

PROTOTIPO DE IDENTIFICACIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURA Y COMPORTAMIENTO ANIMAL
COMO APOYO PARA GESTIÓN DE DATOS DE SALUD EN SEMOVIENTES EN LA FINCA EL QUIRINAL
DEL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO – CUNDINAMARCA.

LAURA MARCELA SERRANO GARZÓN

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:

SERGIO ANDRES CHAPARRO MORENO

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
OCTUBRE, 2023

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: BÁSICAS - DIGITALES

PROTOTIPO DE IDENTIFICACIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURA Y COMPORTAMIENTO ANIMAL
COMO APOYO PARA GESTIÓN DE DATOS DE SALUD EN SEMOVIENTES EN LA FINCA EL QUIRINAL
DEL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO – CUNDINAMARCA.

LAURA MARCELA SERRANO GARZÓN

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
SERGIO ANDRES CHAPARRO MORENO

Página de Aprobación. Inclusión de Acta de grado.

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, “La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

DEDICATORIA

En memoria de aquellos que siempre vivirán en mi corazón:

A mi amado Camilo Acosta, mi eterno ejemplo de pasión y dedicación como ingeniero. Tu recuerdo sigue iluminando mi camino, inspirándome a alcanzar alturas que alguna vez solo soñamos juntos. Tu espíritu vive en cada logro que obtengo, recordando que los límites solo existen en la mente.

A mi querido abuelo, quien se adelantó en el camino antes de que pudiera cumplir mi promesa de llevarte a mi grado. Aunque no pudiste estar físicamente a mi lado, siento tu presencia en cada paso que doy. Has sido mi inspiración para persistir, recordando siempre tus palabras de aliento mientras avanzo hacia mis metas.

A mi entrañable abuela, cuyo amor y apoyo en mis primeros años de vida me han dado la base sólida sobre la que construyó mi éxito. Tus abrazos y sabias palabras siguen guiándome, brindándome la fuerza necesaria para enfrentar los desafíos. Eres el pilar de mujer que aspiro a ser, y cada logro es un tributo a tu legado.

A mi valiente madre, mi roca inquebrantable a lo largo de mi carrera. Ella ha sido mi fortaleza en los momentos más difíciles, la voz que me alienta a seguir adelante sin importar las adversidades. Tu amor incondicional y sacrificio son el motor que impulsa mis logros, y cada éxito es un testimonio de tu amor y orientación.

Hoy, en cada paso que doy, llevo conmigo los recuerdos y lecciones que cada uno de ellos me ha brindado. Su legado vive en cada logro, en cada obstáculo superado y en cada sueño alcanzado.

Con amor y gratitud eternos.

AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros Camilo Gutiérrez y Carlos Castillo, quienes fueron los primeros en encender en mí la chispa del amor por la programación. Gracias a su dedicación y pasión, obtuve mi primer título y descubrí la emoción de crear soluciones a través del código. Sus enseñanzas me han acompañado en cada paso y han sentado las bases de mi carrera.

Al ingeniero Jorge Oliveros, su paciencia y guía en los primeros pasos de mis proyectos fueron invaluable. Siempre estuvo a mi lado, ofreciendo sabios consejos y alentándome a perseverar incluso cuando los obstáculos parecían insuperables. Su apoyo incondicional me dio la confianza para seguir adelante.

Al ingeniero Fredy García, su constante motivación y aliento diario han sido un faro de luz en momentos de duda y fatiga. Gracias a su inspiración, he encontrado la fuerza para no desvanecer y para enfrentar cada desafío con determinación. Su compromiso con mi crecimiento ha sido un regalo invaluable.

A cada docente que creyó en mi potencial como ingeniera y me desafió a dar lo mejor de mí, les estoy profundamente agradecida. Cada vez que me empujaron más allá de mis límites, me demostraron que soy capaz de mucho más de lo que creía. Sus lecciones han forjado en mí una mentalidad resiliente y perseverante.

En este recorrido, he aprendido que el éxito no se construye solo, sino con el apoyo de aquellos que creen en nosotros.

RESUMEN

En este documento se presenta el desarrollo de un trabajo de grado que consiste en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo electrónico con el fin de optimizar el seguimiento y cuidado del ganado bovino. El objetivo central es el desarrollo de un prototipo de dispositivo ganadero que integre capacidades de identificación individual, supervisión de la temperatura y seguimiento del comportamiento de los animales, brindando un mayor control sobre el ganado en la finca El Quirinal.

Siguiendo la metodología del CDIO (concebir, diseñar, implementar, operar), se comenzó por la conceptualización de cada una de las tecnologías utilizadas en el proyecto. Esto incluye un módulo de GPS, cuyo funcionamiento y código DMSA se analizan detenidamente para asegurar su correcto desempeño. De igual manera, en el diseño del dispositivo se establece un margen de error de ± 0.5 grados en la medición de la temperatura, la cual se obtiene a partir de un sensor infrarrojo. Por otro lado, se garantiza un funcionamiento continuo del dispositivo durante más de 24 horas gracias a una batería de 3.7V. Lo anteriormente mencionado se complementa con una aplicación móvil que permite la visualización de los datos recopilados a lo largo de un período determinado, generando una base de datos para posteriores análisis.

Finalmente, se presenta la implementación del prototipo la cual abarca las pruebas y la verificación de su funcionamiento. Se llevan a cabo pruebas de manera satisfactoria desde diferentes ubicaciones geográficas con temperaturas ambientales variables para asegurar que el dispositivo opere con eficacia y encontrar algunos aspectos a mejorar para trabajos futuros. Los resultados obtenidos demuestran que es posible ofrecer una solución para el monitoreo y cuidado del ganado, beneficiando tanto a los ganaderos como a los animales, a través de tecnología de vanguardia.

Palabras Clave: Sensores, Base de datos, Aplicación móvil, Monitoreo electrónico.

ABSTRACT

This document presents the development of a thesis project, which involves the design and implementation of an electronic monitoring system to optimize the tracking and care of cattle. The main objective is to create a prototype livestock device that combines individual identification, temperature monitoring, and animal behavior tracking, providing better control over the cattle at El Quirinal farm.

Following the CDIO methodology (Conceive, Design, Implement, Operate), the project begins with the conceptualization of each technology used. This includes a GPS module, whose operation and DMSA code are carefully analyzed to ensure proper performance. Similarly, the device design specifies a temperature measurement margin of ± 0.5 degrees, obtained from an infrared sensor. Continuous device operation for over 24 hours is ensured with a 3.7V battery. The mentioned components are complemented by a mobile application for visualizing the collected data over a specified period, generating a database for future analysis.

Finally, the implementation of the prototype, including testing and verification, is presented. Satisfactory tests are conducted from different geographical locations with varying ambient temperatures to ensure the device operates effectively and to identify areas for improvement in future work. The results obtained demonstrate the feasibility of offering a solution for cattle monitoring and care, benefiting both ranchers and animals through cutting-edge technology.

Keywords: Sensors, Data, App, Electronic monitoring.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Celo o estro: Período de actividad sexual y receptividad de una hembra en la mayoría de los mamíferos.

Coordenadas DMS: Forma de representar ubicaciones geográficas utilizando grados, minutos, segundos y decimales de segundo.

Desnaturalización: Proceso en el cual una proteína o ácido nucleico, como el ADN o el ARN, pierden su estructura tridimensional y, en consecuencia, su función biológica debido al aumento de temperatura.

Estrés térmico: Condición en la que los animales experimentan un desequilibrio entre su capacidad para regular su temperatura corporal.

Efecto Seebeck: Fenómeno termoelectrónico en el que una diferencia de temperatura en una unión de dos materiales distintos genera una diferencia de potencial eléctrico, lo que resulta en la generación de una corriente eléctrica.

Geolocalización: Se refiere a la tecnología y el proceso de determinar o estimar la ubicación exacta o aproximada de un dispositivo, objeto o individuo en la tierra.

Memoria flash: Dispositivo de almacenamiento de datos no volátil, el cual permite captar y retener datos sin necesidad de estar conectado a una fuente de energía.

Semoviente: Se refiere a un ser vivo que puede moverse por sí mismo, generalmente se utiliza para describir animales de granja, como ganado, caballos, ovejas, cerdos, entre otros.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADC: Convertidor analógico a digital.

AGPS: Sistema de posicionamiento global asistido.

BLE: Bluetooth de baja energía.

BOM: Lista de materiales.

DSP: Procesamiento digital de señales.

GPS: Sistema de posicionamiento global.

PWM:Modulación de ancho de pulso.

SMBus: System Management Bus.

SoC: System on Chip.

RTD: Detector de Temperatura de Resistencia.

TIC: Tecnologías de la información y la comunicación.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. Antecedentes y Estado del Arte	17
1.1.1. Nivel Internacional	17
1.1.2. Nivel Nacional	19
1.2. Descripción y Formulación del Problema	19
1.3. Justificación	21
1.4. Objetivos	22
1.4.1. Objetivo General	22
1.4.2. Objetivos Específicos	22
1.5. Alcance y Limitaciones del Proyecto	23
2. MARCO DE REFERENCIA	24
2.1. Marco Teórico o Conceptual	24
2.2. Marco Legal o Normativo	32
3. DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO	34
3.1. Requerimientos	34
3.2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	35
3.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PRODUCTO	43
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
5. CONCLUSIONES	52
6. RECOMENDACIONES	54
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Emisividad en diferentes especies	29
Tabla 2. Variación de temperatura en semovientes	30
Tabla 3. Comparación termómetros	36
Tabla 4. Pruebas de funcionamiento con batería	50
Tabla 5. Listado de componentes	65

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Esquema de aplicaciones típicos del MLX90614	36
Figura 2. Placa de desarrollo EPS32-Wrover-Tigo	39
Figura 3. Conexión de la placa de desarrollo en tarjeta	39
Figura 4. Conexión del GPS a la placa y tarjeta	40
Figura 5. Diagrama de funcionamiento del aplicativo móvil	41
Figura 6. Diseño de placa	42
Figura 7. Diseño de case para prototipo	43
Figura 8. Diagrama de bloques	43
Figura 9. Diagrama de bloques con componentes específicos	44
Figura 10. Máquina de estados	46
Figura 11. Prueba de funcionamiento de aplicativos móvil	47
Figura 12. Prototipo físico (Módulo GPS)	48
Figura 13. Prototipo físico (Modulo Bluetooth y sensor de temperatura)	48
Figura 14. Voltaje y corriente en adquisición de datos	49
Figura 15. Voltaje y corriente en reposo	49
Figura 16. Métricas de temperatura	50
Figura 17. Adquisición de datos en la aplicación	51
Figura 18. Comprobación de coordenadas dadas por el dispositivo	52

Figura 19. Planos de conexión del circuito	58
Figura 20. Visualización de placa desde arriba	59
Figura 21. Visualización de placa de lado	59
Figura 22. Visualización de placa desde abajo	60
Figura 23. Visualización de placa desde abajo y lateral	60
Figura 24. Planos de case	61
Figura 25. Plano de case y tapa	62
Figura 26. Planos de case con dimensiones	63
Figura 27. Planos de tapa de case	64
Figura 28. Certificado de participación concurso Hull Prize	72
Figura 29. Participación congreso EIEI ACOFI 2021	73

INTRODUCCIÓN

El impacto de las temperaturas extremas en el ganado es significativo. Temperaturas que exceden el umbral máximo pueden resultar en enfermedades y mortalidad en el hato, mientras que temperaturas muy bajas pueden modificar drásticamente el comportamiento y las pautas alimenticias de los animales.

La temperatura corporal normal de un bovino adulto, oscila entre 37.8°C y 40°C y es un factor crucial para su bienestar y productividad. Si los tejidos de un animal se enfrían de manera excesiva, su metabolismo puede disminuir de manera drástica, aumentando el riesgo de desnaturalización de proteínas y daño tisular irreversible. Además, cambios bruscos o frecuentes en las temperaturas pueden provocar estrés en los animales, lo que puede ser exacerbado por otros factores adversos a los que puedan estar expuestos [1].

Es importante destacar que, en el caso de los bovinos, la temperatura corporal disminuye a medida que aumenta la edad del animal. Esta variación térmica se utiliza como un indicador para detectar el estro o celo, además de proporcionar beneficios en términos de monitoreo de salud independiente de factores externos como la posición o velocidad del animal [2]. La vida productiva y útil de una vaca depende de su capacidad para mantener una buena salud en general, evitar problemas reproductivos y convertir eficientemente el alimento en leche.

El monitoreo constante de la salud y el bienestar animal es crucial tanto para los médicos veterinarios como para los ganaderos. Esto garantiza una mejora sustancial en la rentabilidad del productor y el rendimiento general del ganado. Todo este control se basa en parámetros fisiológicos que deben ser precisamente conocidos y monitoreados de manera continua para detectar signos anormales o peligrosos [3]. Al hacerlo, se posibilita la implementación rápida de tratamientos, minimizando pérdidas y asegurando una pronta recuperación.

Los avances tecnológicos han traído una revolución a la industria ganadera, ofreciendo una serie de ventajas que no solo aumentan la productividad sino que también alivian la carga laboral. A lo largo del tiempo, la automatización en la ganadería ha experimentado un notable crecimiento, desde la introducción de maquinaria para el ordeño hasta la implementación de sistemas de control basados en GPS y sensores médicos altamente avanzados.

Por otro lado, la convergencia de tecnología y ganadería no solo está transformando el sector, sino que también está mejorando de manera significativa la calidad de vida de los animales. Este proyecto de grado representa un paso en el planteamiento de soluciones para la industria ganadera en Colombia. A través del desarrollo de un prototipo, se otorga a los ganaderos la posibilidad de ejercer un mayor control y automatización en la gestión de su ganado, lo que a su vez tiene el potencial de impulsar mejoras en términos de trazabilidad y en la capacidad de tomar decisiones informadas relacionadas con la salud y el bienestar de los animales.

El presente documento se encuentra organizado de la siguiente manera: en el primer capítulo se analiza las tecnologías en la industria ganadera a nivel nacional e internacional, destacando las diferencias entre dispositivos y su impacto en los ganaderos. En el segundo capítulo, se plantea una solución para la industria ganadera en Colombia a través del desarrollo de un prototipo que brinda a los ganaderos la capacidad de ejercer un mayor control y automatización en la gestión de su ganado. En el tercer capítulo se presenta el proceso de selección de los componentes utilizados en la placa, incluyendo sensores de temperatura y tecnologías para el monitoreo del movimiento de cada animal. Se realizan comparaciones entre tecnologías como Bluetooth, Wi-Fi y NFC para determinar la más adecuada. Además, se aborda el marco legal, considerando las resoluciones y decretos del Estado colombiano relacionados con requisitos sanitarios y certificados para la producción ganadera de carne y leche. A continuación, en el cuarto capítulo, se describen los requerimientos de funcionalidad, calidad y restricciones del proyecto, se detalla la metodología de diseño, que incluye matrices comparativas para la selección de componentes, como termómetros y placas de desarrollo. También se presenta un diagrama

de conexiones para el dispositivo y un diagrama de funcionamiento de la aplicación, junto con el diseño computarizado del prototipo y su descripción técnica, incluyendo diagramas de bloques y máquinas de estados que muestran el funcionamiento del dispositivo. En el quinto capítulo, se presentan los resultados obtenidos, mostrando las variaciones de corriente cuando el dispositivo envía datos al aplicativo y cuando está en reposo, así como el funcionamiento de la batería, que permite que el prototipo sea 100% inalámbrico y recargable cuando se agota. En los capítulos seis y siete se detallan las conclusiones del trabajo de grado, así como las recomendaciones para la continuación del proyecto en trabajos futuros. Finalmente, en los anexos, se incluyen los planos completos de diseño de cada uno de los procesos del prototipo, así como los reconocimientos que el proyecto ha obtenido a lo largo de su desarrollo.

“El mercado de los sensores de uso de ganadería crece un 10,9% anualmente, y se estima que para el 2025 facture un volumen de 2.500 millones de dólares” [24].

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes y Estado del Arte

En países como China, Países Bajos, Estados Unidos, Alemania, existen dispositivos electrónicos que permiten tener el control de cada cabeza de ganado dentro de una granja, maximizando el rendimiento de un hato lechero, contando con un sistema único con identificación, detección de calor, localización, el comer, rumiar y comportamiento inactivo, de pie, acostado y caminado; como es el caso de Nedap CowControl, el cual es un sistema de control.

1.1.1. Nivel Internacional

Estados Unidos:

- C-Sense Flex: Este collar inteligente proporciona seguimiento de la actividad motora, la rumia, el tiempo de ingestión y frecuencia respiratoria. Tiene una máxima exactitud de precisión en la detección del celo y estado de salud del animal.[4]
- CowManager: Ofrece seguimiento de la actividad, rumia y salud. Los sensores en el collar ayudan a identificar problemas de salud y proporcionan alertas en tiempo real para optimizar el bienestar y la productividad del ganado[5].
- Quantified AG: Ofrece sensado de temperatura y actividad del canal auditivo ayudando a los ganaderos a encontrar patrones de enfermedad [6].

