



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO PARA GANADO BOVINO MEDIANTE RADIOFRECUENCIA E IOT”

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

AUTORES:

**Eduardo Luciano Novillo Vélez
Fricson Jordan Romero Rivera**

TUTOR:

Ing. MSc. Efrén Damián Albán Andrade

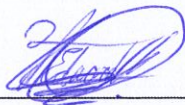
LATACUNGA, MARZO 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Eduardo Luciano Novillo Vélez y Fricson Jordan Romero Rivera, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO PARA GANADO BOVINO MEDIANTE RADIOFRECUENCIA E IOT”**, siendo el Ing. MSc. Efrén Damián Albán Andrade tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 27 de febrero, 2025



Eduardo Luciano Novillo Vélez
C.C: 1724054141



Fricson Jordan Romero Rivera
C.C: 1650005281

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de la Propuesta Tecnológica que tiene por título:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO PARA GANADO BOVINO MEDIANTE RADIOFRECUENCIA E IOT” de Novillo Vélez Eduardo Luciano y Romero Rivera Fricson Jordan, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 27 de febrero, 2025



Ing. MSc. Efrén Damián Albán Andrade
C.C: 0502529514

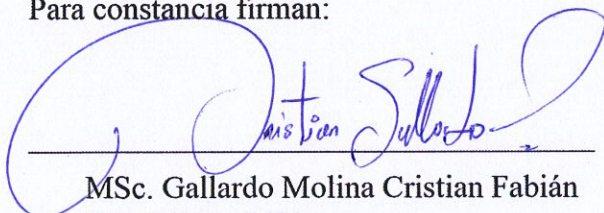
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Eduardo Luciano Novillo Vélez y Fricson Jordan Romero Rivera, con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO PARA GANADO BOVINO MEDIANTE RADIOFRECUENCIA E IOT”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 27 de febrero del 2025

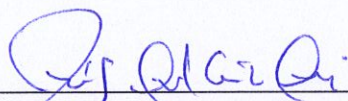
Para constancia firman:



MSc. Gallardo Molina Cristian Fabián

CC: 0502847692

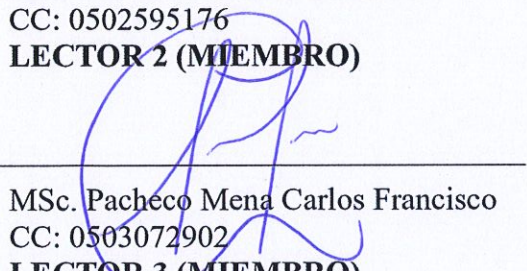
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



MSc. Cruz Panchi Luis Rolando

CC: 0502595176

LECTOR 2 (MIEMBRO)


MSc. Pacheco Mena Carlos Francisco

CC: 0503072902

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Luciana Vélez y William Novillo, por su incondicional apoyo, amor y guía a lo largo de mi camino. Su esfuerzo, sacrificio y palabras de aliento han sido fundamentales para alcanzar mis metas.

De Eduardo Novillo

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, Laura Rivera y Wilson Romero, por su amor incondicional, su apoyo inagotable y por ser mi pilar en cada etapa de mi vida. Su esfuerzo y sacrificio han sido fundamentales para que hoy pueda alcanzar este logro. Asimismo, extendiendo mi gratitud a mi tutor de tesis, el Ing. Damián Albán, por su guía, paciencia y valiosos conocimientos, que han sido clave en el desarrollo de este trabajo. Su orientación ha sido una fuente de aprendizaje y motivación constante.

De Fricson Romero

DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, Luciana Vélez y William Novillo, quienes con su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional han sido mi mayor inspiración. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y el amor por el conocimiento. Este logro es también suyo, porque sin su guía y sacrificio, este camino no habría sido posible. A ustedes, con todo mi cariño, les dedico este fruto de años de aprendizaje y dedicación.

De Eduardo Novillo

A mis padres, Laura Rivera y Wilson Romero, por ser mi apoyo incondicional y enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por su guía y por estar siempre a mi lado en cada etapa de mi vida. A mi novia, por su compañía, comprensión y motivación constante. Su apoyo ha sido fundamental en este camino. Este logro es también para ustedes.

De Fricson Romero

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO PARA GANADO BOVINO MEDIANTE RADIOFRECUENCIA E IOT”

Autores:

Eduardo Luciano Novillo Vélez

Fricson Jordan Romero Rivera

RESUMEN

El proyecto “Diseño y construcción de un sistema de detección y monitoreo para ganado bovino mediante radiofrecuencia e IoT” tiene como objetivo reducir el riesgo de extravíos y robos. Para abordar este desafío, se llevó a cabo una investigación bibliográfica sobre las tecnologías de comunicación disponibles, tanto por cable como inalámbricas, con especial atención a los protocolos, estándares y las ventajas de las soluciones IoT, destacando el uso de LoRa XL1278 para la transmisión de datos a larga distancia y coordenadas GPS para monitoreo.

Se diseñó un procedimiento que consideró los aspectos necesarios para el desarrollo del proyecto, desde la planificación para abordar las necesidades a solventar en campo y el desarrollo del proyecto hasta su análisis económico mediante el VAN y el TIR que valida la viabilidad financiera del proyecto.

Como resultado, se construyó un collar funcional basado en tecnologías de radiofrecuencia e IoT que envía la ubicación del animal mediante un mensaje en Telegram, lo que facilita su monitoreo en tiempo real. Este collar fue diseñado para enfrentar condiciones de lluvia y polvo, lo que asegura su operatividad en condiciones adversas. El sistema de monitoreo contribuye a una gestión más eficiente y segura del ganado.

Palabras clave: Monitoreo bovino, IoT, Tecnologías inalámbricas, localización GPS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DETECTION AND MONITORING SYSTEM FOR CATTLE USING RADIOFREQUENCY AND IOT.”

Authors:

Novillo Velez Eduardo Luciano

Romero Rivera Fricson Jordan

ABSTRACT

The project “Design and construction of a detection and monitoring system for cattle using radiofrequency and IoT” aims to reduce the risk of straying and theft. To address this challenge, a bibliographic research was carried out on the available communication technologies, both wired and wireless, with special attention to protocols, standards and the advantages of IoT solutions, highlighting the use of LoRa XL1278 for long distance data transmission and GPS coordinates for monitoring.

A procedure was designed that considered the necessary aspects for the development of the project, from planning to address the needs to be solved in the field and the development of the project to its economic analysis through VAN and TIR that validates the financial viability of the project.

As a result, a functional collar was built based on radiofrequency and IoT technologies that sends the location of the animal through a Telegram message, which facilitates its monitoring in real time. This collar was designed to face rainy and dusty conditions, which ensures its operability in adverse conditions. The monitoring system contributes to more efficient and safer livestock management.

Key words: Bovine monitoring, IoT, wireless technologies, GPS location.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	III
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.3.1 Objeto de investigación	3
2.3.2 Campo de acción	4
2.4 BENEFICIARIOS	4
2.4.1 Directo	4
2.4.2 Indirecto.....	4
2.5 JUSTIFICACIÓN	4
2.6 OBJETIVOS	5
2.6.1 Objetivo general	5
2.6.2 Objetivos específicos	5
2.6.3 Sistemas de tareas	5

3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1	ANTECEDENTES	7
3.2	MONITOREO DE GANADO BOVINO	7
3.2.1	Métodos de monitoreo	8
3.3	COMUNICACIÓN ALÁMBRICA.....	9
3.3.1	Protocolos de comunicación alámbrica	9
3.4	COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	13
3.4.1	Tipos de señales transmitidas	13
3.4.2	Modulación de señales.....	15
3.4.3	Radiofrecuencia	19
3.4.4	Tecnologías de comunicación inalámbrica.....	20
3.4.5	Sistema de Posicionamiento Global	25
3.4.6	Internet de las cosas	27
3.4.7	Estándares para tecnologías inalámbricas	28
3.4.8	Protocolos de tecnologías inalámbricas.....	29
3.5	DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE PROCESAMIENTO	30
3.5.1	Módulo Arduino Uno	30
3.5.2	Módulo ESP32.....	31
3.5.3	Raspberry Pi	33
3.6	DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS GPS	34
3.6.1	Módulo GPS NEO-6MV2	34
3.6.2	Módulo SIM808	35
3.7	DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE RADIOFRECUENCIA	37
3.7.1	Módulo LoRa XL1278	37
3.7.2	Módulo NRF24L01	38
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	40

4.1	PLANIFICACIÓN	41
4.1.1	Reconocimiento de campo.....	41
4.1.2	Análisis de campo.....	42
4.1.3	Proyección de diseño	42
4.2	DISEÑO ELECTRÓNICO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE MONITOREO	44
4.2.1	Selección del módulo GPS	44
4.2.2	Selección del módulo de radiofrecuencia.....	45
4.2.3	Selección del módulo de procesamiento	46
4.2.4	Transmisor del sistema de monitoreo propuesto	47
4.2.5	Receptor del sistema de monitoreo propuesto.....	51
4.3	PROGRAMACIÓN PARA EL TRANSMISOR 01 Y EL RECEPTOR 01 DEL SISTEMA DE MONITOREO	52
4.3.1	Desarrollo de programación	52
4.3.2	Librería TinyGpsPlus.h para módulos GPS	54
4.3.3	Librería LoRa.h	55
4.3.4	Librerías WiFi.h y HTTPClient.h para IoT	56
4.3.5	Crear un bot de Telegram versión 11.7.3	56
4.3.6	Diagrama de ejecución del código del Transmisor 01 del sistema de monitoreo	57
4.3.7	Diagrama de ejecución del código del Receptor 01 del sistema de monitoreo	59
4.4	DISEÑO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE MONITOREO ..	60
4.4.1	Cálculo de consumo de energía del Transmisor 01	60
4.4.2	Selección de baterías para el Transmisor 01	61
4.5	DISEÑO DE COLLAR PARA EL TRANSMISOR 01	62
4.5.1	Carcasa de montaje para el Transmisor 01	62
4.5.2	Protección contra lluvia y polvo.....	63

4.6	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	64
4.6.1	Costos	64
4.6.2	VAN y TIR	65
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
5.1	DISEÑO FÍSICO DEL TRANSMISOR 01	67
5.2	USO DE ENERGÍA REQUERIDO POR EL TRANSMISOR 01.....	68
5.3	LECTURA DE DATOS DEL SISTEMA DE MONITOREO	68
5.4	COMUNICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA	71
5.5	MENSAJES RECIBIDOS EN TELEGRAM.....	73
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
6.1	CONCLUSIONES.....	74
6.2	RECOMENDACIONES	75
7.	REFERENCIAS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Bits de transmisión con el protocolo RS232	10
Figura 3.2. Bits de transmisión con el protocolo I2C	11
Figura 3.3. Configuración maestra – esclavo en protocolo SPI	12
Figura 3.4. Bits de transmisión en protocolo UART	12
Figura 3.5. Conexión de dos dispositivos que usan el protocolo UART	13
Figura 3.6. Señal analógica de la variación de temperatura en un día aleatorio	14
Figura 3.7. Señal digital y sus principales parámetros	15
Figura 3.8. Resultado de combinar una señal portadora y una moduladora.....	16
Figura 3.9. Ejemplo de Modulación en amplitud y Modulación en frecuencia	17
Figura 3.10. Ejemplo de Modulación de fase.....	18
Figura 3.11. Ejemplo de Modulación ASK, FSK y PSK	19
Figura 3.12. Transmisión de información por radiofrecuencia	20
Figura 3.13. Esquema de aplicaciones de la tecnología LoRa	22
Figura 3.14. Estructura de una red Zigbee.....	23
Figura 3.15. Posible conexión para una red Bluetooth.....	24
Figura 3.16. Configuración de una red inalámbrica Wi-Fi.....	25
Figura 3.17. Descripción grafica de Longitud y Latitud	26
Figura 3.18. Elementos principales de IoT.....	28
Figura 3.19. Distribución de pines del módulo ESP32	32
Figura 3.20. Módulo Raspberry PI	33
Figura 3.21. Módulo GPS NEO-6MV2.....	35
Figura 3.22. Módulo SIM808	36
Figura 3.23. Módulo LoRa XL1278.....	37
Figura 3.24. Módulo NRF24L01	38
Figura 4.1. Etapas para la implementación del proyecto.....	40
Figura 4.2. Coordenadas delimitantes del área en el Barrio Alpalag de Ramospamba, Pujilí, Cotopaxi.	41
Figura 4.3. Conexión de los elementos del Transmisor 01	48
Figura 4.4. Conexión de los elementos del Receptor 01	51
Figura 4.5. Enlace de configuración para el gestor de placas ESP32.....	53
Figura 4.6. Configuración adicional para el gestor de placas ESP32.....	53
Figura 4.7. Diagrama de flujo del Transmisor 01	58

Figura 4.8. Diagrama de flujo del Receptor 01	59
Figura 4.9. Baterías recargables usadas en el Transmisor 01	61
Figura 4.10. Disposición de los elementos del Transmisor 01	62
Figura 4.11. Caja de montaje del Transmisor 01	63
Figura 5.1 Disposición interna de los elementos del trasmisor	67
Figura 5.2 Reporte presentado por el Receptor 01 a 402 m del Transmisor 01	71
Figura 5.3 Reporte presentado por el Receptor 01 a una distancia mayor a 402 m	71
Figura 5.4 Mensajes recibidos en Telegram	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Métodos para identificar a un animal	9
Tabla 3.2. Mensaje enviado en formato NMEA (National Marine Electronics Association)..	27
Tabla 3.3. Estándares para distintas tecnologías inalámbricas	29
Tabla 3.4. Protocolos más comunes en tecnologías inalámbricas	30
Tabla 3.5. Principales características técnicas del módulo Arduino Uno	31
Tabla 3.6. Principales características técnicas del módulo ESP32.....	32
Tabla 3.7. Principales características técnicas del módulo Raspberry PI.....	34
Tabla 3.8. Principales especificaciones del módulo GY-NEO6MV2	35
Tabla 3.9. Principales especificaciones del módulo SIM808.....	36
Tabla 3.10. Descripción de pines del módulo XL1278-SMT	38
Tabla 3.11. Características técnicas del módulo NRF24L01	39
Tabla 4.1. Comparación entre el módulo GPS NEO-6MV2 y el módulo SIM808.....	44
Tabla 4.2. Comparación entre el módulo LoRa XL1278 y el módulo NRF24L01	45
Tabla 4.3. Comparación entre el módulo Arduino Uno, módulo ESP32 y Raspberry Pi	46
Tabla 4.4. Sentencias usadas de las librerías TinyGPSPlus y HardwareSerial	54
Tabla 4.5. Sentencias usadas de la librería LoRa	55
Tabla 4.6. Sentencias usadas de la librería WiFi y HTTPClient	56
Tabla 4.7. Datos del bot de Telegram.....	57
Tabla 4.8. Corriente del Transmisor 01	60
Tabla 4.9. Corriente del Receptor 01	61
Tabla 4.10. Medidas de los elementos del Transmisor 01.....	62
Tabla 4.11. Desglose de costos.....	64
Tabla 4.12. Costos de operación y mantenimiento anuales.....	65
Tabla 4.13. Ingresos esperados anuales.....	65
Tabla 4.14 Análisis mensual.....	66
Tabla 5.1 Pruebas de funcionamiento en el Barrio Alpalagal de Ramospamba, Pujilí, Cotopaxi.	69
Tabla 5.2 Pruebas de funcionamiento en Salache, Latacunga, Cotopaxi.....	69
Tabla 5.3 Pruebas de precisión en Salache, Latacunga, Cotopaxi.	69
Tabla 5.4 Calidad de mensajes recibidos.....	72

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto:

Diseño y construcción de un sistema de detección y monitoreo para ganado bovino mediante radiofrecuencia e IOT.

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

Carrera:

Electromecánica.

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Desarrollo de sistemas de geolocalización para ganado utilizando hardware y software libre.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Novillo Velez Eduardo Luciano

Romero Rivera Fricson Jordan

Ing. MSc. Efrén Damián Alban Andrade

Área de Conocimiento:

07 - Ingeniería, Industria y Construcción	071 - Ingeniería y Profesiones Afines	0714 - Electrónica, Automatización y Sonido
---	---------------------------------------	---

Línea de investigación:

Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Sub líneas de investigación:

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

El robo de ganado bovino y el extravío de estos, reflejan problemáticas considerables que afectan la seguridad y la economía de los productores ganaderos. Las situaciones antes mencionadas generan pérdidas económicas significativas, considerando que el ganado es una inversión de alto costo para los agricultores y una base esencial para sus ingresos. Además, esto dificulta el manejo eficiente de las explotaciones ganaderas al provocar incertidumbre sobre la ubicación y estado de los animales [1].

Los sistemas de monitoreo basados en tecnologías IoT, como sensores conectados a plataformas en la nube, se presenta como una solución viable. Las tecnologías IoT permiten un seguimiento en tiempo real, alertas al instante en caso de eventos sospechosos y una mejor organización del ganado, lo que brinda una sensación de tranquilidad para los ganaderos y sus recursos [2].

Conociendo esta problemática y con la necesidad de encontrar una solución eficaz, como estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica se ha decidido emprender este proyecto. Se propone el uso de tecnología avanzada basada en el Internet de las Cosas (IoT) para desarrollar un sistema de monitoreo. Al adoptar este tipo de tecnologías se reduce ampliamente las pérdidas económicas asociadas al abigeato, ayuda en la gestión del ganado y otros riesgos, por lo que, mejora las condiciones laborales de quienes dependen de la ganadería. Este proyecto fusiona la innovación tecnológica con la necesidad urgente del sector primario.

La implementación de nuevas tecnologías se ha convertido en un factor crucial para abordar esta problemática de maneras efectivas. Mediante el uso de módulos de radiofrecuencia (RF), módulos GPS y tarjetas de desarrollo con capacidad de comunicación IoT, se pretende proporcionar una herramienta de solución que facilite y asegure el bienestar para los animales, así como una mejora en la rentabilidad de las actividades ganaderas en la región. El sistema se basa en solventar las necesidades de la situación para las que este es diseñado seleccionando elementos robustos y eficaces con bajo consumo de energía.

El presente proyecto de titulación tiene lugar en la Comuna La Cooperativa, Barrio Alpamala de Ramospamba ubicada en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. La propuesta responde a una problemática relevante que impacta de manera directa a los habitantes de esta región, quienes en su mayoría se dedican a actividades agropecuarias.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El robo de ganado bovino no solo implica pérdidas económicas directas, sino que también afecta la producción de alimentos y la estabilidad de las comunidades rurales. Los métodos tradicionales de vigilancia, como el patrullaje manual y las cercas, resultan ineficaces ante la magnitud del problema, y muchos ganaderos carecen de recursos para invertir en tecnologías de seguridad costosas [1].

Según registros de la Policía Nacional, entre 2 014 y 2 020 se reportaron 11 167 casos de robo, concentrándose un 31 % de estos en las provincias de Manabí, Esmeraldas y Guayas. Este delito, que ocurre generalmente durante la madrugada, representa años de inversión [3]. Las sanciones legales actuales, que lo consideran una contravención con penas de hasta 30 días de cárcel, resultan insuficientes para disuadir a los delincuentes, según asociaciones ganaderas locales. Las pérdidas para el sector, considerando los costos de crianza y el valor comercial de los animales, ascienden a millones de dólares anuales [4]. En la provincia de Cotopaxi, la actividad ganadera es una fuente importante de ingresos para las familias rurales, quienes a menudo no tienen medios eficaces para proteger su ganado, especialmente cuando se encuentra en zonas alejadas o de difícil acceso [1].

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El robo de ganado bovino en las zonas rurales de Cotopaxi es un problema que causa grandes pérdidas económicas y genera inseguridad en el sector ganadero. La falta de tecnología adecuada dificulta el monitoreo en tiempo real, lo que permite que los ladrones actúen sin ser detectados. Además, en los sectores rurales es común que el ganado bovino esté rodeado por cercas rústicas o, en algunos casos, sin ningún tipo de delimitación. Esto hace que los animales se desplacen sin control y se alejen demasiado, lo que aumenta el riesgo de que se pierdan y sean difíciles de recuperar.

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de investigación

Sistema de detección y monitoreo GPS para ganado bovino que utilice radiofrecuencia e IoT, que permita localizar a los animales en tiempo real, reducir pérdidas económicas, evitar robos y mejorar el control del ganado sin depender de métodos tradicionales que pueden ser menos efectivos.

2.3.2 Campo de acción

El campo de acción se enmarca en el código 3 311.07 Instrumentos electrónicos, abarcando el desarrollo, implementación y control de sistemas electrónicos que optimizan procesos técnicos y tecnológicos.

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Directo

Productores Ganaderos: Son los principales beneficiarios directos, ya que el sistema les proporcionará una herramienta para mejorar la seguridad de su ganado contra el robo y otras amenazas. Esto puede reducir las pérdidas económicas y mejorar la eficiencia en la gestión del ganado.

2.4.2 Indirecto

Consumidores de Productos Ganaderos: Un sistema más seguro y eficiente puede contribuir a la disponibilidad y calidad de los productos ganaderos en el mercado, beneficiando indirectamente a los consumidores finales.

Comunidad Local: La mejora en la seguridad y estabilidad económica de las explotaciones ganaderas puede tener un impacto positivo en la comunidad local en términos de empleo, economía local y desarrollo rural sostenible.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto nace de la motivación por aplicar los conocimientos aprendidos en clases y seguir descubriendo nuevas formas de usar la tecnología de forma práctica. La idea de desarrollar un sistema de detección y monitoreo para el ganado bovino es una oportunidad para aprender más sobre radiofrecuencia, dispositivos electrónicos, programación y comunicaciones; mientras se crea algo útil para las personas que trabajan en el campo. Este sistema responde a las condiciones específicas de las zonas rurales de Cotopaxi, caracterizadas por la baja conectividad y las limitaciones tecnológicas. Usar tecnología para solucionar problemas reales es algo que genera interés, sobre todo cuando se trata de mejorar la seguridad y facilitar el manejo del ganado, pues brinda la oportunidad de estar a la vanguardia con las herramientas tecnológicas actuales. En muchas zonas rurales, el acceso a equipos modernos es limitado, por lo que este proyecto puede servir para demostrar que es posible integrar nuevas soluciones sin que sean complicadas de entender o utilizar. Poder combinar el gusto por la tecnología con el deseo de hacer algo práctico es lo que impulsa este trabajo.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo general

- Desarrollar un sistema de monitoreo de ganado bovino mediante el uso de tecnologías IoT, coordenadas GPS y transmisión de información por radio frecuencia a larga distancia para rastrear la ubicación del ganado, mejorar su control y reducir el riesgo de pérdidas o robos.

2.6.2 Objetivos específicos

- Investigar fuentes bibliográficas y científicas referente a sistemas de comunicación y control de ganado bobino.
- Diseñar un prototipo del sistema tanto en hardware como software.
- Validar el funcionamiento del prototipo en condiciones reales de operación, específicamente en la Comuna La Cooperativa, Barrio Alpamalag de Ramospamba ubicada en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.

2.6.3 Sistemas de tareas

Objetivos	Actividades	Resultados de la actividad	Técnicas, medios e instrumentos
Investigar fuentes bibliográficas y científicas referente a sistemas de comunicación y control de ganado bobino.	Buscar y analizar artículos, libros y documentos científicos sobre tecnologías y sistemas de monitoreo de ganado.	Recopilación de información confiable sobre el tema.	Documentos de sitios web, papers, libros, videos.
	Resumir la información encontrada para la investigación de la presente.	Contraste y comparación de información y datos relevantes.	Biblioteca digital y páginas web especializadas.

Diseñar un prototipo del sistema tanto en hardware como software.	Crear el esquema del circuito y seleccionar los componentes electrónicos necesarios.	Diagrama del sistema con la lista de componentes.	Software de diseño de circuitos y fichas técnicas.
	Programar el ESP32 para recibir datos del GPS y transmitirlos por LoRa.	Código funcional que procesa y envía la información.	Software Arduino IDE de programación.
Validar el funcionamiento del prototipo en condiciones reales de operación, específicamente en la Comuna La Cooperativa, Barrio Alpamalag de Ramospamba ubicada en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.	Instalar el sistema en el ganado y probar su funcionamiento en campo.	Datos de localización y comunicación recopilados en tiempo real.	Observación del correcto funcionamiento.
	Analizar los datos obtenidos y verificar si el sistema funciona.	Verificación de los resultados de la prueba y posibles mejoras.	Obtención de datos. Computadora para verificar los datos.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

Utilizando dos módulos TIGO T-Beam v1.1 configurados en una estructura maestro-esclavo, se implementó un sistema avanzado de rastreo y monitoreo de la ubicación para animales en tiempo real apoyado por la tecnología IoT. El módulo configurado como esclavo obtiene la ubicación exacta de los animales en tiempo real y transmite esta información a través del protocolo LoRa hacia el módulo configurado como maestro. Este, a su vez, envía los datos por internet almacenándose en un servidor web en un miniordenador mediante una aplicación móvil. Esta solución, ayuda a mejorar el control y la supervisión del ganado, sino que también optimiza los procesos de gestión en áreas rurales, especialmente las que se encuentran en zonas de acceso difícil en donde las tecnologías convencionales no siempre están disponibles [5].

En Mexico, las crecientes preocupaciones de esta índole han provocado grandes pérdidas económicas. Ante esto, se planteó el diseño de un dispositivo de monitoreo que emplea tecnología GPS y otras herramientas para permitir la localización precisa del ganado mediante geolocalización y potenciándola al utilizar el concepto de Internet de las Cosas (IoT), pues, se basa en la interconexión de diferentes dispositivos y elementos que facilitan el seguimiento y control del ganado de manera eficiente en tiempo real[6].

El sistema GPS (Global Positioning System) es una tecnología de localización basada en satélites que permite determinar la posición exacta de un punto en la Tierra. Esta ubicación se describe mediante dos coordenadas: latitud y longitud. Para calcular estos valores, el GPS utiliza la información de al menos cuatro satélites que envían señales para calcular el tiempo que tarda la señal en llegar, lo que permite determinar la distancia entre el receptor y cada satélite. La latitud se refiere a la distancia en grados al norte o al sur del ecuador, mientras que la longitud indica la distancia en grados al este o al oeste del meridiano de Greenwich. Juntas, estas coordenadas proporcionan una ubicación precisa en cualquier parte del mundo [5].

3.2 MONITOREO DE GANADO BOVINO

Para llevar a cabo un manejo eficiente del ganado hay que tomar en cuenta el registro de datos, la medición y el registro de los mismos. Para lo cual existen múltiples dispositivos y sistemas tecnológicos que pueden colocarse en el cuello o la oreja de los animales permitiendo el seguimiento individualizado de cada uno según las necesidades particulares de la granja [7].

