

**Diseño de un dispositivo hardware para monitoreo mediante posicionamiento
global multipropósito basado en tecnología Cat-M1 para la empresa Iot Tech
Solutions S.A.S.**



James Bedoya Muentes

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ingenierías y Ciencias Naturales
Programa de Ingeniería Electrónica
Popayán – Cauca
2025

**Diseño de un dispositivo hardware para monitoreo mediante posicionamiento global
multipropósito basado en tecnología Cat-M1 para la empresa Iot Tech Solutions
S.A.S.**



James Bedoya Muentes

Trabajo de Grado modalidad Pasantía para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

Director

Yamir Hernando Bolaños Muñoz

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Facultad de Ingenierías y Ciencias Naturales

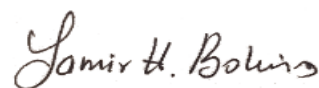
Programa de Ingeniería Electrónica

Popayán – Cauca

2025

Nota de Aceptación

Una vez revisado y aprobado el documento final del trabajo de grado titulado *Diseño de un dispositivo hardware para monitoreo mediante posicionamiento global multipropósito basado en tecnología cat-m1 para la empresa Iot Tech Solutions S.A.S.*, realizado por el estudiante James Bedoya Muentes, se autoriza para optar el título de profesional en Ingeniería Electrónica en la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.



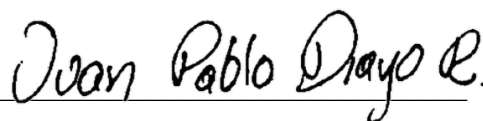
Director.

Yamir Hernando Bolaños Muñoz



Jurado 1.

Nombre Completo



Jurado 2.

Nombre Completo

Popayán, 2025

Dedicatoria

Este logro está dedicado sobre todo a Dios, quien ha sido mi guía durante todo mi camino. A mis padres Norvey Bedoya Pino y Maribel Muentes Eyes, a mi tía Blanca Hermila Bedoya, esto refleja el esfuerzo, dedicación y valores que me han inculcado a lo largo de mi vida. Gracias por su amor incondicional, por creer siempre en mí y apoyarme en cada paso del camino.

A mi maestro y mentor Yamir Bolaños Muñoz, Por el tiempo y la paciencia durante todo este proceso. Sus asesorías y enseñanzas y experiencias fueron una guía para la culminación de este proyecto.

A un amigo incondicional Anderson David Macias Zúñiga, Por su gran apoyo, Que desde un inicio siempre estuvo presente, Sus palabras y orientaciones fueron fundamental para lograr esta meta. Cada una de esta persona deja una huella en mi trabajo por el gran apoyo y consejo que cada día me llevaron a superarme hoy puedo decir que fueron la base por la que construí este logro.

Agradecimientos

Como primero agradezco a Dios por darme la sabiduría, la paciencia y las ganas de querer superarme, sin tu presencia no podría haber hecho esto posible porque tu fuiste mi guía y tus bendiciones fueron necesarias para lograr este nuevo escalón en mi vida.

A mis padres Norvey Bedoya Pino y Maribel Muentes Eyes y mi tía Blanca Hermila Bedoya, que han sido un pilar importante con su apoyo y consejos en el transcurso de la carrera. También agradecer a mis docentes por brindarme su experiencia y conocimiento.

Y por último agradecer a las personas que directa o indirectamente me han apoyado durante todo este proceso. Ha sido de mucha importancia para mí.

Tabla de Contenido

Resumen.....	12
Introducción	14
1. Planteamiento del Problema	15
2. Justificación	16
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo General.....	17
3.2. Objetivos Específicos.....	17
4. Marco Teórico	18
4.1. Tecnologías de Geolocalización	18
4.1.1. Tecnologías de rastreo para ambientes OUTDOOR.....	18
4.1.2. Definición de GPS	19
4.1.3. GNSS	19
4.1.4. GLONASS	20
4.2. Tecnologías de Comunicación Basada en LTE.....	21
4.2.1. Cat-M1	21
4.2.2. NB-IoT.....	22
4.2.3. Cat-1.....	22
4.3. Tecnologías de Antenas para Aplicaciones de GPS e IOT.....	23
4.3.1. Concepto sobre antenas RF.....	23
4.3.2. Clasificación según el patrón de radiación de las antenas	24
4.3.3. Parámetros de desempeño de una antena RF	27
4.3.4. Tipos de antena para IoT y Rastreo Satelital	29
4.3.5. Clasificación de antenas según su construcción	31
5. Definición de Requerimientos para Dispositivo GPS.....	34
5.1. Propuesta general del prototipo electrónico.....	36
5.2. Diagrama general de diseño electrónico	37
5.2.1. Descripción de los Bloques.....	37
5.3. Proceso de Selección de Componentes.....	39
5.4. Módulos de Comunicación 4G	39
5.5. Unidad de Control.....	40
5.6. Selección Tipo de Antenas Para GPS.....	41

5.7.	Selección de Antena Para LTE.....	43
5.8.	Funcionamiento de Switch de Potencia	44
5.8.1.	Importancia del Switch en un Dispositivo GPS.....	44
5.9.	Selección Tipo de Regulador	45
5.10.	Sistema de Carga de Batería	46
5.11.	Conexión para Sim Card.....	48
6.	Desarrollo de Sistema Electrónico.....	49
6.1.	Diseño del PCB.....	51
6.2.	Implementación del Dispositivo en PCB.....	53
6.2.1.	Pruebas de funcionalidad del dispositivo.....	55
6.3.	Diseño de modelado de protección del dispositivo GPS	70
	Conclusiones.....	71
	Referencias.....	73

Lista de Tablas

Tabla 1. Tabla comparativa sobre tecnologías de Comunicación.	22
Tabla 2. Comparativa de antenas omnidireccionales y unidireccionales	26
Tabla 3. Requerimientos de la empresa para la Implementación del Dispositivo.	35
Tabla 4. Comparativa entre Módulos de Comunicación.	39
Tabla 5. Comparativa tipos de ESP SoC Espressif.	41
Tabla 6. Referencias de antenas cerámicas para GPS.	41
Tabla 7. Características de Antena LTE Over Air OA-N01.	43
Tabla 8. Comparativa de Switch.	44
Tabla 9. Comparativa Tipo de Reguladores.	45
Tabla 10. Características Cargador de Batería MCP73831T	48
Tabla 11. Clasificación de Dispositivos según el consumo en (mA).	59
Tabla 12. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 1.....	62
Tabla 13. Datos de Posición Obtenidos por el Prototipo de Rastreo Muestra 2.	63
Tabla 14. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 3.....	64
Tabla 15. Datos de Posición Obtenidos por el Prototipo de Rastreo Muestra 4.	65
Tabla 16. Datos de Posición Obtenidos por el Prototipo de Rastreo Muestra 5.	66
Tabla 17. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 6.....	68
Tabla 18. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 7.....	69

Lista de Figuras

Fig. 1. Técnica de triangulación de medición respecto a la tierra con señal GPS.	19
Fig. 2. Satélites GPS + GLONASS en órbita.	20
Fig. 3. Radiación de ondas electromagnéticas desde una antena omnidireccional.....	24
Fig. 4. Radiación de una Antena Unidireccional	26
Fig. 5. Antena de Parche	32
Fig. 6. Antena helicoidal	33
Fig. 7. Antenas Cerámicas de montaje superficial.....	34
Fig. 8. Diagrama general en bloques, Fuente Propia.	37
Fig. 9. Modulo SIM7080G Nota: Fuente [51].	40
Fig. 10. Componente MCP1700T-5002E Nota: Fuente [63].	46
Fig. 11. Sistema de carga del circuito. Nota: Fuente [67].....	47
Fig. 12. Socket de 6 Pines de una Sim Card. Nota: Fuente [70].....	49
Fig. 13. Diagrama esquemático diseño electrónica	50
Fig. 14. Capa 1 del PCB.....	52
Fig. 15. Capa 2 del PCB.....	52
Fig. 16. Capa 3 del PCB.....	52
Fig. 17. Capa 4 del PCB.....	52
Fig. 18. Dispositivo PCB	54
Fig. 19. Medidas del Dispositivo Hardware.	54
Fig. 20. Verificación de Voltaje en la PCB.....	55
Fig. 21. Activación del Prototipo de Ubicación.....	56
Fig. 22. Cambio de Activo a Bajo Consumo	57
Fig. 23. Bajo Consumo de Dispositivo.	57
Fig. 24. Funcionamiento del Dispositivo	60
Fig. 25. Código Prueba	60
Fig. 26. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 1.	62
Fig. 27. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 2.	63
Fig. 28. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 3.	64
Fig. 29. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 4.	65
Fig. 30. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 5.	66
Fig. 31. Mapeo de las Muestras en la Ciudad.	67

Fig. 32. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 6.	68
Fig. 33. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 7.	69
Fig. 34. Chasis del Dispositivo GPS	70

Diseño de un dispositivo hardware para monitoreo mediante posicionamiento global multipropósito basado en tecnología cat-m1 para la empresa Iot Tech Solutions S.A.S.

Ficha de información general del proyecto

Título:	Diseño de un dispositivo hardware para monitoreo mediante posicionamiento global multipropósito basado en tecnología cat-m1 para la empresa Iot Tech Solutions S.A.S.
Modalidad:	Pasantía
Facultad:	Ingeniería y Ciencias Naturales
Programa:	Ingeniería Electrónica.
Tutor del Trabajo de Grado:	Yamir Hernando Bolaños Muñoz
Estudiante:	James Bedoya Muentes

Resumen

El documento presenta el diseño y desarrollo de un prototipo de hardware para el monitoreo mediante posicionamiento global, utilizando tecnología Cat-M1, orientado a la empresa IoT Tech Solutions S.A.S. Este proyecto responde a la necesidad de la empresa de integrar soluciones avanzadas de rastreo en su portafolio, aprovechando las capacidades de bajo consumo energético y conectividad que ofrece Cat-M1. El dispositivo combina tecnologías de geolocalización como GPS, GNSS y GLONASS, junto con redes IoT, para ofrecer una solución portable y precisa. Se incluye el diseño del circuito impreso bajo normas IPC, pruebas en campo y validación del desempeño del dispositivo en ambientes exteriores.

Palabras Claves: Hardware portable y de bajo consumo, Monitoreo multipropósito.

Abstract

The document presents the design and development of a hardware prototype for global positioning monitoring, using Cat-M1 technology, oriented to the company IoT Tech Solutions S.A.S. This project responds to the company's need to integrate advanced tracking solutions in its portfolio, taking advantage of the low energy consumption and efficient connectivity capabilities offered by Cat-M1. The device combines geolocation technologies such as GPS, GNSS and GLONASS, along with IoT networks, to offer a portable and accurate solution. This includes PCB design, field testing and validation of the device's performance in outdoor environments.

Keywords: *Portable and low-power hardware, Multipurpose monitoring.*

Introducción

Con el avance de la tecnología actualmente y los diversos sistemas de posicionamiento y dispositivos han evolucionado en un mercado totalmente nuevo transformando la forma en que trabajamos dentro del entorno que nos rodea. Estas herramientas han logrado un progreso notable a lo largo del tiempo, desde sus primeras versiones básicas hasta las complejas soluciones actuales, estas tecnologías han experimentado un desarrollo increíble[1]. El seguimiento se desarrolló en un principio como una simple herramienta de navegación, pero ahora sirve para múltiples propósitos, desde la localización de objetos y personas hasta la optimización de procesos industriales.

Al principio la localización se limitaba a brújulas y mecanismos para facilitar la orientación tanto en espacio terrestre como marino, la localización se limitó inicialmente a la brújula y la mecánica, pero la verdadera revolución fue el desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que no solo mejoró la exactitud de la ubicación, también abrió el camino para la globalización. Supuso la verdadera revolución con la llegada de los avances en las comunicaciones celulares y las aplicaciones de los dispositivos IoT, se ha desarrollado aún más [2]. Esta tendencia se basa en dos pilares: combinando la ubicuidad del rastreo con la conectividad instantánea.

La integración del IoT ha permitido que los sistemas de rastreo evolucionen más allá de solo brindar la ubicación. En la actualidad, estos dispositivos recogen y comparten información detallada sobre el entorno y la condición de los objetos o personas rastreadas. Esta mejora ha habilitado a aplicaciones en áreas rígidas como la logística, hasta la seguridad personal, que proporciona información instantánea que facilita las operaciones, también mejora la toma de decisiones estratégicas[3][4]. La característica de estos sistemas está en su capacidad de rastreo y transmitir datos precisos sobre la ubicación.

El propósito de este proyecto radica en la creación de un prototipo hardware para monitoreo de posición basado en tecnología GNSS para lo cual se propone el análisis y estudio de la tecnología CAT-M1 o LTE-M para el transporte de datos a una plataforma IoT en la nube, además considerando un diseño orientado al bajo consumo energético para desarrollo de un prototipo portable.

1. Planteamiento del Problema

El Internet de las cosas (IoT) es un término que hace alusión a la interconexión de objetos físicos cotidianos a través de Internet. En esencia, es el uso de las tecnologías para establecer conexiones, comunicaciones e intercambios de datos con una amplia variedad de dispositivos y sistemas conectados a través de Internet [5]. En su sentido más amplio, cualquier dispositivo electrónico que genere y sea capaz de suministrar y recibir datos con un propósito específico.

