



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO DE ANIMALES EN ZONAS  
ANDINAS DEL ECUADOR MEDIANTE EL EMPLEO DE TECNOLOGÍAS  
DE COMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO Y LARGO ALCANCE”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Eléctrico

**AUTORES:**

Jheimy Jhamilex Guerra Soria  
Alexander Javier Santo Chiluisa

**TUTOR:**

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas, Mg.

**LATACUNGA - ECUADOR**

**MARZO 2026**

Latacunga, Marzo de 2026

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **GUERRA SORIA JHEIMY JHAMILEX** con C.I. 1500933310 y **SANTO CHILUISA ALEXANDER JAVIER** con C.I. 0550473052, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO DE ANIMALES EN ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR MEDIANTE EL EMPLEO DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO Y LARGO ALCANCE”**, siendo el Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas, Mg, tutor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Jheimy Jhamilex Guerra Soria

C.I.150093331-0

Alexander Javier Santo Chiluisa

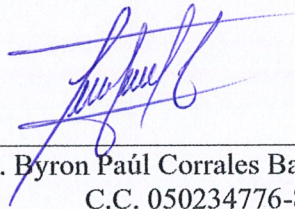
C.I.055047305-2

Latacunga, Marzo de 2026

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de investigación sobre el título:

**"DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO DE ANIMALES EN ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR MEDIANTE EL EMPLEO DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO Y LARGO ALCANCE"**, los estudiantes **GUERRA SORIA JHEIMY JHAMILEX** y **SANTO CHILUISA ALEXANDER JAVIER**, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, consideró que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de proyecto que el consejo directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi diseñó, para su correspondiente estudio y calificación.



---

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas, Mg.  
C.C. 050234776-8  
**TUTOR**

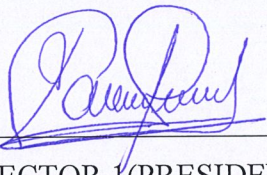
Latacunga, Marzo de 2026

### **AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES**

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO DE ANIMALES EN ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR MEDIANTE EL EMPLEO DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO Y LARGO ALCANCE”**, propuesto por los estudiantes **GUERRA SORIA JHEIMY JHAMILEX** y **SANTO CHILUISA ALEXANDER JAVIER** de la Carrera de Ingeniería en Electricidad me permito indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Proyecto de investigación en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

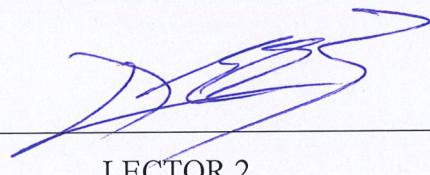
Atentamente,



LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, Mg

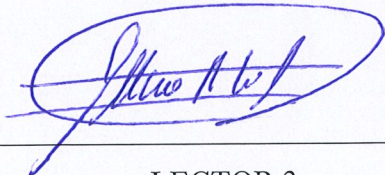
C.I.: 050265642-4



LECTOR 2

MBA. Diego Enrique Estupiñán Tello

C.I.: 050165650-8



LECTOR 3

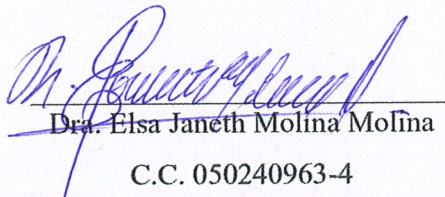
Ing. Marco Aníbal León Segovia, Mg

C.I.: 050230540-2

Latacunga, Marzo de 2026

## **AVAL DE IMPLEMETACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO DE ANIMALES EN ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR MEDIANTE EL EMPLEO DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO Y LARGO ALCANCE”**, propuesto por los estudiantes **GUERRA SORIA JHEIMY JHAMILEX** y **SANTO CHILUISA ALEXANDER JAVIER** de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, con número de cédula 150093331-0 y 055047305-2 realizan la entrega del proyecto de titulación en pleno funcionamiento.



Dra. Elsa Janeth Molina Molina  
C.C. 050240963-4

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer de todo corazón a mis padres, quienes han sido lo más importante en mi vida y el motor que me ha impulsado a seguir adelante. Gracias por su amor, su apoyo incondicional y por todas las enseñanzas que me han brindado a lo largo de mi vida. Cada consejo, sacrificio y palabra de aliento han sido fundamentales para poder llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.*

*También quiero agradecer con mucho cariño a mis abuelos, a mis tíos y a mi novia, por estar siempre presentes acompañándome en este camino. Gracias por su apoyo, por sus palabras de ánimo y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Su compañía y confianza han sido una gran motivación para seguir adelante y cumplir mi sueño.*

***Alexander Javier Santo Chiluisa***

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a Dios, quien me ha dado la fuerza, la sabiduría y la oportunidad de culminar mi carrera. Con todo mi amor y gratitud, lo dedico también a mis queridos padres, Byron Santo y María Chiluisa, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida; su sacrificio, sus consejos, su apoyo incondicional y su amor han iluminado cada paso de este camino y han sido la mayor inspiración para seguir adelante. A mis hermanos, Brando Santo y Santiago Santo, por su compañía, su apoyo y la complicidad que siempre me han brindado, siendo una fuente constante de ánimo en cada etapa de mi vida.*

*A mi abuelo Alejandro, quien, aunque ya no esté físicamente con nosotros, sé que desde el cielo me cuida y guía. A mi novia, Janeth Bonifaz por su amor, su confianza, sus palabras de aliento y por brindarme su tiempo para poder alcanzar esta meta profesional.*

*Finalmente, a mis amigos, compañeros y a todas las personas que de una u otra manera han sido parte de este camino y han contribuido con su apoyo y motivación para que hoy pueda cumplir uno de los sueños más importantes de mi vida.*

**Alexander Javier Santo Chiluisa**

## **AGRADECIMIENTO**

*El principal agradecimiento a Dios, quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante, y poner a las personas correctas en esta etapa de mi vida.*

*A mis padres, Rosita Soria y Edwin Guerra por su respaldo incondicional y por creer siempre en mí; a mis hermanos, por su cariño y hacer mis días más alegres.*

*A mi enamorado Galo Jiménez, por su cariño, por escucharme, ayudarme, motivarme y acompañarme en este camino hasta alcanzar mi meta. A mis amigos, por las experiencias vividas y por hacer que los días difíciles sean más llevaderos.*

*A mi tutor de tesis, Mg. Paúl Corrales, por su paciencia y por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos técnicos. A todos los docentes que me brindaron su mano, sus consejos y palabras sinceras de aliento.*

**Jheimy Jhamilex Guerra Soria**

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico a Dios, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante los problemas que se presentaban, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento.*

*A mis padres, Rosita Soria y Edwin Guerra, por formarme como persona; por inculcarme los valores que tengo, mis principios, mi carácter, mi empeño y perseverancia. Por decirme siempre que soy capaz de lograr todo lo que me proponga, por brindarme los recursos necesarios, por su amor y comprensión, por cada consejo y por su apoyo incondicional.*

***Jheimy Jhamilex Guerra Soria***

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### TITULO: “DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO DE ANIMALES EN ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR MEDIANTE EL EMPLEO DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO Y LARGO ALCANCE”

#### **Autores:**

Jheimy Jhamilex Guerra Soria  
Alexander Javier Santo Chuluisa

#### **RESUMEN**

En el siguiente proyecto de investigación, se realizó el diseño de un dispositivo de rastreo para animales en zonas andinas del Ecuador, aplicando tecnologías de comunicación de bajo consumo y largo alcance, con el fin de contar con sistemas de monitoreo eficientes, de bajo costo y con energía suficiente para operar en entornos rurales y de difícil acceso. El dispositivo integra un sistema de posicionamiento global (GPS) para la obtención de coordenadas geográficas, un módulo de comunicación LoRa para la transmisión inalámbrica de datos y un microcontrolador ESP32 TTGO T-Beam para el procesamiento de la información, además posee un sensor de temperatura DS18B20, almacenamiento en memoria micro SD y un sistema de alimentación basado en baterías de litio recargables complementadas con un panel solar. La metodología empleada se basó en el diseño electrónico, desarrollo de firmware, prototipado de placas PCB y pruebas de laboratorio y campo. Los resultados mostraron que el dispositivo es funcional y viable para el rastreo en zonas andinas. Se evidenció estabilidad en la comunicación, con niveles entre -91 y 95 dBm, estabilizándose en -93 dBm, y una actualización de datos cada 40 segundos, en términos de cobertura se demostró que el alcance depende directamente del tipo de antena y del entorno, teniendo un mayor alcance la antena StarFive con 970 m. el sistema energético mostró voltajes entre 3.20 V y 3.50 V, confirmando su correcta carga y descarga. Finalmente se comprobó que el dispositivo posee estabilidad operativa, autonomía energética y bajo costo.

**Palabras clave:** monitoreo remoto, redes de área amplia de bajo consumo, seguimiento de objetivos, sistema de posicionamiento global, telemetría.

# COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

## FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

### THEME: “DESIGN OF AN ANIMAL TRACKING DEVICE IN THE ANDES OF ECUADOR USING LOW-POWER, LONG-RANGE COMMUNICATION TECHNOLOGIES”

#### Authors:

Jheimy Jhamilex Guerra Soria  
Alexander Javier Santo Chuluisa

#### ABSTRACT

In the following research project, a tracking device was designed for animals in the Andean regions of Ecuador, applying low-power, long-range communication technologies in order to provide efficient, low-cost monitoring systems with sufficient power to operate in rural and hard-to-reach environments. The device integrates a global positioning system (GPS) for obtaining geographics coordinates, a LoRa communication module for wireless data transmission, and an ESP32 TTGO T-Beam microcontroller for information processing. It also has a DS18B20 temperature sensor, micro-SD memory storage, and a power supply system based on rechargeable lithium batteries supplemented by a solar panel. The methodology used was based on electronic design, firmware development, PCB prototyping, and laboratory and field testing. The results showed that the device is functional and viable for tracking in Andean areas. Communication stability was evident, with levels between -91 and 95 dBm, stabilizing at -93 dBm, and data updates every 40 seconds. In terms of coverage, it was demonstrated that the range depends directly on the type of antenna and the environment, with the StarFive antenna having the greatest range at 970 m. The energy system showed voltages between 3.20 V and 3.50 V, confirming its correct charging and discharging. Finally, it was verified that the device has operational stability, energy autonomy, and low cost.

**Keywords:** remote monitoring, low-power wide area networks, target tracking, global positioning system, telemetry.

## INDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	iii
AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES .....	iv
AVAL DE IMPLEMETACIÓN .....	v
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	vi
<i>DEDICATORIA</i> .....	vii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
1 INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2 INTRODUCCIÓN .....	3
2.1 Situación Problemática.....	4
2.2 Formulación del problema .....	4
2.3 Objeto y Campo de Acción .....	4
2.3.1 Objeto de Investigación:.....	4
2.3.2 Campo de Acción:.....	5
2.4 Beneficiarios.....	5
2.4.1 Directos .....	5
2.4.2 Indirectos.....	5
2.5 Justificación.....	5
2.6 Objetivos .....	5
2.6.1 General .....	5
2.6.2 Específicos .....	6
2.7 Sistemas de Tareas .....	6
3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1 Antecedentes .....	7
3.2 Especies en peligro de extinción en la región andina.....	9

3.3	Tecnologías de rastreo de animales.....	10
3.3.1	Collares GPS .....	10
3.3.2	Etiquetas satelitales .....	11
3.3.3	Radio telemetría .....	12
3.4	Fundamentos de los sistemas de posicionamiento .....	12
3.4.1	Proyecciones cartograficas .....	12
3.4.2	Sistemas de referencia.....	13
3.4.3	Métodos determinar el posicionamiento .....	14
3.4.4	Global Positioning System (GPS) .....	15
3.5	Tecnologías de comunicación .....	15
3.5.1	Comunicación celular.....	16
3.5.2	Redes de baja potencia .....	17
3.5.3	Comunicación satelital .....	19
3.6	Cuadro comparativo de tecnologías de comunicación.....	20
3.7	Electrónica y diseño de hardware:.....	21
3.7.1	Microcontroladores .....	22
3.7.2	Módulos y sensor de temperatura.....	22
3.7.3	Fuentes de energía.....	24
4	METODOLOGÍA .....	25
4.1	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	25
4.1.1	Investigación Bibliográfica .....	25
4.1.2	Investigación de Campo .....	26
4.1.3	Investigación Exploratoria .....	26
4.2	Enfoque de investigación: .....	26
4.2.1	Componente cuantitativo.....	26
4.2.2	Componente cualitativo.....	26
4.2.3	Combinación mixta .....	26

4.3	Fases del proyecto .....	27
4.3.1	Investigación .....	27
4.3.2	Diseño.....	27
4.3.3	Prototipado .....	28
4.3.4	Pruebas .....	28
4.4	Desarrollo de hardware y software:.....	29
4.4.1	Arduino IDE.....	29
4.4.2	Selección de Componentes electrónicos para usar en el prototipo .....	30
4.5	Diseño del dispositivo: .....	37
4.5.1	Requisitos de diseño.....	37
4.5.2	Arquitectura del sistema.....	38
4.5.3	Desarrollo del firmware.....	40
4.6	Diseño y Prototipo.....	42
4.6.1	Diseño esquemático y PCB .....	43
4.7	Diseño del PCB .....	45
4.7.1	Diseño del Receptor .....	45
4.7.2	Diseño del Emisor .....	46
4.7.3	Modelo 3D del encapsulado .....	48
4.7.4	Montaje del prototipo .....	48
4.7.5	Desarrollo de la plataforma de monitoreo:.....	54
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	56
5.1	Prototipo funcional.....	56
5.1.1	Funcionalidad operativa .....	56
5.2	Resultados de las pruebas.....	56
5.2.1	Pruebas y validación: .....	56
5.2.2	Prueba de movimiento del emisor .....	59
5.2.3	Distancia de Transmisión .....	61

5.2.4	Tiempo de establecer los datos.....	64
5.2.5	Pérdidas de datos.....	65
5.2.6	Análisis de los valores de la Temperatura.....	66
5.2.7	Prueba de consumo de batería.....	68
5.3	Análisis de costos.....	70
5.4	Comparación con dispositivos existentes.....	72
5.5	Análisis de indicadores económicos.....	74
5.6	Relación costo-beneficio (RCB).....	74
5.7	Ventajas Estratégicas del Sistema de Frecuencia Libre.....	75
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
7	RECOMENDACIONES.....	77
8	REFERENCIAS.....	77

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de datalogger GPS.....	11
Figura 2 Módulo de hardware del sistema propuesto. ....	12
Figura 3 Coordenadas UTM.....	13
Figura 4 Triangulación de 3 satélites. ....	14
Figura 5 Trilateración entre 3 satélites .....	15
Figura 6 Comunicación LoRaWAN.....	18
Figura 7 Topología en estrella de Sigfox. ....	19
Figura 8 Arquitectura iridium. ....	20
Figura 9 Placa de Arduino.....	22
Figura 10 Módulo GPS .....	23
Figura 11 Módulo Acelerómetro.....	24
Figura 12 Sensor de temperatura LM35.....	24
Figura 13 Panel Solar. ....	25
Figura 14 Fase para la implementación del Proyecto.....	28
Figura 15 Interfaz de Arduino IDE .....	29
Figura 16 Módulo GPS NEO-6M. ....	30
Figura 17 Módulo TP4056 entrada micro USB. ....	31
Figura 18 Panel Fotovoltaico 300mA .....	32
Figura 19 Batería de litio de 3.7 V.....	33
Figura 20 Módulo T-Beam.....	34
Figura 21 Diagrama de pines del ESP32 TTGO T-Beam.....	35
Figura 22 Módulo Lector MicroSD .....	35
Figura 23 Sensor de Temperatura “DS18B20” .....	36
Figura 24 Módulo Lilygo lora 32 (Receptor).....	37
Figura 25 Diagrama de bloque del Emisor.....	38
Figura 26 Diagrama del bloque del receptor. ....	39
Figura 27 Diagrama de flujo del Emisor .....	40
Figura 28 Diagrama de flujo del Receptor .....	42
Figura 29 Diagrama de conexión del Receptor .....	43
Figura 30 Diagrama de conexión del Emisor .....	44
Figura 31 Diseño del receptor .....	46
Figura 32 Placa del Receptor en 3D.....	46

Figura 33 Diseño del receptor .....	47
Figura 34 Placa del Emisor 3D. ....	47
Figura 35 Diseño 3D del prototipo del Receptor .....	48
Figura 36 Diseño 3D del prototipo del Emisor .....	48
Figura 37 Impresión del circuito en maquina CNC .....	49
Figura 38 Máquina CNC utilizada para la construcción de la placa PCB .....	49
Figura 39 Interfaz del SolidWorks .....	50
Figura 40 Diseño de parte superior “Emisor” .....	51
Figura 41 Diseño de parte inferior “Emisor” .....	51
Figura 42 Diseño de parte superior “Emisor” .....	52
Figura 43 Diseño de parte inferior “Receptor” .....	52
Figura 44 Protector de Emisor .....	53
Figura 45 Protector de Receptor.....	53
Figura 46 Almacenamiento de Datos en la MicroSD y la Nube .....	55
Figura 47 Almacenamiento de datos en Google Sheets.....	55
Figura 48 Funcionamiento del receptor con su cadena de datos.....	57
Figura 49 Visualización de los datos.....	57
Figura 50 Funcionamiento del Emisor y su cadena de datos .....	59
Figura 51 Tramo del mensaje (Inicial).....	60
Figura 52 Tramo del mensaje (Final).....	60
Figura 53 Precisión de los datos en “Google Maps” .....	61
Figura 54 Distancia con antena pequeña TTGO/915 MHz “Con Obstáculo” .....	62
Figura 55 Distancia con antena grande StarFive “Con Obstáculo” .....	62
Figura 56 Distancia con antena pequeña TTGO/915 MHz “Sin Obstáculo” .....	63
Figura 57 Distancia con antena grande StarFive “Sin Obstáculo” .....	64
Figura 58 Reconexión de los datos. ....	65
Figura 59 Conexión nuevamente de los datos.....	65
Figura 60 Cuando se genera una atenuación de la señal en espacios cerrados .....	66
Figura 61 Datos obtenidos de la Temperatura .....	66
Figura 62 Gráfica de los datos obtenidos .....	67
Figura 63 Grafica de los datos de la Web .....	68
Figura 64 Consumo de Baterías en el Día.....	69
Figura 65 Consumo de Baterías en el Noche. ....	70

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Áreas Conocimientos Unesco .....	2
Tabla 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación. ....	6
Tabla 3 Descripción de especies en peligro de extinción en la región andina .....	9
Tabla 4 Comparación de tecnologías de comunicación .....	21
Tabla 5 Especificaciones del Módulo GPS .....	30
Tabla 6 Especificaciones del Módulo TP4056.....	31
Tabla 7 Especificaciones de las baterías de litio .....	33
Tabla 8 Especificaciones del módulo T-Beam.....	34
Tabla 9 Identificación los pines a utilizar .....	45
Tabla 10 Trama de datos obtenidos.....	58
Tabla 11 Trama del mensaje .....	58
Tabla 12 Presupuesto del proyecto.....	71

## 1 INFORMACIÓN GENERAL

### Tema del proyecto:

Diseño de un dispositivo de rastreo de animales en zonas andinas del Ecuador mediante el empleo de tecnologías de comunicación de bajo consumo y largo alcance.

### Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Exámen de indicadores de RDA		

### Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Plan de estudio biólogo y conservación del zorro andino (*Lycalopex Culpaeus Reissii*) en la provincia de Cotopaxi mediante acciones que reduzcan la amenaza de su hábitat natural

### Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Jheimy Jhamilex Guerra Soria

Alexander Javier Santo Chiluisa

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas Mg.

**Área de Conocimiento:**

Tabla 1 Áreas Conocimientos Unesco

07 Ingeniería, industria y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0711 Ingeniería y procesos químicos
		0712 Tecnología de protección del medio ambiente
		0713 Electricidad y energía
		0714 Electrónica y automatización
		0715 Mecánica y metalurgia
		0716 Motor de vehículos, embarcaciones y aeronaves

**Línea de investigación:** Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:** Automatización, control y protección de sistemas eléctricos en el sector productivo y los servicios.

## 2 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de seguimiento transmitidos por animales (ATS) han revolucionado el estudio del comportamiento y desplazamiento animal, proporcionando información detallada sobre su interacción con el entorno. Desde sus inicios en los años 60 que empleaban tecnología VHF y triangulación manual, estos sistemas han evolucionado significativamente, esto debido a la incorporación del posicionamiento satelital. En los años 70 y 80 surgieron tecnologías como ARGOS y, más notablemente, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), implementado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. En la actualidad, el GPS es una herramienta muy usada y gratuita, generalmente aplicada en áreas de transporte, rastreo de animales, mantenimiento vial y topografía. Además, su integración en dispositivos ATS permite obtener datos de ubicación con una alta precisión, manteniendo márgenes de error bajos de hasta 4 metros, y transmitirlos mediante redes como Iridium, Globalstar o LoRa. Sin embargo una de sus limitaciones más notables es el tamaño y el peso, por lo que es altamente recomendable que no se supere el 5% del peso del animal, con el fin de garantizar su bienestar[1].

La telemetría aplicada a animales se ha considerado como un instrumento primordial para el estudio de diversas especies. La biotelemetría, que utiliza pequeñas etiquetas fijadas a los animales, es uno de los métodos más eficaces para investigar su comportamiento y ecología en estado silvestre. A lo largo de los últimos 80 años, esta técnica ha avanzado notablemente con la incorporación de sensores como GPS y acelerómetros en los dispositivos. No obstante, la recolección de datos de individuos en libertad continúa siendo un reto, principalmente debido al alto costo o elevado consumo energético de tecnologías como las redes satelitales o GSM. Como solución emergente, se ha comenzado a implementar a nivel global una nueva generación de redes de comunicación de bajo consumo, diseñadas específicamente para integrar sistemas del Internet de las Cosas (IoT) en el monitoreo de fauna [2],[3].

El seguimiento y monitoreo de la vida silvestre se realiza por muchas razones y la técnica utilizada a menudo está determinada por las necesidades de la investigación, el tamaño de los animales y la duración del seguimiento, así como por consideraciones presupuestarias. El seguimiento posterior a la liberación suele ser laborioso o difícil de recapturar. Los avances tecnológicos, especialmente la miniaturización de la electrónica, la prolongación de la vida útil de las baterías y la reducción del consumo de energía, han ampliado el número de especies que pueden rastrearse electrónicamente. Si bien actualmente existen múltiples enfoques de uso común para el seguimiento de animales en su entorno natural, estos métodos a menudo

presentan una serie de ventajas y desventajas [4].

Conforme avanza la tecnología se podido notar una considerable mejora en la capacidad para transferir datos en tiempo real a partir de dispositivos de telemetría usados para el seguimiento de animales. Una de estas innovaciones es LoRaWAN, que es un sistema inalámbrico de con un bajo consumo energético y una comunicación bidireccional, la cual permite transferir y configurar remotamente los dispositivos.

Una de las características más importantes de esta tecnología es su amplia cobertura, permitiéndole alcanzar distancias con un alcance máximo de 10 kilómetros, haciéndolo ideal para ambientes naturales de difícil acceso. Por otra parte, LoRa requiere un mantenimiento mínimo, lo cual proporciona una larga vida útil aportando beneficiando directamente al rastreo no invasivo de animales [4]-[5].

## **2.1 Situación Problemática**

En la actualidad, el rastreo y monitoreo de animales en zonas remotas representa grandes desafíos debido al alto costo que implica adquirir el producto y la membresía según el método de adquisición de datos, la escasez de cobertura de red en áreas rurales, la poca eficiencia energética en un uso continuo, la autonomía y tamaño que representa hacer un dispositivo. Esto limita la recolección de datos en tiempo real, lo cual es relevante para el estudio de las poblaciones animales en sus hábitats naturales, la conservación de especies, gestión de la salud animal, seguridad alimentaria y la investigación científica. Por lo tanto, una tecnología que cumpla las expectativas y condiciones necesarias lograra un alto impacto en la ciencia y la ingeniería.

## **2.2 Formulación del problema**

¿Cómo diseñar un dispositivo de monitoreo y rastreo animal basado en el sistema de posicionamiento global (GPS) que garantice la transmisión de datos en tiempo real?

## **2.3 Objeto y Campo de Acción**

### **2.3.1 Objeto de Investigación:**

Dispositivo de rastreo y sistema de transmisión de datos.

### **2.3.2 Campo de Acción:**

3304.13 Dispositivos de Transmisión de Datos

## **2.4 Beneficiarios**

### **2.4.1 Directos**

Facultad CIYA y CAREN.

### **2.4.2 Indirectos**

Comunidad científica.

## **2.5 Justificación**

El presente proyecto responde a la necesidad de ampliar el alcance de cobertura en espacios abiertos o de difícil acceso para los sistemas de seguimiento transmitidos por animales (ATS). En este contexto, se propone realizar un dispositivo portátil funcional suficientemente liviano y ergonómico para no incomodar al animal ni interferir en su comportamiento natural que emplea tecnologías de geolocalización mediante Sistema de Posicionamiento Global (GPS), de alta precisión y bajo consumo energético empleando tecnología de largo alcance, entre las más utilizadas se encuentran LoRa (Long Range), Sigfox, y NB-IoT, las cuales permiten una conectividad confiable y de bajo costo caracterizada por su amplia cobertura, que puede alcanzar distancias de hasta 10 kilómetros, superando en alcance y penetración a redes como Wi-Fi o Bluetooth y bajo requerimiento de mantenimiento, lo que la hace ideal para ambientes naturales complejos, permitiendo tanto la transferencia de datos como la configuración remota de dispositivos para entregar información sobre la ubicación de animales en tiempo real adaptándose a distintos entornos sin la necesidad de intervención física constante lo cual contribuirá a recopilación de valiosa información para conocer mejor a los animales de zonas andinas del Ecuador, visualizar sus movimientos, entender su actividad y conocer algunos de sus aspectos biológicos y de desarrollo para futuros estudios ecológicos y biológicos al ofrecer información precisa sobre la ubicación y comportamiento de las especies monitoreadas.

## **2.6 Objetivos**

### **2.6.1 General**

Diseñar un dispositivo de rastreo mediante el empleo de tecnologías de comunicación de bajo consumo y largo alcance para el monitoreo de animales de zonas andinas del Ecuador.

## 2.6.2 Específicos

- Investigar tecnologías utilizadas en sistemas de comunicación a largo alcance, dispositivos con sistema de posicionamiento global (GPS) y fuentes de energía alternativas empleadas en dispositivos de rastreo.
- Seleccionar e implementar el hardware y software adecuados para desarrollar un dispositivo funcional que permita el envío y recepción de información para el monitoreo en tiempo real del zorro andino.
- Validar el funcionamiento del dispositivo mediante pruebas de campo en diferentes entornos.

## 2.7 Sistemas de Tareas

A continuación, se presenta la Tabla 2, que describe las tareas propuestas para el desarrollo del proyecto de dispositivos de rastreo en entornos rurales. Esta tabla detalla los objetivos específicos, las actividades (tareas) a realizar, los resultados esperados y las técnicas, medios e instrumentos utilizados para cada fase del proyecto.

Tabla 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividades (tareas)</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Técnicas, Medios e Instrumentos</b>
Investigar tecnologías utilizadas en sistemas de comunicación a largo alcance, dispositivos con sistema de posicionamiento global (GPS) y fuentes de energía alternativas empleadas en dispositivos de rastreo.	Revisión de artículos científicos, documentos técnicos y especificaciones de fabricantes.	Lista de tecnologías (GPS/LORA) aplicables en entornos rurales.	Búsqueda bibliográfica, fichas técnicas.
	Análisis comparativo de tecnologías de comunicación.	Cuadro comparativo de tecnologías con ventajas, desventajas y aplicaciones.	Cuadro comparativo técnico, hojas de datos y cobertura.

Seleccionar e implementar el hardware y software adecuados para desarrollar un dispositivo funcional que permita el envío y recepción de información para el monitoreo en tiempo real del zorro andino.	Diseño del prototipo electrónico integrando módulos GPS, tecnología de largo alcance y bajo consumo energético.	Circuito con conectividad inalámbrica y geolocalización.	Módulo: GPS, LoRaWAN, WIFI, baterías, MicroSD.
	Programación en Arduino para la adquisición, transmisión y recepción de datos.	Sistema que gestione datos en tiempo real.	software Arduino con sus respectivas librerías.
Validar el funcionamiento del dispositivo mediante pruebas de campo en diferentes entornos.	Ejecución de pruebas de campo para medir cobertura y autonomía.	Datos del comportamiento del dispositivo en diferentes entornos.	Zonas de prueba (campo abierto) con GPS.
	Análisis de desempeño	Informe de validación con conclusiones sobre efectividad y rendimiento.	Formatos de registro de datos, Excel.

### 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 Antecedentes

Para comprender los retos del monitoreo de la fauna y su relación con el entorno, antes se dependía de visitas de campo. Sin embargo, realizarlas de forma regular puede llegar a ser difícil y desaconsejable: el contacto humano es casi inevitable y podría alterar a los animales, y observar migraciones o pautas de alimentación sin sistemas de bajo costo exige mucho tiempo y recursos [1].

Por ello, el rastreo de animales se ha convertido en una herramienta indispensable en ecología y evolución, ya que nos permite mejorar nuestra comprensión sobre el hábitat, los tamaños de las áreas de distribución, el comportamiento, la dispersión y la migración de las especies. En ese contexto, las tecnologías más utilizadas para el rastreo de animales incluyen sistemas de

posicionamiento global (GPS), geolocalizadores, transpondedores integrados pasivos (PIT) emparejados con antenas de identificación por radiofrecuencia (RFID) y el rastreo por telemetría mediante antenas portátiles o receptores automatizados [2]. A continuación, se presentan varios estudios relacionados con el uso del GPS en el rastreo de animales:

El estudio realizado por [3], se presenta un sistema de rastreo GPS para aves que permite monitorear su comportamiento migratorio y ecología sin necesidad de recaptura. Este dispositivo está compuesto de GPS, microprocesador, memoria de 4MB, panel solar, batería y un acelerómetro triaxial, además usa un transceptor de radio para realizar comunicación bidireccional con antenas terrestres. El sistema ofrece mediciones con intervalos de 3 s hasta 30 min, permitiendo un estudio de movimiento de corta y larga escala. Su diseño permite optimizar datos ambientales y biológicos, lo cual demuestra que este enfoque multi escala genera nuevas maneras de investigación en comportamiento y ecología de aves.

Por otro lado [4], emplearon etiquetas satelitales GPS para monitorear la mortalidad de milanos negros rapaces (*Milvus migrans*). Los resultados mostraron que, mediante tres indicadores dicotómicos los cuales son ubicaciones de GPS estacionarias, datos Doppler de fondo y frecuencia de ubicación, lo que permitió lograr clasificar correctamente el 100% de las muertes confirmadas y fallas de radio en los conjuntos de calibración y validación. Este enfoque permite mejorar la detección de muertes sub registradas y calibrar modelos demográficos, fortaleciendo la gestión de especies amenazadas o explotables.

En otros casos de estudio como [5] y [6], utilizaron LoRa de largo alcance para monitoreo y localización de fauna, destacando bajo costo, bajo consumo y buena precisión. El primer caso se probó en ardillas grises, con un rastreador Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) LoRaWAN de código abierto y un GPS comercial en ardillas grises de Nueva York, mostró datos precisos y sistemas personalizables; el segundo caso, con hardware Pycom y posicionamiento por RSSI sin GPS, obtuvo errores inferiores a 7% de la distancia máxima entre nodos. En conjunto, muestran el potencial complementario de LoRa y GNSS para monitoreo remoto y localización precisa en aplicaciones ecológicas.

Los resultados mostraron que Fastloc-GPS proporcionaba ubicaciones muy precisas, incluso para animales que solo emergen brevemente a la superficie, permitiendo estimar con exactitud velocidad y rumbo.

### 3.2 Especies en peligro de extinción en la región andina

A continuación, en la Tabla 3 se presentan diversas especies animales en estado de peligro. Se incluye su nombre común y nombre científico, así como una breve descripción de sus principales características y de las amenazas que ponen en riesgo su supervivencia. Además, se incorpora un gráfico representativo de cada especie con el fin de complementar la información presentada.

En el presente apartado del Anexo 1, se identifican las diversas especies animales amenazadas en Ecuador. Esta información resalta la importancia de la biodiversidad ecuatoriana y las presiones antrópicas que afectan a estas especies, con el fin de promover acciones de protección y restauración.

