física se definen varios parámetros del medio físico por el cual se transmite o recibe datos, se determina la variación del voltaje o corriente para diferenciar un dato '1' o un '0' y enviar ese valor desde un extremo del medio a otro. También se define el tiempo de transmisión de cada bit, cuantos pines tendrá el conector, entre otros.

2. Capa de enlace

Principalmente, la capa de enlace busca que la comunicación entre los dos dispositivos o máquinas se efectúe de manera segura y correcta. Cuando los datos se transmiten dentro de una misma red la capa de enlace busca que no haya errores, sin embargo, si los hay también hace la notificación del suceso. Esta capa también recibe los bits y los agrupa en tramos para luego enviarlos secuencialmente, si los datos llegan correctamente el receptor devuelve una trama para dar a conocer que recibió los datos correctamente.

Otra de las funciones que tiene la capa de enlace es mantener un flujo entre las tramas para que el receptor sea capaz de recibirlas todas, aunque puede tener ayuda de una subcapa de control de acceso de los datos.

3. Capa de red

La capa de red es responsable de llevar los datos desde su origen hasta su destino, se determina el camino o ruta que seguirán los datos para establecer la comunicación y su direccionamiento lógico. Comúnmente se usan enrutadores para direccionar los datos.

4. Capa de transporte

La capa de transporte a diferencia de la capa de red, se encarga de llevar los datos desde el origen hasta el destino sin ningún error, aunque los dispositivos no estén conectados entre sí. Los dispositivos usan esta capa para conectar procesos. Los datos que llegan a esta capa se dividen en unidades más pequeñas para asegurar que lleguen a su destino sin error.

5. Capa de sesión

En la capa de sesión se mantiene la conexión entre los dos dispositivos que se están comunicando, es decir, asegura que siempre haya una sesión establecida para que lleguen los datos al destino y en caso de que se interrumpa la sesión entre los dispositivos sea capaz de conectarlos de nuevo.

6. Capa de presentación.

La capa de presentación se centra principalmente en cómo el dispositivo trata los datos y los muestra, permite tener datos reconocibles para diferentes máquinas puesto que éstas acceden a los datos de maneras distintas.

7. Capa de aplicación.

En esta capa las aplicaciones pueden acceder a los servicios que prestan las demás capas del protocolo para el intercambio de datos entre dispositivos. No está disponible para que el usuario entre en contacto directo con la capa de aplicación, pero los programas si pueden acceder a esta.

5.3 POWER LINE COMMUNICATION

Power Line Communication o PLC es una comunicación que usa la red eléctrica para transmitir datos. Ha sido usado para control remoto y monitoreo a baja velocidad de distribución de redes eléctricas [29].

Existe relación entre las frecuencias para enviar los datos y las propiedades físicas de la línea, como por ejemplo la longitud, la cual puede determinar un posible impacto en la comunicación sobre la red eléctrica. Las bajas frecuencias que van hasta los 150kHz en una longitud de onda de 1km no presentan muchas variaciones en la tensión, sin embargo, si se baja esa longitud a la mitad (500m), comienzan a aparecer más variaciones, aunque siguen siendo muy débiles. Cuando la frecuencia se incrementa a 500kHz (disponible en Asia y Estados Unidos) y la longitud de la línea es menor a 1km las variaciones en la tensión son más visibles porque el

eco se mantiene relativamente fuerte por la baja atenuación del cable en comparación con la alta frecuencia [30].

La comunicación por la red eléctrica PLC (Power Line Communication) utiliza modulación de señales para transportar datos, los tipos de modulación más usados son: modulación de amplitud (AM), modulación de banda lateral única (SSB), modulación de frecuencia (FM) y modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK).

5.3.1 Comunicación maestro-esclavo

La comunicación maestro-esclavo se basa en un control centralizado y se utiliza en varios sistemas de PLC, el maestro se encarga de dar las instrucciones correspondientes para que sean ejecutadas por uno o más esclavos, los esclavos únicamente establecen comunicación con el maestro no se comunican entre ellos, más sin embargo, el maestro se comunica con todos los dispositivos que van a funcionar como esclavos [31], ver Figura 1.

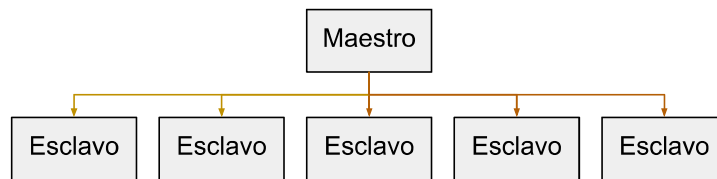


Figura 1. Diagrama general de la comunicación maestro-esclavo.
Fuente: Autores

5.3.2 FSK

Algunos sistemas PLC utilizan Frequency shift keying, es una técnica de modulación con la capacidad de cambiar a diferentes frecuencias con una amplitud constante para indicar valores binarios. Cuando se opera en dos frecuencias se realiza transmisión binaria como se muestra en la Figura 2, esta técnica consiste en variar la frecuencia de la portadora para asignarle un valor '1' o '0' por medio de modulación [32].

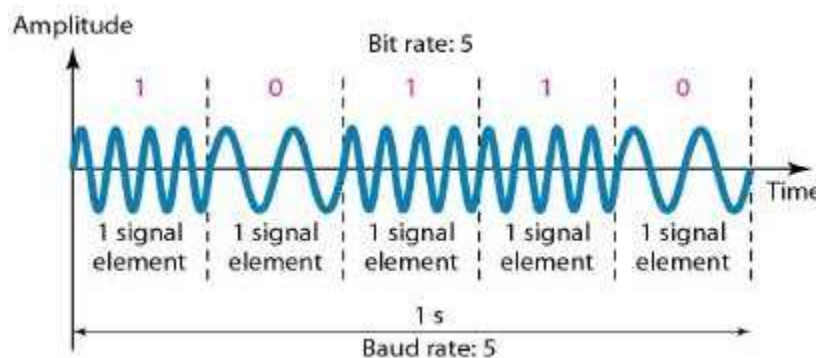


Figura 2. Representación gráfica de FSK [1].

5.4 CONTROL ENCENDIDO/APAGADO

El control de encendido y apagado se conforma por dispositivos que por medio de una señal con un nivel de referencia facilitan la interrupción o la continuidad de la alimentación a la salida del sistema. Algunos sistemas de control encendido/apagado están conformados por tiristores y optoacopladores, estos circuitos tienen la ventaja de aislar tensiones bajas de tensiones altas, y además el tiristor es capaz de tener conmutaciones rápidas y al ser un semiconductor es menos propenso a tener fallas a diferencia de dispositivos mecánicos.

5.4.1 Tiristores

Los tiristores son dispositivos semiconductores que se usan como interruptores de dos estados. Están conformados por 3 terminales: ánodo, cátodo y compuerta, ver Figura 3, cuando se le aplica corriente a la compuerta, el dispositivo se activa, es decir, deja pasar corriente; su desactivación tiene características similares a las de los diodos con el tiempo de recuperación en inverso, para ello, se baja la corriente directa por debajo del valor de activación.

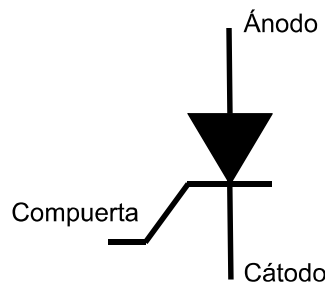


Figura 3. Símbolo del componente electrónico Tiristor.
Fuente: Autores

Otra de sus características es que se pueden controlar por fase, es decir, se puede activar con un pulso corto y desactivar por conmutación natural. Cuando la señal de entrada se encuentra en medio del ciclo positivo, el ánodo del tiristor es positivo con respecto a su cátodo lo que significa que tiene polarización directa y se dispara en un ángulo específico [33].

5.4.2 Optoacoplador

Es un dispositivo que funciona como un interruptor mediante un led infrarrojo y un fototransistor u otro elemento detector de infrarrojos, cuando se detecta la luz emitida el circuito se cierra permitiendo el paso de corriente, cuando la luz es interrumpida o bloqueada el circuito se abre evitando el paso de corriente.

Existen diferentes tipos de optoacopladores, el fototransistor es el más común y es utilizado para manejar corriente directa, mientras que el fototriac (Figura 4), se utilizar para controlar corriente alterna [34].

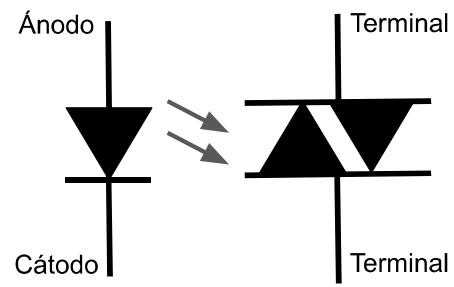


Figura 4. Símbolo del fototriac.
Fuente: Autores

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del proyecto se empieza realizando una red local para los módulos de PLC y una comunicación vía Wifi para dar instrucciones a estos módulos de manera remota, luego se realiza la implementación del módulo de PLC (Power Line Communication) y el diseño y desarrollo del circuito de control (encendido/apagado), ver Figura 5. Por último, se hacen las pruebas necesarias del sistema para evaluar su funcionamiento.

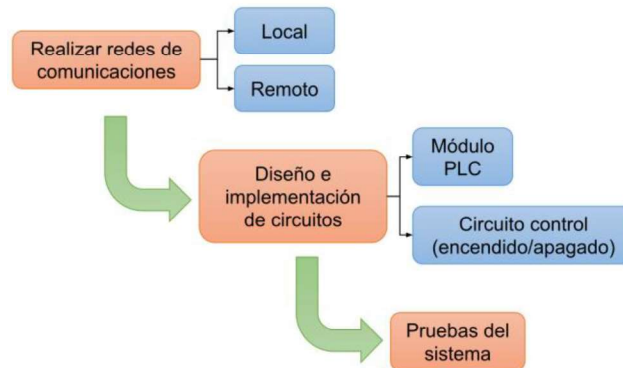


Figura 5. Diagrama del diseño metodológico.
Fuente: Autores

6.1 REDES DE COMUNICACIÓN

Las redes de comunicación cuentan con varios dispositivos que cumplen distintas funciones. Como se puede ver en la Figura 6, el sistema cuenta con un módulo Wifi (ESP8266) que obtiene la información almacenada en la base de datos, los módulos PLC están conformados por un DSP (Procesador Digital de Señales) y un AFE031, cada uno cuenta con un circuito regulador el cual alimenta las tarjetas y un circuito de acople fase-neutro, por medio de la red eléctrica el módulo PLC maestro se encarga de repartir el paquete de datos a los módulos esclavos, cada módulo también cuenta con un circuito encendido/apagado el cual controla el suministro de corriente en la carga, la cual puede ser un bombillo o un dispositivo eléctrico.

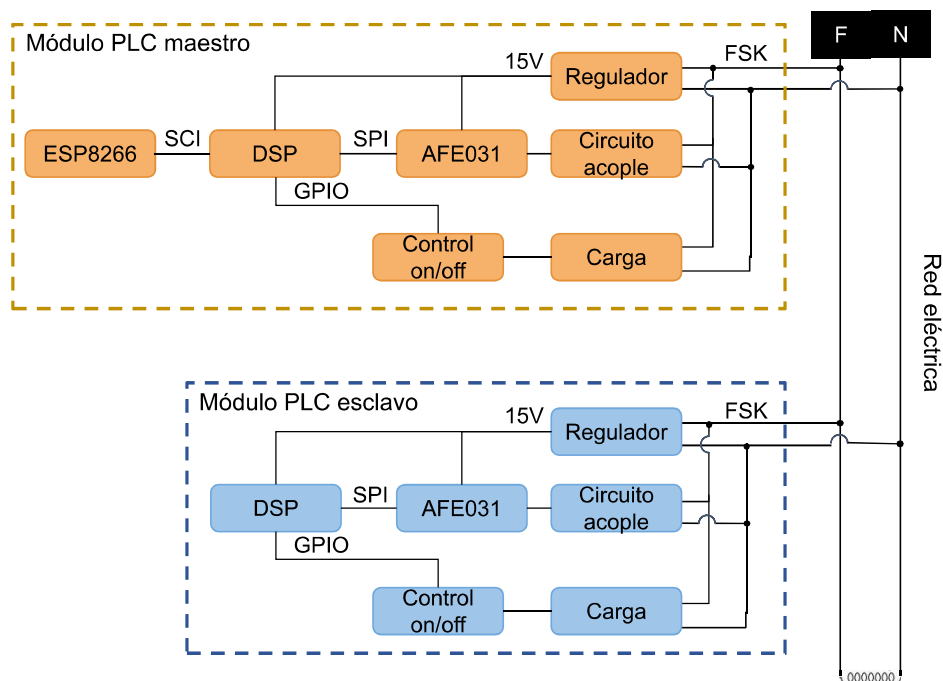


Figura 6. Diagrama red local.
Fuente: Autores

El proyecto consta de dos métodos de comunicación, una inalámbrica y otra alámbrica. Para el control de los estados de encendido y apagado de los interruptores de luz y las tomas de alimentación se inicia con una comunicación inalámbrica entre la aplicación móvil, la base de datos y un módulo Wifi, que luego interactúa por medio de un protocolo de comunicación desarrollado con la sección de comunicación alámbrica entre los módulos PLC maestro y esclavos por medio de las instalaciones eléctricas del establecimiento, ver Figura 7.

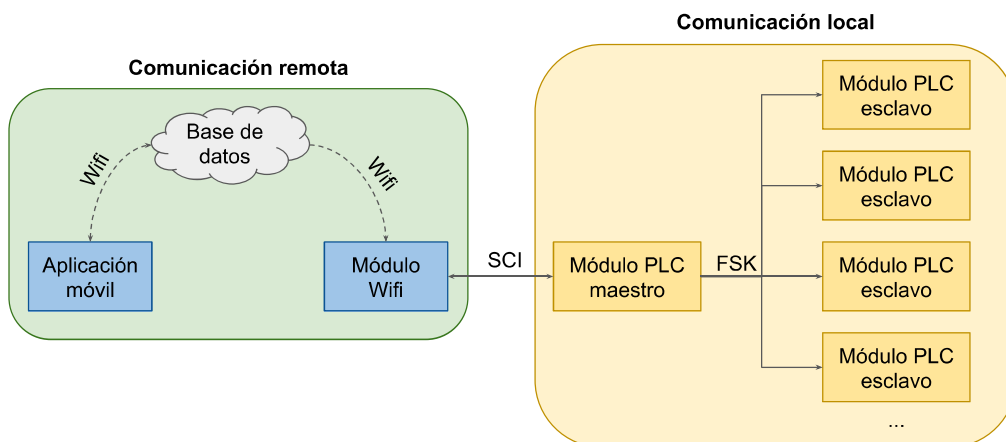


Figura 7. Diagrama de bloques de las redes de comunicación.
Fuente: Autores

6.1.1 Comunicación remota

La comunicación remota se divide en dos partes, la transmisión de información de la aplicación móvil a una base de datos en la nube y la recepción de datos de un módulo Wifi desde la base de datos.