El monitoreo y registro de los indicadores corporales en el ganado son una herramienta esencial para conocer una visión clara y actual del bienestar animal, estos indicadores hacen posible identificar de manera rápida las condiciones del ganado, facilitando la ejecución de acciones correctivas, mejoras en la infraestructura de las granjas, la capacitación del personal y la adopción de medidas sanitarias necesarias para abordar problemas específicos. La interpretación de estos indicadores favorece el bienestar del ganado, impulsando la productividad de los sistemas ganaderos, aportando a la seguridad alimentaria y promoviendo el crecimiento económico de la región [8].

Elaborar planes de asistencia inclusivos y accesibles, que emitan una respuesta a las necesidades específicas de estas comunidades permite a los pequeños y medianos productores ser parte activa de un modelo de desarrollo sostenible, que no solo mejore su eficiencia productiva, sino que también fortalezca el tejido social y económico de las regiones rurales. La inclusión en estos programas podría ser el catalizador para lograr un impacto positivo y sostenido en el sector ganadero y en la vida de quienes dependen de él. [9].

3.2.1 Métodos de monitoreo

La correcta identificación de bovinos resulta esencial para garantizar una gestión eficiente en las unidades productivas ganaderas. Implementar métodos tecnológicos y precisos permite monitorear de manera continua y detallada aspectos relacionados con la salud, los niveles de productividad y los movimientos de cada ejemplar. La recopilación de datos como historial médico, tratamientos aplicados, fechas de vacunación, y otros registros detallados, favorece la planificación y el seguimiento personalizado de cada animal, optimizando así los procesos productivos. Estas herramientas también mejoran la trazabilidad del sistema productivo, proporcionando un identificador único que permite rastrear a cada bovino desde su nacimiento hasta su comercialización (*ver Tabla 3.1*). Este tipo de trazabilidad no solo es un recurso clave en términos de control y prevención de enfermedades, sino que también facilita el cumplimiento de regulaciones sanitarias y de calidad, lo cual es vital para satisfacer las demandas de los mercados nacionales e internacionales [10].

Las aplicaciones de radiofrecuencia en la ganadería han transformado la forma de gestionar y supervisar las actividades relacionadas con los animales. La identificación mediante etiquetas electrónicas facilita el registro único de cada ejemplar, lo que permite un seguimiento más eficiente de su genealogía, historial de vacunación y estado productivo [11].

Tabla 3.1. Métodos para identificar a un animal [10]

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Marcaje	Uso de calor extremo o frío para dejar una marca en la piel del animal	<ul style="list-style-type: none"> • Permanente • Bajo Costo 	<ul style="list-style-type: none"> • El procedimiento causa dolor y estrés al animal • Dificultad para leer en ciertas circunstancias
Tatuajes	Aplicación de pigmentos o tintas en la piel del animal	<ul style="list-style-type: none"> • Permanente • Bajo Costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere habilidad para aplicarlos • La lectura puede dificultarse si se desvanece
Aretes	Dispositivos, colocados en las orejas del animal	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de colocar • Lectura sencilla • Duraderos 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de pérdida • No siempre son permanentes
Identificadores electrónicos	Microchip incrustado en un arete o en el animal	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precisión • Datos almacenados electrónicamente • Puede almacenar gran cantidad de información 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo inicial puede ser alto • Requiere lectores electrónicos para registrar y acceder a la información

Los sistemas de monitoreo equipados con sensores de salud proporcionan datos en tiempo real sobre parámetros como temperatura corporal y actividad física, permitiendo detectar posibles problemas antes de que se agraven. Además, la localización mediante dispositivos GPS vinculados a la tecnología de radiofrecuencia optimiza la gestión del pastoreo y garantiza mayor seguridad frente a robos o extravíos.

3.3 COMUNICACIÓN ALÁMBRICA

La comunicación alámbrica es un tipo de transmisión de información que se realiza mediante cables físicos. Este método permite enviar señales eléctricas o de luz a través de conductores como cobre o fibra óptica. Se utiliza en redes de telecomunicaciones, sistemas informáticos y otros dispositivos que requieren una conexión estable. Uno de los principales beneficios de este tipo de comunicación es la reducción de interferencias externas, lo que mejora la calidad y seguridad de la transmisión de datos. Entre los medios de transmisión más comunes están el cable coaxial, el par trenzado y la fibra óptica. El cable coaxial es usado en televisión por cable e internet, el par trenzado en redes Ethernet y la fibra óptica para conexiones de alta velocidad [12].

3.3.1 Protocolos de comunicación alámbrica

Los protocolos de comunicación establecen un conjunto de normas que permiten el intercambio de información entre distintos dispositivos. Estas reglas aseguran que los datos se transmitan

de manera correcta a través de señales físicas como impulsos eléctricos. Su función es garantizar que los sistemas puedan interpretar y procesar la información de forma eficiente. El uso de estos protocolos facilita la integración de distintos dispositivos y asegura que la información esté disponible en tiempo real. Gracias a estas reglas, la comunicación entre computadoras, redes y otros sistemas electrónicos se mantiene estable y confiable en diversos entornos tecnológicos [13].

3.3.1.1 Protocolo RS232

El protocolo RS232 es un estándar de comunicación que permite el intercambio de datos en serie entre dispositivos electrónicos. Se basa en la transmisión de bits de manera secuencial a través de tres cables principales, utilizando niveles de voltaje específicos para representar los datos enviados. Transmite datos a una velocidad de 115.2 kbps a una distancia de hasta 15 m. Este protocolo opera en modo asíncrono, lo que significa que no requiere una señal de reloj compartida entre los dispositivos conectados [14].

Las transmisiones en RS232 están formadas por varios bits que siguen un orden específico (*ver Figura 3.1*). Primero se encuentra el bit de inicio, el cual indica al dispositivo receptor que pronto recibirá datos. Después de este bit, se encuentran los bits de datos, que suelen ser 8, aunque pueden variar entre 5 y 9. Estos bits contienen la información principal del mensaje. Luego se encuentra el bit de paridad, que sirve para detectar posibles errores verificando si la cantidad de bits de datos es par o impar. Para finalizar, el bit de parada establece una pausa antes de la siguiente transmisión y puede durar 1, 1.5 o 2 bits [15].

Start Bit	Data Bits	Parity Bit	Stop Bit
1	5-9	0-1	1-2

Figura 3.1. Bits de transmisión con el protocolo RS232 [15]

3.3.1.2 Protocolo I2C

El protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit) es un método de comunicación en serie que permite la transferencia de datos entre dispositivos electrónicos mediante dos líneas: SDA (Serial Data) y SCL (Serial Clock). Funciona bajo un esquema maestro-esclavo, donde un dispositivo maestro controla la comunicación y los dispositivos esclavos responden según su dirección asignada.

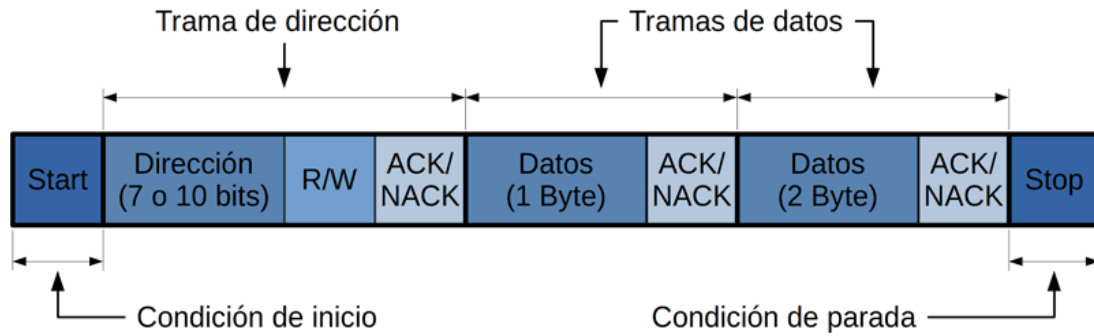


Figura 3.2. Bits de transmisión con el protocolo I2C [16]

Como se indica en la *Figura 3.2*, para iniciar la comunicación, el controlador coloca el pin SDA en estado bajo mientras el pin SCL permanece en estado alto. Este proceso indica a los demás dispositivos que un mensaje está por transmitirse. La dirección del dispositivo esclavo se envía en una trama de 7 o 10 bits, seguida por un bit que define si la operación será de escritura o lectura. Cuando el bit R/W es 0, se enviarán datos al esclavo, y cuando es 1, se recibirán datos de este. Luego de enviar la dirección, el esclavo responde con un bit de reconocimiento llamado ACK/NACK. Si el bit es 0, significa que el dispositivo con esa dirección está presente en el bus y listo para la comunicación. Después de esto, se inicia la transferencia de datos entre el controlador y el esclavo, asegurando que la información fluya [16].

3.3.1.3 Protocolo SPI

El estándar SPI es un tipo de comunicación en serie que funciona de manera síncrona y permite el envío y recepción de datos al mismo tiempo. Opera en modo full dúplex, lo que significa que la transmisión de información ocurre en ambas direcciones simultáneamente. Fue diseñado para transferir datos a altas velocidades, alcanzando hasta 10 Mbps, en distancias cortas de aproximadamente 10 a 20 cm. La comunicación se realiza mediante un bus de cuatro señales: MOSI, MISO, SCK y SS. La *Figura 3.3* muestra el esquema de conexión donde un dispositivo maestro inicia la transmisión y uno o más dispositivos esclavos reciben o envían información [17].

La señal MOSI transporta los datos del maestro al esclavo, mientras que MISO permite la transmisión en sentido contrario. La señal SCK genera los pulsos de reloj que sincronizan la transmisión, asegurando que cada bit sea recibido. Por cada pulso de reloj, un bit de información se transfiere al dispositivo correspondiente, y para enviar un byte completo se requieren ocho pulsos. La señal SS habilita al esclavo que debe responder, garantizando que la comunicación se dirija al dispositivo correcto del sistema [18].

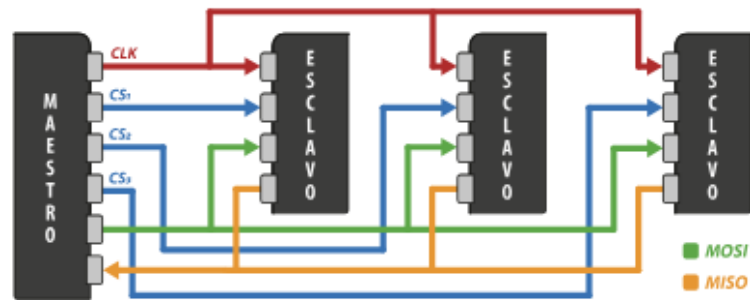


Figura 3.3. Configuración maestra – esclavo en protocolo SPI [19]

3.3.1.4 Protocolo UART

El protocolo UART, conocido como Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, permite la comunicación en serie entre dispositivos electrónicos. Funciona sin una señal de reloj compartida, por lo que, los datos se envían de manera asíncrona. Para garantizar que la información se transmita, cada mensaje incluye un bit de inicio y un bit de parada. El bit de inicio indica el comienzo de la transmisión, mientras que el bit de parada señala el final del mensaje. De esta forma, los dispositivos pueden sincronizarse y procesar la información de manera precisa. UART es utilizado en diversos sistemas electrónicos debido a su simplicidad y eficiencia para la transmisión de datos a cortas distancias [20].

El protocolo UART utiliza bits de inicio y de parada para delimitar la transmisión de datos (*ver Figura 3.4*). Al ser un método de comunicación asíncrono, el transmisor emplea el bit de inicio para indicar el comienzo de una nueva transmisión, lo que ocurre cuando la señal cambia de un estado alto a un estado bajo. Luego, se envían los bits de datos, seguidos por el bit de parada, que señala el final de la transmisión y regresa al estado alto. Los bits de datos contienen la información útil y pueden ser de 5 a 9 bits, aunque lo más común es usar 7 u 8. La transmisión de estos bits inicia con el bit menos significativo. Adicionalmente, se puede incluir un bit de paridad opcional para la detección de errores. La paridad puede ser par o impar, dependiendo de si el número total de bits en la trama debe ser par o impar, respectivamente [21].

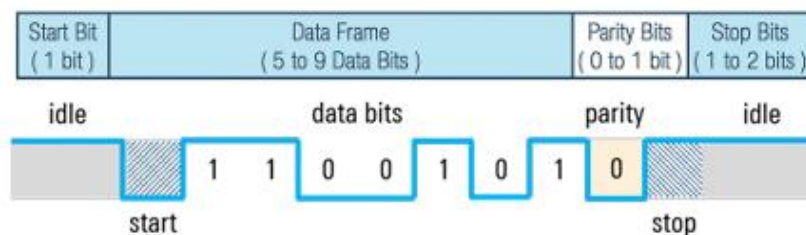


Figura 3.4. Bits de transmisión en protocolo UART [21]

La *Figura 3.5* muestra que el sistema de comunicación UART utiliza dos pines junto con la conexión a tierra. Uno de ellos es TX, encargado de la transmisión de datos, y el otro es RX,

responsable de la recepción. Al no contar con una señal de reloj, es necesario que los dispositivos involucrados utilicen la misma tasa de baudios para garantizar una transmisión correcta. La tasa de baudios representa la velocidad a la que los datos son enviados y recibidos, expresándose en bits por segundo. Por ejemplo, una tasa de 1000 baudios indica que se transmiten 1000 bits en un segundo, lo que significa que cada bit tiene una duración de un milisegundo. Las tasas de baudios se pueden representar con prefijos métricos como kBd, MBd o GBd. Algunas de las tasas más utilizadas en UART incluyen 110, 300, 1200, 4800, 9600, 19200, 38400 y 115200 baudios [22].

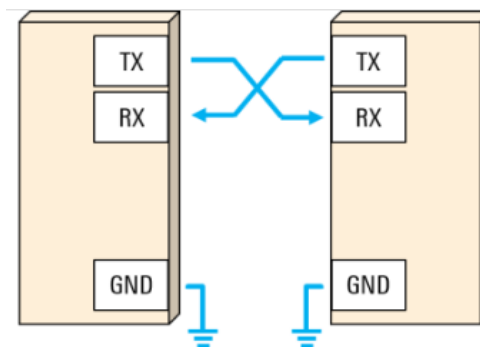


Figura 3.5. Conexión de dos dispositivos que usan el protocolo UART [20]

3.4 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La comunicación inalámbrica permite enviar información sin depender de cables, facilitando la transmisión de datos a larga distancia. Esta tecnología hace posible el uso de teléfonos móviles, internet por Wi-Fi y dispositivos con Bluetooth. Funciona mediante ondas electromagnéticas, como las de radio, que transportan datos de un punto a otro sin necesidad de conexiones físicas. Cada sistema inalámbrico utiliza frecuencias específicas para evitar interferencias y mejorar la estabilidad de la señal. Algunos dispositivos emplean protocolos de comunicación avanzados que organizan el envío y la recepción de datos de forma eficiente [23].

3.4.1 Tipos de señales transmitidas

La tecnología inalámbrica permite transmitir información de un lugar a otro utilizando el espectro electromagnético. Esta tecnología funciona enviando ondas electromagnéticas a través del aire, las cuales pueden transportar diferentes tipos de datos, como sonidos, imágenes o valores numéricos. La información que se transmite puede variar según su origen, pero se clasifica principalmente en dos tipos: señales analógicas y señales digitales. Ambos tipos de señales son esenciales en sistemas de comunicación modernos, como la radio, la televisión y las redes inalámbricas.

3.4.1.1 Señal analógica

Las señales analógicas son aquellas que representan información de manera continua y suelen estar asociadas a fenómenos naturales o físicos. Estas señales no siempre son generadas por el ser humano, sino que muchas veces provienen de mediciones de variables como la temperatura, la luz o la presión. Por ejemplo, al medir la temperatura ambiente, se puede observar que los valores cambian gradualmente, pasando de 20°C a 25°C dependiendo de las condiciones del entorno (Ver Figura 3.6). Este tipo de señales se expresan en unidades específicas, como grados Celsius (°C) para la temperatura, y reflejan variaciones suaves y constantes. En el campo de la electrónica, las señales analógicas son esenciales porque permiten capturar y transmitir información detallada, representando fielmente los cambios que ocurren en el mundo real. Su capacidad para tomar cualquier valor en el rango de apreciación las hace ideales para aplicaciones que requieren precisión y sensibilidad [24].

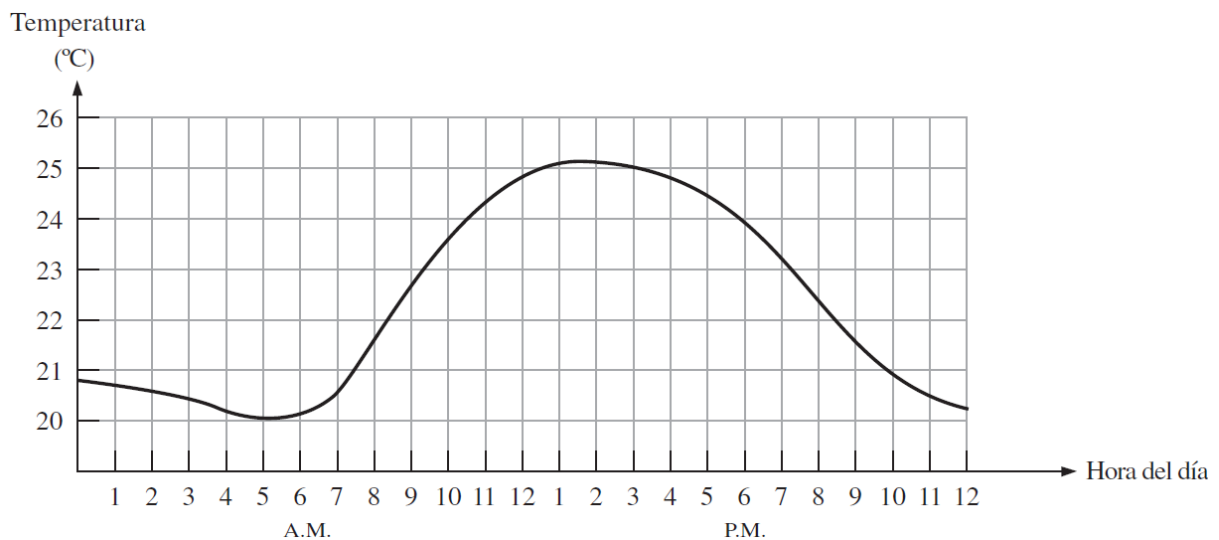


Figura 3.6. Señal analógica de la variación de temperatura en un día aleatorio [25]

Las señales analógicas se caracterizan por su capacidad de variar de forma continua a lo largo del tiempo. Esto significa que pueden representar una amplia gama de valores al interior de un rango específico, lo que las hace útiles para medir y transmitir información precisa. Por ejemplo, en un sensor de temperatura, la señal analógica cambia gradualmente según las variaciones de calor, permitiendo monitorear con exactitud las condiciones ambientales. Este tipo de señales es esencial en aplicaciones como la radio, donde las ondas de sonido se convierten en señales eléctricas que varían de manera continua. La capacidad de las señales analógicas para reflejar cambios mínimos permite capturar y transmitir información en sistemas que dependen de la precisión y la fidelidad de los datos [26].

3.4.1.2 Señal digital

Una señal digital es aquella que cambia de manera discontinua en el tiempo y solo puede tomar ciertos valores específicos, conocidos como valores discretos. A diferencia de las señales analógicas, que varían de forma continua, las señales digitales se representan comúnmente como pulsos en forma de onda cuadrada. Estos pulsos tienen características definidas, como la altura del pulso (Amplitud), que indica el nivel eléctrico, la duración del pulso, que representa su ancho, y la frecuencia de repetición, que determina cuántos pulsos ocurren por segundo (Ver *Figura 3.7*). Estas propiedades permiten que las señales digitales transmitan información de manera precisa y eficiente. En sistemas de comunicación, las señales digitales son ampliamente utilizadas debido a su capacidad para resistir interferencias y distorsiones, lo que garantiza una transmisión de datos más confiable [27].

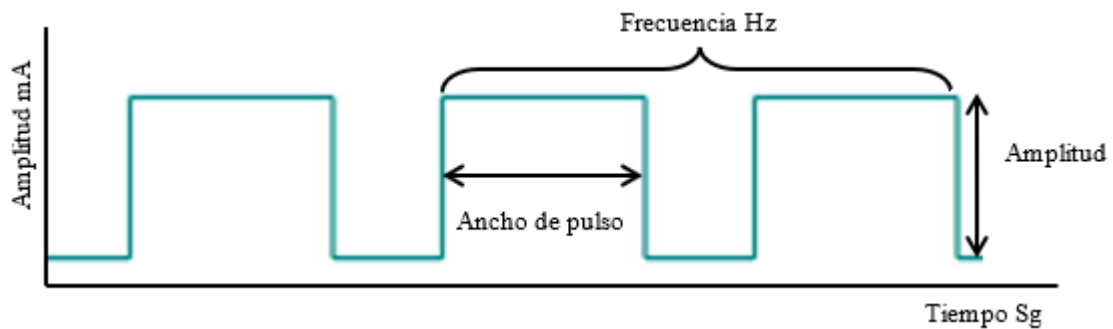


Figura 3.7. Señal digital y sus principales parámetros [28]

Las señales digitales pueden tener diferentes números de estados, pero las más comunes son las binarias, que solo tienen dos estados posibles: encendido (1) o apagado (0). Estos estados se representan mediante combinaciones de unos y ceros, formando lo que se conoce como código binario. Este código es la base del contenido lógico de la información transmitida. A medida que la señal digital varía, lo hace de manera abrupta, pasando de un valor máximo a un valor mínimo de forma instantánea, lo que da la apariencia de que la señal "salta" entre estos valores. Esta característica hace que las señales digitales sean ideales para aplicaciones como la computación y las telecomunicaciones, donde la precisión y la velocidad son fundamentales [29].

3.4.2 Modulación de señales

La modulación es esencial en sistemas de comunicación porque adapta la señal original para que pueda ser transmitida a largas distancias sin perder calidad.

Para transmitir información mediante ondas electromagnéticas, es necesario procesar la información antes de enviarla. Este proceso involucra el uso de dos tipos de ondas principales: las ondas portadoras y las ondas moduladoras. La onda portadora es una señal electromagnética de alta frecuencia, generalmente de forma senoidal, que actúa como un medio para transportar la información. Su frecuencia es mucho más elevada que la de la señal original que se desea transmitir. La onda moduladora en cambio es la que contiene la información que se quiere enviar, como sonidos, imágenes o datos. Para combinar ambas señales, se realiza un proceso llamado modulación (*ver Figura 3.8*), en el cual se altera alguna característica de la onda portadora, como su amplitud, frecuencia o fase, según la información de la onda moduladora. Este método permite que la información viaje de manera eficiente a través del aire, llegando a su destino de forma clara y precisa [30].

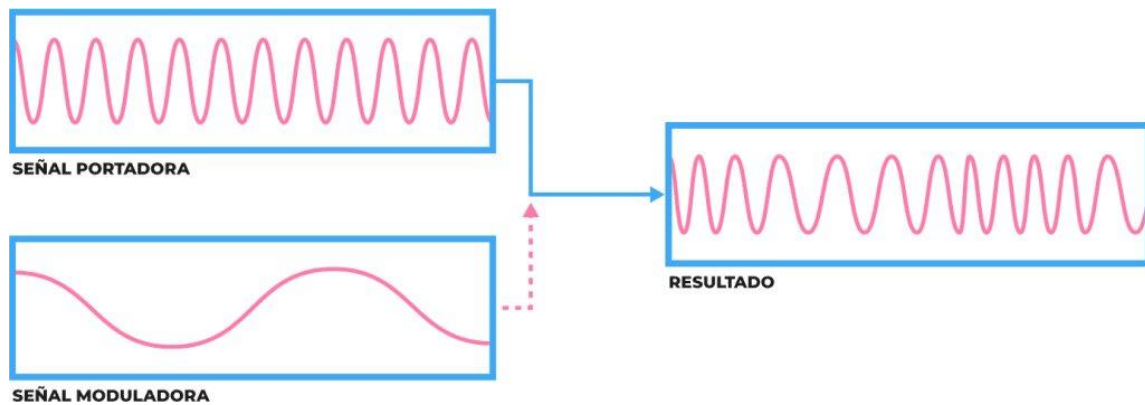


Figura 3.8. Resultado de combinar una señal portadora y una moduladora [31]

3.4.2.1 Modulación de Amplitud (AM)

La modulación de amplitud (AM) es un método utilizado para transmitir información variando la amplitud de una onda portadora de alta frecuencia según las características de la señal modulante, que contiene la información a enviar. En este proceso, la amplitud de la onda portadora cambia en proporción a la amplitud de la señal modulante, lo que permite que la información se "imprima" sobre la portadora (*ver Figura 3.9*). Este tipo de modulación es ampliamente utilizado en sistemas de radiodifusión, como las estaciones de radio AM, donde las frecuencias comerciales van desde 535 kHz hasta 1605 kHz. Aunque la modulación de amplitud es una técnica económica y sencilla, su calidad de transmisión es menor en comparación con otros métodos, ya que es más susceptible al ruido y las interferencias. La señal modulante puede ser una onda simple, como un tono de audio, o una onda compleja compuesta por múltiples frecuencias provenientes de diversas fuentes. Este enfoque permite transmitir

información de audio y video, aunque con ciertas limitaciones en cuanto a fidelidad y alcance [32].

3.4.2.2 Modulación de Frecuencia (FM)

La modulación de frecuencia (FM) es una técnica utilizada para transmitir información modificando la frecuencia de una onda portadora según las variaciones de la señal que contiene los datos (*ver Figura 3.9*). A diferencia de la modulación de amplitud (AM), donde la amplitud de la onda cambia mientras la frecuencia se mantiene constante, en la FM la frecuencia de la portadora varía en función de la amplitud de la señal de entrada. Este método es más resistente al ruido y las interferencias, lo que permite una mejor calidad de transmisión. La cantidad en que la frecuencia de la portadora se desvía, conocida como desviación de frecuencia, depende directamente de la amplitud de la señal modulante. Esto significa que, a mayor amplitud de la señal de entrada, mayor será el cambio en la frecuencia de la portadora. Esta característica hace que la FM sea ideal para aplicaciones donde la claridad y la fidelidad son importantes, como en la radiodifusión de radio y televisión. La robustez de la FM frente a las distorsiones la convierte en una opción preferida en entornos con altos niveles de interferencia [33].