Tabla 3 Descripción de especies en peligro de extinción en la región andina

<b>Animales</b>	<b>Característica</b>	<b>Amenaza</b>
Oso Hormiguero Gigante de Occidente	El pelaje es grueso y áspero, dorso marrón, el vientre es de color marrón oscuro a negruzco. Ubicado en la Costa, Amazonía y estribaciones de los Andes [8].	Pérdida de su hábitat y cacería.
Boa del Chocó	Manchas cafés en bobina, vientre crema anaranjado, pupila negra e iris naranja; habita tierras bajas al oeste de los Andes ecuatorianos [8].	Destrucción y fragmentación de su hábitat.
Rana cohete de Cuenca	Se encuentra en los valles interandinos y en las laderas occidentales de los Andes del Sur del Ecuador [8].	Su amenaza es la destrucción de su hábitat debido a la agricultura.
Jambaco de Tres Cruces	Dorso negro con espículas blancas, vientre crema marcado; en Cordillera Occidental de los Andes, Azuay [8].	Degradación de su hábitat por la introducción de la trucha.
Tapir Andino	Pelaje marrón negruzco, lanudo y comisura blanca en la boca. Ubicado en la Sierra y	Pérdida y fragmentación del hábitat.

	estribaciones de los Andes [8].	
Rana de Cristal Cantora	Dorso verde con puntos; habita bosques nublados cerca de arroyos, hasta 3 m; en ríos Salado, Azuelo y Santa Rosa de Napo-Sucumbíos [8].	Su principal amenaza es la destrucción de su hábitat debido a la agricultura y la ganadería.
Oso de Anteojos	Pelaje negro con manchas claras en ojos; habita páramos y bosques de Sierra, Amazonía y estribaciones andinas [8].	La pérdida de hábitat y la reducción de sus poblaciones por la cacería.
Cóndor Andino	Piel rojiza rugosa en cuello y cabeza, machos con cresta, alas negras y plumas blancas remeras. Se encuentra Cordillera de los Andes [8].	Cacería, persecución y envenenamiento.
Zorro andino	Pelaje rojizo con negro y gris, hocico alargado y orejas triangulares; habita Andes, sobre todo en la sierra ecuatoriana.	Caza por pieles, control por depredación de ganado y aves, y ataques de perros salvajes o domésticos.

### 3.3 Tecnologías de rastreo de animales

Los estudios sobre el movimiento de los animales están en constante crecimiento, gracias a las tecnologías de seguimiento que permiten recopilar datos de una mayor variedad de especies siendo esta una característica fundamental de la mayoría de los animales. Los datos se recopilan generalmente mediante la colocación de un dispositivo electrónico, como un transmisor VHF, un registrador GPS u otro tipo de etiqueta satelital, en el animal [9].

#### 3.3.1 Collares GPS

La tecnología GPS transformó la telemetría de la vida silvestre al permitir el rastreo preciso de animales sin necesidad de seguimiento directo. Sin embargo, el alto costo de los collares GPS

limita su uso en investigaciones, especialmente en proyectos con presupuestos restringidos, debido a la escasa producción y el alto precio de desarrollo. Para el desarrollo de dispositivos y carcasas existen distintas maneras de hacerlo, para lo cual se presentan diferentes estudios que se utilizaron para rastreos de animales:

Según el estudio realizado por [10], el collar GPS desarrollado en este estudio se basa en una plataforma de código abierto Arduino, específicamente en la serie Feather de Adafruit Industries. Los componentes principales incluyen la placa Feather M0 Adalogger (microcontrolador y registro de datos), el GPS FeatherWing (receptor GPS) y una batería de polímero de litio de 6.600 mAh, junto con accesorios como una caja estanca, collar de nylon y cinta aislante. El sistema registra ubicaciones cada 20 segundos por defecto y almacena los datos en una tarjeta microSD. Para optimizar el consumo energético, se incorporó un temporizador de bajo consumo TPL5110, que permite encender el sistema de forma intermitente según intervalos predefinidos, extendiendo significativamente la vida útil de la batería. Como se observa en la siguiente Figura 1 del Collar.



Figura 1 Sistema de datalogger GPS.

### 3.3.2 Etiquetas satelitales

Según el estudio realizado por [11], el sistema GATA (Sistema de Seguimiento y Alarma basado en GPS y Arduino), utiliza un módulo GNSS (GPS SKG13BL) para determinar la ubicación del animal en tiempo real. Este módulo se caracteriza por su alta sensibilidad, bajo consumo y tamaño reducido. Los componentes principales del collar incluyen una placa Arduino UNO (con microcontrolador ATmega328), un acelerómetro DE-ACCM3D para detectar movimiento y activar/desactivar el GPS, y un escudo WiFi Arduino que transmite los datos a una estación base (BS) mediante el protocolo IEEE 802.11. El sistema se complementa con una fuente de alimentación y una carcasa para su fijación en el animal. A continuación, se

aprecia en la Figura 2 un modelo de hardware.



Figura 2 Módulo de hardware del sistema propuesto.

### **3.3.3 Radio telemetría**

Este artículo [12], de revisión describe la radio telemetría como un sistema para obtener información sobre un animal a través de señales de radio provenientes de un dispositivo que este lleva. El componente central es el radio transmisor o radio collar, que se fija al animal tras su captura. El sistema de seguimiento requiere que un investigador, equipado con una antena receptora direccional y un receptor de radio, localice manualmente las señales del transmisor para rastrear al animal. El artículo enfatiza que este método se basa en la captura y manipulación física del animal para colocar el dispositivo.

## **3.4 Fundamentos de los sistemas de posicionamiento**

Los sistemas de posicionamiento global permiten determinar la ubicación de personas, objetos o dispositivos en la superficie terrestre a partir de mediciones geográficas precisas, que incluyen latitud, longitud y altitud [13].

### **3.4.1 Proyecciones cartográficas**

Las coordenadas geodésicas son tridimensionales, a diferencia de los mapas y sistemas de información geográfica que representan su información en un sistema bidimensional [14]. A continuación, se presentan las proyecciones cartográficas para la conversión de coordenadas geodésicas:

#### *3.4.1.1 Coordenadas del plano estatal*

Es una herramienta cartográfica utilizada principalmente por los Estados Unidos para representar ubicaciones geográficas de alta precisión en áreas locales y estatales. Este sistema

divide el país en distintas zonas, lo cual permite proyectar coordenadas en un formato (x,y), facilitando la toma de mediciones exactas en distintas aplicaciones, como la topografía, la ingeniería y estudios ambientales [15].

#### 3.4.1.2 *Coordenadas UTM*

El sistema de proyección UTM es una implementación especial de la proyección Mercator. El planeta se divide en 60 zonas entre norte y sur, cada una de las cuales engloba 6° de longitud, teniendo cada una su propio meridiano central. Las zonas 1N y 1S comienzan en los 180° W. Los límites de cada zona están ubicados en las coordenadas 84° N y 80° S [16], apareciendo la división entre las zonas norte y sur en el Ecuador. En la Figura 3, se muestra las coordenadas UTM de todas las Zonas.

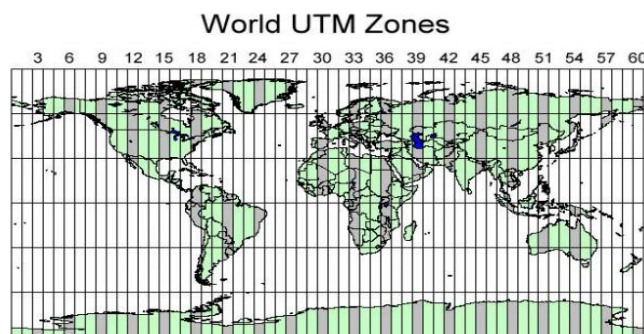


Figura 3 Coordenadas UTM

### 3.4.2 **Sistemas de referencia**

Cabe recalcar que los sistemas de referencia son indispensables para esta transformación para la determinación de posiciones terrestres, a continuación, se presentan diferentes marcos de referencia:

#### 3.4.2.1 *Sistema de referencia celeste (CRS)*

Es un marco de coordenadas que se utiliza en astronomía para ubicar objetos celestes en el cielo, como estrellas, planetas y galaxias. Este sistema se fundamenta en referencias fijas, como el ecuador celeste y el equinoccio, y es esencial para la navegación astronómica, la observación con telescopios y los estudios astrofísicos [17].

#### 3.4.2.2 *Sistema de referencia terrestre (TRS)*

Tiene su origen en el centro de masa de la Tierra (geocentro) y rota con la Tierra durante su

rotación diaria [11]. A continuación, se presentan otros sistemas de referencia basados en TRS:

#### 3.4.2.2.1 *World Geodetic System 1984 (WGS-84)*

Los satélites GPS transmiten sus órbitas en WGS-84 (marco ECEF), por lo que las efemérides se refieren al centro de fase de la antena del satélite y las coordenadas que calcula el receptor también quedan en ese sistema. La versión refinada WGS-84(G1150) (2002) está alineada con el ITRF a nivel centimétrico y se usa ampliamente como sistema de referencia principal basado en satélites [11].

### 3.4.3 Métodos determinar el posicionamiento

#### 3.4.3.1 *Triangulación*

La triangulación consiste consultar los ángulos que se generan a partir de las señales que son enviadas por los satélites con respecto al punto de medición [12]. La Figura 4 presenta la triangulación de 3 satélites para obtener la ubicación de un objeto.



Figura 4 Triangulación de 3 satélites.

#### 3.4.3.2 *Trilateración*

La trilateración, mide las distancias relativas de los objetos para calcular planos bidimensionales que permitan la localización de un objeto [12]. En la Figura 5 se muestra la trilateración entre tres satélites (puntos blancos) para calcular la posición de un objeto (punto negro).

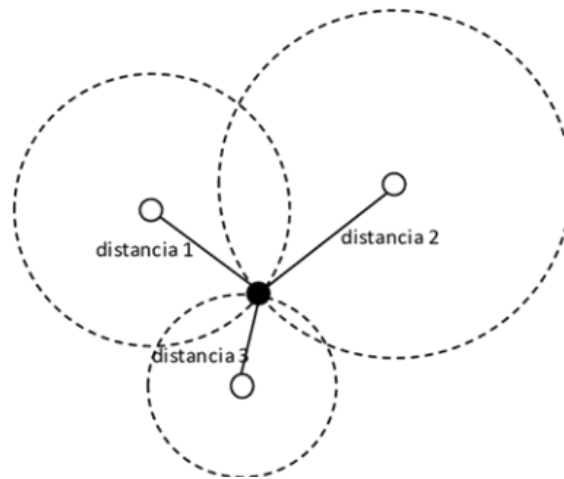


Figura 5 Trilateración entre 3 satélites

### 3.4.4 Global Positioning System (GPS)

El sistema de posicionamiento Global (GPS) es una tecnología de navegación por satélite desarrollada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, permite determinar con alta precisión la posición, la velocidad y el tiempo en cualquier parte del mundo y en cualquier momento, gran parte de su éxito se debe a su fiabilidad y a su capacidad para integrarse con otros sistemas GNSS [19].

#### 3.4.4.1 Principio de funcionamiento

El GPS determina la posición por trilateración: mide la distancia del receptor a varios satélites usando el tiempo de propagación de sus señales. Con 3 satélites obtiene latitud y longitud; con 4, también altitud. Las señales incluyen órbita (efemérides), hora exacta de transmisión y otros parámetros necesarios para el cálculo [19].

#### 3.4.4.2 Segmentos del sistema GPS

El sistema GPS se estructura en tres segmentos principales los cuales son: espacial, de control y segmento de usuario [19].

### 3.5 Tecnologías de comunicación

Las tecnologías móviles han evolucionado continuamente, transformando la comunicación desde la primera generación (1G) hasta la actual 5G. La tecnología AMPS, de 1G, estableció las bases de la telefonía móvil, utilizando canales de 30 kHz en la banda de 850 MHz y aplicando por primera vez el concepto de celdas. A medida que surgió la necesidad de estar

siempre conectados a Internet, nació la tecnología 3G, alcanzando velocidades de hasta 384 Kbps, lo que representó casi siete veces más rápido que una conexión telefónica estándar. Este avance en velocidad y latencia impulsó el desarrollo de las generaciones 4G y 5G [14] – [20].

A continuación, se describen brevemente las principales generaciones de tecnología móvil destacando su viabilidad en zonas remotas:

### **3.5.1 Comunicación celular**

Seguidamente, se detallan las principales generaciones de tecnología móvil, desde la segunda hasta la quinta:

#### *3.5.1.1 Segunda generación (2G)*

La tecnología Global System for Mobile Communications (GSM) marcó la transición de la comunicación analógica a la digital, permitiendo velocidades de hasta 13 kbps para la transferencia de voz e introduciendo servicios como el fax y el SMS. Además, con sus actualizaciones, como el Release 97 que dio paso al General Packet Radio Service (GPRS) con velocidades de hasta 115 kbps, y el Release 98 que mejoró las velocidades a 474 kbps con Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE), esta tecnología ofreció una mayor viabilidad en zonas remotas. Estas innovaciones no solo permitieron una mejor comunicación entre usuarios, sino también expandieron las capacidades de transmisión de datos [20] - [21].

#### *3.5.1.2 Tercera generación (3G)*

Fue esta tecnología la que revolucionó las comunicaciones móviles, con velocidades de hasta 384 kbps, permitiendo servicios como la navegación por internet y videollamadas. A pesar de que su infraestructura resultaba ser más costosa que el 2g, la conectividad móvil se expandió significativamente. Sin embargo, con la llegada de 4G y 5G, las redes 3G han quedado obsoletas en muchas regiones, aunque siguen operando en áreas donde las nuevas generaciones aún no se implementan.

#### *3.5.1.3 Cuarta generación (4G)*

Esta tecnología está basada en IP, proporcionando velocidades de 100 Mb/s de descarga y 50 Mb/s de carga, superando a 2G y 3g. Con LTE y LTE Advanced de hasta 3 Gb/s, mejora la experiencia en videoconferencias y transmisión de contenido HD. Además, optimiza la

conectividad mediante técnicas como agregación de portadoras y MIMO, y reutiliza espectros de 2G, reduciendo costos [20]- [21].

#### *3.5.1.4 Quinta generación (5G)*

Es capaz de alcanzar velocidades de hasta 10Gbps, lo cual permite descargas extremadamente rápidas como por ejemplo una película de 8GB en 6 segundos. Está diseñada para soportar IoT, M2M y servicios en tiempo real con baja latencia, utilizando técnicas como MIMO masivo con más de 64 antenas. Además, introduce características como URLLC y mMTC para ampliar la conectividad de dispositivos. Establecido en el Release 15 de 3GPP, 5G se integra con 4G mediante Dynamic Spectrum Sharing (DSS), mejorando la cobertura y capacidad de la red [20]- [21].

En base a lo mencionado anteriormente, cada tecnología fue aportando con ventajas significativas a cada generación, lo que aporte en gran medida a la investigación de animales en zonas remotas. Mientras que 2G sigue siendo la opción más accesible y efectiva para proporcionar servicios básicos en áreas rurales, 4G ofrece una mejor capacidad para aplicaciones más avanzadas, pero con un costo más elevado de implementación. Por otro lado, 5G, con su altísima velocidad y baja latencia, es ideal para aplicaciones de vanguardia, pero su alto costo y mayor demanda de infraestructura hacen que sea poco práctico en estas regiones [20].

### **3.5.2 Redes de baja potencia**

En esta sección, se muestran las redes de baja potencia, y su relevancia en la comunicación de dispositivos IoT de bajo consumo.

#### *3.5.2.1 LoRaWAN*

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) proporciona una tecnología de comunicación inalámbrica de bajo consumo y largo alcance, ideal en dispositivos IoT. La ventaja principal es su disposición para transferir en grandes recorridos con un mínimo desgaste de energía, haciendo la adecuada en aplicaciones de bajo costo y dispositivos de larga duración de batería. Usa la modulación CSS, la cual mejora la inmunidad al ruido, a partir de un modelo de red en estrella que permite la comunicación de dispositivos a través de gateways. Por otra parte, su algoritmo ADR ajusta de manera dinámica el ingreso de datos, el consumo de energía y su eficiencia energética, sin embargo puede verse afectado por redes densas [22] - [23].

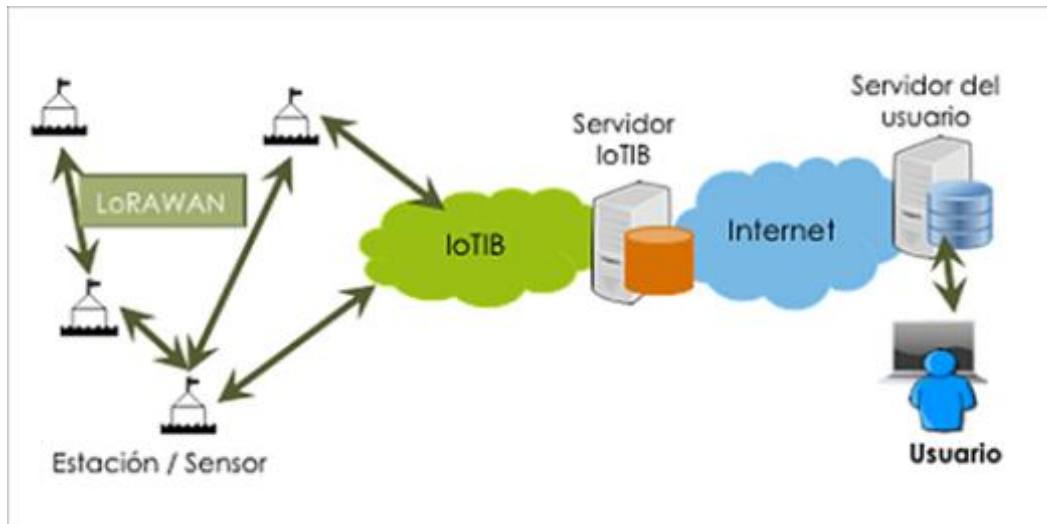


Figura 6 Comunicación LoRaWAN.

### 3.5.2.2 Sigfox

Esta tecnología pertenece a LPWAN diseñada para aplicaciones IoT que necesitan un bajo consumo energético, gran alcance y transmisión eficiente de pequeños datos, utiliza una modulación ultra estrecha (UNB) basada en BPSK, permitiéndole operar en bandas ISM no licenciadas, con un ancho de banda de 100 Hz, dándole una alta sensibilidad y bajo consumo. Su topología en estrella permite una comunicación directa con estaciones base, optimizando el consumo. Cada dispositivo puede enviar hasta 140 mensajes diarios con una carga máxima de 12 bytes, y transmite cada mensaje tres veces para asegurar la fiabilidad. Sigfox es ideal para dispositivos de largo plazo como en medición inteligente y rastreo, con una duración de batería de hasta 10 años y bajos costos operativos.[25]-[26].

En la Figura 7 se muestra la arquitectura de topología en estrella, donde los dispositivos finales se comunican directamente con las estaciones base, evitando el consumo adicional de energía de las redes en malla.

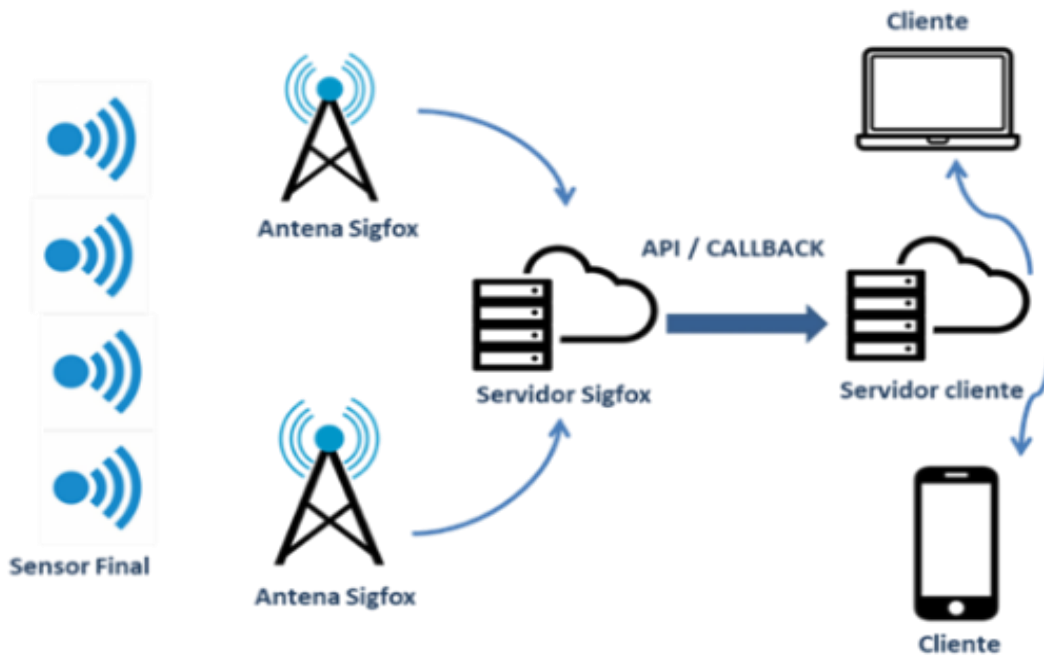


Figura 7 Topología en estrella de Sigfox.

### 3.5.3 Comunicación satelital

Seguido de esto, se abordarán las soluciones de comunicación satelital, diseñadas para garantizar conectividad en áreas sin cobertura terrestre:

#### 3.5.3.1 Iridium

Iridium es una red satelital de órbita baja (LEO) que ofrece cobertura global para telefonía, datos, fax y mensajería en áreas sin infraestructura terrestre. Con 66 satélites en seis planos orbitales y enlaces intersatélites, garantiza cobertura continua en cualquier punto de la Tierra. Su capacidad para operar tanto con redes terrestres como satelitales proporciona flexibilidad en zonas remotas. Además, ofrece servicios de datos y comunicación en tiempo real con baja latencia, ideal para aplicaciones críticas en entornos aislados [27]-[28].

En la Figura 8 se muestra cómo funciona la red de comunicación satelital de Iridium, la cual es única por su capacidad de proporcionar cobertura global (incluyendo los polos) mediante una constelación de satélites en órbita terrestre baja (LEO).

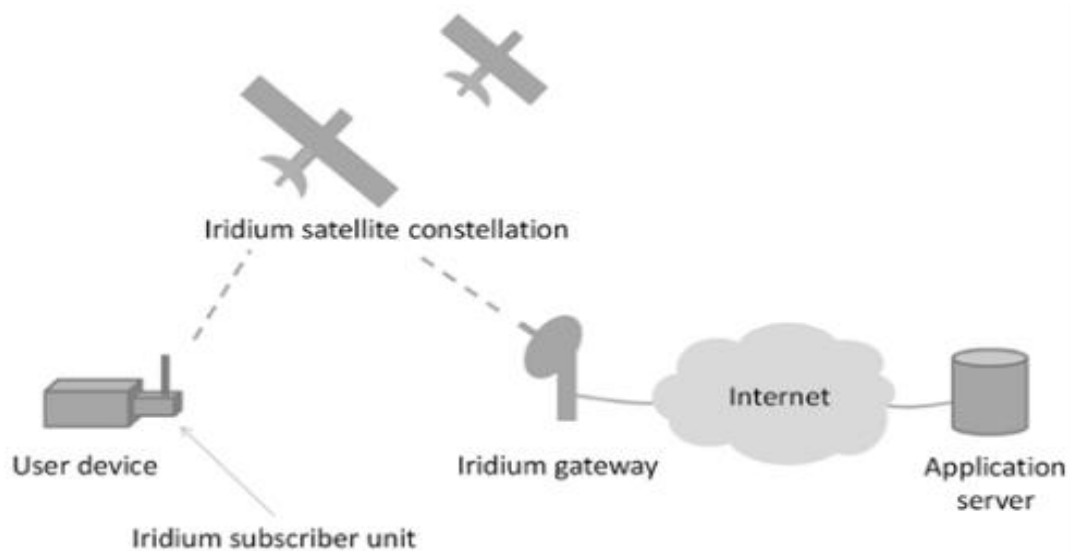


Figura 8 Arquitectura iridium.

### 3.5.3.2 Argos

Argos es un sistema de telemetría satelital utilizado para rastrear animales y objetos en áreas remotas, donde no hay cobertura terrestre. Funciona con una constelación de satélites en órbita polar, cubriendo toda la superficie terrestre, incluidas zonas marinas y geográficas aisladas. Utiliza el análisis Doppler y otros métodos de geolocalización para determinar la ubicación precisa de los dispositivos portátiles. Argos permite un seguimiento en tiempo real y es fundamental para investigaciones ecológicas, monitoreo de especies en peligro y seguimiento de biodiversidad. También se usa para mediciones ambientales, como la temperatura y la profundidad en animales marinos, mejorando la precisión de las ubicaciones mediante modelos estadísticos [30]-[31].

## 3.6 Cuadro comparativo de tecnologías de comunicación

Tabla 4 Comparación de tecnologías de comunicación

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Aplicaciones</b>
2G / 3G / 4G / 5G (Comunicación celular)	Amplia infraestructura, buena velocidad de transmisión de datos, permite comunicación en tiempo real.	Alto consumo energético y dependencia de cobertura de red.	Comunicación móvil, transmisión de datos, aplicaciones que requieren internet continuo.
LoRaWAN	Largo alcance de comunicación, red libre y bajo consumo energético. Ideal para dispositivos IoT alimentados por batería.	Baja velocidad de transmisión de datos.	Monitoreo remoto, redes de sensores, rastreo de animales y dispositivos IoT.
Sigfox	Muy bajo consumo de energía y gran alcance.	Limitación en la cantidad y tamaño de los mensajes transmitidos.	Sensores remotos, monitoreo ambiental y aplicaciones IoT de baja tasa de datos.
Iridium	Cobertura global incluso en zonas remotas.	Equipos y servicio costosos.	Comunicaciones en zonas sin cobertura terrestre.
Argos	Cobertura global mediante satélites y capacidad de geolocalización.	Dependencia de infraestructura satelital y costos elevados.	Seguimiento de animales, investigación ambiental y monitoreo en zonas remotas.

### 3.7 Electrónica y diseño de hardware:

En lo que sigue, se detallan el diseño electrónico y los componentes clave del sistema, abarcando la selección de microcontroladores, los sensores utilizados y las soluciones de energía implementadas para optimizar el consumo.

### 3.7.1 Microcontroladores

#### 3.7.1.1 Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto que utiliza microcontroladores para facilitar la creación de prototipos electrónicos interactivos, sin necesidad de profundos conocimientos en electrónica. Su accesibilidad y versatilidad han impulsado su aplicación en campos como la robótica y el monitoreo ambiental [32].

La Figura 9 muestra una placa de desarrollo Arduino UNO, la cual sirve como el cerebro del sistema para procesar datos y controlar dispositivos.

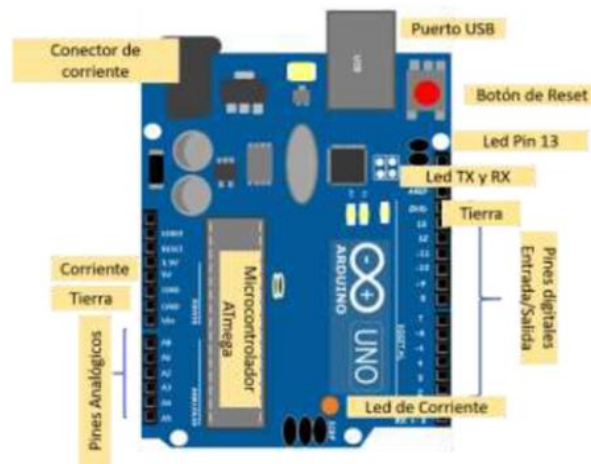


Figura 9 Placa de Arduino.

#### 3.7.1.2 ESP32

El ESP32 es un microcontrolador de escaso costo y escaso consumo desarrollado por Espressif Systems, con Wi-Fi y Bluetooth integrados. Basado en la arquitectura Tensilica Xtensa LX6, ofrece un procesador de hasta 240 MHz, 520 KiB de SRAM y soporta múltiples interfaces como GPIO, ADCs, y UART. Su versatilidad lo hace ideal para aplicaciones IoT, automatización y dispositivos portátiles. [3] – [33].

### 3.7.2 Módulos y sensor de temperatura

En esta sección se abordarán los sensores utilizados, esenciales para la recolección de datos

precisos en aplicaciones de monitoreo.

### 3.7.2.1 Módulos GPS

Este módulo es utilizado para obtener la localización exacta mediante señales satelitales, lo que permite la medición de la latitud y longitud del dispositivo. Funciona con un bajo consumo de energía, lo que lo hace adecuado para proyectos que buscan eficiencia energética y costo reducido. Utiliza el formato de datos NMEA para transmitir información relevante como posición, altitud, fecha y hora [34].

La Figura 10 muestra a un Módulo GPS NEO-6M, utilizado para obtener coordenadas geográficas.



Figura 10 Módulo GPS

### 3.7.2.2 Módulo de Acelerómetros

Este módulo se encarga de detectar la posición del cuerpo de la persona mediante la medición en un plano XYZ. Esto permite determinar si la persona está de pie, sentada, boca arriba o boca abajo. Utiliza un método denominado `getBodyPosition()` que calcula la postura del usuario, permitiendo identificar caídas o posiciones críticas [5].

El acelerómetro se identifica como la Figura 11, es un componente crucial para detectar el estado físico del dispositivo en movimiento.



solares se instalan en lugares con buena exposición al sol, y su energía puede almacenarse en baterías o inyectarse a la red eléctrica [35].

En la Figura 13 se visualiza el panel solar, un componente clave encargado de la recolección de energía renovable para alimentar el sistema.

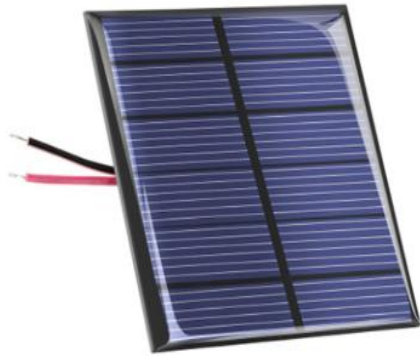


Figura 13 Panel Solar.

### 3.7.3.2 Optimización del consumo

La optimización del consumo consiste en reducir el uso de energía y maximizar la eficiencia de los dispositivos, utilizando métodos como modos de bajo consumo, gestión eficiente de energía y fuentes renovables. Esto extiende la vida útil de las baterías, reduce el impacto ambiental y los costos operativos, siendo clave en aplicaciones IoT, monitoreo ambiental y sistemas autónomos.

## 4 METODOLOGÍA

### 4.1 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

El siguiente capítulo, muestra el tipo de metodología que se utilizó en el diseño un dispositivo de rastreo de animales en las zonas andinas de Ecuador. Se describen los métodos y procedimientos empleados en el trabajo de campo, para cumplir los objetivos planteados.

#### 4.1.1 Investigación Bibliográfica

Con la presente investigación bibliográfica permitirá la recopilación de información de los libros, consultas, linografías para el sustento del marco teórico mediante averiguaciones bibliográfica desde el inicio hasta la culminación de trabajo investigativo [36].

### **4.1.2 Investigación de Campo**

Con este tipo de investigación nos permitirá verificar y diagnosticar la realidad del lugar o sitio donde se encuentra el objeto de estudio y se logrará manejar los datos con más seguridad y confiables [36].

### **4.1.3 Investigación Exploratoria**

Abarca principalmente la exploración de un entorno, una problemática, un servicio o la probabilidad de construir un producto a partir de un conocimiento casi nulo sobre un tema en específico. Son las primeras aproximaciones que se van a dar entorno transmisión y recepción de datos [37].

## **4.2 Enfoque de investigación:**

Este es de carácter mixto, mezclando elementos cuantitativos y cualitativos que permitan abordar de manera integral el diseño y evaluación del dispositivo de rastreo de animales en zonas andinas del Ecuador.

### **4.2.1 Componente cuantitativo**

Se enfoca en medir de manera objetiva variables técnicas y operativas, como el consumo de energía, el alcance de comunicación, la precisión en la ubicación, la duración de la batería y las métricas de confiabilidad, que se refieren al porcentaje de éxito en la transmisión de datos. Para obtener estos datos, se llevarán a cabo pruebas de campo en entornos andinos, con el objetivo de analizar tendencias, correlaciones y posibles optimizaciones.

### **4.2.2 Componente cualitativo**

Este análisis incluye una evaluación subjetiva de aspectos prácticos, como la utilidad del equipo para los agricultores locales, su integración cultural en la comunidad andina y su viabilidad socioeconómica. Esto permitirá entender cómo el dispositivo se adapta a las necesidades reales, más allá de los simples indicadores técnicos [38].

