

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**DISEÑO Y CONTROL DE ALARMAS COMUNITARIAS UTILIZANDO
MICROCONTROLADOR**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:
Alejandro Aranda Contreras

Profesor guía:
Mag. Víctor Cárdenas Schweiger.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: DISEÑO Y CONTROL DE ALARMAS COMUNITARIAS UTILIZANDO MICONROLADOR

Nombre del candidato(a): Alejandro Raúl Aranda Contreras

Carrera / Grado: Ingeniería de ejecución en control e instrumentación industrial

Campus: Viña del mar

Departamento: Electrotecnia e Informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Víctor Cárdenas Schweiger, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo NO contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo CONTIENE información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 05/08/2026

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 05/08/2026

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: ESP32, LORA SX1276, LPWAN, FAILOVER.

El presente trabajo de título tiene como propósito aumentar la seguridad de un pasaje de una villa. Si bien actualmente existen sistemas de seguridad y alarmas comunitarias, se identificaron diversas limitaciones que afectan su funcionamiento y eficiencia. La necesidad de desarrollar una propuesta de mejora responde, entre otros factores, al aumento de la delincuencia en el país. (La Tercera, 2025). Esta situación ha impulsado a las comunidades a fortalecer sus medidas de seguridad mediante la incorporación de tecnologías que permitan mejorar la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia

Este diseño se implementa sobre una plataforma de computación de borde (edge computing) basada en el ESP32, priorizando la eficiencia energética. La arquitectura de comunicación integra una solución híbrida y resiliente: emplea el módulo LoRa SX1276 para la conectividad de largo alcance y baja potencia (LPWAN), y un módulo GSM/LTE (A7670SA) como canal de comunicación de respaldo crítico (failover) y envío de alertas SMS.

El sistema de “sensado” incluye sensores de humo para el monitoreo ambiental y sensores reed switch para la detección de estado/intrusión con consumo ultra bajo. Esta combinación de tecnologías asegura la transmisión de datos y alertas bajo condiciones operacionales adversas y elimina la dependencia de infraestructuras de red complejas, garantizando una alta disponibilidad del sistema. A diferencia de las soluciones convencionales que se limitan a la protección individual de una vivienda, este sistema propone un enfoque integral a nivel comunitario. Su diseño contempla la cobertura de múltiples residencias dentro de un mismo pasaje o villa, siempre que se encuentren dentro del rango operativo del sistema. Esta arquitectura distribuida permite una alta escalabilidad y eficiencia operativa, lo que facilita su implementación a mayor escala y su proyección en futuros desarrollos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS	2
1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS	3
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	3
1.2 PROBLEMÁTICA	3
1.2.1 Descripción del problema.....	5
1.2.2 Importancia de resolverlo	6
1.2.3 Involucrados	7
1.3 PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA	8
1.3.1 Requerimientos	8
1.3.2 Alternativas de solución	8
1.3.2.1 Alternativa 1.....	9
1.3.2.2 Alternativa 2	9
1.3.2.3 Alternativa 3	10
1.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	11
1.5 ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	13
1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO	13
1.6.1 Objetivo general	14
1.6.2 Objetivos específicos.....	14
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	15
2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	16
2.1 ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?	16
2.2 SOLUCIÓN A IMPLEMENTAR.....	16
2.2.1 Dispositivos a utilizar	16
2.2.1.1 ESP32 Wroom	17
2.2.1.2 Módulo LoRa sx1276	18
2.2.1.3 Sensor de humo (MQ-2)	19
2.2.1.4 Sensores de apertura (NO).....	20
2.2.1.5 Módulo A7670SA	21
2.2.1.6 Baliza de señalización luminosa.....	22
2.2.1.7 Sirena	23
2.2.1.8 Módulo relé dos canales.....	24
2.2.1.9 Batería respaldo.....	25
2.2.1.10 Módulo de fuente de alimentación UPS.....	26

2.2.1.11	Modulo LM2596 DC-DC	27
2.3	ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA PROPUESTO	28
2.4	TOPOLOGÍA NUEVA DEL SISTEMA.....	29
2.5	CONEXIONADO	30
2.5.1	Asignación de pines.....	31
2.5.2	Diagramas electrónicos.....	32
2.5.3	Diagramas de alimentación.....	35
2.6	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	37
2.7	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN	39
2.8	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN.....	39
CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO.		40
3	IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO	41
3.1	EVALUACIÓN DE COSTOS.....	41
3.1.1	Compra nacional	42
3.1.2	Compra internacional.....	43
3.1.3	Costos por hora hombre (HH)	44
3.1.4	Costo total del proyecto.....	44
3.1.5	Análisis de costos.....	45
3.2	ANÁLISIS DE RENDIMIENTO	45
3.2.1	Mediciones de funcionamiento con control remoto.....	45
3.2.2	Mediciones de distancia con sistema LoRa	47
3.2.3	Mediciones de nivel de potencia (RSSI) y calidad de señal (SNR)	48
3.3	ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA.....	49
3.3.1	ESP32 Maestro	51
3.3.2	ESP32 Esclavo	52
3.4	PROPUESTAS DE MEJORA CONTINUA EN EL SISTEMA.....	53
3.4.1	Propuesta de implementación de un nodo maestro redundante	53
3.4.2	Propuesta de migración a una red LoRaWAN.....	55
3.4.3	Propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico	55
3.4.4	Implementación física	57
CONCLUSIÓN		58
BIBLIOGRAFÍA		60
Anexo “A” programación ESP32- maestro		61
Anexo “B” programación de ESP32 esclavo.....		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Problemática pasaje.....	4
Figura 1-2 Topología estrella alarma.....	5
Figura 1-3 Diagrama Ishikawa.	6
Figura 2-1: ESP32 MCU.	17
Figura 2-2 Módulo LoRa sx1276	18
Figura 2-3 Sensor de humo MQ-2.....	19
Figura 2-4 Sensor Magnetic reed switch	20
Figura 2-5 Módulo A7670SA.....	21
Figura 2-6 Baliza de señalización luminosa.....	22
Figura 2-7 Sirena.....	23
Figura 2-8 Módulo relé dos canales	24
Figura 2-9 Batería de respaldo	25
Figura 2-10 Módulo UPS.....	26
Figura 2-11 Módulo LM2596	27
Figura 2-12 Diagrama de bloques sistema propuesto.....	29
Figura 2-13 Topología estrella sistema LoRa.....	30
Figura 2-14 Diagrama electrónico nodo maestro.....	33
Figura 2-15 Diagrama electrónico del nodo esclavo.	34
Figura 2-16 Diagrama funcional de alimentación y accionamiento del nodo maestro.....	35
Figura 2-17 Diagrama funcional de alimentación del nodo esclavo.	36
Figura 2-18 Diagrama de flujo ESP32 maestro	37
Figura 2-19 Diagrama de flujo ESP32 esclavo.....	38
Figura 3-1 Croquis del sistema original.....	46
Figura 3-2 Croquis de los puntos de medición del sistema LoRa	47
Figura 3-3 Punto máximo de funcionamiento con las pruebas LoRa	48
Figura 3-5 LoRaWAN.....	55
Figura 3-6 Diagrama conexionado panel solar ESP32-maestro	56
Figura 3-7 Diagrama conexionado panel solar ESP32 esclavo.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Escala de calificación de alternativas.....	12
Tabla 1-2 - Grilla evaluación de criterios.....	13
Tabla 2-1 Conexionado de pines ESP32-maestro	31
Tabla 2-2 Conexionado de pines ESP32 esclavo	32
Tabla 3-1 Costos nacionales	42
Tabla 3-2 Costos internacionales.....	43
Tabla 3-3 Costos HH.....	44
Tabla 3-4 Costos totales	44
Tabla 3-6 Mediciones de funcionamiento con sistema LoRa	47
Tabla 3-7 Mediciones de distancia, RSSI y SNR	49
Tabla 3-8 Mediciones de corriente ESP32-MAESTRO	49
Tabla 3-9 Mediciones de corriente ESP32-ESCLAVO	50

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

4G: Cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil

5G: Quinta generación de tecnologías de telefonía móvil.

ABS: Acrilonitrilo Butadieno Estireno un termoplástico muy común, conocido por su resistencia al impacto, dureza y rigidez.

Co: Monóxido de carbono.

GND: Ground – Conexión a tierra.

GSM: Sistema global para comunicaciones móviles.

LoRa: Long Range – Largo alcance

MISO: Master input slave output – entrada del maestro desde el esclavo.

MOSI: Master output slave input – salida del maestro hacia el esclavo.

NSS: Slave select – selección de esclavo.

PPM: Partículas por millón.

SKC: Serial clock – reloj serial.

WI-FI: Wireless Fidelity – Fidelidad inalámbrica.

IoT: Es la red de objetos físicos cotidianos o industriales equipados con sensores, software y conexión a Internet.

SPI: (Serial peripheral Interface), Es un bus síncrono full-duplex.

dBm: (decibelio-milivatio) es una unidad logarítmica que mide la potencia absoluta de una señal tomando como referencia 1 milivatio (mW).

B. SIMBOLOGÍAS

AC: Corriente alterna.

cº: Grados Celsius, una unidad para medir la temperatura.

dB: Decibelio, una unidad para medir la intensidad del sonido o nivel de señal.

dBm: dBm (decibelios-mili vatios) es una unidad logarítmica que mide la potencia absoluta de una señal en relación con 1 mili vatio (mW).

DC: corriente continua o directa.

mA: mili Ampers.

MHz: es una unidad de frecuencia que representa un millón de ciclos por segundo.

mm: milímetros.

mseg: milisegundo (ms), una unidad de tiempo que es la milésima parte de un segundo.

mW: mili watt, mide una potencia pequeña, submúltiplo de watt.

RSSI: Indicador de intensidad de la señal recibida.

SNR: Relación señal-ruido.

volts: unidad de medida del voltaje o tensión eléctrica.

W: watt, unidad de medida de la potencia eléctrica.

Mb: megabyte, Es una unidad de medida que se utiliza para calcular el tamaño de los archivos

Ppm: Partículas por millón.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la seguridad en los hogares y comunidades se ha convertido en una prioridad, ya que se buscan sentir protegidos frente a diversas situaciones de riesgo o emergencia. Los sistemas tradicionales de alarma y vigilancia dependen en gran medida de redes de comunicación como WiFi, 4G o 5G, cuyo alcance suele ser limitado y cuya operación requiere un suministro eléctrico constante. Sin embargo, en escenarios de cortes de energía o fallas de conectividad, estos sistemas pierden efectividad, dejando a las personas aisladas en términos de comunicación y seguridad.

Ante esta problemática, surge la necesidad de diseñar un sistema de alarmas comunitarias que operen con bajo consumo energético, gran autonomía y capacidad de cubrir largas distancias, de manera que puedan garantizar alertas efectivas incluso en condiciones adversas.

El presente trabajo propone el diseño de un sistema de alarmas comunitarias basado en microcontroladores ESP32 y tecnología LoRa SX1276, complementado con un sistema de comunicación híbrido mediante WiFi y GSM. La solución incorpora sensores para la detección automática de eventos, respaldo energético mediante baterías y módulos UPS, y un sistema de notificaciones remotas orientado a mejorar la seguridad de la comunidad. Finalmente, el trabajo se estructura en tres capítulos: el primero presenta la problemática y los objetivos del proyecto, el segundo desarrolla la solución propuesta y el tercero expone la implementación, evaluación y propuestas de mejora continua del sistema.

CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS

1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS

En este primer capítulo se describirán las problemáticas del sistema de alarma comunitaria en el pasaje de la villa y como afectan de manera directa la seguridad de la comunidad al no tener un sistema acorde a las necesidades de hoy en día dejando al debe la efectividad de estas alarmas.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Las alarmas comunitarias en Chile hoy en día, suelen ser instaladas últimamente en todos los barrios y pasajes de lo largo del país, el principio de funcionamiento de estas, es de manera muy sencilla, se instala un sistema de alarma (sirena, baliza, receptor) en un punto central o en medio del pasaje o villa, y se activa de manera manual con un control remoto que depende netamente del rango de alcance de este y de las obstrucciones que tenga en su camino.

Es por eso que, frente a estas limitaciones, se deben aprovechar los avances tecnológicos como lo son el sistema LoRa, ESP32, wifi, GSM y todos los sistemas que se adecuen a desarrollar una mejora de estos sistemas de alarmas.

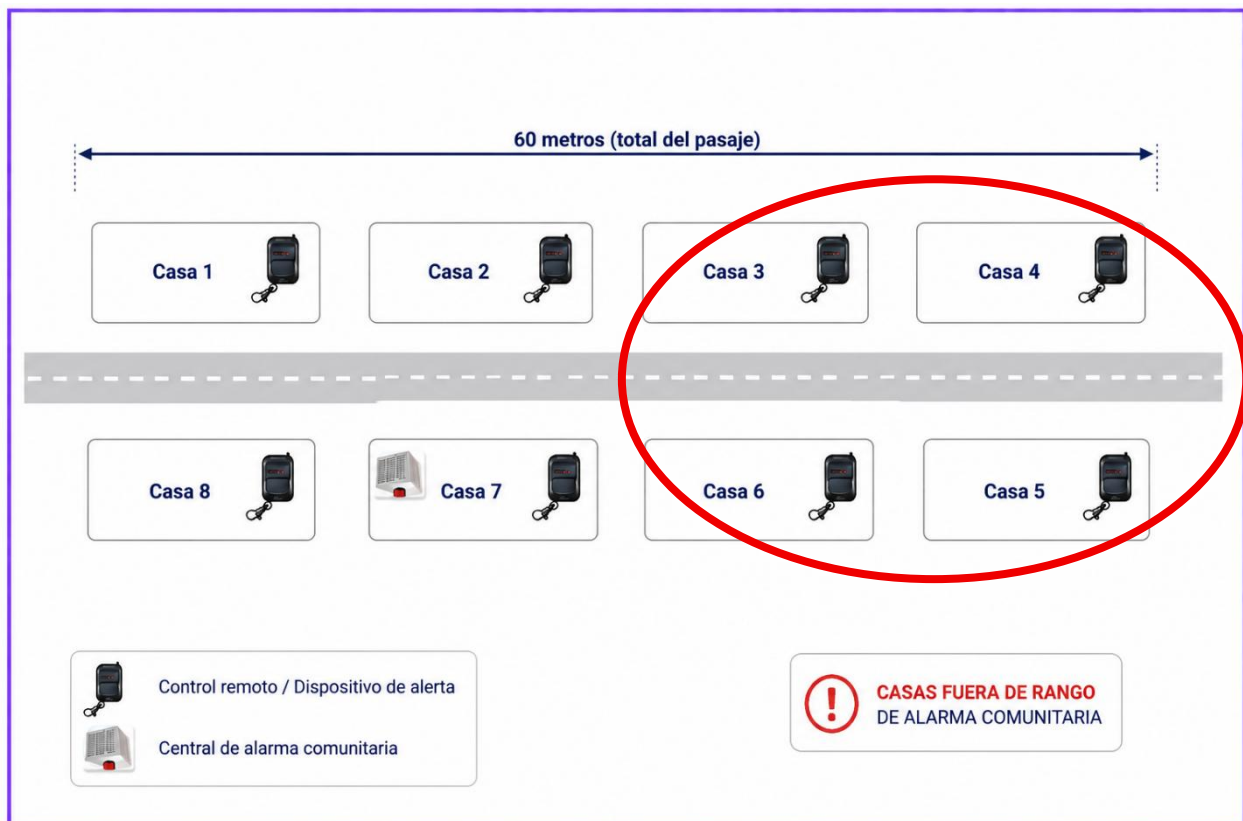
1.2 PROBLEMÁTICA

El sistema de alarma comunitaria actualmente implementado en el pasaje Valparaíso, perteneciente a la población Villa Empart de la comuna de La Calera, Región de Valparaíso, presenta diversas limitaciones que afectan su funcionamiento y la capacidad de respuesta frente a situaciones de emergencia. Este sistema está conformado por una topología tipo estrella (Figura 1-2), donde una alarma central, instalada aproximadamente en el centro del pasaje, recibe las señales enviadas por los controles remotos distribuidos en cada vivienda (Figura 1-1). Su activación depende únicamente de estos controles, de los cuales solo se dispone de uno por vivienda, pese a que en promedio habitan tres personas por casa. Esta restricción reduce la posibilidad de que cualquier residente pueda activar oportunamente la alarma en caso de emergencia.

A ello se suma una segunda limitación relevante: el alcance de la señal de los controles remotos. Debido a la ubicación de la central de alarmas y a la distancia existente entre las viviendas ubicadas en los extremos del pasaje, estas no siempre logran establecer una comunicación efectiva con la central, quedando algunas viviendas sin cobertura efectiva para la activación de la alarma comunitaria.