Países Bajos:

- CowControl: Este sistema de monitoreo utiliza collares inteligentes para rastrear la actividad y el comportamiento de las vacas. Proporciona datos sobre el celo, la alimentación y la rumia, ayudando a los ganaderos a tomar decisiones informadas sobre el manejo del hato [3].

Taiwán:

- Ceres Tag: Este collar utiliza tecnología de seguimiento GPS para monitorear la ubicación y el comportamiento del ganado en áreas extensas. Permite establecer límites virtuales y brinda alertas en caso de desviaciones, contribuyendo a la seguridad y el manejo del hato [7].

Argentina:

- Cow Watch: Este sistema de monitoreo utiliza collares inteligentes para rastrear la actividad y la salud del ganado. Ayuda a los ganaderos a detectar problemas de salud y a mejorar el rendimiento del hato [8].

España:

- ABS Brender Tag: Cuenta con 3 diseños, en los cuales se encuentra el collar inteligente diseñado para el monitoreo del comportamiento y la salud del ganado. Proporciona información sobre el celo, la actividad y la rumia; el podómetro que a diferencia del collar no puede realizar monitoreo de rumia [9].

Reino Unido

- CowAlert: Este sistema utiliza collares inteligentes para monitorear el comportamiento y la actividad del ganado. Los sensores en los collares registran los patrones de movimiento y rumia, lo que ayuda a los ganaderos a identificar problemas de salud y celo. Además, proporciona alertas en tiempo real para que los ganaderos puedan tomar decisiones informadas sobre la reproducción y el manejo del hato[10].

Estos ejemplos y otros, resaltan cómo los collares inteligentes para ganado se están utilizando en diferentes países para monitorear y mejorar el bienestar, la salud y la productividad del ganado. Cada sistema ofrece una combinación única de funciones diseñadas para abordar las necesidades específicas de los ganaderos en diferentes regiones del mundo.

1.1.2. Nivel Nacional

En Colombia, la adopción de collares inteligentes en el ganado está experimentando un crecimiento significativo como parte de los esfuerzos por potenciar la administración, la salud y el bienestar de los animales en la industria pecuaria.

A pesar de que se tiene conocimiento de la utilización de collares inteligentes para rastrear el ganado en Colombia, la producción de estos dispositivos a nivel nacional es escasa, prácticamente nula. Esto se atribuye principalmente a los costos elevados relacionados con su fabricación, lo que ha llevado a optar por la adquisición de tecnologías importadas, mayormente provenientes de países como Argentina, Reino Unido y Estados Unidos.

Dentro del mercado colombiano, se destacan varios tipos de collares de manera prominente: CowAlert, Siclick, Musensor y Boviteq [11]. Estos dispositivos han logrado posicionarse en la industria ganadera del país, proporcionando soluciones tecnológicas para la supervisión y el manejo del ganado, aunque su disponibilidad puede estar limitada debido a las dificultades locales en su producción.

En resumen, en Colombia, la implementación de collares inteligentes en el ganado está ganando terreno como una herramienta valiosa para mejorar la gestión y el bienestar de los animales. Estos dispositivos ofrecen una variedad de funciones, como el monitoreo de la actividad, la rumia, la ubicación y la salud, lo que capacita a los ganaderos para tomar decisiones informadas y optimizar aspectos como la reproducción, la alimentación y el manejo general del ganado[11][12] .

1.2. Descripción y Formulación del Problema

Este sistema tecnológico desempeña un papel fundamental al permitir un monitoreo exhaustivo de la temperatura y el comportamiento de actividad de los animales. Esto brinda a los ganaderos y veterinarios la capacidad de ejercer un control preciso sobre la salud del ganado, garantizando un manejo eficiente y cuidadoso de cada individuo. Mediante este

sistema, se establece un historial médico detallado para cada animal, lo que contribuye significativamente a su bienestar y al éxito de la operación ganadera en su conjunto.

El enfoque principal radica en desarrollar un sistema de monitoreo, junto con una aplicación móvil especialmente diseñada, que incorporará las siguientes características claves:

- **Sensor de temperatura no invasivo:** Se implementará un sensor que permitirá medir la temperatura corporal de los animales de manera precisa y sin causar molestias. Esto asegura que los datos recopilados sean fiables y representativos del estado de salud de cada animal.
- **Monitorización del desplazamiento y actividad:** El sistema estará equipado con capacidades de seguimiento del movimiento y actividad de los animales. Esto proporcionará información valiosa sobre el comportamiento habitual de los individuos, permitiendo detectar posibles cambios que podrían indicar problemas de salud.
- **Base de datos con información capturada:** Se desarrollará una base de datos robusta que almacenará toda la información recopilada por el dispositivo de monitoreo. Esta base de datos centralizada garantizará la integridad y accesibilidad de los datos en tiempo real.
- **Aplicativo móvil para visualización de datos:** La aplicación móvil permitirá a los ganaderos y veterinarios acceder y visualizar los datos almacenados en la base de datos. Esto posibilitará un monitoreo continuo y remoto de la salud de los animales, brindando alertas tempranas en caso de anomalías.

La recolección constante de datos para cada individuo garantiza que los ganaderos cuenten con información en tiempo real y a nivel individual sobre el estado de salud de sus animales. Esta capacidad de monitoreo en tiempo real es esencial para una detección temprana de problemas de salud y una respuesta rápida ante cualquier situación adversa. En

última instancia, este sistema tecnológico contribuirá a un manejo ganadero más eficiente, al bienestar animal y al éxito general de la operación.

1.3. Justificación

La implementación de este proyecto surge como una respuesta esencial a los desafíos que enfrenta la industria ganadera en términos de salud y manejo de los animales. La necesidad de un monitoreo exhaustivo y preciso de la temperatura y el comportamiento de actividad de los animales es evidente, ya que esto tiene un impacto directo en su bienestar, salud y productividad. Esta justificación se basa en la relevancia crítica de abordar estas problemáticas y en el potencial de la tecnología para brindar soluciones efectivas.

El proyecto busca aprovechar las ventajas de los avances tecnológicos para permitir un monitoreo continuo y detallado de cada individuo en el hato ganadero. La capacidad de medir la temperatura de manera no invasiva, junto con la monitorización del desplazamiento y la actividad, garantiza que los datos recopilados sean representativos de la salud y el comportamiento habituales de los animales. Esto permitirá detectar posibles cambios tempranos que puedan indicar problemas de salud y tomar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna.

La implementación de una base de datos centralizada para almacenar la información capturada asegura la integridad y accesibilidad de los datos en tiempo real. La interfaz de aplicación móvil proporciona a los ganaderos y veterinarios una forma conveniente y remota de acceder y visualizar los datos, lo que permite un monitoreo continuo y una respuesta rápida ante cualquier anomalía o situación preocupante. La inclusión de antecedentes médicos en el sistema agrega un valor significativo al brindar un contexto vital para la toma de decisiones médicas informadas.

La recolección constante de datos para cada individuo, respaldada por la tecnología y la aplicación móvil, transforma la forma en que los ganaderos manejan su ganado. La capacidad de realizar un monitoreo en tiempo real a nivel individual es esencial para detectar problemas de salud de manera temprana y abordarlos antes de que se conviertan en

situaciones graves. Esta tecnología contribuirá directamente a un manejo ganadero más eficiente y a una mejora en el bienestar animal, lo que, en última instancia, tendrá un impacto positivo en el éxito general de la operación ganadera.

En resumen, este proyecto se justifica por la necesidad de una solución tecnológica que permita un monitoreo exhaustivo y en tiempo real de la salud y el comportamiento de los animales en la industria ganadera. La tecnología propuesta tiene el potencial de abordar estos desafíos de manera efectiva, mejorando el manejo, el bienestar y la productividad del ganado, y contribuyendo al éxito sostenible de la operación ganadera en su conjunto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo para la identificación, monitoreo de temperatura y comportamiento animal como herramienta de apoyo para la gestión de datos de salud en semovientes en la finca El Quirinal en el municipio San Francisco – Cundinamarca.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema de monitoreo de temperatura, comportamiento y movimiento del semoviente.
2. Implementar un sistema de identificación al diseño electrónico para la gestión de información propia del ganado referente a antecedentes, vacunas y enfermedades.
3. Crear una base de datos, de acceso automático a partir de la identificación del animal, para el almacenamiento relacionado con el historial clínico y la información monitoreada por el sistema electrónico.
4. Construir una aplicación móvil para el manejo y visualización de la información suministrada en la base de datos.
5. Evaluar la funcionalidad del prototipo desarrollado.

1.5. Alcance y Limitaciones del Proyecto

Se desarrollará un prototipo electrónico que tendrá como finalidad la identificación y monitoreo de temperatura y comportamiento de cabezas de ganado y se conocerá el contexto de la situación de hábitat, así como el estado de salud, por medio de la aplicación de bases de datos en aplicativo móvil, teniendo los datos de temperatura y geolocalización funcionales en su totalidad.

El prototipo será implementado junto a la compañía del ganadero y el veterinario encargado por limitaciones de bioética, la funcionalidad será probada dentro del contexto de producción agropecuaria en la finca El Quirinal del municipio San Francisco – Cundinamarca.

El desarrollo del proyecto no debe superar el presupuesto predestinado por el estudiante de aproximadamente 5´ 000.000.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco Teórico o Conceptual

3.1.1. Conexión inalámbrica

Bluetooth es una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance que permite la transferencia de datos entre dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles, computadoras, auriculares y altavoces, sin la necesidad de cables físicos [13].

Algunas características clave de Bluetooth son:

- Velocidad de transmisión: La velocidad de transmisión de Bluetooth varía según la versión utilizada. Las versiones más antiguas, como Bluetooth 2.0, tienen una velocidad de transmisión de hasta 3 Mbps, mientras que las versiones más nuevas, como Bluetooth 5.0, pueden alcanzar velocidades de hasta 50 Mbps.
- Alcance: El alcance de Bluetooth también depende de la versión utilizada y del entorno en el que se encuentren los dispositivos. En general, el alcance de Bluetooth puede variar desde unos pocos metros hasta más de 100 metros en condiciones ideales [14].
- Consumo de energía: Bluetooth está diseñado para ser una tecnología de bajo consumo de energía, lo que lo hace ideal para dispositivos portátiles, como auriculares inalámbricos y rastreadores de fitness.
- Modo de comunicación: Bluetooth utiliza un modelo de comunicación maestro/esclavo, donde un dispositivo maestro puede conectarse a varios dispositivos esclavos al mismo tiempo. Esto permite la creación de redes de dispositivos interconectados, como un teléfono móvil que se conecta a un altavoz y a unos auriculares al mismo tiempo [14].
- Seguridad: Bluetooth utiliza técnicas de cifrado para garantizar la seguridad de las comunicaciones inalámbricas. Sin embargo, algunas versiones más antiguas de

Bluetooth han sido vulnerables a ataques de seguridad, por lo que es importante mantener los dispositivos actualizados con las últimas versiones de software.

La principal diferencia entre Bluetooth y otras tecnologías inalámbricas, como NFC, Wi-Fi y 3G/4G, radica en su alcance, velocidad de transferencia de datos y consumo de energía.

- Alcance: Bluetooth tiene un alcance más limitado, generalmente de hasta 100 metros, mientras que Wi-Fi y 3G/4G pueden cubrir distancias mucho mayores, dependiendo de la infraestructura de red disponible[15].
- Velocidad de transferencia de datos: Wi-Fi y 3G/4G ofrecen velocidades de transferencia de datos más rápidas en comparación con Bluetooth y NFC. Wi-Fi puede alcanzar velocidades de hasta varios gigabytes por segundo, mientras que 3G/4G puede ofrecer velocidades de hasta varios cientos de megabits por segundo. Bluetooth, por otro lado, tiene una velocidad de transferencia de datos más baja, generalmente de hasta 3 megabits por segundo para Bluetooth 2.0 + EDR[16]. NFC tiene una velocidad de transferencia de datos aún más baja, de hasta 424 kilobits por segundo[15].
- Consumo de energía: Bluetooth y NFC son tecnologías de baja energía, lo que significa que consumen menos energía en comparación con Wi-Fi y 3G/4G. Esto los hace ideales para dispositivos con batería, como teléfonos móviles y auriculares inalámbricos. Wi-Fi y 3G/4G, por otro lado, consumen más energía debido a su mayor velocidad de transferencia de datos y alcance [17].

3.1.2. Sistema GPS

GPS (por sus siglas en inglés, Global Positioning System), es un sistema de navegación por satélite que permite determinar la ubicación precisa de un receptor GPS en cualquier lugar del mundo, siempre y cuando el receptor tenga una línea de visión clara con al menos cuatro satélites GPS.

¿Cómo funciona el GPS?

El GPS opera mediante una constelación de satélites que orbitan alrededor de la Tierra. Estos satélites emiten señales de radio que contienen información sobre su posición y la hora exacta en que se transmitió la señal. Un receptor GPS en la superficie terrestre recoge estas señales de al menos cuatro satélites, luego calcula la distancia entre el receptor y cada satélite en función del tiempo que lleva la señal en viajar. Con esta información de distancia, el receptor puede determinar su ubicación exacta mediante un proceso llamado triangulación.

Características del GPS:

- Precisión: El GPS proporciona una precisión en la determinación de la ubicación que puede variar desde unos pocos metros hasta centímetros, dependiendo del tipo de receptor y las condiciones atmosféricas [18].
- Disponibilidad global: El sistema GPS es global y está disponible en cualquier parte del mundo, siempre que haya una línea de visión clara con los satélites.
- Tiempo real: El GPS proporciona información en tiempo real sobre la ubicación y velocidad del receptor.
- Variedad de aplicaciones: El GPS se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde navegación vehicular y seguimiento de flotas hasta aplicaciones militares, científicas y recreativas [19].
- Seguridad: El GPS es fundamental para la seguridad en la navegación aérea, marítima y terrestre, así como para la respuesta a emergencias y la gestión de desastres.
- Actualizaciones constantes: El sistema GPS se mantiene y actualiza regularmente para mejorar la precisión y confiabilidad [19].
- Compatibilidad: Los receptores GPS son compatibles con una variedad de dispositivos, como teléfonos inteligentes, relojes, navegadores de automóviles y más.

- Combinación con otras tecnologías: El GPS se combina frecuentemente con otras tecnologías, como sistemas de posicionamiento diferencial (DGPS) para aumentar aún más la precisión, o sistemas de navegación por inercia para mantener la precisión en áreas con señales GPS débiles o bloqueadas.

3.1.3. Temperatura

La temperatura corporal normal de un bovino adulto, oscila entre 37.8°C y 40°C y es un factor crucial para su bienestar y productividad. Si los tejidos de un animal se enfrían de manera excesiva, su metabolismo puede disminuir de manera drástica, aumentando el riesgo de desnaturalización de proteínas y daño tisular irreversible. Además, cambios bruscos o frecuentes en las temperaturas pueden provocar estrés en los animales, lo que puede ser exacerbado por otros factores adversos a los que puedan estar expuestos [1].

Es importante destacar que, en el caso de los bovinos, la temperatura corporal disminuye a medida que aumenta la edad del animal. Esta variación térmica se utiliza como un indicador para detectar el estro o celo, además de proporcionar beneficios en términos de monitoreo de salud independiente de factores externos como la posición o velocidad del animal [2]. La vida productiva y útil de una vaca depende de su capacidad para mantener una buena salud en general, evitar problemas reproductivos y convertir eficientemente el alimento en leche.

Los animales pueden experimentar un aumento en su temperatura corporal debido a diversas razones, como enfermedades, lesiones, estrés por calor, exposición a toxinas, entre otros problemas de salud. Sin embargo, en muchas ocasiones, se toma acción sólo después de detectar una temperatura corporal elevada, mitigando así los efectos de estos factores estresantes. Por ende, el desarrollo de tecnologías que permitan la detección temprana de temperaturas elevadas, así como la predicción y prevención de los efectos adversos de la fiebre y el estrés térmico, es de gran importancia.

Las medidas convencionales de temperatura y los indicadores de temperatura corporal elevada han sido utilizados para identificar animales enfermos y bajo estrés térmico. Por ejemplo, la medición de la temperatura rectal es una práctica común para evaluar la

temperatura corporal. Otros indicadores de estrés térmico incluyen la tasa de respiración, el ritmo de sudoración y la medición del flujo sanguíneo. Sin embargo, recopilar este tipo de mediciones tradicionales implica un esfuerzo considerable.

El fenotipado automatizado surge como una solución potencial al proporcionar datos de temperatura en tiempo real. Esto permitiría una intervención inmediata para prevenir pérdidas relacionadas con la salud de los animales. En este contexto, se exploran las implicaciones y los posibles usos de las tecnologías actuales, con un enfoque especial en la detección y prevención del estrés térmico. La capacidad de utilizar tecnologías modernas para monitorizar y reaccionar ante cambios en la temperatura corporal de los animales puede marcar una diferencia significativa en la salud y el bienestar de los animales, así como en la eficiencia de la gestión ganadera en general.