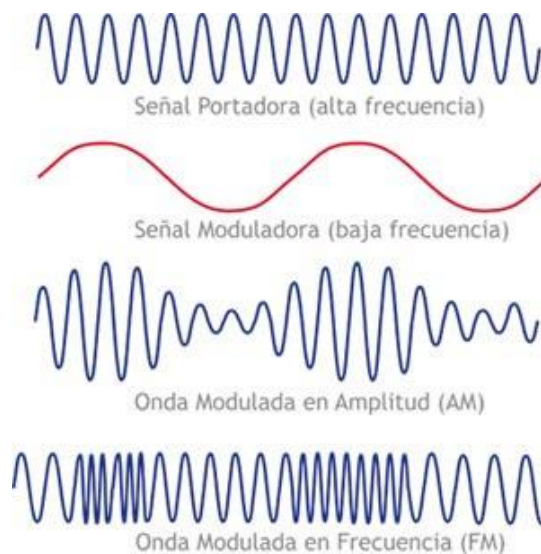


Figura 3.9. Ejemplo de Modulación en amplitud y Modulación en frecuencia [34]

3.4.2.3 Modulación de Fase (PM)

La modulación de fase es un tipo de modulación en la que la fase de la onda portadora cambia según las variaciones de la señal modulante, que puede ser analógica o digital (*ver Figura 3.10*). Al igual que la modulación de frecuencia, la PM pertenece a la categoría de modulaciones exponenciales. En este método, la fase de la portadora se ajusta de manera proporcional a la amplitud de la señal que contiene la información, lo que genera una señal modulada en fase.

Sin embargo, la modulación de fase no es tan común como otras técnicas debido a que los equipos de recepción necesarios son más complejos y costosos. Otro desafío de la PM es la ambigüedad que puede surgir al interpretar la fase de la señal, como distinguir entre una fase de 0° y 180° . A pesar de estas limitaciones, la PM es útil en aplicaciones especializadas donde se requiere una transmisión precisa de la información [35].

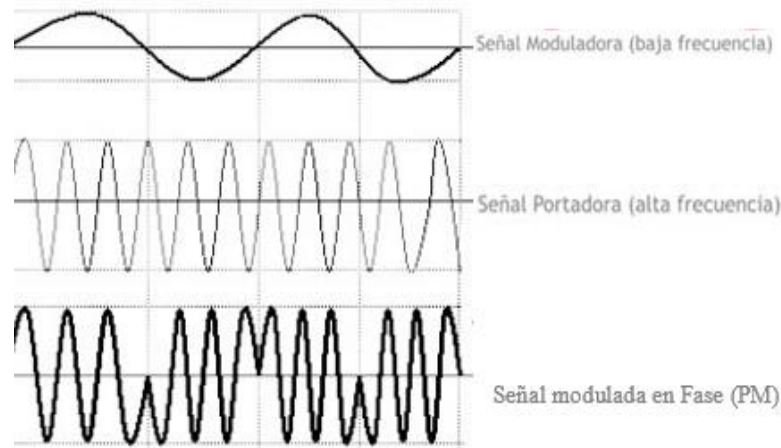


Figura 3.10. Ejemplo de Modulación de fase [36]

3.4.2.4 Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

La modulación ASK es una técnica en la que la señal moduladora, compuesta por datos digitales, varía la amplitud de la onda portadora (ver Figura 3.11). En este método, los dos valores binarios, 0 y 1, se representan mediante dos amplitudes diferentes. Generalmente, uno de los valores se representa con una amplitud constante de la portadora, mientras que el otro se representa con la ausencia total de la señal. Por ejemplo, el dígito 1 puede corresponder a la presencia de la portadora, y el 0 a su ausencia. Esta técnica es ampliamente utilizada en la transmisión de datos digitales a través de fibras ópticas, donde los transmisores con LED o láser emplean pulsos de luz para representar los bits. Esta modulación es eficiente y sencilla, lo que la hace ideal para aplicaciones donde se requiere transmitir información digital de manera rápida y confiable [37].

3.4.2.5 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying)

La modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) es un método que codifica información digital variando la frecuencia de una onda portadora. En este sistema, se asignan dos frecuencias distintas para representar los valores binarios: una para el 0 y otra para el 1. Durante la transmisión, la frecuencia de la portadora cambia entre estos dos valores según los datos que se envían (ver Figura 3.11). Una de las principales ventajas de la FSK es su capacidad para resistir

interferencias y ruido, ya que la información se basa en la frecuencia y no en la amplitud de la señal. Debido a su eficacia, la FSK se emplea en aplicaciones como comunicaciones inalámbricas, sistemas de telemetría y transmisiones de radio, donde es crucial mantener la integridad de los datos [38].

3.4.2.6 Modulación por desplazamiento de fase (PSK, Phase Shift Keying)

La modulación por desplazamiento de fase (PSK, por sus siglas en inglés) es una técnica que modifica la fase de una onda portadora para transmitir información digital. En este método, la fase de la portadora cambia entre un conjunto de valores discretos, los cuales representan los diferentes estados de la señal moduladora (*ver Figura 3.11*). Dado que la señal moduladora es digital, el número de fases posibles es limitado y suele ser una potencia de dos, lo que permite codificar varios bits por cada símbolo. Por ejemplo, en la PSK binaria (BPSK), se utilizan dos fases para representar un bit, mientras que en la PSK cuaternaria (QPSK), se emplean cuatro fases para codificar dos bits. A medida que aumenta el número de fases, como en 8-PSK o 16-PSK, se puede transmitir más información en el mismo ancho de banda. Esta técnica es ampliamente utilizada en sistemas de comunicación digital, como redes inalámbricas y satelitales, donde se requiere un equilibrio entre la cantidad de datos transmitidos y la resistencia a las distorsiones [39].

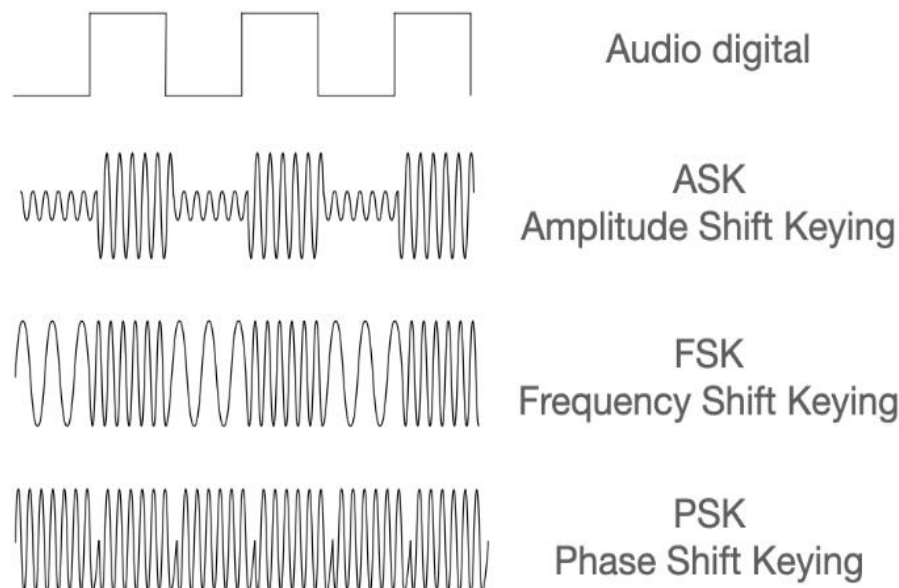


Figura 3.11. Ejemplo de Modulación ASK, FSK y PSK [40]

3.4.3 Radiofrecuencia

La radiofrecuencia (RF) es una parte fundamental del espectro electromagnético, que abarca frecuencias desde 3 Hz hasta 300 GHz. Este rango de frecuencias se utiliza para transmitir

información a través de ondas electromagnéticas. La RF se genera mediante la aplicación de corriente alterna a una antena, lo que permite que las ondas se propaguen a través del espacio (ver Figura 3.12). Este fenómeno se puede observar en dispositivos cotidianos como radios, televisores y teléfonos móviles. La capacidad de la RF para atravesar obstáculos y su habilidad para ser modulada hace que sea ideal para diversas aplicaciones de comunicación [41].

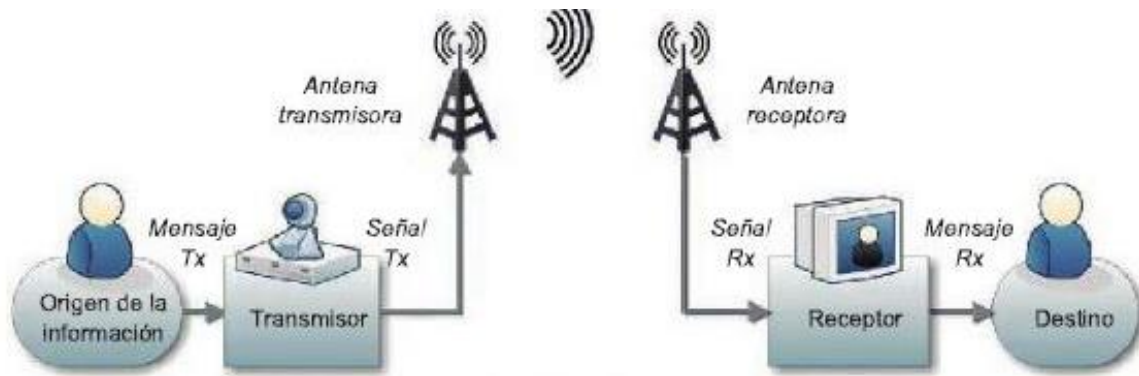


Figura 3.12. Transmisión de información por radiofrecuencia [42]

Una de las ventajas más destacadas de la radiofrecuencia es su capacidad para transmitir datos a largas distancias sin necesidad de cables. Esto es especialmente útil en entornos donde el tendido de cables sería complicado o costoso. En la agricultura, la RF se utiliza para monitorear ganado y cultivos a través de sensores que envían información a un dispositivo central. Esto permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el manejo de sus recursos [43].

La radiofrecuencia es considerada radiación no ionizante, lo que significa que no tiene suficiente energía para alterar átomos o moléculas. Esto hace que su uso sea relativamente seguro en comparación con otros tipos de radiación electromagnética, como los rayos X. Sin embargo, se deben seguir ciertas pautas y regulaciones para garantizar un uso seguro y eficaz de esta tecnología. Con el avance continuo en el campo de las telecomunicaciones y otros sectores, la radiofrecuencia seguirá desempeñando un papel crucial en el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones innovadoras [44].

3.4.4 Tecnologías de comunicación inalámbrica

El avance tecnológico ha generado diversas formas de comunicación que se adaptan a diferentes necesidades y entornos. Existen sistemas diseñados para el ámbito doméstico y otros para aplicaciones industriales. Las diferencias entre ambos radican en factores como la resistencia a interferencias, la velocidad de transmisión y la capacidad de conectar múltiples dispositivos. La elección del sistema adecuado depende del entorno en el que se va a emplear y de las exigencias de la aplicación [45].

3.4.4.1 Tecnología Long Range LoRa

La tecnología LoRa, abreviatura de "Long Range", se posiciona como una solución clave en el desarrollo de redes IoT gracias a su capacidad de optimizar el consumo energético y abarcar amplios rangos de conectividad. Desarrollada originalmente en Francia por Cycleo en 2 012 y posteriormente adquirida por Semtech, esta tecnología utiliza una modulación de amplio espectro diseñada para tolerar el ruido y facilitar la transmisión de señales a través de múltiples trayectorias [46].

Aunque su ancho de banda es reducido, se encuentra perfectamente ajustado a los requerimientos de dispositivos que intercambian pequeñas cantidades de datos a baja velocidad, con tasas que oscilan entre 0.3 kbps y 50 kbps, por ejemplo, cuidado de la salud, Medición y registro del consumo de energía, logística y transporte, entre otros (*ver Figura 3.13*). Una de las características más destacadas de LoRa es su alcance efectivo, que puede extenderse entre 10 y 20 km en condiciones de visión directa. Este alcance lo convierte en una opción ideal para redes que necesitan conectar múltiples dispositivos en áreas extensas. La tecnología opera en diferentes bandas de frecuencia según las normativas del país, siendo comunes las bandas de 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz. Estas frecuencias permiten una conexión eficiente y confiable entre los dispositivos [47].

Entre sus principales características se encuentran [48]:

Cobertura: permite la transmisión de datos a largas distancias, alcanzando hasta 15 km en condiciones óptimas.

Bajo consumo: la eficiencia energética permite que la batería funcione hasta 10 años sin necesidad de reemplazo frecuente.

Rentabilidad: reduce costos operativos a largo plazo al minimizar la intervención manual y optimizar el uso de recursos.

Escalabilidad: facilita la incorporación o sustitución de nodos sin afectar la estabilidad del sistema.

Fiabilidad: su resistencia a interferencias garantiza una comunicación estable en entornos con múltiples dispositivos electrónicos.

Seguridad: protege la información con cifrado AES de 128 bits, asegurando la privacidad en la transmisión de datos.



Figura 3.13. Esquema de aplicaciones de la tecnología LoRa [42]

3.4.4.2 Tecnología Zigbee

Zigbee es una tecnología inalámbrica desarrollada para establecer redes de comunicación eficientes con bajo consumo de energía. Su principal aplicación se encuentra en sistemas IoT, donde se requiere la interconexión de dispositivos mediante una red de sensores. Funciona en la frecuencia de 2,4 GHz a nivel global, aunque en Europa opera en 868 MHz y en China en 784 MHz. Su alcance varía entre 10 y 100 m en línea de visión, dependiendo de factores como la potencia de transmisión y las condiciones del entorno. Para extender la cobertura, utiliza una red mallada en la que los nodos pueden retransmitir datos a otros más alejados. Esto permite una mayor estabilidad en la comunicación y asegura que los datos lleguen a su destino de manera eficiente. Se emplea en automatización del hogar, monitoreo médico y sistemas de control industrial, donde la transmisión segura y el bajo consumo de energía son fundamentales [49].

La topología tipo malla permite que los nodos actualicen dinámicamente la tabla de rutas, lo que mejora la estabilidad y eficiencia en la comunicación. En la red, los nodos pueden desempeñar distintos roles según su función (*ver Figura 3.14*). El coordinador es el nodo principal encargado de crear la red, gestionar el envío de paquetes y aceptar conexiones de otros dispositivos. Generalmente, permanece encendido y conectado a un módulo de comunicación con acceso a Internet para transmitir información a un servidor central. Otro tipo de nodo es el router, que permite el envío de datos en la red, pero sin la capacidad de aceptar nuevas conexiones. Finalmente, los dispositivos finales, conocidos como End Devices, tienen

funciones más simples. Estos nodos pueden recibir y enviar datos, aunque no pueden reenviarlos a otros nodos. Su diseño permite reducir el consumo de energía, ya que pueden entrar en un estado de bajo consumo o "sleep", donde permanecen inactivos hasta que necesiten transmitir o recibir información nuevamente [50].

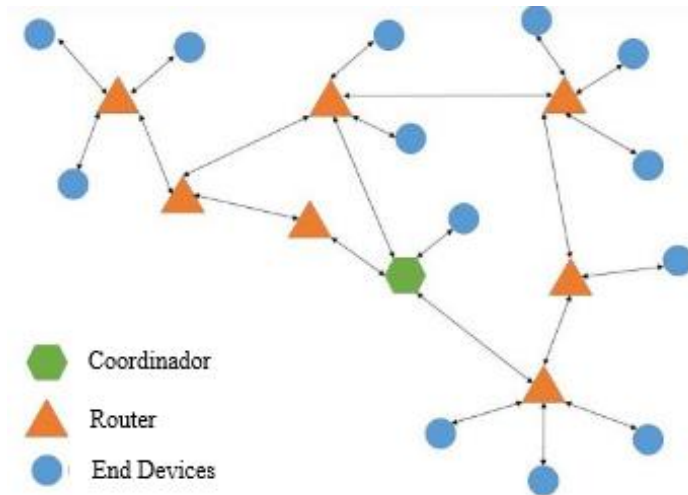


Figura 3.14. Estructura de una red Zigbee [50].

3.4.4.3 Tecnología Bluetooth

La tecnología Bluetooth permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos digitales en distancias cortas. Su funcionamiento se basa en ondas de radio de 2,4 GHz, estableciendo conexiones uno a uno sin necesidad de cables. La potencia de transmisión es de aproximadamente 1 mW lo que limita su alcance a un máximo de 15 m. Esto evita interferencias con otros sistemas que operan en la misma frecuencia. Bluetooth se encuentra en diversos dispositivos electrónicos, facilitando la transmisión de datos entre ellos. Entre los dispositivos que utilizan esta tecnología se encuentran laptops, teléfonos móviles, impresoras y auriculares inalámbricos. También está presente en altavoces, mouses, teclados y relojes inteligentes. Algunos controles de videojuegos, cámaras fotográficas, televisores y automóviles incorporan esta función para mejorar la conectividad y sincronización con otros equipos compatibles [51].

La tecnología Bluetooth permite conectar dos o más dispositivos de forma inalámbrica (ver Figura 3.15), siempre que compartan el mismo perfil. En una conexión Bluetooth, un dispositivo actúa como maestro (master) y los demás como esclavos (slaves), formando una red llamada piconet. Esta red permanece activa hasta que el maestro desactiva la función Bluetooth. Los dispositivos esclavos buscan señales del maestro cada 2.56 s, y la conexión se establece en aproximadamente 1.28 s. Este proceso se conoce como emparejamiento (pairing). Para conectarse, los dispositivos deben estar cerca y tener Bluetooth activado, ya sea mediante un

software, un panel de control o un botón específico. Durante el emparejamiento, se introduce un código PIN de cuatro dígitos para garantizar la seguridad. Este código suele aparecer en la pantalla del dispositivo esclavo o en su manual. Una vez emparejados, los dispositivos se guardan en una lista y se conectan automáticamente cuando están al alcance y Bluetooth está activado. Este sistema asegura una conexión rápida y segura entre dispositivos compatibles. [52]

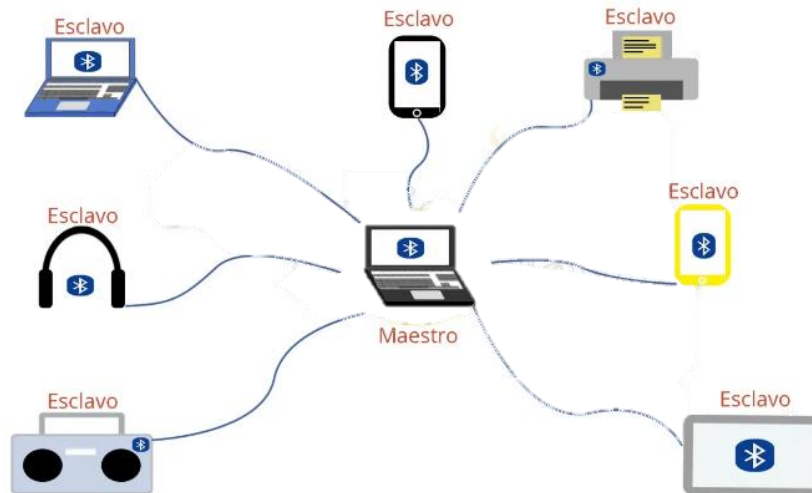


Figura 3.15. Posible conexión para una red Bluetooth [53].

3.4.4.4 Tecnología WiFi

El término Wi-Fi proviene de Wireless Fidelity, que significa "fidelidad inalámbrica". Es una tecnología que permite la transmisión de datos sin cables, utilizada principalmente en redes domésticas para conectar dispositivos como computadoras, smartphones y tablets a una red local. En una conexión Wi-Fi, un adaptador inalámbrico en el dispositivo convierte los datos en una señal de radio, la cual se transmite a través de una antena. Esta señal es recibida por un router inalámbrico, que la decodifica y la envía a internet mediante una conexión física por cable Ethernet como lo muestra la *Figura 3.16*. Este proceso permite que los dispositivos accedan a internet o se comuniquen entre sí sin necesidad de cables, ofreciendo flexibilidad y movilidad. Aunque su uso más común es en hogares, también se aplica en entornos empresariales, educativos y públicos, demostrando su versatilidad en diferentes contextos. [54]

Las redes Wi-Fi funcionan transmitiendo ondas de radio en frecuencias como 2.4 GHz, 5 GHz y 6 GHz para ofrecer conectividad inalámbrica. Las frecuencias más altas, como 5 GHz y 6 GHz, permiten mayores velocidades de transmisión, pero tienen un alcance más limitado. Por otro lado, las frecuencias más bajas, como 2.4 GHz, ofrecen un mayor alcance, aunque a

velocidades menores. Esto significa que la elección de la frecuencia depende de las necesidades específicas, como la distancia y la velocidad requerida. El proceso de conexión comienza cuando un dispositivo envía una solicitud de sondeo para buscar redes disponibles. El router, o punto de acceso Wi-Fi, responde con una baliza que incluye el nombre de la red (SSID), el tipo de cifrado y la intensidad de la señal. Luego, el dispositivo envía una solicitud de autenticación y, si las credenciales (como la contraseña) son correctas, el router asigna una dirección IP al dispositivo. Una vez conectado, el dispositivo puede acceder a internet o comunicarse con otros dispositivos en la misma red. Este sistema bidireccional garantiza una conexión eficiente y sin cables [55].



Figura 3.16. Configuración de una red inalámbrica Wi-Fi [56].

3.4.5 Sistema de Posicionamiento Global

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), desarrollado y operado por los Estados Unidos, es un servicio que ofrece información precisa sobre ubicación, navegación y tiempo. Está compuesto por tres segmentos principales: el espacial, el de control y el del usuario. El segmento espacial incluye una constelación de 24 satélites que transmiten señales unidireccionales para proporcionar datos de posición y sincronización horaria. Los satélites disponen de reloj atómico para tener la hora exacta y emiten sobre las frecuencias de microondas de 1575.42 Mhz y 1227.60 Mhz. Estos satélites están diseñados para operar en órbitas específicas y enviar información continuamente.

El segmento de control consiste en una red de estaciones terrestres distribuidas estratégicamente en diferentes partes del mundo. Estas estaciones monitorean el estado y la ubicación de los satélites, realizan maniobras para mantenerlos en las órbitas correctas y actualizan regularmente la información de navegación transmitida. Y el segmento del usuario comprende los dispositivos receptores de GPS que captan las señales emitidas por los satélites. Estos

dispositivos procesan la información recibida para calcular posiciones tridimensionales y sincronizarse con la hora proporcionada por el sistema [57].

El sistema GPS utiliza dos componentes esenciales para determinar ubicaciones en la superficie terrestre: la latitud y la longitud (*Figura 3.17*). Estas coordenadas geográficas angulares conforman un sistema de referencia planetario que permite identificar cualquier punto en el globo [58]. La latitud define la posición norte-sur de un lugar respecto al ecuador, una línea imaginaria que divide la Tierra en hemisferios Norte y Sur. Esta coordenada es un ángulo medido en grados, comprendido entre -90° y 90° . Los valores negativos corresponden a puntos situados al sur del ecuador, mientras que el 0° indica la línea ecuatorial. Por su parte, la longitud determina la posición este-oeste de un punto en relación con el meridiano de Greenwich, una línea imaginaria vertical que atraviesa la localidad de Greenwich en Londres. Este meridiano sirve como referencia global, dividiendo el planeta en regiones oriental y occidental. Al igual que la latitud, se mide en grados y se utiliza para trazar otros meridianos que recorren la Tierra de manera paralela al de Greenwich [59].

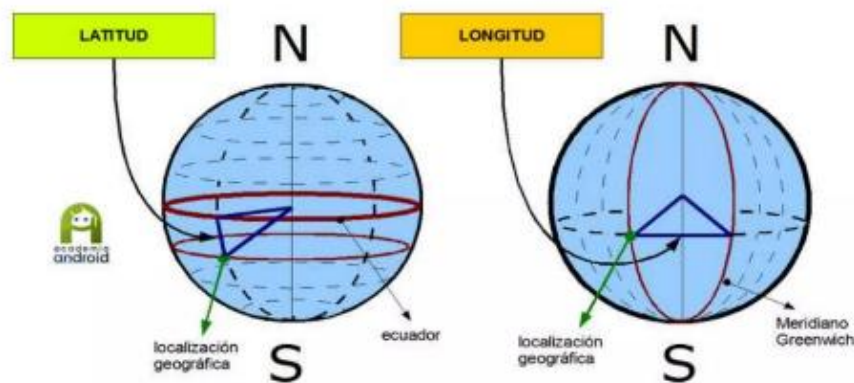


Figura 3.17. Descripción grafica de Longitud y Latitud [60]

La información que proporciona el modelo GPS viene codificada en el formato NMEA, desarrollado por la Asociación Nacional de Electrónica Marina y que se utiliza para transmitir diferentes tipos de información, incluido el posicionamiento GPS. Este protocolo identifica los tipos de datos mediante prefijos en los mensajes, como "\$GPGGA" para datos GPS. Los mensajes \$GPGGA contienen información detallada de las coordenadas GPS, incluidas la hora, latitud, longitud, calidad de señal, número de satélites conectados, precisión horizontal, altitud y otras variables relevantes (*Tabla 3.2*). Típicamente un mensaje enviado por el GPS es: \$GPGGA,181908.00,3404.7041778,N,07044.3966270,W,4,13,1.00,495.144,M,29.200,M,0.10,0,0000*40 donde se refleja datos organizados en un formato estructurado y específico para el

análisis de posicionamiento y navegación haciendo uso de la coma como separación de datos en la cadena de texto [61].

Tabla 3.2. Mensaje enviado en formato NMEA (National Marine Electronics Association) [61]

Valores	Significado
\$GPGGA	Tipo de mensaje
181908.00	Marca de tiempo (UTC)
3404.7041778	Latitud
N	Orientación de latitud
07044.3966270	Longitud
W	Orientación de longitud
4	Calidad
13	Satélites
1.0	HDOP
495.144	Altura del receptor
M	Unidad de altura (pies o metros)
29.200	Separación geoidal
M	Unidad de separación geoidal
1.0	Edad de corrección
0000	ID de la estación de corrección
*40	Suma de verificación
\$GPGGA	Tipo de mensaje

3.4.6 Internet de las cosas

El Internet de las Cosas (IoT) funciona mediante sensores o dispositivos que recopilan datos del entorno y los envían a la nube a través de conexiones como Wi-Fi, Bluetooth o redes de baja potencia (ver *Figura 3.18*). Una vez en la nube, el software procesa la información y decide si es necesario realizar una acción, como ajustar los sensores o enviar una alerta, sin necesidad de intervención humana. Un sistema IoT completo consta de cuatro elementos principales: sensores o dispositivos, que capturan datos; conectividad, que permite enviar esos datos a la nube; procesamiento de datos, donde se analiza la información y se toman decisiones; y una interfaz de usuario, que permite al usuario interactuar con el sistema si es necesario. La elección de la tecnología de conectividad (Wi-Fi, Bluetooth, etc.) depende de la aplicación específica. Además, la IoT utiliza inteligencia artificial y aprendizaje automático para optimizar la recopilación y el análisis de datos, haciendo que los procesos sean más eficientes y automatizados [62].