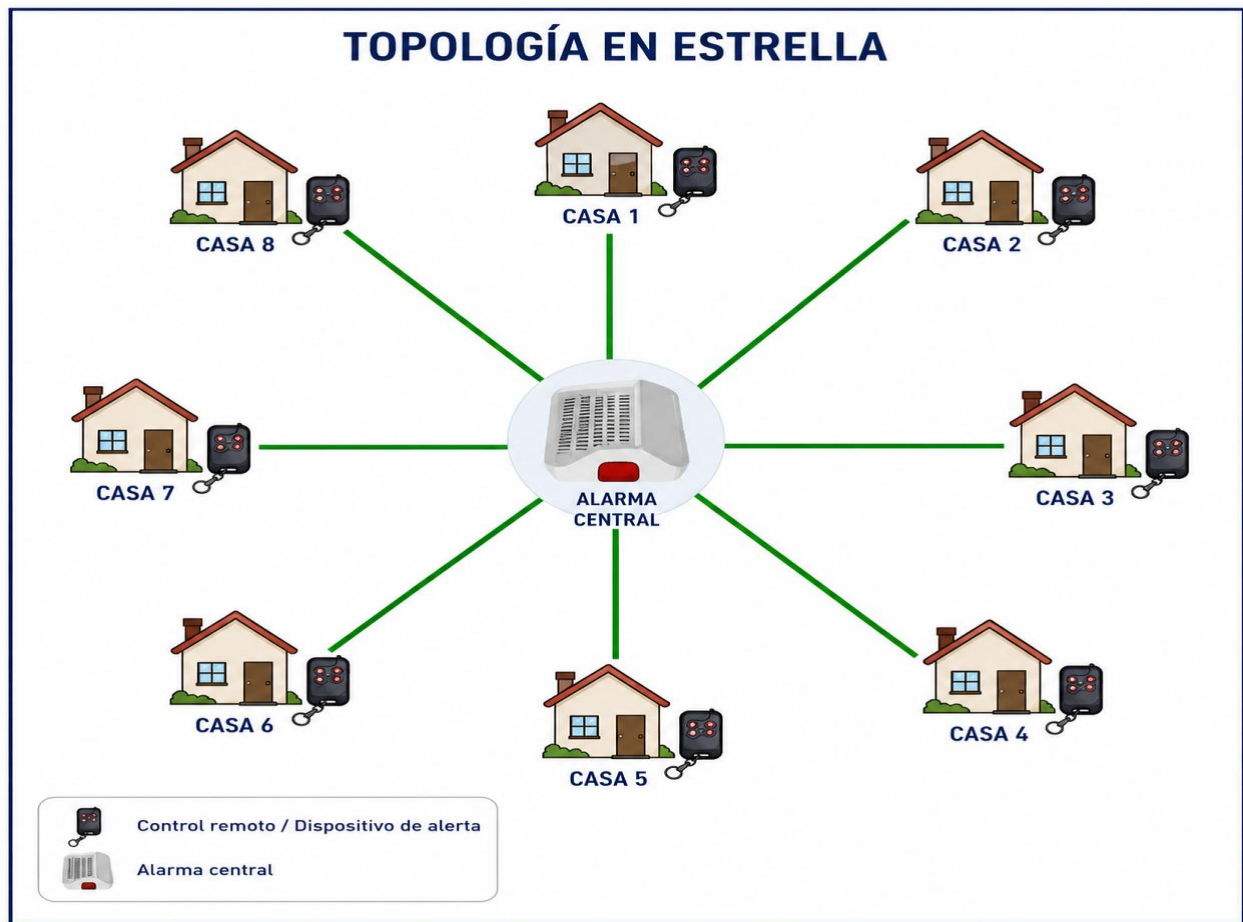
Por otra parte, el sistema no garantiza un nivel de seguridad adecuado, ya que depende completamente de la intervención de los usuarios para su funcionamiento. En consecuencia, si durante una situación de emergencia ningún residente dispone del control remoto o no logra accionarlo oportunamente, la alarma no será activada, limitando la capacidad de respuesta del sistema ante eventos como robos, incendios u otras situaciones de riesgo.

Por lo tanto, el sistema carece de mecanismos automáticos de detección y de una cobertura confiable para todas las viviendas del pasaje, lo que disminuye considerablemente su efectividad y genera un nivel de seguridad inferior al esperado por la comunidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-1 Problemática pasaje.

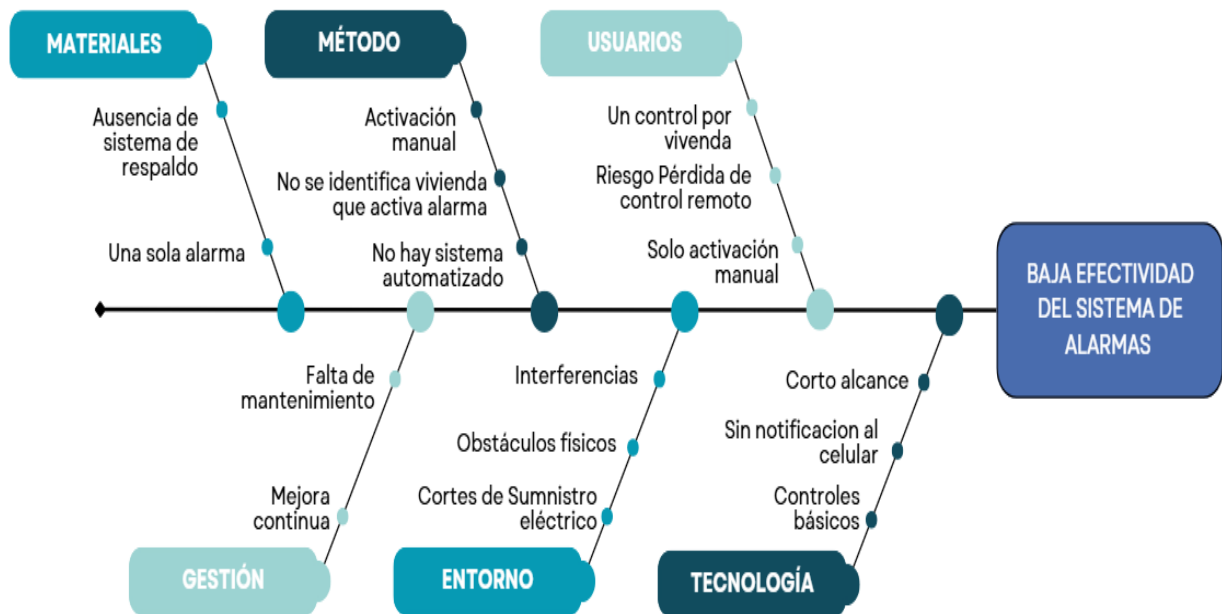


Fuente: Elaboración propia

Figura 1-2 Topología estrella alarma.

1.2.1 Descripción del problema

A continuación, se presenta un análisis mediante el uso de un diagrama de Ishikawa (figura1-3), permitiendo identificar las causas y consecuencias principales de la falta de efectividad de la alarma en situaciones críticas. Este enfoque facilita el reconocimiento estructurado de los factores involucrados, contribuyendo a encontrar soluciones efectivas para facilitar el uso y activación de alarmas en las situaciones que se requiera su uso de forma automática o manual.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-3 Diagrama Ishikawa.

1.2.2 Importancia de resolverlo

Un sistema de alarmas comunitarias deficiente representa actualmente una problemática relevante, considerando el aumento de la percepción de inseguridad, el incremento de la delincuencia y la ocurrencia de catástrofes que afectan a la población. De acuerdo con la encuesta "Chile Nos Habla", realizada por la Universidad San Sebastián (USS), la seguridad constituye una de las principales preocupaciones de la ciudadanía (Universidad San Sebastian, 2026). Asimismo, el estudio Market & Brand Tracking, elaborado por Mega Smart Research Solutions para Prosegur Alarms, informó un crecimiento anual del 9,5 % en la contratación de sistemas de alarmas, asociado a un aumento cercano al 27 % de los robos en zonas residenciales, informó un crecimiento anual del 9,5 % en la contratación de sistemas de alarmas, asociado a un aumento cercano al 27 % de los robos en zonas residenciales (Prosegur, 2025).

Estos antecedentes evidencian la creciente necesidad de implementar sistemas de seguridad

más eficientes y confiables. La baja efectividad de los sistemas de alarmas comunitarias compromete directamente la seguridad y el bienestar de los vecinos, ya que limita la capacidad de respuesta frente a emergencias como robos, incendios u otras situaciones críticas que requieren una reacción rápida y coordinada.

Por ello, resulta fundamental implementar una solución mejorada que incorpora tecnologías de comunicación de largo alcance, bajo consumo energético y respaldo autónomo, con el fin de garantizar una cobertura continua y un funcionamiento confiable incluso ante fallas de energía o de conectividad. Además, la incorporación de mecanismos de detección automática permite reducir la dependencia de la intervención humana, aumentando la capacidad de respuesta del sistema frente a situaciones de emergencia.

De esta manera, la solución propuesta contribuye a incrementar la confiabilidad del sistema, fortalecer la seguridad comunitaria, mejorar la capacidad de respuesta ante eventos críticos y proporcionar una cobertura efectiva para todas las viviendas del pasaje, generando un entorno más seguro para sus habitantes.

1.2.3 Involucrados

Si bien esta problemática puede involucrar a varias comunidades, principalmente es el pasaje el que está siendo afectado. Las entidades a continuación debiesen jugar un rol importantísimo. Los principales involucrados son:

- ✓ Los vecinos del pasaje: principales beneficiarios del sistema, quienes dependen de su correcto funcionamiento para recibir alertas oportunas frente a situaciones de emergencia.
- ✓ Juntas de vecinos: responsable de coordinar el uso adecuado del sistema de alarmas comunitarias y promover su correcto funcionamiento. Sin embargo, generalmente no cuenta con los conocimientos técnicos necesarios para realizar mejoras o solucionar fallas especializadas.
- ✓ Especialistas en sistemas de alarmas: serán los encargados de evaluar y presentar la mejora al sistema ya existente para poder aumentar la efectividad de las alarmas.

- ✓ Equipos de respuesta externa: en un sistema eficiente puede mejorar los tiempos de reacción.

1.3 PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA

Este proyecto tiene como propósito implementar una alternativa que permita mejorar de manera significativa el sistema de alarma comunitaria del pasaje en cuestión, incorporando tecnologías de mayor alcance, mayor confiabilidad y un nivel superior de automatización. Con ello, se busca fortalecer la seguridad y brindar tranquilidad a la comunidad, ofreciendo un sistema más eficiente y capaz de responder de forma oportuna frente a cualquier situación de emergencia.

1.3.1 Requerimientos

- ✓ Ofrecer una cobertura adecuada para cubrir toda la zona.
- ✓ Ser capaz de operar con un consumo de energía reducido.
- ✓ Ser un sistema híbrido capaz de funcionar en condiciones adversas.
- ✓ Contar con sistema energético de respaldo.
- ✓ Garantizar un sistema confiable y de activación manual - automática.

1.3.2 Alternativas de solución

Con el propósito de dar una solución a la problemática anteriormente identificada, se ha planteado 3 alternativas, cada una de ellas será sometida a rigurosas evaluaciones basado en criterios técnicos, económicos y de viabilidad. Esta evaluación considerará aspectos clave como la implementación de costos asociados, facilidades de uso y funcionamiento. El análisis comparativo entre las opciones permitirá determinar cuáles cumplen con los estándares de factibilidad técnica como financiera, con el fin de seleccionar la opción óptima, que maximice los beneficios y minimice los riesgos. De este modo, se podrá garantizar que la alternativa a escoger sea la más eficiente y adecuada, que cumpla con los criterios planteados.

1.3.2.1 Alternativa 1

La primera alternativa consiste en ampliar la cantidad de controles remotos disponibles, de modo que cada integrante del núcleo familiar cuente con uno propio. Esta medida permitiría aumentar la capacidad de respuesta ante una emergencia, al disponer de más opciones de activación del sistema de alarma. Además, representa una solución sencilla y de bajo costo para la junta de vecinos, ya que no requiere modificaciones estructurales ni instalación de nuevos equipos electrónicos.

Ventajas:

- ✓ Mayor rapidez al actuar ante una emergencia.
- ✓ Cobertura de todo el núcleo familiar.
- ✓ Se tiene controles de respaldo.

Desventajas:

- ✓ Se mantiene problema de cobertura por distancia de accionamiento de controles
- ✓ Sigue siendo un sistema 100% dependiente de energía eléctrica.
- ✓ No posee ningún método de automatización.
- ✓ No da aviso de cual casa activa la emergencia.

1.3.2.2 Alternativa 2

La alternativa número dos consiste en implementar un sistema cableado que conecte cada vivienda con la alarma central, integrando sensores de apertura de puertas y ventanas, detectores de humo y botones de pánico de accionamiento manual. De esta forma, se lograría un sistema más completo y automatizado, capaz de responder de manera inmediata ante cualquier situación de emergencia.

Ventajas:

- ✓ Sistema de alarmas más completo.
- ✓ Se activa de forma “automática” o de forma manual.
- ✓ Mayor seguridad y confiabilidad.
- ✓ Mayor rapidez de accionamiento.
- ✓ No quedan las casas fuera de cobertura.

Desventajas:

- ✓ Mayor costo de instalación en cableados.
- ✓ Cualquier corte o fisura de algún cable puede dejar el sistema expuesto una casa sin alarma.
- ✓ No da aviso en específico de que casa se activa la alarma.
- ✓ No cuenta con sistema de respaldo.

1.3.2.3 Alternativa 3

La tercera alternativa es más completa, implementa un sistema de seguridad ayudado con un sistema de larga distancia (LoRa) el cual busca suprimir la problemática de la distancia en el accionamiento de las alarmas, también de la mano de éste, habrá un sistema híbrido, el cual consta de un sistema de mensajería vía wifi con apoyo de la plataforma Telegram y un sistema energético de mensajería con ayuda de un sistema GSM, el cual de aviso vía mensajes de texto.

A su vez las alarmas serán accionadas mediante diferentes formas, la primera sería de forma “automática”, ya sea por sensores de apertura de puertas/ventanas, sensores de humo y un accionamiento manual o botón de pánico que tendrán acceso. Todo este sistema tendrá un respaldo de baterías, las cuales funcionarán ante cualquier tipo de corte energético.

Ventajas:

- ✓ Sistema de funcionamiento de bajo consumo.
- ✓ Sistema híbrido dando aviso vía wifi y vía GSM.
- ✓ Respaldo energético.
- ✓ No requiere cableados extensos.
- ✓ Aumenta la seguridad y confiabilidad.
- ✓ Aumenta la cobertura de accionamiento de la alarma.
- ✓ Cubre toda la zona interesada sin necesidad de aumentar la dotación de controles.

Desventajas:

- ✓ Realizar una inversión por hogar y en la central (alarma).
- ✓ Requiere un desarrollo personalizado, la implementación de este sistema requiere del desarrollo de protocolos personalizados, configurar adecuadamente los dispositivos, implicando tiempo y conocimiento técnico.

1.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Se llevará a cabo un análisis comparativo de las alternativas previamente presentadas, con el propósito de determinar cuál de ellas ofrece mejores resultados en términos de estabilidad y seguridad. Para ello, se utilizará una tabla de evaluación basada en distintos criterios, asignando a cada uno una puntuación en una escala del uno (1) al cinco (5), donde 1 corresponde a “muy deficiente” y 5 a “óptimo”.

La tabla 1-1 muestra la escala de calificación utilizada, en la cual se evaluará el desempeño de cada alternativa según los criterios definidos. Finalmente, la ponderación de los puntajes obtenidos permitirá identificar la opción con el valor total más alto, que será considerada la más

adecuada para su implementación en el sistema de alarmas comunitarias.

Por otra parte, la tabla 1-2 presenta la evaluación comparativa de las tres alternativas consideradas, integrando los distintos criterios definidos mediante una ponderación porcentual. Esta tabla permite visualizar el desempeño global de cada opción y determinar, de manera objetiva, cuál de ellas resulta más conveniente para su implementación en el proyecto.

Tabla 1-1. Escala de calificación de alternativas.

MUY DEFICIENTE	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	OPTIMO
1	2	3	4	5

Fuente- Elaboración propia basada en escala de evaluación.

A continuación, se desglosan los cinco criterios para elegir la mejor alternativa de solución:

- ✓ **Innovación:** Evalúa el grado en que la alternativa incorpora nuevas tecnologías o enfoques que permitan mejorar el funcionamiento del sistema de alarmas comunitarias, aportando soluciones modernas y eficientes.
- ✓ **Relación costo beneficio:** analiza la correspondencia entre los beneficios obtenidos y los costos asociados a la implementación del proyecto, otorgando una puntuación mayor a las alternativas que generen un mayor beneficio con una inversión razonable.
- ✓ **Factibilidad técnica:** Considera la complejidad técnica del desarrollo requerido para la implementación de la solución, asignando mayor puntuación a aquellas soluciones que presenten menor dificultad en términos de ejecución técnica.
- ✓ **Tiempo de implementación:** Evalúa el periodo estimado para la puesta en marcha de la solución, asignando una puntuación más alta a las alternativas que puedan ejecutarse en un plazo más corto sin comprometer la calidad del resultado.
- ✓ **Escalabilidad:** mide el potencial crecimiento de la solución, de manera que puede expandirse de manera que no comprometa su rendimiento y funcionalidad.

Tabla 1-2 - Grilla evaluación de criterios

	20%	30%	15%	25%	10%	
CRITERIOS	INNOVACIÓN	COSTO - BENEFICIO	FACTIBILIDAD TÉCNICA	TIEMPO DE IMPLEMENTACION	ESCALABILIDAD	PONDERACIÓN FINAL
ALTERNATIVAS						
Alternativa 1	1	3	5	5	2	3,3
Alternativa 2	2	3	4	2	3	2,7
Alternativa 3	5	4	4	4	5	4,3

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de opciones presentadas

1.5 ALTERNATIVA SELECCIONADA

Tras el análisis comparativo de las alternativas, se concluye que la alternativa número tres representa la opción más adecuada, ya que permite superar las principales limitaciones del sistema de alarmas comunitarias actual. La implementación de un sistema basado en tecnologías LoRa elimina los problemas de alcance, incorpora una operación automática mediante sensores y, además, posibilita la notificación remota a través de Telegram o SMS, asegurando así una solución más completa, confiable y eficiente.

1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos del proyecto definen el rumbo y los alcances que se pretenden lograr, permitiendo estructurar el desarrollo de manera coherente y orientada hacia resultados concretos. A través del objetivo general se establece la finalidad principal del diseño de mejora

de sistemas de alarmas, mientras que los objetivos específicos detallan las acciones necesarias para alcanzar dicha meta. Estos objetivos proporcionan un marco claro para guiar el proceso de diseño, implementación, comparación y optimización del sistema propuesto.