Para garantizar una medición precisa de la temperatura de cada animal, es fundamental considerar la temperatura ambiente, ya que esta variable puede influir en la medición. En el caso del ganado lechero, cuya temperatura adecuada oscila entre los 5°C y los 25°C, las condiciones de humedad y calor ambiental pueden desencadenar estrés calórico, lo que afecta la producción y alimentación de los animales[20].

La tabla comparativa tiene como propósito efectuar un análisis entre las temperaturas registradas en diferentes especies, específicamente aquellas que se encuentran comúnmente en criaderos destinados a la producción de leche o carne. Este análisis permitirá identificar patrones y variaciones térmicas entre las especies, lo que resulta esencial para comprender sus requerimientos y comportamientos fisiológicos en entornos de cría y producción. Al tener en cuenta estas diferencias de temperatura, se podrán implementar medidas adecuadas para garantizar el bienestar y el rendimiento óptimo de los animales en estos criaderos.

Tabla 1. Emisividad en diferentes especies [21]

Especie	Nombre común	Emisividad
<i>Bos taurus</i>	Vaca	0.95
<i>Sus scrofa domesticus</i>	Cerdo	0.88 ± 0.002
<i>Capra aegagrus hircus</i>	Cabra	0.89 ± 0.02
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo europeo	0.88 ± 0.03
<i>Equus ferus caballus</i>	Pura sangre ingles	0.90 ± 0.03

En términos de rangos de funcionalidad para la toma de temperatura, es importante tener en cuenta que en condiciones termo neutrales, la temperatura corporal normal de los bovinos se encuentra entre 37.8°C y 39.3°C. Una temperatura superior a 42°C se considera letal. Un aumento de 1°C en la temperatura corporal puede reducir el consumo de materia seca y la producción. Esto se convierte en un indicador del impacto del estrés calórico en las vacas en producción. A partir de los 38.9°C, la producción comienza a disminuir. Cada aumento de 0.55°C en la temperatura reduce el consumo de materia seca en 1.4 kg y la producción de leche en 1.8 kg.

La fertilidad también se ve afectada por las variaciones de temperatura. Un incremento de 0.5°C puede reducir la fertilidad en un 13%, mientras que un aumento de 1°C puede llevar a una disminución de la fertilidad de hasta un 45-60%.

Para adaptarse al calor generado por la digestión y el metabolismo, los animales reducen su consumo de alimento. Cuando la temperatura ambiente supera los 26°C, la disminución del consumo de materia seca puede ser del 10-20%, y en casos de temperaturas aún más altas, puede alcanzar hasta el 30-50%. La tabla 3 ilustra cómo la temperatura varía según la madurez y el género del animal. Por cada aumento de 1°C en la temperatura ambiental por encima de la zona termoneutral, el consumo de alimento puede reducirse en 0.850 kg de materia seca, lo que resulta en una disminución de hasta el 35% en la producción de leche.

Tabla 2. Variación de temperatura en semovientes

Temperaturas normales Bovinos			
Edad / Sexo	Mínima	Máxima	Promedio
Ternero menos 6 meses	39,5°C	40°C	39,7°C
Bovino mayor hembra	38,5°C	39°C	38,7°C
Bovino mayor macho	38,8°C	39,8°C	39,3°C

3.1.4. Termómetro

Un termómetro es un dispositivo utilizado para medir la temperatura de un objeto o ambiente. Esta medición se basa en la propiedad física de los materiales de cambiar su volumen, resistencia eléctrica o radiación en función de la temperatura.

Existen varios tipos de termómetros, cada uno basado en una propiedad física diferente:

- **Termómetros de líquido en vidrio:** Estos termómetros utilizan la dilatación de un líquido, como mercurio o alcohol, en un tubo de vidrio delgado. La expansión o contracción del líquido con la temperatura permite medir los cambios en la escala graduada del tubo.
- **Termómetros de resistencia:** Basados en la variación de la resistencia eléctrica de un material con la temperatura. El termistor y el RTD son ejemplos. La relación se describe mediante la ecuación de resistencia-temperatura específica del material.
- **Termopares:** Estos termómetros se basan en el efecto Seebeck, que establece que cuando dos conductores diferentes se unen en un extremo y se generan diferencias de temperatura en los extremos opuestos, se genera una tensión eléctrica. La relación entre la tensión y la temperatura se describe con ecuaciones específicas para cada tipo de termopar.
- **Termómetros infrarrojos:** Utilizan la radiación infrarroja emitida por un objeto para determinar su temperatura. Estos termómetros se basan en la ley de

Stefan-Boltzmann, que establece que la radiación emitida por un objeto es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta (T):

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

σ : Constante de Stefan-Boltzmann

P : Potencia radiada

A : Área del objeto

El termómetro infrarrojo utiliza el principio de que todos los objetos emiten radiación infrarroja en función de su temperatura. El termómetro mide la radiación infrarroja que llega a su sensor y, mediante cálculos y ajustes, determina la temperatura del objeto. No necesita contacto físico y es útil para medir temperaturas a distancia o en objetos en movimiento. Estos poseen una notable capacidad para medir la temperatura de diversos objetos, materiales o cuerpos. Caracterizados por su precisión, consistencia y una respuesta rápida, estos dispositivos efectúan mediciones de alto rendimiento, abarcando un amplio rango de temperaturas desde -20°C hasta 2000°C .

Una de las ventajas clave de estos termómetros es su versatilidad y compatibilidad con diferentes instrumentos sin necesidad de interfaces o acondicionamiento de señal. Además, ofrecen la flexibilidad de configurar el rango de medición y la emisividad, lo que permite adaptar su funcionamiento a diversas situaciones. Los filtros aplicables, así como las lecturas mínimas y máximas, añaden una capa adicional de control sobre la medición.

Estos termómetros demuestran su eficacia incluso en entornos desafiantes, siendo capaces de operar en temperaturas ambiente de hasta 50°C .

El termómetro infrarrojo se destaca por su habilidad para medir la temperatura en la superficie de un objeto o cuerpo, como en el caso de los animales. En pruebas realizadas en animales, este tipo de termómetro ha demostrado un porcentaje de error despreciable, asegurando mediciones precisas. Para tomar la medida, el termómetro infrarrojo se enfoca a una distancia de 30 a 40 centímetros en un área de aproximadamente 2 centímetros cuadrados.

Cuenta con las siguientes características:

- No es invasivo
- Cuenta con laser
- Fácil uso
- Disminución de propagación de infecciones (casi nula)
- Rápida medición
- Medición en diferentes zonas del cuerpo con alta precisión

El termómetro infrarrojo es un instrumento que ha encontrado aplicaciones significativas en el control de la temperatura corporal, y en esta sección se exploran diversos estudios y aplicaciones realizados en ganado bovino en los últimos años.

El termómetro infrarrojo se ha revelado como una herramienta valiosa para evaluar el bienestar y el confort de las vacas. Su capacidad para medir la temperatura en las extremidades posteriores y anteriores se ha utilizado con éxito en el diagnóstico del estrés por calor ambiental. Además, la medición de la temperatura en el muslo ha surgido como una alternativa efectiva a la medición de la temperatura rectal en la detección de cambios en la salud del ganado.

En particular, el termómetro infrarrojo se ha empleado para medir la temperatura superficial de la oreja con el propósito de determinar su relación con la hipocalcemia. Los resultados han revelado una correlación interesante, indicando que por cada disminución de 0.39 °C en la temperatura de la oreja, se produce una disminución de 0.1 mmol/L en la concentración de calcio en la sangre del ganado[21] . Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso del termómetro infrarrojo para la detección de hipocalcemia puede verse limitado por los efectos ambientales y otras variables.

2.2. Marco Legal o Normativo

Resolución No. 067449: Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener la certificación en Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) en la producción de leche.

Resolución No. 068167: Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener la certificación en Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) en la producción de carne de bovinos y/o bufalinos.

Decreto 1500 de 2007: Por la cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de Carne, Productos Cárnicos Comestibles y derivados Cárnicos destinados para el consumo humano.

Resolución 2905 de 2007: Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la carne y productos cárnicos comestibles de las especies bovina y bufalina destinados para el consumo humano.

Resolución 18119 de 2007: Por la cual se reglamentan los requisitos del Plan Gradual de Cumplimiento para las plantas de beneficio y desposte de bovinos y bufalinos.

Decreto 2278 de 1982: Por la cual se reglamenta parcialmente el título V de la Ley 09 de 1979 en cuanto al sacrificio de animales de abasto público o para consumo humano y el procesamiento, transporte y comercialización de su carne.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO

3.1. Requerimientos

Funcionales

El sistema deberá:

- Recolectar datos de temperatura y desplazamiento de cada semoviente.
- Almacenar en la memoria flash de la información de temperatura y ubicación de las últimas 24 horas (medición cada 30 min).
- Transmitir los datos de temperatura y ubicación por bluetooth a un teléfono móvil android (inalámbicamente).
- Contar con un aplicativo móvil básico para recibir los datos.
- Para enviar los datos del dispositivo a la aplicación se deberá accionar un botón que permita la conexión bluetooth.
- Transmitir los datos almacenados de un día de operación una vez al día.

Calidad

- El dispositivo será portátil (alimentado con batería) con una autonomía de al menos 24 horas.
- El dispositivo deberá de ser seguro para cada animal.
- El dispositivo deberá medir la temperatura en un rango normal $37.8^{\circ}\text{C} - 39.3^{\circ}\text{C}$, con un margen de error de $\pm 2\%$.
- La medición de la distancia recorrida deberá ser calculada manualmente mediante los datos de ubicación.
- El aplicativo móvil pesará menos de 50MB..

Restrictivos

- El dispositivo debe cumplir con la reglamentación de dispositivos usados en animales.

- Por bioética el dispositivo será externo y las pruebas de funcionamiento deben de ser realizadas por un médico veterinario.

3.2. Metodología del Diseño

Como primer paso se llevó a cabo un estudio exhaustivo de cada sensor y dispositivo necesario para el desarrollo del proyecto, con la finalidad de realizar comparaciones entre distintas referencias y encontrar el componente que se ajustara de manera precisa a las necesidades del proyecto.

El proceso comenzó analizando las diferencias entre termómetros, estudiando detenidamente su funcionamiento, precisión, manejo y su capacidad para cumplir con los requisitos establecidos para el proyecto. El objetivo principal era realizar una evaluación minuciosa de los diferentes sensores disponibles.

Con el fin de facilitar esta comparación, se elaboró una tabla que resaltaba los elementos más relevantes para garantizar una toma de temperatura precisa en el ganado. Una de las consideraciones primordiales en esta comparación era asegurar que el sensor no fuera invasivo para el cuerpo del animal, reduciendo así el riesgo de infección al usarlo en diferentes animales.

Es importante destacar que todos los sensores de temperatura poseen un margen de error influenciado por la temperatura ambiente. Por lo tanto, se realizó una evaluación detallada de la sensibilidad de cada sensor para minimizar al máximo este margen de error.

El propósito de esta tabla comparativa era identificar la opción más adecuada, teniendo en cuenta criterios como la facilidad de uso, la invasividad, el rango de error y la sensibilidad a las condiciones ambientales. Este análisis permitiría seleccionar el sensor de temperatura óptimo para garantizar mediciones precisas y fiables en el contexto de la ganadería.

Tabla 3. Comparación entre termómetros

Tipo característica	termómetro infrarrojo	Cámara infrarroja	Microchip radiofrecuencia	Bolos inteligentes	termómetro de mercurio	termómetro digital
Uso fácil	x		x	x	x	x
No invasivo	x	x				x
Toma constante				x		
Riesgo de infección				x	x	
Medición distintas zonas	x	x				x
Afectación por alimentación				x		
Afectación por cambios climáticos			x			
fácil Acceso	x			x	x	x
Exactitud	Buena		Baja	Media	Buena	Buena

Considerando que el termómetro infrarrojo funciona mediante la lectura de la temperatura corporal a través de un sensor, se ha tomado la decisión de emplear el sensor GY-906 para el desarrollo del proyecto. La información capturada por el sensor se dirige a través de un amplificador y un filtro pasa bajos, donde se realiza un procesamiento inicial. Posteriormente, esta señal se somete a la conversión digital y se presenta en el aplicativo móvil, proporcionando así una medición precisa y fácilmente legible de la temperatura corporal.

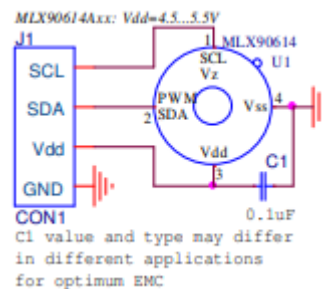


Figura 1. Esquemas de aplicaciones típicos [22]

El GY-906 MLX90614 es un termómetro infrarrojo para mediciones de temperatura que no necesiten contacto. Tanto el IR sensible Chip detector de termopila y acondicionamiento de señal ASSP. van integrados en el mismo bidón TO-39.

Gracias a su amplificador de bajo ruido, ADC de 17 bits y potente unidad DSP, alta precisión y resolución del se logra la adquisición de temperatura. Este sensor ya viene calibrado de fábrica con un indicador digital.

Salida PWM Y SMBus, como estándar el PWM de 10 bits está configurado para transmitir continuamente la temperatura medida en el rango de -20 a 120°C, con una resolución de salida de 0.14°C [22].

Se ha llevado a cabo un estudio de la tecnología más pertinente para el monitoreo del comportamiento y movimiento del ganado. En este proceso, se consideraron dos enfoques principales: el uso de podómetros y GPS, ambos con sus respectivas diferencias significativas.

El podómetro se caracteriza por ser un dispositivo electrónico que mide el número de pasos dados por un animal durante un período de tiempo específico. En cambio, el GPS utiliza una red de satélites en órbita terrestre para determinar con gran precisión la ubicación de un dispositivo receptor.

Ambas tecnologías ofrecen enfoques distintos pero efectivos para alcanzar el objetivo propuesto de monitorear el comportamiento del ganado. Sin embargo, es importante destacar que el uso del GPS va más allá de este propósito inicial al abordar una problemática adicional, como el robo de ganado. Esto significa que el GPS no solo satisface las necesidades del proyecto original, sino que también ofrece una solución valiosa a un problema comúnmente enfrentado a nivel internacional.

Por lo tanto, la elección del GPS como tecnología preferida no solo se justifica por su capacidad para monitorear el comportamiento del ganado, sino también por su capacidad para abordar y mitigar desafíos adicionales que pueden surgir en la gestión ganadera.

Se opta por trabajar con el módulo compartido Quectel L80-R el cual es un módulo GPS POT (Patch on Top) ultra compacto con una antena de parche incorporada de 15.0mm × 15.0mm × 4.0mm. Al adoptar un paquete LCC e integrarse con una antena de parche, L80-R ofrece un rendimiento excepcional tanto en la adquisición como en el seguimiento.

Al combinar la avanzada tecnología AGPS llamada EASY™ (Sistema de Asistencia Integrado), L80-R alcanza el más alto rendimiento y cumple completamente con el estándar industrial. La tecnología EASY™ garantiza que L80-R pueda calcular y predecir órbitas automáticamente utilizando los datos efemérides (hasta 3 días) almacenados en la memoria RAM interna, lo que permite que L80-R fije su posición rápidamente incluso en niveles de señal en interiores con bajo consumo de energía[23].

Para concluir el estudio de las tecnologías para el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de diversas tarjetas de desarrollo. Se iniciaron pruebas básicas para evaluar el funcionamiento del sensor de temperatura con un Arduino Uno. Estas pruebas permitieron medir el margen de error y comprender su funcionamiento en profundidad, adquiriendo datos a intervalos regulares. Se tuvieron en cuenta tanto la temperatura ambiente como la temperatura corporal, expresada en grados centígrados y Fahrenheit.

Una vez comprendido el funcionamiento del sensor infrarrojo, se procedió a estudiar el módulo WiFi ESP8266. Este módulo utiliza una lógica de programación similar a la de un Arduino y permite la conexión inalámbrica a través de una aplicación de prueba. Sin embargo, se observaron limitaciones en entornos rurales donde la disponibilidad de redes WiFi es irregular, lo que presentó desafíos en la finca donde se desarrolla el proyecto.

Ante esta situación, se consideró la utilización de la tecnología Bluetooth, que permite la comunicación y transferencia de datos entre dispositivos cercanos. Se analizó el módulo ESP32, una tarjeta de desarrollo que combina WiFi y Bluetooth, y que cuenta con una memoria flash de 4MB. Esta elección se realizó con la vista puesta en mejorar el producto como prototipo y en prepararlo para un despliegue más autónomo en el mercado. Por esta razón, el proyecto se desarrolló utilizando la tecnología Bluetooth del ESP32, que ofrece ventajas significativas en cuanto a conectividad con la aplicación móvil y facilita la realización de pruebas pertinentes.