### **4.2.3 Combinación mixta**

Los métodos cuantitativos ofrecen una base sólida de evidencia empírica que ayuda a optimizar el diseño. Por otro lado, la cualitativa asegura que las soluciones sean prácticas y sostenibles en

los diversos entornos andinos, que presentan una variedad de características topográficas, climáticas y socioeconómicas. El diseño metodológico se fundamenta en principios de investigación aplicados en ingeniería y ciencias ambientales [38].

### **4.3 Fases del proyecto**

Para el desarrollo del proyecto "Diseño de un dispositivo de rastreo de animales en zonas andinas del Ecuador mediante el empleo de tecnologías de comunicación de bajo consumo y largo alcance", en primer lugar, se planteó varias etapas secuenciales que permitieron su eficiente ejecución.

A continuación, se desglosa el proceso en las etapas clave: investigación, diseño, prototipado y pruebas. Estas fases pueden superponerse parcialmente para iteraciones rápidas, con un enfoque en tecnologías como LoRa para comunicación de largo alcance.

#### **4.3.1 Investigación**

- Recopilar información clave sobre lo que, necesitado para los usuarios, la tecnología que tienen a su disposición y estudio de las bandas de frecuencia permitidas en Ecuador y protocolos de bajo consumo (LoRaWAN).
- En cuanto al análisis cuantitativo, se revisará la literatura sobre dispositivos similares, como el consumo de energía y la autonomía, además de investigar sobre la los animales y la fauna ecuatoriana.
- Evaluación de módulos GPS de bajo consumo, microcontroladores y sensores de temperatura para optimizar el envío de datos.

#### **4.3.2 Diseño**

- La idea de desarrollar un dispositivo que integre varios elementos, como un módulo GPS, un sensor de temperatura, una batería de bajo consumo, una antena LoRa para la transmisión de datos.
- En cuanto al diseño electrónico, se deben crear diagramas de circuitos y diseños de placas de circuitos impresos (PCB) con un enfoque en la reducción de tamaño y la eficiencia energética.
- En lo que respecta al diseño mecánico, se debe modelar en 3D el cuerpo del dispositivo, asegurándose de que cuente con una certificación de al menos IP65 para protegerlo.

### 4.3.3 Prototipado

- Crea un modelo de trabajo inicial, como un prototipo de bajo costo, utilizando componentes que se pueden encontrar fácilmente en el mercado, como un microcontrolador Arduino o ESP32 con módulo LoRa.
- Suelda los componentes y arma el sistema de alimentación (una batería de polímero de litio y, posiblemente, células solares).
- Desarrolla un código que permita un modo de suspensión profunda, de modo que el dispositivo se active automáticamente al recibir coordenadas, lo que ayudará a extender la vida útil de la batería durante varios meses.

### 4.3.4 Pruebas

- En el análisis cuantitativo, recopilamos datos sobre la precisión del GPS, la duración de la batería y la tasa de éxito en la transmisión de datos.
- Colocar el dispositivo sobre los animales que pastan en áreas seleccionadas de los Andes para evaluar la resistencia del collar frente al comportamiento de los animales.
- Este desarrollo asegura un desarrollo iterativo y colaborativo, con énfasis en la sostenibilidad ambiental y económica.

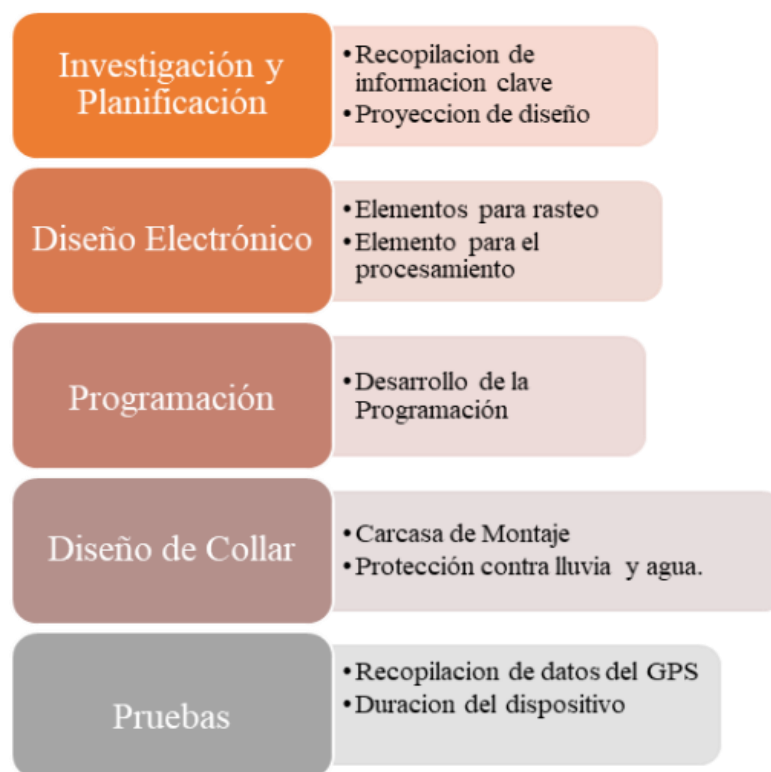


Figura 14 Fase para la implementación del Proyecto

## 4.4 Desarrollo de hardware y software:

El desarrollo de este prototipo este compuesto de varias etapas, como la configuración de los parámetros Lora, la obtención y envío de los datos proporcionados por el GPS y el sensor de temperatura, y la gestión del funcionamiento de cada componente para un menor consumo de energía. Para el receptor es indispensable manejo adecuado de los datos recibidos á partir del emisor con el fin de almacenarlos en una base de datos y mostrarlos en una interfaz para el usuario.

### 4.4.1 Arduino IDE

Es un software de programación con bastante acogida en microcontroladores. Se maneja un entorno de programación amigable que permite compilar, escribir y cargar códigos a un gran número de placas incluidas en las del fabricante, para después ser utilizados en diferentes proyectos y prototipos electrónicos [39].

La Figura 15 representa la Interfaz de Arduino IDE, que es el software utilizado para escribir, compilar y cargar el código de programación a la placa Arduino.



Figura 15 Interfaz de Arduino IDE

Su lenguaje de programación se base principalmente en C y C++, además está diseñado para ser intuitivo y simple incluso para principiantes y personas sin experiencia en programación. Además, posee una gran cantidad de librerías y ejemplos predefinidos, que se pueden utilizar en el entorno de programación, con el fin simplificar e incorporar nuevos periféricos y placas de desarrollo.

## 4.4.2 Selección de Componentes electrónicos para usar en el prototipo

### 4.4.2.1 Módulos GPS NEO-6M

Este módulo GPS u-blox NEO-6M resulta ser muy popular, rentable y de alto rendimiento incluyendo una antena de parche de cerámica, un chip integrado y una batería de respaldo con la capacidad de integrarse a una gran cantidad de microcontroladores.

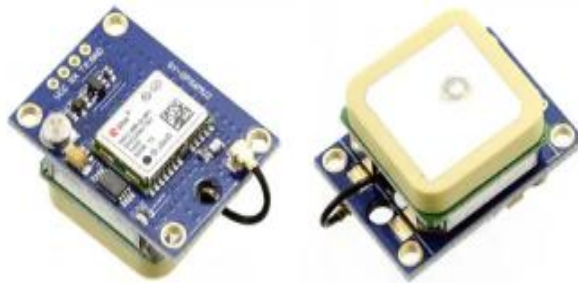


Figura 16 Módulo GPS NEO-6M.

Considerado como uno de los módulos GPS más populares del mercado, el módulo NEO-6M es una familia de receptores GPS independientes de la serie de módulos NEO-6.

A continuación, se detallan sus especificaciones principales:

Tabla 5 Especificaciones del Módulo GPS

<b>Tamaño</b>	23 mm x 30 mm
<b>Tasa de actualización</b>	1 Hz, 5 Hz
<b>Tasa de Baud</b>	9600
<b>Sensibilidad</b>	-161 dBm
<b>Precisión Posicional</b>	2.5 – 5 m

Se utilizará el GPS NEO-6M por su bajo costo a cambio de una actualización de datos más deficiente.

#### 4.4.2.2 Módulo de carga batería de litio TP4056 entrada micro USB

El módulo de carga de batería de litio TP4056 con entrada micro USB y doble protección es una placa de carga potente y compacta diseñada para cargar de forma segura baterías de iones de litio de 3,7 V de una sola celda, como 18650.



Figura 17 Módulo TP4056 entrada micro USB.

Ideal para usar con Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi y otros proyectos basados en microcontroladores, la placa ofrece una corriente de carga de 1A y tiene indicadores LED claros para mostrar el estado de carga.

Tabla 6 Especificaciones del Módulo TP4056

<b>Chip de carga</b>	TP4056
<b>Tipo de entrada</b>	Micro USB
<b>Voltaje de entrada</b>	4,5 V–5,5 V CC
<b>Corriente de carga</b>	1 A
<b>Soporte de batería</b>	Iones de litio de 3,7 V (18650, 14500, etc.)
<b>CI de protección</b>	DW01A + FS8205A
<b>Tamaño del tablero</b>	~26 mm x 17 mm x 4 mm

Esta elección se basa principalmente en su facilidad de integración, lo que permite expandir el sistema de manera eficiente sin poner en riesgo la seguridad básica de la batería de iones de litio.

#### 4.4.2.3 *Panel Solar 300mA (Silicio monocristalino)*

Capaz de entregar hasta 1.5 W de potencia bajo condiciones óptimas de luz. Su diseño compacto y liviano, junto con cables integrados, permite una conexión rápida a tus sistemas electrónicos. La Figura 18 presenta un Panel Fotovoltaico de 300mA (Silicio monocristalino) el cual constituye la fuente de energía renovable para el sistema de monitoreo.



Figura 18 Panel Fotovoltaico 300mA

#### **Características.-**

- El panel solar le permite alimentar los sistemas sin usar una batería
- Voltaje de salida: 5V
- Máxima eficiencia de corriente: 300 mA
- Potencia: 1.5 W
- Dimensiones: 150 x 96 mm

Esta elección se fundamenta en el rendimiento de los paneles solares estándar económicos que, al integrarse con el módulo TP4056, aseguran una carga eficiente, en comparación con los paneles de mayor rendimiento.

#### 4.4.2.4 *Batería de Litio*

Para que el dispositivo sea considerado autónomo se debe utilizar una batería, dado que en el mercado el modelo que más resalta es el 18650, por su alta capacidad. Se eligió dicha batería ante otros modelos como el 7800 ya que resultan tener una menor eficiencia.

En la Figura 19 se observa la batería que se utilizaría.



Figura 19 Batería de litio de 3.7 V.

Tabla 7 Especificaciones de las baterías de litio

<b>Modelo</b>	KT 18650
<b>Tensión nominal</b>	3,7 V
<b>Capacidad</b>	7800 mAh
<b>Resistencia interna</b>	Aproximadamente 13
<b>Voltaje de carga</b>	4,2 V
<b>Tensión de corte de descarga</b>	2,5 V
<b>Tamaño</b>	18 mm de diámetro, 65 mm de largo

El prototipo de sistema de almacenamiento de energía que se está considerando es una batería de iones de litio 18650, con un voltaje nominal de 3,7 [V] y una capacidad de 7800 [mAh].

Esta elección se debe principalmente a su alta densidad de energía y su compatibilidad con módulos de carga como el TP4056, lo que garantiza una larga vida útil de la batería en aplicaciones móviles sin que los costos aumenten.

#### 4.4.2.5 Módulo T-Beam

El TTGO T-BEAM posee una tecnología de IoT inalámbrico con comunicación WiFi, Bluetooth, GPS NEO-6M y LoRa32 a 868 / 915Mhz y soporte para batería 18650 y antena [45]. En las Figuras 20-21 se presenta el módulo ESP32 TTGO T-Beam y su diagrama de pines.



Figura 20 Módulo T-Beam

Tabla 8 Especificaciones del módulo T-Beam

<b>MCU</b>	ESP32
<b>Flash</b>	4 MB
<b>PSRAM</b>	8 MB
<b>Chip serie</b>	CH9102
<b>Protocolo inalámbrico</b>	Wi-Fi + Bluetooth 4.2
<b>PMU</b>	AXP2101
<b>Funciones integradas</b>	3 botones (Encendido+IO38+Reinicio)
<b>Antena</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antena WiFi 3D y</li> <li>• (Admite antena externa WiFi IPEX)</li> <li>• Antena LoRa y cerámica GPS</li> </ul>

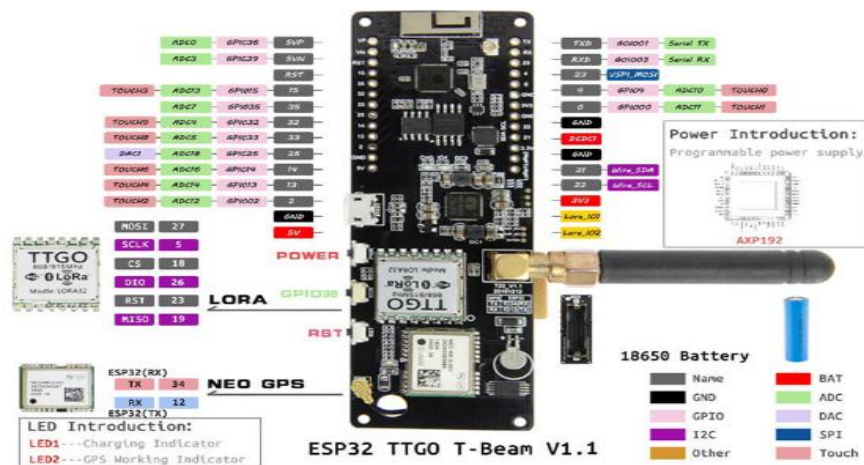


Figura 21 Diagrama de pines del ESP32 TTGO T-Beam

El dispositivo seleccionado como el núcleo del prototipo es el módulo T-Beam, basado en el ESP32 y con GPS y LoRa, Principalmente por su integración multifuncional y su bajo costo, lo que nos permite crear un sistema de rastreo y comunicación inalámbrico eficiente sin la necesidad de componentes separados.

#### 4.4.2.6 Módulo Lector MicroSD

Esta tarjeta está diseñada para acceder a la memoria microSD en modo SPI, gracias a esto las señales de control pueden etiquetarse de una manera más eficiente con el bus de comunicaciones, puede soportar tarjetas microSD y micro SDHC. Además, tiene un circuito que convierte voltaje para comunicaciones a 3.3V o 5V.



Figura 22 Módulo Lector MicroSD

#### Características:

- Voltaje de Operación: 3.3V-5V.
- Interfaz: SPI.
- Cuenta con todos los pines SPI de la tarjeta SD: MOSI, MISO, SCK, CS.
- Te permite almacenar grandes cantidades de datos en memorias SD utilizando Arduino.

El dispositivo elegido para almacenar datos en nuestro prototipo es un lector de tarjetas microSD. Esto se debe principalmente a su bajo costo y a lo fácil que es integrarlo con microcontroladores como el ESP32 T-Beam.

Gracias a esto, se puede guardar y recuperar datos, como información de GPS o registros de sensores, sin tener que depender de una conexión a la nube. El diseño del módulo que está considerando se puede ver en la Figura 22.

#### 4.4.2.7 Sensor de Temperatura (DS18B20)

Está basado principalmente en el integrado DS18B20, capaz de medir la temperatura de manera rápida por medio una interfaz de un hilo. Una de sus características principales es que cada sensor tiene su propia dirección ID de 64 bits, haciendo posible una conexión paralela con un mismo bus, lo que reduce la cantidad de puertos requeridos para comunicarse con los sensores. Adicionalmente requiere resistencia pull-up en la línea de datos para su correcto funcionamiento [47].



Figura 23 Sensor de Temperatura “DS18B20”

#### ✓ **Especificaciones:**

- Voltaje de operación: 3VDC - 5.5VDC
- Consumo: 4mA
- Resolución: 9bits-12bits (ajustable)
- Salidas: Vcc (Rojo), Gnd (Negro), Data (Amarillo)
- Longitud del cable: ~90 cm

El sensor digital DS18B20 ha sido seleccionado para medir la temperatura del animal. Una gran precisión y se integra fácilmente gracias al protocolo One-Wire. Esto permite un control eficiente del entorno sin complicar demasiado el circuito. En la Figura 23 se puede ver el sensor, y aquí están su característica:

- Precisión:  $\pm 0.5$  grados Celsius en el rango de -10 a 85 grados Celsius

#### 4.4.2.8 Módulo LILYGO TTGO lora32 915Mhz V1.6.1

El módulo Wifi ESP32 es el hermano mayor del ESP8266 que ya casi no requiere de presentación. Éste popular módulo Wifi es compatible con Arduino y ofrece conectividad inalámbrica 802.11 b/g/n de una forma totalmente sencilla [48]. En la Figura 24 se observa el módulo a utilizar.

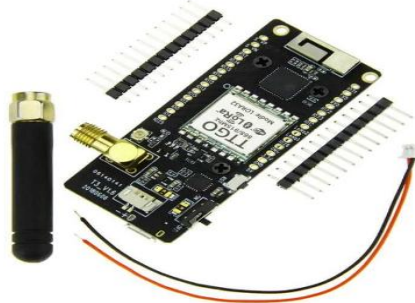


Figura 24 Módulo Lilygo lora 32 (Receptor).

El dispositivo electrónico seleccionado se basa principalmente en sus características excepcionales, las cuales garantizan una conexión robusta y eficiente entre el emisor y el receptor, permitiendo una transmisión de datos sin interrupciones. Además, su confiabilidad sobresaliente asegura un rendimiento constante en entornos desafiantes, minimizando riesgos de fallos que podrían afectar la operación general.

## 4.5 Diseño del dispositivo:

### 4.5.1 Requisitos de diseño

Los requisitos de diseño para el dispositivo de seguimiento son fundamentales para asegurar su buen funcionamiento en la región andina del Ecuador.

#### 4.5.1.1 Tamaño

Diseñado para que los animales no se sientan incómodas. Se puede instalar fácilmente en un collar o como un implante cutáneo, sin interferir con el movimiento natural del animal. Esto no solo facilita su transporte, sino que también disminuye el riesgo de que sea descubierto o robado.

#### 4.5.1.2 Peso

Con un máximo de 700 gramos en emisor y receptor de 300 gramos, para evitar que los animales de tamaño mediano se sientan fatigados o se lesionen. Este objetivo se logra utilizando

materiales como el policarbonato reforzado y componentes en miniatura. Es fundamental que cuente con un revestimiento que soporte los cambios de temperatura en altitudes, así como la lluvia, la humedad y el polvo.

#### 4.5.1.3 Autonomía

La batería tiene una duración de al menos 1 día en uso continuo, con un consumo de energía que no supera los 300 mAh por día.

### 4.5.2 Arquitectura del sistema

#### 4.5.2.1 Arquitectura del Emisor

El siguiente Figura 25, presenta el diagrama de bloques del sistema electrónico diseñado para el emisor. Este sistema se alimenta a través de un panel solar que carga el módulo TP4056, el cual se encarga de asegurar que la batería de litio se cargue de manera adecuada. Gracias a esta configuración, el sistema puede funcionar. El hardware del sistema de rastreo se integra un microcontrolador ESP32 junto con el protocolo LoRa, lo que permite que el dispositivo funcione como un nodo remoto capaz de enviar datos.

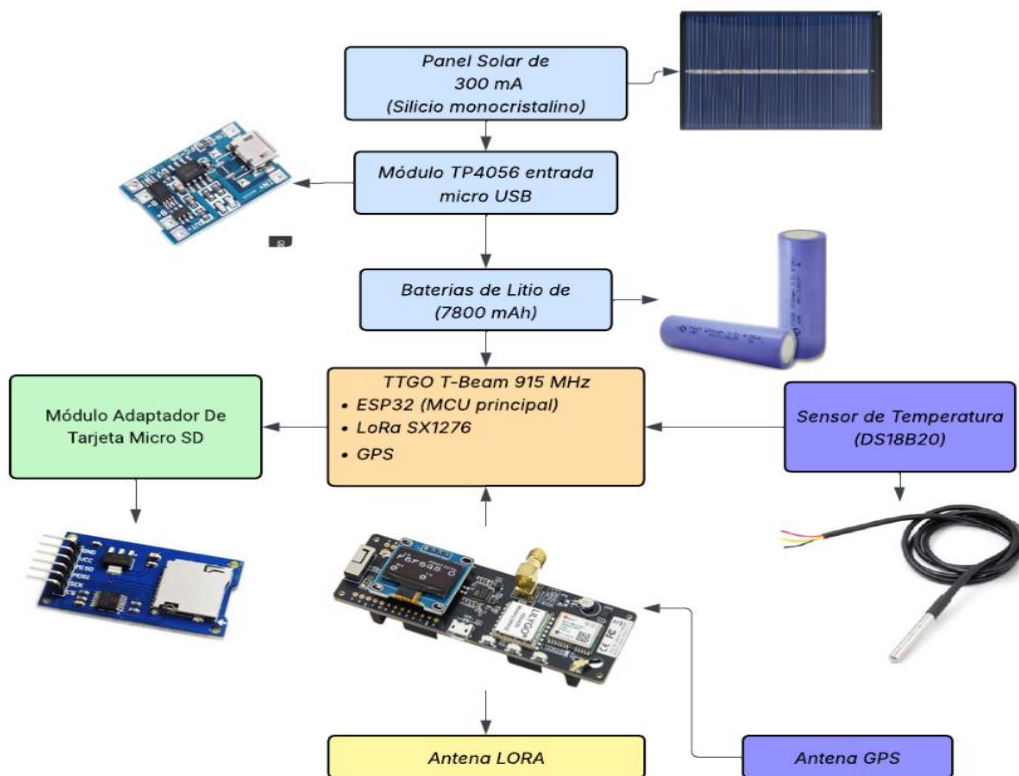


Figura 25 Diagrama de bloque del Emisor

La alimentación del dispositivo se gestiona a través de un sistema fotovoltaico con un controlador TP4056 y baterías de litio, que ofrecen una reserva energética de 1 día para mantener el funcionamiento continuo incluso cuando no hay luz solar. Por último, el diseño incluye un sensor de temperatura DS18B20 para el monitoreo ambiental o fisiológico, así como antenas GPS y LoRa dedicadas que mejoran estabilidad de la comunicación inalámbrica.

#### 4.5.2.1 Arquitectura del Receptor

Como se aprecia en la Figura 26, el componente principal es el receptor LilyGO TTGO LoRa32, el cual actúa como un puente inteligente de largo alcance. Su importancia radica en la capacidad del procesador ESP32 para gestionar simultáneamente la recepción de datos vía LoRa (915 MHz) y su retransmisión hacia la nube mediante Wi-Fi, convirtiendo señales de radiofrecuencia en información digital accesible desde plataformas como Google Sheets y servicios de almacenamiento en la nube.

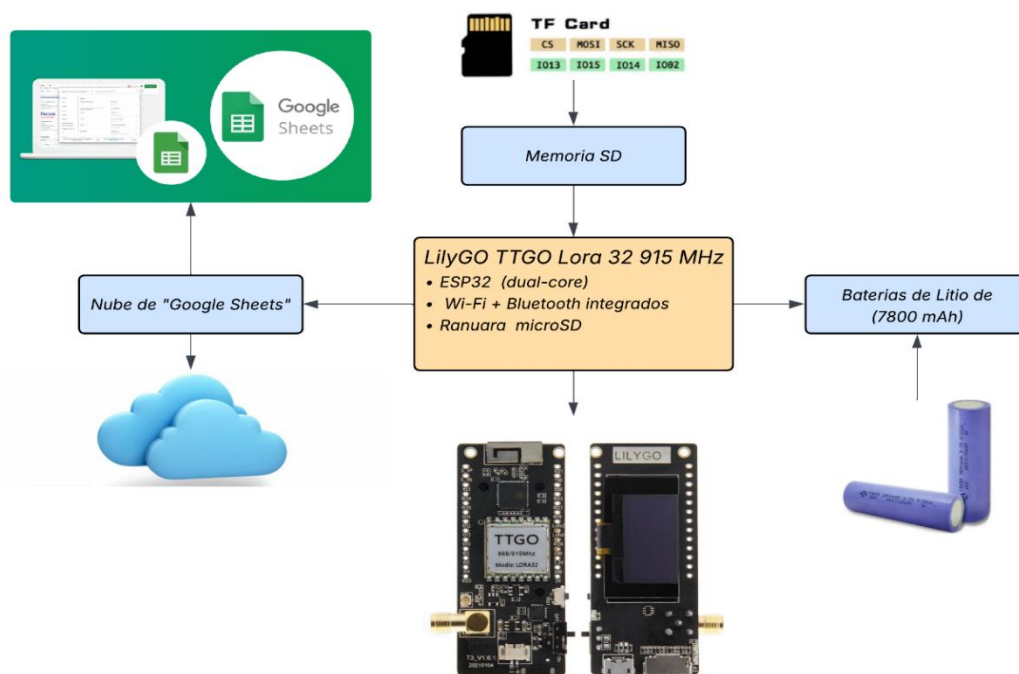


Figura 26 Diagrama del bloque del receptor.

El receptor garantiza la integridad de la información mediante un almacenamiento híbrido, evitando la pérdida de datos. Todo el sistema es energéticamente independiente gracias a una batería de litio de 7800 mAh, lo que permite una operación adecuada.

### 4.5.3 Desarrollo del firmware

Se enfocó a crear algoritmos que gestionen sensores, faciliten la comunicación inalámbrica a largas distancias y permitan el almacenamiento local de datos.

#### 4.5.3.1 Flujo del Emisor

El funcionamiento del emisor se rige por un ciclo iterativo diseñado para asegurar la fiabilidad en la toma de datos. El proceso inicia con la inicialización de las librerías y un diagnóstico preventivo de los componentes clave: los módulos LoRa y GPS, el sensor de temperatura y la tarjeta microSD. Esta verificación garantiza que el hardware esté operativo antes de proceder con la etapa de captura y transmisión, la cual se mantiene activa durante un intervalo de 40 segundos. Una vez transcurrido este tiempo, el sistema se reinicia automáticamente para restablecer los parámetros de control y comenzar un nuevo ciclo, asegurando así la estabilidad del dispositivo a largo plazo. Este flujo de trabajo se ilustra detalladamente en el diagrama de la Figura 27.

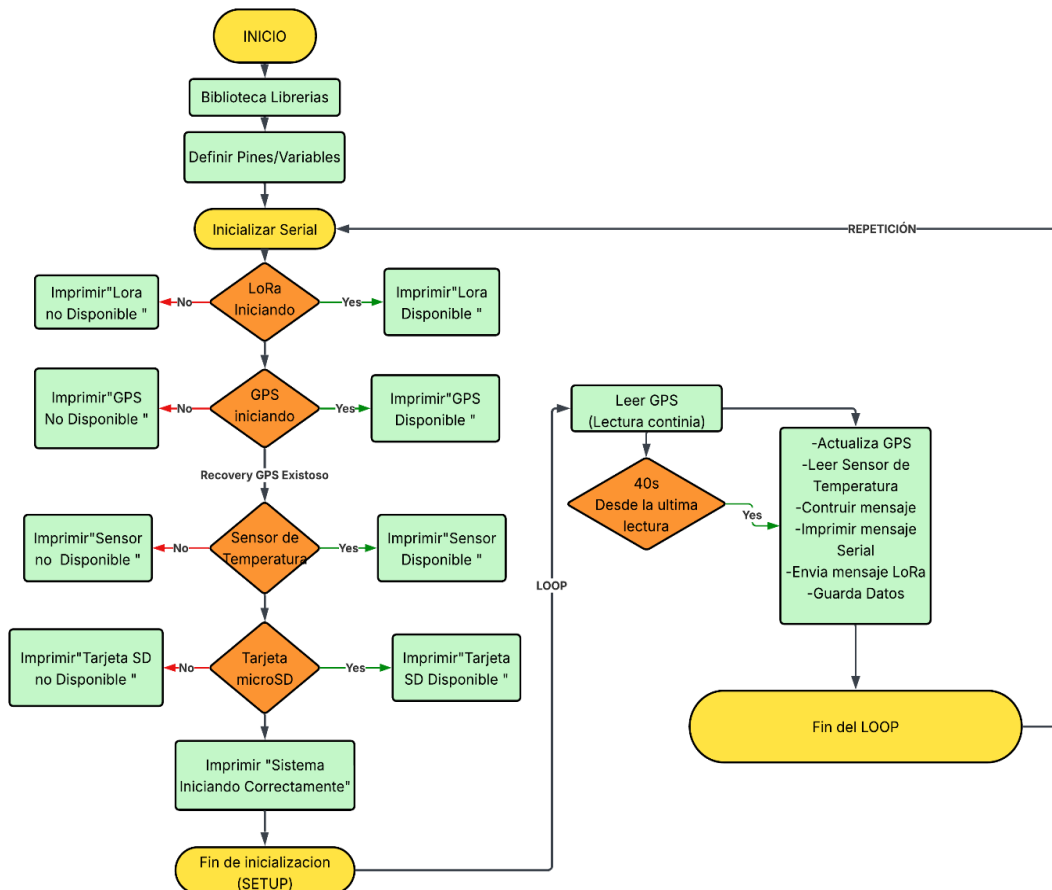


Figura 27 Diagrama de flujo del Emisor

El sistema realiza lecturas GPS de forma continua durante todo el ciclo operativo, actualizándose en tiempo real a intervalos frecuentes. Para ahorrar batería y evitar perder la señal GPS, la temperatura se registra solo una vez por ciclo, como parte de los datos ambientales, dentro del temporizador de 40 segundos. Como se puede ver en la Figura 28, que se activa después de las lecturas GPS, el envío de la trama ocurre una vez por ciclo: cuando se genera el mensaje, se guarda en la tarjeta SD se envía a través de LoRa y se reinicia el proceso, repitiéndose cada 40 segundos.

#### *4.5.3.1 Receptor*

El algoritmo del receptor actúa como un puente de comunicación. Comienza estableciendo la conexión Wi-Fi y configurando el sistema de archivos en la tarjeta SD para registrar eventos. Durante su ciclo principal, el firmware monitorea de manera continua la llegada de la trama de datos. En ese momento, se activa un LED como señal visual, se lee el mensaje completo y se ejecuta una función que sube la información a la nube y la guarda en la SD. En la Figura 28, se muestra el diagrama de flujo del receptor.

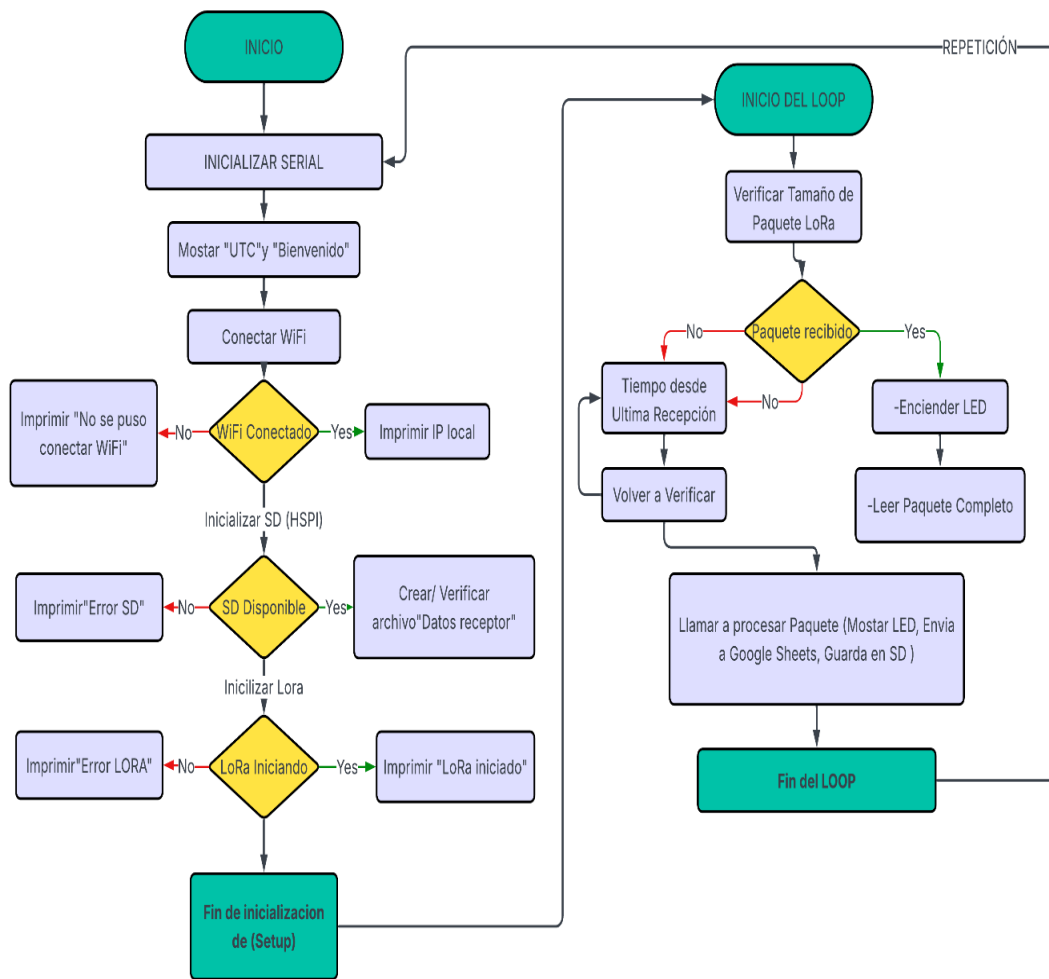


Figura 28 Diagrama de flujo del Receptor

En el Anexo 2 se explica la lógica de programación que se ha implementado para los módulos Emisor y Receptor.