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de alarmas comunitarias basado en ESP32 y tecnología LoRa que permita mejorar la cobertura, la confiabilidad y la capacidad de respuesta del sistema existente.

1.6.2 Objetivos específicos

Para cumplir con el objetivo general del proyecto se deben cumplir los siguientes objetivos específicos.

- ✓ Cumplir con un sistema que abarque todo el perímetro del pasaje para poder activar alarma.
- ✓ Tener un sistema híbrido funcionando de manera normal con wifi y en caso de no tener este actuar con vía SMS.
- ✓ Tener un sistema que pueda activarse de forma automática y manual en caso de que se requiera (con sensores y botón de pánico).
- ✓ Tener un sistema de energía de respaldo en caso de quedar sin suministro energético.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se detalla el proceso de diseño de mejora de la alarma comunitaria, el cual se desarrolló para cumplir los objetivos previamente establecidos. A lo largo de esta sección, se explica en detalle cada una de las etapas involucradas en la construcción del sistema, desde la selección de hardware, configuración de los dispositivos ESP32 y módulos de comunicación a utilizar.

2.1 ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Los microcontroladores son ideales para dispositivos electrónicos de consumo que funcionan con baterías, como teléfonos inteligentes, relojes inteligentes y otros wearables, porque son livianos, pequeños y requieren una potencia comparativamente baja.

2.2 SOLUCIÓN A IMPLEMENTAR

En este apartado, se describe la propuesta de solución escogida en el capítulo 1, diseño de mejora de alarmas comunitarias, en el cual se describirán las tecnologías y configuraciones, con el objetivo de dar a conocer todos los pros, detalles y para qué se usa cada dispositivo que se mencionará.

2.2.1 Dispositivos a utilizar

A continuación, se nombrarán, describirán y detallarán las funciones que cumplen los dispositivos para poder desarrollar el proyecto.

2.2.1.1 ESP32 Wroom

El ESP32-WROOM (Figura 2-1) es un módulo de desarrollo que integra conectividad Wi-Fi y Bluetooth, un procesador de doble núcleo y 4 MB de memoria flash, características que lo convierten en una plataforma adecuada para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT). Gracias a su alto rendimiento, bajo consumo energético, bajo costo y facilidad de integración con distintos dispositivos, fue seleccionado para el desarrollo del presente proyecto. En este sistema, cumple el rol de nodo maestro en la central de alarmas y de nodo esclavo en cada una de las viviendas. Su principal función es gestionar la comunicación mediante tecnología LoRa, recibiendo y transmitiendo los eventos generados por los sensores instalados en los nodos esclavos. Además, el nodo maestro procesa la información recibida para accionar la sirena y la baliza, así como enviar notificaciones a los usuarios a través de Telegram o mensajes SMS, permitiendo una respuesta oportuna ante situaciones de emergencia

Características:

- Voltaje de alimentación: 5 [V] DC.
- Voltaje de entradas/salidas: 3,3 [V] DC.
- 25 pines digitales (GPIO 34, 35, 36, 39 solo como entrada).
- 15 pines analógicos.



Fuente: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf

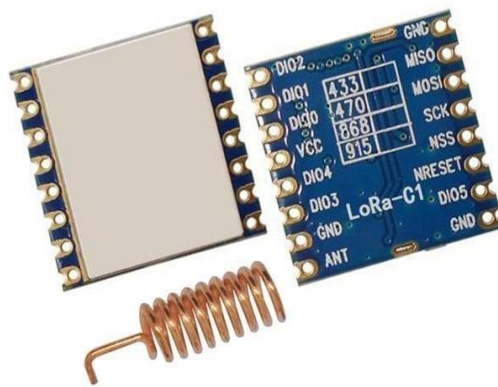
Figura 2-1: ESP32 MCU.

2.2.1.2 Módulo LoRa sx1276

Un módulo LoRa SX1276 (figura 2-2) es un transceptor inalámbrico de largo alcance y bajo consumo energético, diseñado para establecer enlaces de comunicación estables y confiables incluso en entornos con obstáculos o grandes distancias. Su arquitectura permite transmitir y recibir datos con alta sensibilidad, optimizando el rendimiento en la aplicación. Los módulos LoRa actúan como el enlace inalámbrico de largo alcance que permite la comunicación entre las viviendas y la central del sistema de alarmas. Gracias a su alta sensibilidad y robustez frente a interferencias, aseguran la transmisión confiable de eventos y estados entre todos los nodos distribuidos.

Características:

- Voltaje de alimentación: 3,3 [V]DC.
- Frecuencia de trabajo: 915 [MHz].
- Interfaz de comunicación: SPI (Half duplex).
- Sensibilidad: hasta -141 [dBm].



Fuente: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1276>

Figura 2-2 Módulo LoRa sx1276

2.2.1.3 Sensor de humo (MQ-2)

El sensor MQ-2 (figura 2-3) permite detectar gases combustibles y humo en el ambiente, como gas licuado, metano, butano, hidrógeno y alcohol, en un rango aproximado de 300 a 10.000 ppm. Su funcionamiento se basa en un calentador interno y cuenta con una salida analógica y otra digital con umbral ajustable, lo que lo hace adecuado para sistemas de detección de gases y alarmas de seguridad. Este sensor permite detectar la presencia de humo o indicios de un posible incendio, enviando esa información al ESP32 configurado como nodo esclavo. Desde allí, la señal es transmitida al nodo maestro mediante el enlace LoRa para que el sistema pueda ejecutar las acciones correspondientes.

Características:

- Voltaje: 5 [V] DC.
- Corriente: 160 [mA].
- Potencia de consumo: 800 [mW].
- Posee una salida análoga: 0 – 5 [V]
- Detección de partes por millón 300ppm~10.000ppm: Gas combustible.
- Gas, butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno y humo.



Fuente: <https://afel.cl/products/sensor-de-gas-mq2>

Figura 2-3 Sensor de humo MQ-2

2.2.1.4 Sensores de apertura (NO)

Estos sensores (figura 2-4) tipo interruptor de láminas son dispositivos magnéticos utilizados en sistemas de alarma para detectar la apertura de puertas o ventanas. Al separarse el imán del interruptor, genera una señal que permite identificar el acceso o la intrusión en el lugar monitoreado. Estos sensores “reed switch” permiten detectar aperturas o intentos de intrusión, activando el sistema a través del ESP32 configurado como esclavo. Una vez registrado el evento, el dispositivo envía la alerta al maestro del ESP32 mediante el enlace LoRa para su gestión y respuesta.

Características:

- Material: ABS.
- Corriente Nominal: 100 [mA].
- Tipo de Contacto: Normal Cerrado.
- Voltaje Máximo: 200 [V] DC.
- Distancia de Conmutación: entre 15 y 25[mm].



Magnetic Reed Switch

Fuente: <https://grupogalf.cl/product/sensor-magn%E1%B5%BDtico-reed-switch-arduino-mc-38/>

Figura 2-4 Sensor Magnetic reed switch

2.2.1.5 Módulo A7670SA

El módulo A7670SA (figura 2-5) es un dispositivo de comunicación celular compacto que incorpora funciones de telefonía y transmisión de datos a equipos electrónicos. Permite realizar y recibir llamadas, enviar y recibir mensajes SMS y establecer conexión a internet mediante la red GPRS, ofreciendo un canal de comunicación móvil independiente y de amplio alcance para sistemas de monitoreo y alarma. El módulo A7670SA actúa como un canal de comunicación secundario, encargado de enviar notificaciones de activación de la alarma mediante SMS cuando no hay disponibilidad de WiFi. De este modo, garantiza que las alertas siempre puedan ser transmitidas, incluso en situaciones de falla de la red principal.

Características:

- Voltaje de Operación: 3.4 [V] - 4.2[V] DC
- Tarjeta SIM: 1.8 [V] / 3.0 [V]
- Consumo de corriente (max): 150 [mA]
- Interfaz: Serial UART



Fuente: https://www.waveshare.com/wiki/A7670E_Cat-1_HAT

Figura 2-5 Módulo A7670SA

2.2.1.6 Baliza de señalización luminosa

La baliza de señalización luminosa (Figura 2-6) es un dispositivo de señalización luminosa, normalmente de tipo estroboscópico y alimentado con 12 [VDC]. Se utiliza para indicar situaciones de emergencia, peligro o advertencia, proporcionando una alerta visual de alta visibilidad para reforzar la respuesta del sistema de alarmas. Cumple la función de entregar una señal de advertencia visual a las personas que se encuentran en el entorno, indicando de manera clara que se ha producido una activación del sistema de alarma.

Características:

- Baliza estroboscópica color roja ik-15led
- Voltaje: 12 [V] DC.
- Consumo de Corriente: 200 [mA] Aproximado.
- Flash: 500 [mseg] ON, 500 [mseg] Off.
- Temperatura de Trabajo: -10º C ~ + 50º C.
- Dimensiones: 60 mm x 70 mm.



Fuente: <https://www.atecmin.cl/ficha/2010120/baliza-sirena-46112070-led-flashing-12-24-dc-ac>

Figura 2-6 Baliza de señalización luminosa.

2.2.1.7 Sirena

Una sirena (Figura 2-7) es un dispositivo de alarma audible alimentado por 12 [V]DC, capaz de emitir un sonido de alta intensidad para alertar sobre intrusiones, incendios u otras situaciones de emergencia. Forma parte de un sistema de seguridad integral y se utiliza comúnmente en instalaciones residenciales para proporcionar una advertencia sonora inmediata y de amplio alcance. Cumple la función de emitir una señal sonora de alta intensidad para alertar a todas las personas en el entorno sobre la presencia de una emergencia, reforzando la respuesta del sistema de alarma.

Características:

- Voltaje 9-15 [V] DC
- Potencia 15 [W]
- Sonido Salida 90 [dB]
- Peso 0.25Kg



Fuente: https://www.mechatronicstore.cl/sirena-electronica-12v-15watt-untono/?srsltid=AfmBOopH_FkVVTJneZnQirKXLo2TKMH9G_wjadrxjArdvm_ktXS96o-g8g

Figura 2-7 Sirena

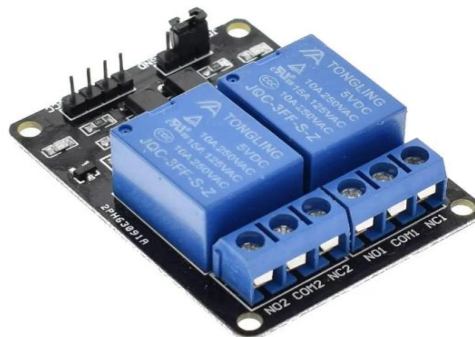
2.2.1.8 Módulo relé dos canales

Este módulo de relés es para conmutación de cargas de potencia. Los contactos de los relés están diseñados para conmutar cargas de hasta 10A y 250VAC (30VDC), aunque se recomienda usar niveles de tensión por debajo de estos límites. Las entradas de control se encuentran aisladas con optoacopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control como puede ser un microcontrolador.

En el sistema desarrollado, el módulo relé de dos canales se encuentra conectado a las salidas digitales del ESP32 maestro y permite controlar la alimentación de la sirena y la baliza de 12 VDC. Cuando el nodo maestro recibe un evento de alarma desde cualquiera de los nodos esclavos mediante comunicación LoRa, activa las salidas correspondientes del ESP32, energizando los relés para accionar ambos dispositivos de aviso local, ya que, una salida de relé está conectada a la sirena y la otra a la baliza.

Características:

- Voltaje de operación 250 [V]AC/30[V]DC
- Voltaje de la bobina (relé) 5[V]
- Corriente de operación 10[A]
- Corriente de activación por relé 15[mA] – 20[mA]
- Canales: 2 (independientes protegidos con Optoacopladores)
- LED indicador Para cada canal (cuando bobina está activa)



Fuente: <https://altronics.cl/mod-rele-2ch>

Figura 2-8 Módulo relé dos canales

2.2.1.9 Batería respaldo

La batería de 12 V y 7 Ah es una batería recargable de plomo-ácido sellado (AGM, Absorbent Glass Mat), diseñada para aplicaciones que requieren una fuente de alimentación de respaldo confiable. Su tecnología AGM proporciona una baja tasa de autodescarga, una mayor vida útil y un funcionamiento seguro en sistemas de seguridad y respaldo energético.

En el sistema desarrollado, la batería de respaldo se utiliza tanto en el nodo maestro como en los ocho nodos esclavos, suministrando energía durante las interrupciones del suministro eléctrico. Esto permite mantener operativos el monitoreo de los sensores, la comunicación LoRa y la generación de alarmas hasta el restablecimiento de la alimentación principal. La autonomía de cada nodo se analiza en el Capítulo 3.

Características:

- Voltaje 12 [V]
- Capacidad 7 [A]
- Tipo de batería recargable
- Tipo de pila AGM



Fuente: <https://www.virec.cl/producto/bateria-12v-7a-h-agm-ultracell/?srsltid=AfmBOooUCY6jntuQ3XUR8DzVfxbK06PcyckLOgdJOfgmy3-BI3USIXR>

Figura 2-9 Batería de respaldo

2.2.1.10 Módulo de fuente de alimentación UPS

El módulo UPS de 12 [V] y 5 [A] proporciona una salida de alimentación estable para los dispositivos electrónicos del sistema. Incorpora una función de conmutación automática entre la alimentación principal y la batería de respaldo, permitiendo mantener el suministro de energía sin interrupciones cuando se produce un corte del suministro eléctrico.

En el sistema desarrollado, cada nodo, tanto el nodo maestro como los ocho nodos esclavos, incorpora un módulo UPS junto con su respectiva batería de respaldo. Durante el funcionamiento normal, el módulo alimenta los dispositivos y mantiene cargada la batería. En caso de una interrupción del suministro eléctrico, conmuta automáticamente hacia la batería, permitiendo mantener operativos el monitoreo de los sensores, la comunicación LoRa y el funcionamiento del sistema de alarmas hasta el restablecimiento de la energía.

Características:

- Voltaje de alimentación: 12 [V] DC.
- Voltaje de conmutación a batería: 10 [V] DC.
- Corriente máxima de salida: 8 [A].
- Potencia máxima: 96 [W].
- Corriente de carga de la batería: 0,6 [A].
- Consumo del módulo durante la carga: 0,9 [A].



Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/1005010392785240>.

Figura 2-10 Módulo UPS

2.2.1.11 Modulo LM2596 DC-DC

El LM2596 es un convertidor de voltaje DC-DC tipo Buck (Step-Down), diseñado para reducir un voltaje de entrada continua a un nivel de salida inferior y regulado. Este módulo está basado en el circuito integrado LM2596 ,3 A, proporcionando una salida estable, bajo nivel de ruido y una buena regulación de tensión. Además, permite ajustar el voltaje de salida según los requerimientos de la aplicación, reduciendo la cantidad de componentes externos necesarios en el diseño de la fuente de alimentación.

En el sistema desarrollado, el módulo LM2596 reduce el voltaje proveniente de la batería y del módulo UPS de 12 VDC a 5 VDC, nivel requerido para la alimentación del ESP32 y los módulos electrónicos asociados en los nodos esclavos y en el nodo maestro. De esta manera, garantiza una alimentación estable y regulada, evitando posibles daños o fallas en el funcionamiento del microcontrolador y asegurando la operación confiable del sistema.

Características:

- Voltaje de entrada: 4.0-40 [V]
- Voltaje de salida: 1.5-35[V] (Ajustable)
- Corriente de salida: Maxima 2[A]
- Frecuencia de switching: 150 [KHz]
- Rango del voltímetro: 0 a 40 [V], error $\pm 0.1[V]$
- Protección contra inversión de polaridad



Fuente: <https://altronics.cl/lm2596-voltimetro>

Figura 2-11 Módulo LM2596

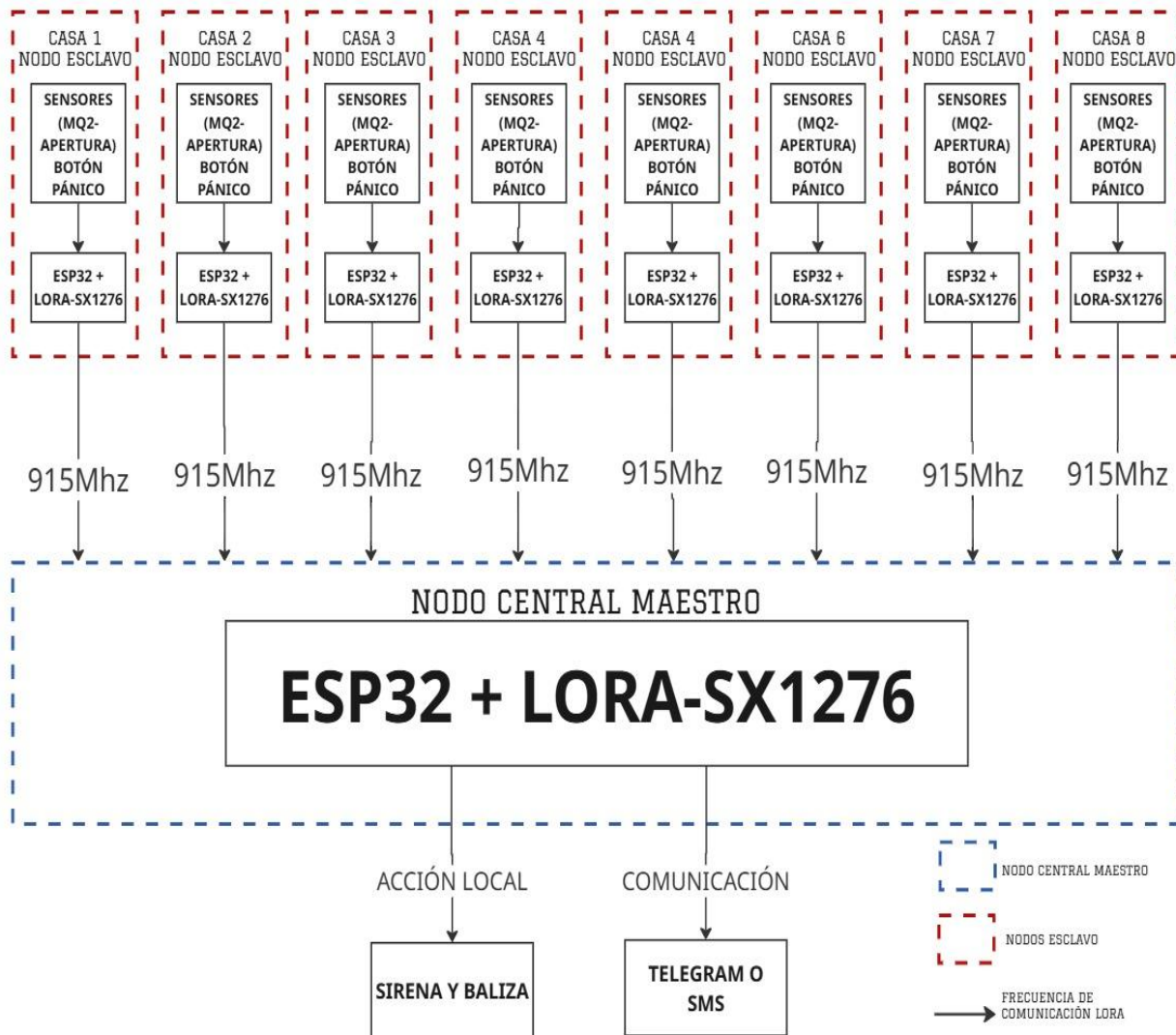
2.3 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto está conformado por un nodo maestro y ocho nodos esclavos, distribuidos estratégicamente en las viviendas del pasaje Valparaíso. El nodo maestro se instala dentro de un gabinete metálico, ubicado en la vivienda N.º 7, manteniendo la ubicación de la central de alarmas existente. Gracias a la implementación de la tecnología LoRa, esta ubicación permite establecer una comunicación confiable con la totalidad de las viviendas del pasaje, superando las limitaciones de alcance del sistema original.