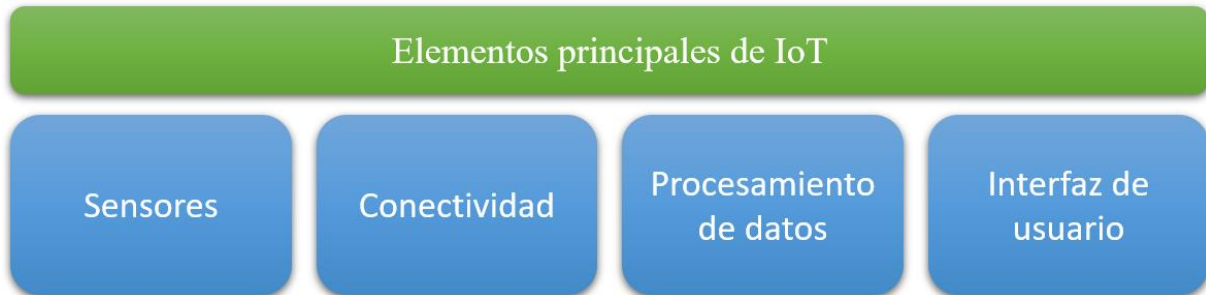


Figura 3.18. Elementos principales de IoT

Los dispositivos IoT son muy variados y miden diferentes parámetros utilizando diversas convenciones y unidades de medida. Aunque existen protocolos propietarios, es probable que los estándares de código abierto sean fundamentales para lograr que estos datos sean interoperables. Los estándares abiertos son esenciales para el éxito de las tecnologías de comunicación inalámbrica y para la comunicación de máquina a máquina en general. Sin embargo, para el despliegue efectivo de aplicaciones IoT, es necesario acelerar la configuración de normas de interoperabilidad [63].

3.4.7 Estándares para tecnologías inalámbricas

Los estándares de comunicación inalámbrica son conjuntos de reglas y procedimientos que permiten a los dispositivos intercambiar información sin necesidad de cables. Estos estándares funcionan utilizando ondas de radio para transmitir datos entre dispositivos, como smartphones, sensores o routers. Cada estándar opera en una banda de frecuencia específica, que determina su alcance y velocidad. Por ejemplo, el Wi-Fi usa frecuencias de 2.4 GHz, 5 GHz y 6 GHz, lo que permite altas velocidades, pero con un alcance limitado. En cambio, tecnologías como LoRaWAN operan en frecuencias de 868 MHz o 915 MHz, lo que les permite alcanzar distancias mayores, aunque a velocidades más bajas.

Los estándares también se regulan por parámetros como el alcance, que define la distancia máxima a la que pueden transmitir datos, y la velocidad, que indica cuántos datos pueden enviarse por segundo como se puede apreciar en la *Tabla 3.3*. Por ejemplo, el Bluetooth tiene un alcance de hasta 100 m y una velocidad de hasta 2 Mbps, mientras que el Zigbee alcanza distancias similares, pero con velocidades menores (hasta 250 kbps). Además, deben cumplir con normas internacionales, como las establecidas por la IEEE o la ITU, que garantizan su compatibilidad y seguridad. [64]

Tabla 3.3. Estándares para distintas tecnologías inalámbricas [64]

Estándar	Banda de frecuencia	Alcance	Velocidad	Aplicaciones principales
Wi-Fi (802.11)	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	Hasta 100 m	Hasta 9.6 Gbps	Redes locales, internet, streaming, IoT
Zigbee (802.15.4)	2.4 GHz, 868 MHz, 915 MHz	Hasta 100 m	Hasta 250 kbps	Domótica, automatización, sensores IoT
Bluetooth (802.15.1)	2.4 GHz	Hasta 100 m	Hasta 2 Mbps	Dispositivos personales, wearables, audio, IoT
GPS (NMEA 0183)	1.2 GHz, 1.5 GHz	Global (satélites)	solo recepción	Navegación, localización, seguimiento
LoRa Wan (802.15.4)	433 MHz, 868 MHz, 915 MHz	Hasta 15 km (rural)	Hasta 50 kbps	IoT de largo alcance, agricultura, monitoreo ambiental
IoT (802.15.4)	Bandas LTE (700-900 MHz)	Hasta 10 km	Hasta 250 kbps	IoT masivo, ciudades inteligentes, medición remota

3.4.8 Protocolos de tecnologías inalámbricas

Los protocolos de comunicación inalámbrica son reglas que permiten a los dispositivos intercambiar información de manera ordenada y eficiente. Estos protocolos funcionan sobre redes inalámbricas, como Wi-Fi o Bluetooth, y definen cómo se envían, reciben y procesan los datos y representan la base de la comunicación en redes, asegurando que los datos lleguen completos y en el orden correcto. Cada protocolo tiene parámetros específicos que regulan su funcionamiento ya sea para solicitar o enviar datos o dividir la información en paquetes. Estos protocolos se adaptan a diferentes necesidades, ya sea para navegar en internet, conectar dispositivos IoT o garantizar la entrega confiable de datos en redes inalámbricas [65].

Los protocolos de comunicación pueden ser abiertos o cerrados. Los protocolos abiertos, están disponibles para que cualquier persona los use, modifique o implemente en sus sistemas, permitiendo una mayor interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. Los protocolos cerrados son desarrollados por empresas y no están disponibles para uso público, no pueden ser replicados o modificados sin autorización, lo que limita su compatibilidad con otros sistemas. La *Tabla 3.4* muestra los protocolos más usados en comunicaciones inalámbricas y se destaca que todos son protocolos abiertos y pueden ser utilizados libremente [64].

Tabla 3.4. Protocolos más comunes en tecnologías inalámbricas [65].

Protocolo	Significado	Descripción	Elementos que regula	Tecnología
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	Conjunto de protocolos que permite la comunicación en redes e internet.	Direccionamiento, enrutamiento y entrega confiable de datos.	Wi-Fi, LoRa
HTTP/HTTPS	Hypertext Transfer Protocol/Secure	Protocolo para transferir páginas web y datos en internet. HTTPS añade cifrado.	Métodos de solicitud (GET, POST), seguridad (TLS/SSL).	Wi-Fi
RFCOMM	Radio Frequency Communication	Emula una conexión serial sobre Bluetooth.	Transmisión de datos en formato serie.	Bluetooth
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol	Proporciona servicios de multiplexación y segmentación de datos en Bluetooth.	Canales lógicos, paquetes de datos.	Bluetooth
ATT/GATT	Attribute Protocol/Generic Attribute Profile	Define cómo los dispositivos Bluetooth Low Energy (BLE) intercambian datos.	Atributos, servicios y características de dispositivos.	Bluetooth
SPP	Serial Port Profile	Permite la comunicación serial entre dispositivos Bluetooth.	Transmisión de datos en formato serie.	Bluetooth
Zigbee Protocol Stack	-	Conjunto de protocolos para redes Zigbee, basado en IEEE 802.15.4.	Capa física (PHY), de red (NWK) y de aplicación (APL).	Zigbee
MQTT-SN	MQTT for Sensor Networks	Versión de MQTT optimizada para redes de sensores inalámbricos.	Publicación/suscripción de mensajes en redes de bajo consumo.	LoRa, Wi-Fi

3.5 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE PROCESAMIENTO

Los dispositivos electrónicos de procesamiento de uso educativo o comercial son herramientas versátiles y de bajo costo utilizadas en una amplia gama de aplicaciones. Estos dispositivos permiten gestionar sensores, actuadores y otros componentes electrónicos, facilitando la creación de proyectos de automatización, robótica, o IoT.

3.5.1 Módulo Arduino Uno

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto basada en hardware y software libre, diseñada para ser flexible y fácil de usar. Permite crear microordenadores de una sola placa que pueden tener diversos usos, desde proyectos educativos hasta aplicaciones complejas. El hardware libre significa que las especificaciones y diagramas de Arduino son públicos, lo que permite a cualquier persona o empresa replicar o modificar las placas. El software libre

incluye el entorno de desarrollo Arduino IDE, que facilita la programación de las placas para darles diferentes funcionalidades. Esta combinación de hardware y software libre hace que Arduino sea accesible y versátil, ideal para creadores y desarrolladores.

Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL, que permite grabar instrucciones mediante programación en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones crean programas que interactúan con los circuitos de la placa. El microcontrolador tiene una interfaz de entrada para conectar periféricos como sensores, cámaras o teclados, los cuales envían datos al Arduino para ser procesados. También cuenta con una interfaz de salida que lleva la información procesada a otros dispositivos, como pantallas, altavoces o incluso otras placas. El tipo de periféricos utilizados depende del propósito del proyecto, permitiendo una gran variedad de aplicaciones, desde capturar imágenes hasta controlar sistemas automatizados. Esta combinación de entradas y salidas hace que Arduino sea una herramienta versátil y poderosa [66].

Tabla 3.5. Principales características técnicas del módulo Arduino Uno [67]

Microcontrolador:	ATmega328P
Voltaje de operación:	5V
Entrada de alimentación:	7-12V
Pines digitales I/O:	14
Pines PWM:	6
Pines analógicos:	6
Corriente por pin:	20 mA
Corriente del pin 3.3.V:	50 mA max
Memoria Flash:	32 KB
SRAM:	2 KB
EEPROM:	1 KB
Velocidad de reloj:	16 MHz
LED programable integrado:	13
Dimensiones:	68.6 x 53.4 mm
Peso:	25 gramos

3.5.2 Módulo ESP32

El ESP32, desarrollado por Espressif Systems, es un módulo microcontrolador reconocido por su versatilidad y rendimiento. Esta placa de desarrollo consta de 30 pines que se pueden configurar de distintas formas de acuerdo con los requerimientos de su aplicación (*Figura 3.19*). Está diseñado sobre el chipset ESP32, que integra un procesador de doble núcleo, conectividad Wi-Fi y Bluetooth en una arquitectura compacta [68].

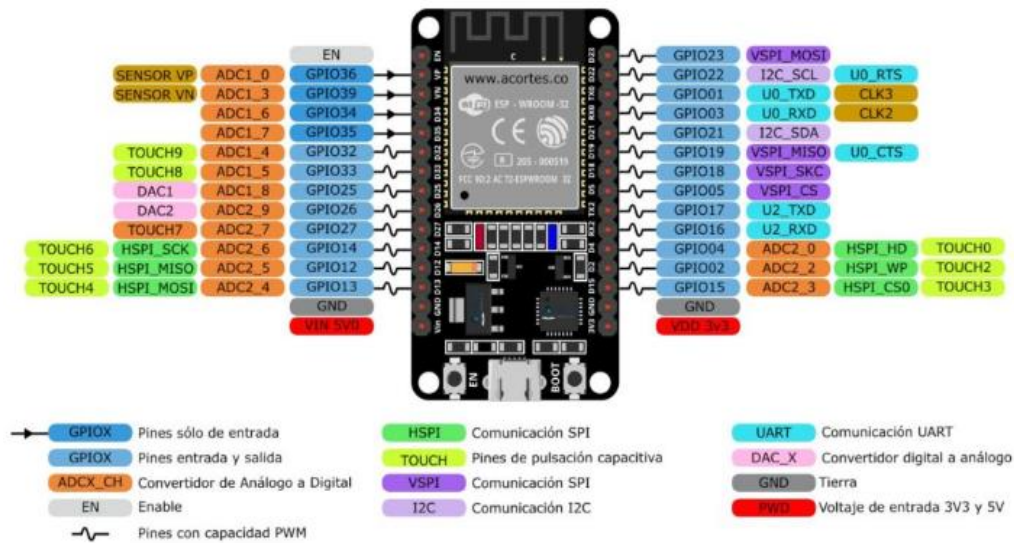


Figura 3.19. Distribución de pines del módulo ESP32 [68]

Este módulo es particularmente relevante en el ámbito de las aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) debido a su capacidad para ofrecer conectividad inteligente con un consumo de energía optimizado. Incluye múltiples interfaces periféricas que permiten interactuar con sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos, lo que amplía su campo de aplicación (Tabla 3.6). Estas características, junto con su tamaño reducido, permiten implementaciones en sistemas donde el espacio y la eficiencia son factores clave [69].

Tabla 3.6. Principales características técnicas del módulo ESP32 [68]

Elemento	Descripción
Microprocesador	Xtensa Dual Core-32bit LX6 con 600 DMIPS
Frecuencia del reloj	240Mhz
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2 BR/EDR y BLE
ROM	384KB
SRAM	520 KB
GPIO	34
Pines PWM (software)	16 canales
SPI	4
I2C	2
UART	2
ADC	2 (12-bit) tipo SAR, soporta hasta 18 canales.
DAC	2 (8-bit)
Vida útil	100 000 h
Interfaz SD	Sí
Timers	4 (64-bit)
LED_BUILTIN	Pin 2
Gen números aleatorios	Sí
Voltaje de operación	3.3V DC (2.7~ 3.6V)
Corriente de operación	~80mA (con fuente de más de 500mA)
Temperatura de operación	-40°C to 125°C

3.5.3 Raspberry Pi

La Raspberry Pi (*ver Figura 3.20*), es una computadora compacta y de bajo costo, del tamaño de una tarjeta de crédito, que puede conectarse a un monitor, teclado y mouse. Funciona con un sistema operativo basado en Linux, permitiendo a personas de todas las edades explorar la computación y aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de realizar tareas comunes como navegar por internet, reproducir videos en alta definición, manejar documentos y ejecutar juegos. Además, la Raspberry Pi puede interactuar con el mundo exterior, lo que la hace ideal para proyectos digitales como reproductores multimedia, detectores de movimiento, estaciones meteorológicas y sistemas de vigilancia. Su versatilidad y accesibilidad la convierten en una herramienta educativa y práctica para aprender sobre programación y el funcionamiento de las computadoras [70].



Figura 3.20. Módulo Raspberry PI [70]

Para mantener su bajo costo, la placa no incluye carcasa, disco duro ni periféricos. En lugar de un disco duro, utiliza una tarjeta microSD para almacenar el sistema operativo y los datos. Es necesario adquirir por separado la fuente de alimentación, teclado, mouse y pantalla, entre otros accesorios. Aunque no es un ordenador de alto rendimiento (*ver Tabla 3.7*), lo que limita su uso en tareas como edición de video o juegos actuales, es una excelente herramienta educativa. Fue creada para facilitar el aprendizaje de programación, robótica y electrónica, permitiendo a los usuarios desarrollar proyectos creativos mientras adquieren conocimientos en estas áreas.

Tabla 3.7. Principales características técnicas del módulo Raspberry PI [71]

Elemento	Descripción
CPU	Broadcom BCM2712 Quad-core Arm Cortex-A76 a 2,4 GHz
GPU	VideoCore VII Soporta OpenGL ES 3.1 y Vulkan 1.2
RAM	4 / 8 GB LPDDR4X
Conectividad	Wi-Fi 5 Bluetooth 5.0 / BLE
Puertos	2 x micro HDMI 2 x USB 3.0 2 x USB 2.0 1 x Gigabit Ethernet con PoE opcional 2 x MIPI de 4 pistas 1 x PCIe 2.0 x1 1 x GPIO 40 pines
Almacenamiento	Ranura microSD Opción para unidades SSD M.2)
Precio	Raspberry Pi 5 (4 GB RAM): 59,95 euros Raspberry Pi 5 (8 GB RAM): 79,95 euros

3.6 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS GPS

Los módulos GPS disponibles para uso no industrial son herramientas útiles para verificar el funcionamiento de esta tecnología y pueden implementarse en proyectos que requieran conocer la ubicación geográfica de objetos o personas.

3.6.1 Módulo GPS NEO-6MV2

La antena del Módulo GPS Neo 6MV2 (*Figura 3.21*) capta las ondas electromagnéticas enviadas por los satélites, que tienen una potencia muy baja, alrededor de -130 dBm, lo que las hace señales débiles. Para mejorar la recepción, el módulo incluye un Amplificador de Bajo Ruido (LNA) que aumenta la potencia de la señal recibida. Luego, un demodulador se encarga de procesar la señal de radiofrecuencia (RF), separando los datos digitales, como la información de posición. De este modo, la señal de RF se convierte en impulsos eléctricos que representan los valores binarios 0 y 1, facilitando la interpretación y uso de los datos. Está diseñado para rastrear hasta 22 satélites simultáneamente en más de 50 canales, lo que garantiza una localización precisa. El módulo opera con un voltaje de 2.7VC a 3.6VC y consume solo 45mA, destacándose por su eficiencia energética. Una característica importante es su modo de ahorro de energía, que reduce el consumo a tan solo 11mA, optimizando la duración de la batería en sistemas autónomos. Este dispositivo cuenta con cuatro pines: GND, Tx, Rx y VCC. Los pines Tx y Rx son fundamentales para la comunicación con un microcontrolador mientras que los otros aportan energía. El módulo NEO-6M combina tamaño compacto, eficiencia y

características avanzadas (Tabla 3.8), convirtiéndose en una opción versátil para proyectos de navegación y monitoreo en tiempo real [72].

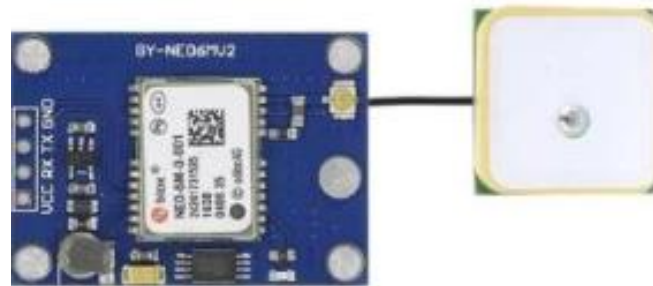


Figura 3.21. Módulo GPS NEO-6MV2 [73]

El módulo GPS NEO-6MV2 presenta limitaciones en espacios cerrados, por lo que se recomienda su uso en áreas abiertas o cerca de ventanas para asegurar una conexión adecuada con los satélites. En condiciones de obstrucción, el módulo no establecerá conexión, no proporcionará coordenadas y el indicador LED permanecerá apagado. Para garantizar un funcionamiento óptimo, es recomendable utilizar una fuente de alimentación externa que proporcione al menos 1A de corriente. Una alimentación insuficiente puede afectar el desempeño del módulo, prolongando los tiempos de conexión y comprometiendo su capacidad para operar en aplicaciones que requieren alta precisión y fiabilidad [72].

Tabla 3.8. Principales especificaciones del módulo GY-NEO6MV2 [74]

Especificaciones técnicas	
Alimentación	2.7VC a 3.6VC
Corriente de alimentación	45 mA
Precisión	2.5 m
Velocidad de comunicación	9600 bps
Dimensiones del módulo	36 mm x 25.9 mm
Dimensiones de la antena	25 mm x 25 mm
Led indicador	Enciende únicamente al recibir y transmitir datos
Vida útil	10 años
Costo	\$9

3.6.2 Módulo SIM808

El módulo SIM808 es un dispositivo integrado que combina funciones de GSM y GPS, permitiendo enviar y recibir SMS, realizar llamadas, transferir datos mediante conexión GPRS y obtener información de posicionamiento GPS. Basado en el chip SIMCOM SIM808, este módulo no solo ofrece capacidades de comunicación GSM/GPRS (similares a los teléfonos móviles 2G), sino también tecnología de navegación por satélite. Al utilizar una tarjeta SIM, es posible enviar y recibir llamadas y mensajes, conectarse a internet y obtener coordenadas

geográficas junto con la hora UTC. Este módulo es ideal para proyectos que requieren seguimiento en tiempo real, sistemas de seguridad o monitoreo remoto. Se controla mediante comandos AT a través de una interfaz serial y puede operar con voltajes de 3.3V o 5V, lo que lo hace versátil y fácil de integrar en diversos proyectos [75].



Figura 3.22. Módulo SIM808 [75]

La *Tabla 3.9* muestra las características técnicas más relevantes del módulo SIM808, entre ellas se encuentra las bandas que puede manejar para redes GSM, la compatibilidad con dispositivos electrónicos de procesamiento, la energía que demanda su uso y el costo económico que conlleva adquirirlo. Todos estos elementos deben ser tomados en cuenta para decidir si se ajusta a los requerimientos del usuario.

Tabla 3.9. Principales especificaciones del módulo SIM808 [76]

Características	Sim808
Tipos de Bandas	850/900/1800/1900 MHz
Compatibilidad	Arduino Uno, Raspberry
Antena GPS externa	Si
Reloj interno	Tiempo Real
Comandos	AT
Consumo de energía	20 mA
Tamaño	5x7.8 cm
Precisión GPS	2.5 m
Costo	\$50

3.7 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE RADIOFRECUENCIA

Los dispositivos electrónicos de radiofrecuencia de uso profesional o industrial suelen presentar costos un poco elevados. Existen otras opciones más económicas que son destinadas para trabajos académicos que brindan varias posibilidades de aplicación dependiendo de las necesidades del usuario.

3.7.1 Módulo LoRa XL1278

El módulo LoRa XL1278 (*Figura 3.23*) utiliza una tecnología llamada Chirp Spread Spectrum (CSS), que se basa en la modulación de espectro expandido. Esta técnica permite enviar señales a largas distancias, incluso con un ancho de banda estrecho y baja potencia, lo que hace que sean menos vulnerables a interferencias. En lugar de una señal constante, se emplea una onda "chirp", que varía su frecuencia de manera continua (conocida como FSK), no transmite corriente o voltaje analógico directamente, sino que trabaja con datos digitales que se convierten en señales de radio, lo que ayuda a distribuir la señal a través de un rango más amplio de frecuencias. Cuando el receptor recibe esta señal, el demodulador se encarga de extraer los datos digitales. En condiciones óptimas, el alcance del módulo es de entre 1 y 2 km en áreas abiertas utilizando la antena estándar (de 3-5 cm tipo resorte). Si se conecta una antena externa de mayor ganancia (5 dBi o más), el alcance puede llegar hasta los 5 km en línea de vista. Sin embargo, en entornos urbanos o con obstáculos, el alcance se reduce a entre 500 m y 1 km debido a las interferencias y a la pérdida de señal. Su puerto de antena está ajustado a una impedancia estándar de 50 ohmios, y el paquete incluye una antena helicoidal diseñada específicamente para operar en la frecuencia de 433 MHz. [77].

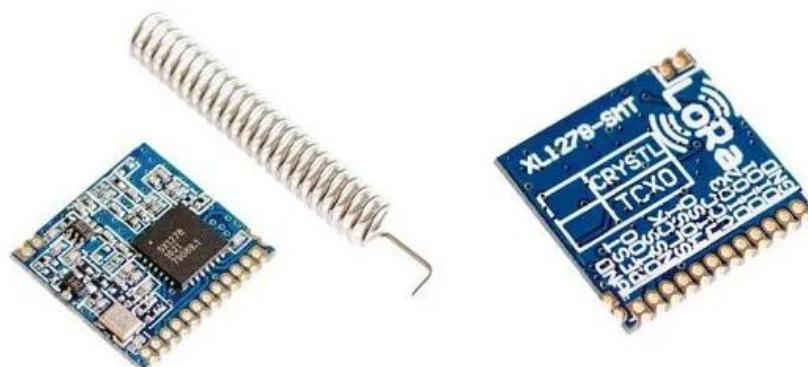


Figura 3.23. Módulo LoRa XL1278 [77]

Este módulo presenta un desafío importante para realizar las conexiones debido a que su diseño presenta 12 pines de conexión (*Tabla 3.10*) pero sus diminutas almohadillas o agujeros de

soldadura en una sola fila y se encuentran más juntas de lo habitual, lo que impide que se utilicen conectores estándar de 2.54 mm. La precisión en la soldadura es crucial, ya que, si dos pines quedan accidentalmente soldados entre sí, separar la unión resulta complicado y provoca el mal funcionamiento del módulo. Este aspecto requiere una manipulación meticulosa y herramientas adecuadas para evitar errores durante el proceso de ensamblaje.

Tabla 3.10. Descripción de pines del módulo XL1278-SMT [78]

Nombre	Descripción
GND	Tierra (0 V)
D101	Entrada/Salida Digital
D102	Entrada/Salida Digital
D103	Entrada/Salida Digital
VCC	Alimentación (Máximo 3.6 V)
MISO	Salida de Datos SPI
MOSI	Entrada de Datos SPI
SLCK	Reloj SPI
NSS	Selección de Chip SPI
D100	Entrada/Salida Digital
REST	Reinicio
ANT	Antena (Impedancia de 50 Ω)

3.7.2 Módulo NRF24L01

El NRF24L01 es un módulo de transmisión inalámbrica (ver Figura 3.24) que opera en la banda ISM de 2.4 GHz, reconocida globalmente, lo que lo hace ideal para proyectos internacionales. Puede cubrir distancias de hasta 100 m en espacios abiertos, siendo útil para aplicaciones de control remoto. Funciona con un voltaje de 3.3V, pero es compatible con un rango de 3.2V a 5V, lo que facilita su integración en diferentes circuitos sin necesidad de componentes adicionales. Una de sus características principales es la capacidad de manejar hasta 125 canales, permitiendo que un dispositivo maestro se comuniquen con hasta 6 dispositivos esclavos simultáneamente, ideal para redes complejas. Incluye componentes como un generador de alta frecuencia, un controlador de tiempo preciso y un amplificador de potencia, que garantizan transferencia de datos rápida y eficiencia energética [79].



Figura 3.24. Módulo NRF24L01 [79]

Es utilizado en diversas aplicaciones que requieren comunicación inalámbrica de corto alcance y bajo consumo energético. Uno de los usos más comunes es en la transmisión de datos entre microcontroladores, permitiendo la comunicación sin necesidad de cables. Se aplica en sistemas de domótica, facilitando el control remoto de luces, sensores y electrodomésticos. En el ámbito de la robótica, permite la interacción entre robots o el control de vehículos a distancia sin interferencias. También es utilizado en telemetría, enviando datos de sensores en tiempo real para su monitoreo en aplicaciones industriales o agrícolas. En videojuegos, se implementa en el desarrollo de controles inalámbricos para mejorar la experiencia del usuario. La *Tabla 3.11* presenta una descripción detallada de las características técnicas más relevantes del módulo, permitiendo identificar claramente su funcionamiento.

Tabla 3.11. Características técnicas del módulo NRF24L01

Característica	Especificación
Frecuencia de operación	2.4 GHz ISM
Velocidad de transmisión	250 kbps, 1 Mbps, 2 Mbps
Modulación	GFSK
Alcance	Hasta 100 metros en condiciones óptimas
Tensión de operación	1.9V - 3.6V (generalmente 3.3V)
Consumo en transmisión	~11.3 mA (a 0 dBm)
Consumo en recepción	~13.5 mA
Modo de bajo consumo	900 nA
Número de canales	125 canales seleccionables
Número de pines	8 pines (VCC, GND, CE, CSN, SCK, MOSI, MISO, IRQ)
Protocolo de comunicación	SPI
Direcciones de comunicación	Hasta 6 direcciones de recepción simultánea
Potencia de salida	Configurable: -18 dBm, -12 dBm, -6 dBm, 0 dBm
Antena	Integrada
Temperatura de operación	-40°C a 85°C
Tamaño del buffer de datos	32 bytes por paquete

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Para el desarrollo del proyecto “Diseño y construcción de un sistema de detección y monitoreo para ganado bovino mediante Radiofrecuencia e IoT”, en primer lugar, se planteó varias etapas secuenciales que permitan su eficiente ejecución.