La empresa IoT Tech Solutions, actualmente se enfoca en el desarrollo de tecnología centrada en soluciones de telemedida para servicios públicos como son (Agua, Gas, Energía) para la medición remota de consumo, detección de fugas, intento de fraude por manipulación en los medidores que registran el consumo del servicio [6]. Esta empresa como plan de expansión dentro de su línea de productos requiere la implementación de un hardware de bajo consumo para un dispositivo de tracking, para el monitoreo de posicionamiento global para ambientes outdoor. Este dispositivo estará pensado en tecnología CAT-M1, destaca por su excelente transporte de datos hacia la nube, bajo consumo de energía (LWPAN) y compatibilidad con redes 4G de telefonía celular, específicamente diseñada para aplicaciones de IoT[7] [8]. Esta elección estratégica permite a la empresa superar las limitaciones de tecnologías anteriores, como GSM y GPRS, brindando una conectividad adecuada para dispositivos de rastreo con baterías de larga duración.

La iniciativa actual surge de la necesidad empresarial de diseñar un prototipo de hardware para evaluar tecnologías múltiples emergentes especializadas para aplicaciones de IoT sobre redes LTE como son: CAT-M1, NB-IoT y CAT-1 en la aplicación de sistemas de rastreo. Como otro propósito fundamental de este proyecto es lograr la integración estratégica de estas tecnologías con algún sistema de posicionamiento global, como GPS, GLONASS y GNSS. Esta combinación de tecnologías tiene la finalidad de analizar el desempeño un sistema electrónico para obtener una localización precisa del dispositivo de manera efectiva, cumpliendo así con la exigencia específica de la empresa de desarrollar soluciones en el campo de rastreo.

2. Justificación

Este proyecto responde a la necesidad de innovación de la empresa (IoT Tech Solutions), la cual dentro de sus líneas de productos se encuentran los sistemas de telemedida para servicios públicos, pero le gustaría ampliar el portafolio de productos añadiendo aplicaciones de seguimiento para el despliegue de un nuevo dispositivo de supervisión electrónica[6].

Las tecnologías propuestas tienen un impacto significativo en la logística de varias industrias, como la creación y crecimiento de hardware avanzado, incluyendo dispositivos de navegación, sistemas de seguimiento y vehículos autónomos, así como en sectores como en agricultura y la construcción. Las tecnologías sugeridas como la de posicionamiento global tienen una gran influencia en el desempeño operativo de las distintas empresas [9].

Se destaca lo bien que funciona de las tecnologías de localización cuando se apoyan en una conectividad robusta a través de tecnologías auxiliares que incluyen NB-IoT, CAT-1 y CAT-M1, usadas para el transporte de datos, Estas tecnologías en cuanto a los dispositivos de localización, estas tecnologías ofrecen varias ventajas, entre ellas una gran seguridad y también garantiza una transmisión confiable de datos en tiempo real, lo que lo hace interesante para aplicaciones de ubicación que requieren la mayor precisión y protección de datos, Además, está pensada para reducir el consumo de energía, algo importante para dispositivos este tipo dispositivo que operan con baterías y requieren una larga duración de la misma para así obtener una mayor portabilidad[10]. Al integrar estas tecnologías innovadoras en el prototipo, no solo se adapta a las expectativas vigentes del mercado, sino que también se anticipa y se responde de manera proactiva a las necesidades de esta era de interconexión.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo hardware para monitoreo mediante posicionamiento global multipropósito basado en tecnología CAT-M1 para la empresa IoT Tech Solutions S.A.S.

3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar una arquitectura hardware para el dispositivo de posicionamiento considerando aspectos de bajo consumo y portabilidad.
- Desarrollar un circuito impreso de acuerdo con normas IPC, considerando aspectos de diseño para dispositivos de radio frecuencia. Validar el desempeño del dispositivo mediante pruebas en campo.

4. Marco Teórico

Para el desarrollo de este proyecto es necesario realizar una conceptualización sobre tipos de antenas y sistemas de IoT y tecnologías de posicionamiento global orientados al proceso de rastreo de personas u objetos.

4.1. Tecnologías de Geolocalización

La geolocalización es una solución de la tecnología de la información que desempeña un papel crucial al determinar la ubicación de un objeto con frecuencia una persona busca utilizar servicios de ubicación, todo esto manteniendo la privacidad[11]. Esta tecnología, que utiliza coordenadas para localizar individuos u objetos en el espacio por medio de coordenadas, se ha convertido algo esencial para los geógrafos. La geolocalización ha adquirido una nueva dimensión con la introducción de los dispositivos móviles e Internet [12][13]. Este desarrollo tecnológico ha dado lugar a una mayor integración de la geolocalización en la vida cotidiana, en la que la determinación de la ubicación se entrelaza con la interacción social tanto en entornos físicos como virtuales, todo ello protegiendo la privacidad de los usuarios. Al mismo tiempo, ha surgido el fenómeno de compartir información en tiempo real desde cualquier lugar y por cualquier individuo a través de las redes sociales[14].

4.1.1. Tecnologías de rastreo para ambientes *OUTDOOR*

Se basan en una variedad de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y comunicación para localizar y rastrear objetos, vehículos o individuos en entornos al aire libre. Estas tecnologías funcionan mediante métodos como el GPS. Su funcionamiento se basa en una red satelital la cual emite señales hacia los dispositivos receptores GPS ubicados en la superficie terrestre, al recibir estas señales, el dispositivo es capaz de calcular su distancia con cada satélite y a partir de ahí, estimar su posición aproximada, es importante destacar que el GPS funciona mejor en ambientes donde hay línea de vista directa al cielo[15] [16].

Desde el punto de vista tecnológico, el GPS, GNSS y GLONASS son los sistemas más populares. A medida que se examinan estos instrumentos técnicos se explica su influencia sustancial en el mejoramiento del desempeño y la efectividad de nuestras tareas cotidianas. Al

mejorar la precisión en toda una serie de aplicaciones, estas tecnologías han cambiado por completo la forma en que se llevan a cabo la localización y la navegación [17].

4.1.2. *Definición de GPS*

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un servicio de los Estados Unidos con origen militar que proporciona información de posicionamiento, navegación y tiempo a los usuarios. El sistema se desarrolló con la finalidad de ubicar rápidamente los submarinos nucleares y facilitar el lanzamiento de misiles guiados por sistemas inerciales[18] [19]. El GPS lo compone tres segmentos: a) el segmento espacial, b) el segmento de control en tierra y c) el segmento del usuario como receptor. El GPS utiliza una red de satélites en órbita alrededor de la Tierra para determinar la ubicación de personas u objetos por triangulación de satélites, como se muestra en la figura 1. Estos emiten continuamente señales que son recibidas por receptores GPS en la superficie de la tierra[20]. Al calcular la diferencia de tiempo entre la emisión de la señal y su recepción, el receptor puede determinar la distancia al satélite [21]. Al combinar las señales de múltiples satélites, el receptor puede calcular su ubicación precisa en términos de latitud y longitud [18]. Según Ribeiro como se citó en Antichán expresa que:

El GPS es una herramienta de navegación formada por 24 satélites a 20.000 kilómetros por encima de la tierra con órbitas móviles, enviando datos precisos de la hora y posición del satélite, lo que permite calcular la localización exacta del receptor en tierra. [22, p. 58]

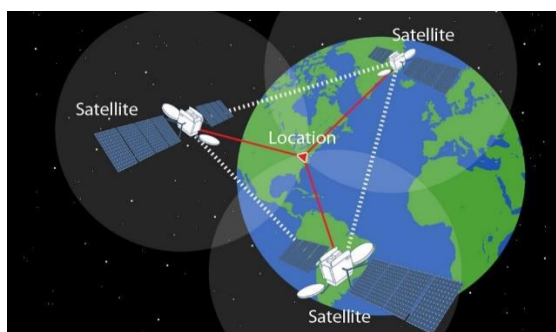


Fig. 1. Técnica de triangulación de medición respecto a la tierra con señal GPS.

4.1.3. *GNSS*

El Sistema de Navegación por Satélite Global (GNSS) es una red global de satélites que transmiten señales utilizadas para determinar la ubicación, velocidad y tiempo de los receptores

en la Tierra. Estos sistemas permiten la geolocalización precisa y son fundamentales en aplicaciones como la navegación, la cartografía, la agricultura de precisión y muchas otras.

Aunque las necesidades militares impulsaron inicialmente la creación del GNSS, su uso acabó extendiéndose al sector civil[23]. La precisión y la cobertura mundial del GNSS han aumentado gracias a la cooperación internacional y al despliegue de diversas constelaciones de satélites, convirtiéndolo en una herramienta impórtate para la vida cotidiana y para muchas empresas[24] [25].

La precisión global del GNSS y sus múltiples usos en agricultura de precisión y navegación son algunas de sus ventajas. Algunos de sus inconvenientes son su dependencia de las señales de satélite, sobre todo en zonas muy boscosas, su vulnerabilidad a las interferencias y sus limitaciones en zonas urbanas con estructuras elevadas [26] [27].

4.1.4. *GLONASS*

El Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) utiliza una constelación de satélites en órbita terrestre para proporcionar datos precisos de localización, velocidad y hora en cualquier lugar del mundo. En la figura 2 se muestra la constelación de satélites GPS + GLONASS en órbita, creada por rusia. Cada satélite envía señales que son captadas por receptores situados en la superficie terrestre[28] [29].

Estos receptores utilizan información de varios satélites para determinar su ubicación exacta mediante técnicas como la triangulación, como se muestra en la figura 1 [30]. Cómo utiliza GLONASS una amplia gama de aplicaciones, incluidas las militares y científicas, así como la navegación marítima y aérea[31] [32]. La mayor precisión y disponibilidad de la señal en diversas condiciones son posibles gracias a la interoperabilidad con otros sistemas de navegación por satélite, como el Sistema de Posicionamiento Global [33].

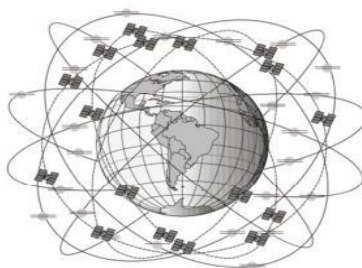


Fig. 2. Satélites GPS + GLONASS en órbita.

4.2. Tecnologías de Comunicación Basada en LTE

El avance de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) en las últimas décadas destacan el papel fundamental de Long-Term Evolution, o (LTE) como una innovadora tecnología de comunicación inalámbrica que ha alcanzado un estado de convergencia en diversos aspectos de la vida cotidiana, la cual abarca el ámbito social, académico, profesional y político, al ofrecer velocidades de datos más rápidas y una mejor red, utilizando la transmisión de datos en paquetes y tecnologías como MIMO para la mejora de la velocidad y estabilidad de la conexión [34]. Es importante porque reduce la brecha digital y fomenta la innovación al ofrecer conectividad fiable para aplicaciones en tiempo real, gestionar muchos dispositivos y ampliar el acceso a Internet en zonas rurales[35].

Sin embargo, la arquitectura LTE incluye tecnologías de comunicación de Categoría M1 (Cat-M1) y de Banda Estrecha del Internet de las Cosas (NB-IoT). Estas tecnologías están estrechamente relacionadas entre sí y se han creado para responder específicamente a los requisitos de las aplicaciones y dispositivos del Internet de las Cosas[36].

4.2.1. *Cat-M1*

También se conoce con el nombre de LTE Cat-M1 originalmente fue diseñado específicamente para Internet de las Cosas, LTE Cat-M1 tiene una velocidad media de carga y descarga de 375 kbps. Existe una compensación entre la velocidad de la señal y el alcance de los datos; los dispositivos pueden colocarse en zonas remotas, ya que las velocidades de datos más bajas proporcionan una mayor difusión de la señal [37]. Según ciertas teorías, el CAT-M1 puede gestionar un bajo consumo de energía, lo que implica que puede proporcionar a los dispositivos IoT una mayor duración de la batería [38] [39]. También se encuentra un ancho de banda mucho mejor, lo que lo hace eficaz y apropiado para aplicaciones que requieren bajas velocidades de transmisión de datos. Esto es ventajoso para aparatos como sensores y dispositivos de monitorización que no necesitan muchos datos [40]. Además, ofrece niveles altos de seguridad, lo que es esencial para aplicaciones de ubicación que requieren precisión y protección de datos.

4.2.2. NB-IoT

Superando a las redes celulares convencionales, esta tecnología proporciona una amplia cobertura, incluso en lugares de mucha vegetación o subterráneos, y es perfecta para despliegues a gran escala, ya que puede dar cabida a numerosos dispositivos conectados en una sola celda. Debido a estas características, la tecnología NB-IoT es una opción apropiada para diversas aplicaciones IoT [41]. Ambas Cat-M1 y NB-IoT se benefician de la infraestructura de red LTE existente, ya que ambas aprovechan la infraestructura de red LTE actual. Como parte del ecosistema LTE, estas tecnologías se benefician de las continuas inversiones y mejoras de la red, lo que garantiza un desarrollo constante y un funcionamiento fiable [42].

4.2.3. Cat-1

También conocida como Categoría 1, es otra variante de tecnología de comunicación inalámbrica que se inscribe en el marco de LTE. A diferencia de Cat-M1 y NB-IoT, Cat-1 no está específicamente diseñada para dispositivos de Internet de las cosas (IoT), sino que se centra en ofrecer conectividad de datos de banda ancha para aplicaciones de propósito general[43] [44].

CAT-1 ofrece una velocidad máxima de 10 megabytes por segundo para tráfico descendente y 5Mb/s en el tráfico ascendente. Esto lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones M2M e IoT con muchas funciones, incluidas las que requieren transmisión de vídeo. [38], [44]

A continuación, en la tabla I. se presenta a modo de resumen una comparación de las tecnologías mencionadas anteriormente:

Tabla 1.

Tabla comparativa sobre tecnologías de Comunicación.