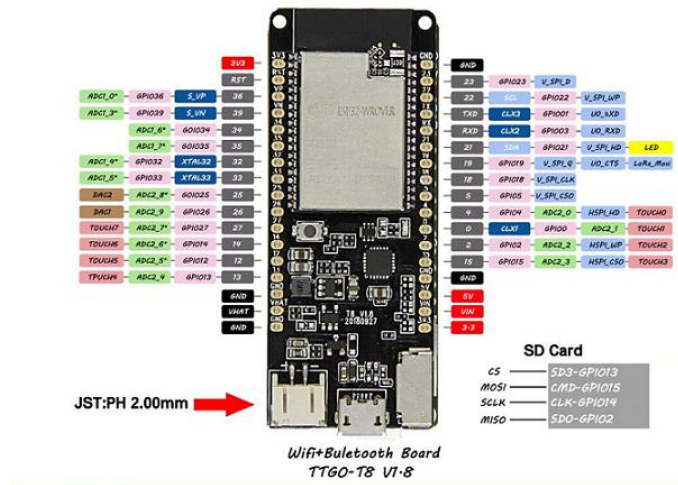


Figura 2. placa de desarrollo ESP32-WROVER-TTGO

Se llevaron a cabo esquemas iniciales para iniciar las pruebas de integración del módulo de GPS y el sensor de temperatura con la tarjeta ESP32. Estos esquemas se elaboraron teniendo en cuenta las conexiones proporcionadas en los datasheets de cada componente como punto de partida. A medida que avanzaba el desarrollo del proyecto, se realizaron modificaciones en estas conexiones con el objetivo de mejorar el prototipo y optimizar su funcionamiento. Estos ajustes fueron parte integral del proceso de desarrollo y permitieron perfeccionar la integración de los componentes para lograr un prototipo final más eficiente y efectivo. (Se puede visualizar el diagrama completo en los anexos)

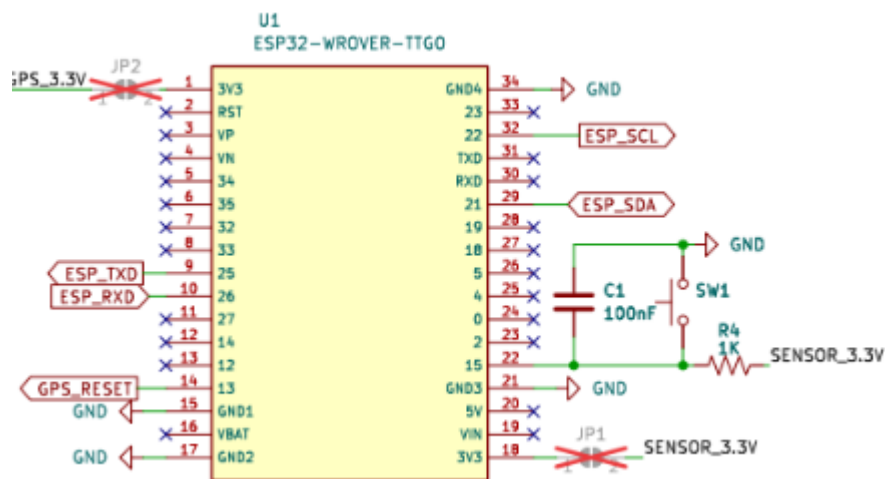


Figura 3. conexión de la placa de desarrollo en tarjeta

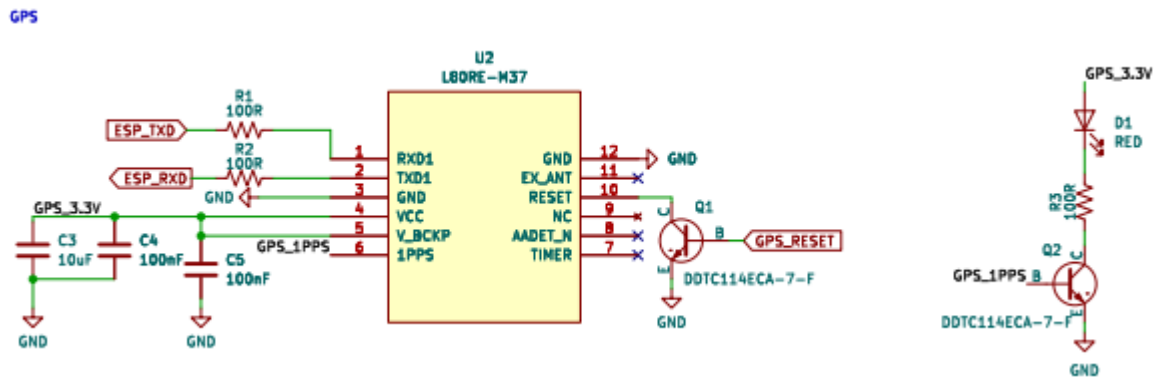


Figura 4. Conexión del GPS a la placa y tarjeta

Ya dispuestos los diagramas de conexiones del prototipo, se procede a la fase de programación. El inicio de esta etapa se centrará en la configuración y programación del módulo de Bluetooth para comenzar a adquirir los datos necesarios. Simultáneamente, se llevarán a cabo pruebas con el sensor GY-906. Durante este proceso, se ajusta la recopilación de datos para garantizar el cumplimiento de los requisitos previamente establecidos para el desarrollo del proyecto.

Se procede a llevar a cabo la programación individual de cada uno de los componentes para permitir que la tarjeta de desarrollo procese la información que recibe. Simultáneamente, se avanza en la programación del aplicativo móvil, lo que posibilitará la realización de pruebas y la conexión entre un dispositivo celular y la tarjeta de desarrollo. Este proceso de programación en paralelo garantizará la integración eficiente de todos los elementos y permitirá que el sistema funcione de manera cohesionada, facilitando así la comunicación y el procesamiento de datos entre la tarjeta y el dispositivo móvil.

El desarrollo del aplicativo móvil implica la creación de una interfaz diseñada con la premisa de adquirir datos de temperatura y coordenadas, al tiempo que se asegura una distribución adecuada de los elementos, incluyendo los botones necesarios para permitir una conexión fluida con el dispositivo como se evidencia en la figura 5.

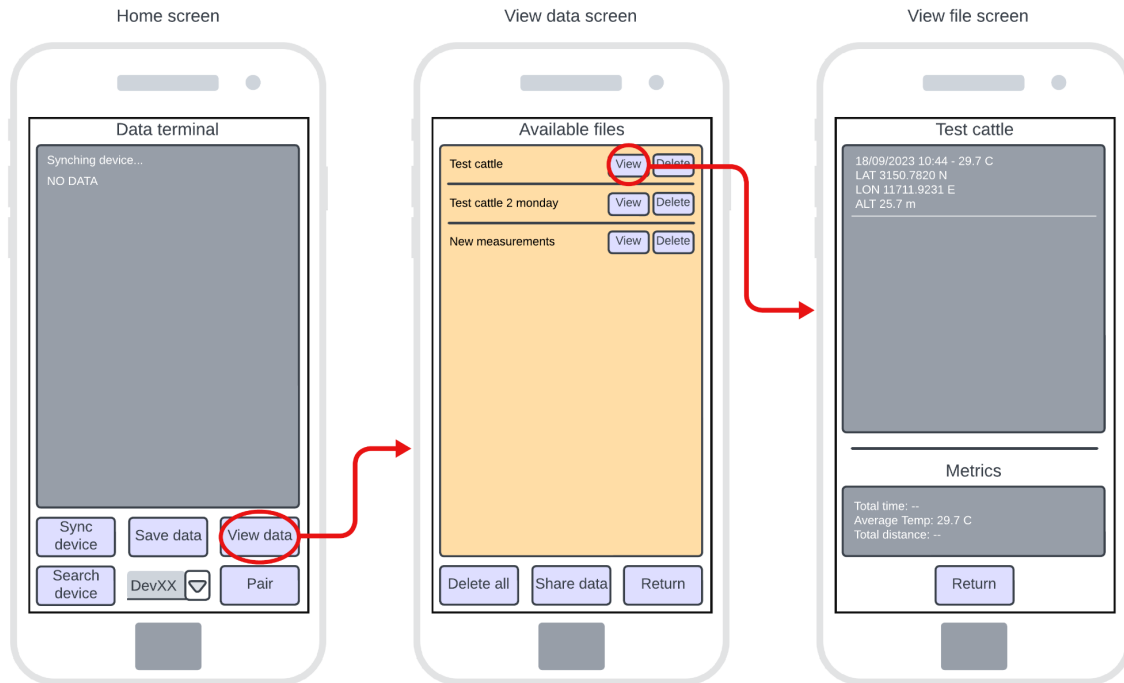


Figura 5. Diagrama de funcionamiento del aplicativo móvil [autoría propia]

Por consideraciones éticas, se estableció que el prototipo no debía ser sometido a pruebas en animales sin la supervisión de un médico veterinario especializado en ganadería. A pesar de los esfuerzos por contar con la asistencia de un veterinario, lamentablemente no fue posible conseguirlo en ese momento.

Dado este contexto, las pruebas iniciales se llevaron a cabo utilizando un perro doméstico como sustituto. Posteriormente, se logró demostrar que el sensor de temperatura se comportaba de manera adecuada en la piel del ganado a través de pruebas realizadas por el propietario del semoviente, lo que proporcionó datos valiosos sobre el rendimiento del dispositivo en condiciones reales.

Con los resultados de estas pruebas y la validación de la efectividad del sensor, se procedió al diseño de la placa electrónica teniendo en cuenta los diagramas realizados y corregidos durante el periodo de prueba, considerando cuidadosamente las dimensiones de cada uno de los componentes para garantizar un diseño compacto y funcional.

Con los resultados obtenidos, se procedió a diseñar la placa en la que se contemplaría el tamaño de cada uno de los componentes. Es importante destacar que, dado que se trata de un prototipo, se prevé que su tamaño deberá ser reducido para su uso en animales de ganado sin comprometer su funcionalidad. En la figura 6 se detalla el diseño de la placa, mostrando el posicionamiento de la batería, módulo GPS en la parte superior, y el sensor infrarrojo y placa de desarrollo en la parte inferior.

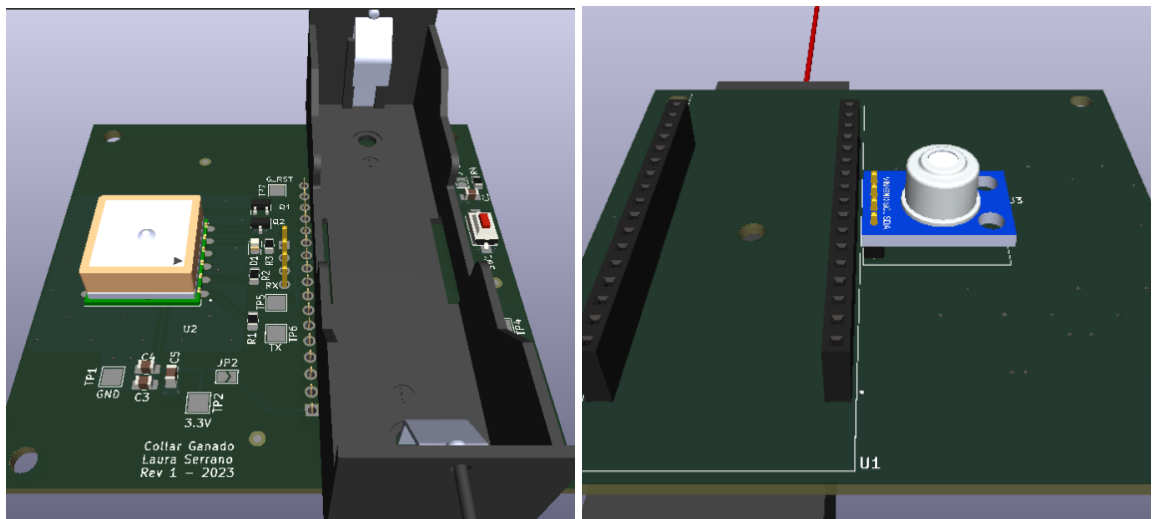


Figura 6. Diseño de placa [autoría propia]

Para concluir, se llevó a cabo el diseño de una caja que permitiría alojar la placa electrónica y protegerla durante las pruebas de funcionamiento. El objetivo principal de esta caja era prevenir cualquier daño o deterioro que pudiera afectar el rendimiento del prototipo durante las pruebas. La caja proporciona un entorno seguro para el dispositivo y garantiza que las pruebas se realicen de manera controlada y segura, contribuyendo así al éxito del proyecto. (los planos completos son visibles en anexos).

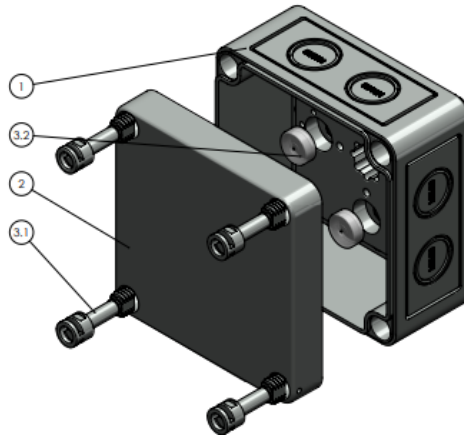


Figura 7. Diseño de case para el prototipo [Autoría propia]

3.3. Descripción Técnica del Producto

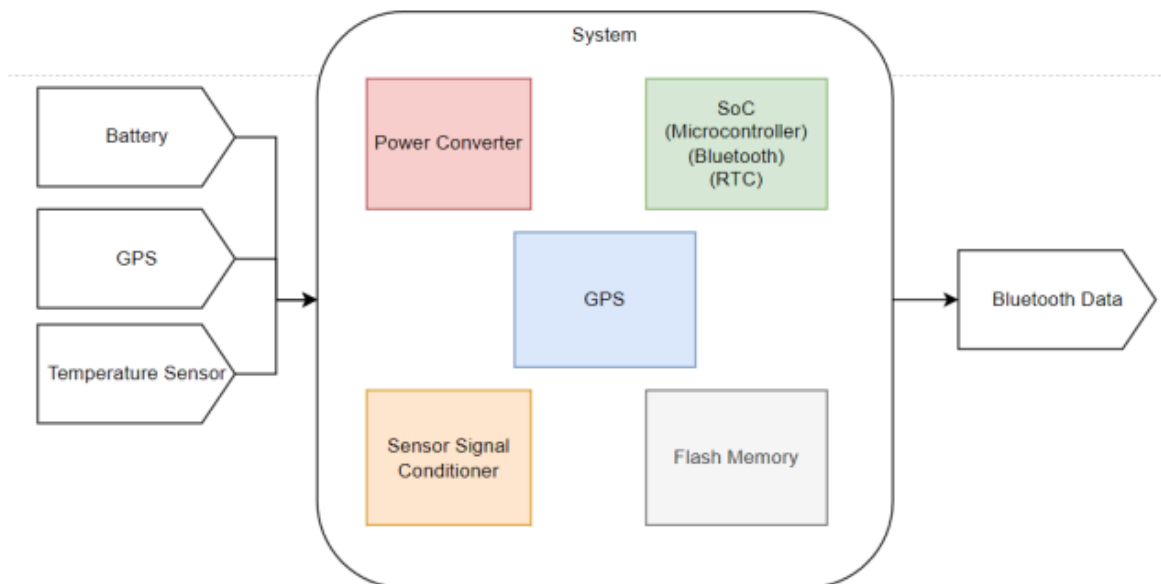


Figura 8. Diagrama de bloques general [Autoría propia]

El funcionamiento completo del prototipo se detalla de manera integral a través de un diagrama de bloques como se visualiza en la figura 8. En este diseño, se consideran los componentes de entrada clave, que incluyen la batería, el GPS y el sensor de temperatura. Estos componentes iniciales aportan los datos fundamentales para el sistema.

En la fase intermedia del proceso, se concentra el procesamiento de estos datos, que son adquiridos y almacenados en la memoria flash. Aquí, se lleva a cabo la gestión de la energía que cada componente obtiene de la batería y se realiza la conversión necesaria para asegurar una interpretación precisa de los datos.

Finalmente, como resultado del proceso, se obtiene la información que será transmitida a través del módulo de Bluetooth. Esto permite la comunicación efectiva entre el prototipo y la aplicación móvil correspondiente, posibilitando así la transmisión directa de datos desde el dispositivo al aplicativo móvil para su posterior análisis y utilización. Este diagrama de bloques proporciona una visión clara y completa del flujo de datos y energía dentro del prototipo, permitiendo un entendimiento más profundo de su funcionamiento global.