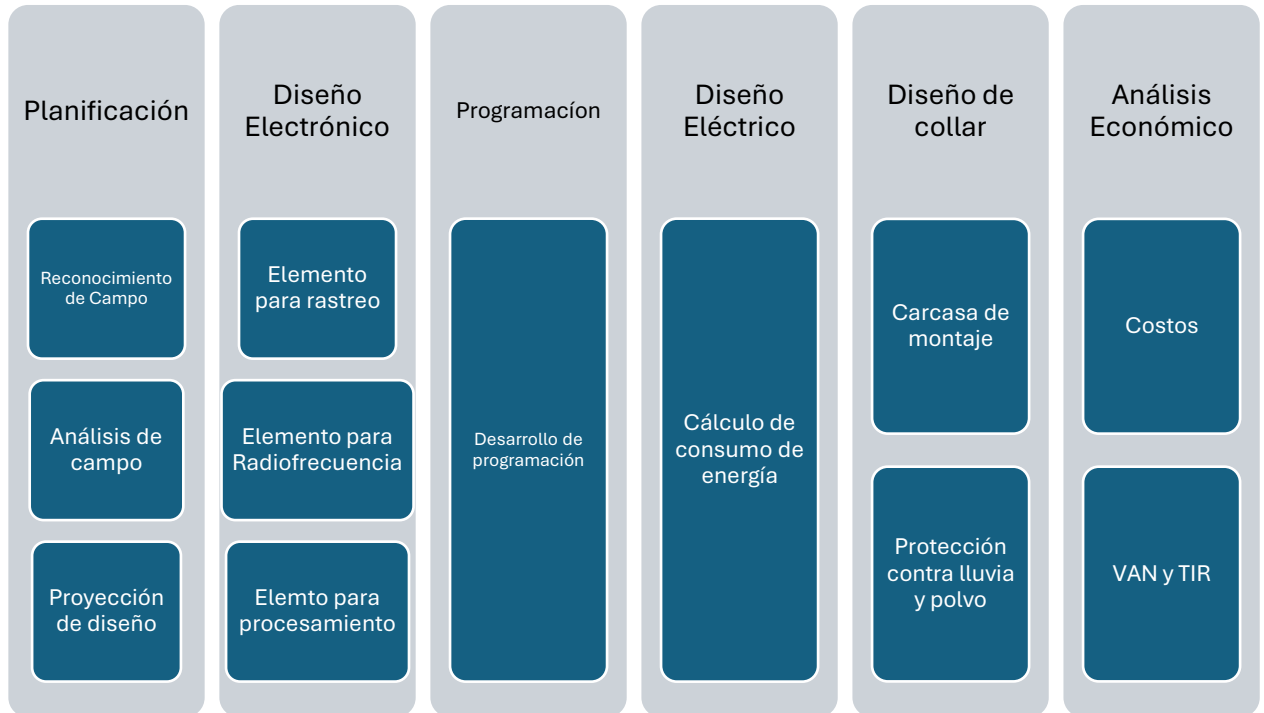


Figura 4.1. Etapas para la implementación del proyecto

La *Figura 4.1* describe las actividades que se realizarán para cumplir con el desarrollo del proyecto. Se encuentran organizadas en varias etapas para garantizar un desarrollo eficiente. Primero, se realizó el reconocimiento del área, analizando el entorno donde será aplicado y tras una evaluación de necesidades se diseñará una solución que defina los parámetros clave para su desarrollo. En la etapa de diseño electrónico, se seleccionan y configuran los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema. La parte de programación se enfoca en el desarrollo del código para el control de los elementos electrónicos seleccionados, asegurando su correcto desempeño. El apartado para diseño eléctrico, se abarca las exigencias de energía del diseño, considerando la alimentación y consumo de los componentes electrónicos seleccionados. Dado que se requiere una carcasa de montaje para los componentes del Transmisor con características de collar, sus condiciones prácticas exigen una protección efectiva contra la lluvia y el polvo. Finalmente, la sección de análisis económico evalúa los costos involucrados y la viabilidad del proyecto.

4.1 PLANIFICACIÓN

Este sistema se implementó en la Comuna La Cooperativa, ubicada en el Barrio Alpamalag de Ramospamba, perteneciente al cantón Pujilí, en la provincia de Cotopaxi

4.1.1 Reconocimiento de campo

Se trata de un sector rural cuenta con una extensión territorial de 6 969 m² (*Figura 4.2*), con aproximadamente 69 m de ancho por 101 m de largo, lo que lo convirtió en un espacio adecuado para este proyecto piloto. En esta comunidad, se identificó una población de 1 vaca que serán monitoreada como parte de la solución tecnológica. El entorno rural de esta área presenta características particulares, como la necesidad de proteger el ganado frente a posibles pérdidas o robos, situaciones comunes en zonas de difícil acceso y vigilancia limitada. La selección de esta localidad responde a las condiciones del terreno y la disponibilidad de un grupo pequeño de animales que permiten evaluar la funcionalidad del sistema en un contexto real.

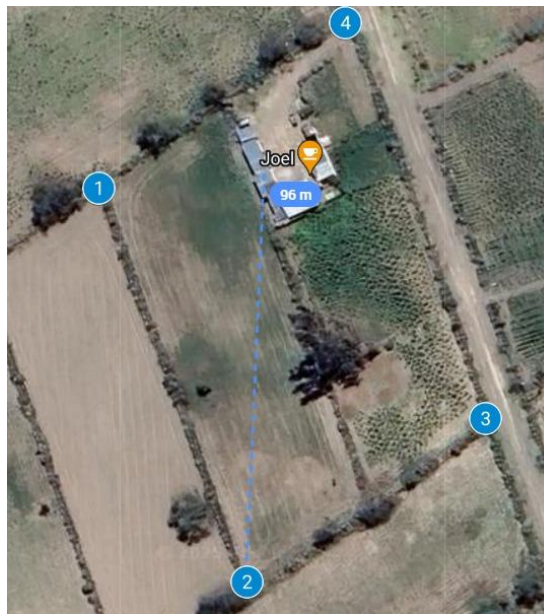


Figura 4.2. Coordenadas delimitantes del área en el Barrio Alpamalag de Ramospamba, Pujilí, Cotopaxi.

La *Figura 4.2* presenta una representación aérea del sitio donde se implementó el proyecto. Se trata de un terreno con superficie casi uniforme, cuya delimitación puede establecerse a través de cuatro puntos geográficos situados en cada una de sus esquinas. La distribución de estos puntos forma una figura geométrica con características de un paralelogramo. Para definir con precisión los límites del área, se registraron las coordenadas exactas en cada vértice, permitiendo un análisis detallado de la ubicación y extensión del espacio utilizado. Las coordenadas obtenidas fueron:

Punto 1 (Latitud: –1.01804, Longitud: – 78.65803)

Punto 2 (Latitud: – 1.01888, Longitud: – 78.65772)

Punto 3 (Latitud: – 1.01853, Longitud: – 78.65721)

Punto 4 (Latitud: – 1.01769, Longitud: – 78.65751)

4.1.2 Análisis de campo

El área analizada cuenta con una edificación que ocupa menos de una cuarta parte de la superficie total. No se detectó un cerramiento estructural sólido, pero existen plantas distribuidas en los límites del terreno que actúan como una delimitación natural. Estas no presentan una altura considerable y no representan una barrera significativa para el acceso. Al interior del terreno, cerca del centro, se encuentra un árbol de dimensiones considerables. Aunque su tamaño es notable, no genera una obstrucción relevante en la línea de visión hacia la construcción. En los alrededores del área delimitada no se identificaron estructuras de gran tamaño que puedan representar obstáculos importantes. Las condiciones del entorno favorecen la propagación de señales sin interferencias significativas, lo que reduce la posibilidad de pérdidas en la transmisión de información.

El análisis general del entorno indicó que las condiciones físicas del terreno son favorables para la correcta transmisión de datos. La ausencia de construcciones adicionales y la distribución de los elementos al interior del área permiten que las señales inalámbricas se propaguen con estabilidad.

Tomando en cuenta las necesidades en la práctica, la solución planteada con el presente proyecto de investigación consiste en un sistema de detección y monitoreo para ganado bovino con el uso de tecnologías de radiofrecuencia para la transmisión de datos de forma inalámbrica con un concepto innovador llamado IoT (Internet of Things) para la tranquilidad para los ganaderos y sus recursos.

4.1.3 Proyección de diseño

Dado que el rastreador se colocará en el ganado bovino, se plantea la viabilidad de estructurar el sistema en dos componentes principales: un Transmisor, encargado de obtener y enviar la información sobre la ubicación de la vaca, que deberá ser resistente a condiciones comunes como polvo y lluvia, y un Receptor, que recibirá la información y alertará al ganadero en dos situaciones clave: cuando el animal haya salido del área delimitada o cuando se haya cortado el

collar. Estas dos condiciones abordan de manera efectiva el riesgo de extravío o robo del ganado.

Es necesario cubrir un área total de monitoreo de 6 969 m², en la cual la vaca se situará de forma cotidiana. Como se muestra en la *Figura 4.2*, se debe garantizar una distancia mínima de 96 m para que la información se transfiera desde el Transmisor hasta el Receptor del sistema de monitoreo. Además, se plantea que el sistema esté operativo durante 24 h, presentando las alertas de manera clara y legible para el usuario.

A continuación, se detallan las características clave que el desarrollo del sistema abordará, asegurando que se cumplan los requisitos previamente establecidos.

- a. **Identificación individual:** Cada animal debe contar con un dispositivo único que lo diferencie del resto, permitiendo su reconocimiento en el sistema.
- b. **Monitoreo de ubicación en tiempo real:** La posición geográfica de cada animal debe registrarse de manera continua mediante coordenadas GPS, garantizando una localización precisa.
- c. **Alcance de transmisión de datos:** La transferencia de la información debe asegurarse a mínimo 96 m.
- d. **Capacidad de conexión multipunto:** El sistema debe permitir la interacción simultánea de múltiples dispositivos electrónicos, asegurando una comunicación eficiente entre todos los animales monitoreados.
- e. **Gestión centralizada de la información:** Se requiere un elemento que administre los datos transmitidos por cada dispositivo, organizando y almacenando la información de manera estructurada.
- f. **Conectividad con Internet:** Es necesario que los dispositivos electrónicos sean compatibles con la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), permitiendo el acceso remoto a la información recopilada.
- g. **Bajo consumo energético:** Los dispositivos deben ser diseñados para operar con un consumo mínimo de energía, optimizando la duración de la batería y reduciendo la necesidad de recargas constantes.
- h. **Compatibilidad con diferentes tecnologías de comunicación:** El sistema debe ser capaz de operar con protocolos inalámbricos abiertos.
- i. **Escalabilidad del sistema:** La arquitectura debe permitir la incorporación de más animales o sensores sin afectar el rendimiento de la red de monitoreo.

- j. Fácil instalación y mantenimiento:** Los dispositivos deben diseñarse para una instalación rápida y sencilla, minimizando la necesidad de ajustes constantes o revisiones frecuentes.
- k. Costos accesibles:** Se debe mantener precios bajos para que sean accesibles a una mayor cantidad de personas.

4.2 DISEÑO ELECTRÓNICO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE MONITOREO

El desarrollo del circuito electrónico se realizó considerando los requerimientos específicos del sistema destinado a la identificación y supervisión del ganado bovino. Se analizaron las condiciones en las que debe operar el dispositivo, garantizando que cada componente seleccionado cumpla con los parámetros de funcionamiento necesarios.

4.2.1 Selección del módulo GPS

Para la selección del módulo GPS se evaluaron dos opciones: el módulo GPS NEO-6MV2 y el módulo SIM808. Se tomó en cuenta las necesidades identificadas del sistema de monitoreo dando prioridad al funcionamiento, dimensiones y costos.

Tabla 4.1. Comparación entre el módulo GPS NEO-6MV2 y el módulo SIM808

Característica	Módulo GPS NEO-6MV2	Módulo SIM808
Funciones principales	Recepción de señales GPS	GPS, GSM, GPRS y Bluetooth
Protocolos de comunicación	UART, SPI, I2C	UART, AT Commands para GSM/GPRS
Frecuencia de operación	1.57542 GHz (GPS L1)	850/900/1800/1900 MHz (GSM)
Precisión GPS	2.5 metros CEP	2.5 metros CEP
Tasa de actualización	1 Hz (configurable hasta 10 Hz)	1 Hz (configurable)
Sensibilidad	-161 dBm	-165 dBm (GPS), -107 dBm (GSM)
Consumo de energía	45 mA (activo), 20 mA (en espera)	20 mA (en espera), hasta 2A (transmisión GSM)
Voltaje de alimentación	2.7V - 3.6V	3.4V - 4.4V
Interfaces disponibles	UART, I2C, SPI	UART, GPIO, ADC, PWM
Antena	Externa (conector u.FL o SMA)	Externa (GSM y GPS, conectores SMA)
Soporte de batería	No integrado	Soporta batería Li-Ion (gestión de carga integrada)
Dimensiones	16 x 12.2 x 2.4 mm	24 x 24 x 3 mm
Peso	5 gramos	7 gramos
Costo aproximado	\$5 - \$15 USD	\$15 - \$30 USD
Aplicaciones comunes	Rastreo GPS, navegación, drones, robótica	Rastreo GPS, IoT, comunicación remota, SMS, llamadas

En la *Tabla 4.1* se aprecia que el Módulo GPS NEO-6MV2 destaca por su tamaño compacto, bajo consumo de energía y precisión en la localización. Este módulo es ideal para proyectos que requieran obtener coordenadas geográficas de forma eficiente sin necesidad de muchos recursos adicionales. Su capacidad para conectarse a través de un puerto serial lo hace fácil de integrar en sistemas como Arduino, ESP32 o Raspberry Pi.

El módulo SIM808 combina funciones de GPS con un módulo GSM, lo que permite enviar y recibir datos a través de la red móvil. Este módulo es útil en situaciones donde se requiere no solo la localización, sino también la transmisión de información a distancias más largas, especialmente en áreas fuera de cobertura Wi-Fi. Sin embargo, el SIM808 tiene un mayor consumo de energía y tamaño, lo que lo hace menos adecuado para proyectos que buscan eficiencia energética y compacidad.

Ambos módulos se compararon en función de sus características técnicas, y la elección se basó en las necesidades del proyecto. El módulo GPS NEO-6MV2 se seleccionó debido a su simplicidad y bajo consumo, mientras que el SIM808 se descartó por su mayor complejidad y demanda energética.

4.2.2 Selección del módulo de radiofrecuencia

Se llevó a cabo una comparación detallada entre los módulos de radiofrecuencia LoRa XL1278 y NRF24L01, evaluando sus características técnicas y su aplicabilidad en el contexto del proyecto. Ambos módulos tienen como función principal la transmisión de datos a través de radiofrecuencia, pero se diferencian notablemente en su alcance, consumo energético y capacidades de comunicación.

Tabla 4.2. Comparación entre el módulo LoRa XL1278 y el módulo NRF24L01

Característica	Módulo LoRa XL1278	Módulo NRF24L01
Alcance	Hasta 15 km (dependiendo de condiciones)	Hasta 100 metros (en condiciones ideales)
Consumo de Energía	Bajo consumo en modo de espera, pero más alto durante la transmisión	Muy bajo consumo en reposo y transmisión
Tamaño	Más grande (generalmente entre 20x20 mm y 40x40 mm)	Más pequeño (aproximadamente 27x15 mm)
Alimentación	3.3V a 5V	3.3V
Número de Dispositivos en Red	Puede manejar muchas estaciones en la misma frecuencia (redes masivas)	Maneja varios dispositivos en la misma red pero con menor alcance
Conexión Serial	UART, SPI	SPI
Interferencia	Baja interferencia en largas distancias	Puede haber más interferencia por otros dispositivos en la misma frecuencia (2.4 GHz)

Al analizar la *Tabla 4.2*, se destacan diferencias importantes que influyó en la elección del módulo más adecuado para el proyecto.

El Módulo LoRa XL1278 se destaca principalmente por su alcance, que puede llegar hasta 15 km dependiendo de las condiciones, lo que lo hace ideal para aplicaciones de largo alcance y redes IoT en áreas rurales o con obstáculos. Esta capacidad de alcance es una ventaja significativa cuando se requiere cubrir grandes distancias o áreas extensas. Además, su bajo consumo de energía en modo de espera es un punto favorable para proyectos que necesiten operación a largo plazo con baterías.

El Módulo NRF24L01 es más pequeño, económico y tiene un bajo consumo de energía tanto en reposo como en transmisión. La velocidad de transmisión del NRF24L01 es superior, alcanzando hasta 2 Mbps, lo que lo convierte en una opción atractiva para aplicaciones que requieren mayor velocidad de datos a corta distancia, sin embargo, su alcance se limita a unos 100 m lo que no cumple con las necesidades del sistema y fue descartado.

En este caso se elige el Módulo LoRa XL1278 debido a su notable capacidad de transmisión a largas distancias. La necesidad de cubrir grandes áreas y la prioridad del alcance sobre la velocidad de transmisión hacen que sea la opción más adecuada para el proyecto en cuestión.

4.2.3 Selección del módulo de procesamiento

La elección del módulo de procesamiento adecuado se realizó en función de varios factores técnicos y las necesidades específicas del proyecto. En este caso, se evaluaron tres opciones: el Módulo Arduino Uno, el Módulo ESP32 y la Raspberry Pi, cada uno con características particulares que pueden influir en el rendimiento del sistema.

Tabla 4.3. Comparación entre el módulo Arduino Uno, módulo ESP32 y Raspberry Pi

Característica	Módulo Arduino Uno	Módulo ESP32	Raspberry Pi
Protocolos de Comunicación	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C, Bluetooth, Wi-Fi	UART, SPI, I2C, Ethernet, Wi-Fi
Consumo de Energía	Bajo (50-100 mA en reposo)	Bajo a moderado (80-200 mA)	Alto (500-1000 mA, dependiendo del modelo)
Tamaño	68.6 x 53.4 mm	55 x 25.5 mm	85.6 x 56.5 mm (Raspberry Pi 3)
Alimentación	5V (por USB o fuente externa)	3.3V (requiere regulador de 5V)	5V (adaptador de corriente)
Soporte para Wi-Fi	No	Sí (Wi-Fi integrado)	Sí (Wi-Fi en modelos 3B+ y 4)
Facilidad de Uso	Muy fácil (ideal para principiantes)	Moderada (requiere algo de experiencia)	Moderada (requiere conocimiento en sistemas operativos)

La Tabla 4.3 muestra varias diferencias clave que son importantes al momento de seleccionar el módulo más adecuado para el proyecto. En términos de comunicación, tanto el Módulo ESP32 como la Raspberry Pi ofrecen soporte para Wi-Fi, sin embargo, el módulo Arduino Uno no soporta Wi-Fi de manera nativa.

El consumo de energía es otro factor relevante. El Arduino Uno tiene un bajo consumo, lo que lo hace adecuado para proyectos simples y de larga duración sin necesidad de recargar o cambiar frecuentemente la fuente de alimentación. La Raspberry Pi, en cambio, tiene un consumo significativamente más alto, lo que puede ser una desventaja en aplicaciones donde la eficiencia energética es importante. El ESP32 se presenta como un equilibrio entre estos dos, con un consumo moderado pero suficiente para ofrecer características avanzadas como Wi-Fi y Bluetooth sin un alto consumo de energía.

En cuanto al costo, el Arduino Uno es la opción más económica, seguido del ESP32, mientras que la Raspberry Pi es considerablemente más cara. Esto es relevante cuando se busca una opción asequible, especialmente si el proyecto no requiere un alto poder de procesamiento o un sistema operativo completo.

Dado que el proyecto necesita conectividad Wi-Fi y debe mantenerse en un presupuesto moderado, el Módulo ESP32 es la opción ideal. Ofrece equilibrio entre capacidad de procesamiento, bajo costo y soporte para Wi-Fi, lo que lo hace la elección adecuada para aplicaciones IoT y proyectos que requieren conectividad inalámbrica.

4.2.4 Transmisor del sistema de monitoreo propuesto

El transmisor del sistema de monitoreo bovino propuesto se llamará Transmisor 01, se diseñó para funcionar como un dispositivo compacto y eficiente, compuesto principalmente por tres dispositivos electrónicos: el módulo ESP32, el módulo GPS NEO-6MV2 y el módulo LoRa XL1278. Cada uno de estos elementos cumple un rol específico en sistema, garantizando que la información sobre la ubicación del ganado sea capturada, procesada y transmitida de manera efectiva (*Figura 4.3*).

El módulo GPS NEO-6MV2 es el encargado de obtener las coordenadas geográficas, incluyendo los valores de latitud y longitud. Este componente recibe señales de satélites que permiten determinar con precisión la ubicación del animal portador del Transmisor 01. La información obtenida es crucial para definir si el ganado se encuentra al interior de los límites del área predefinida o si ha cruzado las fronteras establecidas.

El módulo ESP32 actúa como el procesador central del Transmisor 01. Una vez que recibe coordenadas GPS, las compara con los valores almacenados correspondientes al área segura. Si se detecta que el animal ha salido del perímetro establecido, se genera una alarma que contiene información relevante, como las coordenadas actuales del animal. Este módulo está configurado para realizar estas verificaciones de manera rápida y eficiente, gracias a su capacidad para manejar múltiples tareas simultáneamente.

Por último, el módulo LoRa XL1278 se encarga de transmitir la información de la alarma hacia el receptor del sistema. Este módulo está configurado para priorizar el alcance de la señal, permitiendo la transmisión de datos a largas distancias, incluso en áreas rurales donde las condiciones para la comunicación suelen ser más desafiantes. Aunque esta configuración sacrifica en cierta medida la velocidad de transmisión, el retardo generado es prácticamente imperceptible, asegurando que las alarmas lleguen al receptor de manera confiable y oportuna.

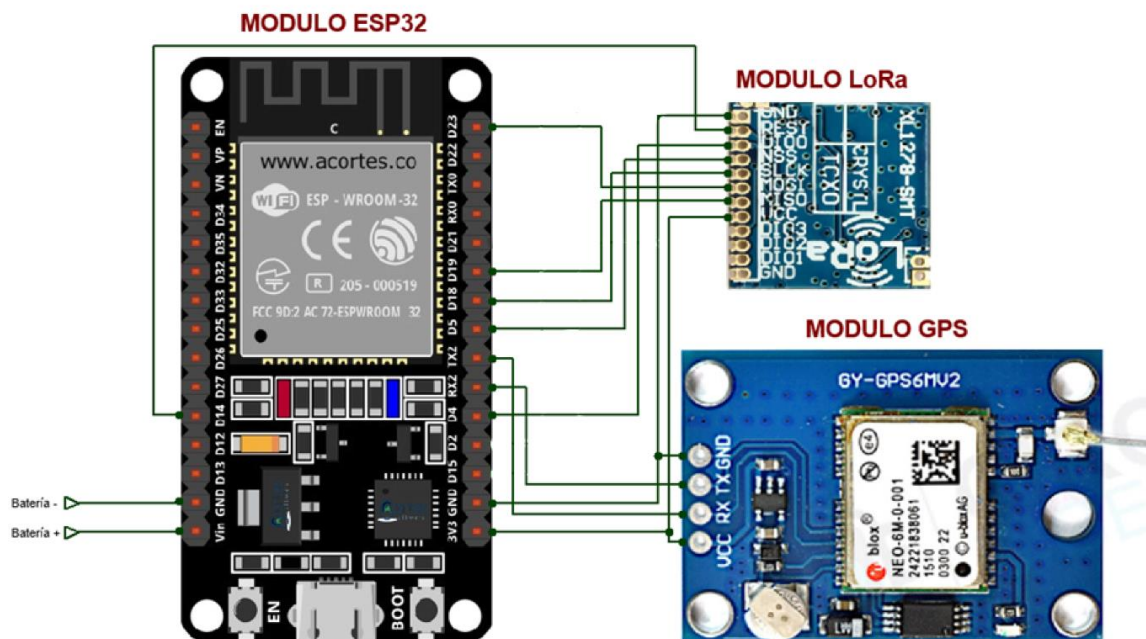


Figura 4.3. Conexión de los elementos del Transmisor 01

Con base en las características del Módulo ESP32 detalladas en la *Figura 3.19*, las propiedades de cada pin son esenciales para establecer las conexiones con los demás módulos. Esto se debe a que las características asociadas a los protocolos de comunicación son específicas y deben ser declaradas en la programación, según se indica en el *Anexo 1*. Las conexiones del Transmisor 01 se presentan de forma más clara y legible en el *Anexo 4*.

Los GPIO# (General Purpose Input/Output o Entrada/Salida de Propósito General) del ESP32 son pines de propósito general que pueden configurarse como entradas o salidas, dependiendo de sus características y la distribución de los pines.

LoRa usa la interfaz SPI (Serial Peripheral Interface) para la comunicación con el ESP32, donde el ESP32 actúa como el máster y LoRa como el esclavo. Los pines DIO1, DIO2 y DIO3 son pines de interrupción digital que se usan para indicar eventos, como la finalización de la transmisión o la recepción de paquetes. Estos pines no son esenciales para la comunicación básica SPI, pero son útiles para optimizar y controlar las transmisiones, permitiendo que el ESP32 reaccione a eventos sin realizar comprobaciones constantes. DIO1 indica cuando LoRa termina de transmitir o recibir un paquete. DIO2 puede señalar la finalización de la transmisión o el control de frecuencia, y DIO3 se utiliza para eventos como "paquete recibido". Sin embargo, para la comunicación básica, los pines NSS, MOSI, MISO, y SLCK son los más importantes. Por otro lado, el GPS NEO-6M utiliza UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), un protocolo asíncrono, para enviar y recibir datos a través de los pines TX (Transmisión) y RX (Recepción)

Las conexiones entre el módulo LoRa XL1278 y el módulo ESP32 se organizan de la siguiente forma:

- GND (LoRa) → GND (ESP32): Ambos módulos, LoRa y ESP32, necesitan una referencia común de tierra (GND) para funcionar. Esta conexión es esencial porque la corriente fluye de manera estable entre los dispositivos
- VCC (LoRa) → 3.3V (ESP32): LoRa SX1278 generalmente opera con una alimentación de 3.3V. El ESP32 también es un microcontrolador de 3.3V, por lo que es necesario alimentar ambos dispositivos con el mismo voltaje de 3.3V.
- NSS (LoRa) → Pin D5 (GPIO5, ESP32): El pin NSS (Chip Select) de LoRa es un pin de selección de chip en la comunicación SPI. Este pin le indica al módulo LoRa si debe ser el receptor o transmisor activo y se utiliza para "habilitar" el módulo LoRa para enviar o recibir datos. Se conecta a un pin de propósito general del ESP32, en este caso GPIO5, que está configurado para actuar como "chip select" durante la comunicación SPI. El ESP32 maneja la selección del chip en la comunicación con LoRa mediante este pin.
- MOSI (LoRa) → Pin D23 (GPIO23, ESP32): MOSI significa "Master Out Slave In", y es la línea de comunicación utilizada en la interfaz SPI donde el ESP32 envía datos al LoRa. GPIO23 en el ESP32 es un pin de propósito específico para la salida de datos en SPI. Al

conectar MOSI a este pin, el ESP32 puede enviar los datos al LoRa a través de la interfaz SPI.