6.1.1.1 Aplicación móvil

La aplicación móvil se desarrolla en un entorno de desarrollo integrado (IDE) llamado Android Studio lanzado por Google, cuenta con herramientas de emulación, editor de código inteligente, estadísticas de consumo de CPU, memoria, entre otros; utiliza un lenguaje de programación Java, Kotlin y C++. El entorno de desarrollo está dividido por módulos, el primer módulo de las apps para Android contiene la carpeta *manifests* (la cual tiene el archivo *AndroidManifest*, descripción general del manifiesto de la aplicación), la carpeta *java* (archivos de código Java) y la carpeta *res* (recursos sin código, diseño por XML, imágenes). Android Studio también cuenta con un sistema de compilación Gradle con el cual se pueden agregar dependencias y repositorios por medio de un archivo llamado *build.gradle* [35].

La función de la aplicación es agregar nuevos elementos al sistema, cambiar el estado de ellos en cualquier momento, programar horarios con alarmas de cambios de estado para los interruptores de luz o tomas de alimentación, eliminar los dispositivos o las alarmas programadas que el usuario desee y actualizar toda la información anterior en la base de datos.

6.1.1.2 Base de datos

El almacenamiento de la información se hace por medio de una base de datos en la nube llamada Realtime Database que es un producto ofrecido por Firebase (una plataforma desarrollada por Google), esta base de datos sincroniza los datos en tiempo real en cada uno de los dispositivos que tienen acceso a esta cada vez que hay un cambio, sin embargo, en caso de no tener una conexión a internet guarda los datos en un caché local para ser sincronizados automáticamente una vez se recupere la conexión. También permite configurar reglas de seguridad para decidir qué datos están disponibles y para quién y sus datos son almacenados en formato JSON [36].

Los datos se organizan de manera jerárquica por medio de nodos que se ramifican (nodos padres donde internamente se contienen más nodos, o nodos hijos que contiene un dato numérico, texto o de estado verdadero/falso). La base de datos requiere un registro para almacenar los datos de los diferentes dispositivos que contiene cada usuario y su estado (encendido o apagado), también debe incluir las alarmas programadas por el usuario y los cambios de estado de cada interruptor en cada una.

Se genera un nodo padre que contiene un nodo hijo por cada uno de los interruptores de luz o tomas de alimentación ingresados por el usuario, se nombra con el ID del elemento y se genera valor de estado true/false. También se crea un nodo hijo general con la lista de los ID de los interruptores de luz y tomas de alimentación con el fin de recorrer más eficazmente la

estructura jerárquica de la base de datos y obtener información del estado de cada elemento. Este mismo procedimiento para almacenar los datos se utiliza para los horarios con alarmas programadas por el usuario.

Para mantener cada usuario protegido, es decir, que un tercero no pueda acceder a su información, se crea un nodo padre con el nombre del usuario y un nodo hijo con la contraseña, en el interior del nodo padre usuario se almacenan todos los nodos de los interruptores de luz o de tomas de alimentación y de las alarmas, de esta manera se mantienen separados los datos por usuarios y en la aplicación móvil al confirmar el nombre de usuario y contraseña solo se obtiene la información que se encuentra en el interior del nodo usuario, por lo cual no es posible interferir en los datos de otros usuarios.

6.1.1.3 Modulo Wifi

La información de la base de datos se obtiene con un módulo Wifi ESP8266 el cual es compatible con protocolo TCP/IP y se utiliza para dar acceso de red a cualquier microcontrolador, las características del módulo se aprecian en la Tabla 1; por medio del nodo usuario padre se recorre la estructura jerárquica para adquirir la lista de los interruptores de luz o tomas de alimentación y examinar cada uno, con el fin de registrar cambios de estado realizados desde la aplicación móvil y guardados en el nodo hijo de estado.

	Parámetro	Valor	
Wifi	Certificación	Wifi Alliance	
	Rango de frecuencia	2.4 – 2.5 GHz	
Hardware	CPU	Tensilica L106 32-bit	
	Reloj	160MHz	
	RAM	<50kB	
	Ext. SPI flash	16MB	
	Periféricos	UART	SDIO
		SPI	I2C
		GPIO	IR (Remote control)
		PWM	ADC
	Voltaje de operación	2.5 – 3.6 V	
	Corriente de operación	80mA	
Software	Seguridad	WPA/WPA2	
	Encriptación	WEP/TKIP/AES	
	Firmware	UART/OTA	
	Network Protocols	IPv4/TCP/UDP/HTTP	

Tabla 1. Características del módulo ESP8266 [37].

6.1.2 Comunicación local

El módulo Wifi transmite información al módulo PLC (Power Line Communication) maestro acerca de los estados de los diferentes interruptores de luz y tomas de alimentación registrados por el usuario y almacenados en la base de datos. El módulo PLC es un dispositivo de comunicaciones que se acopla a la red eléctrica, la compañía Texas Instruments proporciona datos técnicos, recursos de diseño, aplicaciones y otras recomendaciones para desarrollar el hardware del módulo PLC utilizando un integrado AFE031 [38].

Después de registrar un cambio de estado en un interruptor de luz o toma de alimentación, se envía la información en un paquete que incluye el ID del elemento y el estado actual al módulo PLC maestro desde el ESP8266 (como se indica en la Figura 7) por medio de SCI (Serial Communication Interface). La información obtenida por el módulo PLC maestro, se envía a través de la red eléctrica hacia los módulos PLC esclavos para el posterior control de encendido/apagado de los dispositivos.

6.1.2.1 Protocolo de comunicación

El programa del módulo Wifi envía continuamente los datos al módulo PLC maestro cada vez que detecta un cambio de estado, para luego transmitir la información a los módulos esclavos, el protocolo se compone de un paquete que contiene la información del ID del módulo de destino y el estado actual, también cuenta con métodos para garantizar el envío de los datos completos y en el orden correcto, de manera que el receptor decodifica el mensaje sin errores.

La estructura del protocolo consta de cinco capas del modelo OSI como se aprecia en la Tabla 2, su propósito es cumplir con los requisitos para la correcta comunicación entre el módulo Wifi y el módulo PLC maestro.

Capas del protocolo
Aplicación
Transporte
Red
Enlace
Física

Tabla 2. Capas del modelo OSI para el protocolo desarrollado.
Fuente: Autores

La capa de aplicación es la más cercana al usuario sin realmente tener una interacción directa, permite acceder a las demás capas cuando se da alguna instrucción desde la aplicación móvil y obtener los datos indicados, navega a través de la base de datos para obtener la información del ID del interruptor de luz o toma de alimentación y su estado correspondiente.

La capa de transporte divide los datos en segmentos con el fin de asegurar que lleguen correctamente hasta la última capa. Se separa la información del ID de la toma de alimentación e interruptor de luz y del estado correspondiente.

La capa de red, realiza el direccionamiento y recibe los datos de la capa de transporte, genera el paquete con el que se envía la información, agrega como trama un indicador de inicio, el ID y el estado, en ese orden, ver Tabla 3.

Indicativo de inicio	ID				Estado

Tabla 3. Modelo de paquete para el protocolo.
Fuente: Autores

Indicativo de inicio	ID				Estado
1	1	0	0	1	'1' ó '0'

Tabla 4. Ejemplo de paquete.
Fuente: Autores.

La capa de enlace proporciona el envío de datos a través de la capa física, también se encarga de garantizar la entrega ordenada y corrección de errores. Realiza una sincronización de las tarjetas para enviar la información en orden y agrega otra trama de un indicador de final al paquete. Al terminar de enviar de los datos se espera una confirmación por parte del receptor de la correcta transmisión, en caso de no obtenerla, se detecta un error y se procede a volver a sincronizar y enviar el paquete nuevamente hasta obtener una aprobación del receptor.

Por último, la capa física consta de las especificaciones eléctricas del protocolo. El envío de datos binarios se realiza variando el voltaje de salida de los pines de transmisión. El voltaje máximo a la salida del pin de transmisión es de 3.3V, lo que quiere decir que un '1' lógico es de máximo 3.3V y mínimo 2.4V, mientras que un '0' lógico es de 0V a un máximo 0.4V. Únicamente es necesario utilizar dos cables para la comunicación, uno de transmisión y otro de recepción además de tener tierras acopladas. Por UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) un dispositivo que controla los datos recibidos, es posible enviar hasta 115.200 bits por segundo y el módulo Wifi cuenta con un cristal de frecuencia de 40Mhz lo cual permite que el envío de datos alcance 4.5Mbps.

$$115200bps * 40 = 4.5Mbps$$

6.1.2.2 Comunicación FSK

La transmisión de datos se hace con modulación FSK, es posible escoger cualquiera de los dos modos disponibles para la programación del módulo PLC. Uno de los modos es por medio de PWM, se generan dos señales que se suman creando una nueva, esto se utiliza para obtener una forma de onda con menos ruido como se puede observar en la Figura 8, una de las señales simétricas tiene un ciclo útil de 66% y la otra un ciclo útil de 33%, después los datos pasan a un filtro pasa bajos, un amplificador de ganancia programable y finalmente a otro amplificador con ganancia de 6.5 V/V.

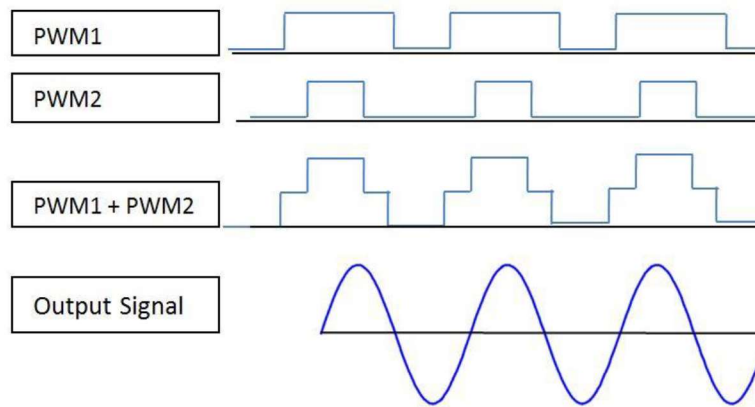


Figura 8. Representación gráfica de las señales PWM. [2]

El otro modo disponible es por medio de DAC, los datos pasan por SPI al DAC de la tarjeta y envía una señal sinusoidal hecha por tabla de manera cíclica, luego pasa por al amplificador de ganancia programable, el filtro pasa bajos y finalmente al amplificador con una ganancia programada de 6.5 V/V. Para la recepción de datos el paquete ingresa a la tarjeta y pasa por el amplificador de ganancia programable, el filtro pasa bajos y de nuevo a un amplificador de ganancia programable. Se pueden enviar paquetes completos con modulación FSK usando únicamente números binarios [32].

6.2 CIRCUITOS

Los circuitos que constituyen el sistema son los módulos de PLC (que pueden ser maestros los cuales reciben la información del módulo Wifi y envían la información a través de la red eléctrica a los módulos esclavos) y los circuitos de control encendido/apagado que por medio de una instrucción permiten u obstruyen el paso de corriente de una carga.

6.2.1 Módulo PLC

Los datos recopilados por el módulo PLC maestro se envían a los módulos PLC esclavos a través de la red eléctrica con ayuda de un integrado AFE03x [38] es una interfaz analógica para comunicación por la red eléctrica capaz de hacer conexiones acopladas a la red eléctrica bajo el control de un DSP o un microcontrolador. El integrado cuenta con varios GPIO que le permiten al microcontrolador o DSP colocar el AFE03x en diferentes modos e incluso tener interrupciones por eventos, soporta dos modos de transmisión de datos: por PWM o DAC y también contiene diferentes registros para la configuración de todos sus componentes, los cuales son:

1. Dos señales de PWM
2. 5 pines de entrada/salida
3. Un conector eléctrico de tierra y TX o RX (donde llegan o salen los datos por medio de una señal).
4. Una conexión ADC
5. Una conexión SPI (MISO, MOSI, CS, CLK)

La función de esos registros es permitir la selección de varios modos, ganancias o filtros y se accede a ellos por medio de SPI. Los principales bloques funcionales del AFE son (Figura 9):

- Power Amplifier (PA)
- Transmitter (Tx)
- Receiver (Rx)

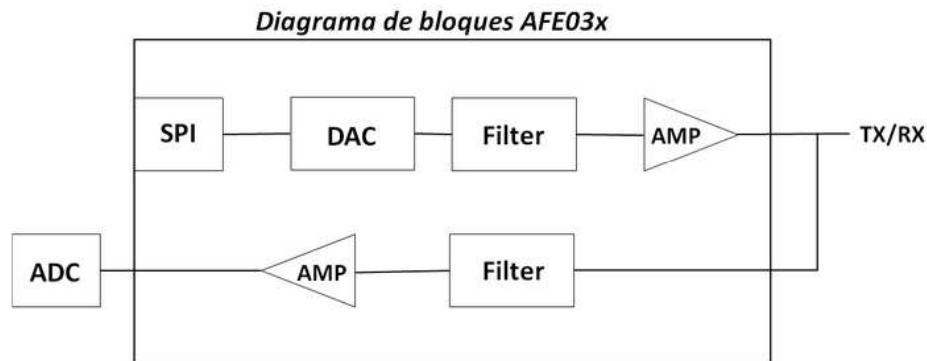


Figura 9. Diagrama de bloques del AFE30x
Fuente: Autores

Los módulos PLC necesitan alimentación de 15V, desde la red eléctrica se obtiene esa tensión por medio de un circuito regulador, el diagrama de la Figura 10 presenta la solución general.

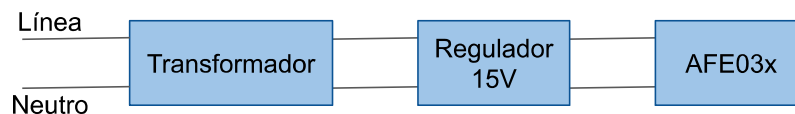


Figura 10. Diagrama de alimentación para los módulos PLC.
Fuente: Autores

6.2.2 Circuito control encendido/apagado

El control encendido y apagado cumple la función de un interruptor para permitir u obstruir el paso de corriente por medio de una instrucción desde el módulo PLC a una carga que puede ser de iluminación o de algún dispositivo o electrodoméstico conectado a una toma de alimentación.

El circuito cuenta con un TRIAC y los componentes adecuados para su activación permitiendo o retirando el paso de corriente (ver Figura 31), sin embargo, las instrucciones de la compuerta son dadas por un pulso controlado desde el DSP que debe ser aislado de la corriente alterna. Para permitir conducción entre el ánodo y el cátodo por medio de un pulso enviado desde el módulo PLC, se utiliza un optoacoplador, más específicamente un fototriac, el cual actúa como un dispositivo intermedio capaz de manejar corriente alterna y aislar la parte de control con la parte de alta tensión.