Tecnología	Velocidad de transferencia	Ancho de banda	Consumo de energía	Aplicaciones	Movilidad
Cat-M1	Hasta 1 Mbytes	1.4 MHz	Bajo	Seguimiento de activos, medición inteligente, agricultura inteligente, ciudades inteligentes	Móvil y fija

NB-IoT	Hasta 250 kbytes	180 kHz	Bajo	Sensores ambientales, contadores inteligentes, alarmas, control de acceso	Fija
Cat-1	Hasta 10 Mbytes	5 MHz	Alto	Videovigilancia, automatización industrial, robótica, realidad aumentada	Móvil y fija

4.3. Tecnologías de Antenas para Aplicaciones de GPS e IOT

Las antenas para aplicaciones de GPS y IoT son componentes esenciales para garantizar la conectividad y localización precisa en dispositivos inteligentes. En el caso del GPS, permiten la recepción de señales satelitales para determinar la ubicación exacta de objetos o personas [45]. Permiten la transferencia rápida de datos entre dispositivos IoT a través de redes de baja potencia como Sigfox, LoRa o NB-IoT. Para ofrecer un funcionamiento fiable en una amplia gama de aplicaciones, como la automatización industrial, la monitorización remota y el seguimiento de vehículos, estas antenas deben ser pequeñas, de bajo consumo y capaces de funcionar en entornos difíciles [46].

4.3.1. Concepto sobre antenas RF

Una antena de Radiofrecuencia (RF) es un dispositivo utilizado para transmitir o recibir señales de radiofrecuencia, que son ondas electromagnéticas en el rango de frecuencias típicamente de 3 kHz a 300 GHz. Estas antenas son componentes esenciales en las comunicaciones inalámbricas, ya que permiten la conversión entre señales eléctricas y ondas electromagnéticas en el aire [47].

En términos simples, las antenas de RF convierten las señales eléctricas que viajan por cables (como las que salen de un transmisor o receptor) en ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio [48]. En la práctica, las antenas RF son cruciales en una gran variedad de aplicaciones, como la televisión, la radio, la telefonía móvil, Wi-Fi, satélites y sistemas de radar, entre otros [49].

4.3.2. Clasificación según el patrón de radiación de las antenas

Las antenas se clasifican en omnidireccionales y unidireccionales en función de cómo distribuyen o reciben la señal a través del espacio. Las características principales de cada tipo de antena varían según la forma en que concentran o distribuyen la energía radiada[50]. A continuación, se detallan las principales características de la radiación de estas antenas:

4.3.2.1. Antena Omnidireccional. Una antena omnidireccional es aquella que emite o recibe señales en todas las direcciones en un plano horizontal, como se muestra en la figura 3, lo que la hace ideal para aplicaciones donde la cobertura debe ser amplia y sin dirección específica [51].

Características principales:

Patrón de radiación: El patrón de radiación de una antena omnidireccional es circular o esférico en un plano horizontal, lo que significa que la señal se distribuye de manera uniforme en todas las direcciones [52]. En el plano vertical, el patrón puede variar dependiendo del diseño (por ejemplo, puede tener forma de donut, con mayor intensidad en un ángulo determinado).

Cobertura: Ofrecen cobertura de 360 grados en el plano horizontal, lo que las hace útiles en aplicaciones donde el transmisor o receptor puede estar en cualquier lugar dentro de un área amplia. Esto es común en redes Wi-Fi, estaciones base de telefonía móvil, y radiofrecuencia para comunicación en campo abierto [53] [54].

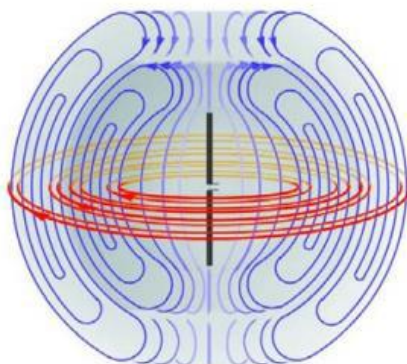


Fig. 3. Radiación de ondas electromagnéticas desde una antena omnidireccional.

Ejemplos de uso:

Antena de radio: Para cobertura general en áreas grandes.

WI-Fi: Enrutadores y puntos de acceso que cubren amplias zonas sin necesidad de dirigir la antena.

Ventajas:

Cobertura amplia y uniforme.

Sin necesidad de orientar la antena.

Desventajas:

Menor alcance en distancias largas debido a la distribución uniforme de la señal.

Mayor susceptibilidad a interferencias, ya que la señal se emite en todas las direcciones.

4.3.2.2. Antena Unidireccional. Una antena unidireccional, por el contrario, está diseñada para enfocar la energía hacia una dirección específica, como se muestra en la figura 4, lo que permite que la señal se transmita o reciba con mayor desempeño en esa dirección [55].

Características principales:

Patrón de radiación: El patrón de radiación es direccional, lo que significa que la energía se emite o recibe concentrada en una sola dirección. Esto generalmente da como resultado un alcance mayor en la dirección en la que está enfocada la señal.

Cobertura: Tienen cobertura limitada a un ángulo más estrecho en comparación con las omnidireccionales. La señal se transmite a lo largo de un eje específico, lo que es ideal cuando se necesita alcanzar un objetivo concreto, como en enlaces punto a punto (P2P)[56].

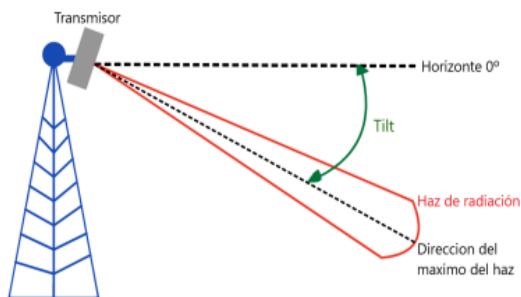


Fig. 4. Radiación de una Antena Unidireccional

Ejemplos de uso:

Antenas parabólicas: Para comunicaciones satelitales, donde la señal se dirige hacia un satélite específico.

Antenas direccionales en redes celulares: Usadas para enlazar torres de telecomunicaciones.

Radios de comunicación en vehículos: Que envían señales en direcciones específicas.

Ventajas:

Mayor alcance y desempeño en la dirección enfocada.

Menor susceptibilidad a interferencias en áreas no deseadas.

Utilizadas para aplicaciones que requieren comunicaciones a largas distancias o conexiones específicas (como enlaces entre edificios o estaciones de comunicación).

Desventajas:

Requiere un alineamiento preciso de la antena para asegurar la recepción y transmisión adecuada.

No cubre un área tan amplia como las antenas omnidireccionales.

Resumen comparativo:

Tabla 2.

Comparativa de antenas omnidireccionales y unidireccionales

Característica	Omnidireccional	Unidireccional
----------------	-----------------	----------------

Patrón de radiación	Circular o esférico (en el plano horizontal)	Direccional (focalizado en una dirección)
Cobertura	360 grados (horizontal)	Cobertura limitada a una dirección
Ganancia	Baja	Alta
Alcance	Menor, por la distribución uniforme de la señal	Mayor, por concentración de la señal en una dirección
Uso común	Redes Wi-Fi, estaciones base móviles, radio	Enlaces punto a punto, satélites, comunicaciones direccionales
Ventaja	Cobertura amplia sin necesidad de orientación	Alcance y eficiencia en una dirección específica
Desventaja	Menor alcance y mayor susceptibilidad a interferencias	Necesita ser orientada correctamente, no cubre 360 grados

Ambos tipos de antenas tienen aplicaciones específicas según las necesidades de cobertura, alcance y desempeño de la señal en diferentes escenarios de comunicación.

4.3.3. *Parámetros de desempeño de una antena RF*

Los parámetros de desempeño de una antena de IoT son cruciales para garantizar una comunicación estable, confiable y con bajo consumo de energía en redes de dispositivos conectados. A continuación, se describen algunas de las características más relevantes:

Ganancia. La ganancia de una antena mide su capacidad para concentrar la señal en una dirección específica en comparación con una antena isotrópica ideal, que irradia uniformemente en todas las direcciones, y se mide en dBi. Una alta ganancia es crucial en el IoT para ampliar el alcance de las comunicaciones, especialmente en entornos de larga distancia como zonas rurales o industriales. En función del uso y la cobertura previstos, las antenas IoT suelen tener ganancias que oscilan entre 2 dBi y 10 dBi esto para garantizar una buena conexión [57].

Valores de dBi Adecuados para Proyectos GPS

Los valores de dBi indica cuánta energía concentra la antena en la dirección principal de radiación comparada con la distribución uniforme de la misma energía en todas direcciones. Cuando una antena tiene mayor valor de dBi, significa que concentra más energía en direcciones específicas a costa de reducir la radiación en otras direcciones[58].

- **Antenas GPS estándar:** Típicamente, las antenas para receptores GPS convencionales tienen ganancias moderadas de entre 2 a 5 dBi. Estos valores proporcionan un buen equilibrio entre sensibilidad y cobertura angular.
- **Aplicaciones de precisión:** Para aplicaciones que requieren mayor precisión, como topografía o posicionamiento diferencial, se pueden utilizar antenas con valores más altos, generalmente entre 5-8 dBi[59].
- **Entornos con obstáculos:** En situaciones donde la señal puede verse comprometida por obstáculos como edificios o vegetación densa, antenas con mayor ganancia (6-10 dBi) pueden ayudar a mejorar la recepción.
- **Antenas de cerámicas:** Las antenas cerámicas para GPS suelen tener ganancias entre 4-6 dBi, proporcionando un buen compromiso entre tamaño compacto y rendimiento.

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). El VSWR mide lo eficaz de una antena, indicando cuánta energía se refleja debido a una mala adaptación de impedancia entre la antena y el transmisor o receptor, Aunque los valores de hasta 2:1 son aceptables en muchas aplicaciones, un VSWR de 1:1 es óptimo para una adaptación perfecta sin pérdidas por reflexión. En IoT, mantener un VSWR lo más cercano posible a 1:1 es crucial para garantizar una buena transmisión y minimizar la pérdida de señal [60].

Potencia. La potencia de la antena está correlacionada con la ganancia porque las antenas con mayor ganancia pueden irradiar más potencia en una sola dirección, ampliando el alcance de la señal. Muestra cuánta energía se irradia o se recibe en un punto determinado. En dispositivos IoT el bajo consumo de energía es fundamental, por lo que las antenas deben transmitir señales con baja potencia manteniendo una comunicación confiable[61] [62]. En este contexto, el diseño debe mejorar el equilibrio entre alcance y consumo de energía, especialmente en dispositivos que funcionan con baterías.

Banda de frecuencia. La banda de frecuencia de una antena define el rango de frecuencias en las cuales la antena puede operar de la mejor forma.

Tipos de bandas comunes.

- **Sub-1 GHz:** Frecuencias como 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz (usadas en aplicaciones como LoRa, Zigbee).
- **2.4 GHz:** Común en Wi-Fi, Bluetooth y Zigbee.
- **5 GHz:** Usada en algunos dispositivos IoT de alta velocidad.
- **6 GHz y más:** Utilizadas en aplicaciones de comunicación de próxima generación como Wi-Fi 6 y 5G.

Ancho de banda. Además de la frecuencia, el ancho de banda (rango de frecuencias que la antena puede manejar eficientemente) [63] es un factor importante para determinar la capacidad de datos que se puede transmitir.

Impedancia. La impedancia de una antena debe coincidir con la impedancia del sistema de transmisión o recepción (generalmente 50 ohmios) para evitar pérdidas y reflexiones.

Importancia en IoT: La impedancia mal adaptada puede causar una mayor pérdida de señal y una menor comunicación.

Polarización. La polarización de una antena describe la dirección de las ondas electromagnéticas que emite, la cual puede ser lineal (horizontal o vertical) o circular (derecha o izquierda) [64].

Importancia en IoT: La polarización debe coincidir entre la antena transmisora y receptora para lograr una mejor transferencia de energía. En entornos donde las antenas pueden estar orientadas en diferentes direcciones, las antenas de polarización circular pueden ser útiles.

4.3.4. Tipos de antena para IoT y Rastreo Satelital

Las antenas para aplicaciones de IoT y rastreo satelital deben cumplir con requisitos específicos de rendimiento, tamaño y capacidad de operación en condiciones diversas. A continuación, se presentan los tipos de antenas más comunes y sus características, adaptadas a estas aplicaciones:

4.3.4.1. Antenas para IOT.

a) Antenas de Dipolo.

Aplicación: Común en aplicaciones IoT de redes Wi-Fi o Bluetooth en dispositivos más grandes (por ejemplo, puntos de acceso o gateways).

Características:

- Puede ser omnidireccional o direccional.

Ventaja: Baja complejidad y costo, adecuada para comunicaciones de corto alcance.

b) Antenas de Chip o Microstrip.

Aplicación: Utilizadas en dispositivos IoT muy pequeños, como sensores portátiles y dispositivos wearables.

Características:

- Muy pequeñas, de bajo costo.
- Fáciles de integrar directamente en el circuito impreso (PCB).

Ventaja: Muy pequeñas, ideales para dispositivos compactos y portátiles.

c) Antenas de MIMO (Multiple Input, Multiple Output).

Aplicación: En sistemas IoT avanzados con conectividad de alta velocidad y múltiples dispositivos, como redes 5G o NB-IoT.

Características:

- Utilizan múltiples antenas para mejorar el rendimiento y la fiabilidad.
- Común en IoT industrial o en dispositivos que requieren alta capacidad de datos.

Ventaja: Mejora el desempeño y la conectividad en entornos urbanos densos.

4.3.4.2. Antenas Para Rastreo Satelital.

Las antenas para rastreo satelital deben ser capaces de recibir señales de satélites en órbita, las cuales requieren alta precisión, estabilidad y, a menudo, resistencia a condiciones extremas. Estas antenas suelen operar en frecuencias como L-band, S-band y Ku-band, dependiendo de la aplicación.

a) Antenas de Microstrip (Patch)

Aplicación: Común en dispositivos de rastreo satelital de bajo perfil, como dispositivos portátiles y sistemas GPS.

Características:

- Antenas planas, pequeñas, y fáciles de integrar en dispositivos.
- Adecuadas para GPS y aplicaciones de rastreo en tiempo real.