Por su parte, cada nodo esclavo se instala en una caja estanca de 420 × 300 × 120 mm, ubicada al interior de cada vivienda. Cada nodo supervisa continuamente el estado de los sensores de apertura de puertas y ventanas, el sensor de humo MQ-2 y el botón de pánico.

Cuando alguno de estos dispositivos detecta una condición de alarma, el ESP32 del nodo esclavo procesa el evento y transmite la información mediante tecnología LoRa al nodo maestro. Posteriormente, el nodo maestro recibe y procesa los datos para ejecutar las acciones correspondientes, tales como la activación de la sirena y la baliza, además del envío de notificaciones indicando el tipo de emergencia y la vivienda donde se originó el evento mediante Telegram o SMS, dependiendo de la disponibilidad de la red de comunicación.

La Figura 2-12 presenta la arquitectura general del sistema propuesto, indicando la distribución del nodo maestro y los ocho nodos esclavos, así como el flujo de comunicación entre ellos.



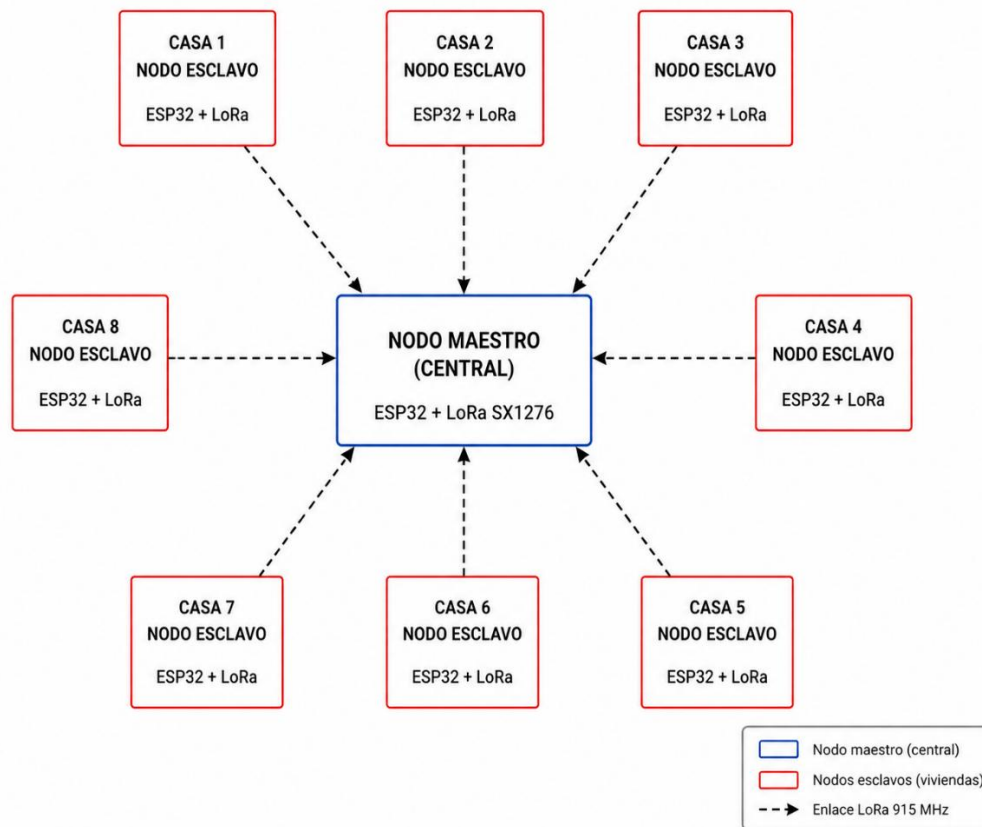
Fuente: Elaboración propia con software www.miro.com

Figura 2-12 Diagrama de bloques sistema propuesto

2.4 TOPOLOGÍA NUEVA DEL SISTEMA

La solución propuesta mantiene la topología en estrella utilizada por el sistema de alarma comunitaria original, ya que esta configuración resulta adecuada para la arquitectura del proyecto y no requiere modificar la distribución física de la instalación existente. En esta topología, cada nodo esclavo instalado en una vivienda se comunica de forma directa e independiente con un

único nodo maestro, encargado de recibir y procesar toda la información generada por los sensores. La elección de esta topología se debe a que la comunicación requerida consista únicamente en el envío de información desde los nodos esclavos hacia el nodo maestro, tal como se muestra en la Figura 2-13, sin necesidad de establecer comunicación entre los propios nodos esclavos. Esta configuración simplifica la implementación del sistema, reduce la complejidad de la red y facilita las tareas de mantenimiento, diagnóstico y expansión futura.



Fuente: Elaboración propia con software www.miro.com

Figura 2-13 Topología estrella sistema LoRa

2.5 CONEXIONADO

En esta sección se presenta el conectado del sistema desarrollado, describiendo la distribución de pines del ESP32-WROOM y las conexiones implementadas en los nodos maestro y esclavo. Además, se incluyen los diagramas electrónicos y de alimentación que muestran la interconexión de los distintos módulos, dispositivos de entrada y salida, así como el sistema de

alimentación utilizado. En conjunto, esta información permite comprender la implementación física del sistema propuesto.

2.5.1 Asignación de pines

En las Tablas 2-1 y 2-2 se presenta la asignación de pines utilizada en los nodos maestro y esclavo, respectivamente. En ellas se identifica la función de cada terminal del ESP32-WROOM y su aplicación dentro del sistema propuesto.

Tabla 2-1 Conexión de pines ESP32-maestro

Nº	ESP32	FUNCIÓN	DEFINICIÓN
1	VDD	VDD	TERMINAL DE ALIMENTACIÓN POSITIVA 3.3 [V]DC
2	GND	GND	TERMINAL CONEXIÓN A TIERRA.
3	GPIO 5	SS / NSS	SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO LORA MEDIANTE LA LÍNEA CHIP SELECT DE LA INTERFAZ SPI
4	GPIO 14	RESET	CONECTADO AL RESET DEL DISPOSITIVO LORA
5	GPIO 16	RXD2	RECIBE DATOS DEL A7670SA (MENSAJES, RESPUESTAS AT).
6	GPIO 17	TXD2	ENVÍA COMANDOS AT DESDE EL ESP32 AL A7670SA
8	GPIO 18	SCK	PROPORCIONA LA SEÑAL DE RELOJ GENERADA POR EL MAESTRO (ESP32) PARA SINCRONIZAR LA TRANSFERENCIA DE DATOS ENTRE LOS DISPOSITIVOS
7	GPIO 19	MISO	RECIBE DATOS DEL ESCLAVO HACIA EL MAESTRO (ESP32).
8	GPIO 21	DO	INDICA ALARMA ACTIVADA LUZ ROJA
9	GPIO 22	DO	INDICA ALARMA ESTADO NORMAL LUZ VERDE
10	GPIO 23	MOSI	ENVÍA DATOS DEL MAESTRO (ESP32) AL ESCLAVO (COMO EL MÓDULO LORA)
11	GPIO 27	DO	INDICA ALGUNA FALLA LUZ COLOR AMARILLO
12	GPIO 25	DO	BOTÓN RESET ALARMA
13	GPIO 26	DIO	INDICADOR AZUL, PAQUETE FUE ENVIADO O RECIBIDO
14	GPIO 32	DO	SALIDA DIGITAL QUE ACTIVA EL RELÉ QUE VA CONECTADO A LA SIRENA.
15	GPIO 33	DO	SALIDA DIGITAL QUE ACTIVA EL RELÉ PARA BALIZA

Fuente: Elaboración propia

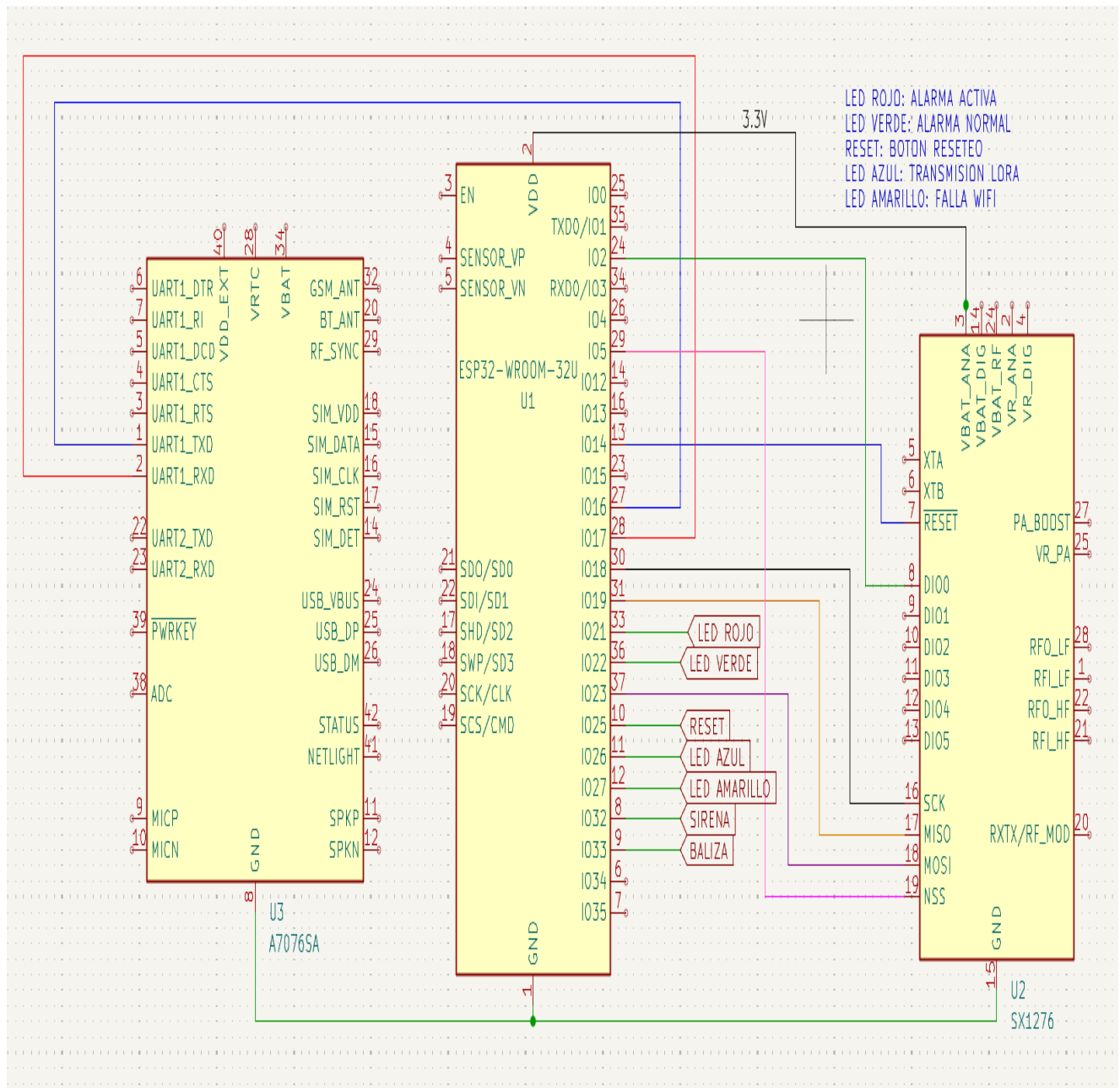
Tabla 2-2 Conexionado de pines ESP32 esclavo

Nº	ESP32	FUNCIÓN	DEFINICIÓN
1	VDD	VDD	TERMINAL DE ALIMENTACIÓN POSITIVA 3.3 [V]dc
2	GND	GND	TERMINAL CONEXIÓN A TIERRA.
3	GPIO 5	SS / NSS	HABILITA LA COMUNICACIÓN CON UN ESCLAVO ESPECÍFICO
4	GPIO 14	RESET	CONECTADO AL RESET DEL DISPOSITIVO LORA
6	GPIO 18	SCK	PROPORCIONA LA SEÑAL DE RELOJ GENERADA POR EL MAESTRO (ESP32) PARA SINCRONIZAR LA TRANSFERENCIA DE DATOS ENTRE LOS DISPOSITIVOS
8	GPIO 19	MISO	RECIBE LOS DATOS ENVIADOS POR EL MÓDULO LORA HACIA EL ESP32.
7	GPIO 21	DO	INDICA ALARMA ACTIVADA LUZ ROJA
8	GPIO 22	DO	INDICA ALARMA ESTADO NORMAL LUZ VERDE
9	GPIO 23	MOSI	ENVÍA LOS DATOS DESDE EL ESP32 HACIA EL MÓDULO LORA.
10	GPIO 13	DO	ENV O RECP LoRa (LED AZUL)
11	GPIO25	DI	DETECTA APERTURA DE PUERTA
12	GPIO 26	DIO	INDICA QUE UN PAQUETE FUE ENVIADO O RECIBIDO
13	GPIO 32	DI	BÓTON DE PÁNICO DE MANERA LOCAL
14	GPIO 33	DI	BÓTON DE ARMADO Y DESARMADO DE ALARMA MODO DOMÉSTICO
15	GPIO 34	ADC	SENSOR MQ-2 LECTURA DE HUMO
16	GPIO 35	DI	DETECTA APERTURA DE VENTANA

Fuente: Elaboración propia.

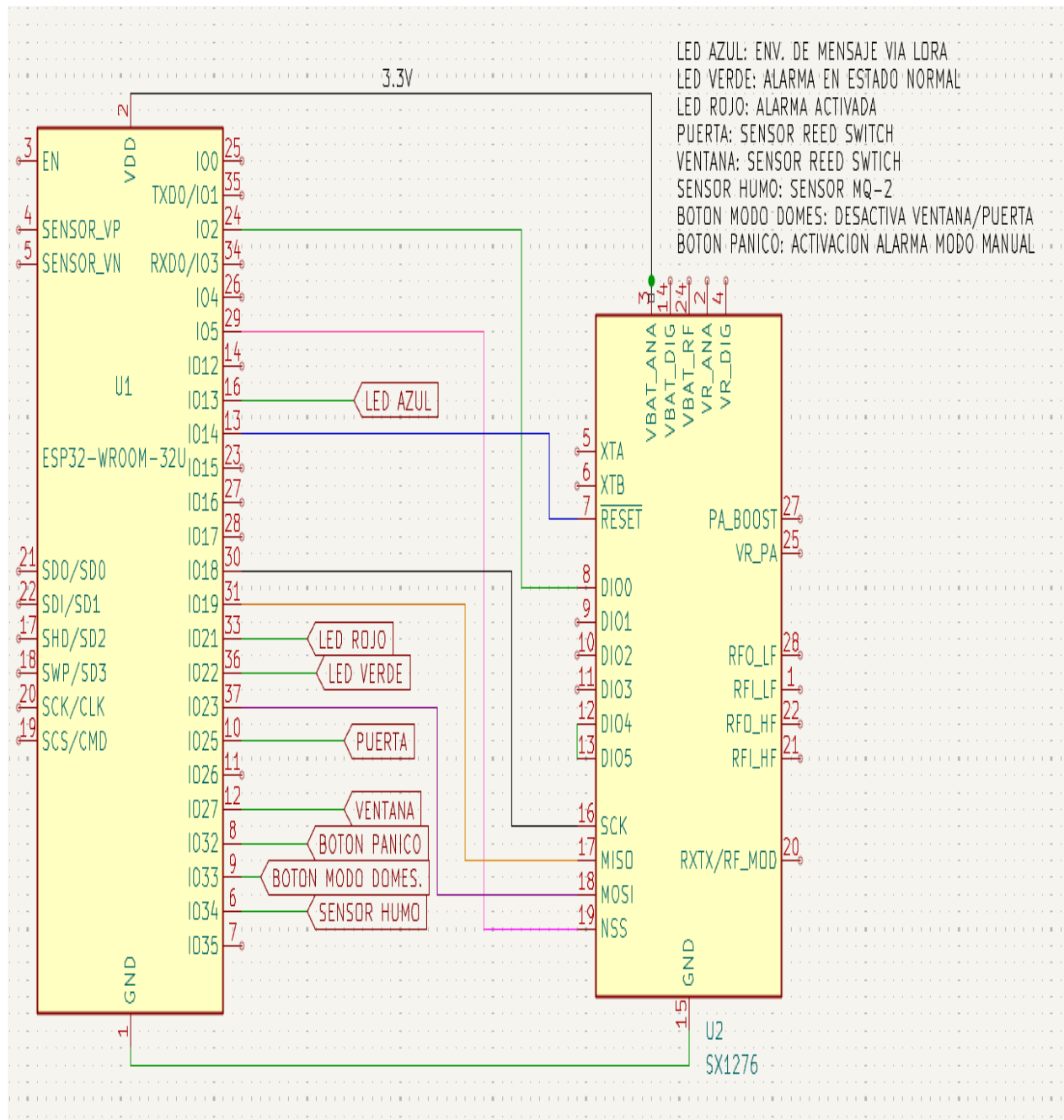
2.5.2 Diagramas electrónicos

Las Figuras 2-14 y 2-15 presentan los diagramas electrónicos de los nodos maestro y esclavo, respectivamente. En ellos se muestran las conexiones entre el ESP32-WROOM, los módulos de comunicación y los dispositivos de entrada y salida implementados en el sistema.