6.3 PRUEBAS

Para la aplicación móvil se realizan dos versiones, la primera se crea con el fin de realizar pruebas y correcciones pertinentes para una mejor interacción con el usuario, a continuación, se muestra el resultado de la versión 1. Para comenzar, el usuario ingresa a la aplicación y entra en contacto con la primera ventana donde debe introducir su usuario y contraseña para acceder a la pantalla principal, ver Figura 11.

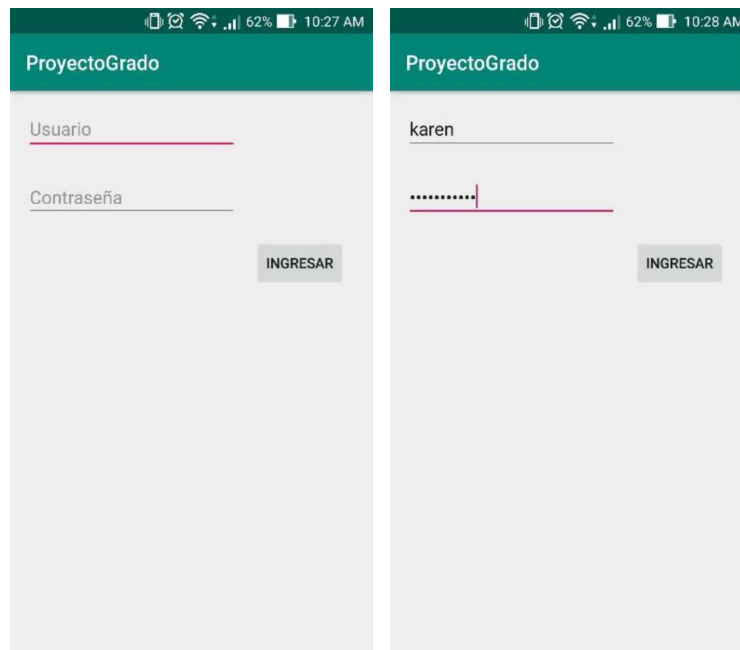


Figura 11. Primer prototipo de la aplicación móvil: Inicio de sesión.
Fuente autores

En la pantalla principal se aprecian dos botones en la parte inferior, uno para agregar tomas de alimentación o interruptores de luz y el otro para eliminar los elementos agregados anteriormente, para agregar los elementos se requiere asignar un nombre y un ID predefinido, ver Figura 12.

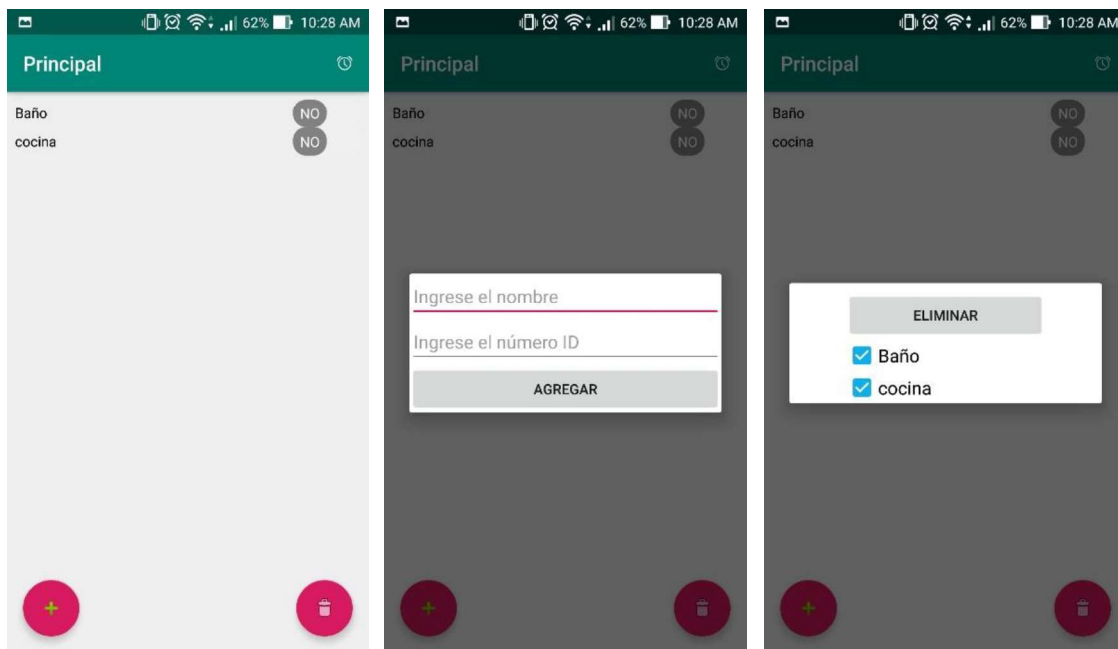


Figura 12. Primer prototipo de la aplicación móvil: Funciones agregar y eliminar.
Fuente: Autores

Adicionalmente, en la parte superior se accede a otra ventana donde se encuentran los horarios con las alarmas programadas. Igualmente, se aprecian dos botones con los cuales se agregan o eliminan alarmas, su principal función es permitir el control de encendido/apagado de tomas e interruptores de luz en horas y días específicos de manera programada, ver Figura 13.

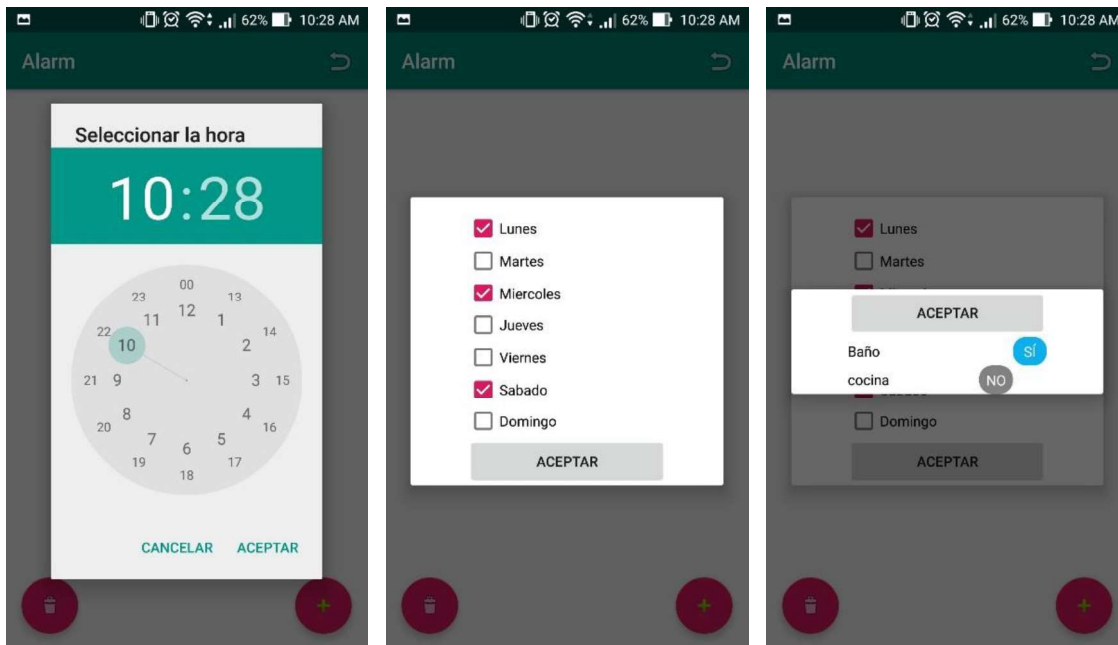


Figura 13. Primer prototipo de la aplicación móvil: Alarmas.
Fuente: Autores

Una vez listo el primer prototipo se instala en diferentes dispositivos móviles y no se registra problema de compatibilidad con ninguno de ellos, luego se realizan pruebas con 10 personas que entran en contacto con la aplicación y se obtienen las siguientes correcciones:

- No es muy intuitiva.
- Poca información.
- No había restricción de ID, permitía ingresar ID registrados anteriormente.

Para corregir los problemas encontrados se agregan instrucciones sobre todas las funcionalidades de la aplicación, siendo específicos en lo que el usuario puede o debe realizar. La restricción de agregar ID ya existente se corrige por medio de software comparando el ID a registrar con los ingresados anteriormente para evitar confusiones en el sistema.

Se realizan pruebas de la comunicación local entre los módulos en diferentes ubicaciones, inicialmente se envía un paquete con datos aleatorios para confirmar la recepción de datos, luego se envía el paquete varias veces en un determinado ciclo para hacer una verificación de los datos, después se genera el paquete según el protocolo de comunicación y se envía para descomponerlo y ejecutar la acción una vez llega el módulo esclavo y finalmente se realizan pruebas de envío del paquete en periodos de tiempo indefinidos para analizar la sincronización.

La primera ubicación es un salón de laboratorio que cuenta con varias mesas de trabajo cada una tiene su propia toma de alimentación, el módulo PLC maestro se conecta en una de las mesas y a una distancia de aproximadamente 3.5m se conecta el módulo PLC esclavo, ver Figura 14.

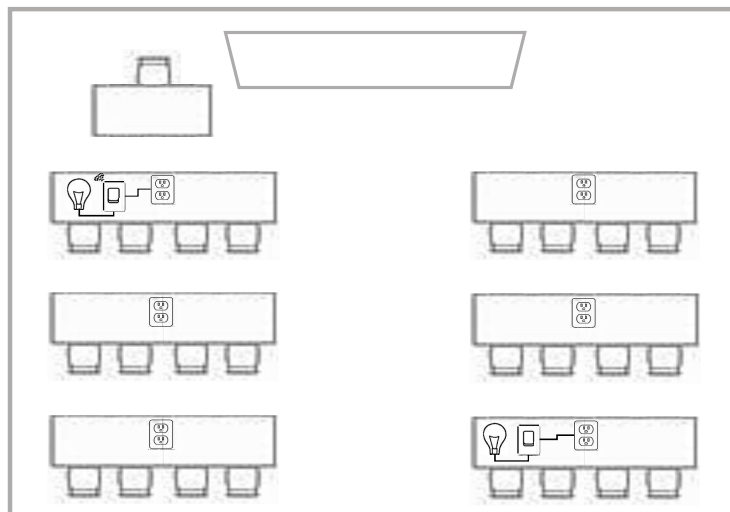


Figura 14. Esquema salón laboratorio.
Fuente: Autores

En la primera prueba el módulo receptor no detecta el paquete transmitido por el módulo PLC maestro, se verifica con osciloscopio la señal de salida del transmisor antes de ingresar a la tarjeta de acoplamiento de la red eléctrica y se aprecia que la señal de aproximadamente 2V pico-pico, se llega a la conclusión de que la amplitud obtenida no es suficiente para ser detectada por el receptor, ver Figura 15.

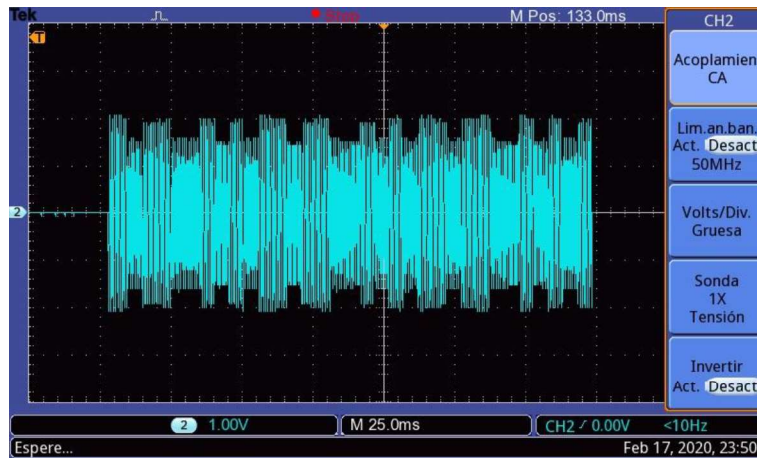


Figura 15. Señal de salida 2V pico-pico.
Fuente: Autores

Para solucionar el problema se utiliza el amplificador programable y por medio de software se aumenta el voltaje de la señal de salida del módulo PLC maestro. La señal aumenta a 5V pico-pico como se muestra en la Figura 16, sin embargo, el módulo PLC esclavo aun no obtiene el paquete enviado.

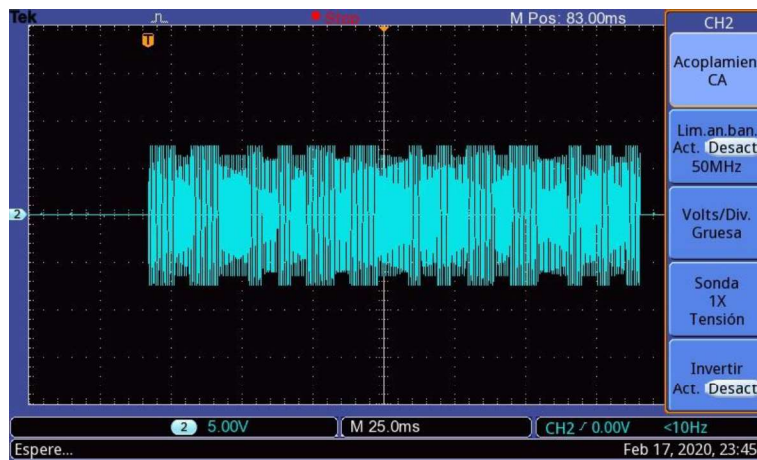


Figura 16. Señal de salida 5V pico-pico.
Fuente: Autores

Se procede a aumentar la ganancia programable del módulo de recepción, dejando la señal de salida del módulo transmisor en 5V pico-pico. Al enviar los datos con las ganancias modificadas la señal de entrada al módulo PLC esclavo llega con una amplitud de 2V pico-pico, este valor es suficiente para recibir el paquete de datos, ver Figura 17.

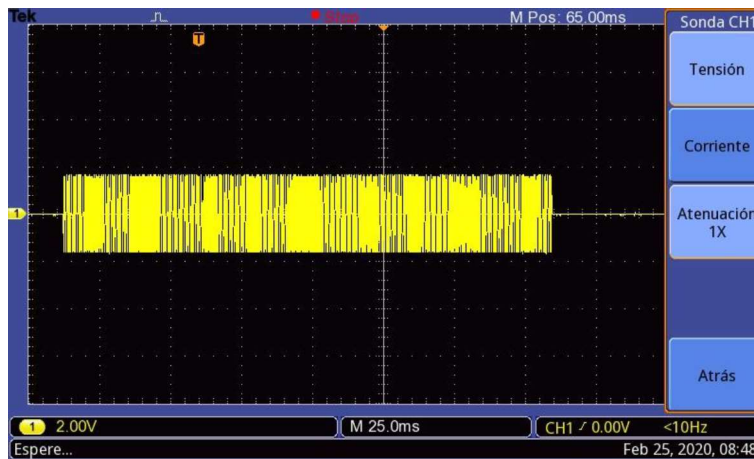


Figura 17. Señal FSK a la entrada del módulo esclavo.