Ventaja: Son ligeras, fáciles de integrar y tienen un rendimiento razonable para aplicaciones de rastreo básico.

• **Antenas Helicoidales**

Aplicación: Utilizadas en rastreo satelital móvil y en aplicaciones que requieren una recepción de señal omnidireccional.

Características:

- Ofrece una polarización circular que permite recibir señales de satélites con diferentes polarizaciones.
- Se utiliza con frecuencia en dispositivos móviles, como vehículos de rastreo.

Ventaja: Excelente para aplicaciones móviles de seguimiento por satélites.

b) Antenas GPS

Aplicación: Específicas para aplicaciones de posicionamiento global y rastreo de vehículos.

Características:

- Bajo coste, tamaño pequeño y gran precisión en la localización de coordenadas.
- Disponibles en diferentes formatos, como chip, Microsip o helicoidales, adaptándose a diversas necesidades de diseño y espacio.

Ventaja: Gran precisión para rastreo y ubicación en tiempo real.

4.3.5. Clasificación de antenas según su construcción

Teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente estas influyen directamente en la capacidad y precisión de la antena para captar señales GPS, especialmente en condiciones de señal débil o con interferencias.

Para el desarrollo de este tipo dispositivo, Existen varias opciones de antenas, cada una con sus ventajas y desventajas, por esta razón la selección de las antenas es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo. Entre algunas de las opciones, se encuentran las antenas helicoidales, de parche y cerámicas, que ofrecen ventajas como buena recepción y ganancia en diversas aplicaciones. Sin embargo, cuando se prioriza en dispositivos la reducción de tamaño, no todas estas antenas son adecuadas. Aunque brindan un rendimiento sólido, suelen ser voluminosas y complejas de integrar en un PCB. A continuación, se comparan las antenas más comunes para este tipo de aplicaciones y se dará a conocer qué tipo de antena es ideal para este proyecto.

4.3.5.1. Antena de Parche (Patch Antenna).

Beneficios. Las antenas de parche como se observa en la figura 3. son muy utilizadas en sistemas GPS debido a su ganancia y capacidad de captación de señales en un rango amplio. Son fáciles de fabricar, tienen un diseño simple y son efectivas para captar señales satelitales en aplicaciones estacionarias. Suelen tener un diseño cuadrado o rectangular plano, lo que las hace ideales para su instalación en superficies horizontales, como automóviles o dispositivos portátiles [65] [66].

Limitaciones para el proyecto. A pesar de su buen rendimiento, las antenas de parche suelen ser más grandes y requieren cableado o conexiones externas, como se ilustra en la figura 5, lo que las hace inadecuadas para un proyecto donde se necesita una solución compacta. La integración en un PCB no es ideal debido a su volumen y requerimientos de montaje externo.



Fig. 5. Antena de Parche

4.3.5.2. Antena Helicoidal (Helical Antenna).

Beneficios. Las antenas helicoidales ofrecen recepción omnidireccional, captando señales GPS desde cualquier ángulo, lo que las hace ideales para dispositivos móviles o portátiles que

cambian de posición constantemente. Además, proporcionan buena ganancia y rendimiento en condiciones difíciles, lo que mejora la precisión del GPS [67] [68].

Limitaciones para el proyecto. A demás de tener mejores características que algunas antenas externas, las helicoidales siguen siendo más voluminosas que las antenas cerámicas de montaje superficial (SMD). Su estructura en espiral ocupa más espacio y es más compleja de integrar en una PCB. Esto las hace menos adecuadas para un proyecto donde se busca una solución pequeña y fácil de ensamblar, como las antenas cerámicas SMD.



Fig. 6. Antena helicoidal

4.3.5.3. Antenas Cerámicas de montaje superficial (SMD).

Para las aplicaciones GPS que requieren una integración pequeña y eficaz en la placa de circuito impreso, las antenas cerámicas SMD son la mejor opción. Estas antenas están fabricadas con materiales cerámicos de alta densidad, como se ve en la figura 7, que permiten una recepción de señal superior en un factor de forma reducida [69].

Beneficios.

- **Compactas y ligeras:** Ahorran espacio en la placa de circuito impreso gracias a su diseño de montaje en superficie y su reducido tamaño, algo significativo para los dispositivos pequeños.
- **Fácil integración en PCB:** Soldar las antenas SMD directamente en la superficie de la placa simplifica el montaje y elimina la necesidad de cables o conectores adicionales, lo que agiliza la integración en la PCB.
- **Alto desempeño:** Son pequeñas, pero rinden lo suficiente para aplicaciones GPS, captando señales de satélite con buena sensibilidad.
- **Robustez y durabilidad:** Al estar fabricadas en cerámica, pueden soportar cambios de temperatura, vibraciones y cambios ambientales, lo que las hace fiables en entornos exigentes.

- **Por qué la mejor opción para el proyecto:** Estas antenas destacan por ser pequeñas y fáciles de montar, cualidades esenciales para nuestro proyecto. Son la opción ideal para situaciones en las que el tamaño y el diseño sencillo son esenciales, ya que se integran directamente en la placa de circuito impreso mediante montaje superficial (SMD) sin necesidad de conexiones complicadas ni de ocupar espacio adicional.



Fig. 7. Antenas Cerámicas de montaje superficial

Existen distintos tipos de antenas GPS, cada una tiene sus ventajas en función del uso previsto. Las antenas externas, que suelen llevar grandes cables y conectores, no son la mejor opción para aplicaciones que requieren una integración directa en una placa de circuito impreso. La mejor opción son las antenas cerámicas de montaje superficial. Estas antenas maximizan el rendimiento y el espacio porque son pequeñas, ligeras y fáciles de incorporar al diseño de la placa. Por estas razones, se escoge la antena cerámica como la mejor opción para lograr una integración directa en la placa y facilitar el desarrollo del prototipo [70].

5. Definición de Requerimientos para Dispositivo GPS

Trans investigar en la creación del hardware para un dispositivo GPS es fundamental seleccionar un receptor GPS de alta sensibilidad, preferiblemente compatible con sistemas adicionales como GLONASS o Galileo para mejorar la precisión [71]. La antena debe ser de bajo ruido y estar estratégicamente ubicada dentro de una carcasa resistente para minimizar interferencias y proteger los componentes. Es importante diseñar una fuente de alimentación confiable, como baterías recargables, para así darle autonomía al dispositivo, también prever un sistema de cableado adecuado para garantizar la correcta transmisión de energía y datos. Todos los componentes deben integrarse en una placa de circuito impreso, compacta y sólida, maximizando el espacio y asegurando la durabilidad del dispositivo[72]. La calidad de los

materiales y la compatibilidad entre los módulos seleccionados son determinantes para el rendimiento y la fiabilidad del sistema GPS.

Con base en esto, se elaborará un prototipo siguiendo los requerimientos específicos proporcionados por la empresa IOT Tech Solutions S.A.S. Una vez construido, se procederá a realizar pruebas de campo para evaluar su funcionamiento y asegurar que cumpla con los objetivos esperados.

Tabla 3.

Requerimientos de la empresa para la Implementación del Dispositivo.

ID Requisito	Descripción	Justificación
R-01	El sistema debe ser portátil y de tamaño reducido (máximo 8cm x 4 cm).	Como primer prototipo se requieren estas medidas para facilitar la integración en diversos entornos móviles, como vehículos o equipamiento personal, sin afectar la movilidad ni ocupar demasiado espacio.
R-02	El dispositivo hardware debe operar correctamente, garantizando que todos los componentes electrónicos cumplan su función sin sobrecarga o calentamiento en los componentes.	El correcto funcionamiento del dispositivo y sus componentes garantiza la seguridad y confiabilidad del sistema. Además, su capacidad de ejecutar código permite adaptarlo y actualizarlo según las necesidades del proyecto.
R-03	El sistema debe permitir la transmisión de datos GNSS mediante un módulo LTE-M	Facilita la comunicación en tiempo real de la ubicación del dispositivo, utilizando redes móviles, incluso en áreas con baja cobertura, asegurando la conectividad.
R-04	El dispositivo debe contar con un puerto USB para la programación y suministro de energía.	Facilita la recarga y permite la actualización del firmware del dispositivo, lo que es fundamental para la mejora continua y mantenimiento sin desmontar el equipo.
R-05	El hardware del dispositivo debe ser de un mínimo de dos capas y un máximo de cuatro capas.	Garantiza un diseño compacto y manejable, optimizando la distribución de componentes y asegurando la integridad eléctrica del dispositivo, sin incrementar costos innecesarios.

R-06	El sistema debe superar unas pruebas controladas en la que el promedio del error de localización no exceda los 3 metros.	Considerando que se trata del primer prototipo, se establece como criterio aceptable que el promedio del desfase en la medición de posición no sea mayor a 3 metros. Este margen permite validar la funcionalidad inicial y orientar mejoras futuras.
-------------	--	---

5.1. Propuesta general del prototipo electrónico

Antes de seguir avanzando con la elaboración de este proceso es importante realizar una descripción general de lo que se quiere llegar a obtener en este proyecto. Esto permitirá contextualizar los apartados subsiguientes del documento.

Meta del Proyecto: Diseñar y desarrollar un prototipo de dispositivo de localización autónomo, clasificado de bajo consumo energético, según los parámetros establecido en la tabla 11, cuya categorización dependerá del nivel de consumo estimado por el dispositivo. También contara con conectividad 4G LTE-M (Cat-M1/NB-IoT), y tecnología GNSS multimodo (GPS, Galileo, GLONASS), ideal para el Internet de las Cosas. Este sistema será portátil y de tamaño reducido (máx. 8cm x 4cm), alimentado por una batería recargable, permitiendo la transmisión de datos GNSS mediante un módulo LTE-M. Contará con un puerto USB para la conexión y recibimiento de Código y carga de batería, y su hardware se implementará en una PCB de 2 a 4 capas.

Tras definir a grandes rasgos el prototipo de localización IoT, la siguiente fase es el diagrama general del diseño electrónico. Este esquema mostrará la conexión de las antenas GPS, LTE-M al módulo de comunicación, el microcontrolador, gestión de energía, batería y USB, esenciales para cumplir los requerimientos planteados.

5.2. Diagrama general de diseño electrónico

Una vez definidos los requisitos iniciales del sistema, se propone la arquitectura basada en bloques funcionales presentada en el diagrama de la figura 8. Dicha arquitectura está conformada por varios bloques principales que interactúan para gestionar la adquisición, procesamiento y transmisión de datos GPS mediante una conexión LTE.

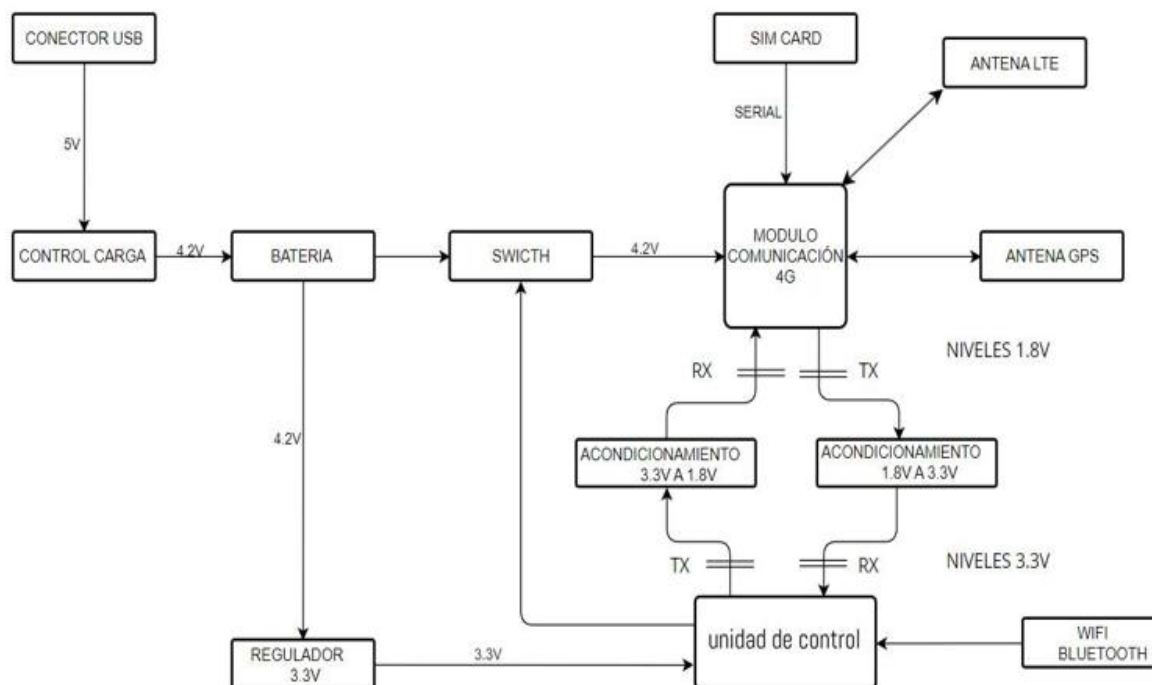


Fig. 8. Diagrama general en bloques, Fuente Propia.

5.2.1. Descripción de los Bloques

Conector USB. Este bloque permite la conexión del dispositivo a una fuente externa de energía a través de un cable USB.

Control de Carga. Gestiona el proceso de carga de la batería, asegurando que la energía proporcionada por el conector USB se almacene correctamente, prolongando la vida útil de la batería.

Batería. Proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del sistema. Es una fuente de alimentación independiente que garantiza que el dispositivo pueda operar sin conexión continua a la corriente.

Switch de Potencia. Este componente controla el flujo de energía desde la batería hacia el módulo del sistema, permitiendo encender o apagar el módulo de comunicación 4G y los demás componentes de manera controlada, mejorando el bajo consumo energético.