#### 4.6 Diseño y Prototipo

Es fundamental contar con el diagrama del circuito que vamos a desarrollar, ya que nos ayuda a planificar todo antes de empezar a conectar cables y componentes. Este puede ser un dibujo hecho en un software de circuitos eléctricos.

Se comienza creando el esquema del circuito utilizando el software para diseño de PCB PROTEUS. Esto es fundamental para evitar confusiones o errores, ya que trabajar en un entorno más familiar para conectar los componentes del diagrama hace que el diseño sea mucho más sencillo.

### 4.6.1 Diseño esquemático y PCB

Durante la fase inicial del diseño del dispositivo, se creó un prototipo para cada módulo (emisor y receptor). Permitiendo ajustes entre los componentes electrónicos y funcionalidad del dispositivo en entornos de bajo consumo y largo alcance. En la Figura 29 se muestra el prototipo inicial.

El diagrama representa el esquema de conexiones del integrando un Módulo LILYGO TTGO lora32 915Mhz V1.6.1, con su sistema de energía. Se detalla el circuito de alimentación compuesto por una batería litio de 3.7 V con una capacidad de 7800mAh y un interruptor conectado al puerto batería, permitiendo el control manual del flujo de corriente hacia la placa.

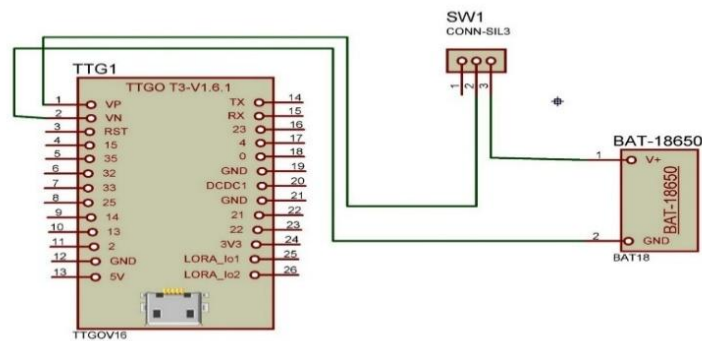


Figura 29 Diagrama de conexión del Receptor

Además, el diagrama incluye un puerto de carga, así que la alimentación no es nada crítica porque incluso podrías conectarlo a un cargador con salida de 3.7V. Esta característica proporciona una mayor flexibilidad en el suministro de energía, facilitando el uso del dispositivo en diversos entornos, ya sea en condiciones controladas o en el campo, sin depender exclusivamente de baterías.

En la Figura 30 se presenta el diseño inicial del prototipo del emisor, incluyendo su configuración de conexiones y los pines utilizados durante la elaboración del diagrama funcional.

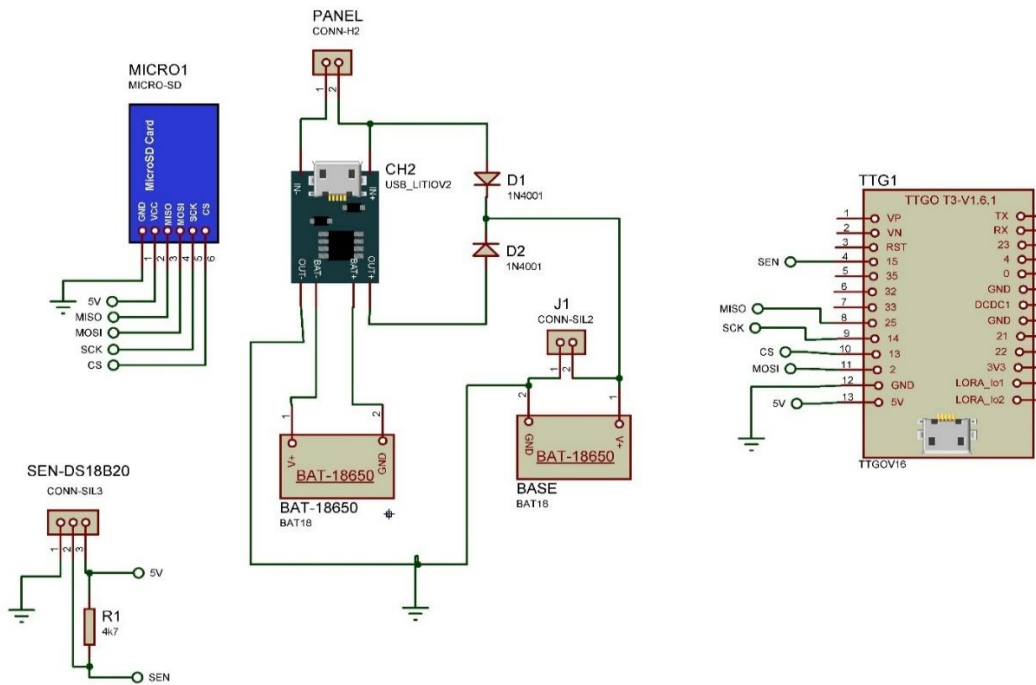


Figura 30 Diagrama de conexión del Emisor

En el diseño del emisor, la alimentación es un aspecto crítico debido a su impacto directo en la autonomía y funcionalidad del dispositivo. Si se depende únicamente de la batería, los consumos energéticos constantes harían que se descargaran completamente en 10 horas, lo que provocaría el apagado automático del sistema y limitaría su operatividad en aplicaciones de monitoreo continuo. Para solucionar esto, se incorpora un panel solar que, junto con el módulo TP4056, permite cargar la batería durante el día aprovechando la energía, y descargarla de manera controlada durante la noche.

Además, para optimizar el consumo de energía y conservarla, el emisor realiza envíos de datos cada 40 segundos, en lugar de hacerlo de forma continua. Según el manual del dispositivo, cada transmisión por LoRa consume alrededor de 110 mA.

El diseño electrónico se estructura en tres etapas.

- Primera etapa de procesamiento se utiliza el módulo TTGO T-Beam v1.1, que aprovecha su conectividad LoRa para transmisión de largo alcance y su módulo GPS NEO-6M integrado para saber su ubicación exacta. Además, este módulo gestiona el almacenamiento intensivo mediante el SPI conectado a un lector Micro-SD.
- En la segunda etapa de adquisición, se emplea el protocolo para el sensor de temperatura DS18B20. Para que funcione mejor, agregamos una resistencia de 4.7 kΩ en la línea de datos, que ayuda a mantener estables los niveles de señal y reducir el ruido que podría

interferir.

- Por último, la etapa se implementa un sistema de carga sustentable mediante el módulo TP4056, el cual regula la energía proveniente de un panel solar de 300 mA hacia una batería de litio de 3.7 V con capacidad de 7800 mAh. Esta configuración incluye diodos de protección para prevenir corrientes inversas que podrían dañar los componentes, asegurando una autonomía.

Tabla 9 Identificación los pines a utilizar

<b>Componente</b>	<b>Interfaz Lógica</b>	<b>Pin del Componente</b>	<b>Pin T-Beam</b>
TTGO T-Beam v1.1	MCU / LoRa	Antena / RF	Nativo
GPS NEO-6M	UART (Serie)	TX / RX	GPIO 12 / 34
Lector Micro-SD	SPI (Reloj)	SCK	GPIO 14
Lector Micro-SD	SPI (MISO)	MISO	GPIO 4
Lector Micro-SD	SPI (MOSI)	MOSI	GPIO 13
Lector Micro-SD	SPI (CS)	CS	GPIO 15
Sensor DS18B20	1-Wire	DQ (Datos)	GPIO 17
Módulo TP4056	Regulación CC/CV	OUT+ / OUT-	5V (VIN) / GND
Batería Litio (7800mAh)	Almacenamiento	B+ / B-	BAT (TP4056)

## 4.7 Diseño del PCB

### 4.7.1 Diseño del Receptor

Se detalla el proceso de diseño de la placa de circuito impreso correspondiente al módulo Receptor componente central del sistema de rastreo. Este módulo se basa en una placa de circuito impreso (PCB) personalizada. En la Figura 31, muestra la configuración de los componentes esenciales que conforman el prototipo.



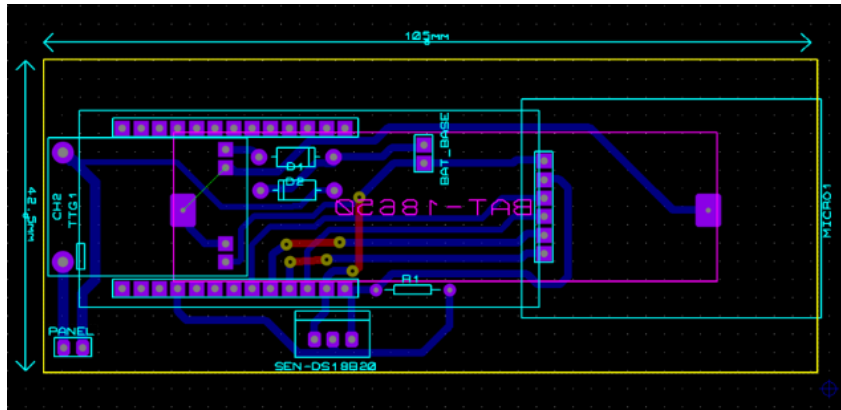


Figura 33 Diseño del receptor

Este módulo recibe las señales LoRa que envía la unidad emisora, lo que demuestra lo complejo que es el sistema de recolección de datos. Además, incluye otro conector para la placa TTGO T-Beam, que funciona como el receptor principal.

- Está conectado un panel solar que actúa como una fuente de alimentación externa, para cargar la batería y mantener el sistema funcionando con energía renovable.
- En el centro, hay módulos que manejan la energía, con conexiones a la base de la batería 18650 y al cargador, para controlar cómo se carga y usa la batería.
- Incluye diodos de protección D1 y D2 para evitar que la corriente fluya hacia atrás y dañe los componentes; una entrada para el sensor DS18B20, que mide la temperatura del ambiente para saber si hace calor o frío; y un espacio para el módulo lector de tarjetas microSD, donde se guardan los datos que llegan. Este diseño mide 105 mm × 42 mm, lo que permite su instalación en una unidad receptora. Como se ilustra en la Figura 34.

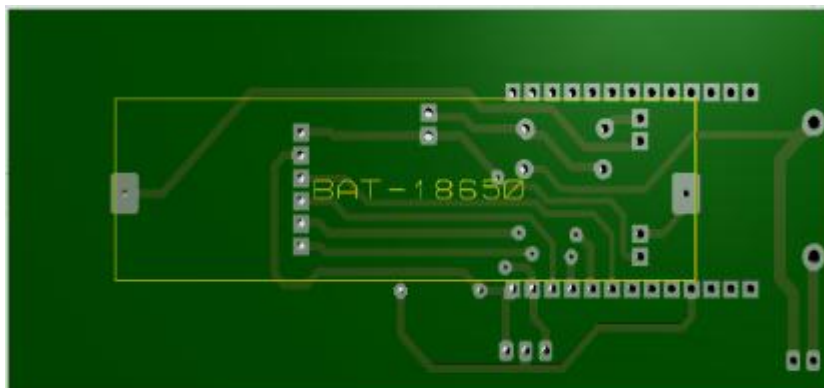


Figura 34 Placa del Emisor 3D.

Para diseñar una placa de circuito electrónico, se muestran en las Figuras 35-36 los detalles del proceso, que facilitan la creación de la placa, ayudando a obtener trazas de circuito integrado de manera más eficiente, reduciendo errores y optimizando el tiempo de diseño.

### 4.7.3 Modelo 3D del encapsulado

Ayuda mucho en la estética del PCB es la utilización de la herramienta de Visualización en 3D, con la que se puede tener una perspectiva cercana a la realidad de cómo será el equipo armado.

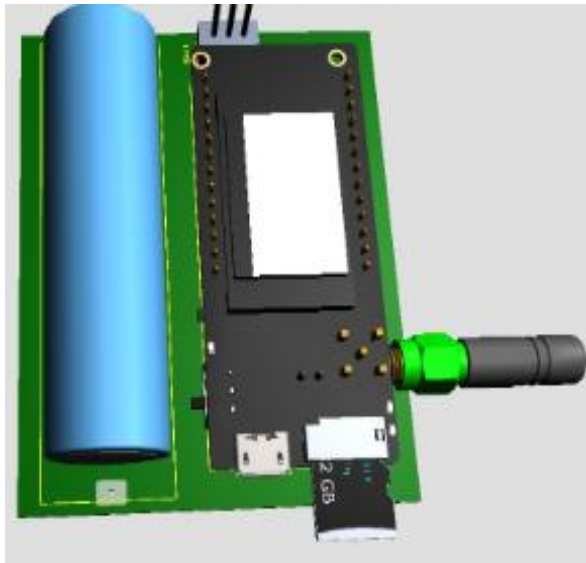


Figura 35 Diseño 3D del prototipo del Receptor

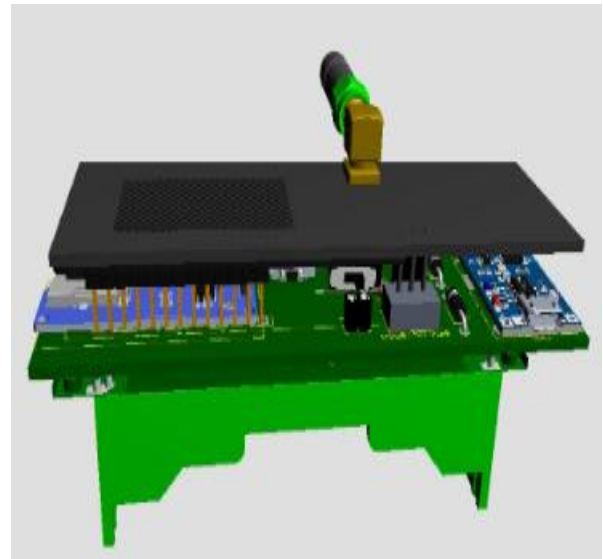


Figura 36 Diseño 3D del prototipo del Emisor

### 4.7.4 Montaje del prototipo

A continuación, se detalla el proceso físico a realizar del prototipo

#### 4.7.4.1 *Diseño por Ordenador*

El diseño de las pistas debe hacerse utilizando algún software, y en este caso, se optó por PROTEUS como se mencionó anteriormente. Es fundamental que el diseño de la placa sea lo más compacto posible para evitar tener "cables" largos en el circuito. Además, para que se vea bien estéticamente, planeo alinear los componentes y, si es posible, agruparlos.

También es importante evitar los "puentes", aunque a veces esto puede ser complicado a menos que se opte por una placa de doble cara. Otro punto clave es colocar cualquier entrada o salida del circuito en los bordes para facilitar las conexiones.

#### 4.7.4.2 *Construcción de la placa con máquina CNC*

El control numérico por computadora, o CNC para abreviar, es un sistema de automatización computarizado que controla la posición de las herramientas montadas en las máquinas herramienta. Se utiliza para producir piezas y formas difíciles de fabricar en una variedad de

formas, para cortar y grabar cobre en rieles para eliminar cobre no deseado y sustratos aislantes y, finalmente (placas) para realizar fresado. Todos los componentes electrónicos utilizados están perforados. En la Figura 37 muestra una placa grabada en una máquina CNC.

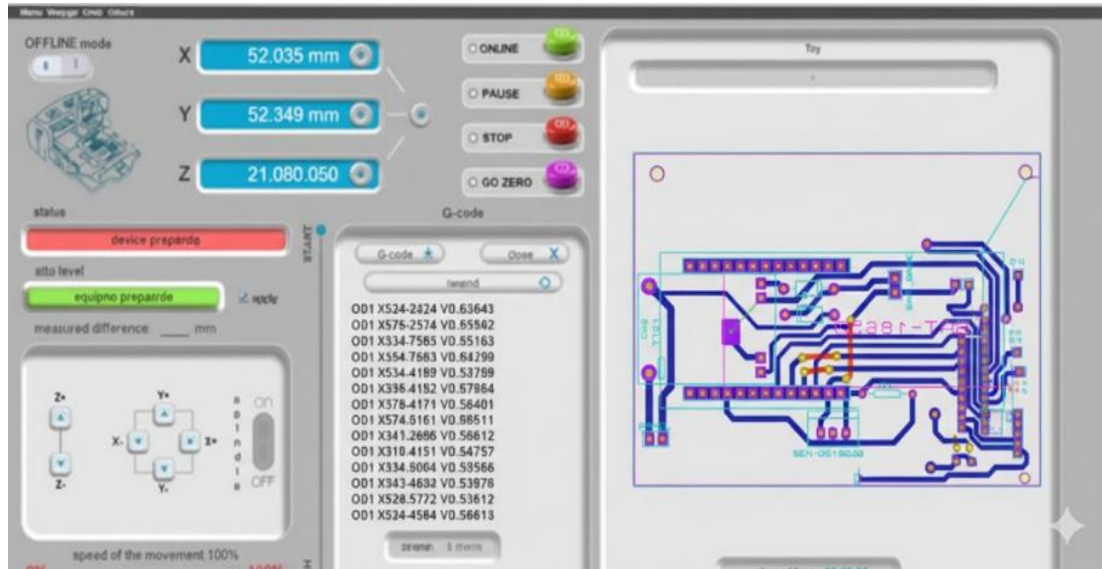


Figura 37 Impresión del circuito en maquina CNC

#### 4.7.4.3 Construcción de la placa con maquina CNC

Con la placa lista y las pistas definidas, se procede a hacer los agujeros con la máquina CNC para los componentes que se soldarán en la tarjeta de circuito impreso. Este proceso es muy útil, ya que la base nos proporciona rapidez y precisión. Se observa en la siguiente Figura 38 la construcción la placa.

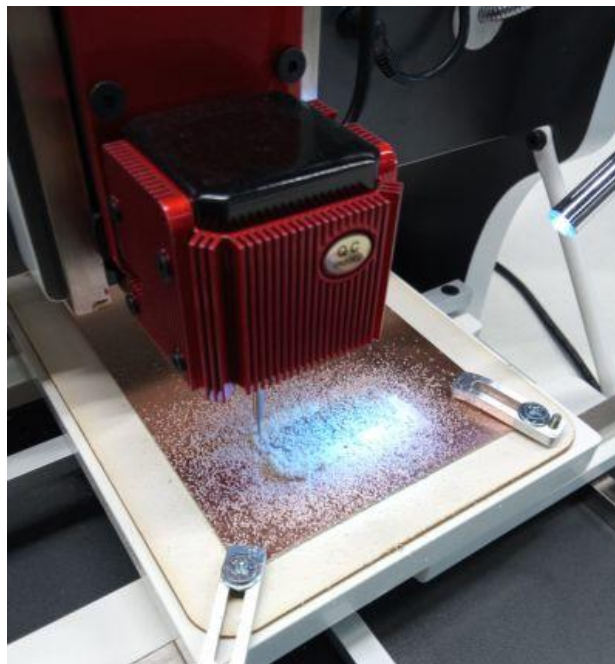


Figura 38 Máquina CNC utilizada para la construcción de la placa PCB

#### 4.7.4.4 Software para el diseño de la Carcasa de Protección

El software SOLIDWORKS, es un programa de diseño asistido por computadora (CAD) que se centra en el modelado paramétrico en 3D. En la interfaz, se puede ver que se está utilizando el módulo SOLIDWORKS, que facilita la automatización de la creación de globos de inspección en los planos y la generación de informes de control de calidad. En la siguiente Figura 39 se presenta el interfaz del programa a utilizar.



Figura 39 Interfaz del SolidWorks

#### 4.7.4.5 Diseño de la Carcasa de Protección y Soporte

##### a) Emisor diseño de la carcasa

Para proteger el sistema electrónico, diseñamos un conjunto mecánico hecho de dos piezas principales. Estas piezas están optimizadas para fabricarse con impresión 3D, lo que permite una producción rápida y personalizada. Gracias a esto, las piezas se ajustan perfectamente a los componentes electrónicos, como la placa TTGO T-Beam, los módulos LoRa y GPS.

Las piezas incluyen:

- Una base inferior con ranuras para que pasen los cables.
- Una tapa superior con ventilaciones que ayudan a disipar el calor.

Esto mejora la durabilidad del sistema al aislarlo contra vibraciones, polvo y humedad. La Figura 42 muestra una placa base que tiene rieles laterales, una guía de deslizamiento o soporte estructural, y perforaciones en las esquinas.

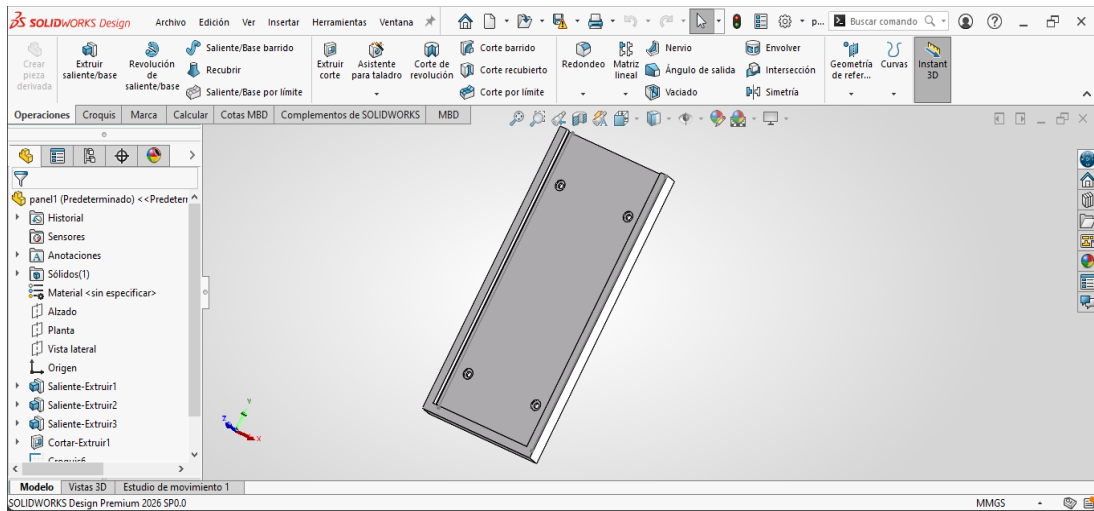


Figura 40 Diseño de parte superior “Emisor”

Como se ve en la Figura 40, la tapa superior está hecha para colocar un panel solar. Esto permite que el panel reciba mucho sol, lo que hace que la carga sea más eficiente. Además, incluye un sistema de montaje con guías y puntos de montaje con tornillos, asegurando un cierre seguro y protegiendo la electrónica interna.

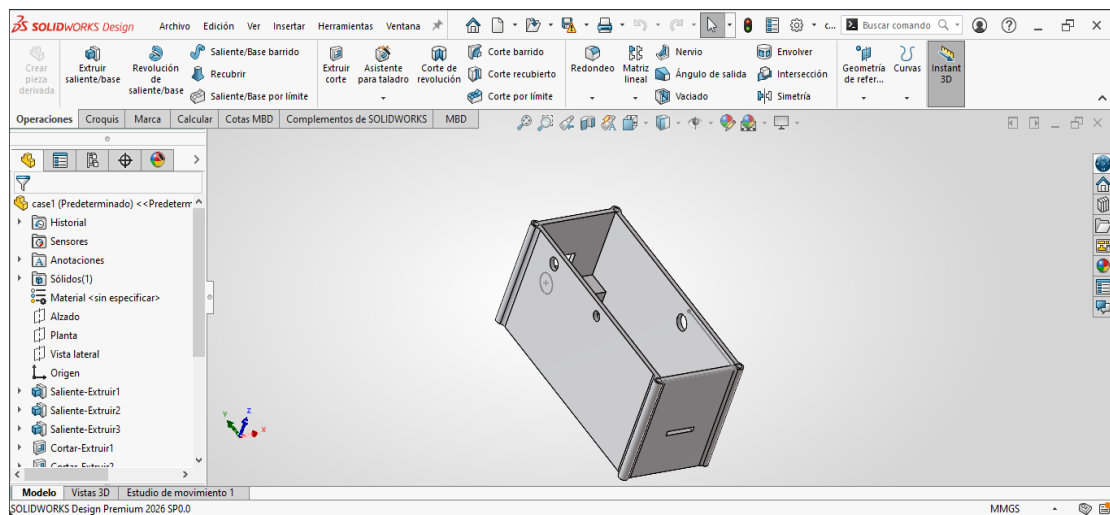


Figura 41 Diseño de parte inferior “Emisor”

b) Receptor diseño de la carcasa

En esta parte del diseño, se observa en la Figura 41, que tiene una abertura rectangular en el centro para una pantalla OLED, lo que permite ver datos en tiempo real sin exponer las partes internas. Además, incluye perforaciones en las esquinas para tornillos de sujeción que aseguran un cierre fuerte con la base.

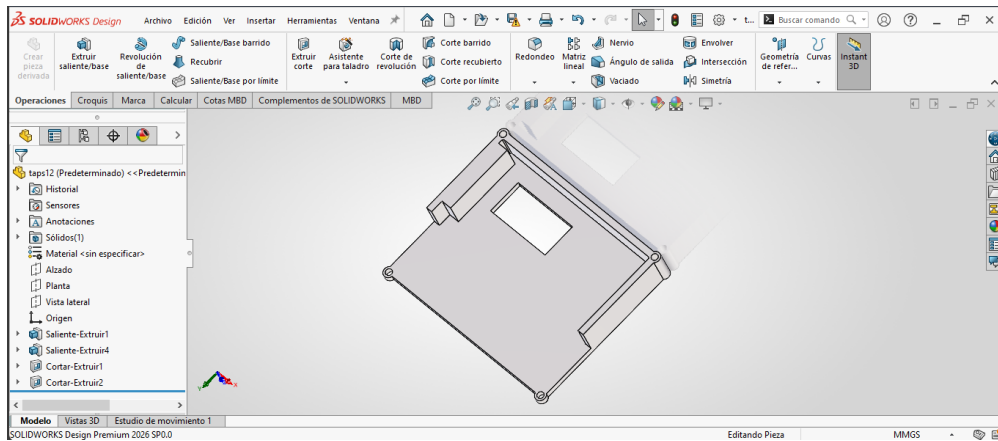


Figura 42 Diseño de parte superior “Emisor”

Como se ve en la Figura 42. la estructura inferior es la base principal donde se coloca toda la electrónica. Está diseñado con un espacio interior perfecto para poner el "Módulo Lilygo LoRa 32" (receptor) y la batería. Además, tiene ranuras a los lados y circulares hechas a propósito para que salgan los cables de la antena, el puerto USB para cargar y el puerto para tarjetas Micro SD. Las paredes son gruesas y tienen soportes en las esquinas para que todo el conjunto sea fuerte y resistente, evitando que se rompa fácilmente.

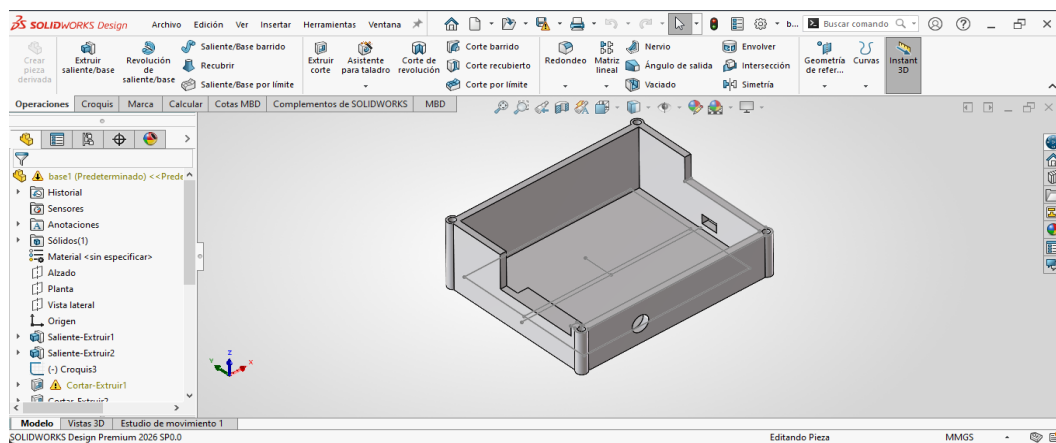


Figura 43 Diseño de parte inferior “Receptor”

#### 4.7.4.5.1 Material de Fabricación:

El prototipo se fabrica utilizando materiales como PLA (ácido poliláctico, un plástico biodegradable y fácil de imprimir) o ABS (acrilonitrilo butadieno estireno, conocido por su resistencia y durabilidad), mediante fabricación aditiva, que es básicamente impresión 3D por capas. Este proceso asegura una precisión dimensional alta, lo que significa que las piezas salen exactamente como las diseñamos en el software, con medidas precisas para que todo encaje perfecto.

#### 4.7.4.5.2 Grado de Protección

El dispositivo fue diseñado considerando las condiciones ambientales propias de las zonas rurales del Ecuador, tales como alta humedad, presencia de polvo y exposición a lluvias intensas. En base a la norma IEC 60529, se establece como requisito mínimo un grado de protección IP65, garantizando protección total contra el ingreso de polvo y resistencia a chorros de agua. Para aplicaciones en entornos de mayor exposición hídrica, se recomienda un grado IP67, que asegura resistencia ante inmersión temporal en agua.

#### 4.7.4.5.3 Protección contra el movimiento del animal:

Además, el diseño incluye para resistir el movimiento del animal, como correas o amortiguadores que evitan que el dispositivo se desprenda o se dañe durante actividades como caminar, correr o saltar, típicas de animales en zonas andinas.

En el Anexo 3 el tipo de material que se utilizó para la impresión en 3D y sus características principales.

#### 4.7.4.6 Ubicación de los elementos en la placa

Se observa el prototipo completamente ensamblado dentro de sus carcasas, donde comprobamos que las antenas de LoRa y GPS estén bien puestas para asegurar una buena comunicación y un rastreo por satélite adecuado, tanto para el emisor como para el receptor. Para proteger la placa electrónica de impactos y hacer que el prototipo se vea mejor, se coloca en una caja de plástico, como se muestra en las Figuras 44-45.



Figura 44 Protector de Emisor

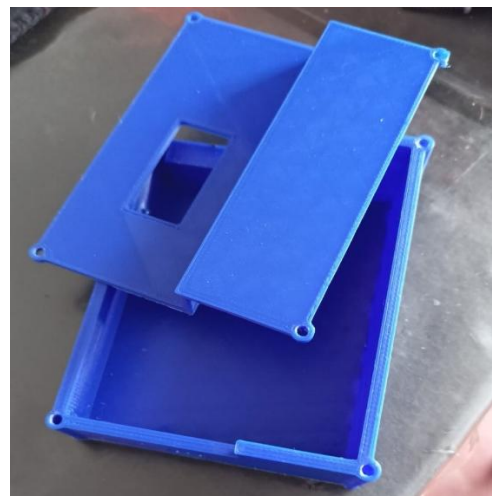


Figura 45 Protector de Receptor

En el Anexo 4 se dispone de los planos de construcción con todas las medidas y especificaciones adecuadas para su elaboración.

#### 4.7.5 Desarrollo de la plataforma de monitoreo:

En el proyecto de rastreo, la plataforma de monitoreo es el corazón del sistema de software. Su tarea principal es reunir, guardar y analizar los datos que llegan de los dispositivos LoRa/GPS colocados en el campo.

Esta plataforma procesa información importante, como la posición geográfica, los movimientos que hace el dispositivo, el nivel de batería y la temperatura, transformando las señales de radio en datos útiles para saber exactamente dónde está ubicado. Su diseño permite manejar los datos de forma eficiente, lo que ayuda a tomar decisiones en áreas rurales o de difícil acceso.

##### 4.7.5.1 Servidor

En el diseño del dispositivo, el almacenamiento de datos se hace de forma híbrida, mezclando opciones locales y remotas en la nube, para asegurar que la información esté segura y se pueda acceder a ella en lugares como las zonas andinas del Ecuador. Esta mezcla garantiza que datos como las lecturas de GPS, temperatura y estado de la batería se guarden bien, incluso si hay problemas con la conexión a internet, permitiendo subirlos a la nube cuando sea posible y ofreciendo soluciones prácticas para vigilar animales.