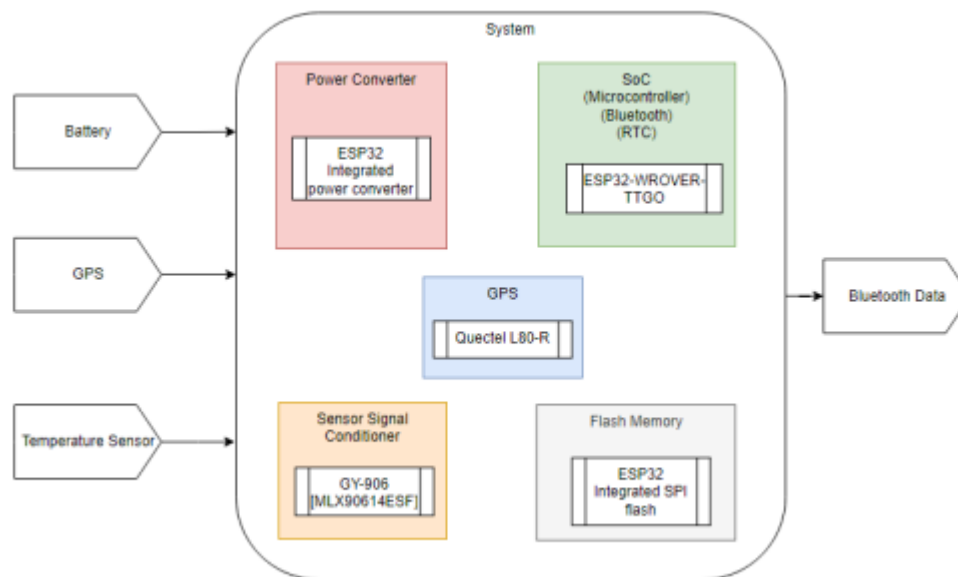


Figura 9. Diagrama de bloques con componentes establecidos [Autoría propia]

El ESP32, incorpora un Power Converter y una memoria flash en su diseño. El primero es responsable de administrar la energía eléctrica proporcionada al dispositivo, regulando la tensión de entrada para garantizar un suministro de energía constante y adecuado. Esto permite que el ESP32 funcione de manera eficiente y confiable, incluso con fuentes de energía variables.

En cuanto a la memoria flash, el ESP32 utiliza una memoria de almacenamiento no volátil para conservar datos y programas. Esta memoria es esencial para almacenar el firmware del dispositivo y otros datos importantes. La memoria flash en el ESP32 es re-programable y permite la actualización del software del dispositivo, lo que lo hace ideal para la aplicación móvil ya que requiere flexibilidad y capacidad de actualización.

El SoC del ESP32-WROVER-TTGO incluye un procesador de doble núcleo Xtensa LX6, el cual permite la conectividad WiFi y Bluetooth.

El GPS Quectel L80-R es un módulo GPS ultra compacto con una antena de parche incorporada. Ofrece un alto rendimiento tanto en la adquisición como en el seguimiento de señales GPS. Este módulo se usa para rastrear geoespacialmente el movimiento del ganado y obtener su posición en tiempo real.

El sensor signal conditioner del GY-906 es un acondicionador de señal utilizado para mejorar y procesar las señales térmicas captadas por el sensor infrarrojo MLX90614ESF, permitiendo una medición precisa de la temperatura sin contacto.

El proyecto se caracteriza por su proceso de toma de decisiones y tareas interconectadas como se muestra en la máquina de estados. Al iniciar el sistema, verifica si está vinculado a un dispositivo móvil y procede a vincularse con la fecha y hora correctas, manteniendo esta conexión hasta que se apague. El sistema cuenta con dos opciones para activarse: después de 30 minutos de espera, durante los cuales no toma datos, o mediante el botón de activación.

Si se inicia el sistema y ya está vinculado al móvil, se consulta si se activó mediante el botón. Si es así, el dispositivo se sincroniza con la aplicación móvil, envía los datos a través de Bluetooth y guarda la información antes de volver al reposo. Si no se presionó el botón, se verifica si han pasado los 30 minutos. Si no, se almacenan los datos y el dispositivo vuelve al reposo. Si han transcurrido 30 minutos, se registra la fecha y hora, se activa el GPS y se almacenan las coordenadas exactas. Además, se capturan los datos de temperatura, incluyendo la temperatura máxima, mínima y actual en el momento de la toma.

MAIN STATE MACHINE

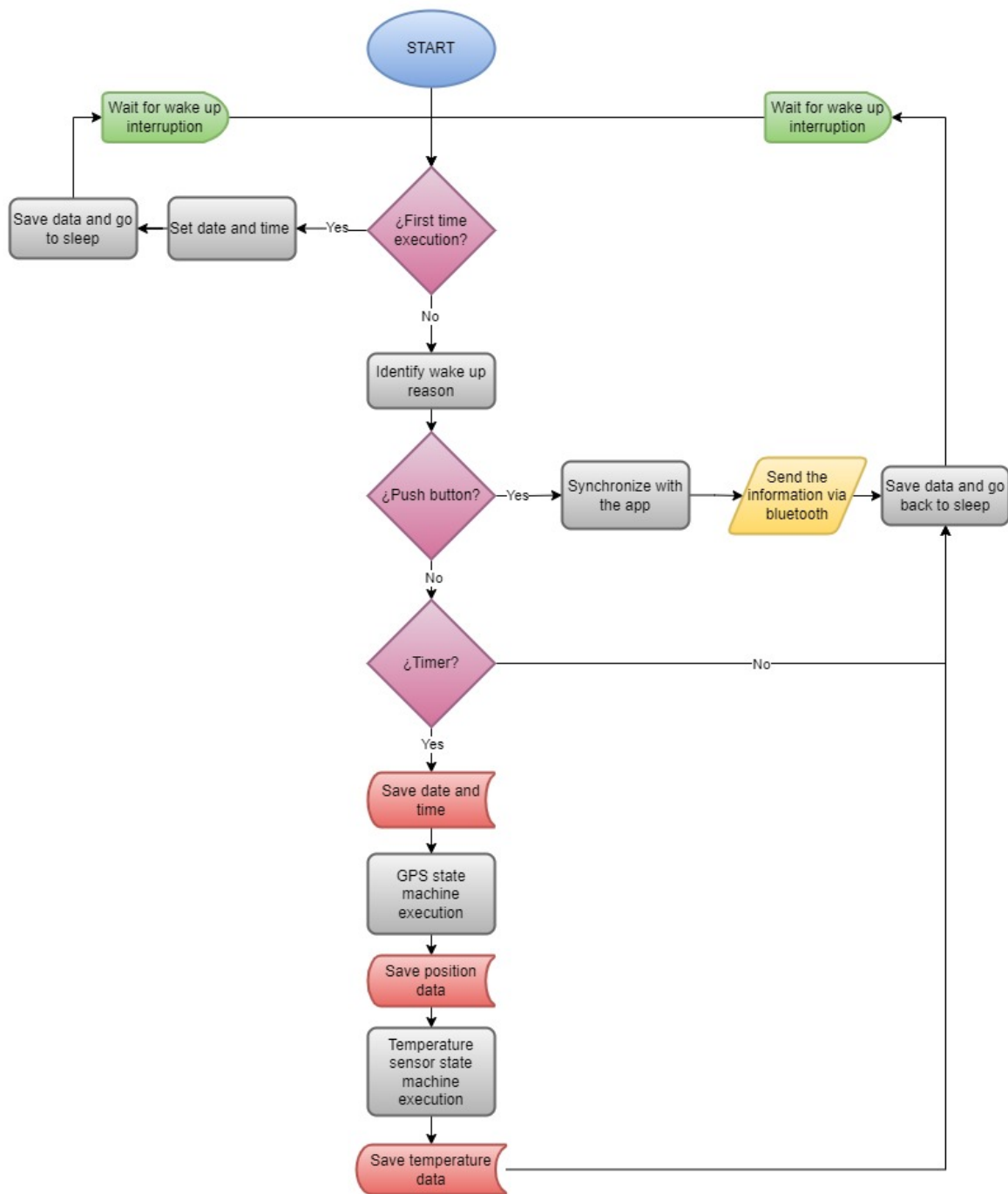


Figura 10. Máquina de estados [Autoría propia]

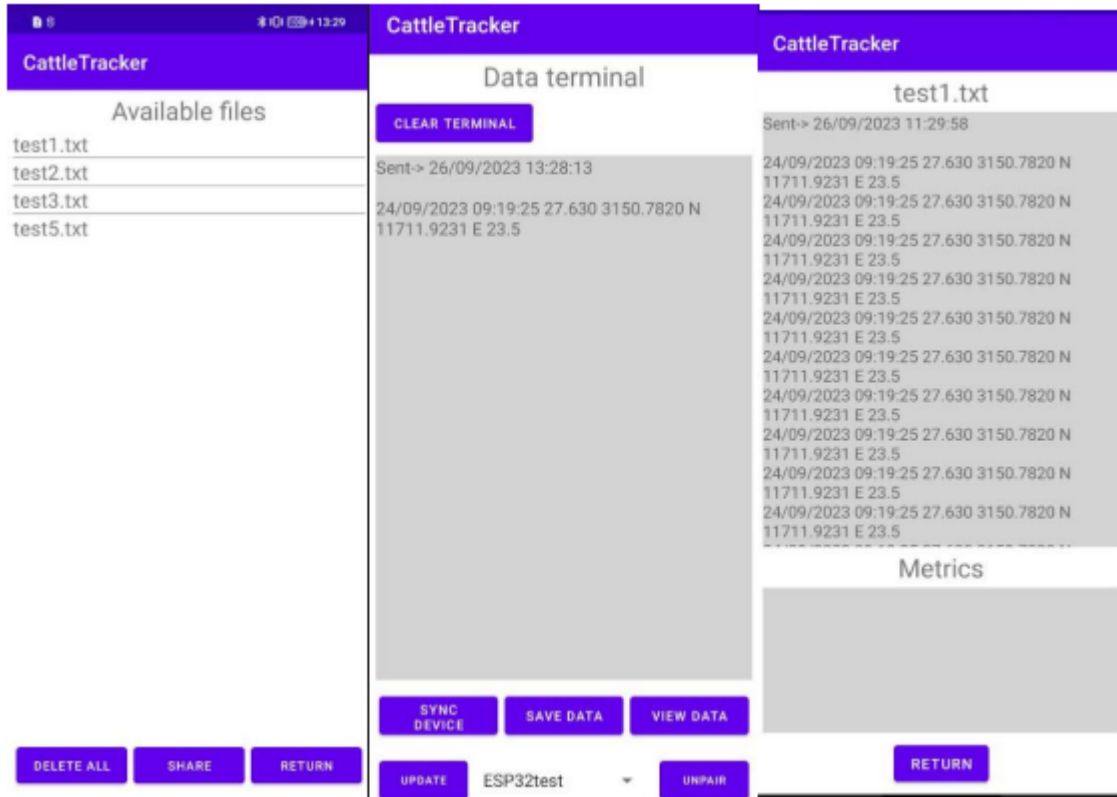


Figura 11. Prueba de funcionamiento del aplicativo móvil. [Autoría propia]

Cuando los datos son enviados al aplicativo, se incluye información detallada que abarca la fecha, hora, temperatura y posición exacta del animal en el momento en que se encendió el sistema como se evidencia en la figura 11. Esta información es esencial para rastrear y determinar con precisión el movimiento del animal dentro del hato de ganado, utilizando el conteo de geolocalización como referencia.

Una vez completadas las pruebas de funcionamiento y calibración de los componentes para asegurar su correcto desempeño, se inicia el análisis para determinar la mejor opción de alimentación. En este sentido, se ha optado por utilizar una batería recargable con tecnología de litio. Esta batería ofrece un voltaje de salida de 3.7V y una capacidad real de 3500mAh.

Las conexiones realizadas para el dispositivo y la programación correspondiente se detallan en los anexos ubicados al final del libro.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presenta el resultado integral de un dispositivo completamente funcional y portátil, que logra transmitir los datos de manera satisfactoria a la aplicación móvil.

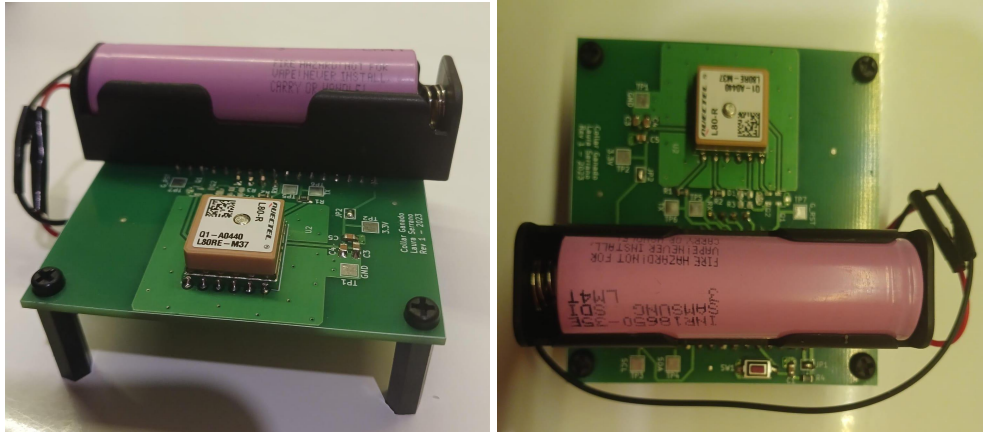


Figura 12. Prototipo físico (Módulo GPS)

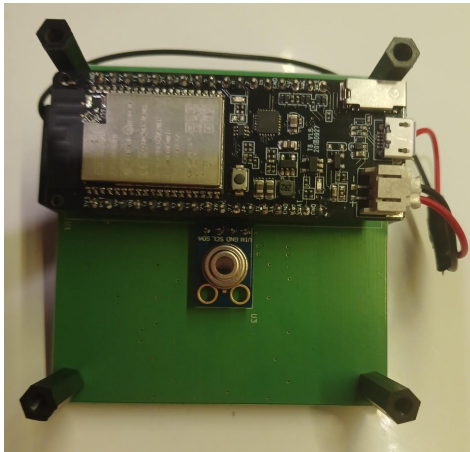


Figura 13. Prototipo físico (Modulo Bluetooth y sensor de temperatura)

Se ha realizado un análisis del comportamiento de la corriente y el voltaje del dispositivo, y se ha observado que cuando el dispositivo está recopilando datos, la corriente se duplica en comparación con el estado de reposo del dispositivo.

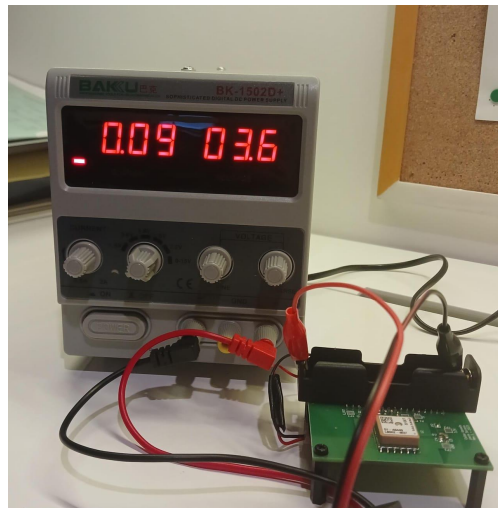


Figura 14. Voltaje y corriente de dispositivo en reposo

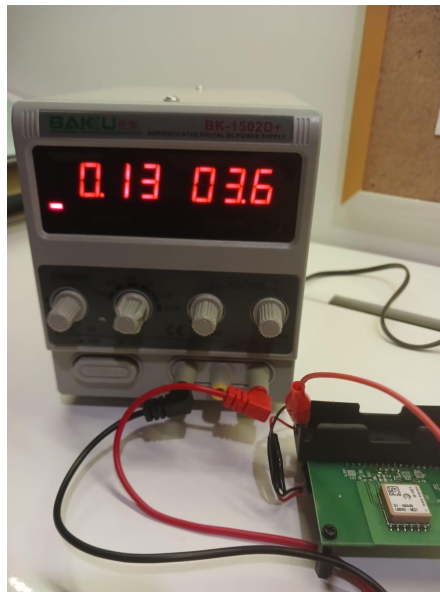


Figura 15. Voltaje y corriente en adquisición de datos

Tabla 4. Pruebas de funcionamiento con batería

Measure Cycle							
Task	Current min (mA)	Current max (mA)	Average current (mA)	Time min (s)	Time max (s)	Percent Time	Total Average Current (mA)
Sleep	20,88	29,28	25,08	1800,00	1800,00	0,814	20,42
Data Acquisition	74,20	78,80	76,50	7,00	10,00	0,005	0,35
Data Acquisition	80,00	85,00	82,50	1,00	395,00	0,179	14,74
Send Data	75,00	144,00	109,50	6,25	6,25	0,003	0,31
Total				1814,25	2211,25	1,000	35,81
Time (min)				30,238	36,85417	Total Average Power (W)	132,49
						Time between recharge (h)	68,42

Para garantizar una elección informada, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas de consumo energético del dispositivo. Estas pruebas permitieron detallar con precisión el nivel de consumo, lo que facilita la selección adecuada de la batería y asegura un suministro de energía óptimo para el funcionamiento continuo y fiable del dispositivo.