Módulo de Comunicación 4G. Es el núcleo de las comunicaciones del dispositivo, encargado de enviar los datos GNSS a través de la red LTE. Además, este módulo interactúa tanto con la antena LTE como con la antena GNSS para obtener datos de posicionamiento y transmitirlos a una plataforma central.

Acondicionamiento 3.3V a 1.8V y 1.8V a 3.3V. Los módulos de comunicación de 4G a nivel lógico se comunican a través de una interfaz serial, estas interfaces operan en niveles de 1.8V. En el caso que se requiera una comunicación con niveles de 3.3V es necesario un acondicionamiento de señales para que los módulos puedan intercambiar información.

Unidad de control. Se encarga de gestionar el control y procesamiento de los datos recibidos del módulo de comunicación 4G y otros periféricos, como la antena. Además, controla las operaciones lógicas del sistema y la interacción con el módulo GPS.

Regulador de 3.3V. Convierte la tensión de la batería a 3.3V, que es el nivel de operación requerido para alimentar tanto para la Unidad de control como los circuitos asociados. Asegura que los componentes operen dentro de sus rangos de voltaje especificados.

SIM Card. Establece la conexión con la red celular, indispensable para que el módulo de comunicación 4G transmita los datos de GNSS a través de la red LTE.

Antena LTE. Esta antena se encarga de gestionar la conexión del dispositivo a la red LTE, facilitando la transmisión de datos GNSS.

Antena GPS. Responsable de la recepción de señales satelitales para la obtención de datos de geolocalización.

5.3. Proceso de Selección de Componentes

Los componentes electrónicos que formarán parte de cada bloque funcional de la arquitectura deben elegirse cuidadosamente para poner en práctica el diseño del prototipo de ubicación. Para ello se realizó una búsqueda y evaluación de las numerosas tecnologías que existen en el mercado. Se tuvieron en cuenta varias posibilidades para cada componente porque algunos bloques son de suma importancia para el funcionamiento general del sistema.

Para guiar esta selección, se ha creado una tabla que presenta los aspectos técnicos más relevantes, como las características eléctricas, el consumo energético y las medidas de protección de cada dispositivo. A partir de esta información, se realizó una matriz para los componentes de mayor importancia, que convierte valores cualitativos en cuantitativos, ayudando a determinar la mejor opción para el proyecto. Finalmente, tras analizar los resultados obtenidos en la matriz de selección, se procede a escoger los componentes mejor destacado para cada bloque.

5.4. Módulos de Comunicación 4G

En entornos de Internet de las Cosas, la elección de un método de comunicación es esencial para los proyectos de GPS y de monitoreo, ya que influye directamente en la conectividad, el consumo de energía, el coste y la integración con la unidad de control. En el ámbito de las comunicaciones LTE Cat-M1 y NB-IoT, se examinaron las opciones más destacadas: los módulos SIM7080G, SIM 7000 y Quectel BG96, cada uno de ellos con distintas capacidades en términos de velocidad, cobertura y bajo consumo energético, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.
Comparativa entre Módulos de Comunicación.

Características	SIM7080G	SIM7000	Quectel BG96
Tecnologías de Red	LTE Cat-M1, NB-IoT, GPRS	Cat-M1, NB-IoT	LTE Cat-M1, NB-IoT, GPRS
Consumo en modo de suspensión (PSM)	3.2 μ A	5 μ A	5.0 μ A
Voltaje de operación	3.3V - 5.5V	2.2V - 4.2V	3.3V - 4.3V
Velocidad de Datos	375 kbps (Cat-M1) /	375 kbps (Cat-M1) /	375 kbps (Cat-M1) /
Máxima	60 kbps (NB-IoT)	60 kbps (NB-IoT)	60 kbps (NB-IoT)

Características	SIM7080G	SIM7000	Quectel BG96
Cobertura en Redes	Amplia gracias al soporte de GPRS (2G)	Dependiente de Cat-M1 y NB-IoT	Dependiente de LTE Cat-M1 y NB-IoT

Nota: Fuente [73] [74].

Después de realizar varios estudios y comparaciones, se eligió el SIM7080G como la mejor opción para este proyecto. Este módulo sobresale por su bajo consumo energético en modo de suspensión, lo que resulta esencial en dispositivos IoT que requieren operación prolongada con fuentes de energía limitadas[75]. Por el tiempo que tiene en el mercado se puede decir que tiene referencias positivas de una excelente conectividad en áreas con cobertura limitadas, lo genera más confianza para la selección de este módulo.



Fig. 9. Módulo SIM7080G
Nota: Fuente [73].

El bajo consumo en (PSM) y compatibilidad con los protocolos LTE Cat-M1 y NB-IoT que permite una buena transmisión de datos, asegurando que el proyecto mantenga bajos costos operativos sin comprometer la calidad de la conectividad.

5.5. Unidad de Control

La familia ESP SoC Espressif es ampliamente reconocida por su versatilidad y potencia, siendo una solución ideal para una amplia gama de aplicaciones IoT, desde dispositivos wearables hasta sistemas industriales avanzados. En la siguiente tabla se comparan tres variantes de esta serie: el ESP32, ESP32-S2 y ESP32-C3, evaluadas en función de la arquitectura del CPU, consumo de energía, capacidad de memoria y conectividad, proporcionando una visión clara de cuál se adapta mejor a los distintos requisitos de desarrollo.

Tabla 5.
Comparativa tipos de ESP SoC Espressif.

Características	ESP32	ESP32-S2	ESP32-C3
Arquitectura del CPU	Dual-core Xtensa LX6	Single-core Xtensa LX7	Single-core RISC-V
Frecuencia del CPU	Hasta 240 MHz	Hasta 240 MHz	Hasta 160 MHz
Memoria RAM	520 KB SRAM	320 KB SRAM	400 KB SRAM
Memoria Flash	Hasta 16 MB	Hasta 4 MB	Hasta 4 MB
Bluetooth	4.2 BR/EDR y BLE	BLE 5.0	BLE 5.0
Consumo en modo profundo	10 μ A	20 μ A	5 μ A
Corriente en modo inactivo	20 mA	18 mA	12 mA
Temperatura de operación	-40°C a +125°C	-40°C a +125°C	-40°C a +125°C

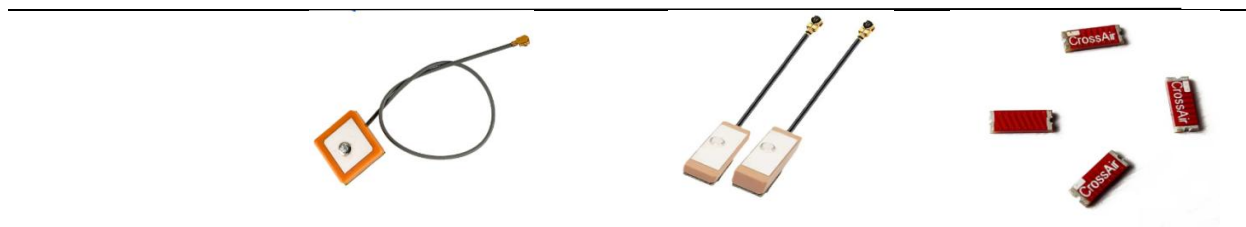
Nota: Fuente [76].

Después de varios análisis de las necesidades específicas del proyecto, el ESP32-C3 fue elegido para el proyecto debido a su combinación equilibrada de características modernas y bajo consumo energético. Su arquitectura RISC-V, junto con soporte de Bluetooth 5.0, lo hacen ideal para aplicaciones conectadas. También tenemos su consumo ultrabajo en modo profundo (5 μ A) y corriente en reposo reducida (12 mA) favorecen significativamente la autonomía energética del sistema, lo cual es crucial en proyectos alimentados por batería [77].

5.6. Selección Tipo de Antenas Para GPS

Anteriormente, se definió que el proyecto utilizaría antenas de tipo cerámica. Ahora, en este apartado, se selecciona el modelo específico de la antena. Existen diferentes modelos de antenas cerámicas, cada uno con características particulares según su aplicación, rendimiento y tamaño. En este análisis, se comparan tres modelos destacados: FZ1546-01^a, GPS-04 y GPS CA-G01, evaluando sus especificaciones técnicas y su desempeño en sistemas GPS.

Tabla 6.
Referencias de antenas cerámicas para GPS.



Modelo	FZ1546-01 ^a	GPS-04	CrossAIR_GPS CA-G01.
Frecuencia	1575.42 MHz (GPS L1)	1575.42 MHz (GPS L1)	1575.42 MHz (GPS L1)
Ganancia(dBi)	3.5 dBi	2.0 dBi	4.7dBi
Impedancia	50 Ohm	50 Ohm	50 Ohm
Tamaño	15 x 4 mm	25 x 25 mm	8,0 x 3,0 mm
Polarización	RHCP (polarización circular derecha)	RHCP	RHCP
Temperatura de operación	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C
VSWR	≤ 2.0	≤ 1.5	<2.0
Energía Tolerada Potencia	2.7W	3.2W	3.0W

Nota: Fuente [78] [79].

Análisis Comparativo:

FZ1546-01A. Esta antena es de montaje superficial, ideal para dispositivos portátiles y compactos. Su tamaño pequeño y ganancia de 3.5 dBi la hacen una buena opción para aplicaciones que requieren un equilibrio entre rendimiento y tamaño.

GPS-04. Con un tamaño más grande, la GPS-04 es una antena de parche cerámico, lo que le da una mejor estabilidad de señal en aplicaciones más voluminosas. Aunque su ganancia es menor (2.0 dBi), ofrece un bajo valor de VSWR, lo que significa mejor capacidad en la transmisión y recepción [79].

GPS CA-G01. Este modelo es el más pequeño de los tres, ideal para aplicaciones compactas. A pesar de su tamaño reducido, ofrece una ganancia de 4.7 dBi, lo cual es ideal según lo mencionado anteriormente en los (**Parámetros de desempeño de una antena RF**) ya que maneja una buena tolerancia de potencia y trabaja bien en espacio reducido, como relojes inteligentes o rastreadores.

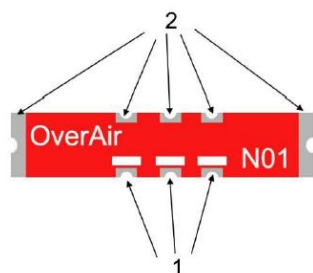
Después de considerar las características de los tres modelos, la GPS CA-G01 se escoge como la mejor opción para este proyecto. Su tamaño reducido de (8,0 x 3,0 mm), ganancia adecuada y montaje superficial (SMD) como se observa en la tabla de especificaciones, la hacen perfecta para aplicaciones donde el espacio y la integración adecuada son esenciales [80]. Además,

su bajo peso y facilidad de ensamblaje en PCB la convierten en la solución más práctica, superando a las otras opciones en términos de adecuación para un diseño moderno y ligero.

Por lo tanto, para este proyecto donde se busca una antena cerámica que ofrezca un buen rendimiento y fácil integración, la GPS CA-G01 es la opción más recomendada.

5.7. Selección de Antena Para LTE

En el proceso de evaluación y selección de antenas para el proyecto, se identificó que, dentro de la misma familia de la GPS CA-G01, se encuentra la Antena Over Air OA-N01 (ver figura 10) elaborada para la comunicación en redes 4G/LTE. Esta antena no solo mantiene las ventajas de compactibilidad y desempeño de la GPS CA-G01, sino que también está diseñada para cumplir con todos los requisitos técnicos y de rendimiento necesarios para el proyecto. La OA-N01 garantiza una conectividad estable y fiable en redes 4G/LTE, ofreciendo una solución adecuada en términos de miniaturización, fácil integración en PCB y buena transmisión de datos, cumpliendo así con los requerimientos establecidos para el diseño del proyecto[81].



1. Extremo de alimentación de señal de antena.
2. Extremo fijo para soldadura de antena.

Tabla 7.
Características de Antena LTE Over Air OA-N01.

Característica	Descripción
Rango de frecuencia de funcionamiento de Frecuencia de trabajo	700-960Mhz, 1710-2700Mhz, 3300-4200Mhz, 4400-5000Mhz
Impedancia	50Ω
Ganancia (dBi)	3.0dBi (890MHz) 5,0 dBi (2GHz) 3,1 dBi (3,7 GHz) 2,0 dBi (4,8 GHz)
relación de onda estacionaria VSWR	<3
Temperatura de funcionamiento temperatura de operación	- 40°C + 85°C

Energía tolerable	Capacidad de potencia	3W
-------------------	-----------------------	----

Nota: Fuente [82].

5.8. Funcionamiento de Switch de Potencia

Un switch de potencia es un dispositivo o componente electrónico que controla el flujo de energía en un circuito, actuando como un interruptor que abre o cierra el paso de corriente. En dispositivos electrónicos, como los GPS, el switch se utiliza para gestionar cuándo y cómo se alimentan los distintos módulos. Puede ser activado manualmente o controlado por el sistema para habilitar o deshabilitar componentes en un circuito, según las necesidades de operación del dispositivo[83].

5.8.1. Importancia del Switch en un Dispositivo GPS

En un proyecto de GPS con el módulo SIM7080G y el ESP32-C3, el switch juega un papel fundamental en la gestión energética, ya que permite desactivar el módulo 4G cuando no está en uso, evitando su consumo innecesario en modo reposo [84].

5.8.2. Selección de Componente Tipo Switch

Existen varios tipos de switches que se utilizan en la gestión de energía en dispositivos electrónicos, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones. A continuación, se comparan tres tipos de switches ampliamente utilizados en proyectos de GPS y dispositivos IoT: el AP2191WG-7, el TPS22918 y el SY6280.

Tabla 8.
Comparativa de Switch.