Fuente: Autores

Los datos se envían a través de la red eléctrica desde el módulo PLC maestro al esclavo por medio de interrupciones, se genera la señal y se envía constantemente en un periodo de tiempo específico; de la misma manera el módulo PLC esclavo detecta la señal por medio de una interrupción y guarda en un buffer los datos, en caso de no detectar el ingreso de la información durante un tiempo determinado o de obtener los datos incompletos reinicia el proceso y las interrupciones.

La siguiente prueba se realiza en el laboratorio de electrónica ubicado en otro edificio de la Universidad, en la red eléctrica del laboratorio se encuentran diferentes dispositivos conectados en las tomas de alimentación, se conectan los módulos PLC a una distancia de aproximadamente 7m, ver Figura 18.

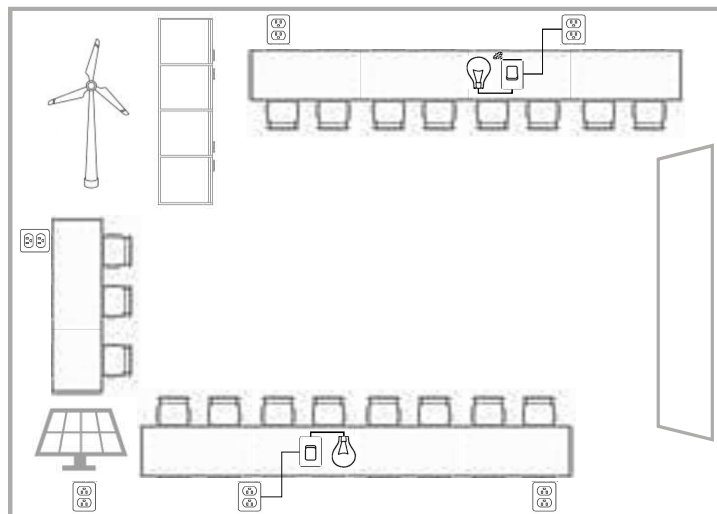


Figura 18. Esquema laboratorio de electrónica.

Fuente: Autores

También se conectaron los módulos PLC a la red eléctrica de una vivienda desde una habitación en un primer piso, hasta la sala que se encuentra en el segundo piso, Figura 19.

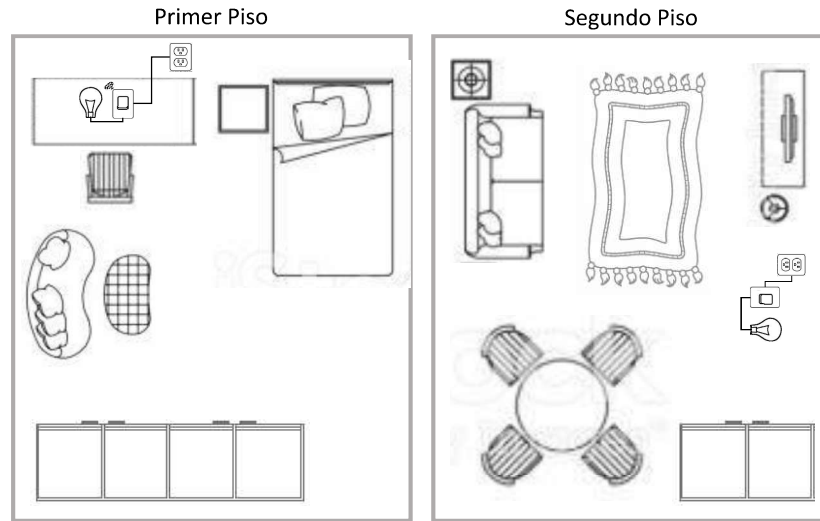


Figura 19. Esquema vivienda.
Fuente: Autores

En las pruebas realizadas en las distintas ubicaciones, el receptor solo muestra problemas en la obtención de los datos cuando la señal de salida del módulo PLC maestro es igual a 2V, una vez se corrige la ganancia y se aumenta el voltaje de salida las demás pruebas tienen como resultado una transmisión de datos exitosa.

7. RESULTADOS

Los resultados se encuentran documentados según los objetivos específicos mencionados anteriormente, se registra la versión final de la aplicación móvil, la estructura de la base de datos, el proceso para la recolección de datos del módulo Wifi, el formato final del paquete de datos para el protocolo de comunicaciones, las señales obtenidas de los módulos PLC, los circuitos utilizados para el sistema y las carcasas diseñadas.

7.1 APLICACIÓN MÓVIL Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La aplicación móvil se desarrolla en el entorno de desarrollo integrado (IDE) Android Studio para versiones Android 4.0.3 y 4.0.4 en adelante, su ejecución requiere agregar un archivo de configuración para el uso de Firebase y habilitar los productos incluyendo en el servicio Gradle los repositorios de Google y las dependencias de Realtime Database.

Para cumplir las funciones de la aplicación se utilizan APIs como FirebaseDatabase y dataSnapshot, las cuales realizan la conexión y la lectura de la base de datos, se recorre la estructura jerárquica a través de los nodos, empezando con el nodo padre usuario y bajando por los nodos correspondientes para obtener el valor del nodo hijo deseado, de igual manera, con la API ValueEventListener, es posible generar un evento en algún nodo de la base de datos para detectar cambios en su valor. Para las ventanas de ingreso de información y la parte visual de la aplicación se utiliza la API AlertDialog y para la programación de alarmas se utiliza Calendar la cual permite obtener una cantidad de tiempo en milisegundos al comparar factores como año, mes, día, hora con un instante de tiempo.

El desarrollo consiste en varias fases (ver diagrama de clases en Anexo 1). La primera fase es de ingreso donde el usuario debe diligenciar su nombre de usuario y contraseña, Figura 20.

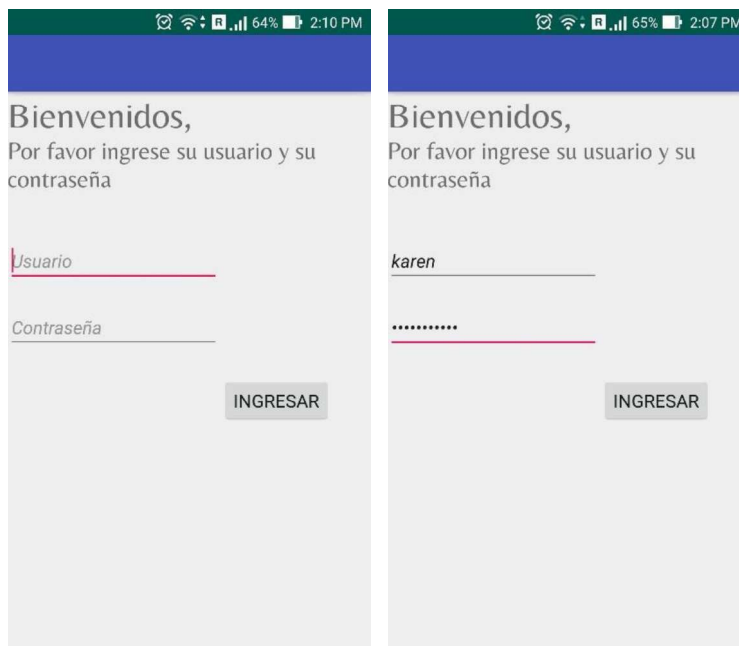


Figura 20. Ingreso a la aplicación móvil.
Fuente: Autores

En la siguiente fase, la ventana principal contiene el nombre de los interruptores de luz o tomas de alimentación agregados por el usuario anteriormente en conjunto con un switch widget que indica el estado de cada elemento y el cual el usuario puede modificar al pulsarlo. También cuenta con dos botones en la parte inferior de la ventana con la función de agregar un interruptor de luz o toma de alimentación, asignarle un nombre y el id correspondiente para controlar el encendido y apagado de este, y eliminar los dispositivos agregados anteriormente, ver Figura 21 y Figura 22.

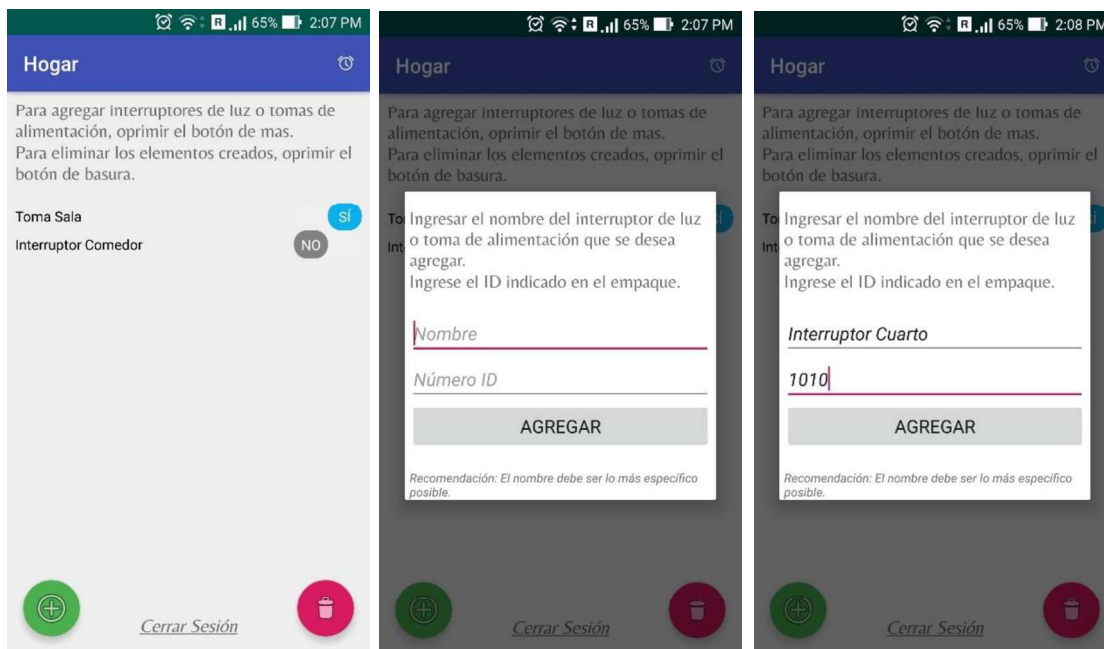


Figura 21. Ventana principal, agregar dispositivos.

Fuente: Autores

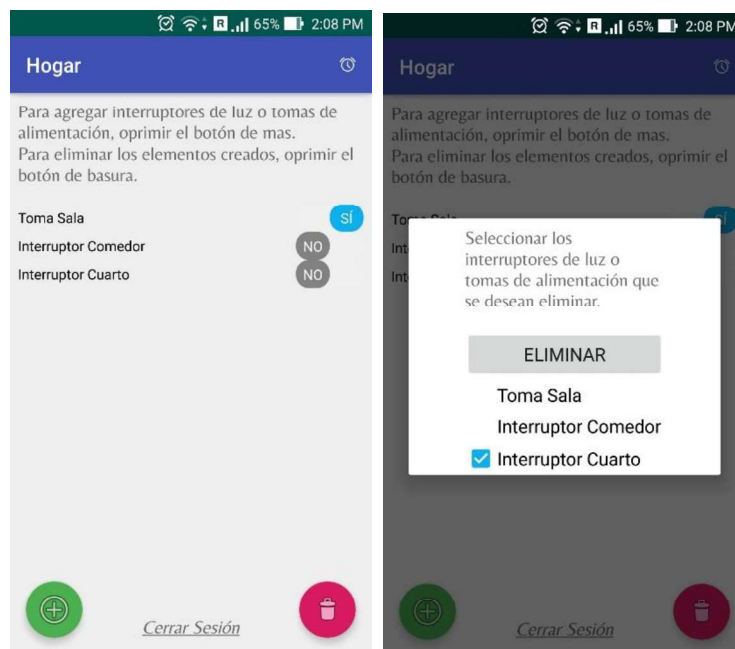


Figura 22. Ventana principal, eliminar dispositivos.

Fuente: Autores

Finalmente, la tercera fase es una ventana con la lista de alarmas creadas anteriormente y cuenta con dos botones en la parte inferior crear nuevos horarios con alarmas programadas para encender o apagar los dispositivos que el usuario seleccione, y eliminar cualquier alarma creada previamente, ver Figura 23 y Figura 24 respectivamente.