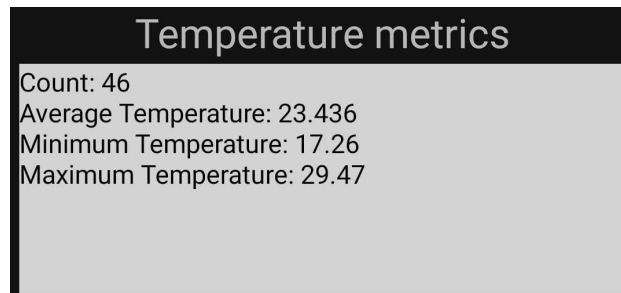


Figura 16. Métricas de temperatura

Las mediciones se llevan a cabo de forma autónoma en intervalos de 30 minutos. Cada dato se almacena en la memoria flash del dispositivo y puede visualizarse mediante una conexión Bluetooth con el dispositivo de lectura. Esta conexión proporciona información detallada sobre el semoviente. Una vez que se ha completado la adquisición de datos, se genera una tabla que muestra la temperatura máxima, mínima y promedio durante el período de medición.

Se tiene en cuenta que los datos de ubicación GPS se presentan en formato de coordenadas DMM , que se expresan en grados, minutos decimales.

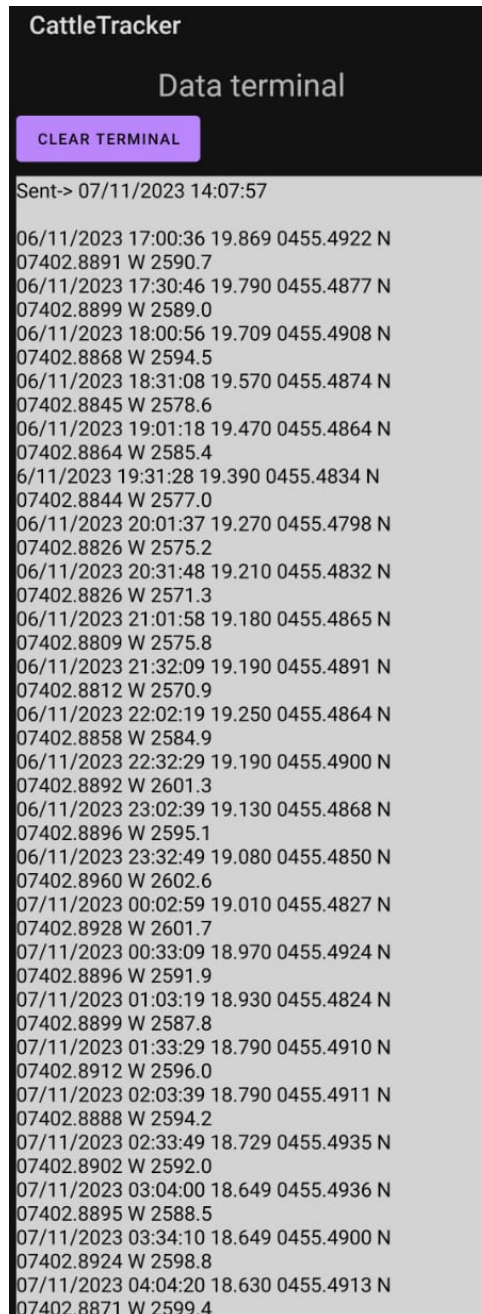


Figura 17. Adquisición de datos en la aplicación

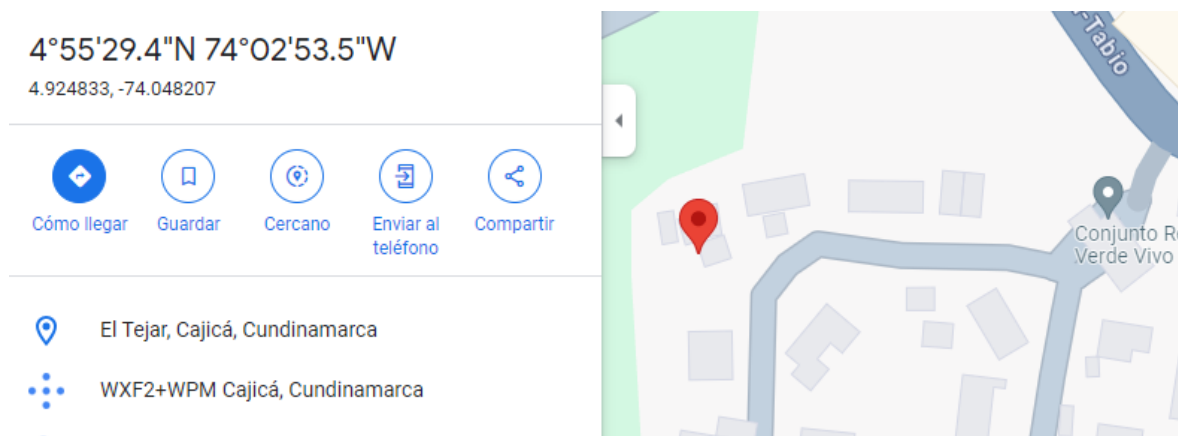


Figura 18. Comprobación de Coordenadas dadas por el dispositivo

5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema que tiene la capacidad de efectuar mediciones precisas de temperatura a través de un sensor infrarrojo, y de rastrear la actividad de los animales mediante un módulo GPS, lo que permite el análisis individual del comportamiento de cada vaca en el rebaño. Esto proporciona la oportunidad de comprender la correlación entre el comportamiento de los animales y su estado de salud.

La integración de conectividad Bluetooth en este sistema representa un avance significativo en la recopilación y gestión de datos, al brindar una eficiente transferencia de información desde la memoria flash y habilitar una interacción fluida a través de una aplicación móvil. Esta característica promueve una comunicación más directa y eficaz entre el sistema y sus usuarios, mejorando la usabilidad y la utilidad de la tecnología implementada.

La implementación de bases de datos dedicadas a la recopilación y almacenamiento de datos históricos para cada cliente representa un componente esencial de este sistema. Esta característica permite la construcción gradual de un historial médico individual para cada animal, conforme se registran y acumulan datos a lo largo del tiempo. La disponibilidad y accesibilidad de esta información enriquece la toma de decisiones clínicas, ya que proporciona una visión actualizada de la salud y el bienestar de cada animal. Finalmente, esta capacidad de generar y mantener historiales contribuye a la mejora de la calidad de la atención veterinaria y, por ende, el bienestar de los animales.

El prototipo ha demostrado cumplir con éxito los objetivos establecidos, ofreciendo una solución integral que combina mediciones precisas de temperatura y seguimiento del movimiento con una conectividad efectiva y la capacidad de generar registros médicos personalizados para el ganado. Este avance representa un paso significativo hacia una gestión más eficiente y efectiva en la industria ganadera.

Este trabajo de grado presenta un primer paso en la propuesta de soluciones para la industria ganadera en Colombia. A través del diseño de un prototipo, se destaca la oportunidad de proporcionar a los ganaderos un mayor control y automatización en la gestión del ganado, mejorando la trazabilidad y la toma de decisiones respecto a la salud animal. El prototipo desarrollado, establece bases para futuras investigaciones y desarrollos, ya que la continua adaptación y mejora de esta tecnología puede permitir aumentar la productividad y rentabilidad de los ganaderos colombianos.

6. RECOMENDACIONES

Para futuros proyectos, es aconsejable tener en cuenta diversos factores, como los cambios climáticos en diferentes regiones del país, dado que estos pueden tener un impacto importante en la recopilación de datos, dado que la humedad ambiental tiende a variar con la altitud. Por lo tanto, resulta esencial adaptar el sistema a las condiciones particulares de cada ubicación.

Además, se recomienda proceder con el diseño de un dispositivo más compacto. Esta medida es crucial para mejorar la utilidad y practicidad del sistema en el contexto de la ganadería. La ganadería a menudo implica la movilidad de los animales y la necesidad de monitorear su comportamiento en diversas ubicaciones dentro de una finca o terreno. Un diseño más compacto facilitará su implementación y manejo en el campo, lo que resultará en una herramienta más efectiva para el seguimiento y análisis del ganado.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RA Arias, TL Mader, PC Escobar, «Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche». Escuela de agronomía, facultad de recursos naturales, universidad católica de Temuco Chile 2008.
- [2] Roa Kevin, Rojas Luis, «Sistema electrónico para monitoreo de bovinos hembra en su ciclo estral». Universidad católica de Colombia. 2019, p55.
- [3] Nedap, Control de vacas Nedap. Países Bajos 2004.
- [4] C-Sense™ Flex tag - Sistema de vigilancia para vacas by Milkline NG SpA | AgriExpo. AgriExpo - The B2B marketplace for agricultural equipment.
- [5] «Estas tecnologías de punta en lechería permiten tomar mejores decisiones». Contexto ganadero, Colombia marzo 2023.
- [6] «5 sensores que monitorean el comportamiento de las vacas». Contexto ganadero, Colombia
- [7] Etiqueta Ceres Tag, Taiwán 2022.
- [8] Ganadería y software, collar para ganado. Agroshow, Alta Ciale, Argentina
- [9] Brender Tag System, ¿que es el Brender Tag? España
- [10] Powering a sustainable dairy industry, Peacock Technology. Reino Unido 2019.
- [11] Ganadería de precisión y collares inteligentes, Ciencia y tecnología Super Campo. Argentina 2018.
- [12] Chavez Guzman, Guillermo Enrique, «Sistema basado en internet de las cosas para el monitoreo de ganado vacuno usando una red lorawan». Universidad Javeriana, Colombia 2021.
- [13] Vasquez Walter, Zuñiga Fabián, «Tecnologías inalámbricas de corto alcance: ZigBee, Bluetooth». Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador 2006.
- [14] Perez Stefany, Redondo Maria A «Diseño de prototipo de dispositivo con tecnología bluetooth (D.A.B) para transferencia de datos - Fase módulo comunicación », p20, 2012.
- [15] Lannegrand Ricardo, «Estudio de tecnología de comunicación de campo cercano, NFC», Universidad politécnica de Madrid, España 2017.

- [16] Giráldez Luque, Rafael Jose, «Modelado de retardo de transmisión en Bluetooth 2.0 + EDR », Universidad de Málaga, España 2010.
- [17] Romero Elena, «Cognitive strategies for reducing energy consumption in wireless sensor networks», Universidad politécnica de Madrid, España 2015.
- [18] Guandique Diego, Vargas Lopez, Salvador Josue, «Manual técnico para el levantamiento geodésico con GPS de una frecuencia aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) utilizando un modelo geoidal y su análisis comparativo con levantamiento topográfico con estación total», Universidad del Salvador, Salvador 2015.
- [19] Manzano Francisco, García Teófilo, «Evaluación de equipos GPS para levantamientos planimétricos en actuaciones forestales», Universidad de la Rioja, Logroño España 1997.
- [20] Arias R, Mander T, Escobar P, «Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche», Universidad Católica de Temuco, Chile 2008.
- [21] Flores Magaly, «El termómetro infrarrojo como alternativa de medición de temperatura corporal en vacas lecheras», Universidad científica del sur, Lima Perú 2020.
- [22] En línea: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MLX90614.pdf>
- [23] En línea:
https://www.quectel.com/wp-content/uploads/pdfupload/Quectel_L80-R_GPS_Specificatio_n_V1.2.pdf
- [24] En línea:
<https://rumiantes.com/sensores-aplicados-a-la-monitorizacion-de-la-actividad-ruminal/>

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DE INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA

ANEXO B: DIAGRAMAS DE IMPRESIÓN DE TARJETA ELECTRÓNICA

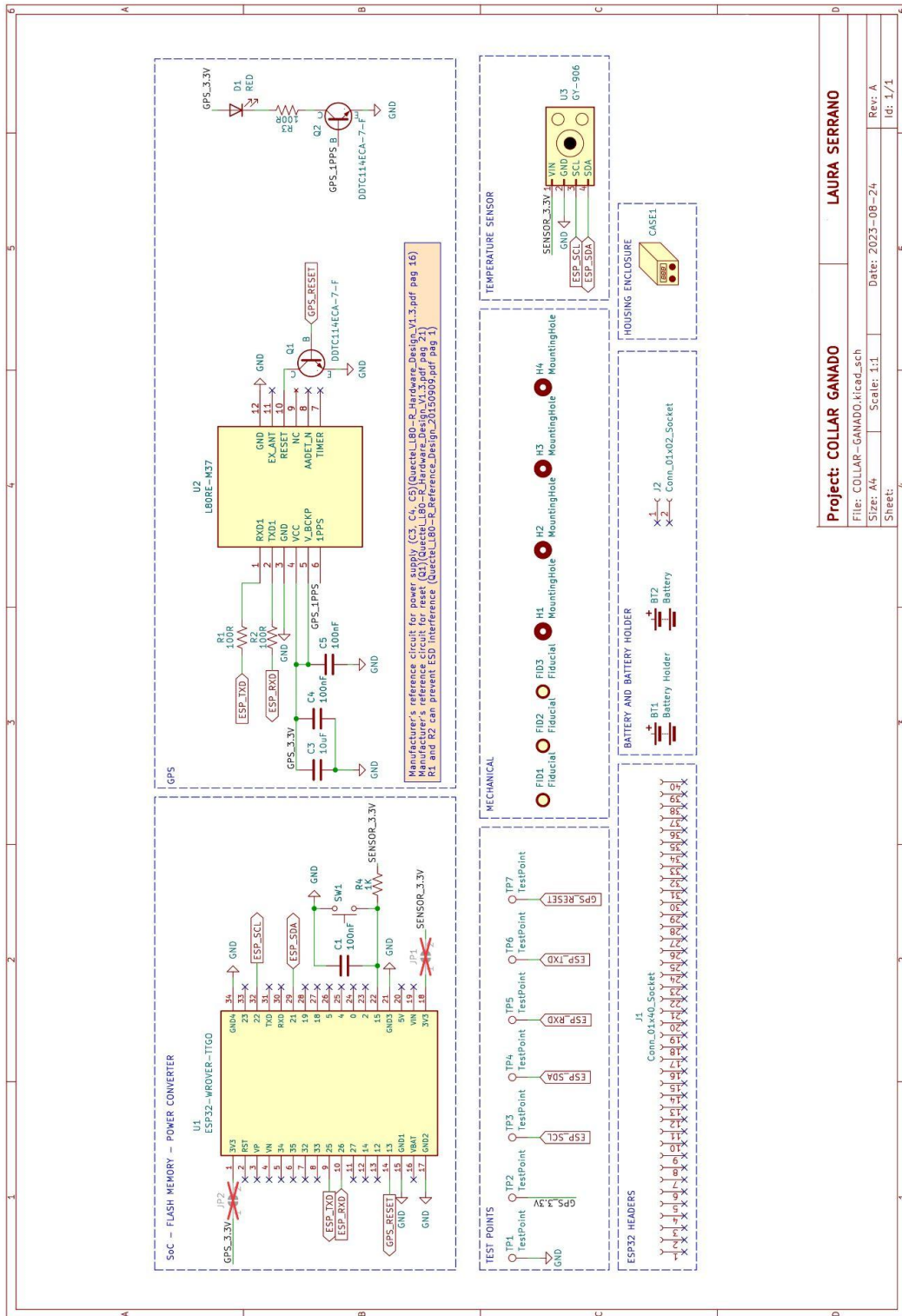
ANEXO C: PLANOS DE ENSAMBLAJE 3D

ANEXO D: LISTADO DE PARTES Y COMPONENTES

ANEXO E: CÓDIGO FUENTE DE PROGRAMACIÓN

ANEXO F: RECONOCIMIENTOS DEL PROYECTO

ANEXO A



Project: COLLAR GANADO		LAURA SERRANO	
File: COLLAR-GANADO.kicad_sch	Date: 2023-08-24	Rev: A	Id: 1/1
Size: A4	Scale: 1:1		
Sheet:			