Parámetro	AP2191WG-7	TPS22918	SY6280
Corriente máxima (A)	2 A	2 A	2.5 A
Voltaje de operación (V)	2.5V a 5.5V	1.4V a 5.5V	2.5V a 5.5V
Consumo corriente (on)	4.5μA	7 μA	5μA
Tiempo de encendido	90 μs	90 μs	80 μs
Corriente en reposo	0.25μA	0.3 μA	0.7μA

Nota: Fuente [85][86]

Con base en la tabla comparativa de parámetros técnicos entre los modelos AP2191WG-7, TPS22918 y SY6280, la mejor opción para el proyecto es el AP2191WG-7, destacando por tener el menor consumo de corriente en estado activo ($4.5 \mu\text{A}$) y una corriente en reposo notablemente baja ($0.25 \mu\text{A}$), lo que lo convierte en una solución a considerar en términos de consumo energético[87].

Por estas razones, el AP2191WG-7 es ideal para gestionar la carga y el control de potencia en dispositivos GPS alimentados por batería, ya que equilibra un buen consumo energético, protección y compatibilidad con los componentes del proyecto.

5.9. Selección Tipo de Regulador

Existen varios tipos de reguladores de voltaje que se utilizan para estabilizar la corriente en dispositivos electrónicos. Cada tipo tiene características específicas que lo hacen adecuado para diferentes aplicaciones. En este caso se requiere de un regulador encargado de suministrar un voltaje estable a la unidad de control. A continuación, se presentan tres opciones relevantes para este proyecto de dispositivo: el MCP1700T-5002E, el AMS1117, y el LD1117-3.3.

Tabla 9.

Comparativa Tipo de Reguladores.

Parámetro	MCP1700T-5002E	AMS1117	LD1117-3.3
Voltaje de salida	2.7V / 5V	3.3V / 5V	3.3V / 5V
Corriente de salida máxima (A)	0.25 A	1 A	0.8 A
Corriente de reposo (μA)	1.6 μA	5 mA	5 mA
Caída de voltaje (Dropout)	178 mV @ 250 mA	1.1V @ 800 mA	1.1V @ 800 mA
Desempeño	Alta	Media	Media
Temperatura de operación	-40°C a +125°C	0°C a +125°C	0°C a +125°C

Nota: Fuente [88] [89] [90].

El MCP1700T-5002E presenta una opción adecuada para este proyecto gracias a su consumo ultrabajo (sólo $1.6 \mu\text{A}$), que lo hace perfecto para dispositivos alimentados por batería y para muchas aplicaciones de bajo consumo, su menor corriente de salida máxima (0.25 mA) es suficiente. Por el contrario, el AMS1117 y el LD1117-3.3 son menos eficaces para dispositivos

pequeños o portátiles debido a su mayor caída de tensión y a su consumo de energía significativamente mayor (5 mA), aunque tienen una mayor capacidad de corriente.

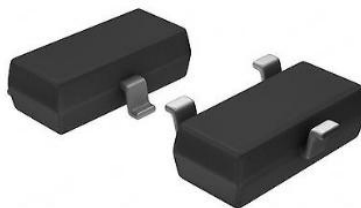


Fig. 10. Componente MCP1700T-5002E

Nota: Fuente [88].

El MCP1700T-5002E es un regulador de voltaje lineal de baja caída (LDO) diseñado para proporcionar una salida de voltaje estable y precisa en una amplia gama de aplicaciones. Su bajo consumo de corriente y fácil uso lo convierten en una excelente opción para diversas aplicaciones [88].

5.10. Sistema de Carga de Batería

El MCP73831T se ha seleccionado como el componente principal para gestionar la carga de la batería, como se muestra en la figura 11, es un cargador compacto (SOT-23-5) ideal para GPS, permitiendo cargar baterías de Li-Ion/Li-Po hasta 500 mA. Ofrece protección térmica y control de carga mejorado, asegurando seguridad y bajo consumo en dispositivos con espacio reducido[91].

El circuito de carga usando este tipo de tecnologías es de baja complejidad debido a las características internas del circuito integrado, solo requiere unos pocos componentes externos, como una resistencia RPROG para definir la corriente de carga y un condensador de filtrado. Además, incorpora una función de indicador LED para monitorear el estado de carga y permite el intercambio de alimentación entre el puerto USB y la batería.

La simplicidad del diseño no solo reduce el espacio necesario en la PCB, sino que también facilita la integración en proyectos pequeños y de bajo costo, lo que lo hace perfecto para dispositivos portátiles o sistemas IoT [92].

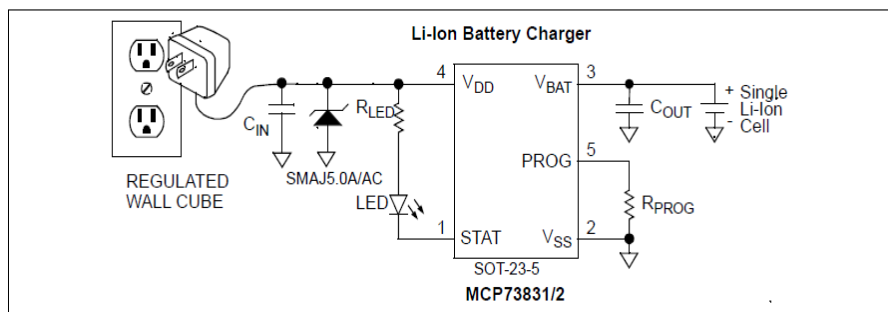


Fig. 11. Sistema de carga del circuito.

Nota: Fuente [92]

A continuación, se presenta una explicación del circuito de aplicación típica del MCP73831/2, describiendo el funcionamiento de este:

Regulación de Corriente: El MCP73831/2 proporciona una regulación de corriente constante durante la fase de carga. Esto significa que entrega una corriente fija a la batería hasta que se alcanza un voltaje específico, lo que ayuda a evitar la sobrecarga y prolonga la vida útil de la batería[91].

Fases de Carga: El proceso de carga se divide en varias fases:

- **Carga Inicial:** Si la batería está muy descargada, el controlador inicia un proceso de carga a baja corriente para evitar daños.
- **Carga Principal:** Una vez que la batería alcanza un voltaje adecuado, el controlador cambia a la fase de carga principal, donde se aplica la corriente constante.
- **Terminación:** Cuando la batería está completamente cargada, el controlador reduce la corriente a un nivel mínimo para evitar la sobrecarga.

Protección: El MCP73831/2 incluye características como la protección contra la descarga inversa, que evita que la corriente fluya de la batería de vuelta al circuito de carga.

Indicadores de Estado: El dispositivo cuenta con una salida de estado que indican el progreso de la carga, lo que permite a los usuarios saber si la batería está en proceso de carga, completamente cargada o si hay un problema.

Configuración de Corriente de Carga: La corriente de carga se puede ajustar mediante una resistencia externa conectada al pin PROG, lo que permite personalizar el dispositivo para diferentes aplicaciones y tipos de baterías.

A continuación, se listan algunas de las características de este componente, los cuales cubren el requerimiento para el presente proyecto.

Tabla 10.
Características Cargador de Batería MCP73831T

Característica	Descripción
Tipo de componente	Cargador de baterías Li-Ion/Li-Po
Rango de voltaje de entrada	3.75V a 6V
Protecciones integradas	Protección contra sobre corriente, sobre temperatura, y cortocircuito
Corriente de carga	Programable: 15mA a 500mA
Modos de Operaciones	Pre-carga, carga rápida, modo de terminación
Paquete	Paquete SOT-23-5 (ultra compacto, 5 pines)
Temperatura de Operación	-40°C a +85°C
Aplicaciones	Cargadores portátiles, dispositivos móviles, aplicaciones IoT

Nota: Fuente [92].

5.11. Conexión para Sim Card

Una SIM Card (*Subscriber Identity Module*) es una tarjeta pequeña que se inserta en los teléfonos móviles y otros dispositivos para identificar al usuario en una red de telecomunicaciones. Su función principal es almacenar información necesaria para que el dispositivo pueda conectarse a la red y operar de manera segura, como el número de teléfono, la información de la red, las claves de seguridad y otros datos asociados al servicio móvil[93].

Existen varios tipos de SIM en función de su tamaño y tecnología, Para el desarrollo de este proyecto se utilizará un socket de 6 pines para la Sim Card, porque este es comúnmente utilizado, adecuado para Sim Card de tipo nano y tiene un tamaño reducido [94].



Fig. 12. Socket de 6 Pines de una Sim Card.

Nota: Fuente [95].

5.11.1. *Cómo funciona una SIM Card:*

Insertión en el dispositivo: La SIM se coloca en el slot correspondiente del dispositivo móvil (como un teléfono o un módem).

Autenticación en la red: Al encender el dispositivo, este se conecta a la red del operador móvil. La SIM se utiliza para verificar la identidad del usuario a través de la autenticación (por ejemplo, mediante el intercambio de códigos de seguridad entre el dispositivo y la torre celular)[96].

Conexión a la red y servicios: Una vez autenticado, el dispositivo puede utilizar los servicios del operador, como hacer llamadas, enviar mensajes de texto y acceder a datos móviles.

Recepción y envío de señales: La SIM gestiona la recepción y transmisión de señales entre el dispositivo y las estaciones base de la red móvil.

6. Desarrollo de Sistema Electrónico

Una vez seleccionados los componentes para el prototipo electrónico, se procede a diseñar el esquemático cuyo resultado se muestra en la figura 13, para ello se utilizó el software libre KiCad 7.0 Este esquema incluye etiquetas claras que identifican la función de cada componente, lo que facilita la correcta interconexión y asegura una integración entre los diferentes elementos del circuito.

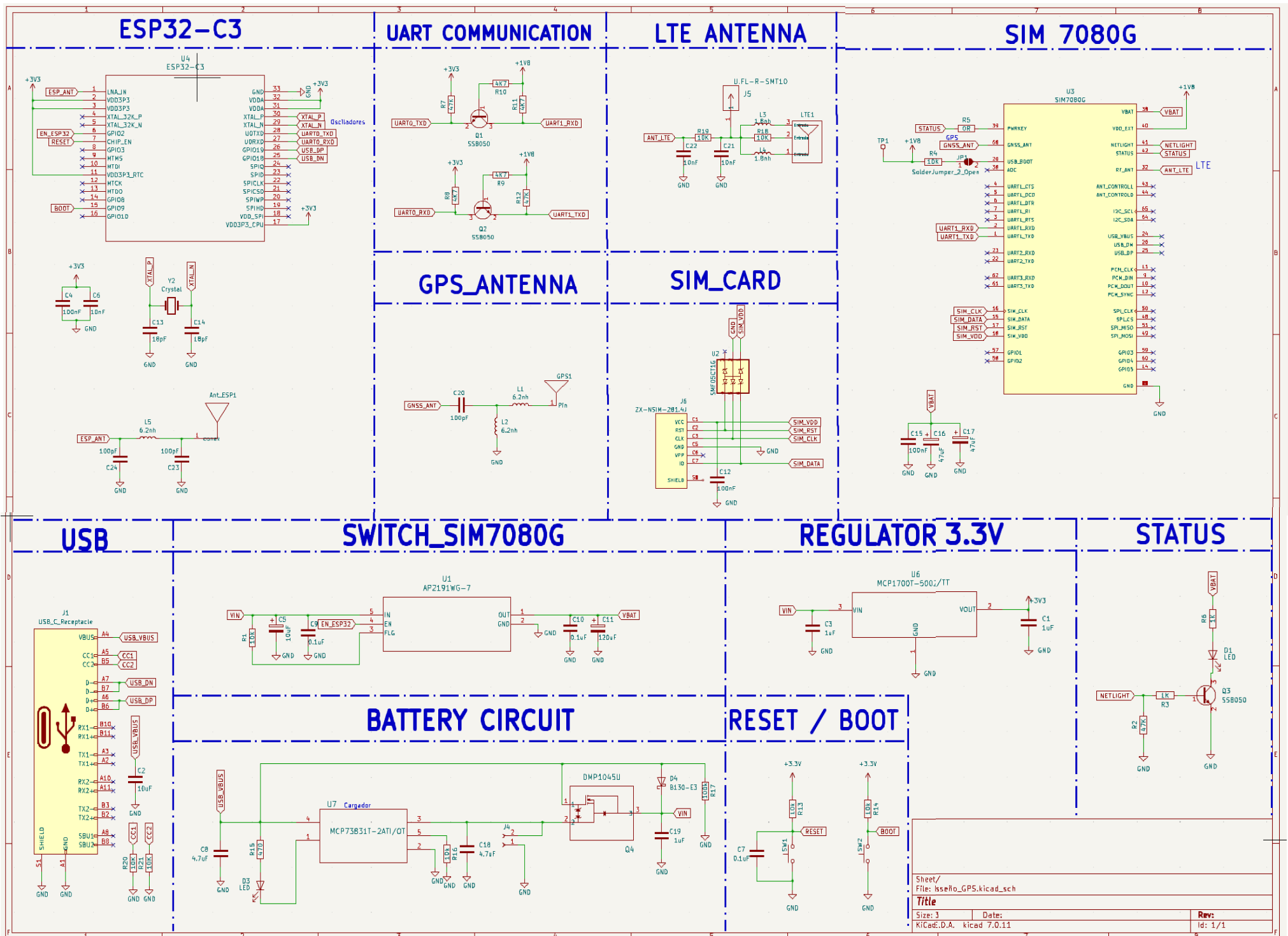


Fig. 13. Diagrama esquemático diseño electrónica

Esta fase del esquemático es uno de los pasos iniciales e importante en el desarrollo de cualquier dispositivo electrónico, después de haber echo comparaciones y seleccionado diversos componentes electrónicos, como reguladores de voltaje, antenas GPS y LTE, circuitos de comunicación UART, entre otros, para garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo. El esquemático incluye las rutas de alimentación y datos, asegurando que cada señal se distribuya correctamente. Un aspecto importante fue la inclusión de etiquetas que identifican las señales de cada componente, como el regulado de 3.3V, la conexión de la batería, el control de carga y las interfaces de comunicación, lo que facilitó la organización del diseño. Esta fase no solo sienta las bases del diseño físico, sino que también asegura que cada componente cumpla su rol dentro del sistema, desde la captación de señales GPS hasta la transmisión de datos vía LTE. Este esquemático sirve como guía esencial para la siguiente fase de diseño de la PCB, ya que traduce el diagrama conceptual en un circuito funcional, orientado a cumplir con los objetivos del dispositivo, como el bajo consumo energético, la conectividad y la precisión en la geolocalización.