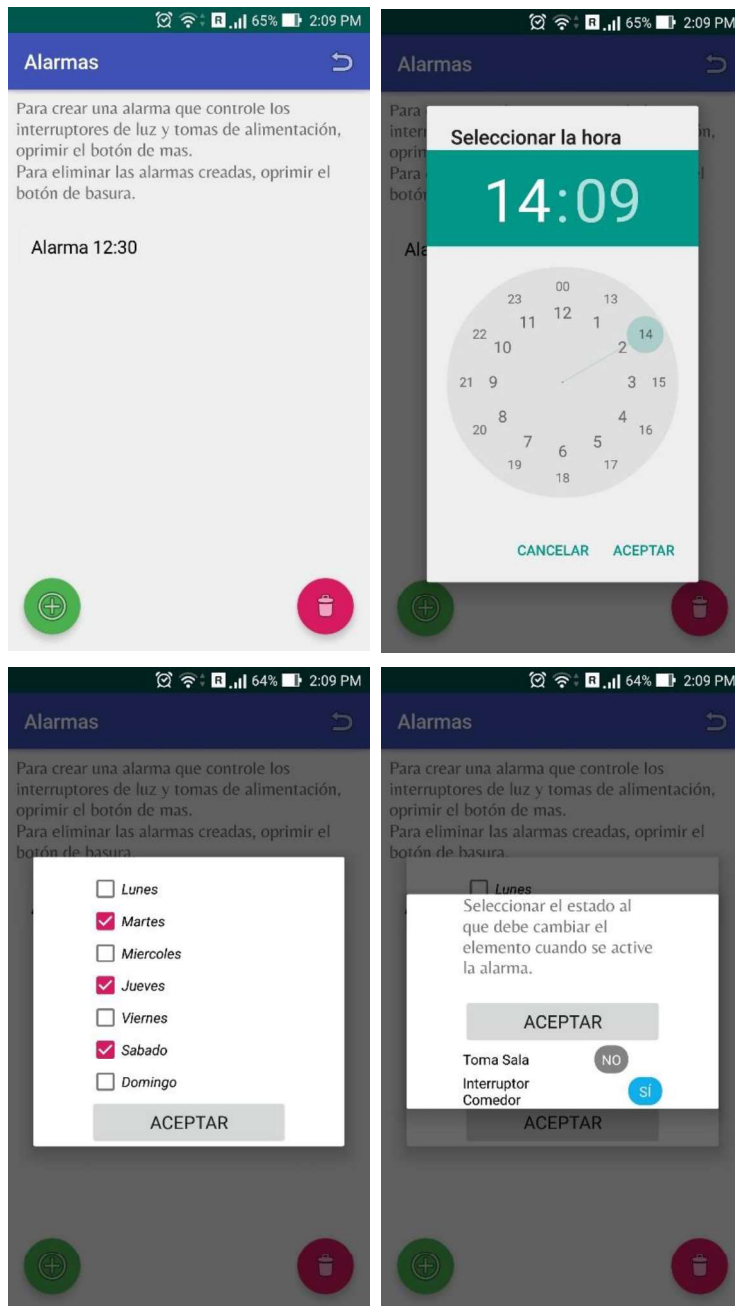


Figura 23. Ventana alarmas, ingreso y configuración de alarmas.
Fuente: Autores

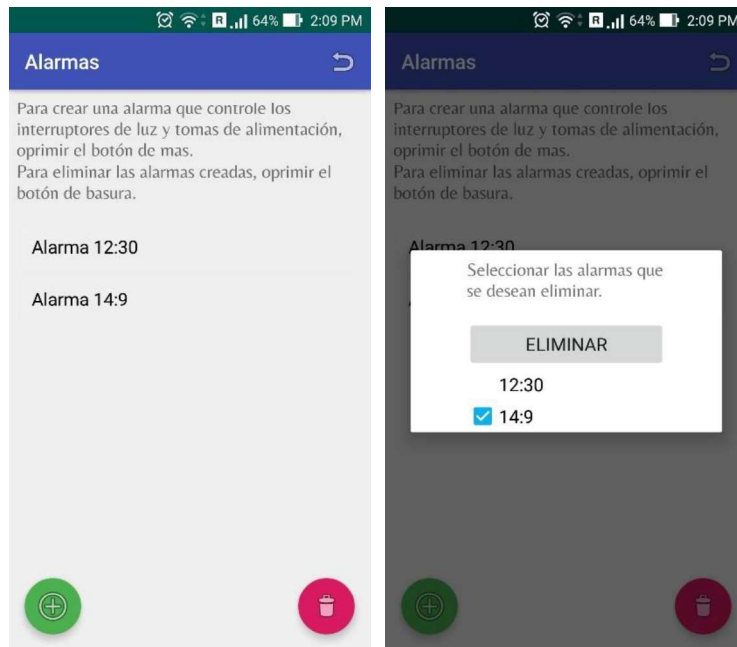


Figura 24. Ventana alarmas, eliminar alarmas.

Fuente: Autores

La base de datos utilizada para almacenar la información de la aplicación móvil se organiza de la siguiente manera, el nombre del usuario es un nodo padre principal, en su interior contiene los siguientes nodos hijo: la clave con la cual se confirman los datos en la aplicación, la lista de los interruptores de luz o tomas de alimentación, la lista de alarmas, además un nodo padre que contiene otros nodos padres para cada dispositivo con nodos hijos que indican el estado actual y el nombre designado por el usuario, también otro nodo padre para las alarmas y horarios que contiene nodos hijos de cada alarma incluyendo su descripción. La Figura 25 ilustra la organización de la base de datos mencionada anteriormente.

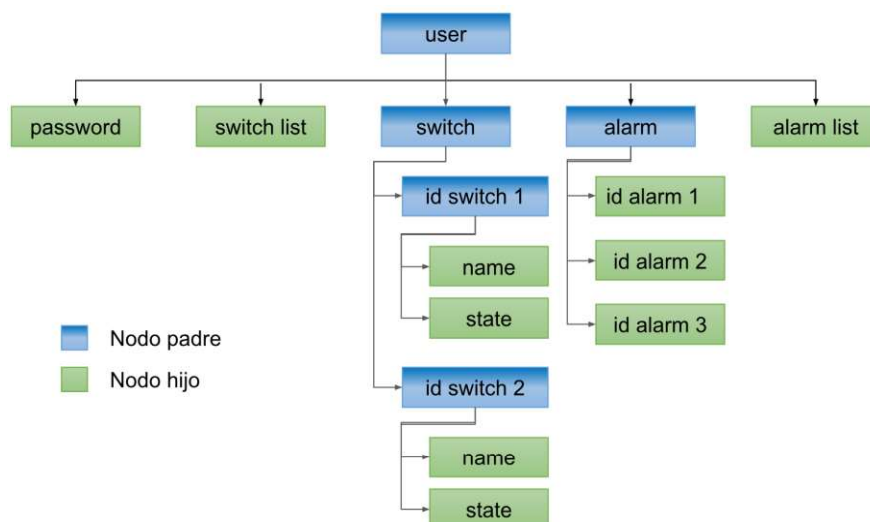


Figura 25. Estructura jerárquica base de datos.

Fuente: Autores

El nodo padre *user* y el nodo hijo *password* se encuentran permanente en la base de datos; al crear un interruptor de luz o toma de alimentación por primera vez desde la aplicación móvil se genera el nodo hijo con la lista de los interruptores *switch_list* y el nodo padre *switch* que contiene al nuevo nodo padre con la información del interruptor creado *name* y *state*. De igual forma, la primera vez que se crea una alarma se genera el nodo hijo *alarm_list* y el nodo padre *alarm* con el nodo hijo nombrado con el ID de la alarma creada y su información. En caso de eliminar todos los interruptores de luz y tomas de alimentación y todas las alarmas, los nodos creados anteriormente se borran dejando únicamente el nodo *user* y *password* en la estructura de la base de datos.

El módulo Wifi ESP8266 crea su propia red Wifi y actúa como un punto de acceso para establecer el nombre y la clave de la red a la cual se conecta; el dispositivo móvil ingresa a la red creada por el módulo Wifi en modo Soft Access Point (ya que son limitados los dispositivos que se pueden conectar a este), y en la ventana de configuración de la red Wifi ingresa el SSID y la contraseña de la red del establecimiento y el nombre de usuario correspondiente al nodo padre de la base de datos, ver Figura 26.

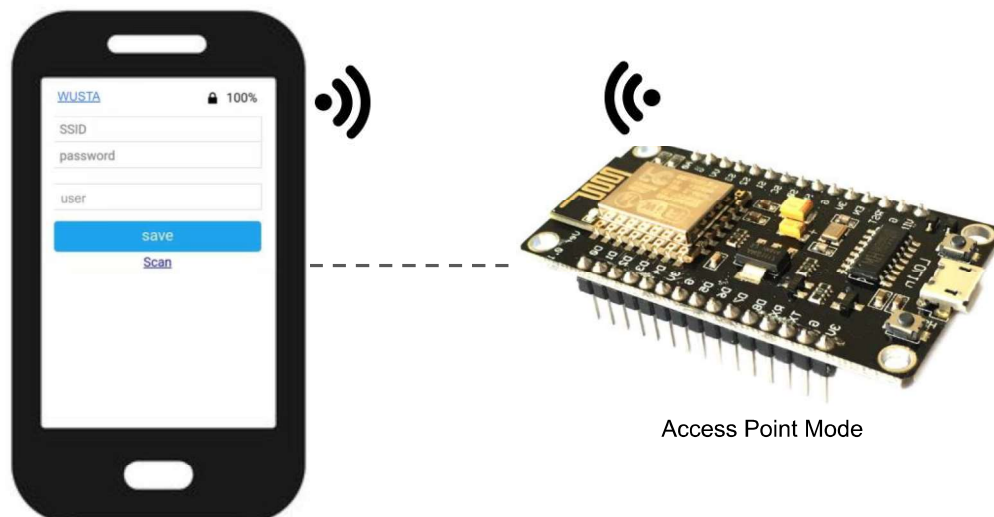


Figura 26. Modo Access Point del módulo ESP8266.
Fuente: Autores

La información de la base de datos llega al módulo PLC maestro por medio del módulo Wifi ESP8266, el cual constantemente recorre la estructura jerárquica desde el nodo padre usuario y lee de manera continua el nodo hijo que contiene la lista de los id de los interruptores de luz y tomas de alimentación, después ingresa al nodo padre que contiene los nodos padre de los elementos y examina el nodo hijo del estado de cada uno, cuando detecta un cambio de estado al comparar el anterior con el actual, envía la información al módulo PLC maestro por SCI (ver diagrama de flujo del módulo Wifi en Anexo 2).

7.2 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

El protocolo de comunicación para transmitir la información desde la base de datos al módulo PLC maestro y después hacia los módulos PLC esclavos funciona de la siguiente manera: El módulo PLC maestro actúa como receptor en la primera parte de la comunicación local y lee los pines SCl constantemente esperando un bit de sincronía inicial enviado por el módulo Wifi (que actúa como emisor), este proceso se hace con el fin de reconstruir el mensaje en el orden correcto. Después de sincronizar, el emisor envía un código binario que consta de varias tramas: un indicativo inicio, seguido del id del módulo esclavo al que va dirigida la instrucción, el estado al que cambia el dispositivo y un indicativo final, el receptor guarda los datos recibidos en un buffer como se muestra en la Tabla 5.

Indicativo de inicio			ID				Estado	Indicativo final		

Tabla 5. Tamaño del paquete que se transmite.
Fuente: Autores

Indicativo de inicio			ID				Estado	Indicativo final		
1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1

Tabla 6. Ejemplo del paquete que se transmite.
Fuente: Autores

A continuación, el emisor envía otro bit para indicar el final del paquete y el receptor procede a ratificar si se completó el buffer correctamente comparando los indicadores de inicio y final recibidos, cuando este aprueba la correcta recepción de los datos envía un bit de confirmación al emisor para finalizar el proceso. En caso de tener los datos incompletos o en desorden, el receptor no envía el bit de confirmación y el emisor reinicia el envío de datos desde los bits de sincronización hasta obtener una comprobación de parte del receptor.

El módulo PLC maestro debe recibir un paquete de 11 bits y genera otro de 33 bits que es el paquete original repetido tres veces, ese nuevo paquete se envía en un periodo de tiempo por la red eléctrica a los módulos PLC esclavos esto con el fin de comparar cada trama de 11 bits y verificar que los datos lleguen correctamente.

7.3 RED Y CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN LOCAL

En la comunicación local participan los módulos PLC maestro y esclavos en conjunto con el circuito de control de encendido y apagado, la transmisión se realiza de la siguiente manera: el módulo PLC maestro guarda los datos que recibe del módulo Wifi luego de haber confirmado que han llegado correctamente, después éste procede a enviar el paquete a los módulos PLC esclavos a través de la red eléctrica por modo PWM porque tiene una mejor resolución y proporciona frecuencias para los datos binarios más precisas y exactas.

Dentro de una interrupción se crean dos señales de PWM y se suman en un filtro pasa bajos generando una única señal, esto permite tener menos ruido. La transmisión del paquete por la red eléctrica se realiza con el método de modulación por cambio o desplazamiento de frecuencia (FSK), es decir, cada dato binario tiene una frecuencia correspondiente.

El integrado AFE031 permite el envío de datos en los diferentes rangos de frecuencia para las distintas bandas que establece el estándar europeo para las comunicaciones a través de la red eléctrica CENELEC EN 50065 que son CENELEC A que va desde 3 a 95kHz y está disponible únicamente para los proveedores de energía eléctrica y CENELEC B, C, D que va de 95 a 125kHz, 125 a 140kHz y 140kHz a 148.5kHz respectivamente [39].

Para los sistemas domóticos la norma europea asigna las bandas CENELEC B, C, D, sin embargo, Texas no define la banda B, C y D por separado únicamente la banda A y sugiere que se utilicen los siguientes valores de frecuencias para los datos binarios enviados por FSK,

- Los datos binarios se reemplazan por dos frecuencias:
'1' → *MARK*
'0' → *SPACE*
- La Tabla 7 muestra los valores correspondientes para las frecuencias MARK y SPACE.

	Nombre	Min	Nom	Max	Unidad
<i>F_m</i>	Mark frequency	131,23	131,25	131,26	<i>KHz</i>
<i>F_s</i>	Space frequency	143,73	143,75	173,76	<i>KHz</i>

Tabla 7. Frecuencias establecidas para Mark y Space [32].

En la interrupción se definen los requerimientos para el envío por FSK, se genera una función cíclica que envía el paquete tres veces (33 bits porque el buffer es de 11 bits). En cada ciclo toma el siguiente bit y cambia la frecuencia a MARK o SPACE dependiendo de si es un '1' o un '0', por ejemplo, si el dato es '1' se asignan dos señales de PWM para que sean sumadas y tengan una frecuencia de aproximadamente 131,25 KHz a la salida del módulo, en cambio, si el dato es '0' se asignan dos señales de PWM que dan 143,75 kHz aproximadamente. La Figura 27 y Figura 28 muestra el paquete completo a la salida del módulo.

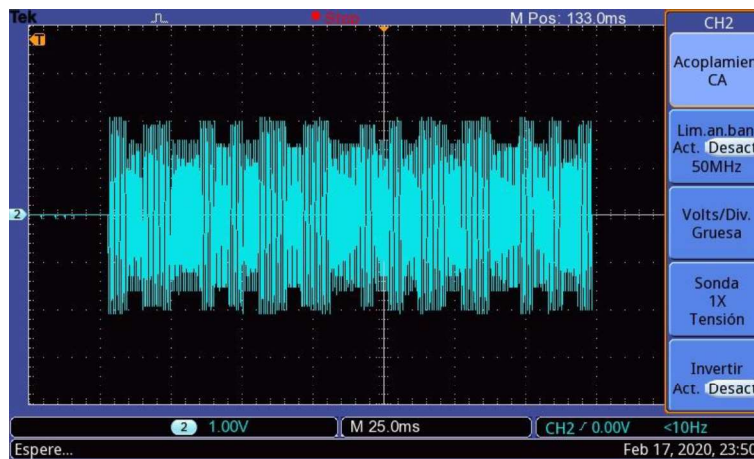


Figura 27. Señal de salida del módulo PLC maestro.

Fuente: Autores

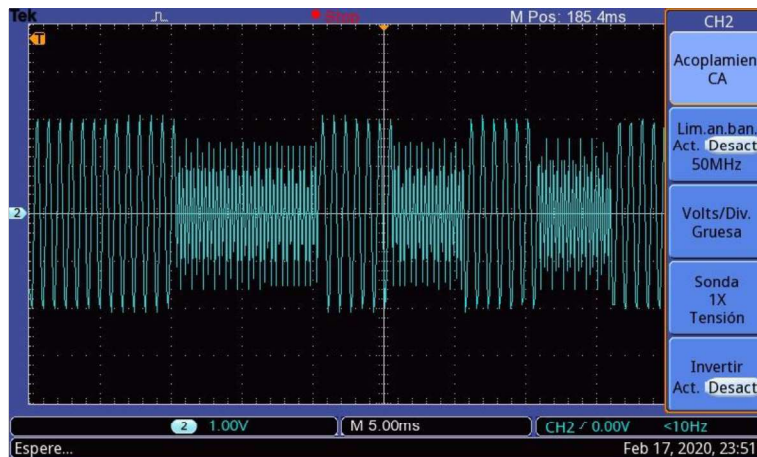


Figura 28. Modulación FSK de los datos.
Fuente: Autores

Tanto el módulo PLC maestro como el esclavo cuentan con un circuito de acople a la red eléctrica conectado a la salida o entrada de datos, en este caso se usa un transformador y diferentes diodos de protección hacia el AFE. Los componentes del módulo PLC están expuestos a alta tensión, armónicos y más condiciones que pueden afectar no solo el rendimiento sino llegar a dañar los elementos por completo, por eso se incluye el circuito de acople a la red eléctrica como se muestra en la Figura 29, para atenuar y aislar.