Los datos que recopila el dispositivo emisor, parte del equipo de rastreo, se guardan primero en una memoria MicroSD integrada en el módulo receptor LoRa. Esta memoria actúa como un almacenamiento temporal, guardando la información hasta que se pueda procesar o enviar a la nube, y evita que se pierdan datos si hay interrupciones. El intervalo para registrar datos se configura normalmente en 40 segundos para un monitoreo estándar, lo que permite un seguimiento continuo y eficiente en entornos como las zonas andinas del Ecuador.

El intervalo de 40 segundos no sigue una regla técnica fija, sino que es un equilibrio práctico entre la precisión del rastreo y la duración de la batería. Esta frecuencia ayuda a captar bien los cambios en la dirección y velocidad del animal, como en áreas andinas, sin sobrecargar el procesador. Además, considere que el formato JSON (un tipo de archivo para organizar datos) necesita tiempo para prepararse antes de guardarlo en la MicroSD. Este tiempo también es bueno para que el hardware entre en modos de bajo consumo entre registros, asegurando que la batería dure de uno a dos días y que la memoria de 8GB sea casi ilimitada para almacenar datos.

La Figura 46 muestra visualmente el proceso de recepción y almacenamiento local en la MicroSD, destacando lo eficiente que es este diseño para aplicaciones de monitoreo animal.

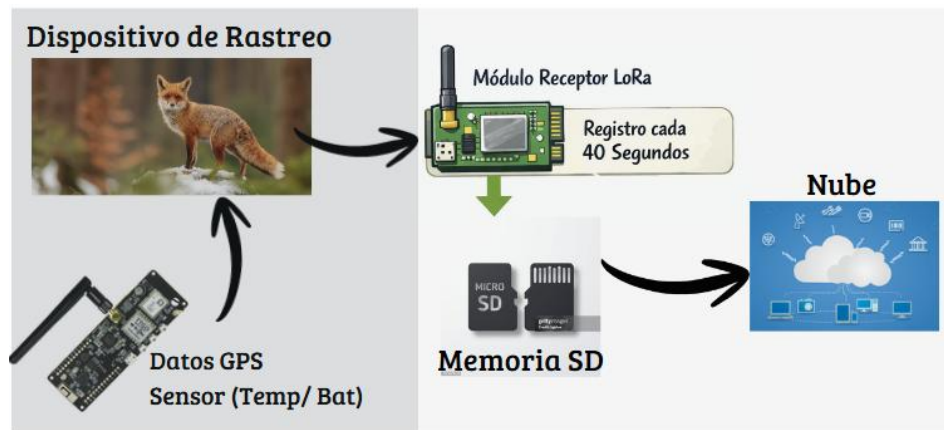


Figura 46 Almacenamiento de Datos en la MicroSD y la Nube

#### 4.7.5.2 Interfaz de usuario

Esta solución local es crucial en las zonas remotas, donde la topografía inconcebible puede interrumpir la comunicación inalámbrica, proporcionando un respaldo físico que resiste condiciones ambientales adversas como la humedad y las vibraciones causadas por el movimiento del animal. Los datos se transmiten y almacenan en un servidor remoto en online, y crea una "hoja de cálculo" (Google Sheets).

Cada 40 segundos, durante el funcionamiento del emisor, llegan al menos dos datos principales que se detallan en la Tabla 9, como lecturas de GPS y temperatura. La Figura 47 ilustra el proceso de recepción de estos datos en línea.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		CODIGO_ID	ENCENDIDO	BATERIA	RSSI	GPS	FECHA	HORA	COORD X	COORD Y	ALTURA	VELOCIDAD	DISTANCIA	TEMPERATURA
2	UTC-01	On	3.25	-68	On	19/11/2025	19:52:00	-828.407	-78.632.175	2847.70	3.87	340.0	18.706	
3	UTC-01	On	3.26	-66	On	19/11/2025	19:52:18	-828.490	-78.632.157	2852.40	1.54	340.0	18.707	
4	UTC-01	On	3.25	-62	On	19/11/2025	19:52:36	-828.461	-78.632.207	2852.70	2.91	340.0	18.702	
5	UTC-01	On	3.24	-66	On	19/11/2025	19:52:38	-828.474	-78.632.193	2852.70	0.63	340.0	18.704	
6	UTC-01	On	3.26	-66	On	19/11/2025	19:52:48	-828.409	-78.632.189	2846.70	0.44	340.0	18.706	
7	UTC-01	On	3.26	-68	On	19/11/2025	19:52:56	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
8	UTC-01	On	3.26	-66	On	19/11/2025	19:53:08	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
9	UTC-01	On	3.25	-93	On	19/11/2025	19:53:18	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
10	UTC-01	On	3.25	-115	On	19/11/2025	19:53:28	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
11	UTC-01	On	3.26	-66	On	19/11/2025	19:53:38	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
12	UTC-01	On	3.25	-68	On	19/11/2025	19:53:48	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
13	UTC-01	On	3.24	-60	On	19/11/2025	19:53:58	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
14	UTC-01	On	3.25	-92	On	19/11/2025	19:54:08	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
15	UTC-01	On	3.25	-95	On	19/11/2025	19:54:18	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
16	UTC-01	On	3.26	-92	On	19/11/2025	19:54:28	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
17	UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:54:38	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
18	UTC-01	On	3.26	-90	On	19/11/2025	19:54:48	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
19	UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:54:58	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
20	UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:55:08	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
21	UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:55:18	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
22	UTC-01	On	3.24	-90	On	19/11/2025	19:55:28	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
23	UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:55:38	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
24	UTC-01	On	3.24	-90	On	19/11/2025	19:55:48	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
25	UTC-01	On	3.24	-90	On	19/11/2025	19:55:58	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
26	UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:56:08	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	
27	UTC-01	On	3.23	-90	On	19/11/2025	19:56:18	-828.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	18.700	

Figura 47 Almacenamiento de datos en Google Sheets

En el Anexo 5 se muestra como configurar una red Wi-Fi en emisor/receptor y el enlace de la información obtenida. Además, se indica como cambiar de "hoja de cálculo".

## **5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **5.1 Prototipo funcional**

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo, prueba y validación de un dispositivo de rastreo para el zorro andino. Este enfoque combina datos empíricos de pruebas en campo.

Los resultados se conectan directamente con los objetivos del proyecto, enfocándose en bajo consumo energético, largo alcance y el rastreo animal en tiempo real.

#### **5.1.1 Funcionalidad operativa**

El dispositivo recopila datos cada 40 segundos como es la ubicación GPS, estado de la batería, temperatura, se comprime los datos y los envía a través de LoRa de su alcance de visión de hasta 2 a 10 km la norma ISM 902–928 MHz.

En caso de desconexión, guardar en la tarjeta MicroSD local (8 GB) y sincroniza con el servidor remoto (Google Sheets) y una vez que se restablezca la conexión. Se activaría los paneles solares para usa un recurso renovable.

En el Anexo 6 se muestra una tabla con datos recolectados en las fechas de 19 de noviembre del 2025 al mes de 5 de febrero del 2026.

### **5.2 Resultados de las pruebas**

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema propuesto, se realizaron diversas pruebas en campo, particularmente en entornos rurales.

#### **5.2.1 Pruebas y validación:**

A continuación, se procede el funcionamiento de la programación cada módulo.

##### *5.2.1.1 Funcionamiento del Receptor*

Las pruebas se enfocaron en verificar si el receptor puede capturar, procesar y mostrar las tramas de datos que envía el emisor en el transcurso de 40 segundos. Los resultados que aparecen en el monitor serial confirman que el sistema funciona bien en una red local, como se puede ver en la Figura 48.

```

✅ Pantalla iniciado correctamente
Conectando WiFi.....

✅ WiFi conectado correctamente
192.168.18.64
Error al inicializar la tarjeta SD
✅ LoRa iniciado correctamente
✅ Paquete recibido:
UTC-01,3.89,On,01/02/2026,17:00:21,-0.928525,-78.632174,2848.00,0.17,340.0,10.710,2
✅ Paquete recibido:
UTC-01,3.87,On,01/02/2026,17:01:03,-0.928537,-78.632176,2848.10,0.41,340.0,10.711,21.5
✅ Paquete recibido:
UTC-01,3.88,On,01/02/2026,17:01:43,-0.928499,-78.632153,2844.60,1.56,340.0,10.708,21.5
✅ Paquete recibido:
UTC-01,3.88,On,01/02/2026,17:02:23,-0.928481,-78.632144,2842.70,0.94,340.0,10.706,21.5

```

Recibe a los  
40 segundos

Figura 48 Funcionamiento del receptor con su cadena de datos

- Como se puede ver en los registros del software Arduino IDE , el receptor ha ejecutado con éxito un protocolo de conexión:
- La pantalla OLED del receptor se inicializa correctamente, lo que permite mostrar los estados de manera local. En la Figura 49, se ve cómo se visualizan los datos que llegan del receptor a través de LoRa.



Figura 49 Visualización de los datos

- El dispositivo se conecta de forma estable a la red Wi-Fi local y obtiene una dirección IP. Esto es necesario para subir los datos a bases de datos en la nube, como “Google Sheets”.
- La prueba confirma que el dispositivo recibe todas las tramas de datos enviadas.

En la Tabla 10, se presenta la trama del mensaje recibido:

Tabla 10 Trama de datos obtenidos

Identificador	Bat	Estado	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Altitud	Veloc	Rumbo	Distancia Emisor	Temp
UTC-01	3.89	On	01/02/2026	17:00:21	-0.928	-78.6322	2848.0	0.17	340.0	10.710	22.0

En la siguiente Tabla 11, se presenta los parámetros del mensaje.

Tabla 11 Trama del mensaje

N°	Parámetro	Descripción
1	Identificador	Identificador único del nodo en la red, como un nombre especial para distinguirlo de otros.
2	Alimentación	Indica el valor del voltaje de la batería del módulo emisor los niveles van de 4.2V a 3.5V que indica descargado.
3	Estado	Indicador de disponibilidad operativa del sistema funcionando.
4	Fecha	Indica la fecha de la adquisición de datos.
5	Hora	Tiempo exacto en que se capturaron los datos, para saber exactamente en qué momento ocurrió.
6	Latitud	Es la posición norte o sur del dispositivo en el mapa, medida en grados desde el ecuador, para ubicar si estás arriba o abajo de esa línea.
7	Longitud	Mide la posición este u oeste, en grados desde una línea que pasa por Londres, para formar las coordenadas exactas del lugar.
8	Altitud	Indica la altura del dispositivo sobre el nivel del mar, en metros, como si estás en una colina o en el suelo.
9	Velocidad	Mide qué tan rápido se mueve el dispositivo, para saber si va lento, rápido o está quieto.
10	Rumbo	Orientación o dirección del movimiento
11	Distancia Emisor	Calcula cuánto mide la distancia entre el dispositivo que envía los datos emisor y el que los recibe receptor, en
12	Temperatura	Registra la temperatura del aire alrededor del sensor en el emisor, en grados Celsius.

### 5.2.1.1 Funcionamiento del Emisor

Para asegurar que el sensor funcione de manera adecuada antes de su funcionamiento, se implementó una rutina de autodiagnóstico al iniciar el sistema. El monitor serial muestra los resultados de las pruebas, como se ilustra en la Figura 50.

```

✓ LoRa iniciado correctamente
✓ GPS iniciado correctamente
✓ Recovery iniciado correctamente
✓ AXP192 PMU iniciado correctamente
✓ Sensor de temperatura iniciado correctamente
⚠ Tarjeta SD no disponible
✓ Sistema iniciado correctamente
UTC-01,3.89,On,01/02/2026,17:00:21,-0.928525,-78.632174,2348.00,0.17,340.0,10.710,22.0
Sin microSD
UTC-01,3.87,On,01/02/2026,17:01:03,-0.928537,-78.632176,2348.10,0.41,340.0,10.711,21.5
Sin microSD
UTC-01,3.88,On,01/02/2026,17:01:43,-0.928499,-78.632153,2344.60,1.56,340.0,10.703,21.5
Sin microSD
UTC-01,3.88,On,01/02/2026,17:02:23,-0.928481,-78.632144,2342.70,0.94,340.0,10.706,21.5
Sin microSD
```

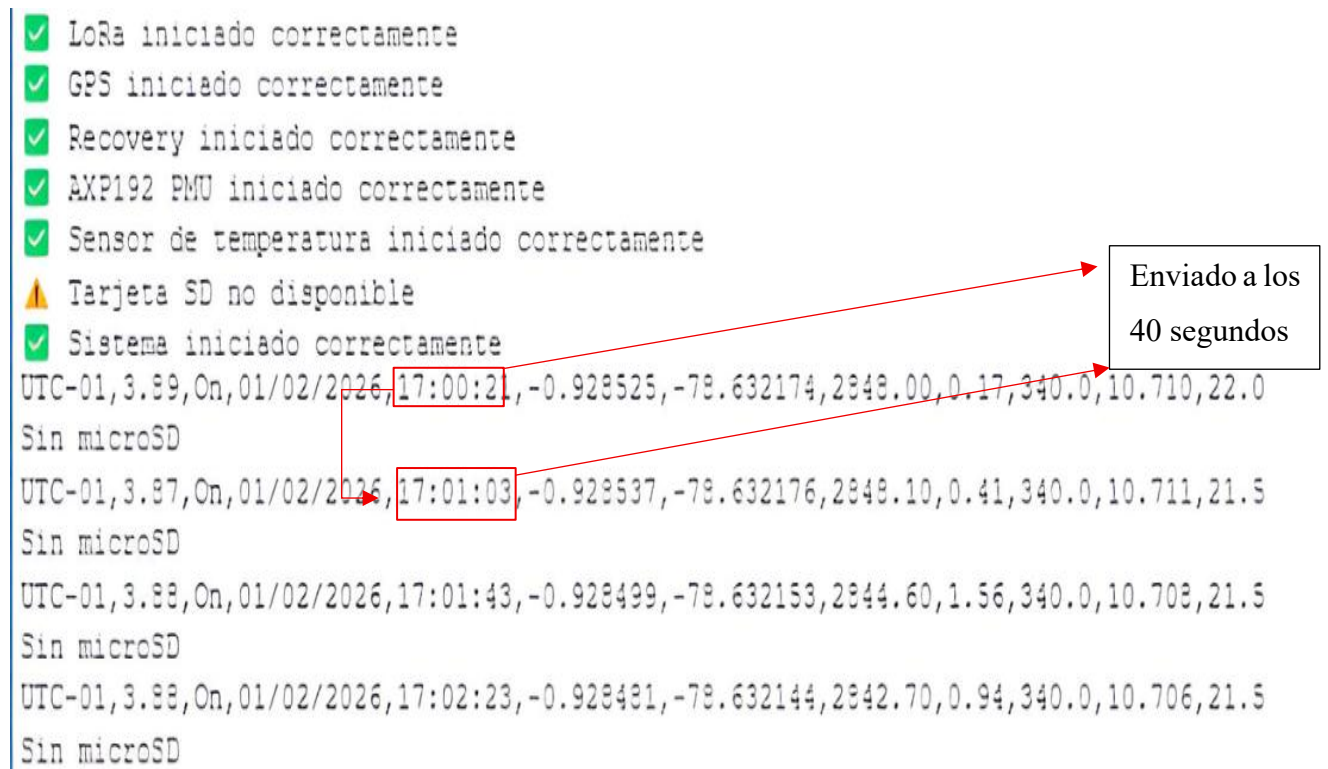


Figura 50 Funcionamiento del Emisor y su cadena de datos

En el software Arduino IDE, durante la fase de funcionamiento, se ve que los módulos de comunicación y sensores se inicializan correctamente, pero la tarjeta SD marca un error que dice "Tarjeta SD no disponible". El emisor funciona mostrando una cadena de datos en que incluye doce parámetros importantes como se puede ver en la Tabla 10.

### 5.2.2 Prueba de movimiento del emisor

El proceso de evaluación inició a las (07:00:36 am) mediante el monitoreo del dispositivo UTC-01, el cual operaba con un voltaje nominal de 4.2V y una potencia de señal recibida fluctuante entre -91 y -95 dBm. Como se observa en la Figura 51 el tramo del mensaje (Inicial). La prueba de movimiento se analiza las variaciones en las tramas de datos capturadas por el receptor GPS bajo un intervalo de muestreo de 40 segundos.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ☆ 📄 🔄

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Extensiones Ayuda

Menús 🖨️ 📄 100% 🔄 Solo ver

2:N7 | 📄 UTC-01

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
UTC-01	On	4.20	-96	On	19/01/2026	7:00:36	-928.286	-78.632.312	2880.90	01.07	340.0	10.677
UTC-01	On	4.20	-97	On	19/01/2026	7:01:16	-928.333	-78.632.268	2853.40	1.50	340.0	10.686
UTC-01	On	4.20	-97	On	19/01/2026	7:01:56	-928.459	-78.632.174	2836.80	0.19	340.0	10.703
UTC-01	On	4.20	-96	On	19/01/2026	7:02:36	-928.396	-78.632.205	2840.80	0.93	340.0	10.695
UTC-01	On	4.20	-95	On	19/01/2026	7:03:16	-928.346	-78.632.232	2844.60	0.57	340.0	10.689
UTC-01	On	4.20	-95	On	19/01/2026	7:03:56	-928.359	-78.632.234	2846.30	1.48	340.0	10.690
UTC-01	On	4.20	-95	On	19/01/2026	7:04:36	-928.361	-78.632.235	2845.40	1.17	340.0	10.690
UTC-01	On	4.20	-94	On	19/01/2026	7:05:16	-928.352	-78.632.247	2848.40	0.65	340.0	10.689
UTC-01	On	4.20	-95	On	19/01/2026	7:05:56	-928.308	-78.632.262	2846.50	1.19	340.0	10.684
UTC-01	On	4.20	-95	On	19/01/2026	7:06:36	-928.389	-78.632.218	2845.30	0.06	340.0	10.694
UTC-01	On	4.20	-95	On	19/01/2026	7:07:16	-928.405	-78.632.206	2843.90	0.09	340.0	10.696
UTC-01	On	4.20	-95	On	19/01/2026	7:07:56	-928.417	-78.632.213	2843.40	0.28	340.0	10.697
UTC-01	On	4.20	-94	On	19/01/2026	7:08:36	-928.363	-78.632.244	2843.60	0.17	340.0	10.690

Datos Iniciales

Figura 51 Tramo del mensaje (Inicial)

Esta evaluación se basó en comparar las coordenadas que reportó el dispositivo con una ubicación fija de referencia, teniendo en cuenta que el emisor se estaba moviendo. Al observar los cambios en los números decimales de la latitud y la longitud, pude medir cuánto error había en el sistema, y así verificar si cumple con los niveles de precisión necesarios para su uso específico. Los datos se revisaron durante una hora, como se ve en la Figura 52, que muestra la parte final del mensaje.

UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:49:56	-928.373	-78.632.228	2850.20	0.52	340.0	10.692
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:50:36	-928.353	-78.632.241	2846.00	0.17	340.0	10.689
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:51:16	-928.355	-78.632.241	2844.60	0.31	340.0	10.690
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:51:56	-928.384	-78.632.229	2846.90	0.24	340.0	10.693
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:52:36	-928.373	-78.632.233	2847.00	0.17	340.0	10.692
UTC-01	On	4.20	-91	On	19/01/2026	8:53:16	-928.369	-78.632.228	2848.90	0.04	340.0	10.691
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:53:56	-928.371	-78.632.233	2847.70	0.17	340.0	10.692
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:54:36	-928.406	-78.632.206	2852.40	01.06	340.0	10.696
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:55:16	-928.387	-78.632.219	2847.40	0.41	340.0	10.694
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:55:56	-928.370	-78.632.223	2848.40	0.20	340.0	10.692
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:56:36	-928.367	-78.632.228	2848.80	0.15	340.0	10.691
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:57:16	-928.371	-78.632.234	2847.80	0.33	340.0	10.691
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:57:56	-928.370	-78.632.238	2847.30	0.06	340.0	10.691
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:58:36	-928.361	-78.632.240	2848.00	0.04	340.0	10.690
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:59:16	-928.372	-78.632.227	2849.70	0.17	340.0	10.692
UTC-01	On	4.20	-92	On	19/01/2026	8:59:56	-928.383	-78.632.223	2849.80	0.22	340.0	10.693

Datos Finales

Figura 52 Tramo del mensaje (Final)

Finalmente, al final del muestreo, a las 08:09:56 am, notó una mejora en la calidad de la señal, que se estabilizó en -93 dBm, con menos variación en los datos. Esto confirma que el sistema es confiable. La Figura 53 muestra cómo se dispersaron las coordenadas en el punto de prueba, lo que me ayudó a entender mejor el rendimiento del dispositivo en movimiento.



Figura 53 Precisión de los datos en “Google Maps”

Se elaboró una prueba de campo en la que se desplazó manualmente el emisor para validar la capacidad del sistema de actualizar la posición en tiempo real mientras estaba en movimiento. Al concluir el ensayo, se recopiló los datos de latitud y longitud registrados en la base de datos y luego graficarlos en la plataforma Google Maps, Esta representación visual ayudó a estudiar el camino recorrido y a confirmar que el GPS era preciso en la identificación de la ruta.

### 5.2.3 Distancia de Transmisión

Durante los ensayos de campo, como se observa en las Figuras 54, se ejecutaron pruebas de alcance para evaluar la distancia efectiva de transmisión del sistema LoRa bajo diferentes condiciones ambientales, donde los resultados evidenciaron que el rango de comunicación varió significativamente según el nivel de interferencia presente en el entorno, alcanzando una distancia máxima de 166 metros en escenarios completamente despejados sin obstáculos físicos; esta prueba se realizó empleando la antena compacta TTGO operando en la frecuencia de 915 MHz, la cual posee una sensibilidad del receptor de hasta -98 dBm, valores que aunque resultan funcionales para las evaluaciones preliminares del prototipo, se encuentran considerablemente por debajo del rendimiento esperado para módulos LoRa en condiciones óptimas, donde el estándar ideal contempla coberturas de entre 2 y 10 kilómetros en entornos favorables, tal como se documenta en las Figuras 54.



Figura 54 Distancia con antena pequeña TTGO/915 MHz “Con Obstáculo”

Gracias a estas optimizaciones implementadas, la cobertura geoespacial alcanzó una distancia de 360 metros, representando un incremento significativo en el alcance respecto al ensayo anterior realizado con la antena pequeña, esto debido a una mayor Potencia Radiada Aparente y al uso de frecuencias LoRa de 868 MHz; no obstante, a pesar de duplicar el rango de transmisión, la trayectoria de los marcadores confirma que factores ambientales reducen la cobertura efectiva entre un 20% y 30% debido a los reflejos urbanos, tal como se evidencia en la Figura 55 con la antena StarFive.



Figura 55 Distancia con antena grande StarFive “Con Obstáculo”

### 5.2.3.1 Distancia de Transmisión en Zona Rural

En este nuevo escenario de campo, se observará un incremento significativo en la distancia efectiva de transmisión del emisor, alcanzando los 356 metros, lo cual supera ampliamente el registro previo de 166 metros obtenido en condiciones sin obstáculos; Sin embargo, a pesar de esta mejora evidenciada en la trayectoria visualizada sobre la Vía Brazales, el rendimiento del sistema permanece considerablemente por debajo del estándar ideal del módulo LoRa, tal como se puede apreciar en la Figura 56, limitación técnica que persiste debido al uso de la antena compacta del TTGO que opera en la frecuencia de 915 MHz y cuenta con una sensibilidad del receptor de -106 dBm, valor que mide la capacidad de detectar señales débiles.

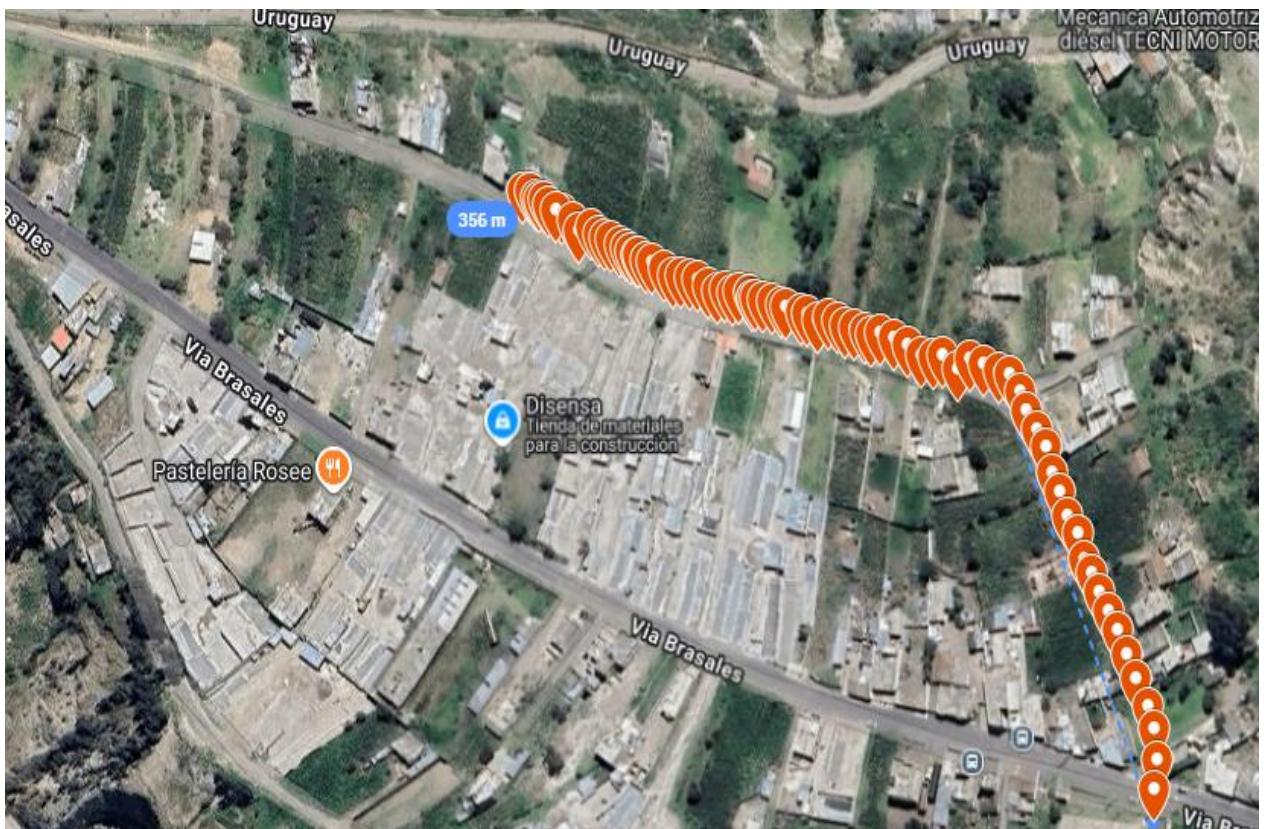


Figura 56 Distancia con antena pequeña TTGO/915 MHz “Sin Obstáculo”

Al integrar las optimizaciones implementadas mediante la antena StarFive operando en la frecuencia de 868 MHz, la cobertura geográfica del sistema experimentó una mejora considerable, alcanzando una distancia de 970 metros, como se observa en la Figura 57; este resultado no solo duplica, sino que casi triplica el alcance logrado en las pruebas iniciales realizadas con la antena pequeña del módulo TTGO, permitiendo una trayectoria significativamente más amplia a lo largo de la Vía Brazales en comparación con los 166 metros obtenidos anteriormente.

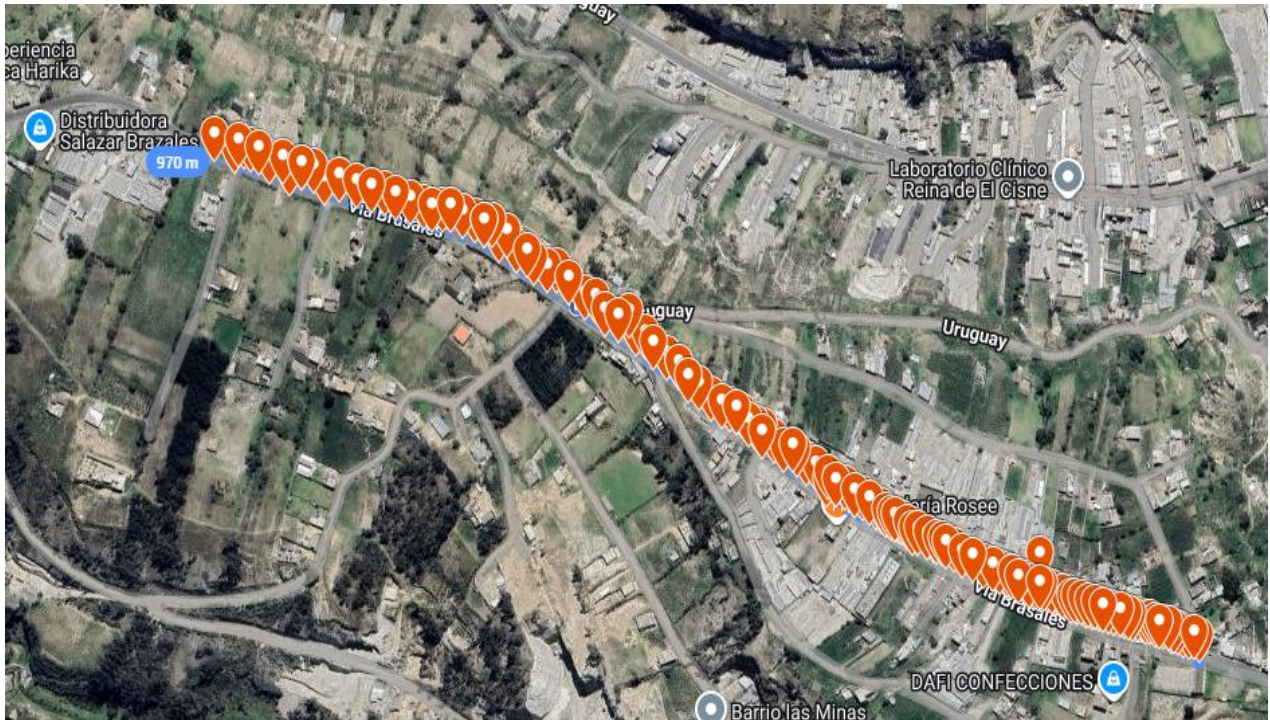


Figura 57 Distancia con antena grande StarFive “Sin Obstáculo”

#### 5.2.4 Tiempo de establecer los datos

El registro inicial del dispositivo UTC-01 a las 12:47:36 marca la fase de activación y conexión a la red con una alimentación de 4,02V, presentándose una ausencia de datos en la trama del mensaje; Sin embargo, el sistema desarrollado asegura la continuidad del monitoreo mediante una gestión inteligente de la energía, que integra un panel solar de 300 mA con dos baterías de litio de 7800 mAh cada una. Durante las pruebas, se comprobó que cuando el dispositivo se apaga por falta de carga, el flujo de datos se detiene automáticamente para proteger la integridad de la batería, registrando temporalmente valores nulos (N/A) en la base de datos.

Una vez que el panel solar recibe suficiente luz y comienza el proceso de carga, el módulo se enciende de forma autónoma y ejecuta una rutina de reconexión que restablece el enlace GPS, volviendo a reportar la ubicación en tiempo real sin necesidad de intervención manual, lo cual demuestra que el emisor puede recuperar su autonomía y continuar enviando datos de latitud y longitud de forma estable una vez que se reinicia el ciclo de carga. Este mecanismo de recuperación permite evaluar la resistencia del prototipo en situaciones cambiantes, evidenciando su capacidad para retomar el rastreo de manera automática en un período de 1 a 3 horas para la recuperación de los datos, tal como se ilustra en la Figura 58.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Extensiones Ayuda

Menús 100% Solo ver

77358

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tiempo de reconexión			
357	UTC-01	On	3.24	-101	On	01/02/2026	12:28:06	-928.555	-78.632.151	2908.10	1.30	340.0	10.714
358	UTC-01	On	3.24	-101	On	01/02/2026	12:28:46	-928.458	-78.632.175	2903.20	0.52	340.0	10.703
359	UTC-01	On	3.28	-101	On	01/02/2026	12:30:34	-928.476	-78.632.041	2903.30	1.65	339.9	10.710
360	UTC-01	On	3.23	-113	On	01/02/2026	12:31:16	-928.380	-78.632.199	2899.10	0.91	340.0	
361	N/A	Off	N/A	N/A	Off	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	UTC-01	On	04.09	-72	Off	01/02/2026	12:47:36	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	UTC-01	On	04.05	-72	Off	01/02/2026	12:48:18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
364	UTC-01	On	04.08	-72	Off	01/02/2026	12:48:58	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
365	UTC-01	On	4.12	-72	Off	01/02/2026	12:49:46	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
366	UTC-01	On	04.06	-72	Off	01/02/2026	12:50:28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
367	UTC-01	On	04.06	-72	Off	01/02/2026	12:51:08	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tiempo

Figura 58 Reconexión de los datos.