Fuente: Elaboración propia con software KiCad.

Figura 2-14 Diagrama electrónico nodo maestro.

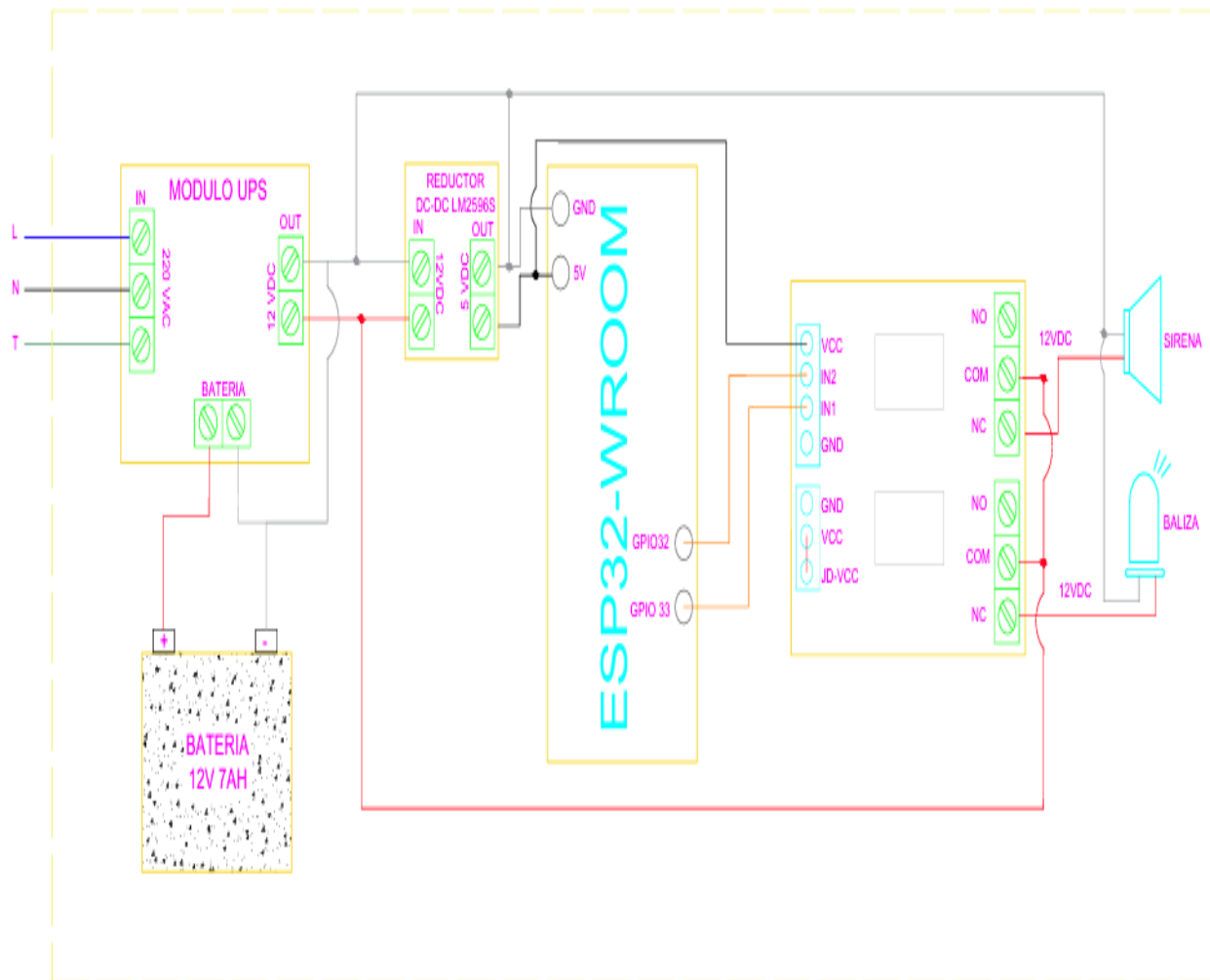


Fuente: Elaboración propia con software KiCad.

Figura 2-15 Diagrama electrónico del nodo esclavo.

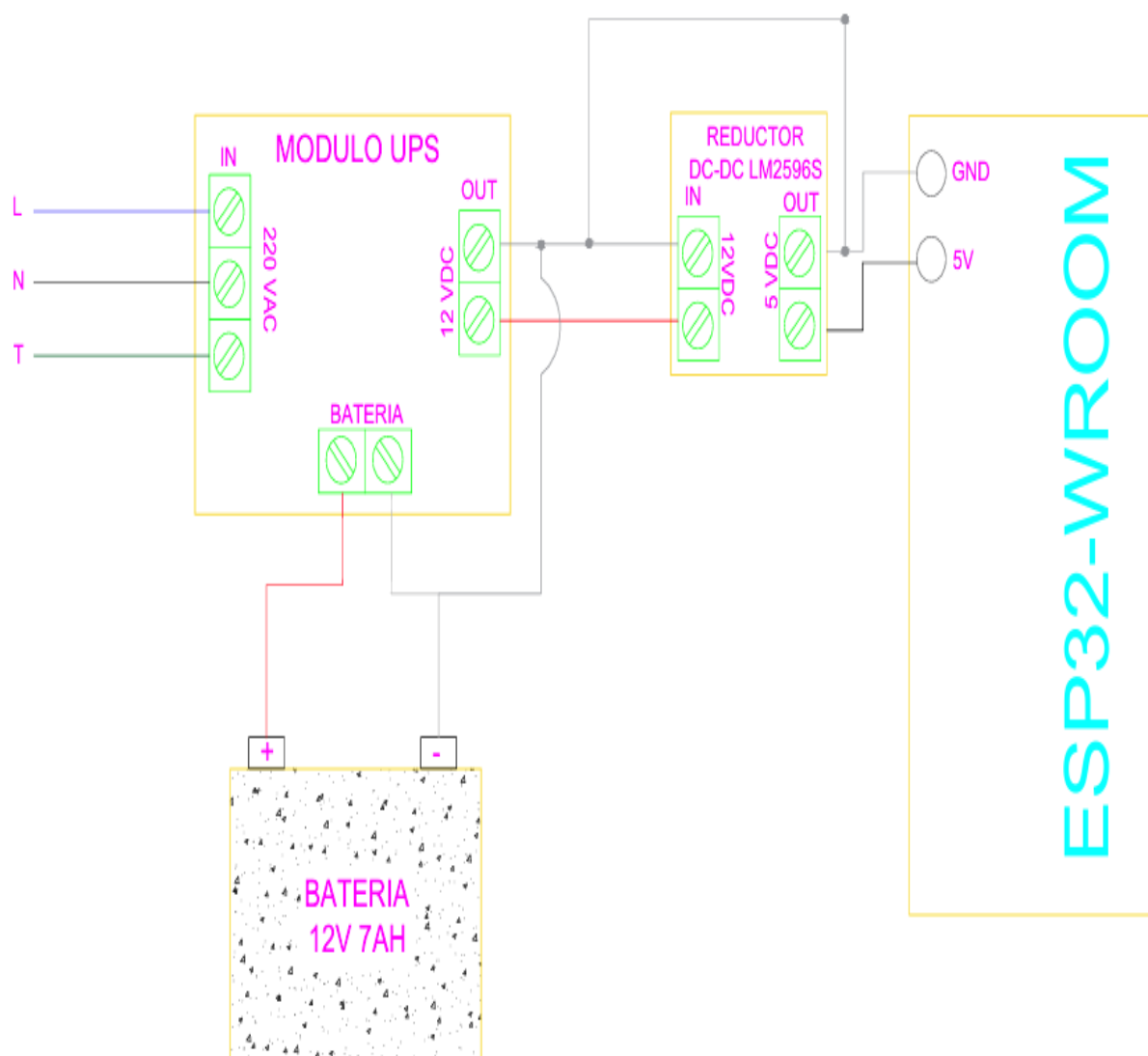
2.5.3 Diagramas de alimentación

Las Figuras 2-15 y 2-17 presentan los diagramas de alimentación de los nodos maestro y esclavo, respectivamente. En ellos se muestra el sistema de alimentación implementado y, en el caso del nodo maestro, el circuito de accionamiento de la sirena y la baliza mediante módulos de relés.



Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD

Figura 2-16 Diagrama funcional de alimentación y accionamiento del nodo maestro.

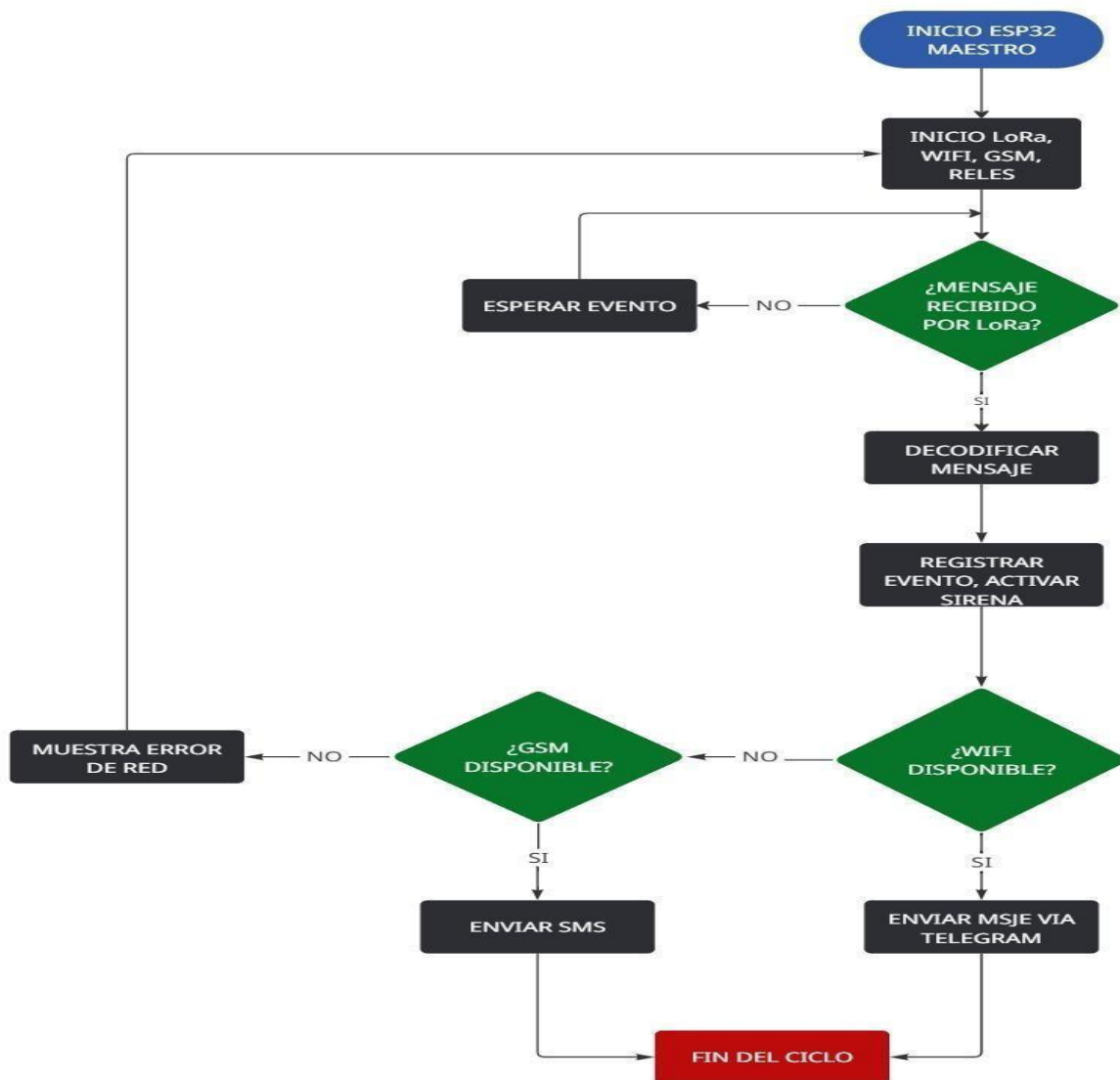


fuente: Elaboración propia con software AutoCAD.

Figura 2-17 Diagrama funcional de alimentación del nodo esclavo.

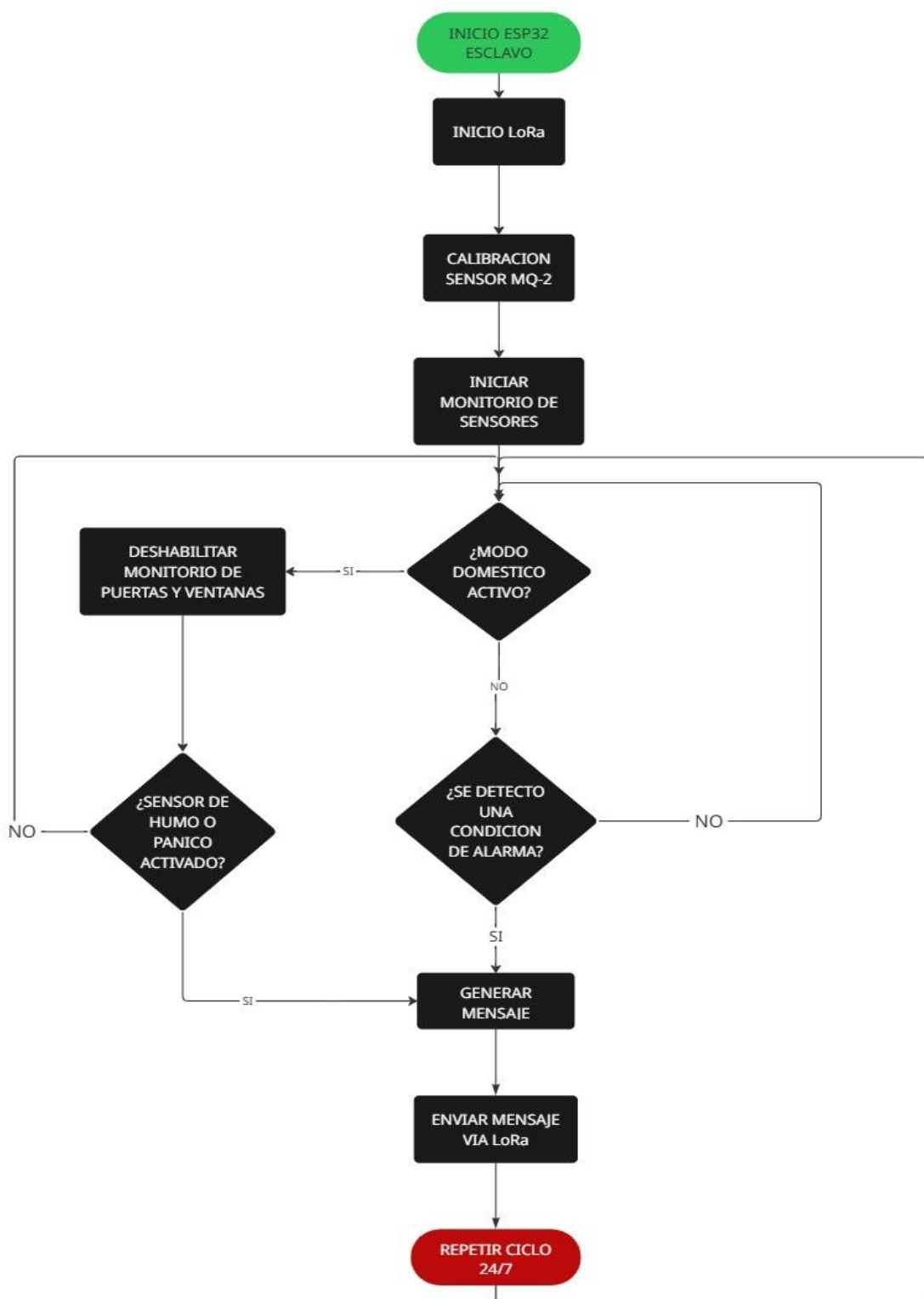
2.6 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para facilitar la comprensión del funcionamiento del sistema propuesto, en esta sección se presentan los diagramas de flujo correspondientes al nodo maestro y al nodo esclavo. Estos diagramas representan la secuencia lógica de operación implementada en el software, permitiendo visualizar las principales etapas de procesamiento, la toma de decisiones, la adquisición de datos de los sensores y la comunicación mediante tecnología LoRa entre los nodos del sistema. Tal como se muestran en las figuras 2-18 y 2-19.