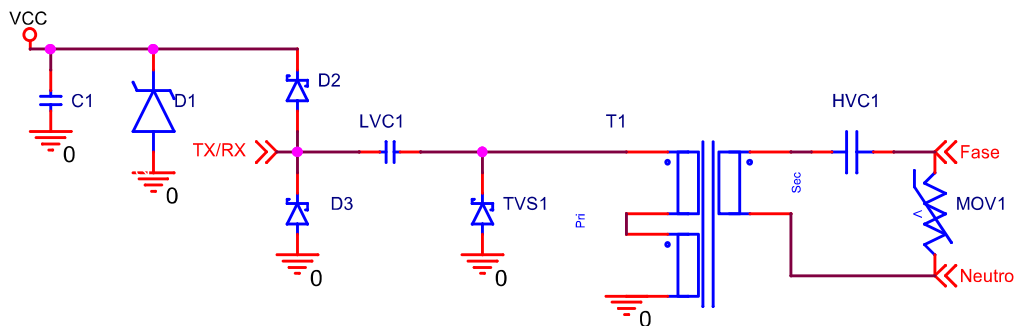


Figura 29. Circuito de acople a la red eléctrica.
Fuente: Autores

El módulo PLC esclavo recibe a través de la red eléctrica el paquete de datos bajo el protocolo de comunicación y lo decodifica. Separa los tramos para comparar los indicativos de inicio y final y obtener el ID. Luego compara el ID indicado en el paquete, en caso de corresponder a otro módulo, este ignora la instrucción, pero si corresponde a sí mismo, se procede a desglosar el estado indicado en el paquete y realizar el cambio.

Cada módulo PLC en conjunto con el circuito de acople requiere alimentación de 15V para su funcionamiento. Se incluye un circuito regulador que transforma el voltaje AC de la red eléctrica en el voltaje DC requerido para alimentar los módulos; la fase y el neutro de la red eléctrica ingresan a un transformador que baja la tensión de 110V AC a 12V AC, el puente de diodos

realiza el cambio de corriente alterna a corriente continua y finalmente el regulador entrega 15V DC para la alimentación de los módulos y sus respectivos acoples, ver Figura 30.

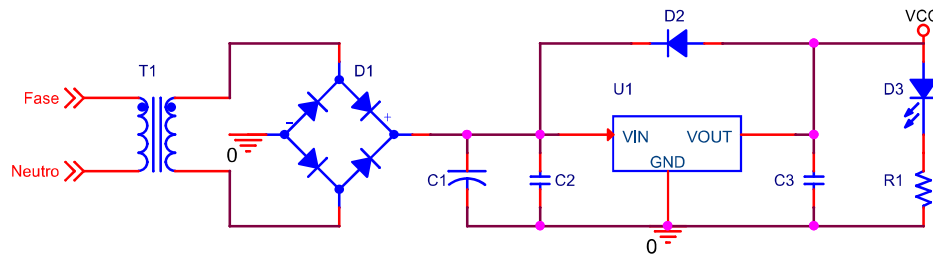


Figura 30. Fuente de voltaje AC a DC.
Fuente: Autores

Toda la red local incluye el módulo Wifi (para módulo PLC maestro), el módulo PLC (DSP y AFE), el circuito de acople a la red eléctrica, el regulador para la alimentación de los módulos, el circuito de control encendido/apagado y la carga a la cual se le otorga o retira el paso de corriente, ver Figura 6.

7.4 CIRCUITO DE CONTROL ENCENDIDO/APAGADO

Cambiar el estado del interruptor o toma de alimentación significa modificar la salida de un pin GPIO que controla el optoacoplador, un '1' lógico o un '0' lógico se traduce a un pulso DC de 3.3V o 0V. El pulso de activación conectado al optoacoplador permite la conducción entre el ánodo y el cátodo que se verá reflejado en la compuerta de un tiristor para dar o restringir el paso de corriente haciendo la función de interruptor como se presenta en la Figura 31. La función principal del optoacoplador es aislar el módulo PLC de la red eléctrica.

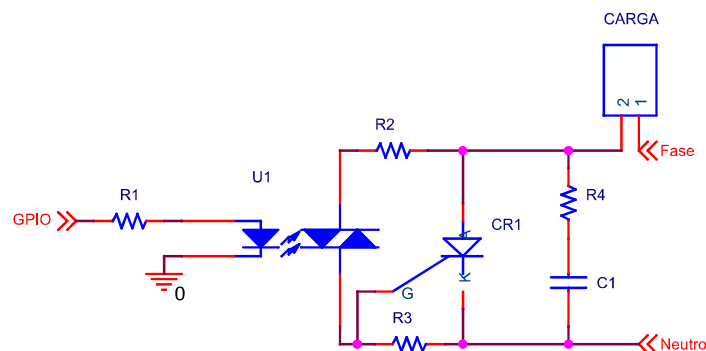


Figura 31. Circuito encendido/apagado.
Fuente: Autores

El cambio de estado no solo es posible de manera remota, también se puede encender o apagar las luces, dar o restringir el paso de corriente a los elementos del sistema, por medio de un interruptor manual conectado a un pin GPIO de entrada al módulo PLC. Al detectar un cambio de estado por medio de un circuito de encendido y apagado, se invierte el estado del pin GPIO de salida al optoacoplador.

El consumo total de corriente del sistema cuando está en funcionamiento es de 60mA. Teniendo en cuenta que el consumo de corriente se mide en kWh se hizo el siguiente cálculo:

$$110V * 60mA = 6,6W$$
$$\frac{6,6W}{1000} = 0,0066kW$$

Suponiendo que el sistema trabaja todo el día se hace el cálculo de consumo mensual en *kWh*.

$$24h * 30d = 720h$$

$$720h * 0,0066kW = 4,7kWh$$

En total el consumo del sistema es de 4,7kWh.

7.5 CARCASAS

Finalmente se realiza el diseño de la carcasa para el prototipo de aprendizaje con respecto a las medidas de las tarjetas, se emplea el programa Autodesk Tinkercad, el cual permite realizar objetos en tres dimensiones con el objetivo de ser exportados en archivos compatibles con impresoras 3D (.OBJ, .STL, .glb).

7.5.1 Carcasa para interruptor de luz

- Vista frontal de la carcasa para interruptor de luz, Figura 32.

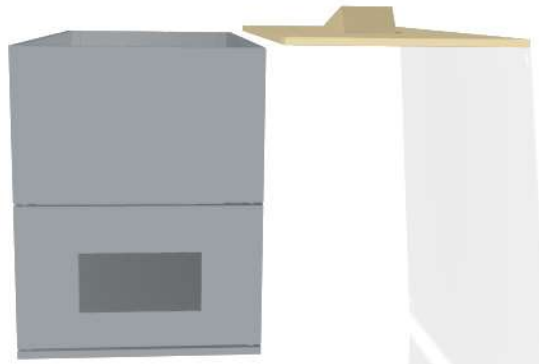


Figura 32. Vista frontal de la carcasa para interruptor de luz.
Fuente: Autores

- Vista lateral de la carcasa para interruptor de luz, Figura 33.

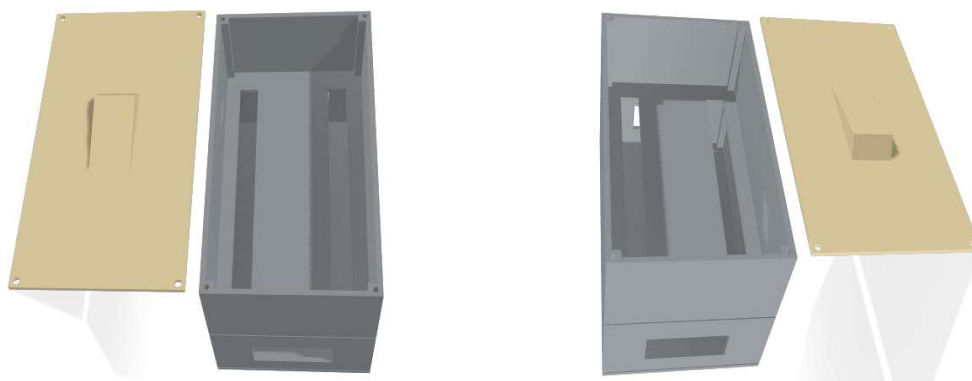


Figura 33. Vista lateral de la carcasa para interruptor de luz.
Fuente: Autores

- Vista superior de la carcasa para interruptor de luz, Figura 34.

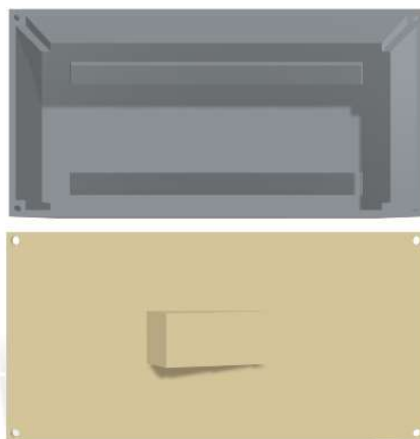


Figura 34. Vista superior de la carcasa para interruptor de luz.
Fuente: Autores

7.5.2 Carcasa para toma de alimentación

- Vista frontal de la carcasa para toma de alimentación, Figura 35.

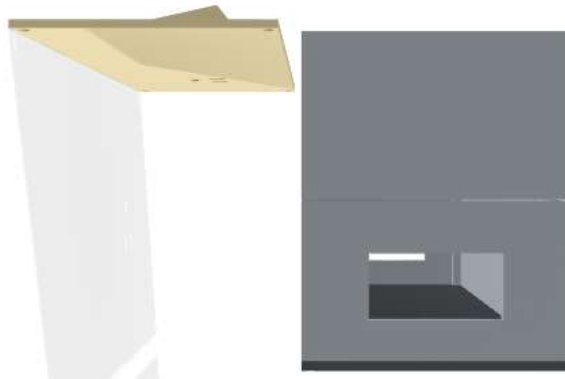


Figura 35. Vista frontal de la carcasa para toma de alimentación.
Fuente: Autores

- Vista lateral de la carcasa para toma de alimentación, Figura 36.

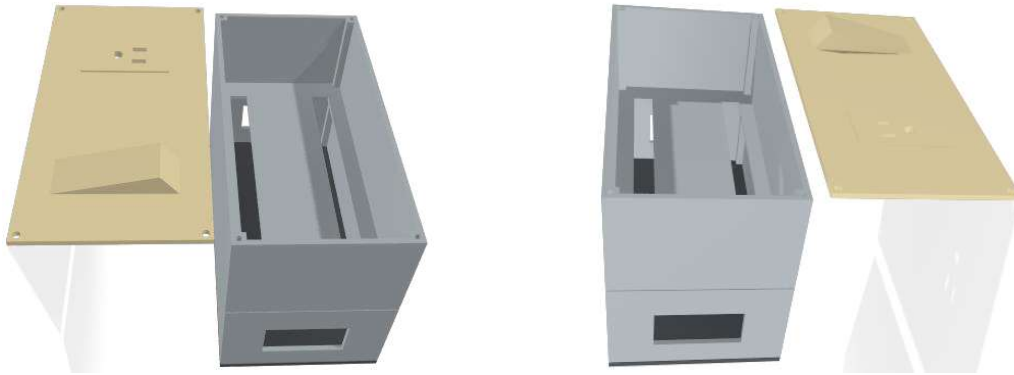


Figura 36. Vista lateral de la carcasa para toma de alimentación.
Fuente: Autores

- Vista superior de la carcasa para toma de alimentación, Figura 37.

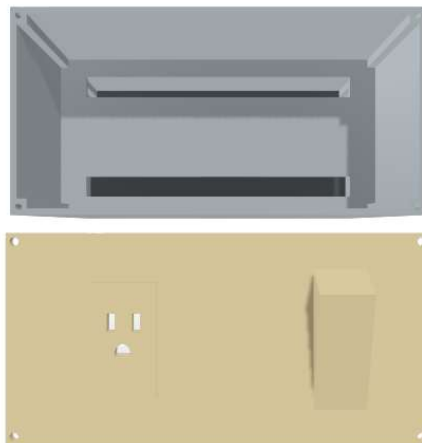


Figura 37. Vista superior de la carcasa para toma de alimentación.
Fuente: Autores

Las medidas de las carcasas tanto de interruptor de luz como de toma de alimentación se observan a continuación, Figura 38:

16 cm de largo x 8 cm de ancho x 10 cm de alto

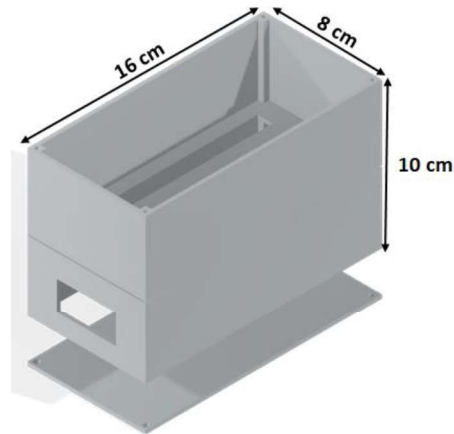


Figura 38. Medidas de la carcasa.
Fuente: Autores

Las carcasas están conformadas por dos cajas y dos tapas una inferior y una superior:

1. La primera caja alberga la tarjeta que contiene la fuente de alimentación de 15V DC, el circuito de acople a la red eléctrica y el circuito de encendido y apagado (ver Figura 39), tiene dos aberturas en la parte frontal para conectar los cables de la línea eléctrica y de la carga.

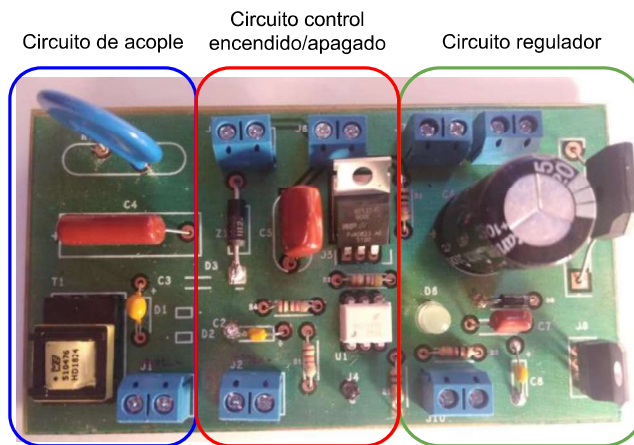


Figura 39. Conjunto de circuitos.
Fuente: Autores

2. La segunda caja contiene el módulo PLC (ver Figura 40), en el cual, se incluye un espacio para el ESP8266 en caso de ser un módulo maestro y dos aberturas en la parte inferior para las conexiones de comunicación con la primera caja.