- MISO (LoRa) → Pin D19 (GPIO19, ESP32): MISO significa "Master In Slave Out", y es la línea de comunicación utilizada en la interfaz SPI por la cual LoRa envía datos al ESP32. GPIO19 en el ESP32 está configurado para recibir datos de LoRa. MISO se utiliza para que LoRa envíe datos al ESP32 en la comunicación SPI.
- SLCK (LoRa) → Pin D18 (GPIO18, ESP32): El pin SLCK de LoRa es el "Serial Clock" o "Clock" para la comunicación SPI, pero en el caso del módulo SX1278 (LoRa), este pin se llama SLCK y se comporta de la misma manera que un pin SCK en una interfaz SPI convencional. El ESP32 usa el pin GPIO18 para proporcionar la señal de reloj (Clock) en la comunicación SPI. Esta señal sincroniza la transmisión y recepción de datos entre el ESP32 y el módulo LoRa, garantizando que la información se transfiera en el momento adecuado.
- REST (LoRa) → Pin D14 (GPIO14, ESP32): El pin de reset (REST) es utilizado para reiniciar el módulo LoRa. Al enviar una señal de bajo nivel en este pin, se reinicia el módulo LoRa. GPIO14 se conecta a este pin para permitir al ESP32 resetear el módulo LoRa cuando sea necesario, generalmente al iniciar o al finalizar una comunicación.
- DIO0 (LoRa) → Pin D4 (GPIO4, ESP32): DIO0 es un pin de interrupción digital que LoRa usa para indicar eventos importantes, como la finalización de una transmisión o la recepción de un paquete de datos. GPIO4 se configura como una interrupción en el ESP32, lo que permite que el microcontrolador responda inmediatamente cuando LoRa envía una señal de interrupción.

Las conexiones entre el módulo GPS NEO 6M y el módulo ESP32 se organizan de la siguiente forma:

- GND (GPS) → GND (ESP32): Al igual que en el caso de LoRa, ambos módulos (GPS y ESP32) necesitan un GND común para garantizar que las señales y los niveles de voltaje se interpreten. Sin un GND común, la comunicación no sería estable, no habría una referencia para las señales de voltaje entre el GPS y el ESP32.
- VCC (GPS) → 3.3V (ESP32): El GPS NEO-6MV2 también funciona con 3.3V, al igual que el ESP32. Alimentar ambos dispositivos a 3.3V es crucial, ya que el GPS no debe recibir más de 3.6V para evitar daños.

- TX (GPS) → Pin RX2 (GPIO16, ESP32): El pin TX del GPS es donde el módulo GPS transmite datos seriales, como la información de la posición GPS. GPIO16 del ESP32 está configurado como un puerto serial RX (recepción). Este pin se conecta al TX del GPS para que el ESP32 reciba los datos de ubicación desde el GPS.
- RX (GPS) → Pin TX2 (GPIO17, ESP32): El pin RX del GPS se usa para recibir datos, por ejemplo, comandos de configuración desde el ESP32. GPIO17 del ESP32 está configurado como un puerto serial TX (transmisión). Este pin se conecta al RX del GPS para enviar datos o comandos al módulo GPS desde el ESP32.

Para la alerta de "Corte de collar", se realiza un monitoreo continuo de la conexión entre el Pin 21 (GPIO21, ESP32) y GND (ESP32), ya que un cable se ubica de manera interna alrededor del collar con el fin de detectar cualquier interrupción en dicha conexión.

4.2.5 Receptor del sistema de monitoreo propuesto

El receptor del sistema de monitoreo bovino propuesto tendrá por nombre Receptor 01 (*Figura 4.4*) gestiona la correcta interacción de un módulo ESP32 y un módulo LoRa XL1278. Ambos componentes están diseñados para trabajar en armonía y cumplir funciones específicas que se complementan.

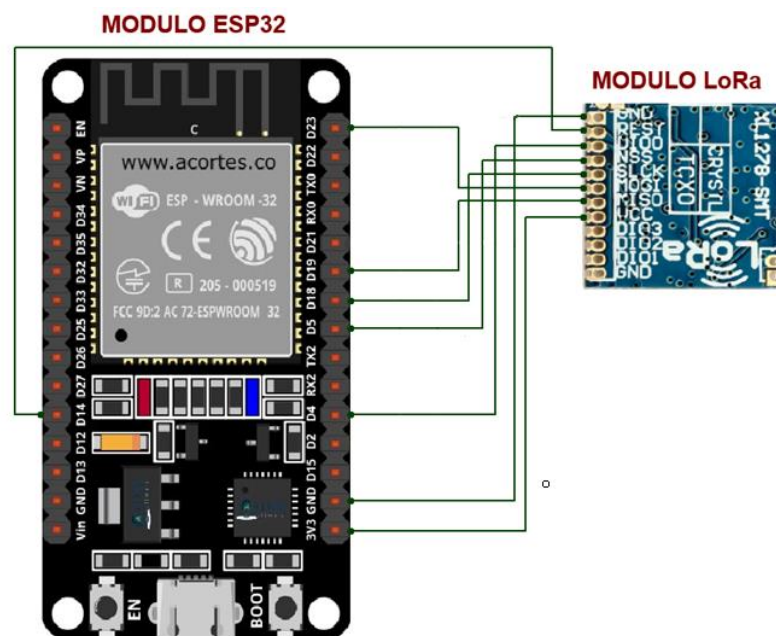


Figura 4.4. Conexión de los elementos del Receptor 01

El módulo ESP32 actúa como el cerebro del sistema, gestionando la conectividad Wi-Fi y estableciendo la comunicación con el servidor web de Telegram cuando surge la necesidad de

emitir un mensaje de alarma. Este proceso permite alertar al usuario sobre eventos para los que fue diseñado el sistema de monitoreo del ganado.

El módulo LoRa XL1278 está configurado para recibir señales desde el Transmisor 01 en caso de que una alarma sea activada. Su capacidad para operar en largas distancias, aun sacrificando cierta velocidad de transmisión, asegura que los datos lleguen al Receptor 01 incluso en entornos rurales donde la conectividad puede ser limitada. Este módulo trabaja de manera continua, escaneando en busca de mensajes enviados desde el sistema de monitoreo instalado en el ganado. Su configuración se enfoca en maximizar el alcance de la transmisión, utilizando valores específicos para el ancho de banda y la frecuencia que garantizan una comunicación estable como se muestra en la programación del *Anexo 2*.

Las conexiones entre el módulo LoRa XL1278 y el módulo ESP32, son las mismas que del Transmisor 01 y no requiere el módulo GPS NEO 6M. Las conexiones de forma legible se encuentran en el *Anexo 5*, además, el Receptor 01 no requiere baterías, ya que se instalará al interior del hogar y estará conectado continuamente al WiFi.

4.3 PROGRAMACIÓN PARA EL TRANSMISOR 01 Y EL RECEPTOR 01 DEL SISTEMA DE MONITOREO

4.3.1 Desarrollo de programación

El uso de Arduino en el diseño y construcción del sistema de monitoreo propuesto resulta altamente conveniente debido a su naturaleza de software y hardware libre, lo que permite su adopción sin costos de licencia y con flexibilidad para adaptarse a diversas aplicaciones. Ofrece una extensa colección de librerías que simplifican el control de una amplia gama de dispositivos electrónicos, incluyendo el ESP32, módulos LoRa XL1278 y GPS NEO 6M. Estas librerías preconfiguradas aseguran una integración eficiente, reduciendo el tiempo y esfuerzo necesarios para el desarrollo de algoritmos personalizados.

Para configurar el entorno de desarrollo Arduino IDE y habilitar el soporte para placas ESP32, fue necesario seguir un proceso sencillo. Primero, abrir el Arduino IDE y, desde el menú "Archivo", se seleccionar "Preferencias". En la sección "Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas", se agrega el enlace. https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json (*Figura 4.5*).

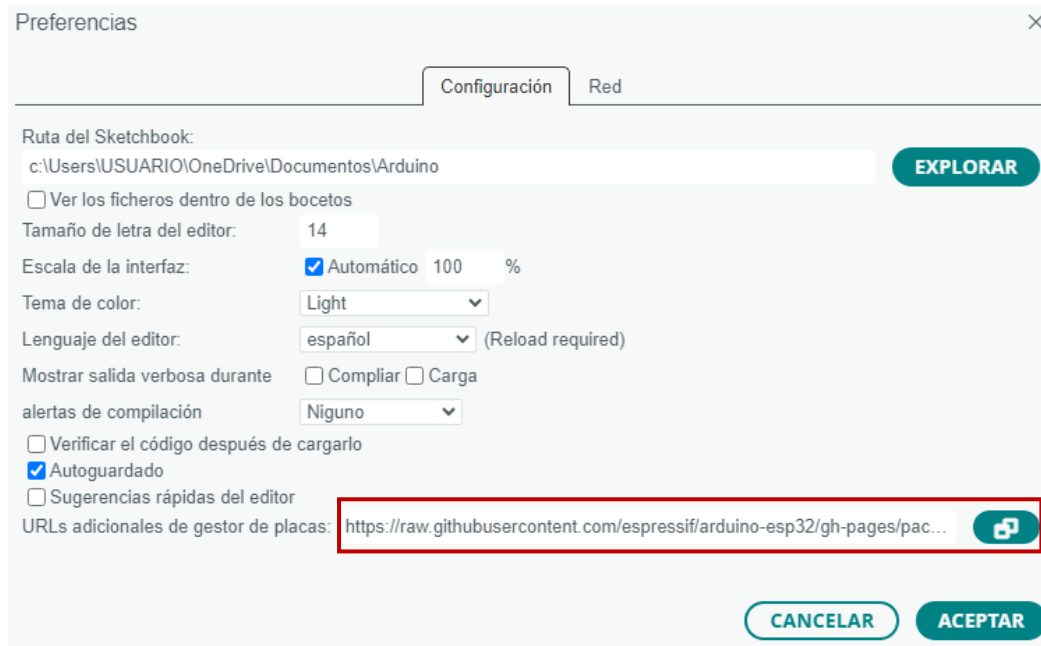


Figura 4.5. Enlace de configuración para el gestor de placas ESP32

El siguiente paso es instalar las herramientas específicas. En el menú "Herramientas", se accede al "Gestor de tarjetas" y, en el cuadro de búsqueda, se escribe "ESP32". De la lista que aparece, se selecciona la opción desarrollada por Espressif Systems y se procede a instalarla (Figura 4.6). Una vez completada la instalación, la placa "ESP32 Dev Module" estará disponible en el menú "Herramientas", en la sección "Placa".



Figura 4.6. Configuración adicional para el gestor de placas ESP32

Finalmente, se selecciona la placa ESP32 específica que se desea utilizar y el puerto al que está conectada. Con estos pasos, el Arduino IDE queda completamente configurado para trabajar con dispositivos ESP32, permitiendo cargar código y realizar pruebas sin contratiempos.

4.3.2 Librería TinyGpsPlus.h para módulos GPS

La librería TinyGPSPlus, desarrollada por Mikal Hart, es una herramienta poderosa y eficiente para manejar datos de GPS en microcontroladores. Esta librería tiene la capacidad de interpretar sentencias NMEA como \$GPGGA, \$GPRMC, entre otras, para obtener información sobre coordenadas geográficas, tiempo, velocidad, altitud y calidad de la señal. Su diseño simplifica la gestión de datos GPS, proporcionando métodos claros y eficientes para acceder a la información. Una vez que se instala desde el gestor de librerías de Arduino esta lista para ser usada en el código de cualquier programa usando las sentencias predefinidas por la librería (Tabla 4.4).

TinyGPS gestiona las cadenas de texto en formato NMEA, sin embargo, para que dicha información llegue al módulo ESP32 es necesario definir una conexión UART que maneja un protocolo serie, en el cual los datos se transmiten bit a bit de forma secuencial. Por lo tanto, se necesita una librería adicional para la comunicación serial llamada HardwareSerial.

Para este caso es específico se debe tener en cuenta que la comunicación con el módulo GPS se llevará a cabo a través del UART2 en el módulo ESP32 usando D16 y D17 como Rx y Tx respectivamente y con una velocidad de transmisión de 9600 baudios.

Tabla 4.4. Sentencias usadas de las librerías TinyGPSPlus y HardwareSerial

Sentencia	Descripción
#include <TinyGPSPlus.h>	Incluir librería TinyGPSPlus en el código
#include <HardwareSerial.h>	Incluir librería HardwareSerial en el código
TinyGPSPlus gps	Declarar un objeto llamado “gps”
HardwareSerial gpsSerial(2)	Usar UART2 y llamarlo “gpsSerial”
gpsSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);	Configurar UART2 con 9600 baudios de velocidad con D16 y D17 como Rx y Tx respectivamente
gps.location.isValid()	Verifica si los valores de la ubicación son válidos
gps.location.lat()	Devuelve la latitud encontrada
gps.location.lng()	Devuelve la longitud encontrada
gps.satellites.value()	Devuelve el número de satélites a los que está conectado
gps.date.day()	Devuelve el número del día en que recibió una ubicación (1-31)
gps.date.month()	Devuelve el número del mes en que recibió una ubicación (1-12)
gps.date.year()	Devuelve el año en que recibió una ubicación
gps.time.hour()	Devuelve la hora en que recibió una ubicación (GTM0)
gps.time.minute()	Devuelve los minutos en que recibió una ubicación

4.3.3 Librería LoRa.h

La librería LoRa de Sandeep Mistry es una herramienta diseñada específicamente para facilitar la comunicación inalámbrica entre dispositivos mediante la tecnología LoRa. Esta librería utiliza el protocolo SPI para interactuar con los módulos LoRa, lo que permite una configuración eficiente y un control detallado sobre los parámetros de transmisión y recepción. Una de las principales ventajas es su simplicidad y flexibilidad, siendo ideal para proyectos IoT donde la comunicación robusta y de largo alcance es fundamental. Las funciones empleadas de las librerías, junto con los valores de configuración utilizados para establecer la comunicación entre los módulos LoRa del sistema de monitoreo propuesto, se encuentran detalladas en la *Tabla 4.5*. Este conjunto de configuraciones asegura una conexión eficiente y estable al interior del entorno planteado en el sistema de monitoreo propuesto.

Tabla 4.5. Sentencias usadas de la librería LoRa

Sentencia	Descripción
#include <LoRa.h>	Incluir librería LoRa en el código
#include <SPI.h>	Incluir librería SPI en el código
LoRa.setPins(ss, rst, dio0)	Configura el módulo LoRa donde ss, rst y dio0 se reemplaza por los pines donde está conectado el módulo.
LoRa.setSpreadingFactor(12)	Configura el factor de expansión con valores posibles son entre 6 y 12, donde (6) implica comunicación más rápida, pero menos sensible a la distancia; y (12) mayor alcance y sensibilidad, pero transmisión más lenta.
LoRa.setSignalBandwidth(7.8E3)	Configura el ancho de banda a 7800 Hz
LoRa.setCodingRate4(8)	Configura la relación de codificación para la corrección de errores con valores entre 5 y 8, donde (5) implica mayor velocidad, pero menor resistencia a errores y (8) menor velocidad, pero mayor resistencia a errores.
LoRa.begin(433E6)	Inicializa el módulo LoRa y configura la frecuencia de operación a 433MHz
LoRa.setSyncWord(0x12)	Configura una palabra para sincronizar la comunicación. Debe estar en el rango de 0x00 a 0xFF (un byte hexadecimal). Los dispositivos con la misma palabra de sincronización podrán comunicarse entre si e ignoraran mensajes de otros dispositivos con distintas palabras de sincronización.
LoRa.parsePacket()	Comprueba si el LoRa contiene datos recibidos válidos.
LoRa.readString()	Lee datos recibidos por el LoRa
LoRa.beginPacket()	Instrucción que prepara al LoRa para recibir datos.
LoRa.print("Alarma")	Transmite una cadena de texto, en este caso la palabra "Alarma"
LoRa.endPacket()	Finaliza la transmisión de datos.

4.3.4 Librerías WiFi.h y HTTPClient.h para IoT

Las librerías WiFi.h y HTTPClient.h son utilizadas para automatizar el envío de mensajes hacia Telegram. La librería WiFi.h gestiona la conexión del sistema de monitores a redes inalámbricas, permitiendo establecer una comunicación estable con internet. Por su parte, HTTPClient.h es la herramienta que realiza solicitudes HTTP, como enviar datos o mensajes hacia servidores externos, en este caso, la API de Telegram. Una lista de funciones utilizadas y su descripción se puede observar en la *Tabla 4.6*. La combinación de estas librerías hace posible interactuar con servicios basados en la nube, automatizando la notificación y el monitoreo en tiempo real.

El nombre SSID de la red inalámbrica y su contraseña es configurada de acuerdo con la información proporcionada por el usuario del sistema de monitoreo. También es importante mencionar que el servidor web requiere parámetros de configuración de ID y Token referentes al Bot de Telegram (Se menciona más adelante) para que funcione.

Tabla 4.6. Sentencias usadas de la librería WiFi y HTTPClient

Librería	Función	Descripción
#include <WiFi.h>	WiFi.begin(ssid, password)	Inicia la conexión Wi-Fi utilizando el nombre de la red (SSID) y la contraseña.
	WiFi.status() == WL_CONNECTED	Verifica si estado de la conexión Wi-Fi está conectado adecuadamente
	WiFi.localIP()	Obtiene la dirección IP asignada al dispositivo en la red local.
#include <HTTPClient.h>	HTTPClient http	Crea un objeto llamado “http” sobre el cual actúan las demás funciones.
	http.begin(url)	Configura la URL del servidor al que se desea realizar la solicitud HTTP, en este caso es la dirección del Bot de telegram incluido el ID, token y mensaje que se va a enviar.
	http.GET()	Realiza una solicitud HTTP GET para obtener datos desde el servidor, si retorna “0” existió un error.
	http.end()	Finaliza la conexión HTTP y libera los recursos asociados.

4.3.5 Crear un bot de Telegram versión 11.7.3

El desarrollo de un bot en Telegram fue necesario para el funcionamiento del sistema de monitoreo bobino propuesto y representó una integración con la tecnología IoT. Telegram ofrece un servicio gratuito y sencillo para la creación de un bot, el cual consta con varias

funcionalidades que se pueden configurar para automatizar ciertos procesos. En este caso solo se utilizó el bot como un receptor de mensajes.

El primer paso para crear un bot de Telegram fue registrar su existencia en la plataforma. Esto se realizó a través de BotFather, una herramienta oficial que facilita la creación y configuración básica de bots.

Para acceder a la herramienta se abrió la aplicación de Telegram y se buscó "BotFather" en la barra de búsqueda. Se inició una conversación usando el comando /start y luego el comando /newbot para indicar que se deseaba registrar un nuevo bot. Se siguió las indicaciones que incluyeron generar un nombre y un usuario. Los datos generados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.7. Datos del bot de Telegram

Elemento	Valor
Nombre	Prototipo Vacas
Nombre de Usuario	PrototipoVacasBot

4.3.6 Diagrama de ejecución del código del Transmisor 01 del sistema de monitoreo

Para que el Transmisor 01 funcione se necesitó una secuencia lógica de instrucciones (*Ver Anexo 1*). La ejecución de líneas de código se puede representar en el siguiente diagrama de flujo de la *Figura 4.7* y consta de las siguientes etapas:

Inicio del sistema de monitoreo TX: El sistema comienza con la inicialización de los módulos LoRa y GPS, que son componentes fundamentales para el monitoreo de ubicación y la transmisión de datos. Se configura cada módulo para garantizar que puedan operar de forma sincronizada. Esto incluye la inicialización de parámetros de comunicación para LoRa y la activación del receptor GPS para captar las señales electromagnéticas de los satélites disponibles convertidas a variaciones de voltaje que representan 0 y 1, de la cual se obtiene la ubicación.

Verificación de datos GPS disponibles: Una vez configurados, el sistema verifica si el módulo GPS ha recibido datos. Si no hay datos disponibles, el flujo retorna al inicio del sistema y repite la consulta. Este proceso lo realiza la sentencia “gps.location.isValid()” que viene integrada en la librería “TinyGPSPlus.h”.

Validación de datos GPS: Si el GPS provee datos, el sistema revisa si son válidos. Los datos inválidos hacen que el proceso regrese al paso inicial para intentar obtener datos precisos.

Lectura de coordenadas GPS: Cuando los datos son válidos, se leen las coordenadas (latitud y longitud) proporcionadas por el módulo GPS. Si los datos son válidos, se activa un indicador que confirma la lectura exitosa de coordenadas. Este permanece encendido de forma permanente mientras se sigan obteniendo coordenadas válidas.

Verificación de coordenadas al interior del área: El sistema evalúa si las coordenadas obtenidas están al interior de la región predefinida. Si las coordenadas están fuera del área permitida, se activa una alerta. Se activa un segundo indicador visual durante un segundo, señalizando una irregularidad y el módulo LoRa transmite un mensaje de alarma al receptor. El mensaje de alarma se genera para proporcionar información específica sobre la posición del animal.

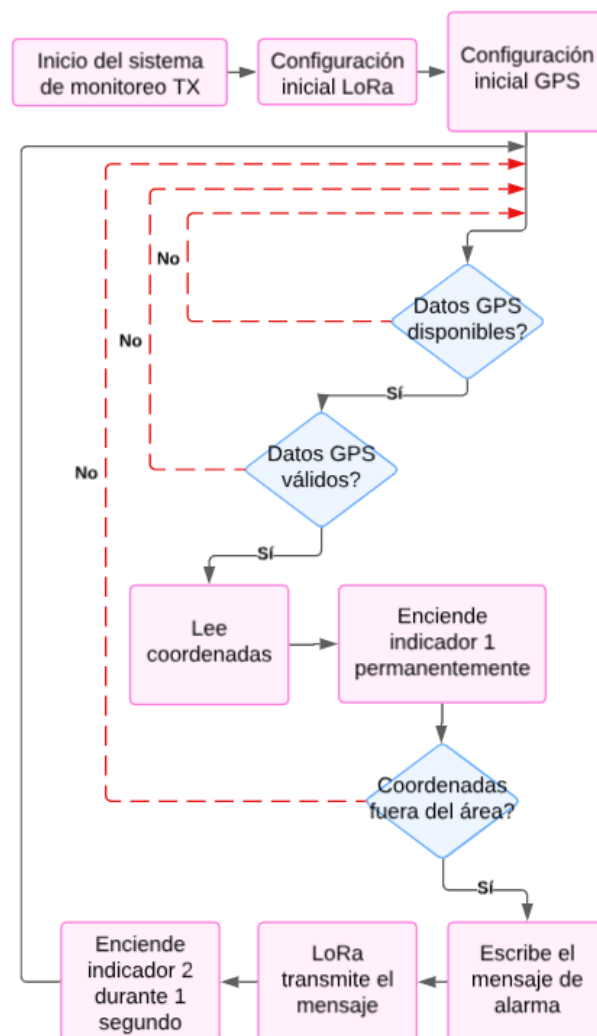


Figura 4.7. Diagrama de flujo del Transmisor 01

4.3.7 Diagrama de ejecución del código del Receptor 01 del sistema de monitoreo

Al igual que el Transmisor 01, el Receptor 01 funciona ejecutando una secuencia lógica de instrucciones (*Ver Anexo 2*). Este dispositivo se encargó de recibir las alarmas generadas por el Transmisor 01 y enviar las alertas al servidor web de Telegram. El diagrama que describe el proceso que siguió el Receptor 01 (*Figura 4.8*) presenta las siguientes etapas.

Inicio del sistema de monitoreo RX: El proceso comienza configurando el módulo LoRa XL1278 como receptor. También se configura el módulo ESP32 para conectarse a una red WiFi, permitiendo el acceso a internet.

Envío de mensaje inicial al bot de Telegram: Una vez configurados LoRa XL1278 y WiFi, el sistema envía un mensaje de inicio al bot de Telegram, indicando que el receptor está activo y en operación. De esta forma se asegura verificar que la comunicación este bien configurada.

Recepción del mensaje por LoRa: El sistema verifica continuamente si existen datos recibidos a través del módulo LoRa. Continúa este proceso hasta que exista un mensaje válido. Los datos recibidos incluyen información relevante de la alerta generada por el Transmisor 01.

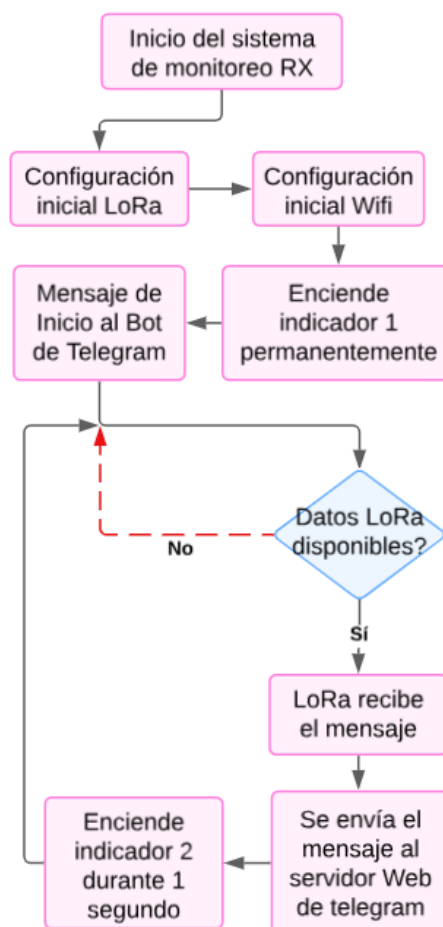


Figura 4.8. Diagrama de flujo del Receptor 01

Envío del mensaje al servidor web de Telegram: Los datos recibidos que incluyen información relevante como la alerta generada por el Transmisor 01, son enviados al servidor web del bot de Telegram mediante la conexión WiFi. Este paso asegura que el propietario reciba las notificaciones en tiempo real. Telegram es mensajería basada en la nube y permite hasta 200.000 miembros por grupo.

4.4 DISEÑO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE MONITOREO

En el diseño eléctrico del sistema de monitoreo bovino, se calculó el consumo total de energía, centrándose especialmente en el Transmisor 01, con el fin de seleccionar las baterías adecuadas que aseguren un funcionamiento eficiente de los dispositivos electrónicos.

4.4.1 Cálculo de consumo de energía del Transmisor 01

Los componentes del sistema de monitoreo bovino tienen un consumo de energía que varía según el momento. Esto ocurre porque no todos los elementos están funcionando al máximo todo el tiempo. En ciertos momentos, los componentes no necesitan procesar información o solo realizan una tarea específica. A este estado se le conoce como "reposo". En otros momentos, todos los componentes pueden necesitar energía al mismo tiempo para realizar su función, lo que se denomina "estado activo".