6.1. Diseño del PCB

Una vez completado el diseño esquemático, el siguiente paso en el desarrollo del dispositivo es la implementación del diseño en la placa de circuito impreso (PCB). El cual se compone por 4 capas como se muestra en la figura 14,15,16,17. La forma en que quedo distribuido los canales de conexión de la PCB, estando dentro de los estándares propuesto por la empresa validando así **R-05** de los requerimientos. Estas capas son el soporte físico donde se ensamblarán los componentes electrónicos, y garantizar un buen desempeño y el correcto funcionamiento del sistema, se tomaron en cuenta las normas IPC, que proporcionan directrices importantes sobre el diseño de PCB. Se respetaron criterios fundamentales como el espaciado adecuado entre las pistas, la distribución de las capas y el tamaño adecuado de las pistas. Para así lograr obtener la correcta funcionalidad del sistema, sino también la optimización en el uso del espacio, la minimización de interferencias electromagnéticas y la estabilidad del rendimiento general del dispositivo.

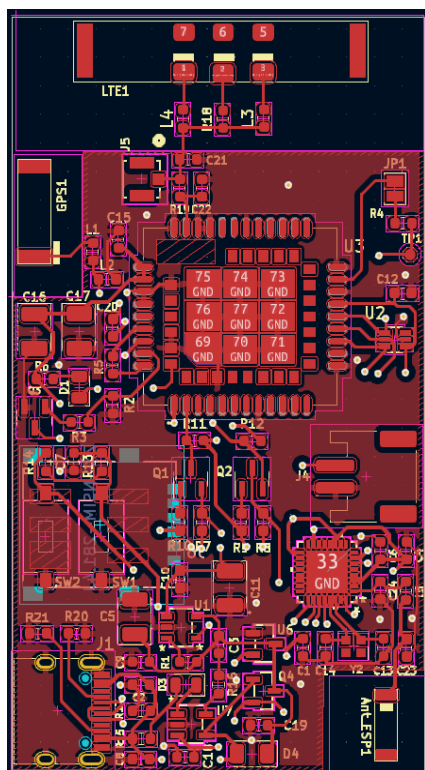


Fig. 14. Capa 1 del PCB

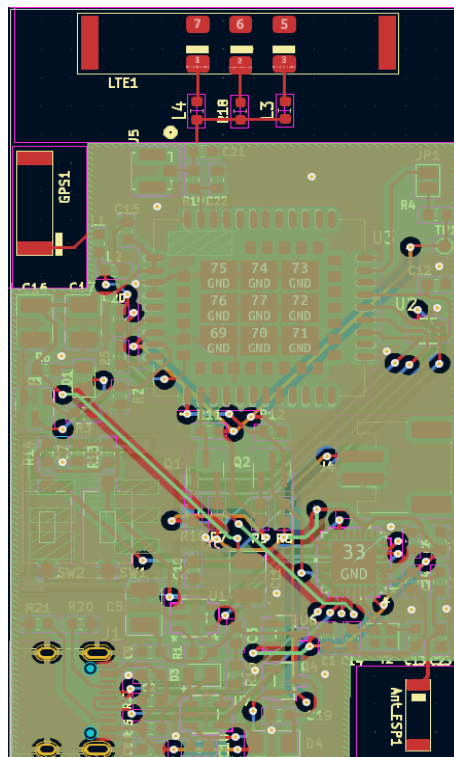
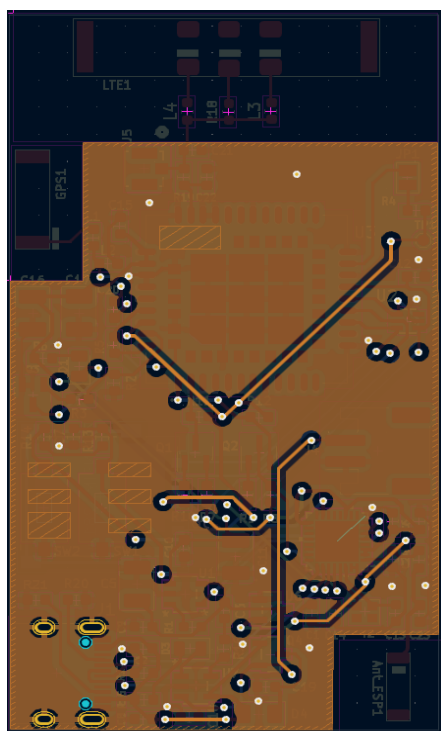


Fig. 15. Capa 2 del PCB



este dispositivo, como el microcontrolador ESP32-C3, el módulo SIM7080G, y las antenas LTE y GPS. En este diseño, se observa la distribución de las rutas y conexiones que aseguran una comunicación entre los distintos módulos, así como la correcta disposición de las líneas de alimentación y los elementos de filtrado. El diseño de la PCB, realizado también en KiCad 7.0, se ha mejorado para garantizar la integridad de la señal y minimizar pérdidas o interferencias, especialmente en las secciones críticas de RF, como las antenas. La disposición de los componentes sigue un enfoque compacto, pero funcional, lo que permitirá al prototipo mantener un tamaño reducido sin comprometer el desempeño del dispositivo. Esta fase incluye también la verificación de todas las conexiones y la disposición de los componentes para asegurarse de que el diseño sea adecuado y que los componentes seleccionados se puedan montar de manera segura y precisa.

6.2. Implementación del Dispositivo en PCB

Tras la creación y validación del diseño de la placa de circuito impreso, el siguiente paso en el desarrollo del dispositivo fue su implementación física, lo que implicó la fabricación y ensamblaje de la PCB con todos los componentes seleccionados, como se muestra en la figura 18. Esta fase es crucial, ya que convierte el diseño digital en un prototipo funcional, permitiendo realizar pruebas de laboratorio y determinar condiciones eléctricas y de conectividad. Como se puede observar que en la parte frontal se encuentran todos los componentes principales del sistema, y en la parte posterior de la PCB se encuentra únicamente el socket para la SIM Card, el cual permite la conexión del dispositivo a la red LTE.



Fig. 18. Dispositivo PCB

La imagen de la PCB muestra el diseño final ya ensamblado. Como podemos apreciar componentes principales como el ESP32-C3, el módulo SIM7080G, los reguladores de voltaje y el sistema de carga de batería. También están integradas las conexiones para las antenas LTE y GPS, ubicadas estratégicamente para minimizar interferencias y mejorar la recepción y transmisión de señales.

Antes de empezar con las pruebas y funcionalidad del dispositivo se requiere enseñar el tamaño estándar con el que fue construido como se muestra en la figura 19. Para así validar que el dispositivo se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

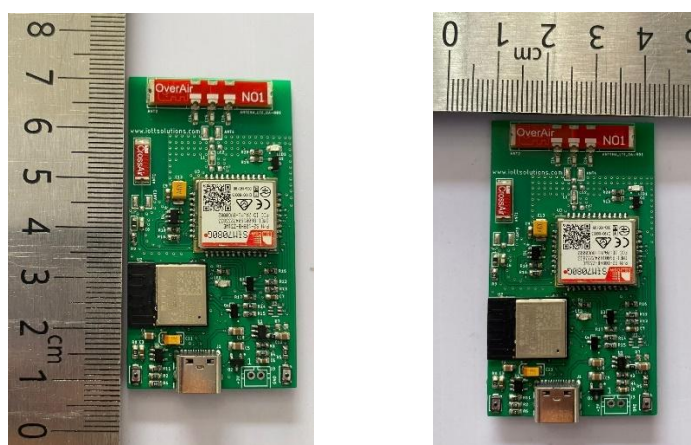


Fig. 19. Medidas del Dispositivo Hardware.

Como se muestra en la figura 19, presentan las mediciones realizadas al dispositivo, evidenciando que sus dimensiones son de 7 cm de largo y 4 cm de ancho. De este modo, se demuestra que se cumple con el primer requisito establecido por la empresa.

6.2.1. Pruebas de funcionalidad del dispositivo

En el marco del desarrollo del dispositivo de rastreo y monitoreo, se han diseñado pruebas específicas para analizar la funcionalidad de la placa en conjunto con el ESP32-C3 y el Módulo SIM7080G a través de una serie de ensayos. Estas pruebas se estructuran en tres fases diferenciadas que permitirán validar los objetivos funcionales del sistema:

Estas pruebas están diseñadas para verificar cuatro aspectos esenciales del sistema: el suministro adecuado de energía a cada componente, garantizando un rendimiento estable, la capacidad de la placa para recibir y ejecutar código, la operatividad de la antena LTE y el correcto funcionamiento del módulo GNSS.

6.2.1.1. Fase 1: Verificación de Suministro de Energía En la PCB

Esta fase tiene como objetivo garantizar una distribución de energía estable y adecuada en la PCB, asegurando que cada componente del sistema reciba el voltaje y la corriente requeridos para su correcto funcionamiento. Se verifica el desempeño de los reguladores de voltaje y se comprueba que el ESP32-C3, el módulo SIM7080G y los demás circuitos integrados sean alimentados de forma confiable y dentro de los parámetros eléctricos especificados.

Descripción. Se miden los voltajes en los distintos puntos de la PCB para confirmar que los niveles de voltaje sean los adecuados, Como se muestra en la figura 20. Se obtiene un voltaje de 3.5V para el ESP32-C3 y uno sobre 5V para el módulo SIM7080G, lo cual nos indica que el suministro de energía para estos componentes es totalmente adecuado para el funcionamiento correcto del PCB. También, se comprueba la correcta alimentación de todos los componentes, asegurando que el sistema opere sin fallos por caídas de voltaje, de esta forma se demuestra que se cumple el requerimiento **R-02** establecido por la empresa.

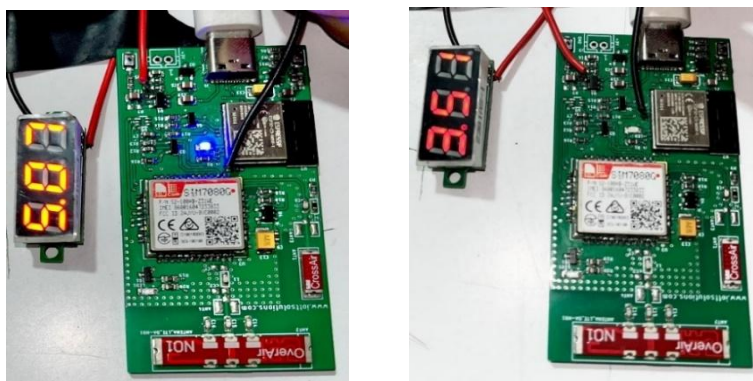


Fig. 20. Verificación de Voltaje en la PCB

De esta forma, confirmamos que los voltajes obtenidos en el ESP32-C3 y el módulo SIM7080G son los esperados, asegurando que cada componente reciba la alimentación adecuada para su correcto funcionamiento.

6.2.1.2. Fase 2: iencia Energética de Bajo Consumo del Dispositivo

Descripción. En esta fase, se empleará el dispositivo NRF-PPK2, una herramienta especializada en la medición de consumo en dispositivo hardware de baja potencia, que permite registrar perfiles de consumo, visualizar variaciones en tiempo real y comparar valores en diferentes estados operativos. Brindado por la empresa IOT Techs Solution para evaluar los modos de operación del dispositivo del consumo y descarga de la batería.

Para el presente dispositivo se empleó una batería de ion-litio (Li-ion) tipo 2S, con un voltaje nominal de 7.4 V y una capacidad de 2600 mAh. Con el objetivo de estimar su tiempo de operación, se realizará un análisis basado en los datos reales obtenidos a través del dispositivo de medición NRF-PPK2, cuyos resultados se presentan en las figuras 21, 22 y 23. A partir de esta información, se calculará el tiempo de descarga de la batería, lo que permitirá evaluar si el sistema puede ser clasificado como un dispositivo de bajo consumo energético.