Fuente: Elaboración propia con aplicación www.miro.com

Figura 2-18 Diagrama de flujo ESP32 maestro

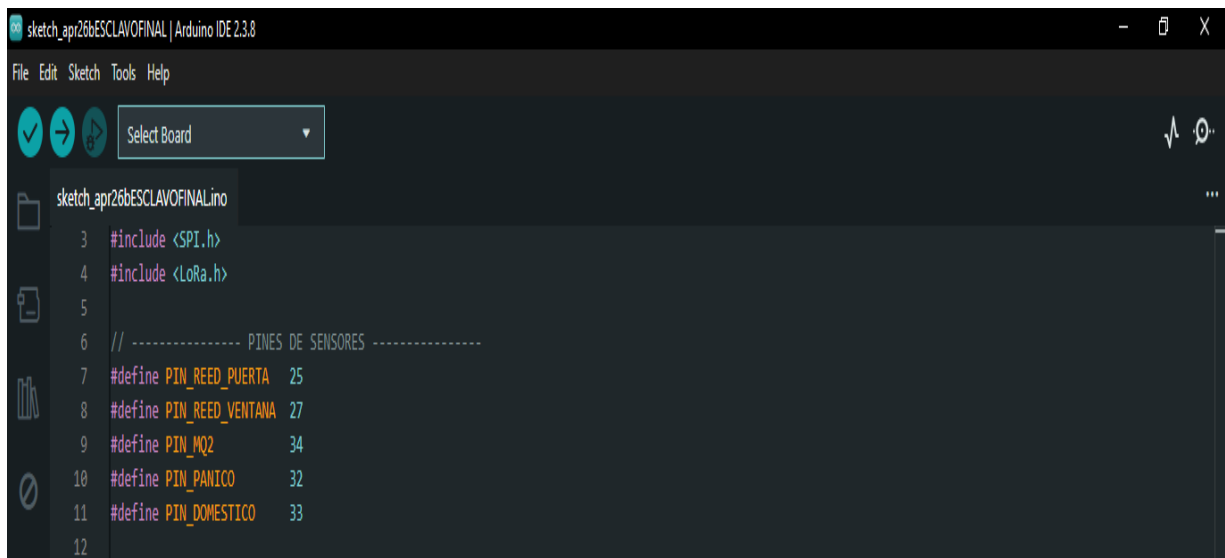


Fuente: elaboración propia con aplicación www.miro.com

Figura 2-19 Diagrama de flujo ESP32 esclavo.

2.7 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

El desarrollo del software del sistema se realizó utilizando el entorno de desarrollo integrado Arduino IDE, el cual permite escribir, compilar y cargar el código fuente en el microcontrolador ESP32. Además, proporciona herramientas para la configuración de la placa, la selección del puerto de comunicación y la depuración del programa durante las etapas de desarrollo y pruebas. Tal como se muestra en la figura 2-20.



Fuente: Aplicación Arduino IDE

Figura 2-20 Entorno de desarrollo Arduino IDE.

2.8 CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

El código fuente desarrollado para el nodo maestro y los nodos esclavos se presenta íntegramente en los Anexos A y B, respectivamente. Dicho código fue desarrollado utilizando Arduino IDE y corresponde a la implementación final del sistema propuesto.

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO.

3 IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta la implementación y evaluación del sistema de alarma comunitaria propuesto. Para ello, se analiza la viabilidad económica del proyecto mediante la estimación de costos, se evalúa el rendimiento obtenido a través de pruebas experimentales, se desarrolla un análisis energético considerando el consumo y la autonomía del sistema, y finalmente se plantean propuestas de mejora continua e implementación física para futuras versiones.

3.1 EVALUACIÓN DE COSTOS

La evaluación de costos es un proceso esencial en la gestión de adquisiciones, ya que permite analizar, comparar y optimizar los recursos financieros destinados a la compra de bienes y servicios. Este análisis adquiere una relevancia particular al considerar tanto el ámbito nacional como el internacional, donde factores como las diferencias en precios, normativas, impuestos, costos logísticos y fluctuaciones cambiarias pueden influir significativamente en los costos finales.

En las Tablas 3-1 hasta la 3-4 se detallan los materiales necesarios, el personal requerido y el costo de la hora-hombre, expresados en pesos chilenos y en UF (considerando un valor de la UF al 21 de marzo de 2026 de \$39.841). Los costos fueron estimados en base a valores referenciales del mercado y criterios utilizados en proyectos de similar envergadura.

En particular, el costo de la mano de obra se definió considerando remuneraciones típicas para técnicos e ingenieros en instrumentación y control industrial en Chile. Según información obtenidas de la plataforma (PROSFY, 2026), estas remuneraciones se sitúan, de manera referencial, en un rango aproximado entre 16 y 19 UF mensuales para personal técnico, y entre 22 y 25 UF mensuales para ingenieros, pudiendo variar según el nivel de experiencia y especialización.

En función de estos antecedentes, se adoptó un valor de 0,10 UF por hora-hombre para técnicos y de 0,15 UF por hora-hombre para ingenieros, valores coherentes con trabajos técnicos especializados y acordes a las condiciones del mercado.

Por su parte, la duración de cada actividad se definió a partir de experiencias previas en la

instalación de sistemas similares, considerando una ejecución secuencial y sin interrupciones.

3.1.1 Compra nacional

A continuación, en la tabla 3-1, se detallarán los implementos necesarios y los costos asociados a una compra nacional para implementar el sistema.

Tabla 3-1 Costos nacionales

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (pesos chilenos)	Precio unitario en uf	PRECIO TOTAL en UF
ESP32	9	\$9.900	0,25 UF	2,24 UF
LORA SX1276	9	\$14.990	0,38 UF	3,39 UF
BALIZA 12V (DC)	1	\$4.990	0,13 UF	0,13 UF
SIRENA 12v(DC)	1	\$6.400	0,16 UF	0,16 UF
MÓDULO A7670SA	1	\$130.000	3,24 UF	3,24 UF
SENSOR DE HUMO MQ-2	8	\$2.990	0,08 UF	0,60 UF
SENSOR DE APERTURA	16	\$2.300	0,06 UF	0,93 UF
MÓDULO RELÉ DOBLE	1	\$1.990	0,05 UF	0,10 UF
CABLE + CONECTORES	30	\$100	0,05 UF	0,08 UF
CAJA ESTANCA 400X350x120 (ESCLAVOS)	8	\$14.624	0,36 UF	2,88 UF
MODULO REDUCTOR LM2596S	9	\$2690	0,066 UF	0,60 UF
MODULO UPS	9	\$23.000	0,56 UF	5,04 UF
PLACA PCB	9	\$15.000	0,38 UF	3,42 UF
BATERIA 12V 7Ah	9	\$17.990	0,46 UF	1,58 UF
TOTAL				24,39 UF

Fuente: Elaboración en base a requerimientos para el proyecto.

3.1.2 Compra internacional

A continuación, Los valores presentados en la Tabla 3-2 fueron obtenidos mediante cotizaciones realizadas en la plataforma AliExpress. Los precios considerados corresponden al valor final de compra, incluyendo el IVA cuando este es aplicado por la plataforma al momento del pago. No se considerarán costos adicionales de importación o internación, debido a que estos pueden variar según el proveedor, el método de envío y la normativa vigente al momento de la adquisición.

Tabla 3-2 Costos internacionales

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (pesos chilenos)	Precio unitario en uf	PRECIO TOTAL en UF
ESP32	9	\$3.865	0,097 UF	0,87 UF
LORA SX1276	9	\$4.483	0,113 UF	1,017 UF
BALIZA 12V (DC)	1	\$2.695	0,068 UF	0,068 UF
SIRENA 12V (DC)	1	\$1.979	0,050 UF	0,0498 UF
MÓDULO A7670SA	1	\$13.500	0,34 UF	0,34 UF
SENSOR DE HUMO MQ-2	8	\$2.274	0,057 UF	0,4577 UF
SENSOR DE APERTURA	16	\$2.814	0,071 UF	1,13 UF
MÓDULO RELÉ DOBLE	1	\$1.590	0,040 UF	0,15 UF
CABLE + CONECTORES	30	\$60	0,0015 UF	0,045 UF
CAJA ESTANCA 400X350x120 (ESCLAVOS)	8	\$9.990	0,24 UF	1,92 UF
MODULO REDUCTOR LM2596S	9	\$1.342	0,033 UF	0,297 UF
MODULO UPS	9	\$8.637	0,21 UF	1,89 UF
PLACA PCB	9	\$10.000	0,25 UF	2,25 UF
BATERIA 12V 7Ah	9	\$12.990	0,33 UF	1,35 UF
TOTAL				11,83 UF

Fuente: Elaboración en base a precios internacionales.

3.1.3 Costos por hora hombre (HH)

La Tabla 3-3 costos HH presenta la estimación de horas hombre (HH) necesarias para el desarrollo e implementación del sistema.

Tabla 3-3 Costos HH

ACTIVIDAD	PERFIL	HORAS	VALOR HORA UF	COSTO TOTAL UF
Diseño del sistema y pruebas de funcionamiento.	Técnico en instrumentación y control industrial	25	0,10 UF	2,5 UF
Desarrollo e ingeniería.	Ing. en instrumentación y control industrial	35	0,15 UF	5,25 UF
TOTAL HH		60		7,75 UF

Fuente: Elaboración propia con base en remuneraciones referenciales obtenidas de la plataforma **Prosfy** y criterios de estimación del proyecto

3.1.4 Costo total del proyecto

La tabla 3-4, denominada “Costos Totales”, presenta el resumen del costo global del proyecto, considerando los costos de materiales (internacional), las horas hombre (HH) requeridas para su ejecución, un 10% adicional por concepto de imprevistos y el costo unitario asociado a cada vivienda.

Tabla 3-4 Costos totales

CONCEPTO	COSTO EN UF
Materiales	11,83 UF
Horas hombre	7,75 UF
Imprevistos (10%)	2 UF
Costo total del proyecto	21,58 UF
Costo por vivienda	2,70 UF

Fuente: Elaboración en base a requerimientos para el proyecto.

3.1.5 Análisis de costos

Como se aprecia en las tablas 3-1 y 3-2, hay una considerable diferencia de precios hablando en el área de materiales de prácticamente un 100%, esto sin incluir los costos asociados a envíos en caso de la compra nacional. Es por este hecho que se provee, siempre y cuando el tiempo no sea un factor demandante, la compra internacional. por otra parte, los costos asociados a horas hombre (HH) (tabla 3-3) representan una parte relevante del costo total del proyecto, lo cual es coherente con el carácter tecnológico del desarrollo, donde el mayor valor se concentra en el diseño, la ingeniería y las pruebas del sistema.

3.2 ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

En este apartado se presentan las pruebas de rendimiento del sistema, comparando su funcionamiento antes y después de la implementación de la mejora propuesta en el presente proyecto. Todas las pruebas realizadas fueron desarrolladas bajo las mismas condiciones y en los mismos puntos geográficos, con el objetivo de garantizar resultados comparables y equitativos entre las distintas tecnologías.

3.2.1 Mediciones de funcionamiento con control remoto

A continuación, La Tabla 3-5 presenta los resultados obtenidos al evaluar el funcionamiento del sistema de alarma basado en control remoto. Las pruebas fueron realizadas desde cada una de las viviendas hacia el nodo central ubicado en la vivienda N.º 7, cuya ubicación se muestra en la Figura 3-1.

Tabla 3-5: Mediciones de funcionamiento con control remoto

NÚMERO DE CASA	DISTANCIA	¿FUNCIONA?	MÉTODO
1	24 metros	SI	Control remoto
2	36 metros	SI	Control remoto
3	45 metros	NO	Control remoto
4	51 metros	NO	Control remoto

5	49 metros	NO	Control remoto
6	42 metros	NO	Control remoto
7	15 metros	SI	Control remoto
8	6 metros	SI	Control remoto

Fuente - Elaboración en base a requerimientos para el proyecto



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 Croquis del sistema original.

Nota:

De acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema basado en control remoto presentó un funcionamiento correcto únicamente en las viviendas más cercanas al nodo central. En cambio, las viviendas ubicadas a mayor distancia no lograron activar la alarma, evidenciando las limitaciones de cobertura del sistema original y justificando la implementación de una nueva tecnología de comunicación.

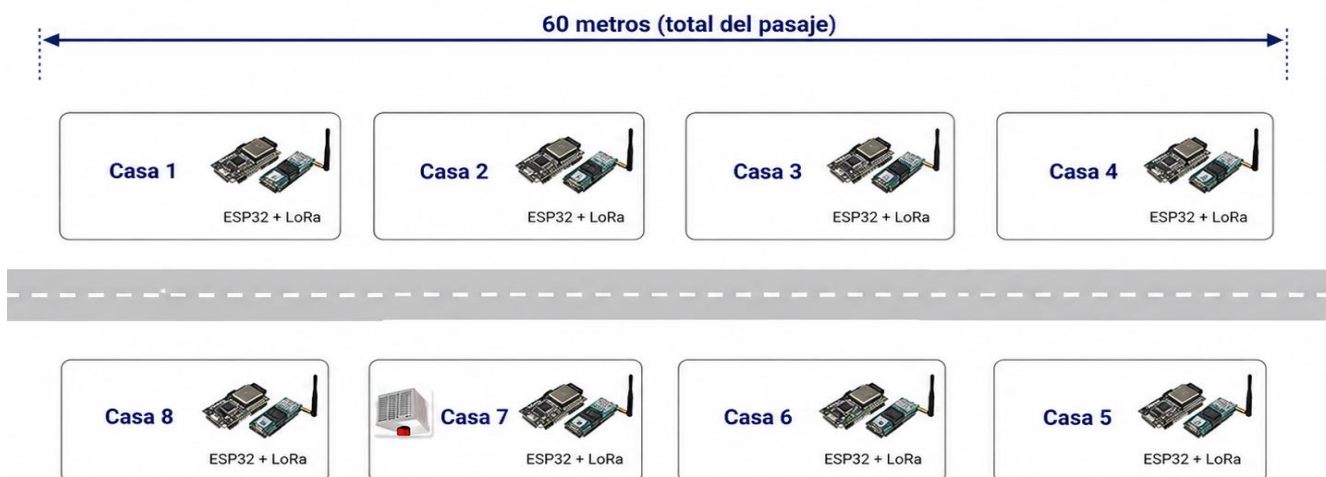
3.2.2 Mediciones de distancia con sistema LoRa

A continuación, La Tabla 3-6 presenta los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del sistema de alarma basado en tecnología LoRa. Las mediciones fueron realizadas desde cada una de las viviendas hacia el nodo maestro, siguiendo la distribución mostrada en la Figura 3-2. Adicionalmente, se realizó una prueba para determinar la distancia máxima de comunicación del sistema, cuyo punto de medición se presenta en la Figura 3-3.

Tabla 3-6 Mediciones de funcionamiento con sistema LoRa

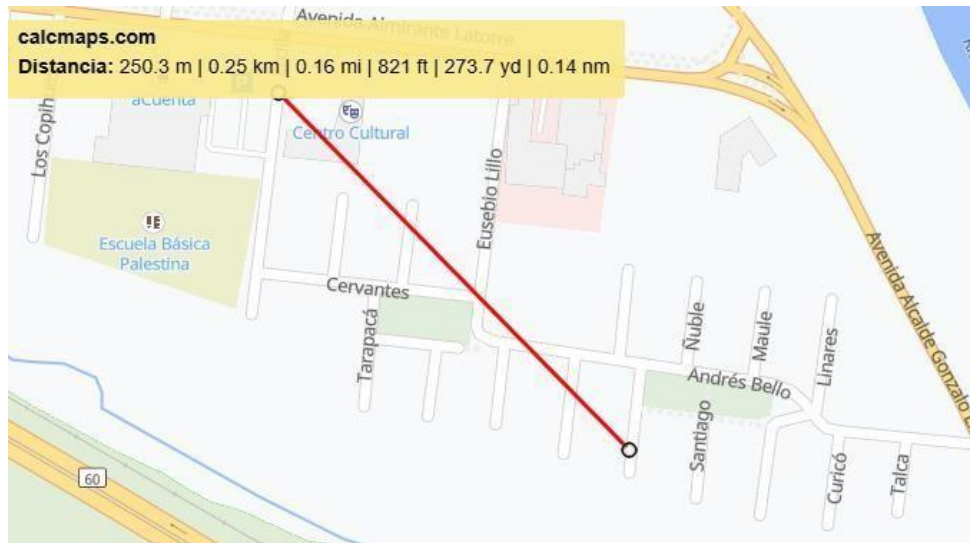
NÚMERO DE CASA	DISTANCIA	¿FUNCIONA?	MÉTODO
1	24 metros	SI	Sistema LoRa
2	36 metros	SI	Sistema LoRa
3	45 metros	SI	Sistema LoRa
4	51 metros	SI	Sistema LoRa
5	49 metros	SI	Sistema LoRa
6	42 metros	SI	Sistema LoRa
7	15 metros	SI	Sistema LoRa
8	6 metros	SI	Sistema LoRa
Prueba máxima	250 metros	SI	Sistema LoRa

Fuente - Elaboración en base a requerimientos para el proyecto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2 Croquis de los puntos de medición del sistema LoRa



Fuente: <https://www.calcmeps.com/es/map-distance/t86k7x/>

Figura 3-3 Punto máximo de funcionamiento con las pruebas LoRa

Nota:

Los resultados muestran que el sistema basado en tecnología LoRa logró establecer comunicación exitosa desde la totalidad de las viviendas evaluadas. Asimismo, durante las pruebas se alcanzó una distancia máxima aproximada de 250 metros, manteniendo una comunicación estable, lo que demuestra una mejora significativa en la cobertura respecto al sistema original basado en control remoto.