Tabla 4.8. Corriente del Transmisor 01

Componente	Corriente Máximo (Activo)	Corriente Mínimo (Reposo)
Módulo ESP32	200 mA	80 mA
Módulo LoRa XL1278	125 mA	45 mA
Módulo GPS NEO-6MV2	45 mA	20 mA
Total	370 mA	145 mA

La *Tabla 4.8* presenta los valores de Corriente que requiere el Transmisor 01 del sistema de monitoreo bovino. El cálculo se centró en este dispositivo, ya que, al ser utilizado como collar para un animal, requiere una fuente de alimentación independiente. Estos valores fueron fundamentales para estimar la capacidad adecuada de la batería que alimentó el dispositivo.

Para tener un valor global de corriente requeridas se tomó las siguientes consideraciones: Asumiendo que el Módulo ESP32 está funcionando en condiciones normales exige 80 mA, el Módulo LoRa XL1278 necesita 45 mA debido a que solo entran en funcionamiento al suscitarse situaciones de alerta, mientras que, el Módulo GPS NEO-6MV2 está constantemente obteniendo datos de satélite requiere 45 mA. Entonces, para prever posibles contingencias se estima un 20 % más del total como factor de seguridad:

Corriente de diseño = Sumatoria de corrientes · Factor de seguridad

$$Corriente de diseño = (80 + 45 + 45) mA \cdot 1.20 = 204 mA$$

Tabla 4.9. Corriente del Receptor 01

Componente	Corriente Máximo (Activo)	Corriente Mínimo (Reposo)
Módulo ESP32	200 mA	80 mA
Módulo LoRa XL1278	125 mA	45 mA
Total	325 mA	125 mA

La *Tabla 4.9* muestra los valores de corriente necesaria para el receptor. Se puede apreciar un menor requerimiento debido a que no necesita del módulo GPS NEO-6MV2. Es necesario recalcar que para este dispositivo se decidió utilizar la red eléctrica del domicilio.

4.4.2 Selección de baterías para el Transmisor 01

Para seleccionar las baterías, se utiliza el valor de corriente eléctrica y se debe estimar el tiempo durante el cual se quiere que el sistema funcione sin necesidad de recargar las baterías. En este caso, se consideró un tiempo de funcionamiento de un día, es decir, 24 h.

$$Capacidad de la batería = Corriente de diseño \cdot tiempo de uso$$

$$Capacidad de la batería = 204 mA \cdot 24 h = 4\,896 mAh$$

Según los cálculos se necesita una batería con una capacidad de 4 896 mAh, sin embargo, este valor no es comercial. Para solucionar este inconveniente se conectan tres baterías de 8 800 mAh en paralelo (*Figura 4.9*) para obtener un total de 26 400 mAh, pero hay que tener en cuenta que las baterías tienen una eficiencia del 90 % y una profundidad de descarga como máximo del 30 % pero, para alargar la vida útil de 300 a 500 ciclos de carga se consideró trabajar con el 25 % de profundidad de descarga, lo que resulta en:

$$Autonomía = Capacidad de batería comercial \cdot \#Baterías \cdot \eta \cdot DoD$$

$$Autonomía = (8\,800 mAh \cdot 3 \cdot 0.9 \cdot 0.25) = 5\,940 mAh$$



Figura 4.9. Baterías recargables usadas en el Transmisor 01

Esto es suficiente para satisfacer los requerimientos eléctricos propuestos. Si se necesitara mayor duración, sería posible agregar más baterías en paralelo, aunque se debe tener en cuenta el aumento en el tamaño del collar.

4.5 DISEÑO DE COLLAR PARA EL TRANSMISOR 01

Para la implementación de este proyecto fue necesario utilizar un programa de diseño 3D para el modelado del collar el mismo en que serán montados los componentes del Transmisor 01, para lo cual, se tomó las medidas de todos los elementos del Transmisor 01 y en base a estos datos se elaboró una caja que contenga dichos dispositivos. La caja fue impresa en PLA y fue recubierta con dos capas de barniz para asegurar la integridad de los componentes.

4.5.1 Carcasa de montaje para el Transmisor 01

Para generar el diseño del collar en primer lugar se definió las medidas de todos los elementos del Transmisor 01 como se puede ver en la Tabla 4.10

Tabla 4.10. Medidas de los elementos del Transmisor 01

Componente	Ancho (mm)	Largo (mm)	Profundidad (mm)
Módulo ESP32	29	50	12
Módulo LoRa XL1278	17	16	3
Módulo GPS NEO-6MV2	21	36	11
Batería de litio 1	18	65	18
Batería de litio 2	18	65	18
Batería de litio 3	18	65	18

A partir de las medidas encontradas se procedió a definir la posición que tomarían los elementos del Transmisor 01 en el collar. La *Figura 4.10* muestra el orden definido y cabe mencionar que los elementos tienen una separación de aproximadamente un milímetro para que los elementos no se encuentren muy apretados entre sí, además el módulo LoRa XL1278 está ubicado debajo del módulo ESP32 para poder ahorrar espacio. Las medidas de la caja necesarias para contener los elementos fue de 69 mm x 89 mm x 49 mm.

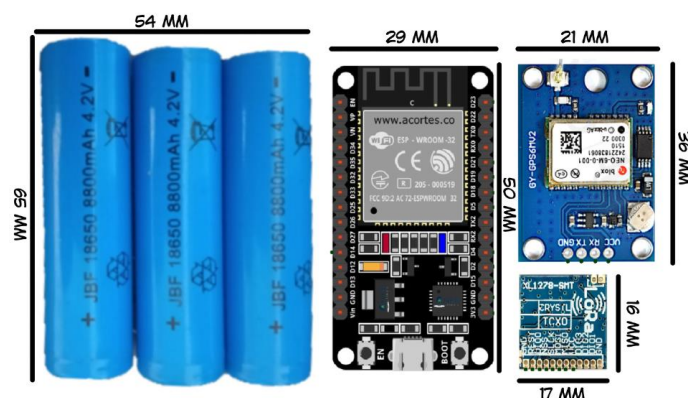


Figura 4.10. Disposición de los elementos del Transmisor 01

Una vez que se tiene las medidas necesarias para contener los elementos del Transmisor 01 se procedió a diseñar la caja (*Figura 4.11*). Se definió 4 mm de espesor en las paredes para no agregar peso al collar y aun así mantener rigidez. También se añadió soportes para tornillos que permiten apretar fuertemente las tapas de la caja. La impresión 3D se realizó con un relleno del 100 % para asegurar que la caja no se rompa.

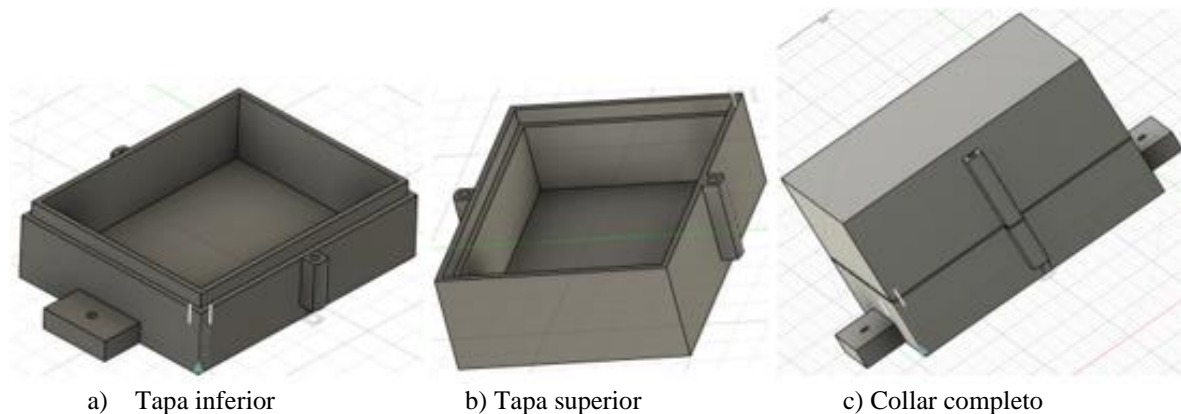


Figura 4.11. Caja de montaje del Transmisor 01

4.5.2 Protección contra lluvia y polvo

El diseño del collar que alberga el Transmisor 01 del sistema de monitoreo bovino se enfocó en proporcionar una estructura resistente a la intemperie. Para garantizar su funcionamiento en exteriores, se aplicaron medidas que protegen los componentes electrónicos contra el polvo y la lluvia.

Para minimizar puntos vulnerables en la estructura, se optó por un diseño con la menor cantidad posible de piezas. Se emplearon únicamente dos partes en la caja que encapsula los elementos electrónicos del Transmisor 01. Reducir el número de uniones evita aberturas que podrían comprometer la integridad del dispositivo. Con menos separaciones entre piezas, se disminuye el riesgo de ingreso de polvo, lo que prolonga la vida útil de los componentes electrónicos.

El material seleccionado para la carcasa de montaje ofrece una resistencia a la tracción de 50 MPa y una vida útil promedio de 1 año. Se buscó una opción con durabilidad para soportar el uso prolongado en condiciones de campo. La forma de la caja permite sujetarla de manera segura al collar sin afectar la comodidad del animal.

El barniz a base de resinas alquídicas utilizado por su resistencia térmica de hasta 90 °C de forma continua y diseñado para resistir condiciones de intemperie, lo que permite absorber pequeñas vibraciones sin afectar la protección contra el agua. Este detalle es importante, ya que el collar estará expuesto al movimiento constante del animal. La aplicación del barniz se realizó

de manera uniforme para garantizar que toda la línea de unión quede completamente cerrada. Pero esto no impide que en algún momento se pueda volver a abrir para recargar las baterías.

4.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realizó un inventario de los elementos utilizados en el sistema de monitoreo bobino y se especificó el costo de cada uno. Estos valores permitieron conocer el costo total del proyecto y también sirvieron para definir si es económicamente viable.

4.6.1 Costos

Con el fin de ofrecer una visión más clara del impacto económico del proyecto, se presenta a continuación un análisis detallado de los costos asociados a los componentes clave (*ver Tabla 4.11*). Este análisis permite comprender como cada parte del sistema contribuye al costo total, facilitando una evaluación integral de la inversión y sus beneficios en relación con el rendimiento y la durabilidad.

Tabla 4.11. Desglose de costos

Componente	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Módulo ESP32	2	15.00	30.00
Módulo LoRa XL1278	2	15.00	30.00
Módulo GPS NEO-6MV2	1	9.00	9.00
Batería de litio	3	3.50	10.50
Impresión 3D	1	10.00	10.00
Final de carrera	1	1.25	1.25
Pernos	1	1.00	1.00
Otros	1	5.00	5.00
Total			96.75

En el marco del desglose de costos previamente detallado, se estima que el costo total del proyecto asciende a \$96.75, cifra que puede variar dependiendo de la inclusión o exclusión de accesorios adicionales y consumibles necesarios para su producción. Es relevante destacar que el 34 % del presupuesto total se asigna al Receptor 01, que no requiere de exigencias adicionales, representando una inversión de \$32.5.

Por otro lado, se debe considerar que cada transmisor, destinado a cada animal bovino implicará una inversión mínima de \$64.25.

4.6.2 VAN y TIR

Para poder realizar el análisis del VAN y el TIR se empezó calculando los datos financieros relevantes:

Inversión inicial: Este valor surge del desglose de costos en la *Tabla 4.11* y alcanza los \$96.75 y agregamos \$40 como ganancia por derechos de propiedad intelectual y producción, sumando una totalidad de \$136.75.

Costos de operación y mantenimiento: Este valor surge de los gastos económicos que represente el sistema de monitoreo bovino a su usuario. La *Tabla 4.12* muestra a detalle los valores que debe asumir el usuario.

$$\text{Costo de Energía} = \left(\frac{\left(8\,800 \text{ mAh} \cdot \frac{1\text{Ah}}{1000 \text{ mAh}} \right) \cdot 3 \cdot 4.2 \text{ V}}{1000} \cdot \frac{\$0.13}{\text{kWh}} \cdot 365 \text{ días} \right) = \$5.26$$

Tabla 4.12. Costos de operación y mantenimiento anuales

Elemento	Costo (\$)
Energía	5.26
Reemplazo de baterías	10.50
Servicio técnico	10.00
Reparaciones	14.50
Actualizaciones.	5.00
Total	45.26

Ingresos esperados: La ejecución del sistema de monitoreo bovino implica mejoras en la gestión del ganado y ahorro en recursos. La *Tabla 4.13* muestra a detalle estos ingresos.

Tabla 4.13. Ingresos esperados anuales

Elemento	Costo (\$)
Reducción de pérdidas por robos o extravíos	600.00
Ahorro de tiempo	48.00
Ahorro en combustible	30.00
Total	678.00

Vida útil del proyecto: Período en el que se espera que los collares funcionen antes de necesitar reemplazos o mejoras, para este caso el periodo será de 1 año.

Con los valores previamente establecidos, se pudo calcular el TIR con la siguiente fórmula:

$$0 = \sum \frac{\text{flujo de caja}_t}{(1 + TIR)^t} - \text{Inversión inicial}$$

Donde t son el tiempo en años;

$$Inversión\ inicial = \frac{flujo\ de\ caja_t}{(1 + TIR)^1} + \frac{flujo\ de\ caja_t}{(1 + TIR)^2}$$

Para calcular el VAN con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que se tomó una tasa de descuento del 17.57 % al ser un valor referencial del banco central del Ecuador.

$$VAN = \sum \frac{flujo\ de\ caja_t}{(1 + r)^t} - Inversión\ inicial$$

Donde r es la tasa de descuento;

Tabla 4.14 Análisis mensual

Mes	Conversión de año a mes	Flujo de caja	$(1+r)^t$	VAN
0	0	-136.75		-136.750
1	0.0833	52.73	1.01358	52.023
2	0.1660	52.73	1.02734	51.327
3	0.2500	52.73	1.04130	50.639
4	0.3330	52.73	1.05544	49.960
5	0.4170	52.73	1.06977	49.291
6	0.5000	52.73	1.08430	48.631
7	0.5830	52.73	1.09902	47.979
8	0.6660	52.73	1.11395	47.336
9	0.7500	52.73	1.12907	46.702
10	0.8330	52.73	1.14441	46.076
11	0.9170	52.73	1.15995	45.459
12	1	52.73	1.17570	44.850

El VAN indica si el proyecto generará valor en función de una tasa de descuento del 17.57 %. Aplicando la fórmula del VAN, se obtuvo un resultado de \$120.34, lo que indicó que el proyecto es rentable, ya que el valor es positivo.

La TIR representa la tasa de descuento en la que el VAN es igual a cero. En este caso, la TIR calculada es 38 %, la cual, es superior a la tasa de descuento utilizada.

Dado que el VAN fue positivo y la TIR fue alta, el proyecto es financieramente viable y generará beneficios en comparación con la inversión inicial.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados permitió evaluar el desempeño del sistema de monitoreo bovino desde distintos aspectos técnicos y operativos. Se consideró evaluar el diseño físico del dispositivo incluyendo la distribución interna de los componentes, el consumo energético, la eficiencia de la lectura de coordenadas GPS, la adecuada comunicación de los dispositivos LoRa y los mensajes de alarma recibidos desde Telegram. Toda esta información brinda una clara perspectiva del funcionamiento y eficiencia del sistema de monitoreo bovino propuesto.

5.1 DISEÑO FÍSICO DEL TRANSMISOR 01

El equipo de monitoreo funcionó en entornos con polvo sin riesgo de acumulación en los circuitos internos. La protección contra el agua permitió que el dispositivo resista la lluvia, lo que asegura un desempeño confiable en exteriores. Esto se comprobó mediante las pruebas de campo. Sin embargo, el grado de protección no incluye inmersión en agua, por lo que no se debe sumergirlo por completo en líquidos.

El sistema de monitoreo bovino se diseñó para garantizar un equilibrio entre funcionalidad y comodidad para los animales. Una vez finalizado el prototipo, se realizaron pruebas para evaluar su tamaño y distribución interna de los componentes electrónicos. Con unas dimensiones de 93 mm de largo, 73 mm de ancho y 53 cm de alto, el dispositivo proporciona el espacio adecuado para alojar los módulos electrónicos sin comprometer las necesidades clave *Figura 5.1*. Su estructura permitió que cada elemento se encuentre ubicado, evitando interferencias en el funcionamiento del sistema. En la carcasa, el módulo GPS NEO 6M, el módulo LoRa XL1278 y las baterías fueron asegurados en una posición estable, evitando desplazamientos bruscos que puedan generar desconexiones o fallos en la transmisión de datos.



Figura 5.1 Disposición interna de los elementos del Trasmisor 01

La exposición a la intemperie, como la lluvia y el polvo, no afectó su rendimiento gracias a un sellado hermético pues se utilizó silicona fría en los bordes para proteger los circuitos internos. Esta característica evitó daños prematuros y garantizó un funcionamiento confiable a lo largo del tiempo de pruebas, minimizando la necesidad de mantenimiento. Además, durante las pruebas, se observó que los bovinos no mostraban signos de estrés o incomodidad al portar el collar. Esto demostró que su integración en la rutina del animal no representa una alteración significativa en su comportamiento.

5.2 USO DE ENERGÍA REQUERIDO POR EL TRANSMISOR 01

El diseño del sistema de monitoreo bovino incluyó una gestión eficiente de la energía para garantizar un funcionamiento continuo sin interrupciones. La configuración del suministro eléctrico se basó en el uso de tres baterías recargables de 4.2 V y 8 800 mAh conectadas en paralelo. Esta disposición permitió incrementar la capacidad de solventar energía útil de 5 940 mAh, asegurando un flujo de energía estable para los componentes electrónicos. La elección de este sistema de alimentación respondió a la necesidad de proporcionar una autonomía suficiente sin comprometer el rendimiento de los módulos de comunicación y localización.

El empleo de tecnologías de bajo consumo fue fundamental para reducir la frecuencia de recarga y optimizar el uso de la energía disponible. La integración del protocolo LoRa, caracterizado por su eficiencia en la transmisión de datos a larga distancia con un gasto mínimo de energía, contribuyó significativamente a prolongar la vida útil de la batería.

Las pruebas realizadas evidenciaron que el sistema es capaz de operar de manera continua durante un día completo antes de requerir una nueva recarga. La combinación de almacenamiento energético adecuado y tecnología eficiente garantizó un desempeño estable y confiable en condiciones reales de uso.

5.3 LECTURA DE DATOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

El módulo GPS NEO 6M que se seleccionó para el sistema de monitoreo bovino demostró un desempeño confiable en condiciones óptimas, como en espacios abiertos y bajo un cielo despejado. En este entorno, la señal satelital fue estable, permitiendo una localización precisa de los animales. Sin embargo, al realizar pruebas de consistencia en la medición de coordenadas, se observó que, aunque el dispositivo permanece en un mismo punto, las lecturas obtenidas presentan variaciones en el orden de pocos metros. Este comportamiento es característico de los sistemas de posicionamiento global y responde a factores como la interferencia atmosférica, la disponibilidad de satélites y la calidad de la señal en el momento

de la medición. Teniendo en cuenta que las ubicaciones de referencia corresponden a los límites del terreno es necesario contar con las coordenadas de las cuatro esquinas del terreno, para ello la programación debe modificarse de acuerdo con lo que se indica en el *Anexo 3*.

A continuación, se muestran las tablas de funcionamiento en el Barrio Alpalagal de Ramospamba, Pujilí, Cotopaxi. (*Tabla 5.1*) y en Salache, Latacunga, Cotopaxi (*Tabla 5.2*), en las cuales se recopiló información de 5 días de prueba.

Tabla 5.1 Pruebas de funcionamiento en el Barrio Alpalagal de Ramospamba, Pujilí, Cotopaxi.

Día	Muestra	Latitud, Longitud	Clima	Estado	Alarma activada	Falso positivo
1	1	-1.018103, -78.657654	Soleado	Collar suelto	Si	No
2	2	-1.017992, -78.657639	Parcialmente nublado	Collar suelto	Si	No
3	3	-1.017956, -78.657570	Parcialmente nublado	Collar suelto	Si	No
4	4	-1.018124, -78.657692	Nublado	Fuera del área	Si	Si
4	5	-1.017788, -78.657738	Nublado	Collar suelto	Si	No
5	6	-1.017786, -78.657730	Nublado	Fuera del área	Si	Si
5	7	-1.018005, -78.657684	Soleado	Collar suelto	Si	No

Tabla 5.2 Pruebas de funcionamiento en Salache, Latacunga, Cotopaxi.

Día	Muestra	Latitud, Longitud	Clima	Estado	Alarma activada	Falso positivo
1	1	-0.998662, -78.622885	Parcialmente nublado	Collar suelto	Si	No
1	2	-0.998681, -78.622911	Parcialmente nublado	Fuera del área	Si	No
2	3	-1.017992, -78.657639	Nublado	Collar suelto	Si	No
3	4	-0.998733, -78.622947	Parcialmente nublado	Collar suelto	Si	No
3	5	-0.998668, -78.622960	Parcialmente nublado	Fuera del área	Si	Si
3	6	-0.998672, -78.622948	Nublado	Fuera del área	Si	Si
4	7	-0.998764, -78.622973	Soleado	Collar suelto	Si	No
5	8	-0.998707, -78.623208	Soleado	Fuera del área	Si	Si
5	9	-0.998689, -78.623235	Parcialmente nublado	Fuera del área	Si	Si

A demás, se realizó pruebas de precisión para determinar cuál es la distancia de error entre el punto de referencia y las coordenadas emitidas por el sistema (*Tabla 5.3*).

Tabla 5.3 Pruebas de precisión en Salache, Latacunga, Cotopaxi.

Muestra	Coordenadas del Sistema	Coordenadas de referencia	Distancia	Falso positivo
1	-0.998729, -78.623372	-0.998712, -78.623363	2.1388 m	Si
2	-0.998816, -78.623315	-0.998797, -78.623308	2.2515 m	Si
3	Al interior del área	-0.998865, -78.623202	N/A	No
4	Al interior del área	-0.998861, -78.623130	N/A	No
5	Al interior del área	-0.998866, -78.622789	N/A	No
6	-0.998692, -78.622755	-0.998710, -78.622746	2.2376 m	Si
7	-0.998700, -78.622903	-0.998708, -78.622911	1.2579 m	Si
8	Al interior del área	-0.998709, -78.622997	N/A	No
9	-0.998697, -78.623122	-0.998714, -78.623136	2.4487 m	Si
10	Al interior del área	-0.998712, -78.623286	N/A	No

Las fluctuaciones en las coordenadas representaron un desafío al definir la precisión del sistema con respecto a los límites del área de monitoreo, este problema se debió principalmente a la variabilidad de las condiciones de cada lugar y las capacidades de los elementos del sistema de monitoreo, por lo que, generó alertas erróneas, indicando falsamente que un animal había salido del perímetro cuando, en realidad, permanecía al interior de los límites establecidos. Este tipo de alertas erróneas, conocidas como falsos positivos, son un factor crítico a considerar, ya que pueden generar confusión y disminuir la efectividad del sistema de monitoreo.

Las alertas varían según el lugar de prueba, lo que refleja la influencia de factores ambientales y densidad de obstáculos en la ubicación del bobino y la transmisión de datos. Un patrón común se destacó: las condiciones climáticas, especialmente los días nublados, tuvieron un impacto considerable en el comportamiento del sistema. En el caso de Ramospamba, se registraron dos alertas de falsos positivos en días nublados. Este sitio presentó características de escasa vegetación y la presencia de un solo bovino aparte del que fue monitoreado, debido a la simplicidad del entorno, lo más relevante fue la baja cantidad de falsos positivos.

Por otro lado, en Salache, se registraron cuatro falsos positivos, los cuales fueron reportados como alertas fuera de rango. La situación geográfica fue más compleja, pues contaba con un número de bovinos variable y mayor que en el lugar de pruebas anterior y una vegetación con altura por encima del bobino interfiriendo con el funcionamiento del GPS NEO 6M que obtiene la ubicación y la cantidad total de obstáculos que afectan a la transmisión de datos por medio del LoRa XL1278.

Estos resultados destacan la importancia de considerar tanto las características geográficas como las condiciones ambientales al implementar sistemas de monitoreo basados en localización y la densidad de obstáculos presentes en el lugar. Las evidencias de las pruebas realizadas en campo se encuentran en el *Anexo 6* y *Anexo 7*.

La *Tabla 5.3* presenta diversas lecturas de las coordenadas proporcionadas por el módulo GPS NEO 6M en diferentes ubicaciones al interior del área de interés de este proyecto. Algunos puntos se encontraron al interior del área definida y otros se clasificaron como fuera de los límites, lo que indicó una fiabilidad del 50 % en las situaciones en las que el dispositivo se encuentra justo en los límites del terreno. En cuanto a las pruebas de precisión se obtuvo que la distancia más lejana entre el punto de referencia tomando como límite del área de interés y la ubicación emitida por el sistema de monitoreo fue de 2.44 m.

5.4 COMUNICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA

La comunicación entre los módulos LoRa XL1278 mostraron un comportamiento estable en un rango de hasta 402 m, permitiendo la transmisión de datos correctos sin interferencias significativas. Con este alcance, los mensajes enviados entre los dispositivos mantuvieron su integridad y pudieron ser interpretados de manera precisa. La diferencia en los tiempos de entrega es un factor que considerar, ya que los datos transmitidos desde distancias cortas llegaron en un máximo de 10 s, mientras que aquellos enviados desde distancias mayores presentaron un retraso de entre 15 y 20 s. Este fenómeno puede atribuirse a la latencia en la propagación de la señal y a la necesidad del sistema de corregir posibles errores antes de enviar la información procesada. La *Figura 5.2* muestra el reporte que envió el Receptor 01 por medio del monitor serial. Esta información permitió verificar el estado y contenido del mensaje enviado por el Transmisor 01 y el Receptor 01 separados a 402 m.

```
-----RECEPTOR LoRa-----
Estado del Mensaje: Recibido. - Potencia de la señal RSSI: -100
Peligro: El collar de su toro llamado Pepe está roto. 28 de Enero del 2025 a las 11:22 Latitud: -0.912592, Longitud: -78.631943
-----ACCION LoT-----
Enviando datos a Telegram:
-----RESULTADO LoT-----
Mensaje enviado exitosamente!
Codigo de respuesta del servidor: 200
-----
```

Figura 5.2 Reporte presentado por el Receptor 01 a 402 m del Transmisor 01

A medida que la distancia aumentó por encima del rango efectivo, los módulos LoRa continuaron estableciendo comunicación, pero la calidad de los datos empezó a deteriorarse. Se identificaron errores en la decodificación de los mensajes, manifestándose en la aparición de caracteres no válidos o información incomprensible como se muestra en la *Figura 5.3*. Esto sugiere que la señal se ve afectada por factores externos como interferencias electromagnéticas, obstáculos físicos en el entorno o la propia limitación del hardware utilizado. La pérdida de datos comprometió la funcionalidad del sistema de monitoreo, ya que la información recibida no reflejó con exactitud el estado o ubicación del ganado.

```
-----RECEPTOR LoRa-----
Estado del Mensaje: Recibido. - Potencia de la señal RSSI: -102
Peligro: El collar de su toroA
00/0r0B!U5Rf0n3eQ+pg0'dfyf5yLEf0f#f1-0#f5 Nf0R0J>0!Pfe<0f0m<v
f5ADfdelewffjw0 5'0 ?
-----ACCION LoT-----
Enviando datos a Telegram:
-----RESULTADO LoT-----
Error al enviar mensaje. Código: -5
connection lost
-----
```

Figura 5.3 Reporte presentado por el Receptor 01 a una distancia mayor a 402 m

En la *Tabla 5.4*, se detallan varias métricas relevantes para evaluar la calidad de la comunicación obtenidos a partir del monitor serial sometiendo, estas métricas corresponden a pruebas realizadas en la misma ubicación, pero tomando en cuenta obstáculos y tabulando las muestras más significativas.