Este comportamiento se ilustra en la Figura 59, donde se muestra la reconexión y recuperación de los datos.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Tiempo de Conexión			
77566	UTC-01	On	3.31	-118	Off	01/02/2026	15:13:49	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
77567	UTC-01	On	3.37	-118	Off	01/02/2026	15:14:37	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
77568	UTC-01	On	3.31	-118	Off	01/02/2026	15:15:18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
77569	UTC-01	On	3.31	-118	Off	01/02/2026	15:15:58	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
77570	UTC-01	On	3.36	-118	Off	01/02/2026	15:16:46	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
77571	N/A	Off	N/A	N/A	Off	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
77572	UTC-01	On	3.31	-118	On	01/02/2026	15:18:08	-928.267	-78.632.178	2823.00	1.54	339.9	10.683
77573	UTC-01	On	3.35	-117	Off	01/02/2026	15:18:56	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
77574	UTC-01	On	3.31	-118	On	01/02/2026	15:19:38	-922.781	-78.630.303	2351.10	2.31	337.7	10.189
77575	UTC-01	On	3.28	-117	On	01/02/2026	15:20:18	-923.981	-78.630.620	2444.70	0.39	338.1	10.299
77576	UTC-01	On	3.33	-117	On	01/02/2026	15:21:06	-924.980	-78.630.869	2522.00	5.33	338.5	10.393
77577	UTC-01	On	3.31	-118	On	01/02/2026	15:21:48	-925.440	-78.631.079	2569.00	2.41	338.7	10.432
77578	UTC-01	On	3.32	-118	On	01/02/2026	15:22:28	-925.753	-78.631.293	2598.20	4.85	338.9	10.455

Figura 59 Conexión nuevamente de los datos

### 5.2.5 Pérdidas de datos

En la Figura 60 se observa que el dispositivo UTC-01 sufrió una pérdida temporal de datos el 24 de noviembre de 2025, evidenciada por valores "N/A" repetidos en la segunda mitad de la tabla, lo cual indica que no pudo enviar información en ese momento; la causa principal de esta interrupción radica en que, en espacios cerrados como habitaciones o edificios, las paredes gruesas o los muebles funcionan como barreras físicas que bloquean o debilitan las señales invisibles que el dispositivo utiliza para conectarse, fenómeno similar a las ondas de radio que afecta la conectividad de los teléfonos móviles.

Además, en estos espacios existe una mayor concentración de aparatos electrónicos

compitiendo por la misma conexión, lo cual genera interferencia y confusión en las señales, mientras que el propio dispositivo puede experimentar fallas adicionales por falta de ventilación adecuada o por niveles bajos de batería.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
996	N/A	Off	N/A	N/A	Off	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
997	UTC-01	On	3.26	-78	Off	24/11/2025	18:56:09	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
998	UTC-01	On	3.26	-80	Off	24/11/2025	18:56:49	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
999	UTC-01	On	4.19	-86	Off	24/11/2025	18:57:29	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1000	UTC-01	On	4.20	-81	Off	24/11/2025	18:58:09	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1001	UTC-01	On	4.20	-79	Off	24/11/2025	18:58:49	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1002	UTC-01	On	4.20	-76	Off	24/11/2025	18:59:29	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1003	UTC-01	On	4.20	-75	On	25/11/2025	19:00:09	-928.916	-78.630.689	2502.50	0.35	339.3	10.808
1004	UTC-01	On	4.20	-74	On	25/11/2025	19:00:49	-928.771	-78.631.241	2605.30	0.09	339.5	10.771
1005	UTC-01	On	4.20	-78	On	25/11/2025	19:01:29	-928.693	-78.631.513	2667.60	0.39	339.7	10.753
1006	UTC-01	On	4.20	-75	On	25/11/2025	19:02:09	-928.654	-78.631.655	2700.50	0.11	339.7	10.743
1007	UTC-01	On	4.20	-75	On	25/11/2025	19:02:49	-928.629	-78.632.294	2778.80	0.13	340.1	10.716
1008	UTC-01	On	4.20	-77	On	25/11/2025	19:03:29	-928.450	-78.632.262	2836.00	01.07	340.0	10.699

Figura 60 Cuando se genera una atenuación de la señal en espacios cerrados

## 5.2.6 Análisis de los valores de la Temperatura

En la Figura 61 se observa que el sensor mide la temperatura con alta precisión, registrándose estos valores en la columna N, donde las temperaturas varían en un rango muy constante desde 10,68 °C hasta 10,70 °C; los datos evidencian que el sensor toma lecturas cada 40 segundos con una resolución elevada, comenzando a las 09:03:01 del 24 de enero de 2026, lo cual le permite detectar cambios muy pequeños en la temperatura del orden de milésimas de grado que los sistemas convencionales no lograrían percibir.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
74677	UTC-01	On	3.24	-89	On	24/01/2026	9:03:01	-928.409	-78.632.210	2843.50	0.26	340.0	10.696
74678	UTC-01	On	3.24	-89	On	24/01/2026	9:03:41	-928.377	-78.632.225	2840.70	0.35	340.0	10.692
74679	UTC-01	On	3.24	-89	On	24/01/2026	9:04:21	-928.388	-78.632.222	2837.80	0.20	340.0	10.694
74680	UTC-01	On	3.24	-89	On	24/01/2026	9:05:01	-928.447	-78.632.211	2836.50	0.30	340.0	10.700
74681	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:05:41	-928.419	-78.632.225	2836.70	0.04	340.0	10.697
74682	UTC-01	On	3.24	-89	On	24/01/2026	9:06:21	-928.384	-78.632.234	2837.90	0.41	340.0	10.693
74683	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:07:01	-928.376	-78.632.224	2843.60	0.22	340.0	10.692
74684	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:07:41	-928.375	-78.632.209	2846.80	0.17	340.0	10.693
74685	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:08:21	-928.385	-78.632.206	2845.70	0.80	340.0	10.694
74686	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:09:01	-928.377	-78.632.228	2838.30	0.67	340.0	10.692
74687	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:09:41	-928.332	-78.632.233	2841.50	0.09	340.0	10.687
74688	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:10:21	-928.329	-78.632.249	2839.90	0.76	340.0	10.687
74689	UTC-01	On	3.23	-89	On	24/01/2026	9:11:01	-928.336	-78.632.241	2839.90	0.46	340.0	10.688

Figura 61 Datos obtenidos de la Temperatura

La evolución temporal de la temperatura, a cubrir un período de monitoreo continuo desde las 09:03:01 hasta las 10:59:01, lo cual equivale a casi dos horas de datos recopilados; a pesar de la alta frecuencia de muestreo, la línea de tendencia punteada indica un comportamiento prácticamente lineal con una pendiente mínima, manteniendo la temperatura en un rango promedio entre 10,68 °C y 10,70 °C. Sin embargo, el gráfico permite detectar eventos anómalos transitorios, como un pico notable de 10,74 °C registrado aproximadamente a las 10:55:01, desviación de 0,05 grados respecto al promedio que resulta detectable únicamente gracias a la elevada resolución temporal del sistema de monitoreo.

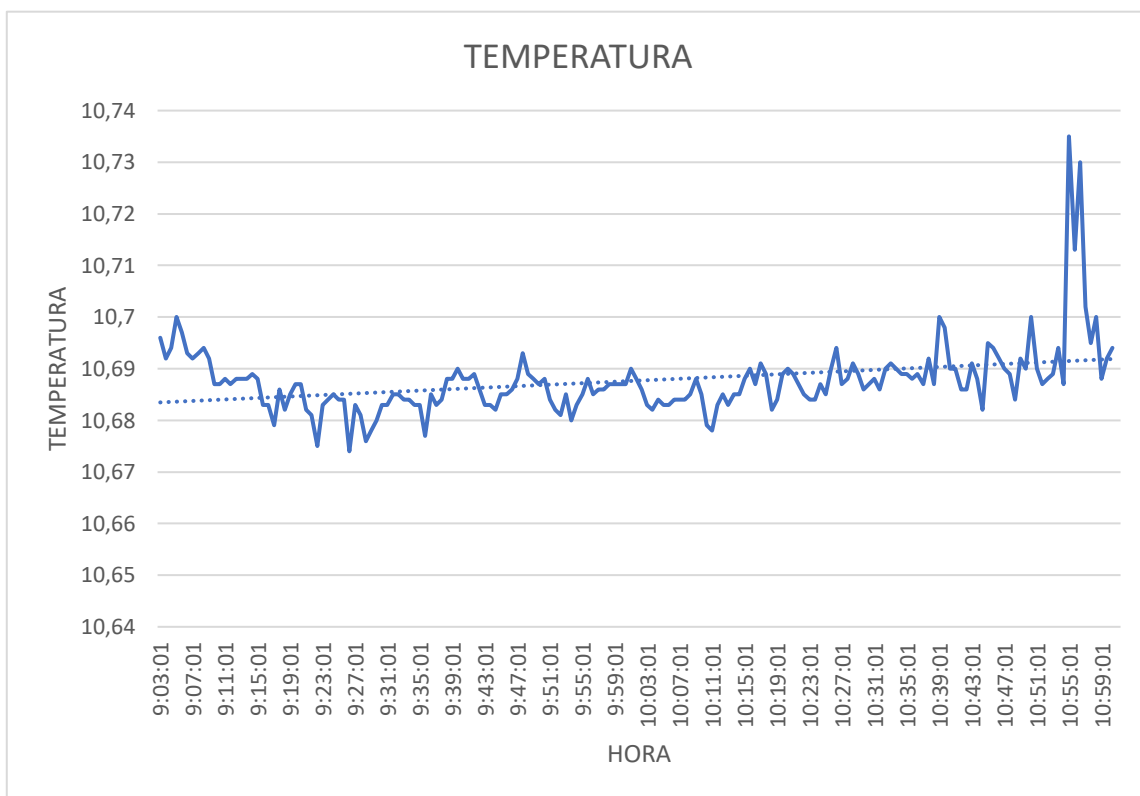


Figura 62 Gráfica de los datos obtenidos

La Figura 62 muestra el comportamiento térmico ambiental registrado el 24 de enero de 2026, reflejando un ciclo diurno natural típico. Este ciclo comienza con una temperatura mínima de 10.0 °C a las 06:00 y aumenta de forma constante hasta llegar a un máximo de 21.0 °C a las 15:00. Esta gráfica es importante para la tesis porque ofrece el contexto climático externo del entorno, destacando una amplitud térmica de 11 °C y variaciones bruscas durante la tarde, las cuales contrastan claramente con la estabilidad casi lineal observada en las mediciones del sensor local.

En resumen, mientras que los datos de la web meteorológica capturan la variabilidad propia del clima abierto de la zona, es relevante notar que las estaciones meteorológicas suelen reportar promedios cada 30 o 60 minutos, lo que puede suavizar las fluctuaciones rápidas y explicar las diferencias con las lecturas más detalladas del prototipo.

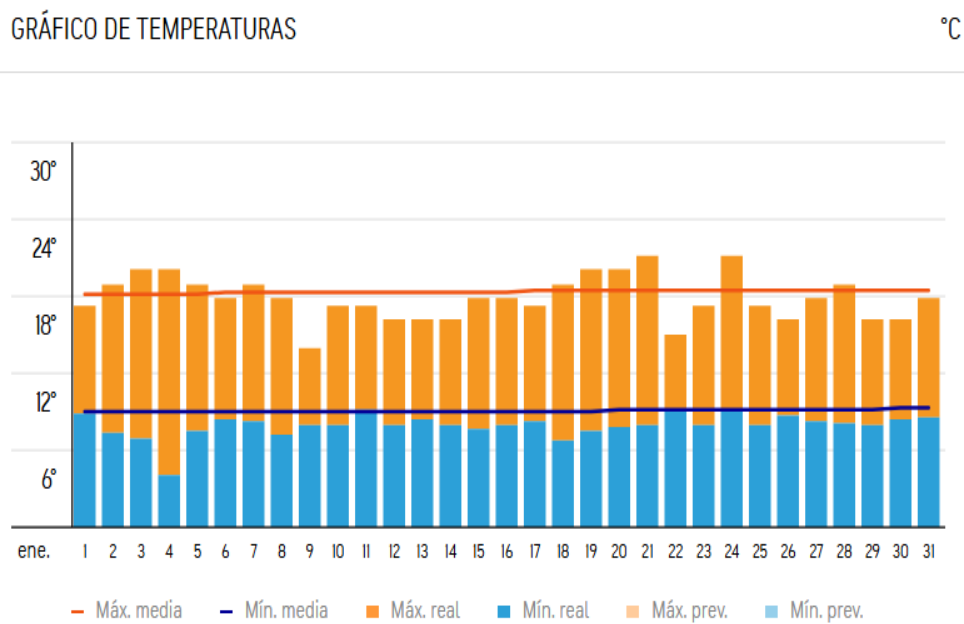


Figura 63 Grafica de los datos de la Web

Entre la Figura 62 y la Figura 63 demuestra que, mientras el clima ambiental del Aeropuerto Cotopaxi varía ampliamente en 11 °C, el prototipo local mantiene una estabilidad excepcional con fluctuaciones de apenas 0,02 °C capturadas cada 40 segundos. A pesar del desfase de 1,3 °C identificado a las 09:00 AM, la alta resolución del sensor permite registrar picos transitorios de 10,74 °C que las estaciones web ignoran al promediar sus datos por horas. Esto valida la capacidad del sistema para realizar auditorías térmicas granulares en tiempo real, detectando anomalías imperceptibles para equipos convencionales con baja frecuencia de actualización.

## 5.2.7 Prueba de consumo de batería

### 5.2.7.1 Consumo de Baterías en el Día

En la Figura 63, se analiza el comportamiento del sistema de alimentación mediante el registro de voltaje, lo que permite identificar dos etapas claras que confirman la eficiencia de la carga solar. Durante las primeras horas de la mañana, específicamente entre las 08:43 y las 12:10, la batería pasa por una fase de descarga gradual. En este período, el voltaje baja de manera controlada desde 3.27 V hasta 3.20 V, lo que refleja el consumo de energía del dispositivo sin

ningún soporte externo, como una fuente de alimentación adicional.

A partir de las 12:10, se produce un cambio importante hacia la fase de carga activa. Esto se nota por un aumento repentino en el voltaje, que llega a picos cercanos a 3.50 V. Las variaciones que siguen en la gráfica son típicas de cómo se regula la energía y cómo varía la radiación solar captada por el panel. Estos datos demuestran que el sistema puede recuperar su autonomía y mantener niveles de funcionamiento óptimos durante las horas de mayor exposición a la luz solar.

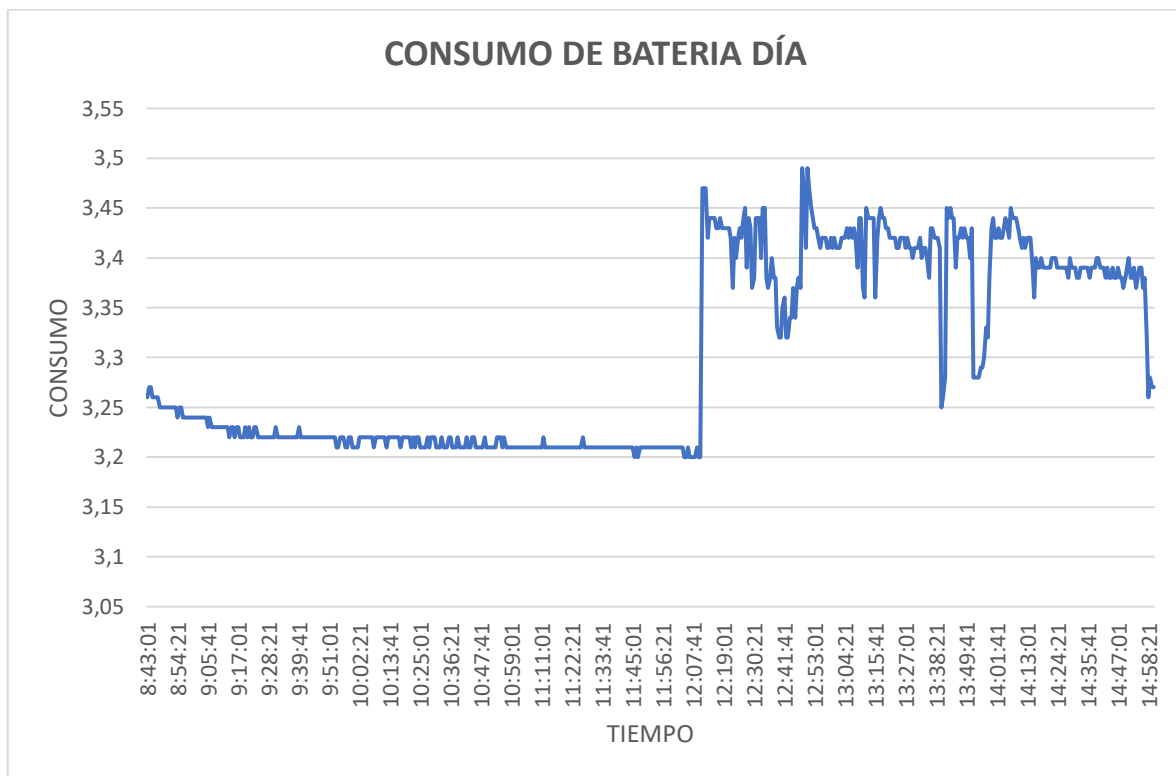


Figura 64 Consumo de Baterías en el Día

### 5.2.7.2 Consumo de Baterías en el Noche

Se observa en la Figura 64 que, durante la noche, el sistema muestra una clara optimización en el manejo de sus recursos, lo que se refleja en una disminución gradual de la tasa de consumo de la batería. Una vez que deja de captar energía solar, el dispositivo pasa a un modo de funcionamiento eficiente, donde el voltaje se mantiene estable en un rango estrecho entre 3.22 V y 3.26 V, evitando caídas repentinas que podrían dañar la batería. Este patrón indica que el hardware reduce activamente su necesidad de energía en ausencia de luz, resultando en una curva de descarga casi plana.

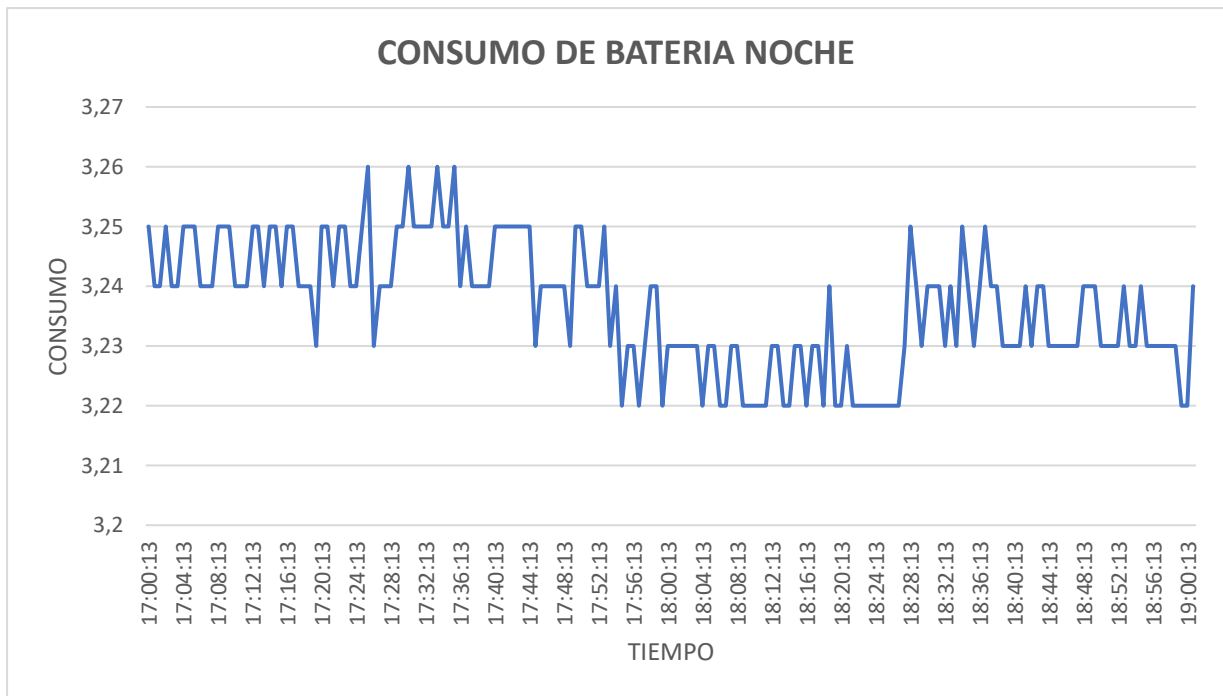


Figura 65 Consumo de Baterías en el Noche.

### 5.3 Análisis de costos

#### PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO

En esta sección se presenta el análisis de costos correspondiente al dispositivo de rastreo que se está realizando. A continuación, en la Tabla 10, se muestra los costos variables de los componentes, la cantidad adquirida, su valor unitario y su valor total por elemento.

Tabla 12 Presupuesto del proyecto

N°.	Descripción	Cantidad	Valor	Total
1	Módulos GPS NEO-6M	1	\$6	\$6
2	MóduloTP4056 entrada micro USB	1	\$2	\$2
3	Panel Solar 300mA	1	\$15	\$15
4	Batería Litio (7800mAh)	3	\$9	\$27
5	Módulo TTGO T-Beam v1.1	1	\$100	\$100
6	MicroSD de 8 GB	2	\$8	\$16
7	Sensor de Temperatura (DS18B20)	1	\$3.50	\$3.50
8	Módulo Lora32 TTGO 915MHZ	1	\$45	\$45
9	Diodos 1N4007	3	\$0.50	\$1.50
10	Potenciómetro de Precisión 10 k $\Omega$	1	\$1.00	\$1.00
10	Porta pilas de Litio	1	\$1.50	\$1.50
11	Carcasa para proteger "Emisor"	1	\$12	\$12
11	Carcasa para proteger "Receptor"	1	\$12	\$12
<b>TOTAL</b>				\$242.50

Tabla 12 Costos de mano de obra del proyecto

<b>MANO DE OBRA E INGENIERÍA</b>			
DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE HORAS INVERTIDAS	COSTO/HORA	COSTO TOTAL
Diseño PCB y 3D	20	\$3.00	\$60.00
Programación	40	\$3.00	\$120.00
Ensamble y Pruebas	20	\$3.00	\$60.00
<b>TOTAL, MANO DE OBRA</b>			\$240.00

Tabla 13 Costo total unitario del prototipo

<b>COSTO TOTAL UNITARIO</b>	\$482.50
-----------------------------	----------

Un análisis detallado del presupuesto para el prototipo que requiere una inversión total de 482.50 USD para asegurar la viabilidad técnica de un sistema de monitoreo autónomo, utilizando tecnología de bajo consumo y de largo alcance.

Cabe recalcar que este dispositivo no se realiza con fines de lucro ya que está destinado al rastreo de animales que pertenecen a zonas andinas en peligro de extinción. El beneficio que se quiere obtener es de carácter informativo y ecológico, ya que pasar por alto el control del comportamiento de estas especies tendría un alto impacto en el ecosistema en el que habitan y en un futuro podría tener repercusiones graves como enfermedades, sobre población o incluso la extinción de la propia especie.

Además, este dispositivo permite reducir los costos necesarios para realizar el seguimiento de las especies andinas ya que llevarlo a cabo de manera personal requiere muchos recursos como, por ejemplo, transporte, alimentación, equipos de protección, equipo nocturno y tiempo. Por otra parte, realizarlo de manera presencial afecta al ecosistema y el seguimiento nocturno resulta más complicado de ejecutar. Por esa razón es más eficiente y económico utilizar el dispositivo de rastreo.

#### **5.4 Comparación con dispositivos existentes**

A diferencia de los sistemas tradicionales que dependen de un modelo de suscripción, donde los usuarios pagan por servicios continuos como planes de datos o alquiler de frecuencias, el sistema propuesto adopta la tecnología LoRa. Esta tecnología permite establecer una red privada que funciona en la banda de 915 MHz, la cual está clasificada por la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) como frecuencia de uso libre, según la Resolución No. ARCOTEL-2025-0277.

Gracias a esto, se eliminan los costos asociados con el uso de frecuencias o los planes de datos mensuales, lo que hace que el sistema sea más económico y accesible. Esta aproximación no solo reduce los gastos operativos, sino que también fomenta la independencia tecnológica, permitiendo que el dispositivo opere de manera autónoma sin depender de proveedores externos, lo que contribuye a una mayor sostenibilidad y eficiencia en aplicaciones de

monitoreo remoto.

En Tabla 14 se detalla los valores estimados para un despliegue de una unidad de rastreo en un escenario de 12 meses de operación en zonas rurales.

Tabla 14 Unidades de rastreo

<b>Característica</b>	<b>Dispositivo Comercial</b>	<b>Dispositivo Propuesto</b>
<b>Modelo</b>	Collar North Star para rastreo de Fauna Filvestre	Rastreo animal LoRa + GPS
<b>Peso - Emisor</b>	575 g	700 g
<b>Objetivos</b>	Ovejas, antílopes y felinos pequeños	Zorro Andino
<b>Frecuencia</b>	1611.25 – 1618.75 MHz	915 MHz
<b>Duración batería</b>	3 años	10 h
<b>Tipo de dispositivo</b>	-	Autónomo
<b>Fabricante</b>	North Star	UTC-01
<b>Sistema de posicionamiento</b>	Sistema de satélites GlobalStar	GPS
<b>Variables registradas</b>	Ubicación	Ubicación
<b>Tipo de comunicación</b>	GlobalStar	LoRa (LPWAN)
<b>Precisión Posicional</b>	2.5 m	2.5 – 5 m
<b>Cobertura</b>	Global	1 km
<b>Memoria de datos</b>	Web <a href="http://www.sensorlink.biz">www.sensorlink.biz</a>	MicroSD
<b>Datos en tiempo real</b>	si	si
<b>Sensor de Mortalidad</b>	si	No tiene
<b>Sensor de temperatura</b>	No	Si
<b>Números de datos al día</b>	8	2160

<b>Precio del dispositivo</b>	\$ 800	\$ 482,50
<b>Suscripción mensual</b>	\$ 50	\$ 0
<b>Total, Anual</b>	\$1.400	\$ 482.50

El costo de fabricación para nuestro proyecto es de \$482.50, como se observa en la Tabla 14 el mismo que al compararlo con un dispositivo del mercado que cumple con características similares tiene un precio alrededor de \$1.400, en contraste con nuestro proyecto se tiene un precio notablemente menor al del mercado.

### **5.5 Análisis de indicadores económicos**

Considerando la optimización de los recursos financieros dentro de organizaciones académicas o de investigación, se hace necesario analizar diferentes alternativas de inversión cuando existen diferencias significativas de precio entre equipos que cumplen funciones similares. En este caso, se analiza la implementación del proyecto con un costo de \$482.50 frente a un equipo con un costo en el mercado de \$1.400 de un dispositivo de rastreo satelital. Con la finalidad de determinar el indicador económico más adecuado para evaluar la conveniencia financiera en la implementación del equipo experimental frente a uno de marca comercial, se debe considerar la eficiencia económica y la rentabilidad.

### **5.6 Relación costo-beneficio (RCB)**

La relación costo-beneficio permite comparar dos alternativas que generan resultados similares, identificando cuál opción maximiza el aprovechamiento de recursos, dando como resultado un ahorro generado o beneficio neto, en el presente caso:

$$\textit{Beneficio neto} = \textit{Costo Producto mercado} - \textit{Costo Producto alternativo}$$

$$\textit{Beneficio neto} = \$ 1.400 - \$ 482.50$$

$$\textit{Beneficio neto} = \$ 917.50$$

El beneficio neto del modelo experimental es de \$917.50. Si ambos dispositivos cumplen la misma función operativa y técnica, el beneficio es equivalente; por lo tanto, el análisis se centra en el costo.

$$RCB = \frac{\textit{Beneficio}}{\textit{Costos}} * 100\%$$

$$RCB = \frac{\$ 917.50}{\$ 1.400} * 100\%$$

$$RCB = 65.53\%$$

## 5.7 Ventajas Estratégicas del Sistema de Frecuencia Libre

Se destaca que la principal ventaja del diseño propuesto no se limita únicamente al ahorro económico, sino que radica en la autonomía de red que ofrece. La propuesta basada en tecnología LoRa resuelve este problema de manera efectiva a través de dos aspectos clave:

- **Sistemas Satelitales:** Aunque ofrecen cobertura global, requieren el pago de una suscripción mensual obligatoria y una cuota de activación. El costo por dispositivo supera los \$800, más una renta mensual que oscila entre \$50 por unidad, sin importar si el animal se encuentra en movimiento.
- **Propuesta:** Ofrece una cobertura amplia para la transmisión de datos y no requiere el pago de suscripciones mensuales para su funcionamiento. El costo estimado por cada dispositivo es de \$482.50, manteniéndose constante.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se llevó a cabo una investigación del estado del arte que permitió establecer una base teórica mediante el análisis de antecedentes y la recopilación de información técnica sobre los componentes electrónicos. Esta investigación evaluó tecnologías de comunicación de largo alcance, sistemas de posicionamiento global y fuentes de energía alternativas. De esta manera se demostró que la tecnología de sistemas de comunicación LoRa, son adecuadas para dispositivos de rastreo de largo alcance y bajo consumo energético.
- Se concluye que el alcance del sistema LoRa está directamente relacionado con la combinación del tipo de antena y el entorno de la prueba. Los resultados mostraron que la antena pequeña (TTGO/915 MHz) tuvo un rendimiento limitado de 166 metros en presencia de obstáculos. Sin embargo, al cambiar a la antena grande (StarFive/868 MHz), el rendimiento mejoró notablemente, casi triplicando la distancia hasta alcanzar los 970 metros en un área abierta. A pesar de esto, se comprobó que los obstáculos físicos son un factor crítico que puede reducir la cobertura entre un 20% y un 30%, limitando el alcance máximo a solo 360 metros en esas condiciones.
- El prototipo se mantiene en funcionamiento gracias al abastecimiento constante de energía proporcionado por un sistema híbrido fotovoltaico (panel solar y baterías). Además, el sistema está diseñado para recuperar su operación de forma completamente autónoma, en caso de que el dispositivo se apague por falta de energía, el módulo se reiniciará automáticamente y ejecutará el proceso de reconexión del GPS. Este proceso puede tardar entre 1 y 3 horas, garantizando así la continuidad operativa en sistemas remotos.
- Las pruebas de campo confirmaron que el dispositivo UTC-01 mediante un intervalo de muestreo de 40 segundos, estabilizando la señal en -93 dBm. La correlación de coordenadas en Google Maps validó que el sistema minimiza el error de latitud y longitud, permitiendo un rastreo en tiempo real confiable incluso durante desplazamientos manuales en terrenos irregulares.
- Finalmente, el prototipo desarrollado proporciono una solución tanto técnica como económica. Su costo de fabricación de \$482,50 lo convierte en una alternativa rentable que se ajusta a las necesidades del usuario.

## 7 RECOMENDACIONES

- Se sugiere mejorar el encapsulado del dispositivo utilizando materiales que sean resistentes a la humedad, al polvo, a los impactos y a las variaciones de temperatura.
- Se recomienda optimizar la autonomía del sistema mediante la implementación de baterías de mayor capacidad de 9800 mAh y paneles solares 500 mA con de mayor potencia, junto con un módulo de carga más eficiente, con el fin de extender el tiempo de operación del dispositivo y hacerlo viable para aplicaciones de monitoreo continuo en campo.
- Se sugiere ampliar las pruebas de campo en una variedad de escenarios geográficos y condiciones ambientales, así como en diferentes momentos del tiempo. La estabilidad de la comunicación y la autonomía energética, proporcionando datos valiosos para futuras mejoras del sistema.
- Para la ampliación del monitoreo a otras especies de menor tamaño, se recomienda reducir el tamaño del dispositivo con tecnología de diseño micro PCB adecuados para nuevas necesidades del usuario.