Figura 19. Planos de conexión del circuito

ANEXO B

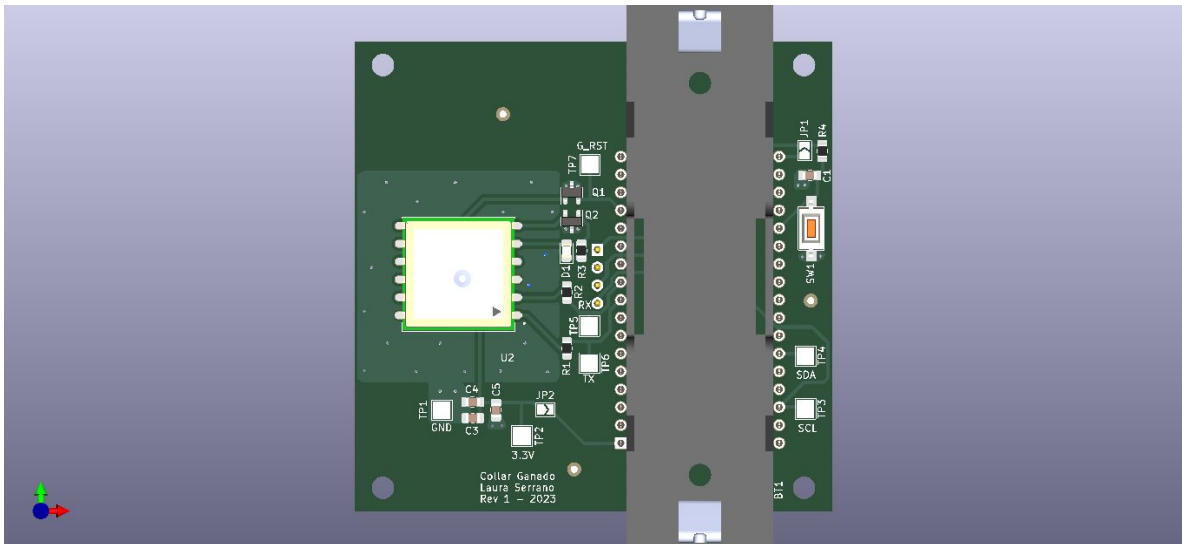


Figura 20. Visualización de placa desde arriba

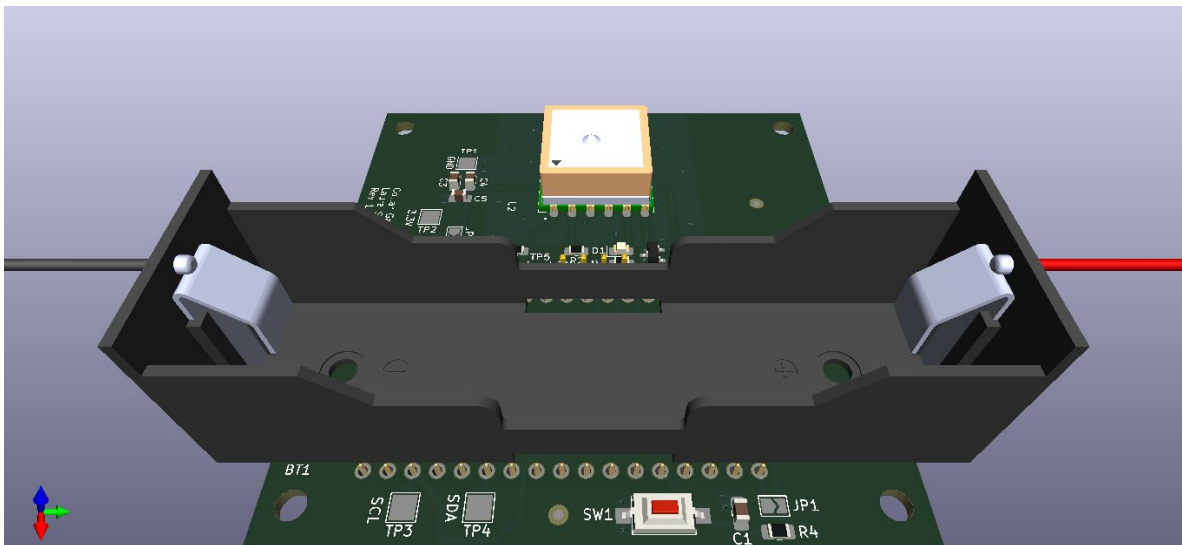


Figura 21. Visualización de placa de lado

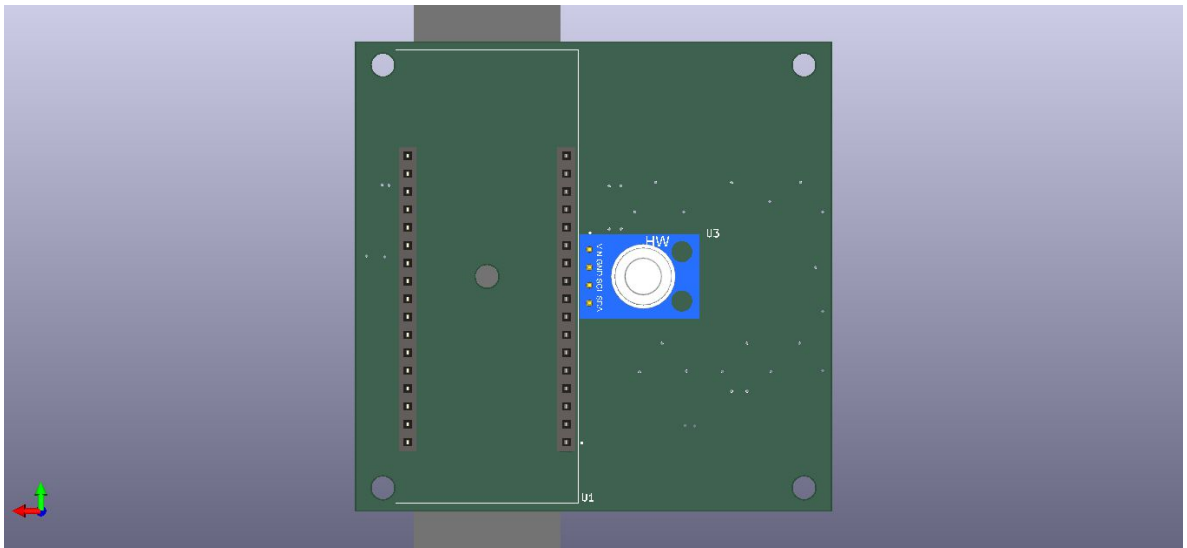


Figura 22. Visualización de placa desde abajo

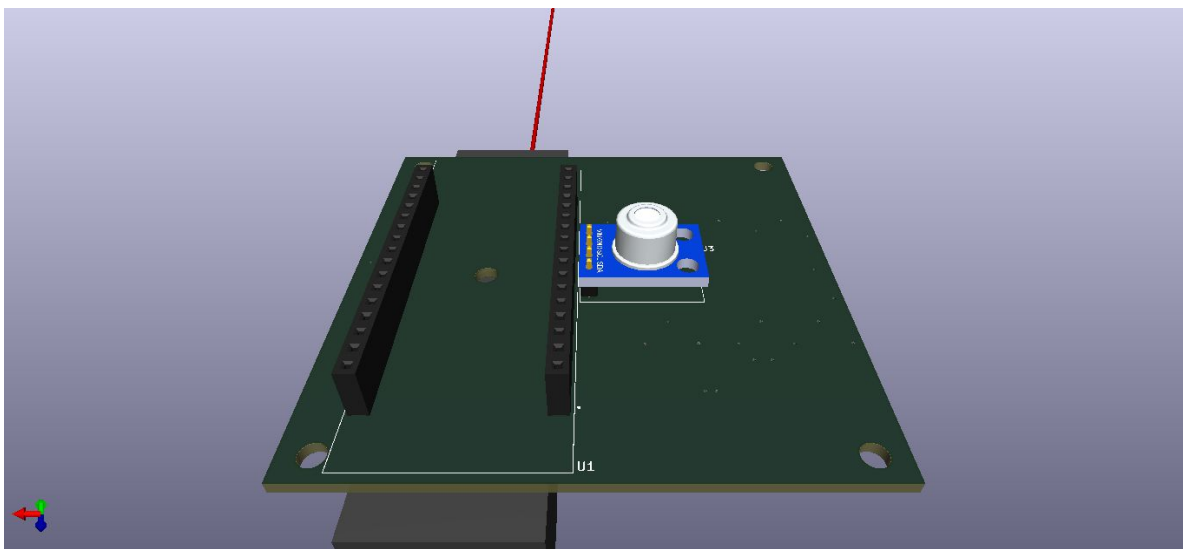


Figura 23. Visualización de placa desde abajo y lateral

ANEXO C

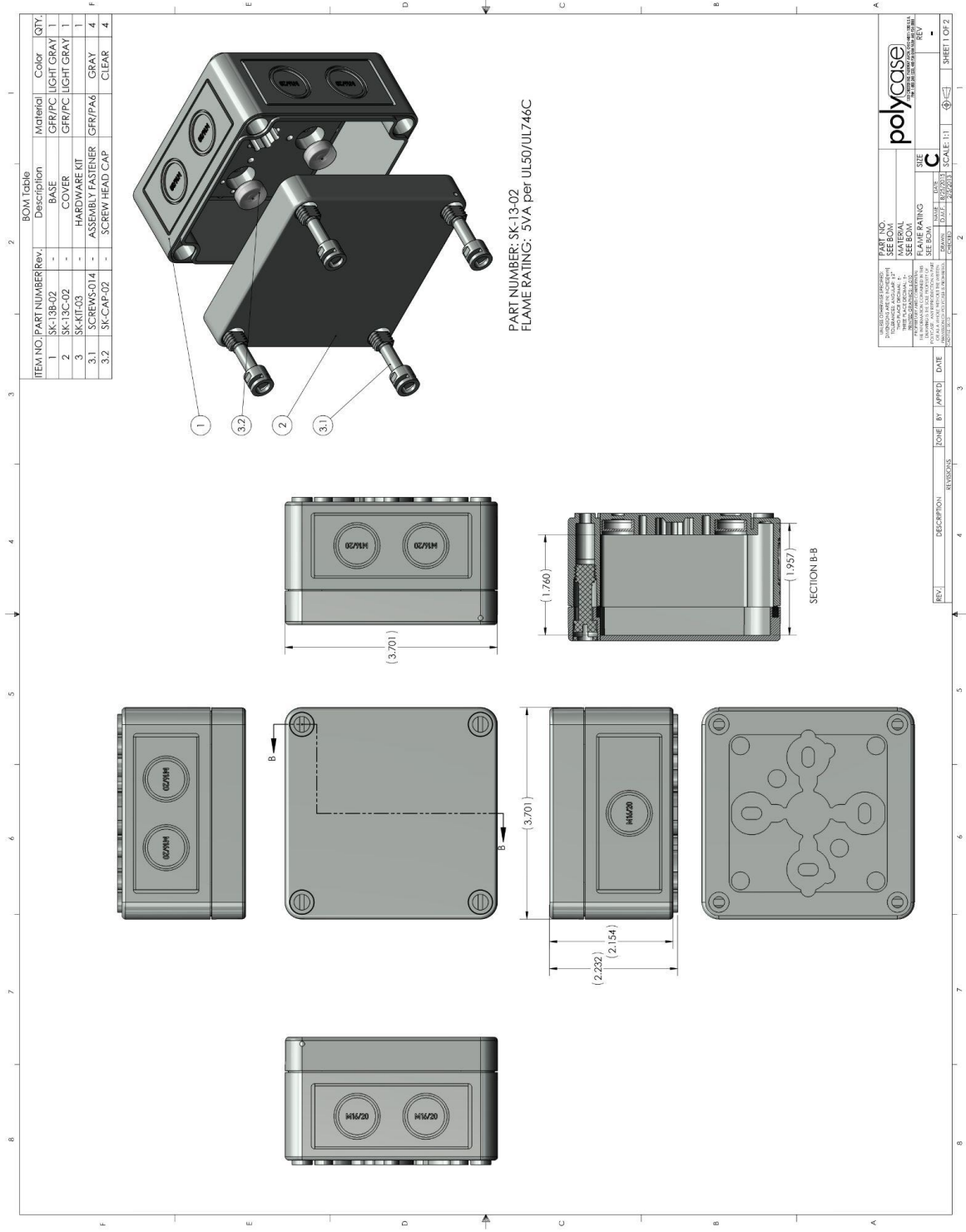
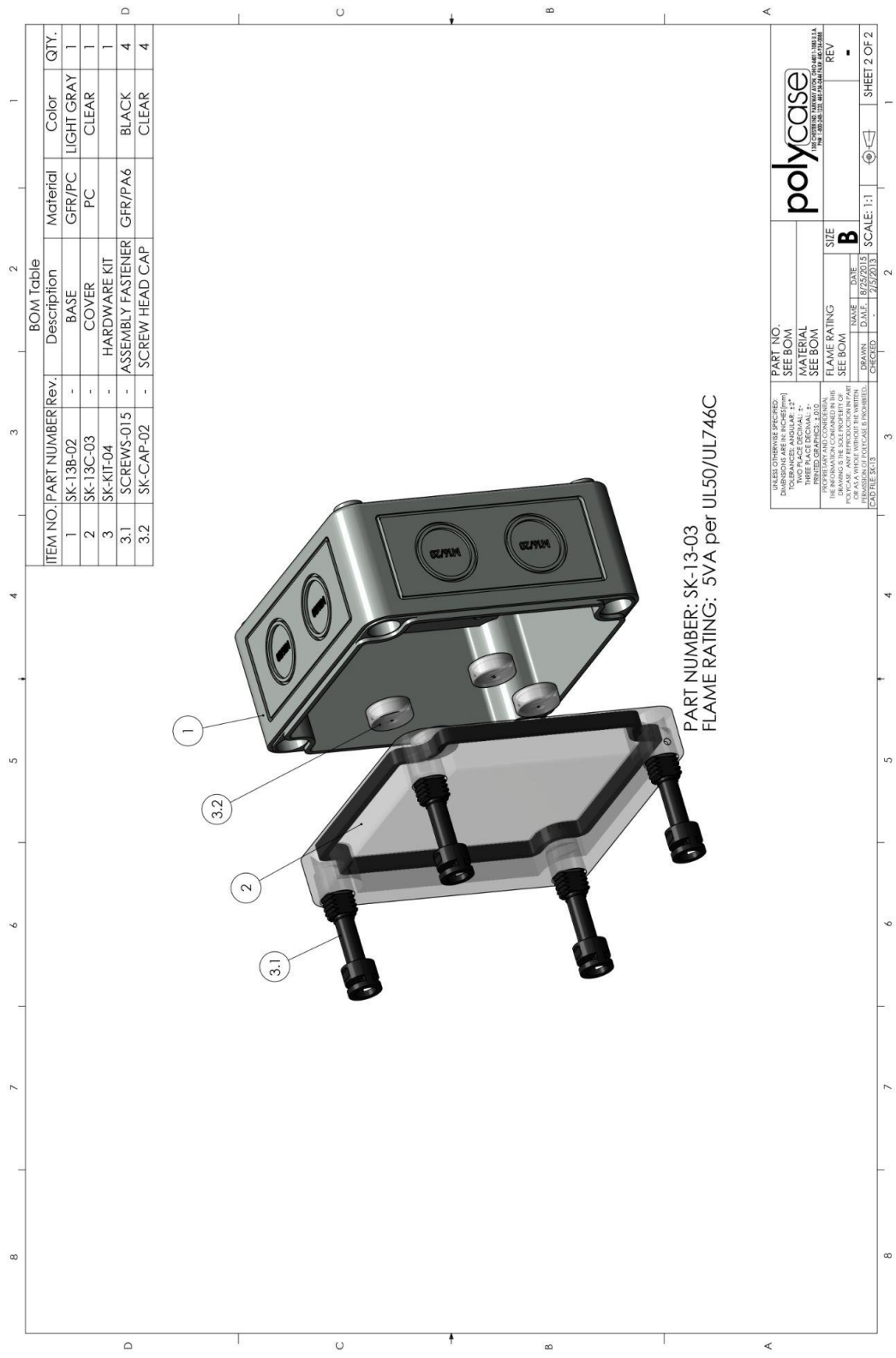


Figura 24. Planos de case.