Tabla 5.4 Calidad de mensajes recibidos

Muestra	Caracteres Corrompidos	Respuesta del servidor	Potencia de señal
1	(, , s, l, l, :, l, l, , L, i, u, :) // ? ? ? ?	400	-98 dBm
2	(e)	200	-93 dBm
3		-1	-91 dBm
4	(, E, l)	200	-95 dBm
5	(o, , l, l, l, l, :, l)	400	-96 dBm
6	(e, , s, , c, o, n, g, i)	400	-97 dBm
7	(r, a, l, l, -, 7)	400	-96 dBm
8	() // ? ?	200	-91 dBm
9	() // ? ? ?	400	-95 dBm
10	(o,) // Demasiados datos corruptos	-5	-98 dBm
11		-1	-49 dBm

Los caracteres corruptos en los mensajes son indicativos de problemas de transmisión. Los "?" en los caracteres corruptos representan los números en los datos de localización que no se pueden identificar, pero su posición es conocida. Esto puede ocurrir debido a interferencias en la señal como distorsión de parte de la información transmitida lo que sugieren una transmisión deficiente, podría ser causado por una señal débil o interferencias. Cabe aclarar que no se registra pérdidas a manera de datos faltantes en el monitor serial.

Por otro lado, las respuestas del servidor variaron entre los códigos 200, 400, -1 y -5, lo que indica el estado de la comunicación entre el dispositivo y el servidor. La respuesta 200 significa que la solicitud fue exitosa y el mensaje fue recibido y procesado. Este es el código esperado para una comunicación adecuada. La respuesta 400 indica un error en la solicitud, generalmente relacionado con un problema en la transmisión de datos, como la corrupción de los caracteres o datos incompletos. La respuesta -1 representa un error genérico de conexión, que puede ser causado por la pérdida de conexión con el servidor o problemas temporales de comunicación, en este caso el sistema omitió la información que no consta en el código ASCII, pero si se envió el resto de la información. La respuesta -5 indica que los datos corruptos son excesivos y no pueden ser procesados.

Los valores de potencia de señal se indican en decibelios (dBm). Cuando la potencia en valor negativo sea mayor, es indicador de señal débil (como en las muestras 1 y 10, con valores de -98 dBm), por lo que la transmisión de información experimentó incremento de errores y las

respuestas fueron 400 y -5 con gran cantidad de caracteres corruptos. Por otro lado, valores con tendencia al positivo (como en la muestra 11, con -49 dBm y la muestra 4 con -95 dBm) indican una comunicación más confiable.

5.5 MENSAJES RECIBIDOS EN TELEGRAM

El análisis de la comunicación a través de Telegram mostró que el proceso de transmisión de mensajes depende en gran medida de la integridad de los datos enviados desde el Transmisor 01. Siempre que la información generada por el sistema no contenga caracteres especiales o errores en la cadena de texto, el mensaje llegará a la plataforma sin interrupciones. Esto se confirmó en las pruebas de campo realizadas, por lo que, cuando el mensaje transmitido presentó caracteres no reconocidos por el servidor de Telegram, la comunicación fue afectada. En estos casos, el sistema detectó la anomalía y evitó el envío del mensaje defectuoso. El monitor serial del Receptor 01 cumplió una función importante, debido a que permitió visualizar estos errores y el funcionamiento del sistema.

Durante la puesta en marcha del sistema, se envió un mensaje inicial que contenía información sobre la red a la que el dispositivo está conectado. Este mensaje de confirmación fue recibido en todos los casos sin inconvenientes, lo que sugiere que su estructura al mantenerse constante, no presenta incompatibilidades con el servidor web de Telegram como se evidencia en la *Figura 5.4*. En contraste, la información generada por el Transmisor 01 varió en función de los datos captados por el LoRa XL1278 en el Receptor 01 y el procesamiento realizado antes de su envío. La existencia de caracteres especiales o errores en la estructura del mensaje ocasionó problemas en la interpretación de la información, lo que impidió su recepción en Telegram. Dado que la comunicación inicial se estableció sin fallos.

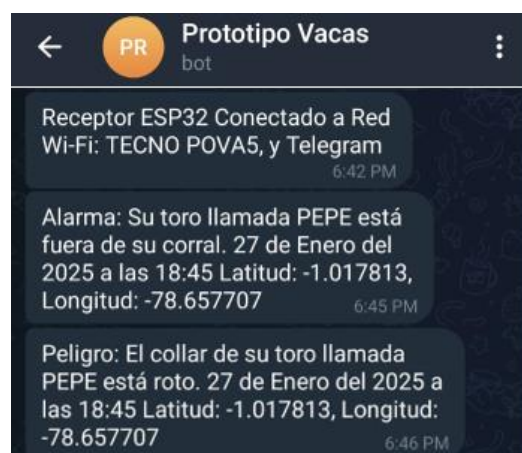


Figura 5.4 Mensajes recibidos en Telegram

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación y desarrollo del sistema de comunicación y control para ganado bovino basado en el microcontrolador ESP32 ha permitido establecer una solución eficiente para el monitoreo en tiempo real. La validación en campo, realizada en la parroquia rural Aláquez, permitió evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación demostrando que el sistema puede ser una herramienta útil para el control y localización del ganado, contribuyendo a mejorar la gestión en explotaciones ganaderas.

6.1 CONCLUSIONES

- El análisis bibliográfico permitió identificar tecnologías y metodologías que han sido aplicadas en el monitoreo de ganado bovino, destacando el uso del ESP32 debido a su bajo consumo energético y capacidad de comunicación mediante protocolos inalámbricos. La exploración de alternativas en comunicación a larga distancia, como LoRa, y la integración con sistemas de geolocalización, como el GPS, permitió definir la estructura más adecuada para el sistema.
- El diseño del prototipo se desarrolló en base a criterios clave de componentes: el ESP32 fue elegido por su capacidad de procesamiento, bajo consumo energético y la conexión con IoT resolviendo que el usuario pueda recibir información del sistema en base a alertas en forma de mensajes almacenados en el servidor de Telegram, el LoRa XL1278 por su alcance y eficiencia en transmisión a larga distancia, y el GPS por su relación costo-precisión de 2.5 m. Además, se desarrolló un código para integrar adecuadamente los componentes, garantizando su operatividad. La carcasa, compacta y ligera, resistió a las pruebas de campo. El sistema fue desarrollado con una inversión de \$96.75, cumpliendo las necesidades para las que fue diseñado, manteniendo un costo reducido.
- Las pruebas de campo permitieron evaluar el rendimiento del sistema en un entorno real, validando su desempeño en cuanto a comunicación, precisión de geolocalización y estabilidad en la transmisión de datos. Se constató que el sistema mantiene una comunicación efectiva hasta un rango de 402 m. Los datos transmitidos desde distancias cercanas se reciben en un máximo de 10 s, mientras que aquellos enviados desde distancias mayores presentan un retraso de entre 15 y 20 s. En términos generales, el prototipo demostró ser funcional para la aplicación prevista, con una variación en la ubicación coherente con las hojas de datos, siempre y cuando los datos corruptos no excedan los parámetros del código ASCII, lo cual ocurre si los datos son enviados.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la interferencia en la comunicación LoRa y ajustar la potencia de transmisión, además de considerar una red de receptores distribuidos para asegurar una cobertura más estable y confiable.
- Se recomienda para futuros proyectos de investigación abordar el tema en base a prototipos de píldoras subcutáneas integrando tecnología de rastreo y monitoreo de salud, con baterías de larga duración o incluso sistemas de recarga inyectables (si la tecnología lo permite) o biodegradables.
- Se recomienda implementar un sistema de carga solar para recargar de manera continua la batería del dispositivo mientras está en funcionamiento en el campo, aprovechando la luz natural y así extender su autonomía, reduciendo la necesidad de intervenciones manuales para el mantenimiento.
- Para mitigar el efecto de falsas alarmas, se sugiere para próximos proyectos implementar un rango de error en la delimitación de la zona de pastoreo, para absorber pequeñas variaciones en las coordenadas sin afectar la fiabilidad del sistema.

7. REFERENCIAS

- [1] D. C. Cangrejo Aguirre y D. M. Hernández López, «Sistema de apoyo a la prevención del abigeato de ganado bovino utilizando tecnologías IoT y Cloud,» Bogotá, 2019.
- [2] Monnet, «Monitoreo de la Salud del Ganado: Prevención de Enfermedades y Reducción de la Mortalidad,» [En línea]. Available: <https://monnet.com.bo/monitoreo-de-la-salud-del-ganado/>. [Último acceso: 15 11 2024].
- [3] Manabí Noticias, «Millonarias pérdidas por robo de ganado en Ecuador,» 12 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://manabinoticias.com/millonarias-perdidas-por-robo-de-ganado-en-ecuador/>. [Último acceso: 2024 Noviembre 16].
- [4] El Comercio, «El robo de ganado deja un perjuicio millonario en el sector,» 11 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/robo-ganado-perdidas-litoral-produccion.html>. [Último acceso: 2025 11 15].
- [5] R. Padilla, V. Quintero y A. Díaz, «Monitoreo y localización de personas extraviadas utilizando Arduino y GSM/GPS,» *Industrial Data*.
- [6] L. Espejo, Y. Rivera, J. Méndez, A. González y H. Flores, «Dispositivo de rastreo GPS para ganado bovino,» *Pistas Educativas*, vol. 39, Diciembre 2017.
- [7] Universo de la salud animal, «Monitoreo de animales en producción bovina,» 2014 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.universodelasaludanimal.com/ganaderia/monitoreo-de-animales-en-produccion-bovina/>.
- [8] M. Romero, R. Hernández y J. Sánchez, «Evaluación y monitoreo del bienestar animal en sistemas tradicionales extensivos ovinos para la mejora de la productividad,» de *Tejidos metodológicos del posconflicto*, Bogotá, Tirant lo Blanch, 2022, pp. 160-167.
- [9] Y. Caballero, «Evaluación del impacto de la asistencia técnica ganadera a corto plazo en los pequeños y medianos productores de Honduras y Panamá,» Honduras, 2018.
- [10] Allflex, «Innovaciones en la identificación de ganado para mejorar la trazabilidad,» 2024 Abril 2024. [En línea]. Available:

- <https://www.allflex.global/mx/2024/04/17/identificacion-de-ganado/>. [Último acceso: 23 Noviembre 2024].
- [11] Repuestos Fuster, «La tecnología RFID y sus usos en ganadería,» 30 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.repuestosfuster.com/blog/la-tecnologia-rfid-y-sus-usos-en-ganaderia/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2024].
- [12] Sotein, «Características de las redes alámbricas,» 23 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://sotein.com.co/redes-alambricas/>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [13] Redes Cableadas, «Conozca los aspectos principales de las redes cableadas,» 2004. [En línea]. Available: <https://www.nvtecnologias.com/blog/blog-1/redes-cableadas-41>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [14] Tenveo, «Cómo funciona la comunicación serial RS232,» 21 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.tenveo-video-conference-es.com/info/how-rs232-serial-communication-works-33863320.html>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [15] Advanced motion controls, «Comunicación RS-232,» 2002. [En línea]. Available: <https://www.a-m-c.com/es/experiencia/tecnologias/interfaz-periferica/rs-232/>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [16] J. Guerra, «Comunicación I2C con Arduino lo mejor de dos mundos,» 2021. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/comunicacion-i2c-con-arduino/>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [17] Punto Flotante, «El estándar SPI para comunicación síncrona de alta velocidad,» 2004. [En línea]. Available: <https://www.puntoflotante.net/COMUNICACION-SPI-TUTORIAL.htm>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [18] <https://www.es-ebyte.com/news/470>, «Explicación detallada del protocolo de comunicación SPI,» 4 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.es-ebyte.com/news/470>. [Último acceso: 9 Enero 2025].
- [19] R. Martínez Peralta, «SPI introducción,» 8 Enero 2025. [En línea]. Available: <https://www.tumejormaestro.com/pag/prot/SPI.html#>.

- [20] B. Iee, «Comunicación UART: la columna vertebral de la transmisión de datos en serie,» 2008. [En línea]. Available: <https://tritekbattery.com/es/uart-communication-protocol/>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [21] Educación Urbana, «Qué es UART?,» 2008. [En línea]. Available: <https://educacionurbana.com/wp-content/uploads/2024/05/UART-WEB.pdf>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [22] M. Harris, «Protocolos de Comunicaciones Seriales - Parte Dos: UART,» 14 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://resources.altium.com/es/p/serial-communications-protocols-part-two-uart>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [23] L. C. Morales Flores, «MODELO DE OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UNA RED WIMAX PARA DAR COBERTURA A UN CONJUNTO DE PUNTOS GEOGRÁFICAMENTE DISTANTES,» 5 Enero 2025. [En línea]. Available: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70427/fichero/3.+Redes+inal%C3%A1mbricas.pdf>.
- [24] F. León, «Dynamo Electronics,» 12 Julio 2022. [En línea]. Available: https://www.dynamoelectronics.com/que-son-senales-analogicas-y-digitales-en-electronica/?srsltid=AfmBOorXDGHl6PPbXvy_MfWtAuWcdXyXqAcORWIU-TQ8MTxasPg-x5Xb. [Último acceso: Enero 5 2025].
- [25] Arduino y solo Arduino, «¿Qué es una señal analógica?,» 10 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://soloarduino.blogspot.com/2013/07/que-es-una-senal-analogica.html>. [Último acceso: 5 Enero 2025].
- [26] Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología, «Universidadviu,» 22 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/ec/actualidad/nuestros-expertos/diferencias-entre-senal-analogica-y-digital>. [Último acceso: 2 Enero 2025].
- [27] Electroagenda, «Electrónica Analógica y Digital: Comparativa y Diferencias,» 21 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://electroagenda.com/es/electronica-analogica-y-digital-comparativa-y-diferencias/>. [Último acceso: 5 Enero 2025].

- [28] Dolopedia, «Parámetros que definen el pulso eléctrico,» [En línea]. Available: <https://dolopedia.com/categoria/parametros-que-definen-el-pulso-electrico>. [Último acceso: 5 Enero 2025].
- [29] F. Romo Zamudio, «Entre lo analógico y lo digital,» Agosto 2004. [En línea]. Available: <https://iibi.unam.mx/voutssasmt/documentos/analogico%20y%20digital%20fabian.pdf>. [Último acceso: 5 Enero 2025].
- [30] El Rincón de Alex, «SEÑALES PORTADORAS Y MODULADORAS,» 10 Octubre 2008. [En línea]. Available: <https://alexdl8.wordpress.com/2008/10/10/senales-portadoras-y-moduladoras/>. [Último acceso: 6 Enero 2025].
- [31] A. Gallegos, «Síntesis por modulación de frecuencias,» 24 Junio 2008. [En línea]. Available: <https://proyectoidis.org/sintesis-por-modulacion-de-frecuencias/>. [Último acceso: 6 Enero 2025].
- [32] O. Santa Cruz, «Cap. 3.1.TRANSMISIÓN DE MODULACIÓN DE AMPLITUD,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/electronicaaplicadaiiii/aplicada/cap03modulacionam1.pdf>. [Último acceso: 6 Enero 2025].
- [33] Faster Capital, «Modulacion de frecuencia Modulacion de frecuencia la perspectiva del analisis de Fourier,» 25 Junio 2024. [En línea]. Available: <https://fastercapital.com/es/contenido/Modulacion-de-frecuencia--Modulacion-de-frecuencia--la-perspectiva-del-analisis-de-Fourier.html>. [Último acceso: 7 Enero 2025].
- [34] telecomunicacionesitsfcs, «Fundamentos de Telecomunicaciones,» 11 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://telecomunicacionesitsfcs.blogspot.com/2014/12/unidad-3-modulacion-3.html>. [Último acceso: 6 Enero 2025].
- [35] D. Vallejo y R. Malagon, « MODULACIÓN PM,» 23 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-cundinamarca/comunicacion-de-datos-ii/modulacion-pm-vallejo-malagon/37334324>. [Último acceso: 7 Enero 2025].

- [36] aplicacioneswebsmr1, «Modulación AM y FM,» [En línea]. Available: https://aplicacioneswebsmr1.fandom.com/es/wiki/Modulaci%C3%B3n_AM_y_FM. [Último acceso: 7 Enero 2025].
- [37] Textos científicos, «ASK - Desplazamiento de amplitud,» 4 Agosto 2005. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/ask>. [Último acceso: 7 Enero 2025].
- [38] P. Waite, «Comprensión de la modulación por desplazamiento de frecuencia: guía para principiantes sobre comunicación digital,» 11 Diciembre 2024. [En línea]. Available: https://wraycastle.com/es/blogs/knowledge-base/frequency-shift-keying?srltid=AfmBOopAxWrY56zOrFgUSgFJVY-M8W63_5bVsgOnc9S6lruDLL1yZPYB. [Último acceso: 7 Enero 2025].
- [39] TelecomunicacionesITSTulum , «3.2.3 Modulación por desplazamiento de fase,» [En línea]. Available: <https://u6dispositivosdecomunicacionitstulum.wordpress.com/3-2-3-modulacion-por-desplazamiento-de-fase/>. [Último acceso: 7 Enero 2025].
- [40] J. Cañón, «Técnicas de modulación digital,» 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://jorgecanon.com/tecnicas-de-modulacion-digital/>. [Último acceso: 7 Enero 2025].
- [41] J. M. Nocedal, «RF Jamming [Titulo de Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, Universidad de las Américas Puebla],» 2006. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf.
- [42] robertocallos2, «Introduccion a los sistemas de telecomunicación,» 30 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://robertocallos2.wordpress.com/2018/10/30/1-1-introduccion-a-los-sistemas-de-telecomunicacion/>. [Último acceso: 5 Enero 2025].
- [43] Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología, «Radiofrecuencia: ¿qué es y cuáles son sus aplicaciones?,» 21 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/radiofrecuencia-que-es-y-cuales-son-sus-aplicaciones>. [Último acceso: 5 Enero 2025].
- [44] P. Denisowski, «Introducción a la radiofrecuencia: tecnologías de RF,» [En línea]. Available: <https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/essentials->

- test-equipment/spectrum-analyzers/que-es-la-radiofrecuencia-tecnologias-de-radiofrecuencia_256007.html. [Último acceso: 5 Enero 2025].
- [45] Nvtecnologias, «Tipos de Conectividad Inalámbrica,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.nvtecnologias.com/blog/blog-1/tipos-de-conectividad-inalambrica-38>. [Último acceso: 8 Enero 2025].
- [46] AlfaIoT, «LoRa, una tecnología LPWAN ideal para el Internet de las Cosas,» 22 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://alfaiot.com/iot/lora-una-tecnologia-lpwan-ideal-para-el-internet-de-las-cosas/>. [Último acceso: 9 Enero 2025].
- [47] Venco, «Qué es LoRa, cómo funciona y características principales,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.vencoel.com/que-es-lora-como-funciona-y-caracteristicas-principales/>. [Último acceso: 3 Diciembre 2022].
- [48] CatSensors, «Tecnología LoRA y LoRAWAN,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>. [Último acceso: 9 Enero 2025].
- [49] DIGI, «¿Qué es Zigbee?,» 2018. [En línea]. Available: <https://es.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>. [Último acceso: 9 Enero 2025].
- [50] Venco, «Qué es ZigBee, cómo funciona y características principales,» 20 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.vencoel.com/que-es-zigbee-como-funciona-y-caracteristicas-principales/>. [Último acceso: 9 Enero 2025].
- [51] D. Viera, «Bluetooth: qué es y cómo funciona,» 25 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.hostgator.mx/blog/bluetooth-que-es/>. [Último acceso: 9 Enero 2025].
- [52] IONOS, «¿Qué es Bluetooth? Toda la información sobre el estándar inalámbrico,» 12 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.ionos.com/es-es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-bluetooth/>. [Último acceso: 9 Enero 2025].
- [53] Aprendiendo ingeniería, «Que es y cómo funciona el Bluetooth,» 30 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/como-funciona/que-es-el-bluetooth/>. [Último acceso: 10 Enero 2025].

- [54] G. GAllego, «Qué es el WiFi y cómo funciona para conectar todo a Internet,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>. [Último acceso: 15 Enero 2025].
- [55] Proofpoint, «¿Qué es el wifi?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.proofpoint.com/es/threat-reference/wifi>. [Último acceso: 10 Enero 2025].
- [56] Carballar, «Wi-Fi. Conceptos básicos,» 2022. [En línea]. Available: <https://carballar.com/wi-fi-conceptos-basicos>. [Último acceso: 10 Enero 2025].
- [57] GPS.Gov, «El Sistema de Posicionamiento Global,» [En línea]. Available: [https://www.gps.gov/systems/gps/spanish.php#:~:text=El%20Sistema%20de%20Posicionamiento%20Global%20\(GPS\)%20es%20un%20servicio%20propiedad,y%20el%20segmento%20del%20usuario..](https://www.gps.gov/systems/gps/spanish.php#:~:text=El%20Sistema%20de%20Posicionamiento%20Global%20(GPS)%20es%20un%20servicio%20propiedad,y%20el%20segmento%20del%20usuario..) [Último acceso: 29 Noviembre 2024].
- [58] Concepto, «Latitud y longitud,» 30 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://concepto.de/latitud-y-longitud/>. [Último acceso: 30 Noviembre 2024].
- [59] AristaSur, «Sistema de Coordenadas Geográficas: Longitud y Latitud,» 23 Diciembre 2010. [En línea]. Available: <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-longitud-y-latitud>. [Último acceso: 30 Noviembre 2024].
- [60] M. Fajardo, «Introducción a la geolocalización y GPS en android.,» 9 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/introduccion-a-la-geolocalizacion-y-gps-en-android/62918694>. [Último acceso: 30 Noviembre 2024].
- [61] Opencircuit, «Nunca más te pierdas con el módulo GPS GY-NEO6MV2,» 2016. [En línea]. Available: <https://opencircuit.es/blog/nooit-meer-verdwalen-gy-neo6mv2-gps-module>.
- [62] Kasperky, «¿Qué es la Internet de las cosas? Definición y explicación?,» 2022. [En línea]. Available: https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-iiot?srsltid=AfmBOonjhp380kS5NBwaOB27X_zq008CmwW01_VtpwftyMHTMpQEouD. [Último acceso: 12 Enero 2025].
- [63] R. Núñez, «Concepto básico de Internet de las Cosas o IoT,» 2 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.iotworldonline.es/concepto-basico-de-internet-de-las-cosas-o-iiot/>. [Último acceso: 28 Noviembre 2024].

- [64] P. Escudero, «Unidad 02: Estándares en Tecnologías Inalámbricas,» 2007. [En línea]. Available: [https://nsrc.org/wrc/trac/wirelessu/raw-attachment/wiki/WALC2009/02_es_estandares-inalambricos_guia_v02\[1\].pdf](https://nsrc.org/wrc/trac/wirelessu/raw-attachment/wiki/WALC2009/02_es_estandares-inalambricos_guia_v02[1].pdf). [Último acceso: 10 Enero 2025].
- [65] Farnell, «Protocolos de redes inalámbricas del IoT,» 2022. [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/iot-wireless-network-protocols?srltid=AfmBOorCXIpafdZl2PEwfiGf5aceVaaYigPFjFbC7eNyKaKDYtMg655U>. [Último acceso: 12 Enero 2025].
- [66] Y. Fernández, 14 Noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>. [Último acceso: 13 Enero 2025].
- [67] O. González, «Guía de modelos Arduino y sus características,» 2004. [En línea]. Available: <https://lab.bricogeek.com/tutorial/guia-de-modelos-arduino-y-sus-caracteristicas/arduino-uno>. [Último acceso: 17 Enero 2025].
- [68] A. Cortés, «Acortes Software,» 16 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://acortes.co/tutorial-esp32/>. [Último acceso: 4 Diciembre 2024].
- [69] SoundFounder, «ESP32 WROOM 32E,» 2024. [En línea]. Available: https://docs.sunfounder.com/projects/esp32-starter-kit/es/latest/components/component_esp32_extension.html. [Último acceso: 4 Diciembre 2024].
- [70] Raspberrypi, «¿Que es Raspberry Pi?,» 2004. [En línea]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>. [Último acceso: 13 Enero 2025].
- [71] J. Pastor, «Llega la nueva Raspberry Pi 5 y lo hace presumiendo de un potente chip propio y más capacidad de expansión que nunca,» 28 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-5-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>. [Último acceso: 13 Enero 2025].
- [72] D. Debashis, «Circuit Digest,» How Does a NEO-6M GPS Module Work and How to Interface it with ESP32, 6 Julio 2022. [En línea]. Available:

- <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-neo6m-gps-module-with-esp32>. [Último acceso: 1 Diciembre 2024].
- [73] Blog Electrogate, «GPS Neo-6M com Arduino – Aprenda a Usar,» 7 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://blog.eletrogate.com/gps-neo-6m-com-arduino-aprenda-usar/>. [Último acceso: 1 Diciembre 2024].
- [74] OKYSTAR, «<https://agelectronica.lat/pdfs/textos/O/OKY3552.PDF>,» [En línea]. Available: <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/O/OKY3552.PDF>.
- [75] Prometec, «/ SIM808: GSM/GPRS + GPS,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.prometec.net/sim808/>. [Último acceso: 13 Enero 2025].
- [76] J. Zapata, «Sistema embebido para alertar robos y secuestros de conductores en automóviles,» Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21308/1/UPS%20-%20TTS544.pdf>. [Último acceso: 13 Enero 2025].
- [77] T. K. Hadreedran, «A Review of the Mini SX1278 LoRa Transceiver Module,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.electroschematics.com/rf-radio-frequency/>. [Último acceso: 3 Diciembre 2024].
- [78] How to Electronics, «Interfacing SX1278 (Ra-02) LORA Module with Arduino,» 2022. [En línea]. Available: <https://how2electronics.com/interfacing-sx1278-lora-module-with-arduino/>. [Último acceso: 4 Diciembre 2024].
- [79] Ariath Technology, «Características NRF24L01, configuración de pin, integración y aplicaciones,» 6 Mayo 2024. [En línea]. Available: <https://www.ariat-tech.es/blog/nrf24l01-features,pin-configuration,integration-and-applications.html>. [Último acceso: 15 Enero 2025].