## 8 REFERENCIAS

- [1] D. G. Stewart, E. D. M. Mendes, K. Lee, M. E. Blum, L. O. Tedeschi, y S. L. Webb, “Comparison of GPS Collars and Solar-Powered GPS Ear Tags for Animal Movement Studies”, *Smart Agric. Technol.*, vol. 11, p. 101021, ago. 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.101021.
- [2] “Remote Recognition of Moving Behaviors for Captive Harbor Seals Using a Smart-Patch System via Bluetooth Communication | MDPI”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-666X/12/3/267>
- [3] “Evaluación multiespecífica del monitoreo digital de la vida silvestre mediante la red IoT de Sigfox | Biotelemetría Animal”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40317-023-00326-1>
- [4] R. Ross *et al.*, “WildTrack: An IoT System for Tracking Passive-RFID Microchipped Wildlife for Ecology Research”, *Automation*, vol. 3, núm. 3, pp. 426–438, ago. 2022, doi: 10.3390/automation3030022.
- [5] S. Nyamuryekung’e *et al.*, “Real-Time Monitoring of Grazing Cattle Using LORA-WAN Sensors to Improve Precision in Detecting Animal Welfare Implications via Daily Distance Walked Metrics”, *Animals*, vol. 13, núm. 16, ago. 2023, doi: 10.3390/ani13162641.
- [6] “Animal Health Monitoring Using Smart Wearable Device | Springer Nature Link”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-1410-4\\_41](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-1410-4_41)

- [7] “Un sistema de seguimiento por radio para animales salvajes en JSTOR”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/3797775?origin=crossref>
- [8] “Página no encontrada – Ministerio de Ambiente y Energía”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.ambienteenergia.gob.ec/11699/>-
- [9] G. C. Hays y L. A. Hawkes, “Satellite Tracking Sea Turtles: Opportunities and Challenges to Address Key Questions”, *Front. Mar. Sci.*, vol. 5, nov. 2018, doi: 10.3389/fmars.2018.00432.
- [10] “La evaluación de un collar GPS para ganado basado en un registrador de datos de código abierto informa las mejores prácticas para la intensidad del registro - McGranahan - 2018 - Ecología y evolución - Biblioteca en línea de Wiley”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.4094>
- [11] “(PDF) Un sistema avanzado de alerta de seguridad basado en Internet de las cosas para hogares inteligentes”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/319871364\\_An\\_advanced\\_Internet\\_of\\_Thing\\_based\\_Security\\_Alert\\_System\\_for\\_Smart\\_Home](https://www.researchgate.net/publication/319871364_An_advanced_Internet_of_Thing_based_Security_Alert_System_for_Smart_Home)
- [12] “Wildlife Radio Telemetry: Use, Effect and Ethical Consideration with Emphasis on Birds and Mammals | International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://gssrr.org/JournalOfBasicAndApplied/article/view/4119>
- [13] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, y M. Zorzi, “Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios”, *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 23, núm. 5, pp. 60–67, oct. 2016, doi: 10.1109/MWC.2016.7721743.
- [14] “Opciones de tecnología de rastreo de fauna silvestre y consideraciones de costo | Investigación de fauna silvestre | ConnectSci”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://connectsci.au/wr/article-abstract/38/8/653/40368/Wildlife-tracking-technology-options-and-cost?redirectedFrom=fulltext>
- [15] “Documentos Técnicos – Geoportal Ecuador”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.geoportalig.m.gob.ec/portal/index.php/descargas/documentos-tecnicos/>
- [16] “Proyección universal transversal de Mercator—Ayuda | ArcGIS for Desktop”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/universal-transverse-mercator.htm?utm>
- [17] “Celestial coordinates | Equatorial, Azimuthal & Altitude | Britannica”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/celestial-coordinates>
- [18] “Fig. 1. Trilateración. La distancia a tres balizas (nodos blancos)...”, ResearchGate. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/figure/Trilateracion-La-distancia-a-tres->


- [19] “Geodesia Astronómica.pdf”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2024-06/Geodesia%20Astron%C3%B3mica.pdf>
- [20] D. D. Constain Prado, “Cobertura y capacidad en redes 2G, 3G y 4G”, abr. 2019, Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/14691>
- [21] J. M. Sanchez, “Mobile revolution: From 2G to 5G”, en *2021 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*, may 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/COLCOM52710.2021.9486300.
- [22] J. Haxhibeqiri *et al.*, “A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application”, *Sensors*, vol. 18, núm. 11, nov. 2018, doi: 10.3390/s18113995.
- [23] Y. A. Al-Gumaei, N. Aslam, X. Chen, M. Raza, y R. I. Ansari, “Optimizing Power Allocation in LoRaWAN IoT Applications”, *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, núm. 5, pp. 3429–3442, mar. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3098477.
- [24] CONSTRUIBLE, “Despliegue de la red pública IoTIB de alta disponibilidad basada en tecnología LoRAWAN”, ESMARTCITY. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-despliegue-red-publica-iotib-alta-disponibilidad-basada-tecnologia-lorawan>
- [25] A. Lavric, A. I. Petrariu, y V. Popa, “SigFox Communication Protocol: The New Era of IoT?”, en *2019 International Conference on Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI)*, ago. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/ISSI47111.2019.9043727.
- [26] B. Vejlggaard, M. Lauridsen, H. Nguyen, I. Z. Kovacs, P. Mogensen, y M. Sorensen, “Coverage and Capacity Analysis of Sigfox, LoRa, GPRS, and NB-IoT”, en *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, jun. 2017, pp. 1–5. doi: 10.1109/VTCSpring.2017.8108666.
- [27] C. E. Fossa, R. A. Raines, G. H. Gunsch, y M. A. Temple, “An overview of the IRIDIUM (R) low Earth orbit (LEO) satellite system”, en *Proceedings of the IEEE 1998 National Aerospace and Electronics Conference. NAECON 1998. Celebrating 50 Years (Cat. No.98CH36185)*, jul. 1998, pp. 152–159. doi: 10.1109/NAECON.1998.710110.
- [28] S. R. Pratt, R. A. Raines, C. E. Fossa, y M. A. Temple, “An operational and performance overview of the IRIDIUM low earth orbit satellite system”, *IEEE Commun. Surv.*, vol. 2, núm. 2, pp. 2–10, 1999, doi: 10.1109/COMST.1999.5340513.
- [29] C. Gomez *et al.*, “On the Energy Performance of Iridium Satellite IoT Technology”, *Sensors*, vol. 21, núm. 21, oct. 2021, doi: 10.3390/s21217235.

- [30] G. C. Hays, C. J. A. Bradshaw, M. C. James, P. Lovell, y D. W. Sims, “Why do Argos satellite tags deployed on marine animals stop transmitting?”, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 349, núm. 1, pp. 52–60, sep. 2007, doi: 10.1016/j.jembe.2007.04.016.
- [31] B. T. McClintock, J. M. London, M. F. Cameron, y P. L. Boveng, “Modelling animal movement using the Argos satellite telemetry location error ellipse”, *Methods Ecol. Evol.*, vol. 6, núm. 3, pp. 266–277, mar. 2015, doi: 10.1111/2041-210X.12311.
- [32] M. V. Carrillo, “Introducción de Arduino”, *Vida Científica Bol. Científico Esc. Prep. No 4*, vol. 9, núm. 17, pp. 4–8, ene. 2021.
- [33] P. Bertoletti, *Proyectos con ESP32 y LoRa*. Editora NCB, 2019.
- [34] D. Rodríguez Martínez, “Implementación de una red de sensores geocalizados para la monitorización urbana”, nov. 2016, Consultado: el 15 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/73887>
- [35] Y. A. G. Villa, J. R. O. Castrillón, S. D. S. Zuluaga, N. M. Galeano, J. Lopez, y C. D. Z. Ríos, “Descripción detallada y análisis comparativo de técnicas para seguir el punto de máxima potencia en paneles solares usando OpenModelica”, *Cienc. En Desarro.*, vol. 15, núm. 1, pp. 84–96, feb. 2024, doi: 10.19053/01217488.v15.n1.2024.16465.
- [36] Á. G. Allauca Ayala y D. M. Espín Ortega, “Automatización de un sistema de riego y su monitoreo a través de una aplicación móvil, para el Centro Experimental La Playita”, ago. 2017, Consultado: el 15 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4643>
- [37] D. C. Abad Berru y R. D. Ganazhapa Guaman, “Diseño de un módulo de medición inteligente para la lectura del consumo de energía eléctrica mediante tecnología LORA en la fábrica de muebles Jessica.”, mar. 2021, Consultado: el 15 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8138>
- [38] J. F. Díaz Salazar y J. F. Rojas Masabanda, “Desarrollo de un dispositivo de rastreo para personas adultas mayores en una red IoT y Cloud”, bachelorThesis, 2021. Consultado: el 15 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20238>

# ANEXOS

## CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “Diseño de un dispositivo de rastreo de animales en zonas andinas del Ecuador mediante el empleo de tecnologías de comunicación de bajo consumo y largo alcance”, de Guerra Soria Jheimy Jhamilex y Santo Chiluisa Alexander Javier, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin con un porcentaje de coincidencias del 7% en similitud general y menor al 20% en IA; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

 turnitin Página 2 de 57 - Descripción general de integridad




### 7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

#### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

#### Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

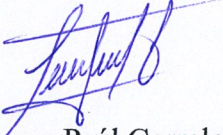
 turnitin Página 2 de 65 - Descripción general de la escritura con IA

### \*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, marzo de 2026



Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas, Mg.  
C.C.: 0502347768  
**TUTOR**



## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO DE ANIMALES EN ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR MEDIANTE EL EMPLEO DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO Y LARGO ALCANCE”** presentado por: Jheimy Jhamilex Guerra Soria y Alexander Javier Santo Chiluisa, egresados de la Carrera de: **Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 11 de marzo del 2026

Atentamente,

Vladimir Sandoval Vizúete Mgtr.

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0502104219



CENTRO  
DE IDIOMAS

## ANEXO 1

### Especies en peligro de extinción en la región andina



Figura 66 Oso Hormiguero Gigante de Occidente



Figura 67 Boa del Chocó



Figura 68 Rana cohete de Cuenca



Figura 69 Jambaco de Tres Cruces



Figura 70 Tapir Andino



Figura 71 Rana de Cristal Cantora



Figura 72 Oso de Anteojos



Figura 73 Cóndor Andino



a)



b)

Figura 74 Zorro andino

## ANEXOS 2

### PROGRAMACION ARDUINO

#### EMISOR

La inicialización de módulos, el sistema realiza lecturas GPS continuas hasta cumplir un intervalo de 40 segundos para capturar datos de temperatura. Luego, procesa la información generando un mensaje que se transmite vía LoRa y se almacena en la tarjeta SD.

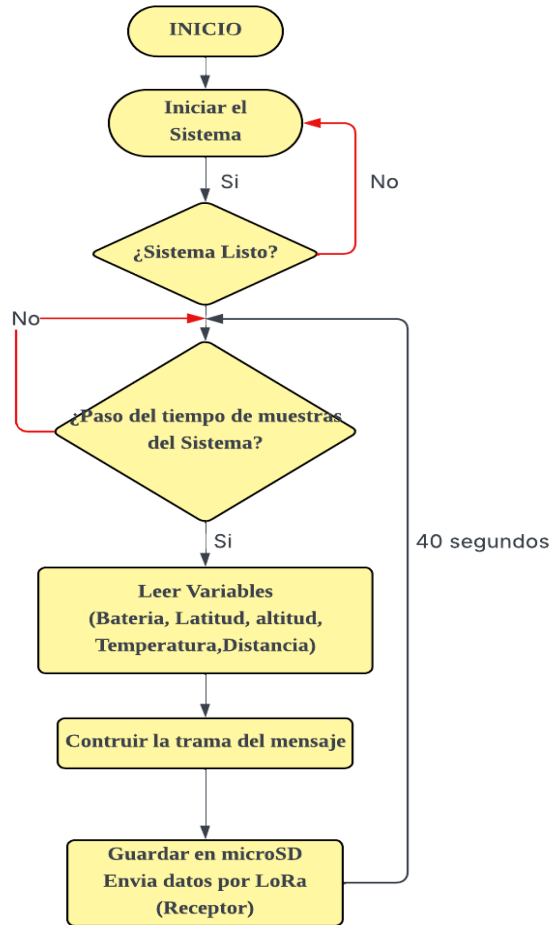


Figura 75 Algoritmo del Emisor

Finalmente, el ciclo se reinicia automáticamente para asegurar el monitoreo continuo y el registro de datos

## PROGRAMACION ARDUINO

### RECEPTOR

El sistema realiza lecturas GPS constantes y activa un temporizador de 40 segundos para capturar datos de temperatura. Luego, procesa la información en un mensaje que se transmite vía LoRa y se respalda en la tarjeta SD.

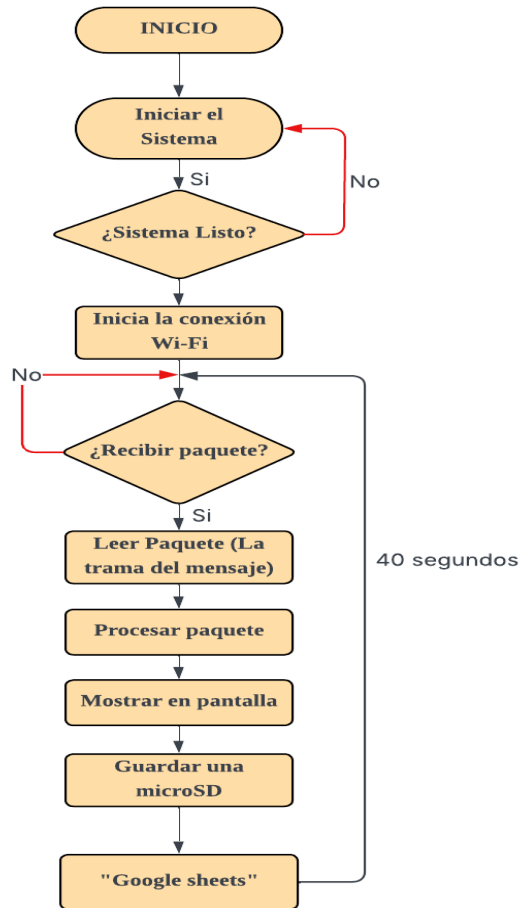





Figura 76 Algoritmo del Receptor

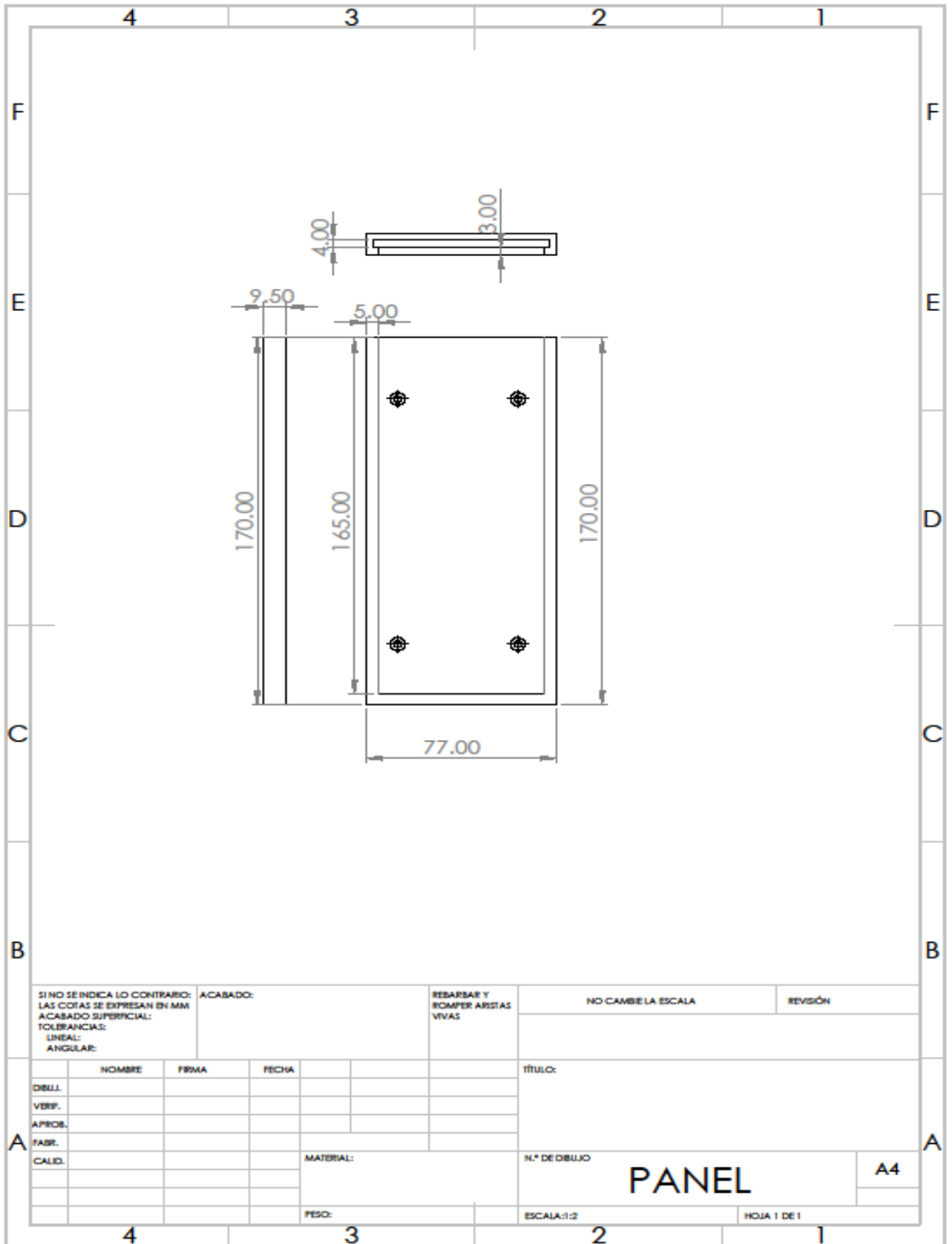
Finalmente, el ciclo se reinicia automáticamente para asegurar el monitoreo continuo y el registro de datos

## ANEXO 3

### TIPO DE MATERIAL PARA LA IMPRESIÓN EN 3D

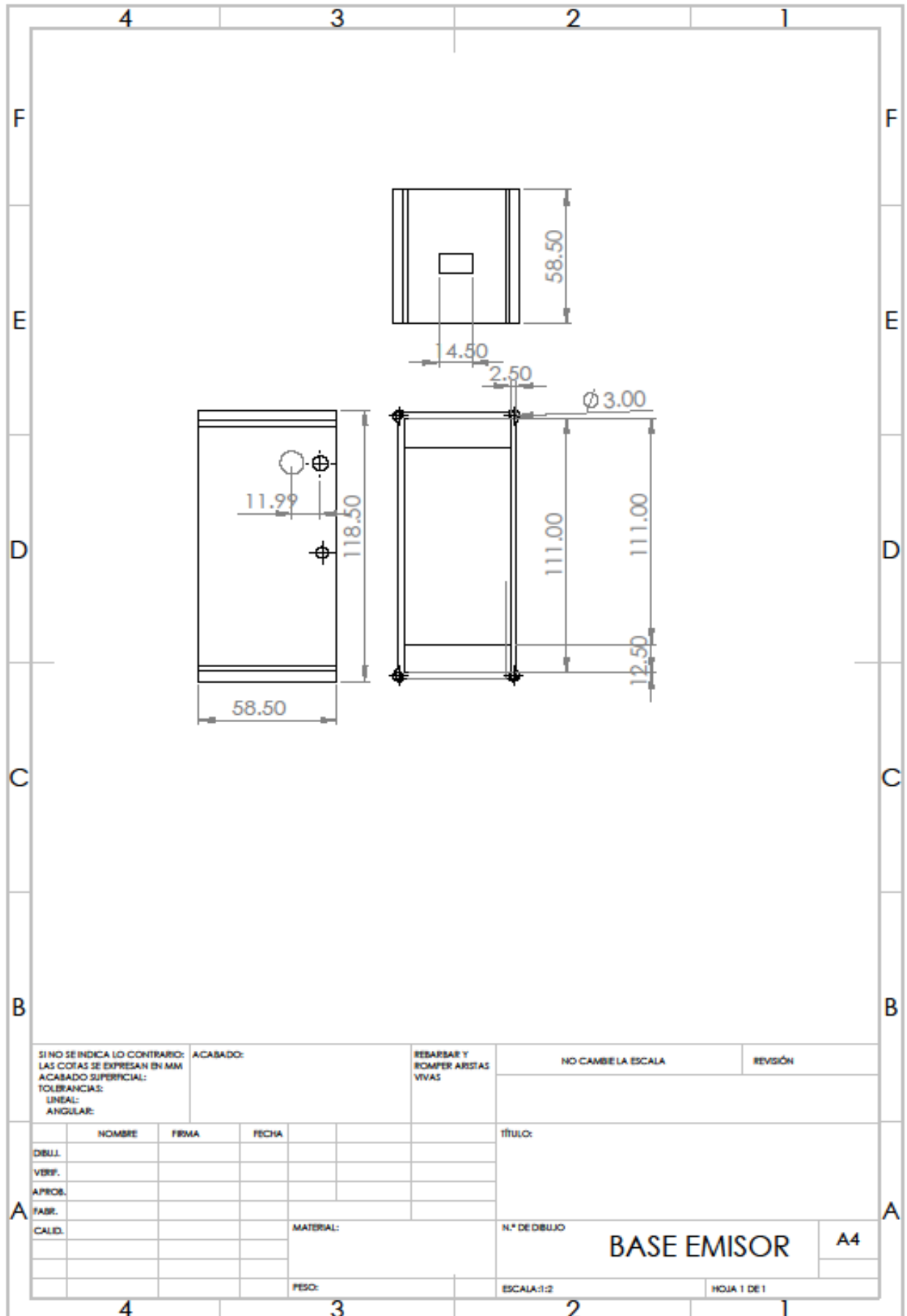
Nombre	Descripción	Características Principales
<p>PLA (Ácido Poliláctico)</p>	<p>Polímero termoplástico biodegradable procesado a partir de almidón de maíz o caña de azúcar.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sostenibilidad:</b> Material biodegradable y respetuoso con el medio ambiente.</li> <li>• <b>Facilidad de Uso:</b> Es muy sencillo de imprimir debido a su baja temperatura de fusión.</li> <li>• <b>Precisión:</b> Presenta una deformación térmica mínima, manteniendo dimensiones exactas.</li> </ul>
<p>ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)</p>	<p>Termoplástico derivado del petróleo, ampliamente utilizado en la industria por su robustez.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Resistencia:</b> Alta capacidad para soportar impactos y esfuerzos mecánicos.</li> <li>• <b>Durabilidad:</b> Posee una larga vida útil y gran tenacidad frente al desgaste.</li> <li>• <b>Post-procesado:</b> Permite acabados técnicos mediante lijado o tratamiento con químicos.</li> </ul>
<p>Grado de Protección</p>	<p>Estándar internacional que clasifica el nivel de eficacia del sellado de cajas eléctricas.</p> 	<p><b>Código IP65</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Primer dígito (protección contra intrusiones)</b> Primer dígito (6); Protección total contra el ingreso de polvo (hermético al polvo)</li> <li>- <b>Segundo dígito (protección contra la humedad)</b> Segundo dígito (5); Protección contra chorros de agua desde cualquier dirección.</li> </ul>
<p>Protección contra el movimiento</p>	<p>Diseño mecánico orientado a la fijación y resguardo del prototipo sobre el sujeto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Seguridad:</b> Evita daños en los componentes internos causados por la actividad del animal.</li> <li>• <b>Estabilidad:</b> Asegura que el dispositivo permanezca operativo pese a vibraciones o sacudidas.</li> </ul>

**ANEXO 4**  
**PLANO DE LA CARCASA**

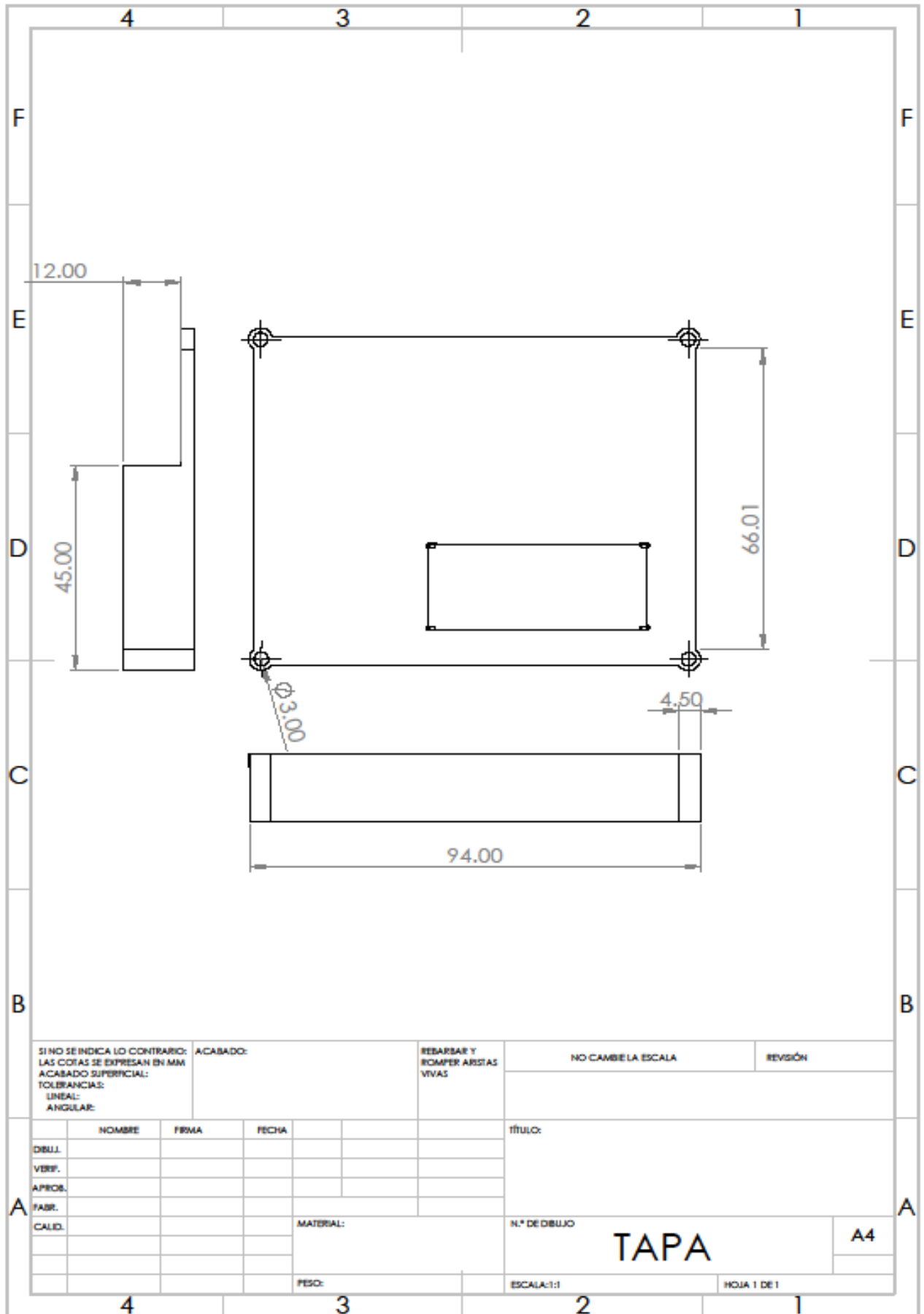


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROS.									
FABR.									
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
								PANEL	
						PESO:		ESCALA:1:2	
								HOJA 1 DE 1	

A4

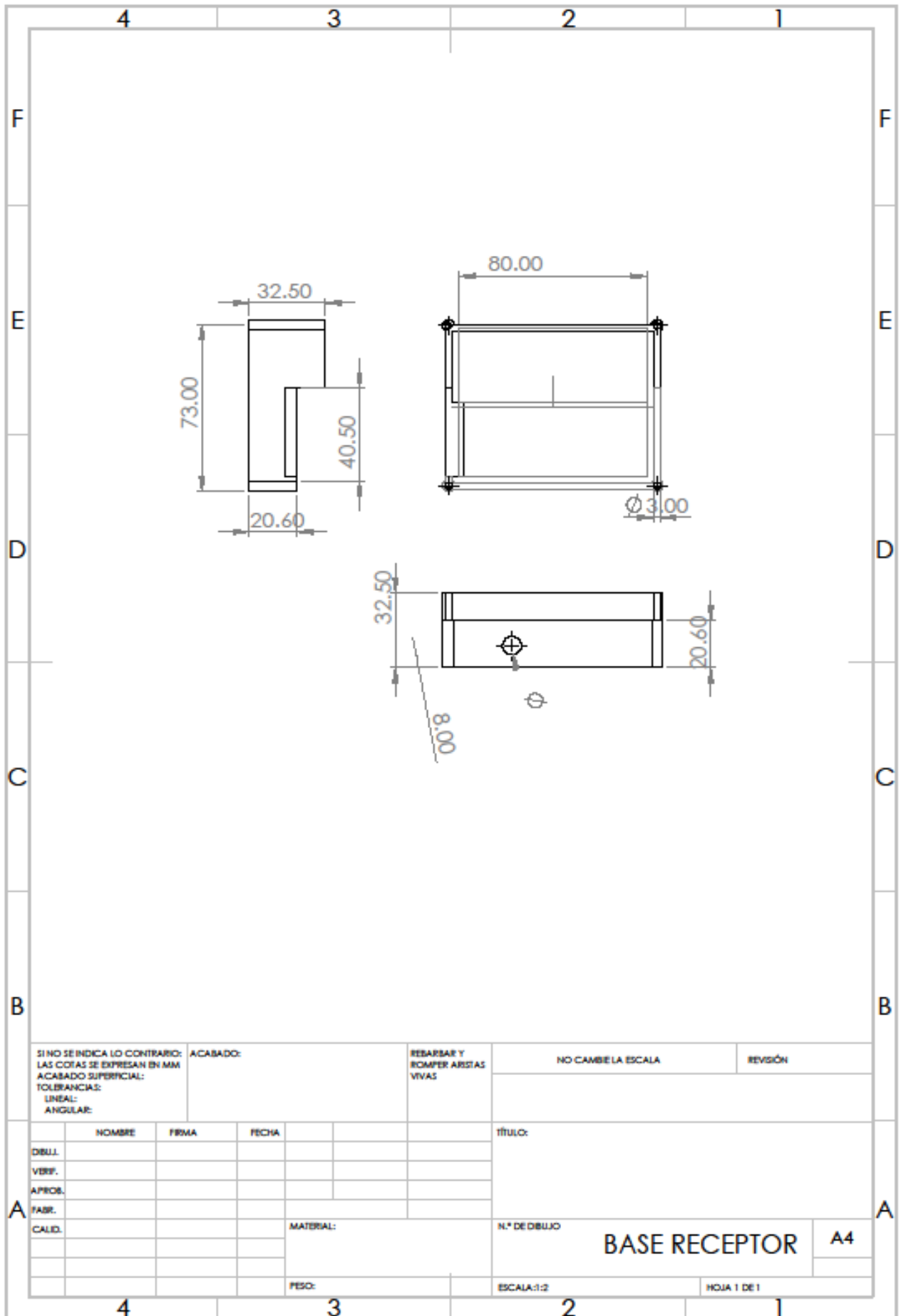


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN			
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:					
DIBUJ.		VERIF.		APROB.		N.º DE DIBUJO <b>BASE EMISOR</b>					
FABR.		MATERIAL:		ESCALA: 1:2						HOJA 1 DE 1	
CALID.		PESO:		A4							



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE			FECHA	TÍTULO:	
DELL.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
			PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

**TAPA**



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		VERIF.		APROB.		N.º DE DIBUJO <b>BASE RECEPTOR</b> A4			
FABR.		CALID.		MATERIAL:					
				PESO:					
						ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	

## ANEXO 5

### MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

#### 1. Introducción

El presente manual describe el funcionamiento, instalación, operación, mantenimiento y resolución de problemas del dispositivo de rastreo de animales diseñado para operar en zonas andinas del Ecuador. El sistema está destinado a monitorear ganado y fauna silvestre en áreas remotas, utilizando tecnologías de bajo consumo energético como el GPS para el posicionamiento y LoRa para la comunicación, además de ofrecer una autonomía prolongada gracias a los paneles solares.

#### 2. Descripción General del Dispositivo

##### 2.1 Función principal

El dispositivo permite rastrear y transmitir la ubicación del animal, así como también recopilar datos sobre el entorno, como la temperatura. Toda esta información se envía a una estación base para que pueda ser visualizada y analizada.

##### 2.2 Componentes principales

El sistema está conformado por los siguientes elementos:

- Módulo central: TTGO T-Beam
- Sistema de posicionamiento: Módulo GPS NEO-6M.
- Comunicación: Tecnología LoRa de largo alcance (915 MHz).
- Sensores: Sensor de temperatura DS18B20.
- Almacenamiento: Tarjeta MicroSD para respaldo de datos.
- Alimentación: Baterías de litio recargables ( $\approx 7800$  mAh).
- Energía renovable: Paneles solares con módulo de carga TP4056.
- Carcasa: Protección resistente a humedad, polvo y bajas temperaturas.