3.2.3 Mediciones de nivel de potencia (RSSI) y calidad de señal (SNR)

A continuación, se presenta la tabla de mediciones (Tabla 3-7), en la cual se muestra la calidad de la señal obtenida a distintas distancias de medición, junto con su respectivo nivel de potencia.

Finalmente, se incluyen los valores de corriente (tabla 3-8 y tabla 3-9) correspondientes a los distintos dispositivos evaluados.

Tabla 3-7 Mediciones de distancia, RSSI y SNR

NÚMERO DE CASA	DISTANCIA	RSSI	SNR
1	24 metros	-77 dBm	9.3 dB
2	36 metros	-87 dBm	9.3 dB
3	45 metros	-85 dBm	9.8 dB
4	51 metros	-100 dBm	6.5 dB
5	49 metros	-85 dBm	9.5 dB
6	42 metros	-71 dBm	9.8 dB
7	15 metros	-36 dBm	11.8 dB
8	6 metros	-41 dBm	9.5 dB
Prueba máxima	250 metros	-105 dBm	0.5 dB

Fuente - Elaboración en base a requerimientos para el proyecto.

3.3 ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA

En este apartado se presenta el análisis energético del sistema de alarmas propuesto, considerando el consumo de corriente del nodo maestro y de los nodos esclavos en sus distintos modos de funcionamiento. En las Tablas 3-8 y 3-9 se detallan los consumos eléctricos de cada nodo, cuyos valores constituyen la base para estimar la autonomía del sistema durante las interrupciones del suministro eléctrico.

Tanto el nodo maestro como los ocho nodos esclavos incorporan una batería de respaldo AGM de 12 [V] y 7 [Ah], junto con un módulo UPS, lo que permite mantener la operación del sistema ante cortes del suministro eléctrico y garantizar la continuidad del monitoreo y la generación de alarmas.

Tabla 3-8 Mediciones de corriente ESP32-MAESTRO

MAESTRO MODO WIFI		
COMPONENTE	CORRIENTE DE CONSUMO	
	SIN ACTIVAR	ACTIVADO
ESP32 MAESTRO + WIFI	140 mA	250 mA

LORA	15 mA	20 mA
A7670SA	10 mA (modo reposo)	-
LED + LÓGICA	15 mA	20 mA
SIRENA	-	500 mA
BALIZA	-	280 mA
CONSUMO TOTAL SIN ACTIVAR ALARMA	180 mA	
CONSUMO TOTAL ACTIVANDO ALARMA	1.6 A	
MAESTRO MODO GSM		
COMPONENTE	CORRIENTE DE CONSUMO	
	SIN ACTIVAR	ACTIVADO
ESP32 MAESTRO + GSM	90 mA	100 mA
LORA	15 mA	20 mA
A7670SA	25 mA (modo encendido)	1.8 A
LED + LOGICA	15 mA	20 mA
SIRENA	-	280 mA
BALIZA	-	500 mA
CONSUMO TOTAL SIN ACTIVAR ALARMA	145 mA	
CONSUMO TOTAL ACTIVANDO ALARMA	2.7 A	

Fuente - Elaboración en base a requerimientos para el proyecto

Tabla 3-9 Mediciones de corriente ESP32-ESCLAVO

ESCLAVO MODO MONITOREO	
COMPONENTE	CORRIENTE DE CONSUMO
ESP32 ESCLAVO	80 mA
LORA	15 mA
LED VERDE	10 mA
SENSOR MQ-2	140 mA
BOTONES Y REED SWITCH	5 mA
CONSUMO TOTAL	250 mA
ESCLAVO MODO TRANSMISIÓN	
COMPONENTE	CORRIENTE DE CONSUMO
ESP32 ESCLAVO ACTIVO	100 mA
LORA	140 mA
LED ROJO (ALARMA + TX)	20 mA
SENSOR MQ-2	180 mA

BOTONES Y REED SWITCH	5 mA
CONSUMO TOTAL	445 mA

Fuente - Elaboración en base a requerimientos para el proyecto.

3.3.1 ESP32 Maestro

➤ Funcionamiento normal (sin sirena ni baliza)

En condiciones normales de operación, el sistema compuesto por el ESP32 maestro, el módulo LoRa, indicadores LED y lógica de control presenta un consumo aproximado de 180 [mA]. Con el objetivo de contemplar pérdidas adicionales asociadas a reguladores, cableado y variaciones de consumo, se considera un margen de seguridad de 20 [mA], obteniendo un consumo total estimado de:

$$I_{total} = \mathbf{200 [mA]}$$

Para este modo de funcionamiento se utiliza una batería de respaldo de 12 [V] – 7 [Ah] (7000 mAh), por lo que la autonomía teórica se calcula de la siguiente forma:

$$Tiempo (h) = \frac{7000 mAh}{200 mA} = \mathbf{35 horas}$$

Considerando un factor de utilización del 70% de la capacidad nominal de la batería, la autonomía real se estima como:

$$t_{real} = \mathbf{24.5 horas}$$

➤ Funcionamiento con sirena y baliza activadas

Cuando el sistema entra en estado de alarma, se activan la sirena y la baliza, junto con los sistemas de comunicación. El envío de notificaciones se realiza prioritariamente a través de la red WiFi mediante Telegram. Sin embargo, en caso de falla en la conectividad WiFi o imposibilidad de enviar el mensaje, se activa el módulo de comunicación GSM como sistema de respaldo, generando un consumo máximo aproximado de 2,7 [A]. Dado que este estado ocurre únicamente en situaciones de emergencia y por períodos acotados, se considera un régimen de operación

intermitente. Para efectos del cálculo de autonomía, se adopta un escenario representativo en el que el sistema permanece 55 minutos en funcionamiento normal (0,2[A]) y 5 minutos en estado de alarma (2,7 [A]) durante cada hora de operación.

Bajo este supuesto, la corriente promedio del sistema se obtiene mediante un promedio ponderado en función del tiempo:

$$I_{prom} = \frac{(0.2 * 55) + (2.7 * 5)}{60} = \mathbf{0.4[A]}$$

La autonomía teórica se calcula como:

$$Tiempo (h) = \frac{7 Ah}{0.4 A} = \mathbf{17.5 horas}$$

Considerando pérdidas del sistema:

$$t_{real} = \mathbf{12 horas}$$

3.3.2 ESP32 Esclavo

El nodo esclavo opera con un único nivel de tensión para todos sus componentes, presentando un consumo de corriente que varía según el modo de funcionamiento. Para la estimación de la autonomía se considera el escenario de mayor consumo, correspondiente al modo de mediante tecnología de transmisión LoRa, el cual alcanza aproximadamente 445 [mA]. Considerando las pérdidas asociadas al sistema, se adopta un consumo total de 465 [mA]. Dado que el nodo esclavo dispone de una batería de respaldo AGM de 12 [V] y 7 [Ah] (7000 [mAh]), la autonomía teórica se determina mediante la siguiente expresión:

$$Tiempo (h) = \frac{7000 mAh}{465 mA} = \mathbf{15 horas}$$

Aplicando el factor de utilización del 70%:

$$t_{real}(h) = 15 [h] * 0.7 = \mathbf{10.5 horas}$$

➤ Nota final

El dimensionamiento de las baterías de respaldo permite obtener una autonomía similar en ambos módulos del sistema, del orden de 10 a 11 horas de operación continua, cumpliendo con los requerimientos de funcionamiento ante eventuales cortes de energía eléctrica.

3.4 PROPUESTAS DE MEJORA CONTINUA EN EL SISTEMA

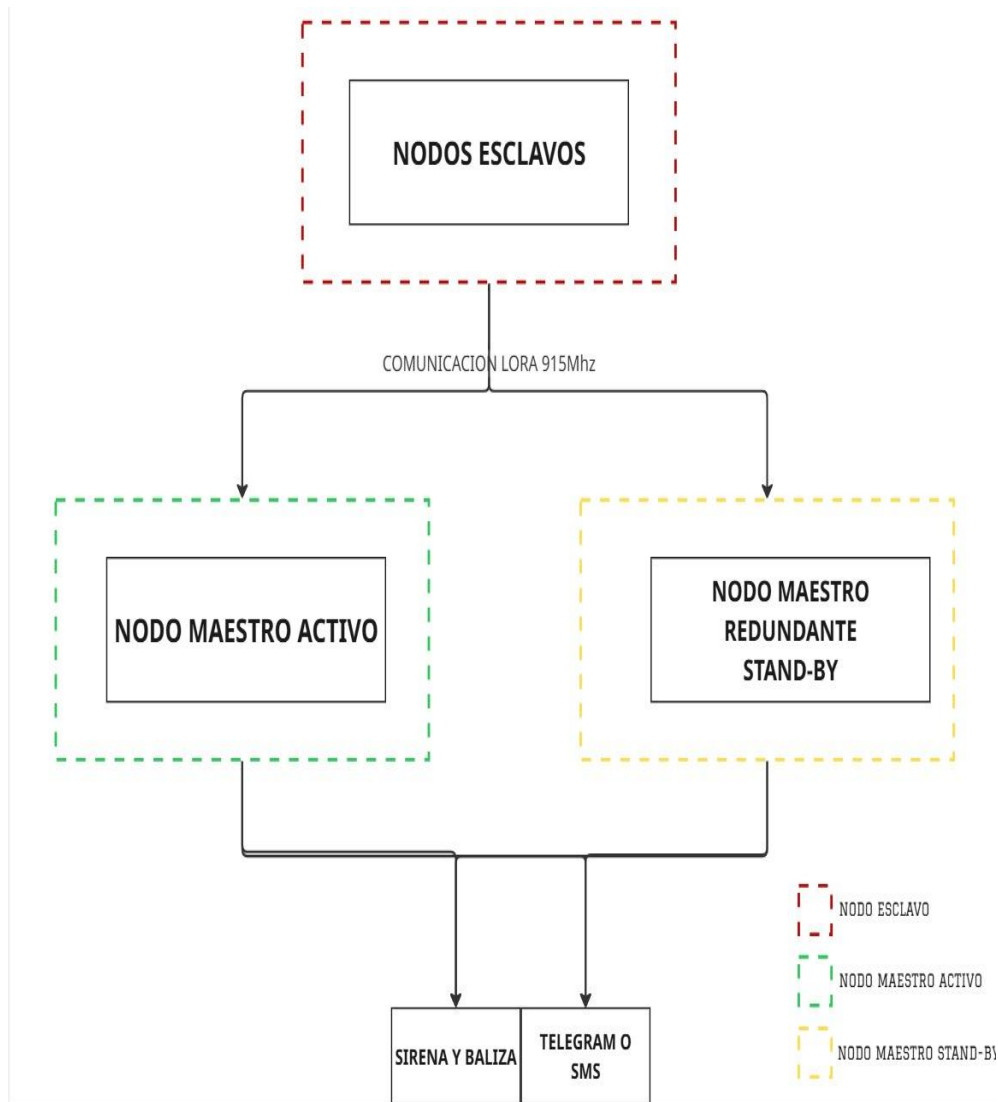
Una vez implementado y validado el sistema de alarma comunitaria propuesto, es posible identificar diversas oportunidades de mejora orientadas a incrementar su desempeño, confiabilidad y autonomía. Las propuestas descritas en esta sección no forman parte del desarrollo implementado ni de pruebas realizadas, sino que corresponden a posibles mejoras futuras que podrían incorporarse en versiones posteriores del sistema.

Estas mejoras fueron definidas considerando la arquitectura desarrollada y buscan fortalecer aspectos relacionados con la disponibilidad del sistema, la escalabilidad de la red y la autonomía energética. En particular, se propone la implementación de un nodo maestro redundante, la migración hacia una arquitectura basada en LoRaWAN y la incorporación de un sistema de alimentación mediante paneles solares. Cada una de estas propuestas se describe en los apartados siguientes, destacando sus principales ventajas y el impacto esperado sobre el funcionamiento del sistema.

3.4.1 Propuesta de implementación de un nodo maestro redundante

Como propuesta de mejora continua, se plantea la incorporación de un nodo maestro redundante, cuya arquitectura se presenta en la Figura 3-4, con el objetivo de aumentar la disponibilidad y confiabilidad del sistema de alarma comunitaria. En la arquitectura implementada, el sistema depende de un único nodo maestro para recibir los eventos transmitidos por los nodos esclavos, procesar la información y activar las acciones correspondientes. Por lo tanto, una falla en este dispositivo provocaría la interrupción del funcionamiento del sistema. La implementación de un segundo ESP32 maestro, configurado como equipo de respaldo (*stand-by*), permitiría asumir las funciones del nodo principal en caso

de una falla de hardware, pérdida de alimentación o cualquier otra condición que impida su funcionamiento normal. De esta manera, el sistema podría mantener la recepción de los eventos enviados por los nodos esclavos y continuar con la activación de la sirena, la baliza y el envío de notificaciones, garantizando la continuidad operativa.



Fuente: Elaboración propia con aplicación www.miro.com

Figura 3-4 Nodo redundante.

3.4.2 Propuesta de migración a una red LoRaWAN

Incorporación de la tecnología LoRaWAN (figura 3-5) como una evolución natural de la arquitectura actual basada en comunicación LoRa punto a punto. Esta mejora tiene como objetivo principal incrementar el alcance, la escalabilidad, la seguridad y la robustez del sistema, permitiendo su proyección desde un entorno local (pasajes, condominios) hacia una cobertura de mayor magnitud, como sectores urbanos completos o poblaciones enteras.



Fuente: <https://www.semtech.com/lora>

Figura 3-5 LoRaWAN

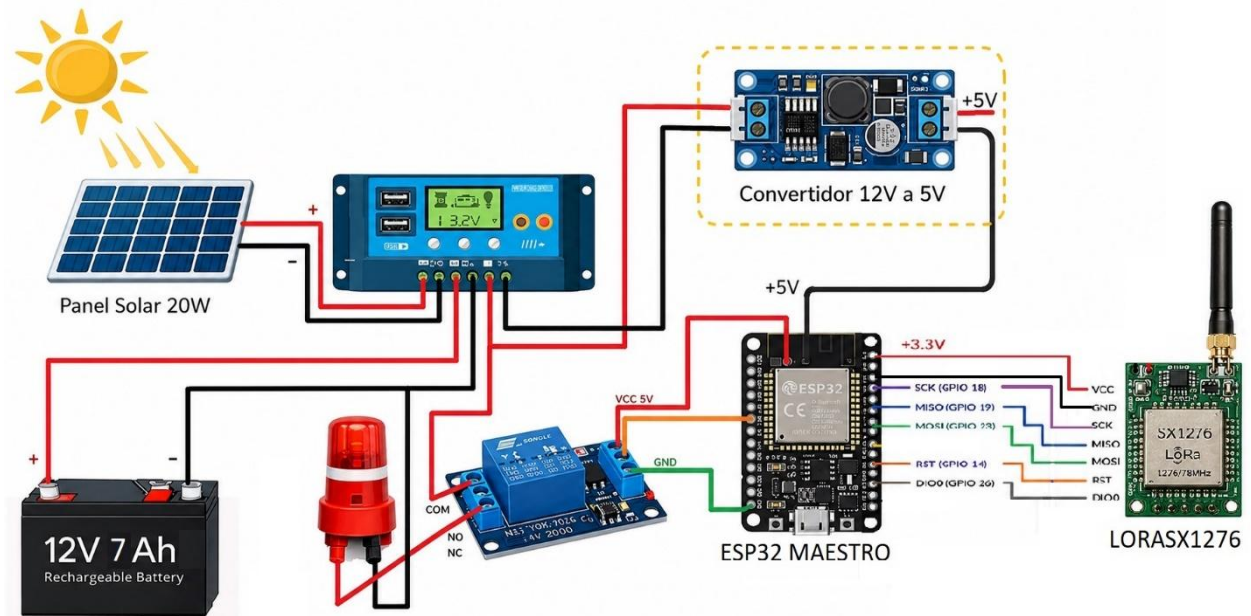
3.4.3 Propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico

Con el objetivo de aumentar la autonomía del sistema y reducir la dependencia de la red eléctrica, se propone la implementación de un sistema de panel solar como fuente de alimentación complementaria. Esta solución permitiría respaldar el funcionamiento de los módulos ESP32, asegurando la operación continua del sistema incluso ante cortes de energía eléctrica.

La incorporación de energía solar convierte al sistema en una solución más robusta, sostenible y confiable, garantizando un funcionamiento ininterrumpido y minimizando las preocupaciones asociadas al suministro energético. De este modo, se obtiene un sistema de alarmas comunitarias completamente funcional y adecuado para su implementación en entornos con infraestructura eléctrica limitada o inestable.