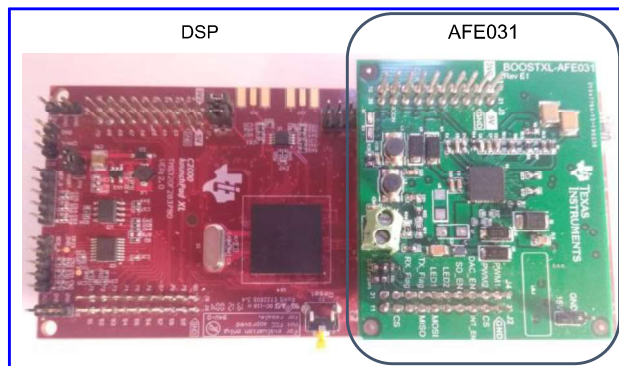


Figura 40. Módulo PLC.

Fuente: Autores

3. La tapa superior e inferior unen las cajas por medio de tornillos y la tapa superior tiene dos diseños diferentes, uno para los interruptores de luz y otro para las tomas de alimentación (que incluye un interruptor que permite al usuario restringir o dar paso de corriente de forma manual).

7.6 SISTEMA COMPLETO

El sistema completo funciona de la siguiente manera:

Al modificar el estado de un interruptor de luz o toma de alimentación desde la aplicación móvil inmediatamente se registra el cambio en la base de datos (ver Figura 41) y se sincroniza en el módulo Wifi recogiendo la información del ID del elemento modificado y el estado modificado.

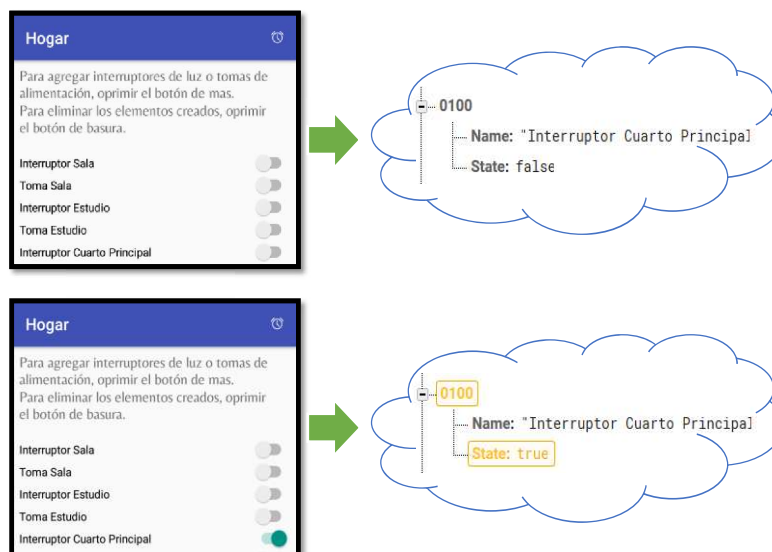


Figura 41. Cambio de estado en la aplicación móvil y sincronización en la base de datos.

Fuente: Autores

Después, en el mismo módulo Wifi se genera el paquete de datos basado en el protocolo de comunicación (ver Tabla 6) y se envía al módulo PLC maestro por medio de SCI y se espera una confirmación por parte del módulo PLC si ha llegado el paquete completo y en caso de detectar un error se procede a enviar el paquete nuevamente hasta recibir una notificación del módulo PLC maestro de la correcta recepción de los datos.

A continuación, el módulo PLC maestro genera un paquete de 33 bits, es decir, 3 veces el paquete recibido de 11 bits originalmente y lo envía por la red eléctrica a los módulos PLC esclavos (ver Figura 42). Al recibir los datos, el esclavo procede a comparar las 3 partes del paquete y desglosar el indicador de inicio, el ID, el estado y el indicador de final. Compara si el ID recibido es igual al ID propio y en caso de ser el mismo confirma si el estado actual es diferente al estado recibido para ejecutar la instrucción modificando la salida que controla el circuito encendido/apagado de la carga, en caso de que el ID recibido no sea igual al propio, ignora la instrucción.

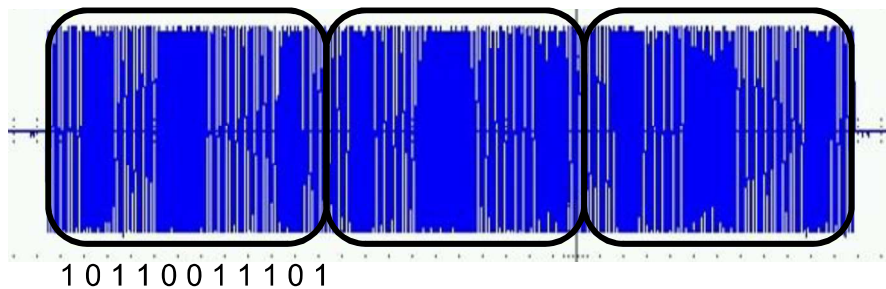


Figura 42. Datos, modulados por FSK.
Fuente: Autores

La comunicación de todo el sistema se puede observar en la Figura 43 y el diagrama de conexiones se puede encontrar en el Anexo 3. La aplicación móvil y la base de datos se comunican por medio de Wifi al igual que el módulo Wifi (ESP8266) y la base de datos, en cambio, el ESP8266 y el módulo PLC se comunican por medio de SCI (Serial Communication Interface). El módulo PLC está conformado por un circuito que incorpora el integrado AFE031 que es la interfaz análoga para el envío de datos por la red eléctrica y un Procesador Digital de Señales DSP, ambos conforman la parte principal de la comunicación local por PLC (Power Line Communication). En el DSP hace la programación de ganancias y/o filtros del integrado AFE031 (ver Figura 9) por medio de SPI (Serial Communication Interface) y las señales PWM se envían desde el DSP al AFE031 por medio de dos pines GPIO; cada módulo PLC necesita una alimentación de 15V por lo que cuenta con su propia fuente de alimentación con un circuito regulador conectado a la red eléctrica.

Los datos se envían por una técnica de modulación llamada FSK que usa cambios de frecuencia de una señal portadora para transmitir la información binaria, la frecuencia que se asigna al '1' se llama Mark y la que se asigna para el '0' se llama Space éstas corresponden a 131.23Khz y 143.73Khz respectivamente según las especificaciones del integrado AFE031.

Las señales salen del módulo PLC maestro a un circuito de acople y se envían por la línea hasta llegar al módulo PLC esclavo. Al recibir una instrucción o detectar un cambio de estado del interruptor manual en la entrada del DSP, este procede a modificar el estado del circuito de control encendido/apagado por medio de un pulso.

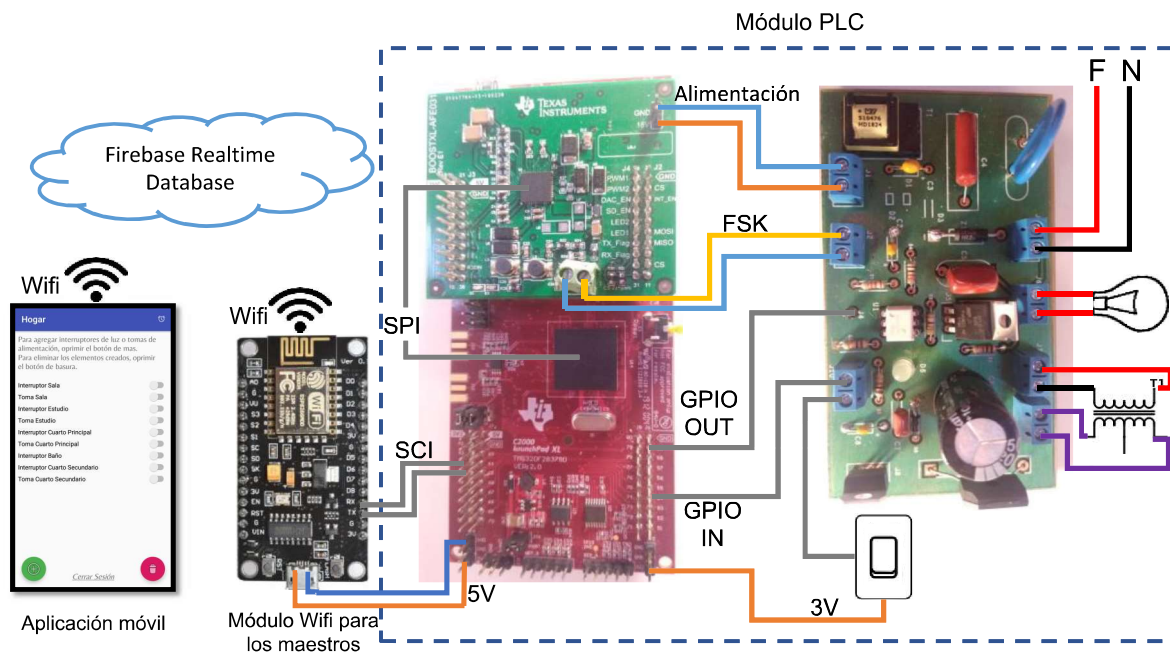


Figura 43. Diagrama circuito completo.
Fuente: Autores

8. CONCLUSIONES

El integrado AFE03x soporta dos modos de transmisión: DAC y PWM. Cada modo tiene diferentes particularidades, aunque se probaron los dos y el fabricante dice que se tiene mejor desempeño en modo DAC, solo se obtuvieron resultados satisfactorios en modo PWM.

El sistema se probó en varias ubicaciones con diferentes características de antigüedad de la red eléctrica, tamaño y distribución física. Los resultados, pese a las diferencias de los establecimientos, fueron satisfactorios, reflejando que estos factores no afectaron la transmisión de datos.

La solución implementada para el sistema hace uso de dos modos de transmisión de datos, uno inalámbrico (Wifi) y uno alámbrico, la comunicación inalámbrica del sistema se ve afectada por fallas o carencia en el servicio de internet, es por eso que se agregan interruptores manuales para no interferir en la autonomía del usuario en caso de no poder utilizar la aplicación móvil, tanto para el control de la iluminación como para el suministro de alimentación a las tomas eléctricas.

El módulo Wifi ESP8266 se conecta a la base de datos con ayuda de una librería Firebase, sin embargo, la librería contiene un código fingerprint que consta de letras y números el cual cambia cuando se renueva el certificado SSL (estándar para transferencia de datos cifrados) del servidor de Firebase, esto genera problemas en la comunicación con la base de datos al momento en que cambia el fingerprint, de tal forma, que se debe registrar el nuevo código en el archivo correspondiente.

El funcionamiento de los sistemas digitales hace imprescindible la sincronización mediante la señal de reloj estable y de frecuencia conocida, por tanto, fue necesario un estudio minucioso de las posibilidades del DSP y el software utilizado, en un principio no se conocía con exactitud a qué frecuencia estaba trabajando este controlador digital de señales debido al desconocimiento del módulo PLL interno de esta máquina y la manera en que el fabricante entrega sus programas de ejemplo, (que normalmente se puede utilizar con varias familias de DSPs), causando pérdida de información en la comunicación entre la DSP y el módulo Wifi. Para resolver el problema se agrega un símbolo predefinido `_LAUNCHXL_F28379D` al módulo PLC maestro para configurar el reloj del DSP a la frecuencia correcta y así obtener la sincronización de todo el sistema.

El proceso de envío de datos se realiza únicamente cuando hay un cambio de estado en alguno de los interruptores de luz o tomas de alimentación desde la aplicación móvil, al enviar el paquete una sola vez se generaban problemas de sincronización entre los módulos PLC maestro y esclavos (los datos se guardan en desorden e incompletos), por lo cual se procede a enviar el paquete varias veces para garantizar la sincronización de los módulos y asegurando que la información llegue correctamente.

En la primera versión de la aplicación móvil, la sincronización con la base de datos genera inconvenientes al momento de eliminar los interruptores de luz o tomas de alimentación creados anteriormente, por las funciones de ValueEventListener utilizadas para actualizar los datos en Firebase Realtime Database cada vez que se realizan modificaciones a los estados de los elementos; para solucionar el problema se requiere cancelar el evento creado para el interruptor de luz o toma de alimentación que se desea eliminar y después se procede a borrar el dispositivo en la aplicación móvil, de esta forma la base de datos no detecta un cambio en el elemento al borrarse.

Al reducir el consumo de energía generado por electrodomésticos y dispositivos conectados a la red eléctrica sin estar en uso (consumo fantasma), con el sistema de control de suministro de corriente de los interruptores de luz y tomas de alimentación de los módulos PLC (el cual tiene un bajo consumo de energía en comparación con los consumos fantasmas de algunos dispositivos), permite obtener un ahorro económico y ayuda a aminorar las afectaciones en el medio ambiente.

9. TRABAJO FUTURO

El sistema puede ser escalado a la industria de manera que incluso sin tener una aplicación móvil se controlen los dispositivos desde una pantalla HMI ubicada en el centro de control y conectada al módulo maestro, con el fin de evitar el uso de Wifi puesto que no se permite el acceso a este en algunas empresas o el alcance esté limitado por distancia.

El método de transmisión de datos por red eléctrica puede tener diferentes empleos, por ejemplo, en redes inteligentes, cuando las cargas que estén conectadas a la red se puedan convertir en generadores de energía, se vuelve necesario tener una autogestión adecuada y se puede recurrir a la transmisión de información sobre la tensión, corriente y flujo de potencia.

El sistema actualmente cuenta con una aplicación móvil con las características básicas para la interacción con el usuario, una de las mejoras que se puede implementar es tener la opción de crear un mapa del establecimiento, planta por planta para visualizar de mejor manera la ubicación de cada módulo, para que el usuario tenga una mejor experiencia.

Cada esclavo tiene su propio ID designado y el usuario debe ingresarlo desde la aplicación móvil para poder agregarlo a la base de datos. Para que el sistema sea más autónomo, se puede tener un ID genérico predeterminado para los módulos esclavos de forma que al momento de conectarse el módulo PLC maestro lo detecte y reemplace por uno nuevo y único para registrarlo en la base de datos.

El interruptor manual conectado al módulo PLC permite intercambiar el estado del optoacoplador, para poder controlar los interruptores de luz y tomas de corriente sin necesidad del uso de la aplicación móvil y mantener el funcionamiento como comúnmente se conoce. La aplicación móvil a diferencia del interruptor manual no intercambia el estado, sino que envía una instrucción fija de encendido y apagado. Cuando se hace uso del interruptor manual el módulo PLC se intercambia el estado de la salida al optoacoplador y en caso de enviar una instrucción desde la aplicación móvil se compara el estado actual con la información que llega para verificar si se debe modificar el pulso del GPIO de salida. La comparación es necesaria porque el cambio realizado por el interruptor manual no se registra en la base de datos y por ende no es visible en la aplicación móvil al no contar con una comunicación bidireccional y siendo un cambio realizado únicamente por los módulos PLC; este proceso es una de las implementaciones para agregar al proyecto y mejorar la experiencia del usuario.