#### 3. Instalación y Configuración Inicial

##### 3.1 Ensamblaje del dispositivo

- 1) Conectar el módulo TTGO T-Beam al GPS NEO-6M.
- 2) Conectar el sensor de temperatura DS18B20 al pin GPIO 4.

- 3) Integrar el sistema LoRa32 para transmisión de datos.
- 4) Insertar la tarjeta MicroSD para almacenamiento local.
- 5) Conectar las baterías y los paneles solares al módulo TP4056.
- 6) Colocar todos los componentes dentro de la carcasa protectora y sellar.

### **3.2 Programación del sistema**

- Utilizar Arduino IDE o PlatformIO para cargar el firmware.
- Configurar:
  - Frecuencia LoRa: 915 MHz
  - Intervalo de transmisión: cada 40 segundos.
  - Parámetros GPS

### **3.3 Instalación en el animal**

- Fijar el dispositivo a un collar resistente y cómodo.
- Encender el sistema y calibrar el GPS en un área abierta.

## **4. Operación del Dispositivo**

### **Cómo encender y apagar**

El T-Beam es especial porque integra una gestión de energía avanzada (chip AXP192).

#### **Para Prender:**

- **Con Batería:** Mantén presionado el botón lateral pequeño (marcado como PWR o Power) por unos 2 o 3 segundos. Verás que los LEDs de la placa se encienden.
- **Con USB:** Al conectar el cable micro-USB, el módulo se encenderá automáticamente y comenzará a cargar la batería de litio.

#### **Para Apagar:**

- Mantén presionado el botón PWR durante unos 6 segundos continuos hasta que los

LEDs se apaguen.

- *Nota:* Si el panel solar está bajo el sol, el módulo podría intentar reiniciarse si el voltaje es suficiente.

### **Cambiar la Red Wi-Fi**

Como tu dispositivo usa LoRa, el Wi-Fi suele usarse solo para enviar los datos del "Gateway" a internet.

- **Código de programación :** Si no tiene portal, debes conectar el T-Beam a la PC, abrir el Arduino IDE y buscar estas líneas en el código:
- **const char\* ssid = "NOMBRE\_DE\_TU\_RED";**
- **const char\* password = "TU\_CONTRASEÑA";**

### **Cambiar la dirección de Google Sheets**

El T-Beam no envía datos a "Excel" directamente; usa un Google Apps Script como puente.

1. **Obtén el ID:** En tu hoja de Google Sheets, ve a *Extensiones > Apps Script*. Al publicar o desplegar el script, te darán un ID de implementación (una cadena larga de letras y números).
2. **Actualiza el módulo:**
  - Busca en tu código la variable: `String GOOGLE_SCRIPT_ID = "..."`.
  - Pega ahí tu nuevo ID.
  - Si el sistema tiene una pantalla OLED (típica en el T-Beam), asegúrate de que el envío confirme un "HTTP 200" o "Success", lo que indica que la dirección es correcta.

### **4. Operación de los Módulos (GPS y SD)**

- **GPS NEO-6M:** No necesitas hacer nada manual. Una vez encendido, el LED del módulo GPS empezará a parpadear cuando tenga "fijada" la posición (esto tarda de 30 segundos a 2 minutos a cielo abierto).
- **Tarjeta MicroSD:** Asegúrate de insertarla **antes** de prender el equipo. Si la sacas mientras el equipo está prendido, podrías corromper los datos del respaldo.
- **Sensor DS18B20:** El cable debe estar bien conectado. Si ves lecturas de  $-127^{\circ}\text{C}$ ,

significa que el sensor está desconectado o la resistencia de  $4.7k\Omega$  está suelta.

## **5. Mantenimiento y Reparaciones**

### **5.1 Mantenimiento preventivo**

Se recomienda realizar mantenimiento mensual:

- Inspeccionar la carcasa y reemplazarla si presenta grietas.
- Limpiar los paneles solares de polvo o suciedad.
- Verificar el estado de las baterías y reemplazarlas si su capacidad es menor al 50%.
- Actualizar el firmware cuando existan mejoras o correcciones.

### **5.2 Reparaciones comunes**

- Falla en transmisión: revisar antena y reiniciar el módulo LoRa.
- GPS sin señal: recalibrar en zona abierta o reemplazar el módulo GPS.
- Problemas de carga: inspeccionar el TP4056 o cambiar el panel solar.
- Sensor defectuoso: reemplazar el DS18B20 y calibrar con un termómetro de referencia.

## **6. Seguridad y Consideraciones Ambientales**

### **6.1 Seguridad**

- Evitar manipular el dispositivo durante tormentas eléctricas.
- No exponerlo a inmersión prolongada en agua.
- Manipular baterías con precaución.

### **6.2 Consideraciones ambientales**

- El dispositivo es no invasivo y no afecta el bienestar del animal.
- Utiliza materiales reciclables y energía solar.
- Las baterías deben desecharse conforme a la normativa ambiental ecuatoriana.

## ANEXO 6

### DATOS OBTENIDOS

Tabla 13 Pruebas de funcionamiento

CODIGO_ID	ENCENDIO	BATERIA	RSSI	GPS	FECHA	HORA	COOR X	COOR Y	ALTURA	VELOCIDAD	DISTANCIA	TEMPERATURA
UTC-01	On	3.25	-68	On	19/11/2025	19:52:08	-928.487	-78.632.175	2847.70	3.87	340.0	10.706
UTC-01	On	3.26	-66	On	19/11/2025	19:52:18	-928.490	-78.632.157	2852.40	1.54	340.0	10.707
UTC-01	On	3.25	-62	On	19/11/2025	19:52:28	-928.461	-78.632.207	2852.70	2.91	340.0	10.702
UTC-01	On	3.24	-66	On	19/11/2025	19:52:38	-928.474	-78.632.193	2852.70	0.63	340.0	10.704
UTC-01	On	3.26	-66	On	19/11/2025	19:52:48	-928.489	-78.632.189	2846.70	0.44	340.0	10.706
UTC-01	On	3.26	-88	On	19/11/2025	19:52:58	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.26	-96	On	19/11/2025	19:53:08	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-93	On	19/11/2025	19:53:18	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-115	On	19/11/2025	19:53:28	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.26	-86	On	19/11/2025	19:53:38	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-88	On	19/11/2025	19:53:48	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.24	-90	On	19/11/2025	19:53:58	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-92	On	19/11/2025	19:54:08	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-95	On	19/11/2025	19:54:18	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.26	-92	On	19/11/2025	19:54:28	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:54:38	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.26	-90	On	19/11/2025	19:54:48	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:54:58	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:55:08	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:55:18	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.24	-90	On	19/11/2025	19:55:28	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:55:38	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.24	-90	On	19/11/2025	19:55:48	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.24	-90	On	19/11/2025	19:55:58	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.25	-90	On	19/11/2025	19:56:08	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700
UTC-01	On	3.23	-90	On	19/11/2025	19:56:18	-928.441	-78.632.213	2847.70	3.48	340.0	10.700

En el siguiente enlace se presenta el almacenamiento de datos:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1XhnGCCce2Fvn4Eu-bvldD2N-PRch6RT0wxCJoQjl4yc/edit?gid=0#gid=0>

**ANEXO 7**  
**DATASHEET DE LOS COMPONENTES**  
**MÓDULOS GPS NEO-6M**

## 2 Pin Definition

### 2.1 Pin assignment

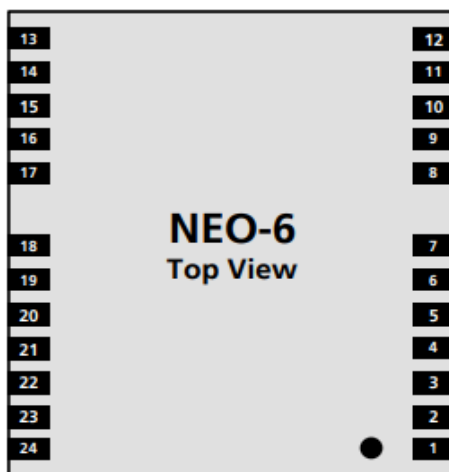
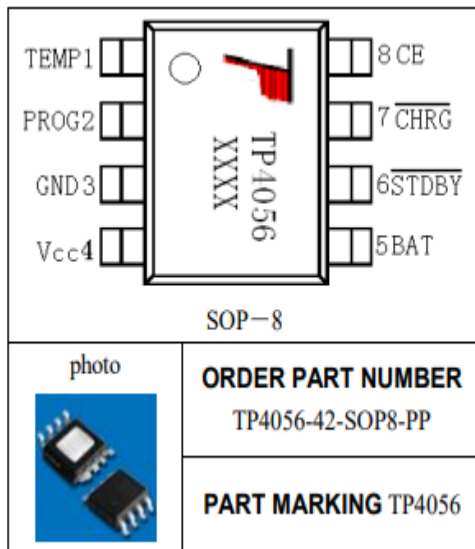


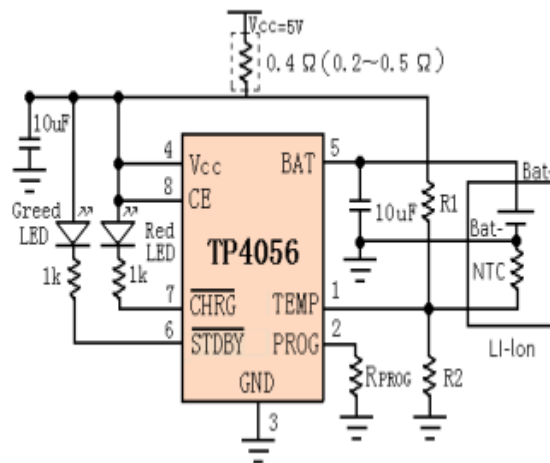
Figure 2 Pin Assignment

No	Module	Name	I/O	Description
1	All	Reserved	I	Reserved
2	All	SS_N	I	SPI Slave Select
3	All	TIMEPULSE	O	Timepulse (1PPS)
4	All	EXTINT0	I	External Interrupt Pin
5	All	USB_DM	I/O	USB Data
6	All	USB_DP	I/O	USB Data
7	All	VDDUSB	I	USB Supply
8	All	Reserved		See Hardware Integration Manual Pin 8 and 9 must be connected together.
9	All	VCC_RF	O	Output Voltage RF section Pin 8 and 9 must be connected together.
10	All	GND	I	Ground
11	All	RF_IN	I	GPS signal input
12	All	GND	I	Ground
13	All	GND	I	Ground
14	All	MOSI/CFG_COM0	O/I	SPI MOSI / Configuration Pin. Leave open if not used.
15	All	MISO/CFG_COM1	I	SPI MISO / Configuration Pin. Leave open if not used.
16	All	CFG_GPS0/SCK	I	Power Mode Configuration Pin / SPI Clock. Leave open if not used.
17	All	Reserved	I	Reserved
18	All	SDA2	I/O	DDC Data
19	All	SCL2	I/O	DDC Clock
20	All	TxD1	O	Serial Port 1
21	All	RxD1	I	Serial Port 1

## MÓDULO TP4056 ENTRADA MICRO USB



### TYPICAL APPLICATIONS

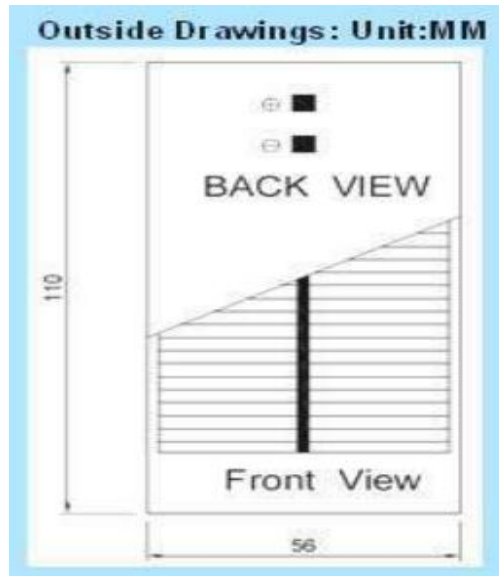


### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at  $T_A=25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC}=5\text{V}$ , unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{CC}$	Input Supply Voltage		● 4.0	5	8.0	V
$I_{CC}$	Input Supply Current	Charge Mode, $R_{PROG} = 1.2\text{k}$	●	150	500	$\mu\text{A}$
		Standby Mode (Charge Terminated)	●	55	100	$\mu\text{A}$
		Shutdown Mode ( $R_{PROG}$ Not Connected, $V_{CC} < V_{BAT}$ , or $V_{CC} < V_{UV}$ )	●	55	100	$\mu\text{A}$
$V_{FLOAL}$	Regulated Output (Float) Voltage	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$ , $I_{BAT}=40\text{mA}$	4.137	4.2	4.263	V
$I_{BAT}$	BAT Pin Current Text condition: $V_{BAT}=4.0\text{V}$	$R_{PROG} = 2.4\text{k}$ , Current Mode	● 450	500	550	mA
		$R_{PROG} = 1.2\text{k}$ , Current Mode	● 950	1000	1050	mA
		Standby Mode, $V_{BAT} = 4.2\text{V}$	● 0	-2.5	-6	$\mu\text{A}$
$I_{TRIKL}$	Trickle Charge Current	$V_{BAT} < V_{TRIKL}$ , $R_{PROG}=1.2\text{K}$	● 120	130	140	mA
$V_{TRIKL}$	Trickle Charge Threshold Voltage	$R_{PROG}=1.2\text{K}$ , $V_{BAT}$ Rising	2.8	2.9	3.0	V
$V_{TRHYS}$	Trickle Charge Hysteresis Voltage	$R_{PROG}=1.2\text{K}$	60	80	100	mV
$T_{LIM}$	Junction Temperature in Constant Temperature Mode			145		$^\circ\text{C}$

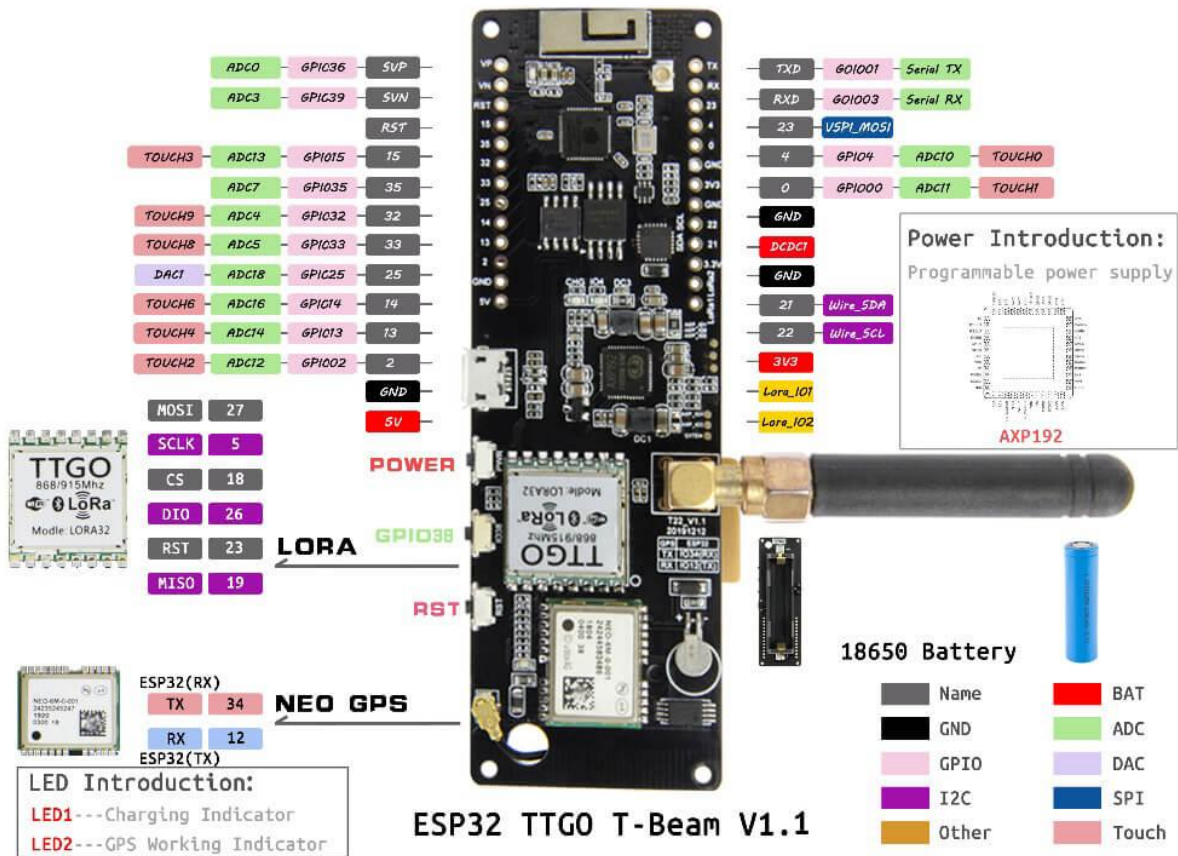
## PANEL SOLAR 200MA



<b>Categoría</b>	<b>Ítem</b>	<b>Valor / Datos Técnicos</b>
Identificación	Nombre del Producto	Módulo Solar de Resina Epoxi
	Código de Producto	CS7.1.130.11-S
	Modelo	EPSS07-3
Dimensiones	Ancho	96.00 mm
	Largo	150.00 mm
	Espesor	3.20 mm
	Peso	30.00 g
Características Eléctricas	Voltaje de circuito abierto Voc	5.50 V
	Voltaje de potencia máxima Vmp	5.00 V
	Corriente de potencia máxima Imp	300.00 mA
	Corriente de cortocircuito Isc	150.00 mA
	Potencia máxima (Pmax)	1.50 Watt
	Factor de llenado (FF)	75.00 %
	Eficiencia	15.50 %
Celda Solar	Tipo de celda	Silicio Policristalino Grado A
	Cantidad por módulo	1 pieza
	Garantía de la celda	25 años
	Encapsulado	Resina Epoxi
Conexión	Estándar	Conector
	Opcionales	Clips cocodrilo, Banana plug, Almohadillas de soldadura, Cables de conexión

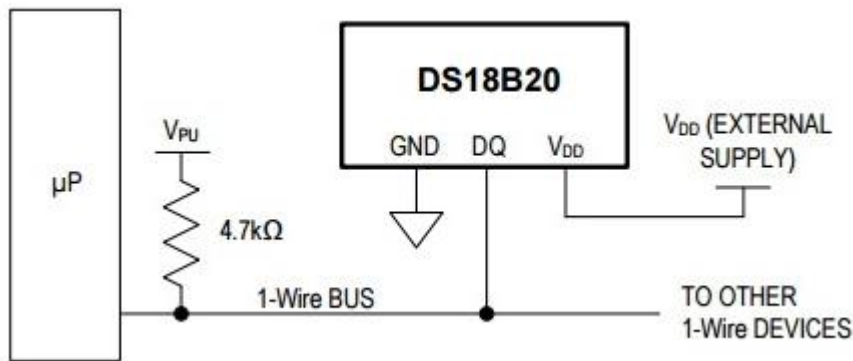
## MÓDULO TTGO T-BEAM V1.1

Name / Function	T-BEAM V1.1	T-BEAM V1.1 0.96 OLED	T-BEAM V1.1 Meshtastic	T-BEAM V1.1 M8N GNSS	T-BEAM V1.1 LoRa SX1262	T-BEAM V1.1 M8N + SX1262
Product Image						
Serial Chip	CH9102	CH9102	CH9102	CH9102	CH9102	CH9102
Default Firmware (optional)	SoftRF: ① 433Mhz ② 868Mhz ③ 915Mhz ④ 923Mhz	SoftRF: ① 433Mhz ② 868Mhz ③ 915Mhz ④ 923Mhz	Meshtastic ① 433Mhz ② 868Mhz ③ 915Mhz ④ 923Mhz	SoftRF: ① 433Mhz ② 868Mhz ③ 915Mhz ④ 923Mhz	SoftRF: ① 868Mhz ② 915Mhz	SoftRF: ① 868Mhz ② 915Mhz
GNSS Module	NEO-6M GPS Support GPS	NEO-6M GPS Support GPS	NEO-6M GPS Support GPS	NEO-M8N GNSS GPS, GLONASS, BeiDou protocols	NEO-6M GPS Support GPS	NEO-M8N GNSS GPS, GLONASS, BeiDou protocols
LoRa Module (Optional)	SX1278/SX1276	SX1278/SX1276	SX1278/SX1276	SX1278/SX1276	SX1262	SX1262
Antenna base type	SMA Holder	SMA Holder	SMA Holder	IPEX Holder	SMA Holder	IPEX Holder





## SENSOR DE TEMPERATURA (DS18B20)



### RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V <sub>DD</sub>	Local Power	3.0		5.5	V	1
Data Pin	DQ		-0.3		+5.5	V	1
Logic 1	V <sub>IH</sub>		2.2		V <sub>CC</sub> +0.3	V	1,2
Logic 0	V <sub>IL</sub>		-0.3		+0.8	V	1,3,7

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub>=3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Thermometer Error	t <sub>ERR</sub>	-10°C to +85°C			±½	°C	
		-55°C to +125°C			±2		
Input Logic High	V <sub>IH</sub>	Local Power	2.2		5.5	V	1,2
		Parasite Power	3.0			V	1,2
Input Logic Low	V <sub>IL</sub>		-0.3		+0.8	V	1,3,7
Sink Current	I <sub>L</sub>	V <sub>IO</sub> =0.4V	-4.0			mA	1
Standby Current	I <sub>DDs</sub>			750	1000	nA	6,8
Active Current	I <sub>DD</sub>			1	1.5	mA	4
DQ-Input Load Current	I <sub>DQ</sub>			5		µA	5

### AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: NV MEMORY

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub>=3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
NV Write Cycle Time	t <sub>wr</sub>			2	10	ms	
EEPROM Writes	N <sub>EEWR</sub>	-55°C to +55°C	50k			writes	
EEPROM Data Retention	t <sub>EEDR</sub>	-55°C to +55°C	10			years	

DS18B20

### AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: (-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub>=3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>	9 bit			93.75	ms	
		10 bit			187.5		
		11 bit			375		
		12 bit			750		
Time Slot	t <sub>SLOT</sub>		60		120	µs	
Recovery Time	t <sub>REC</sub>		1			µs	
Write 0 Low Time	t <sub>LOW0</sub>		60		120	µs	
Write 1 Low Time	t <sub>LOW1</sub>		1		15	µs	
Read Data Valid	t <sub>RDV</sub>				15	µs	
Reset Time High	t <sub>RSTH</sub>		480			µs	
Reset Time Low	t <sub>RSTL</sub>		480			µs	9
Presence Detect High	t <sub>PDHIGH</sub>		15		60	µs	
Presence Detect Low	t <sub>PDLOW</sub>		60		240	µs	
Capacitance	C <sub>IN/OUT</sub>				25	pF	

## MÓDULO LORA32 TTGO 915MHZ

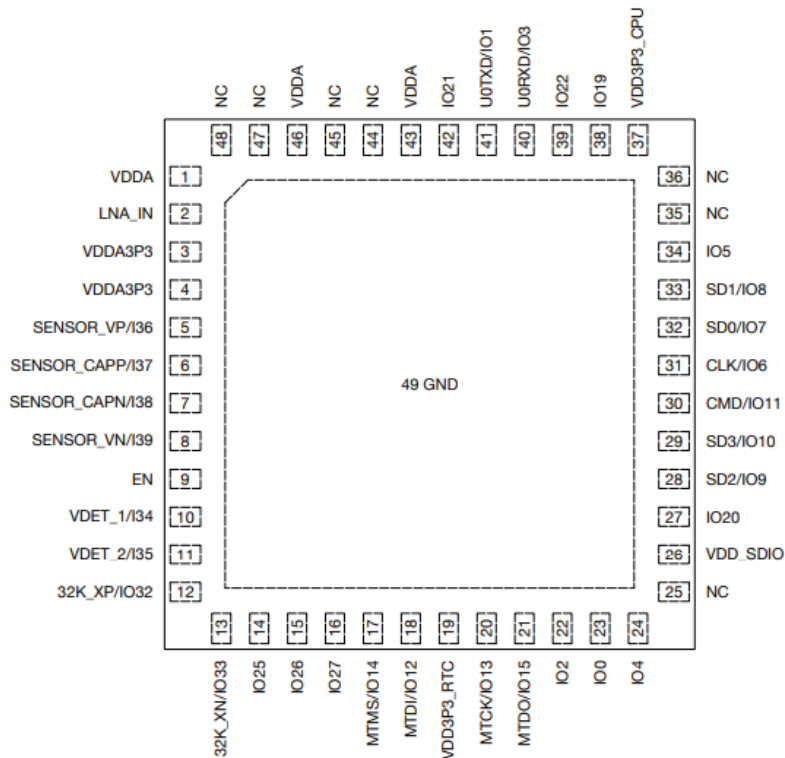
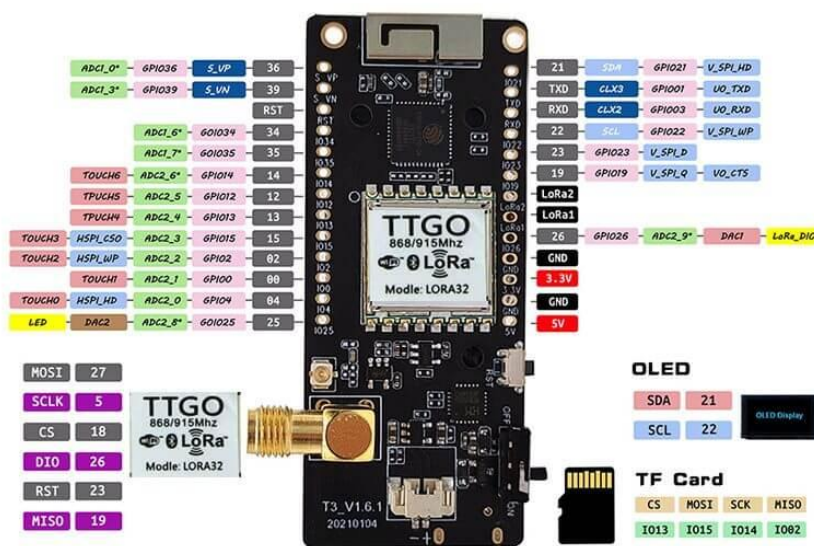


Figure 4: Pin Layout of ESP32-PICO-V3 and ESP32-PICO-V3-O2 (Top View)

Function Name	Description
GPIO $x$	General-purpose input and output ( $x$ is GPIO number). GPIO pins can be assigned various functions, including digital and analog functions. For more information, please refer to <a href="#">ESP32 Series Datasheet</a> > Appendix <i>IO_MUX</i> .
MTCK/MTDO/MTDI/MTMS	JTAG interface signals.
32K_XP/XN	32 KHz external clock input/output (connecting to ESP32-PICO's oscillator). P/N means differential clock positive/negative.
RTC_GPIO $x$	RTC domain GPIO function for low power management.
TOUCH $x$	Analog function for touch sensing.
ADC $x$ _CH $y$	Analog to digital conversion channel. $x$ is ADC number, $y$ is channel number.
DAC_ $x$	Digital to analog conversion module. $x$ is DAC number.
CLK_OUT $x$	Clock output for debugging. $x$ is clock number.
SPI*	Signals of SPI0/1 module. * is CLK, CS0, D (MOSI), Q (MISO), WP (write-protect), HD (hold).
HSPI*	Signals of SPI2 module. * is CLK, CS0, D, Q, WP, HD.
VSPI*	Signals of SPI3 module. * is CLK, CS0, D, Q, WP, HD.
U0*	Signals of UART0 module. * is CTS, RTS, RXD, TXD.
U1*	Signals of UART1 module. * is CTS, RTS, RXD, TXD.
U2*	Signals of UART2 module. * is CTS, RTS, RXD, TXD.
SD_*	Signals of SDIO slave. * is CLK, CMD, DATA0 ~ DATA3.
HS1_*	Port 1 signals of the SDIO host, * is CLK, CMD, STROBE, DATA0 ~ DATA7.
HS2_*	Port 2 signals of the SDIO host, * is CLK, CMD, DATA0 ~ DATA3.
NC	Not connected.

Pin No.	ESP32-PICO-D4	ESP32-PICO-V3	ESP32-PICO-V3-02
5, 6, 7, 8, 10, 11	Input-only and RTC GPIO	Input-only and RTC GPIO	Input-only and RTC GPIO
12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24	RTC GPIO	RTC GPIO	RTC GPIO
25	GPIO16, used for in-package flash	NC	NC
27	GPIO17, used for in-package flash	GPIO20, can be used freely	GPIO20, can be used freely
28	GPIO9, can be used freely	GPIO9, can be used freely	GPIO9, used for in-package PSRAM
29	GPIO10, can be used freely	GPIO10, can be used freely	GPIO10, used for in-package PSRAM
30	GPIO11, used for in-package flash	GPIO11, used for in-package flash	GPIO11, used for in-package flash
31	GPIO6, used for in-package flash	GPIO6, used for in-package flash	GPIO6, used for in-package flash
32	GPIO7, used for in-package flash	GPIO7, can be used freely	GPIO7, can be used freely
33	GPIO8, used for in-package flash	GPIO8, can be used freely	GPIO8, can be used freely
34, 38, 39, 42	GPIO, can be used freely	GPIO, can be used freely	GPIO, can be used freely
35	GPIO18, can be used freely	NC	NC
36	GPIO23, can be used freely	NC	NC
40	UORXD	UORXD	UORXD
41	UOTXD	UOTXD	UOTXD

## PINOUT TTGO LoRa32 915Mhz V1.6.1



## BATERÍA LITIO (2500MAH)

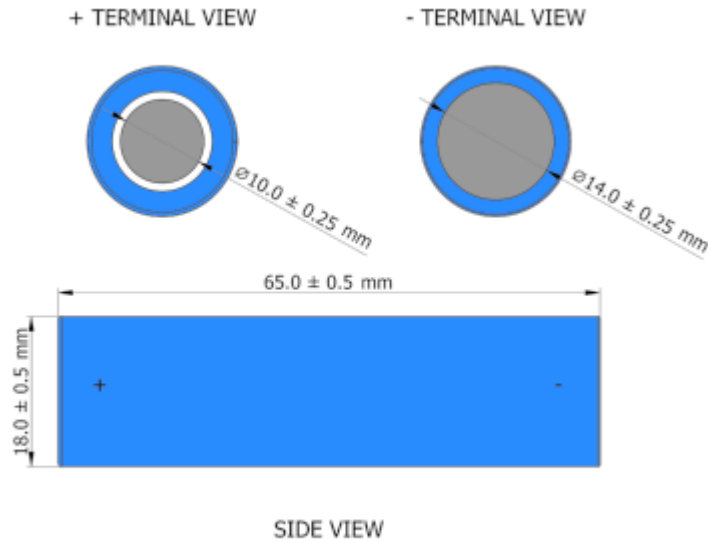


Figure 1: 2500mAh Battery Drawing & Dimensions

## 2. Battery Specifications

Table 1: Ratings

No.	Item	Specification	Unit	Notes
2.1	Normal Capacity	2500	mAh	0.2C <sub>5</sub> Discharge, 3.0V Cutoff
	Minimum Capacity	2450	mAh	
2.2	Nominal voltage	3.70	V	
2.3	Internal Impedance	≤60	mΩ	(with PCB)
2.4	Discharge Cut-off Voltage	2.75	V	
2.5	Charge Voltage	4.20±0.05	V	
2.6	End of Charge Current	25	mA	0.01C <sub>5</sub> , in CV mode
2.7	Standard Charge Current	500	mA	0.2C <sub>5</sub> , 0-45°C
2.8	Maximum Charge Current	1250	mA	0.5C <sub>5</sub> , 20-45°C
2.9	Standard Discharge Current	500	mA	0.2C <sub>5</sub> , 0-45°C
2.10	Maximum Discharge Current	2500	mA	1.0C <sub>5</sub> , 20-45°C
2.11	Maximum Instantaneous Discharge Current	5000	mA	2.0C <sub>5</sub> , 20-45°C
2.12	Weight	≈50	g	
2.13	Operating Temperature Charge	0 - +45	°C	
	Operating Temperature Discharge	-10 - +60	°C	
2.14	Storage Temperature (≤ 1 month)	-5 - +45	°C	
	Storage Temperature (≤ 6 months)	0 - +45	°C	
2.15	Standard Test Conditions			Temperature 23±2°C, Relative Humidity 65%±20%