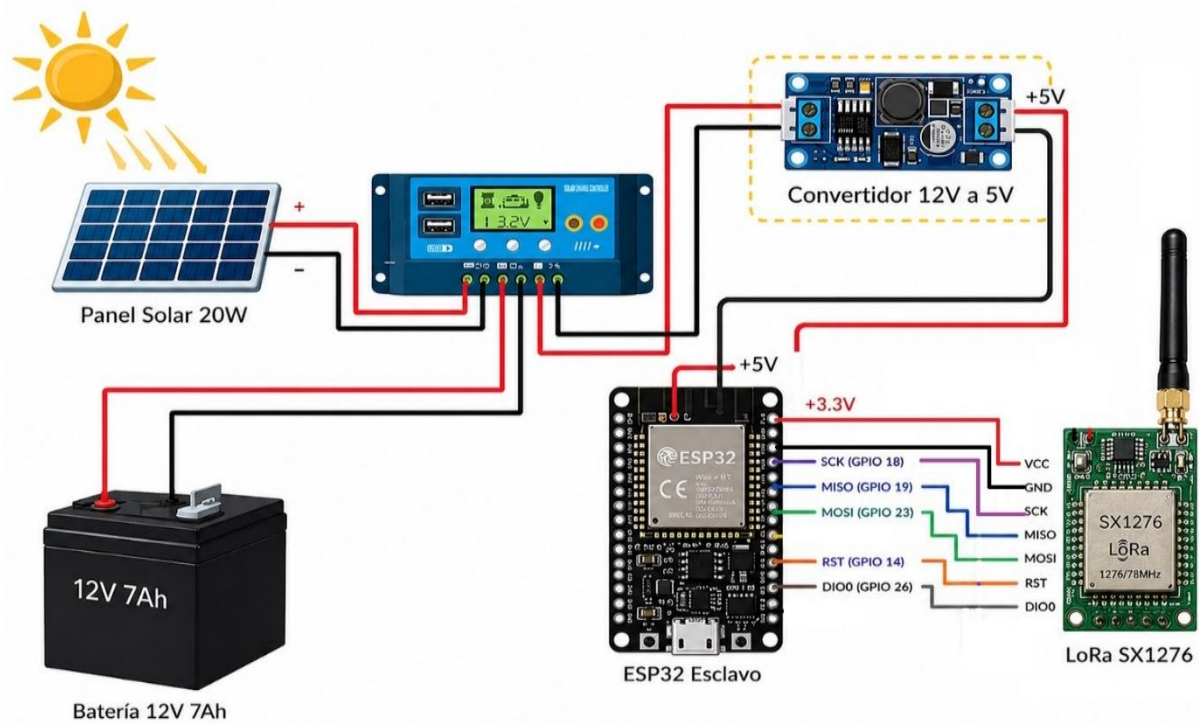
Entonces, como mejora continua se diseñan los circuitos acordes al ESP32 esclavo figura 3-6 y al ESP32 maestro figura 3-7 los cuales muestran el conexionado y dispositivos a usar en cada

uno de ellos.



Fuente: Elaboración propia según requerimientos del proyecto.

Figura 3-6 Diagrama conexionado panel solar ESP32-maestro



Fuente: Elaboración según requerimientos del proyecto.

Figura 3-7 Diagrama conexionado panel solar ESP32 esclavo.

3.4.4 Implementación física

Dado que el sistema desarrollado corresponde actualmente a un prototipo funcional, resulta fundamental avanzar hacia una implementación física adecuada. Para ello, se propone el montaje de todos los componentes electrónicos sobre una placa base (PCB), lo que permitirá mejorar la organización del circuito, reducir errores de conexión y aumentar la confiabilidad del sistema.

Asimismo, la incorporación de gabinetes adecuados para los módulos ESP32, la fuente de alimentación, la sirena, la baliza y los sensores permitirá otorgar una mayor robustez mecánica, durabilidad frente a factores ambientales y una mejor protección eléctrica. Esta implementación no solo mejora el funcionamiento y la vida útil del sistema, sino que también incrementa su visibilidad y atractivo frente a posibles clientes o inversionistas, al presentar un producto más profesional y estandarizado.

CONCLUSIÓN

En primer lugar, el desarrollo del trabajo de título permitió suprimir de manera efectiva las principales falencias detectadas en la propuesta inicial, tales como el alcance limitado del sistema de alarma, la imposibilidad de identificar el origen exacto del evento (número de vivienda) y la falta de información respecto a la causa de activación de la alarma. Estas deficiencias fueron resueltas mediante la implementación de una arquitectura distribuida basada en ESP32 y comunicación LoRa, junto con un sistema de notificación oportuna a través de la plataforma Telegram y un sistema de respaldo por mensajería SMS, garantizando la entrega de alertas incluso en ausencia de conexión a internet.

En segundo lugar, se logró diseñar e implementar un sistema de alarma comunitaria funcional, confiable y escalable, capaz de detectar y reportar eventos críticos tales como incendios mediante el sensor MQ-2, aperturas no autorizadas de puertas y ventanas, y situaciones de emergencia activadas manualmente a través de un botón de pánico. El cumplimiento de los objetivos planteados se evidencia mediante las distintas pruebas operativas realizadas en diversos puntos de activación, las cuales permitieron verificar tanto el correcto funcionamiento del sistema como la calidad y estabilidad de la comunicación inalámbrica entre los nodos.

Por otra parte, desde una perspectiva de mejora continua bajo el enfoque Kaizen, el sistema desarrollado presenta un alto potencial de evolución y escalabilidad. Entre las mejoras futuras se contempla la incorporación de tecnologías como LoRaWAN, que permitirían una gestión más avanzada de la red, la implementación de sistemas de alimentación autónomos mediante paneles solares, y la materialización física del prototipo en placas base y gabinetes adecuados, lo que aportaría mayor robustez, durabilidad y viabilidad para una eventual implementación a mayor escala.

En conclusión, el sistema desarrollado no solo cumple satisfactoriamente con los requerimientos funcionales establecidos, sino que además establece una base sólida para una solución sostenible, escalable y adaptable, con un potencial real de implementación en entornos residenciales. De esta forma, el proyecto contribuye de manera significativa a la seguridad

comunitaria y la prevención de emergencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Arduino. (2025). *Arduino IDE*. <https://www.arduino.cc/en/software>
- CalcMaps. (2025). *Map Distance Calculator*. <https://www.calcmaps.com/es/map-distance/>
- Espressif Systems. (2024). *ESP32-WROOM-32 Datasheet*.
<https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32>
- Hanwei Electronics. (2020). *MQ-2 Smoke Gas Sensor Technical Data*.
<http://www.hwsensor.com>
- Last Minute Engineers. (2025). *ESP32 Pinout Reference*.
<https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>
- LoRa Alliance. (2024). *What is LoRaWAN?* <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- Prosegur Alarms. (2025). *Market & Brand Tracking*. <https://www.prosegur.cl>
- Prosfy. (2026). *Sueldos de Ingenieros y Técnicos en Instrumentación y Control Industrial en Chile*. <https://prosfy.com>
- Semtech Corporation. (2024). *SX1276/77/78/79 Long Range Transceiver Datasheet*.
<https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1276>
- Telegram Messenger LLP. (2025). *Telegram Bot API*. <https://core.telegram.org/bots/api>
- Texas Instruments. (2016). *LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter Datasheet*.
<https://www.ti.com/product/LM2596>
- The Things Network. (2025). *LoRaWAN Documentation*.
<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>
- Universidad San Sebastián. (2026). *Chile Nos Habla*. <https://www.uss.cl>

Anexo “A” programación ESP32- maestro

```

#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h> //comunicacion el api de telegraam
#include <HardwareSerial.h> //puerto uart del esp32
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

// ----- WIFI -----
const char* ssid = "VTR-3337319-2.4G"; //const:no cambia durante la ejecucion char 1byte
const char* password = "cy4SfrkmJ6zw";

// ----- TELEGRAM -----
String BOT_TOKEN = "7561027221:AAEUpydQQVpS579BCPINI17HM-BARx66_HM";
String CHAT_ID = "-5213773602";

// ----- SALIDAS -----
#define PIN_SIRENA 32
#define PIN_BALIZA 33

// ----- LEDS -----
#define LED_ROJO 21
#define LED_VERDE 22
#define LED_AMARILLO 27
#define LED_PAQUETE 26

// ----- BOTON RESET -----
#define PIN_BOTON_RESET 25

// ----- A7670SA -----
HardwareSerial MODEM(2); //uart serial 2
#define MODEM_RX 16
#define MODEM_TX 17

// ----- LORA -----
#define LORA_SS 5
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 2 //avisa al esp32 el msje recibido y ayuda al parsepacket
#define LORA_SCK 18 //sincroniza el maestro y esclavo
#define LORA_MISO 19
#define LORA_MOSI 23

// ----- VARIABLES -----
bool alarmaActiva = false; //estado inicial de la alarma
unsigned long UltimoTiempoEvento = 0; //solo numeros positivos almacena largos tiempos el long
unsigned long BloqueoAlarma = 8000; // 8 segundos de seguridad entre alarmas

```

```

// ----- NUMEROS SMS -----
String numerosSMS[3] = {
  "+56988668078",
  "+56953151547",
  "+569XXXXXXX"
};

// -----
// TELEGRAM
// -----
String urlencode(String str) {
  String encoded = "";
  char c;
  char buf[4];

  for (int i = 0; i < str.length(); i++) {
    c = str.charAt(i);
    if (isalnum(c)) {
      encoded += c;
    } else {
      sprintf(buf, "%%%02X", c);
      encoded += buf;
    }
  }
  return encoded;
}

void enviarTelegram(String mensaje) {
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return;

  HTTPClient http;
  http.begin("https://api.telegram.org/bot" + BOT_TOKEN + "/sendMessage");
  http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

  String payload = "chat_id=" + CHAT_ID + "&text=" + urlencode(mensaje);
  http.POST(payload);
  http.end();
}

// -----
// MODULO SMSA7670SA
// -----
void enviarSMS(String numero, String texto) {

  MODEM.println("AT+CMGF=1");
  delay(500);
}

```

```

MODEM.println("AT+CMGS=\"" + numero + "\"");
delay(500);

MODEM.print(texto);
delay(500);

MODEM.write(26);
delay(5000);
}

void enviarSMSaTodos(String mensaje) {
  for (int i = 0; i < 3; i++) {
    enviarSMS(numerosSMS[i], mensaje);
    delay(3000);
  }
}

// -----
// ALARMA
// -----
void activarAlarma() {
  alarmaActiva = true;
  digitalWrite(PIN_SIRENA, LOW);
  digitalWrite(PIN_BALIZA, LOW);
  digitalWrite(LED_ROJO, HIGH);
  digitalWrite(LED_VERDE, LOW);
}

void desactivarAlarma() {
  alarmaActiva = false;
  digitalWrite(PIN_SIRENA, HIGH);
  digitalWrite(PIN_BALIZA, HIGH);
  digitalWrite(LED_ROJO, LOW);
  digitalWrite(LED_AMARILLO, LOW);
  digitalWrite(LED_VERDE, HIGH);
}

// -----
// SETUP
// -----
void setup() {

  Serial.begin(115200);

  pinMode(PIN_SIRENA, OUTPUT);
  pinMode(PIN_BALIZA, OUTPUT);
  pinMode(LED_ROJO, OUTPUT);

```

```

pinMode(LED_VERDE, OUTPUT);
pinMode(LED_AMARILLO, OUTPUT);
pinMode(LED_PAQUETE, OUTPUT);
pinMode(PIN_BOTON_RESET, INPUT_PULLUP);

desactivarAlarma();

// ----- WIFI -----
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.print("Conectando WiFi");

unsigned long TiempoDelInicio = millis();

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - TiempoDelInicio < 10000) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
  WiFi.reconnect();
  digitalWrite(LED_AMARILLO, LOW);
  Serial.println("WiFi conectado");
} else {
  digitalWrite(LED_AMARILLO, HIGH); //MODO LTE SIN WIFI PRENDIENDO LUZ AMARILLA
  Serial.println("Sin WiFi - modo LTE");
}

// ----- A7670SA -----
MODEM.begin(115200, SERIAL_8N1, MODEM_RX, MODEM_TX); //configuraci3n para chip no probada
delay(3000);

MODEM.println("AT");
delay(1000);

MODEM.println("ATE0");
delay(500);

MODEM.println("AT+CMGF=1");
delay(500);

MODEM.println("AT+CSCS=\"GSM\"");
delay(500);

MODEM.println("AT+CSQ");
delay(1000);

MODEM.println("AT+CREG?"); // registro red

```

```

delay(1000);

while (MODEM.available()) {
  Serial.write(MODEM.read());
}

// ----- LORA -----
SPI.begin(LORA_SCK, LORA_MISO, LORA_MOSI, LORA_SS);
LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);

if (!LoRa.begin(915E6)) { //frecuencia de trabajo
  Serial.println("Error LoRa");
  while (true);
}

LoRa.setSpreadingFactor(11); //conf loRa
LoRa.setSignalBandwidth(125E3);
LoRa.setCodingRate4(6);

Serial.println("MAESTRO LISTO");
}

// -----
// LOOP
// -----
void loop() {

  // RESET
  if (alarmaActiva && digitalRead(PIN_BOTON_RESET) == LOW) {
    desactivarAlarma();
    delay(500);
  }

  // LORA
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {

    digitalWrite(LED_PAQUETE, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(LED_PAQUETE, LOW);

    String recibido = LoRa.readString();

    unsigned long ahora = millis();
    if (ahora - UltimoTiempoEvento < BloqueoAlarma) return;
    UltimoTiempoEvento = ahora;
  }
}

```

```
int rssi = LoRa.packetRssi();
float snr = LoRa.packetSnr();

String tipo = recibido.substring(0, recibido.indexOf(":"));
String id = recibido.substring(recibido.indexOf(":") + 1);

String mensaje =
    "ALERTA CASA " + id +
    "\nEvento: " + tipo +
    "\nRSSI: " + String(rssi) +
    "\nSNR: " + String(snr);

activarAlarma();

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    enviarTelegram(mensaje);
} else {
    enviarSMSaTodos(mensaje);
}
}
```

Anexo “B” programación de ESP32 esclavo

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

// ----- PINES DE SENSORES -----
#define PIN_REED_PUERTA 25
#define PIN_REED_VENTANA 27
#define PIN_MQ2 34
#define PIN_PANICO 32
#define PIN_DOMESTICO 33

// ----- LEDS INDICADORES -----
#define LED_ROJO 21
#define LED_VERDE 22
#define LED_AMARILLO 13

// ----- CONFIG LORA SX1276 -----
#define LORA_SS 5
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 2

// ----- VARIABLES -----
bool modoDomestico = false;
bool ultimoEstadoBoton = HIGH;
unsigned long ultimoCambio = 0;
unsigned long antiRebote = 250;

// Estados anteriores
bool estadoPuertaAnterior = LOW;
bool estadoVentanaAnterior = LOW;

// ----- MQ2 -----
int umbralMQ2 = 800;
int baseMQ2 = 0;

// ----- ID -----
String ID = "CASA_2";

// -----
// ENVIAR EVENTO
// -----
void enviarEvento(String tipo) {
    digitalWrite(LED_AMARILLO, HIGH);
```

```

String mensaje = tipo + ":" + ID;
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(mensaje);
LoRa.endPacket();

digitalWrite(LED_AMARILLO, LOW);
}

// -----
void actualizarModoDomestico() {
    bool estadoActual = digitalRead(PIN_DOMESTICO);

    if (estadoActual != ultimoEstadoBoton &&
        millis() - ultimoCambio > antiRebote) {

        ultimoCambio = millis();

        if (estadoActual == LOW) {
            modoDomestico = !modoDomestico;
            Serial.println(modoDomestico ?
                "Modo doméstico ACTIVADO" :
                "Modo doméstico DESACTIVADO");
        }
    }

    ultimoEstadoBoton = estadoActual;
}

// -----
// SETUP
// -----
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(1000);

    pinMode(PIN_REED_PUERTA, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PIN_REED_VENTANA, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PIN_PANICO, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PIN_DOMESTICO, INPUT_PULLUP);

    pinMode(LED_ROJO, OUTPUT);
    pinMode(LED_VERDE, OUTPUT);
    pinMode(LED_AMARILLO, OUTPUT);

    digitalWrite(LED_VERDE, HIGH);

    // ----- MQ2 CALIBRACION -----

```

```

Serial.println("Calentando MQ2...");
delay(20000);

Serial.println("Calibrando MQ2...");
for (int i = 0; i < 20; i++) {
  baseMQ2 += analogRead(PIN_MQ2);
  delay(200);
}
baseMQ2 = baseMQ2 / 20;

Serial.print("Base MQ2: ");
Serial.println(baseMQ2);

// ----- LORA -----
pinMode(LORA_RST, OUTPUT);
digitalWrite(LORA_RST, LOW);
delay(10);
digitalWrite(LORA_RST, HIGH);
delay(10);

SPI.begin(18, 19, 23, LORA_SS);
LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);

if (!LoRa.begin(915E6)) {
  Serial.println("Error LoRa");
  while (true);
}

// CONFIGURACION LORA
LoRa.setSpreadingFactor(11);
LoRa.setSignalBandwidth(125E3);
LoRa.setCodingRate4(6);

Serial.println("ESCLAVO 2 LISTO - LoRa OK");
}

// -----
// LOOP
// -----
void loop() {

  actualizarModoDomestico();

  // ----- MQ2 -----
  int valorMQ2 = analogRead(PIN_MQ2);

  // Serial.print("MQ2: ");

```

```

//Serial.println(valorMQ2);

if (valorMQ2 > (baseMQ2 + umbralMQ2)) {

    delay(200);

    if (analogRead(PIN_MQ2) > (baseMQ2 + umbralMQ2)) {

        digitalWrite(LED_VERDE, LOW);
        digitalWrite(LED_ROJO, HIGH);

        enviarEvento("HUMO");

        delay(5000);

        digitalWrite(LED_ROJO, LOW);
        digitalWrite(LED_VERDE, HIGH);
    }
}

// ----- PANICO -----
if (digitalRead(PIN_PANICO) == LOW) {
    enviarEvento("PANICO");
    delay(3000);
}

// ----- PUERTA / VENTANA -----
if (!modoDomestico) {

    bool estadoPuertaActual = digitalRead(PIN_REED_PUERTA);
    bool estadoVentanaActual = digitalRead(PIN_REED_VENTANA);

    if (estadoPuertaAnterior == LOW && estadoPuertaActual == HIGH) {
        enviarEvento("PUERTA");
        delay(500);
    }

    if (estadoVentanaAnterior == LOW && estadoVentanaActual == HIGH) {
        enviarEvento("VENTANA");
        delay(500);
    }
    estadoPuertaAnterior = estadoPuertaActual;
    estadoVentanaAnterior = estadoVentanaActual;
}

delay(50);
}

```