Actualmente el prototipo desarrollado es un modelo amplio utilizado como aprendizaje, sin embargo, se puede optimizar la tarjeta reduciendo el tamaño y el peso, diseñando una nueva tarjeta con únicamente los componentes requeridos (preferiblemente superficiales) para el funcionamiento del sistema.

Otra función para agregar a la aplicación móvil, es incluir una funcionalidad de temporizador para cambiar a un estado de encendido o apagado por un periodo de tiempo y luego volver al estado anterior.

10. REFERENCIAS BIBLIORÁFICAS

- [1] Y. Valery, «¿Cuáles aparatos consumen más energía cuando están apagados?,» *BBC News*, 17 Mayo 2016.
- [2] J. D. M. Barreto, «En el 90 % de los robos a viviendas, no se ejerce violencia,» *EL ESPECTADOR*, 07 Noviembre 2017.
- [3] C. Morón, A. Payán y García Alfonso, Domotics Project Housing Block, 2016.
- [4] C.-h. Lien, Y.-w. Bai y M.-b. Lin, «Remotely Controllable Outlet System for Home Power Management,» de *2006 IEEE International Symposium on Consumer Electronics*, 2006.
- [5] J.-S. Lee, M.-J. Chung y Y.-H. Sun, «Development of residential lighting control systems using ZigBee wireless technology,» de *2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2017.
- [6] S. Santaji y S. Kangralkar, «Implementation of integrated intelligent power management system using Zigbee protocol,» de *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2017.
- [7] A. Musleh, M. Debouza y M. Farook, «Design and implementation of smart plug: An Internet of Things (IoT) approach,» de *2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)*, 2017.
- [8] K. Patil, J. Metan, T. S. Kumaran y M. Mathapatil, «IoT based power management and controlled socket,» de *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)*, 2017.
- [9] Y.-R. Tong y Z.-B. Li, «Design of Intelligent Socket Based on Wi-Fi,» de *2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2017.
- [10] R. Rojas, R. M. Aceves, O. Cortés, L. G. Vela, S. A. Arroyo y C. García , «Buses y Protocolo de Comunicación para Instalaciones Domóticas,» *DYNA Ingeniería e Industria*, vol. 89, nº 3, pp. 387-392, 2014.
- [11] A. Vera, A. Alarcón , O. Polanco y R. D. Nieto, «Aplicación de las Comunicaciones Inalámbricas a la Domótica,» *Ingeniería y Competitividad*, vol. 5, nº 2, 2004.
- [12] A. Recioui, «Application of Multiple Input Multiple Output Power Line Communication (MIMO-PLC) to Power Systems,» *Acta Physica Polonica A*, vol. 132, nº 3, 2017.
- [13] L. Conde, «El futuro y las ventajas de las Power Line Communication,» *Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.* , 2005.
- [14] P. Jothi M, C. Selvam y S. Ramakrishnan, «Implementation and testing of Power Line Communication Network for lamp control application,» de *IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies*, 2014.

- [15] C.-h. Lien, Y.-w. Bai y M.-b. Lin, «Power Monitoring and Control for Electric Home Appliances Based on Power Line Communication,» de *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2008.
- [16] H. Paz Penagos, G. . D. Castellanos Tache, R. F. Alarcón, V. L. Weiss, R. Laverde , J. C. Rodríguez y L. A. Rincón , «Diseño e Implementación de una red domótica para un laboratorio de Ingeniería Electrónica,» *Ingeniería y Universidad*, vol. 10, nº 2, 2006.
- [17] J. Slacik, P. Mlynek, R. Fudziak y J. Misurec, «Equipment for power line communication based on a single-carrier system for home automation system,» de *Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS)*, 2017.
- [18] P. Waher, Learning internet of things, Packt Publishing, Limited, 2015.
- [19] F. Hussain, Internet of things: building blocks and business, 1 ed., Toronto: Springer Nature, 2017.
- [20] McKinsey Global Institute, «THE INTERNET OF THINGS: MAPPING THE VALUE BEYOND THE HYPE,» 2015. [En línea]. Available: https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_.
- [21] D. Bonino y F. Corno, «Modeling, simulation and emulation of Intelligent Domotic Environments,» *Science Direct*, 2011.
- [22] Cedom, «"Qué es Inmótica",» 2020. [En línea]. Available: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-inmotica>. [Último acceso: 02 01 2020].
- [23] A. Wasserman, «Software engineering issues for mobile application development,» *IEEE*, 2010.
- [24] D. GAVALAS y D. ECONOMOU, «Development Platformsfor Mobile Applications: Status and Trends,» *IEEE*, 2011.
- [25] A. Ebone, Y. Tan y X. Jia, «A Performance Evaluation of Cross-Platform Mobile Application Development Approaches,» de *IEEE/ACM 5th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)*, Gothenburg, 2018.
- [26] IBM, «"What is a cloud database?", Ibm.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-cloud-database..>
- [27] MongoDB, «What is a cloud database?,» [En línea]. Available: <https://www.mongodb.com/cloud-database>.
- [28] I. Ballester Tester, «Diseño de un protocolo de comunicaciones sin pérdidas sobre Ethernet para clústers de computadores,» Valencia, 2015.
- [29] X. Carcelle, Power Line Communications in Practice, Artech House, 2009.
- [30] L. Lampe, A. M. Tonello y T. G. Swart, Power Line Communications: Principles, Standards and Applications from multimedia to smart grid., vol. 2, John Wiley & Sons, 2016.
- [31] C. Strauss, Practical electrical network automation and communication systems, Amsterdam: Elsevier, 2003.

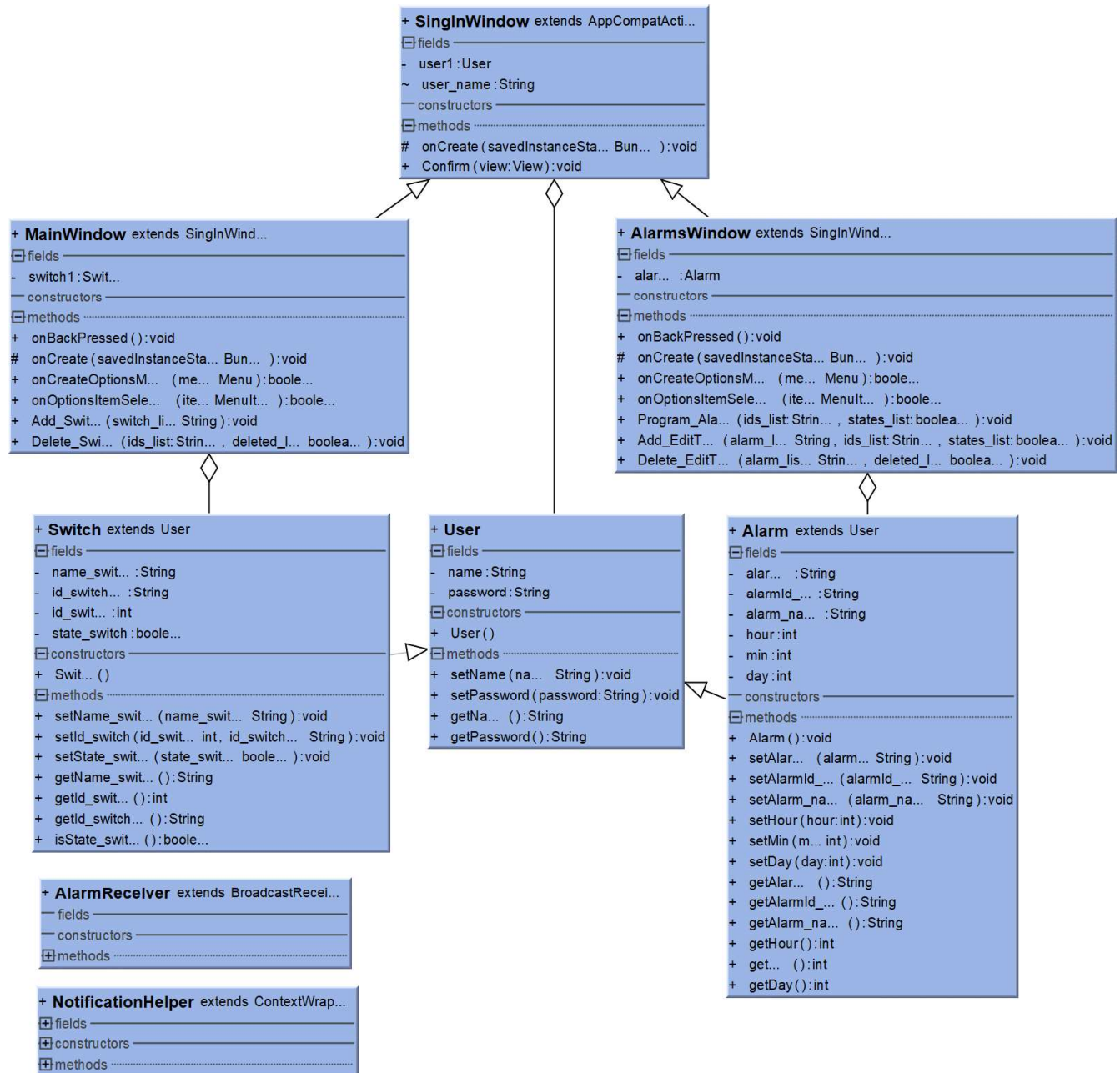
- [32] Texas Instruments, «Interfacing the C2000TM With an AFE030/1,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/sprac94c/sprac94c.pdf>.
- [33] M. Rashid y G. Sanchez Garcia, Electrónica de potencia., México: Prentice Hall Hispanoamericana., 1995.
- [34] J. S. Chitode, Power Electronics, Pune: Technical Publications Pune, 2009.
- [35] Android, «Android Developers,» [En línea]. Available: <https://developer.android.com/studio/intro?hl=es-419>.
- [36] Google, «Firebase,» [En línea]. Available: <https://firebase.google.com/docs/database?hl=es>.
- [37] Espressif Systems, «ESP8266EX Datasheet,» [En línea]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.
- [38] Texas Instruments, «Powerline Communications,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/sbos531e/sbos531e.pdf>.
- [39] L. Malagon, J. Escobar y G. Montiel, «Estudio y progreso de redes PLC, enfocado a servicios de banda angosta.,» *Clepsidra*, vol. 5, pp. 73-82, 2009.

11.REFERENCIAS FIGURAS

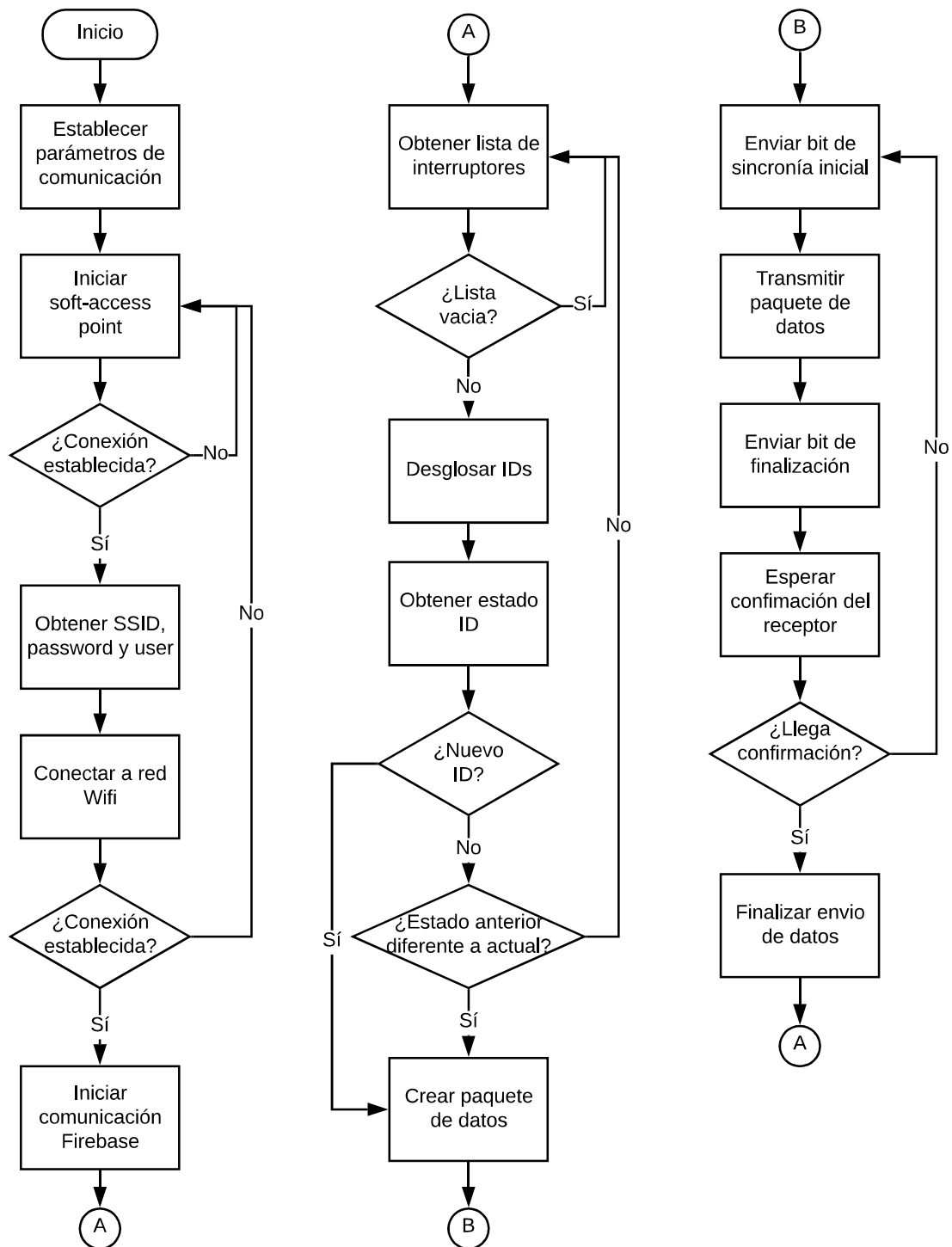
- [1] Design of a terminal node controller hardware for CubeSat tracking applications - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/sualizes-the-concept-of-an-FSK-signal-FSK-overcome-most-of-the-problems-caused-by-noise_fig3_309595949 [accessed 23 Jan, 2020].

12.ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de clases aplicación móvil.



Anexo 2. Diagrama de flujo programa módulo Wifi.



Anexo 3. Diagrama de conexiones del sistema completo.