BOM Table

ITEM NO.	PART NUMBER	Rev.	Description	Material	Color	QTY.
1	SK-13B-02	-	BASE	GFR/PC	LIGHT GRAY	1
2	SK-13C-03	-	COVER	PC	CLEAR	1
3	SK-KIT-04	-	HARDWARE KIT			1
3.1	SCREWS-015	-	ASSEMBLY FASTENER	GFR/PA6	BLACK	4
3.2	SK-CAP-02	-	SCREW HEAD CAP		CLEAR	4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN: INCHES (mm) TOLERANCES ARE: ±0.005 (0.127) ±0.002 (0.051) DIMENSIONS ARE IN: INCHES (mm) TOLERANCES ARE: ±0.005 (0.127) ±0.002 (0.051)	PART NO. SEE BOM	DATE 8/25/2015	SCALE: 1:1	SHEET 2 OF 2
TWO PLACE DECIMAL: ±0.01 (0.254) THREE PLACE DECIMAL: ±0.005 (0.127)	MATERIAL SEE BOM	MAKE 8/25/2015	SCALE: 1:1	SHEET 2 OF 2
FOR PRELIMINARY AND CONCEPTUAL DESIGN ONLY. THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF POLYCOSE AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR COPIED IN ANY MANNER WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF POLYCOSE & POLYHUBS.	FLAME RATING SEE BOM	DRAWN BY 8/25/2015	SCALE: 1:1	SHEET 2 OF 2
	SIZE B	CHECKED BY 8/25/2015	SCALE: 1:1	SHEET 2 OF 2

Figura 25. Plano de case y tapa

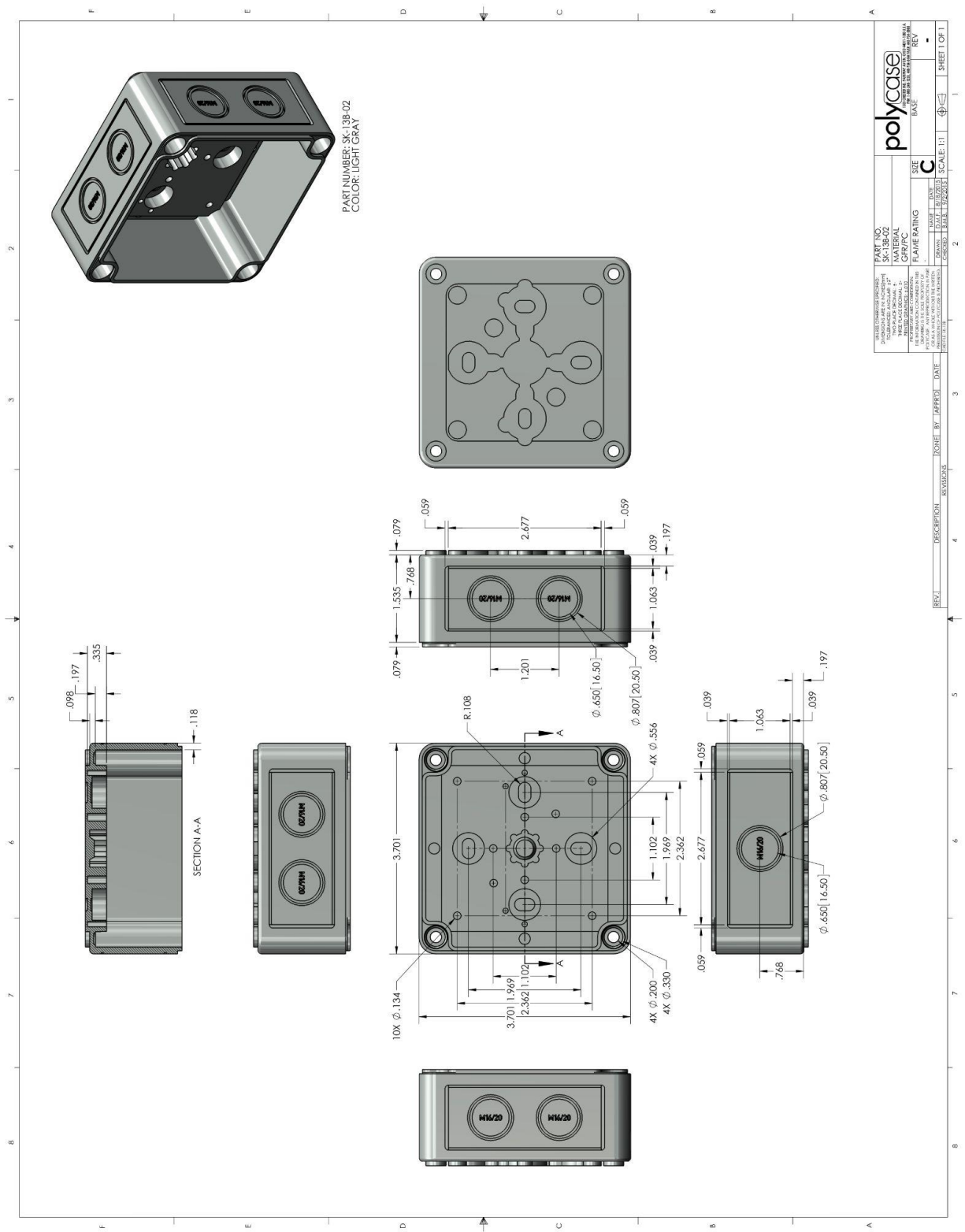


Figura 26. Planos de case con dimensiones.

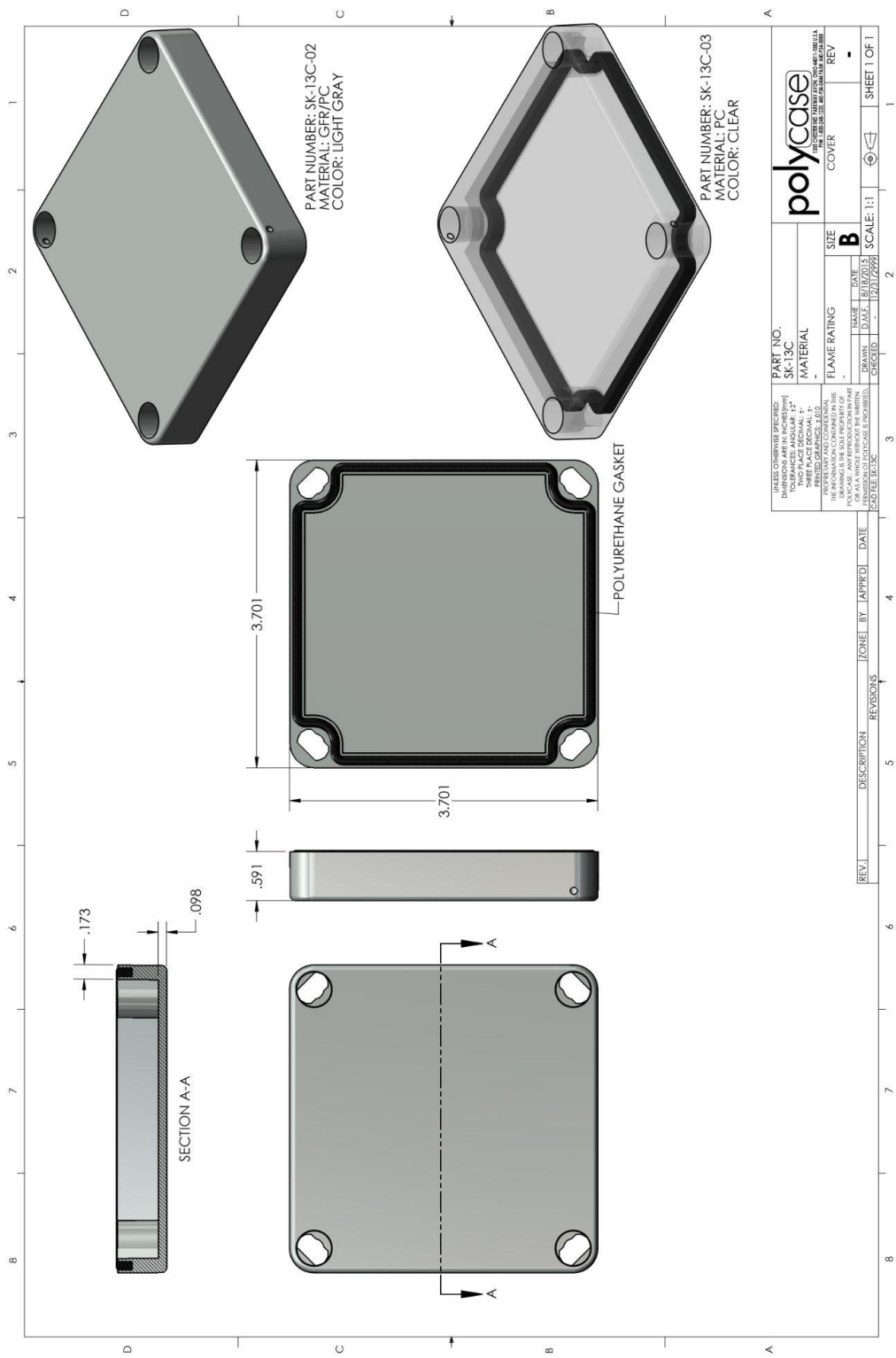


Figura 27. Planos de tapa de case.

ANEXO D

Tabla 5. Listado de componentes.

Ref	Qty	Value	Footprint	Datasheet	Description	SPN
BT1	1	Battery Holder	Battery:BatteryHolder_MPD_BH-18650-PC2	Unknown	Portapilas que alberga 1 batería de litio 18650	BASE-BAT-18650X1
BT2	1	Battery	Battery:BatteryHolder_MPD_BH-18650-PC2	Unknown	Batería recargable con tecnología de ion litio, Voltaje de salida 3.7V, 3500mAh reales.	TR-18650-3.7V-3500MA
C1, C4, C5	3	100nF	Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder	Unknown	Capacitor cerámico 0.1uF encapsulado 0805 50V. De montaje superficial (SMD).	CC0805-0.1U-50
C3	1	10uF	Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder	Unknown	Capacitor cerámico de 10uF, 16V, encapsulado 0805 (2012). De montaje superficial (SMD).	CL21A106K OQNNNG
CASE1	1	~		Unknown	SK-13 Enclosure with Knockouts	SK-13-02
D1	1	RED	LED_SMD:LED_0805_2012Metric_Pad1.15x1.40mm_HandSolder	Unknown	LED de montaje superficial color rojo empacquetado 0805	LED_0805_R
J1	1	Conn_01x40_Socket	Connector_PinSocket_2.54mm:PinSocket_1x40_P2.54mm_Vertical	Unknown	Conector header hembra de 40 posiciones separadas 2.54mm. (0.1")	HD40P-H
J2	1	Conn_01x02_Socket		Unknown	Conector hembra JST de 2.0mm de separación y dos posiciones	JST-PH2.0-2P-F

Q1, Q2	2	DDTC 114E CA-7- F	Package_TO_SOT_SM D:SOT-23	Unknown	Transistor NPN con polarizacion predefinida (pre-Biased) 200mW encapsulado: SOT23-3	DDTC114EC A-7-F
R1, R2	2	100R	Resistor_SMD:R_0805_ 2012Metric_Pad1.20x1. 40mm_HandSolder	Unknown	Resistencia superficial encapsulado 0805	RS-100R-08 05
R3	1	100R	Resistor_SMD:R_0805_ 2012Metric_Pad1.20x1. 40mm_HandSolder	Unknown	Resistencia superficial encapsulado 0806	RS-100R-08 06
R4	1	1K	Resistor_SMD:R_0805_ 2012Metric_Pad1.20x1. 40mm_HandSolder	Unknown	Resistencia superficial encapsulado 0805	RS-1K-0805 -1%
SW 1	1	~	Button_Switch_SMD:S W_SPST_CK_RS282G0 5A3	Unknown	Suiche pulsador de tipo superficial.	PULS-SMD- R
U1	1	ESP32 -WRO VER- TTGO	TFootprints:ESP32-WR OVER_TTGO	Unknown	Tarjeta de desarrollo WiFi y Bluetooth.	ESP32-WRO VER-TTGO
U2	1	L80R E-M3 7	TFootprints:XCVR_L80 -R	https://www.quectel.com/wp-content/uploads/pdfupload/Quectel_L80-R_GPS_Specification_V1.2.pdf	RF TXRX MOD NAV/CER PATCH SMD	L80-R
U3	1	GY-90 6	Fooprnts:GY-906	https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MLX90614.pdf	Sensor de temperatura por IR, MLX90614ESF	GY-906

ANEXO E

Conexión bluetooth

```
/*
 * @brief Indicate if there are bytes available for reading from bluetooth
 * @return true
 * @return false
 */
bool BT_message_received(void)
{
    if(SerialBT.available())
    {
        return true;
    }
    return false;
}
/*
 * @brief Indicate state of bluetooth connection with mobile device
 * @return true
 * @return false
 */
bool BT_is_connection_ready(void)
{
    return BT_connection_ready;
}
/*@brief Delete bluetooth instance
void BT_end(void)
{
    SerialBT.disconnect();
    SerialBT.end();
}
```

}

Conexión GPS

```

bool gps_state_machine(char *pos_info,
uint8_t *pos_bytes)
{
    switch(gps_state)
    {
        case CONFIG:
            gps_init();

            message_pos=-1;
        }
        else
        {
            gps_state = CONFIG;
        }
        message_pos++;
    }
    break;
case POS_WAIT:
    if(uart_message_received())
    {
        message[message_pos]=(uint8_t)uart_rece
        ived();
        if(message[message_pos] ==
        0x0A)
        {
            message_pos++;
        }
        if(gps_position_receive(&pos_info[0],
        pos_bytes, &message[0], message_pos))
        {
            gps_state=STAND_BY;
        }
        else
        case ACK_CONFIG:
            if(uart_message_received())
            {
                message[message_pos]=(uint8_t)uart_rece
                ived();
                if(message[message_pos] ==
                0x0A)
                {
                    message_pos++;
                }
                if(is_ack(&message[0],
                message_pos))
                {
                    gps_state = POS_WAIT;
            }
    }
}

```

```

        {
            message_pos=-1;
        }
    }
    message_pos++;
}
break;
case STAND_BY:
    {
        else
        {
            gps_state = STAND_BY;
        }
        message_pos++;
    }
    break;
default: break;
}
return false;
}

bool is_ack(uint8_t* message, size_t
n_bytes)
{
    for (size_t i = 0; i < n_bytes; i++)
    {
        if(message[i] == '$')
        {
            for (size_t j = 1; j < 9; j++)
            {
                if(message[i+j] !=
ack_message[j])
                {
                    return false;
                }
            }
            return (message[(i+13)] == '3');
        }
    }
}

uart_transmit((uint8_t*)&stand_by_com
mand[0],STAND_BY_CMD_NPOS);
gps_state = ACK_STAND_BY;
message_pos=0;
break;
case ACK_STAND_BY:
    if(uart_message_received())
    {
        message[message_pos]=(uint8_t)uart_rec
eive();
        if(message[message_pos] ==
0x0A)
        {
            message_pos++;
            if(is_ack(&message[0],
message_pos))
            {
                gps_state = CONFIG;
                return true;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    return false;
}

/**
 * @brief Store position information in
 * pos_info according to every byte position
 * in array
 * Compare received message with
 * NMEA GGA sentence structure to extract
 * latitude, longitude and altitude
 * $GPGGA,UTC
 * Time,latitude(ddmm.mmmm),N/S,longitu
 * de(dddmm.mmmm),E/W,Fix
 * Status,Number of SV,HDOP,altitude,M...
 * Store information in pos_info array
 * after date, time and temperature
 * information according to pos_bytes value
 *
 * @param pos_info
 * @param pos_bytes
 * @param message
 * @param message_bytes
 * @return true
 * @return false
 */
bool gps_position_receive(char
 *pos_info, uint8_t *pos_bytes, uint8_t
 *message, size_t message_bytes)
{
    size_t i;
    size_t j;
    for (i = 0; i < message_bytes; i++)
    {
        if(message[i] == '$')
        {
            for (j = 1; j < 7; j++)
            {
                if(message[i+j] !=
pos_message[j])
                {
                    return false;
                }
            }
            break;
        }
    }
    uint8_t commas_count=0;
    uint8_t l = *pos_bytes + 1;
    for (size_t k = i+j; k < message_bytes;
k++)
    {
        if(message[k-1] == ',')
        {
            commas_count++;
        }
    }
    if(((commas_count > 1) &&
(commas_count < 6)) || (commas_count
== 9))
    {

```

```
    if(message[k] == ',')
    {
        pos_info[l]=' ';
    }
    else
    {
        pos_info[l] = message[k];
    }
    l++;
}
//Verify information is valid
if((commas_count == 6) &&
(message[k] == '0'))
{
    return false;
}

}
pos_info[l] = '\n';
*pos_bytes = l + 1;
return true;
}
```


ANEXO F



Figura 28. Certificado de participación concurso Hult Prize

En el año 2020, tuve la oportunidad de participar en el prestigioso concurso Hult Prize con el proyecto presentado en este documento. En esta experiencia, formé un equipo de trabajo multidisciplinario que incluyó a estudiantes de diversas carreras, como administración, ingeniería industrial e ingeniería ambiental. El cual adoptó el nombre "Adelam Healthy Cattle".

Durante la competición, logramos destacarnos notablemente al alcanzar el segundo lugar en las dos primeras etapas del proceso del concurso. Esta posición destacada en las primeras etapas es un testimonio del compromiso, la innovación y el trabajo en equipo que caracterizaron nuestro enfoque para abordar el desafío presentado en el Hult Prize.

La participación en el concurso no solo nos brindó un valioso reconocimiento, sino que también nos permitió aprender, crecer y colaborar en la búsqueda de soluciones significativas en el ámbito de la ganadería y la salud del ganado. Fue una experiencia enriquecedora que nos motivó a seguir explorando nuevas oportunidades y desafíos en el campo de la innovación y el emprendimiento.



Figura 29. Participación congreso EIEI ACOFI 2021

En el año 2021, tuve el privilegio de participar en el congreso de ingeniería titulado "Mujeres en la Ingeniería: Empoderamiento, Liderazgo y Compromiso". En ese momento, el proyecto estaba en sus primeras etapas de desarrollo. Durante el congreso, tuve la valiosa oportunidad de interactuar con destacados ingenieros de diversas disciplinas.

Esta experiencia no solo me permitió ampliar mi red de contactos y conocimientos, sino que también generó un entorno propicio para la creación y discusión de nuevas ideas y soluciones relacionadas con el proyecto en curso. Las interacciones con otros ingenieros en el congreso inspiraron un enfoque más rico y diverso en el desarrollo del proyecto,

aportando perspectivas valiosas que enriquecieron nuestra visión y enfoque hacia soluciones innovadoras.