• Activación del Dispositivo y Busca Señal

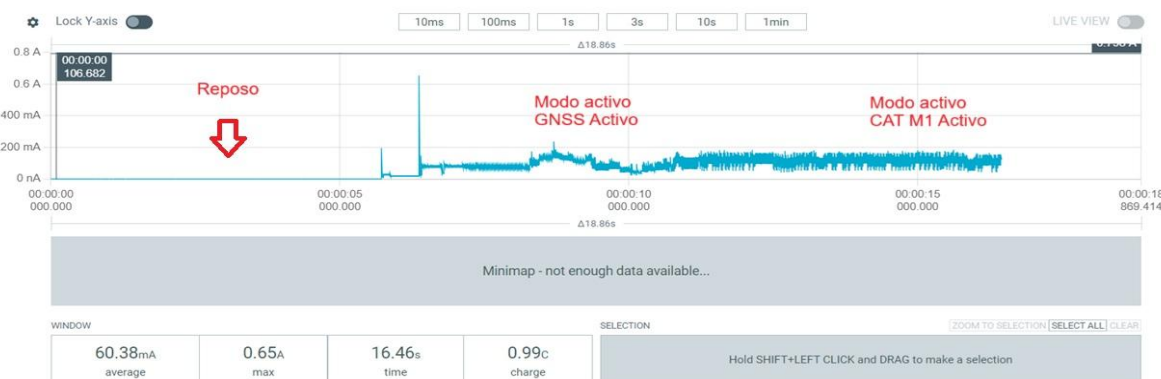


Fig. 21. Activación del Prototipo de Ubicación

- **Cambio de Modo de Operación del Dispositivo**

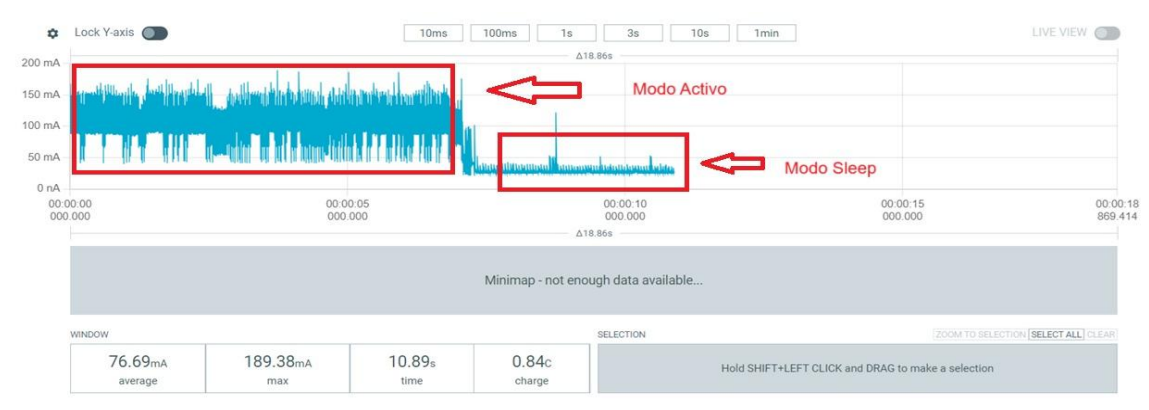


Fig. 22. Cambio de Activo a Bajo Consumo

- **Grafica de Bajo consumo del Dispositivo**



Fig. 23. Bajo Consumo de Dispositivo.

Ahora estimaremos el tiempo de descarga de la batería basándonos en los valores obtenidos anteriormente por las gráficas mostradas. Sacaremos los cálculos suponiendo que el usuario determino obtener la ubicación cada 30 minutos.

- **Modo activo:** consume 150 mA durante 10 segundos
- **Modo reposo:** consume 1 mA durante el resto del tiempo
- **Frecuencia de activación:** cada 30 minutos (1800 segundos)

Paso 1: Duración de cada modo dentro de un ciclo

- **Ciclo completo:** 1800 segundos
- **Tiempo activo:** 10 segundos
- **Tiempo en reposo:** 1790 segundos

Paso 2: Calcula el Consumo por Ciclo.

Energía consumida en modo activo:

$$E_{\text{activo}} = 150 \text{ mA} \times \frac{10}{3600} = 150 \times 0.00278 = \mathbf{0.417 \text{ mAh}}$$

Energía consumida en modo reposo:

$$E_{\text{reposo}} = 1 \text{ mA} \times \frac{1790}{3600} = 1 \times 0.4972 = \mathbf{0.4972 \text{ mAh}}$$

Consumo total Por Ciclo:

$$E_{\text{total por ciclo}} = 0.417 + 0.4972 = \mathbf{0.9142 \text{ mAh}}$$

- **Consumo Promedio del Dispositivo**

$$I_{\text{promedio}} = \frac{E_{\text{total}}}{\text{duración del ciclo en horas}} = \frac{0.9142}{0.5} = \mathbf{1.8284 \text{ mA}}$$

Paso 3: Número de ciclos disponibles con una batería de 2600 mAh.

$$\text{Ciclos posibles} = \frac{2600}{0.9142} \approx \mathbf{2843.8 \text{ ciclos}}$$

Paso 4: Tiempo Total de Duración.

$$\text{Duración total} = 2843.8 \text{ ciclos} \times 30 \text{ min} = 85314 \text{ min}$$

$$\text{En horas} = \frac{85314}{60} \approx \mathbf{1421.9 \text{ horas} \approx 59.25 \text{ días}}$$

Según los resultados obtenidos, en el escenario que dispositivo se activa para enviar su ubicación cada 30 minutos, se estima una autonomía de aproximadamente 59 días. Es importante considerar que la duración de la batería puede variar significativamente según la frecuencia de uso programada. Por ejemplo, si el dispositivo se configura para transmitir cada 2 o 5 minutos, su autonomía se reducirá considerablemente. Por el contrario, si se utiliza con una frecuencia menor, como una vez cada 24 horas o más, la duración de la batería podría extenderse a un plazo mayor. En este sentido, la autonomía final del dispositivo dependerá directamente del intervalo de transmisión configurado para su operación.

A continuación, se presenta una tabla de clasificación del consumo promedio (en mA) que permite estimar si un dispositivo se considera de bajo, medio o alto consumo. Como puede observarse, nuestro dispositivo tiene un consumo promedio de 1.8 mA, lo que lo ubica dentro del rango de bajo consumo.

Tabla 11.

Clasificación de Dispositivos según el consumo en (mA).

Clasificación	Consumo promedio Típico	Ejemplos Comunes
Ultra bajo consumo	< 1 mA	Sensores IoT con sleep profundo, etiquetas RFID
Bajo consumo	1 – 10 mA	Dispositivos optimizados, trackers GPS, wearables
Consumo medio	10 – 50 mA	WiFi activo, controladores moderados
Alto consumo	> 50 mA	GSM, pantallas, motores

Nota: Fuente [97]

Los resultados obtenidos basándonos en los datos del dispositivo NRF-PPK2 demuestran que el dispositivo hardware funciona correctamente en los diferentes modos entrando así en la categoría de bajo consumo, como se había previsto en su diseño inicial.

6.2.1.3. Fase 3: Evaluación de la programabilidad

Esta fase consiste en verificar si la placa ESP32-C3 es programable y puede interactuar con el módulo SIM7080G. Se carga un programa básico que envía comandos AT al módulo y se analiza la respuesta, comprobando que el sistema acepta y procesa instrucciones correctamente.

Descripción. En esta fase, se validará si la placa ESP32-C3 es programable mediante un código sencillo que permita encender y apagar un LED conectado a uno de sus pines digitales, como se muestra en la figura 23. Esta prueba asegura que el microcontrolador puede recibir y ejecutar instrucciones básicas, también se demuestra que el dispositivo cuenta con su puerto USB el cual cumple su función de suministro de energía y carga de código, de esta forma se valida los requisitos **R- 04** establecidos por la empresa.

```

1 // Definir el pin donde está conectado el LED
2 #define LED_PIN 7 // Cambia el número si conect
3
4 void setup() {
5     // Configurar el pin como salida
6     pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
7 }
8
9 void loop() {
10    // Encender el LED
11    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
12    delay(1000); // Mantener encendido 1 segundo
13    // Apagar el LED
14    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
15    delay(1000); // Mantener apagado 1 segundo
16 }

```

Output Serial Monitor

```

Compressed 274336 bytes to 152459...
Writing at 0x00010000... (10 %)
Writing at 0x0001bd4f... (20 %)
Writing at 0x00023dd9... (30 %)
Writing at 0x0002a9ea... (40 %)
Writing at 0x00030ad6... (50 %)
Writing at 0x00036e43... (60 %)
Writing at 0x0003cb78... (70 %)
Writing at 0x00043c4c... (80 %)
Writing at 0x0004aa3a... (90 %)
Writing at 0x00050e3f... (100 %)

```

Fig. 25. Código Prueba



Fig. 24. Funcionamiento del Dispositivo

De esta forma, se valida que la placa ESP32-C3 puede ser programada y responder correctamente a las instrucciones enviadas, asegurando su capacidad para interactuar con el módulo SIM7080G. Esto confirma la correcta configuración del microcontrolador y sienta las bases para la integración de funcionalidades más avanzadas, garantizando un desarrollo estable del sistema.

6.2.1.4. Fase 4: Prueba de la antena LTE y GNSS.

Descripción. El objetivo de esta fase es evaluar el rendimiento de las antenas GNSS y LTE incluidas en el prototipo de localización, especialmente en términos de precisión y consistencia de los datos de localización adquiridos. Para ello, se realizará un recorrido por la ciudad de Popayán-Cauca en varios puntos clave haciendo un mapeo, donde se compararán las coordenadas registradas por el prototipo con las de un teléfono móvil de referencia. En cada lugar se recogerán 25 muestra, lo que nos indica que en total de prueba al dispositivo en varios entornos son más de 150 muestra en la base de datos. sin embargo, en este documento solo se mostrará 10 muestra de cada punto de referencia ya que no hay mucha diferencia entre los resultados. Esto se llevará a cabo utilizando ambos dispositivos, lo que permitirá calcular un promedio e identificar el margen de error de las coordenadas proporcionadas. El objetivo de esta evaluación es confirmar que el

sistema de posicionamiento y comunicación del prototipo funciona según lo previsto en entornos operativos reales de esta forma también podemos dar por validado el requisito **R-03** propuesto por la empresa.

Las muestras serán tomadas por coordenadas que muestra los datos de posición, la latitud y la longitud- obtenidos por el dispositivo de seguimiento. Como se muestra en la **(figura 26 hasta la 30)**. Donde el punto azul del gráfico representa la posición de referencia determinada por un teléfono móvil, mientras que el punto rojo representa la posición registrada por el dispositivo GPS. De esta forma obtenemos unos datos de posición los cuales vamos incorporando como se muestra en la **(tabla 12 hasta la 16)** Para examinar el desfase entre las coordenadas adquiridas por el dispositivo y el punto de referencia, estas mediciones se realizaron en distintos puntos. Gracias a este examen es posible evaluar la precisión del dispositivo de seguimiento en la adquisición de datos de localización.

Esta fase se puede llevar a cabo dado que la empresa IOT Techs Solution proporciona el código firmware de prueba, el cual es el encargado de obtener y enviar datos por el cual podemos evaluar las antenas LTE y GNSS. En caso de que se requiera información a profundidad del firmware, esta se encuentra en el documento de trabajo de grado del estudiante de ingeniería electrónica Anderson David Macias Zuñiga, quien fue el encargado dentro de la empresa IOT Techs Solutions del desarrollo firmware.

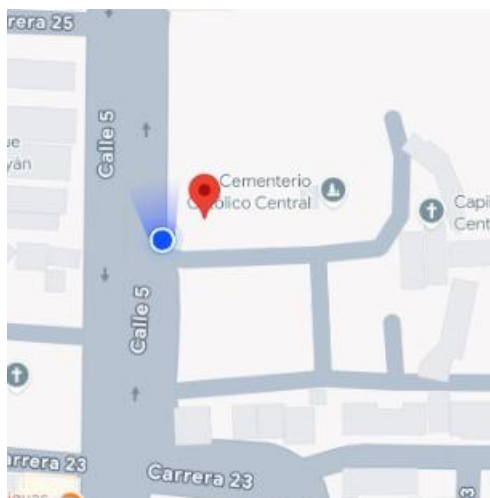


Fig. 26. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 1.

Tabla 12.

Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 1.

Muestra	Latitud	Longitud	Desface en metros
Punto de referencia	2,4483412	- 76,6206014	0
1	2.4476922	- 76.6206955	2m
2	2.4475519	-76.6324680	4m
3	2.4476946	- 76.6206506	6m
4	2.4477776	- 76.6210734	3m
5	2.4475543	-76.6324685	4.3m
6	2.4476954	- 76.6206512	2.3m
7	2.4477798	- 76.6210745	1.6m
8	2.4475521	-76.6324672	0.9m
9	2.4476942	- 76.6206509	3.1m
10	2.44745732	- 76.6210703	1.4m
Promedio metros de Desface			3.75m
Desviación Estándar			1.7m

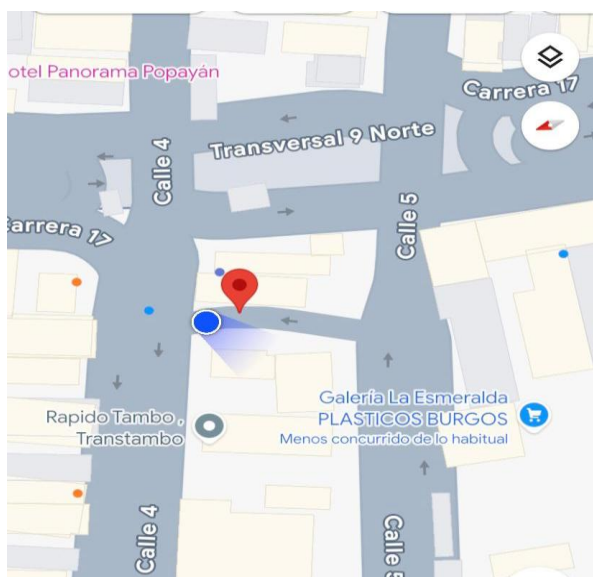


Fig. 27. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 2.

Tabla 13.

Datos de Posición Obtenidos por el Prototipo de Rastreo Muestra 2.

Muestra	Latitud	Longitud	Desface en metros
Punto de referencia	2.4449532	-76.6147913	0
1	2.4452754	- 76.6147105	1,3m
2	2.4449002	- 76.6149553	3,4m
3	2.4449243	- 76.6145637	1,7m
4	2.4452935	- 76.6147709	4,4m
5	2.4449565	-76.6147976	1,4m
6	2.445209	- 76.6147132	2,3m
7	2.4449043	- 76.6149532	6,5m
8	2.4449250	- 76.6145612	1,7m
9	2.4452923	- 76.6147723	4,5m
10	2.4449521	-76.6147921	4,7m
Promedio metros de Desface			2,8m
Desviación Estándar			1,7m

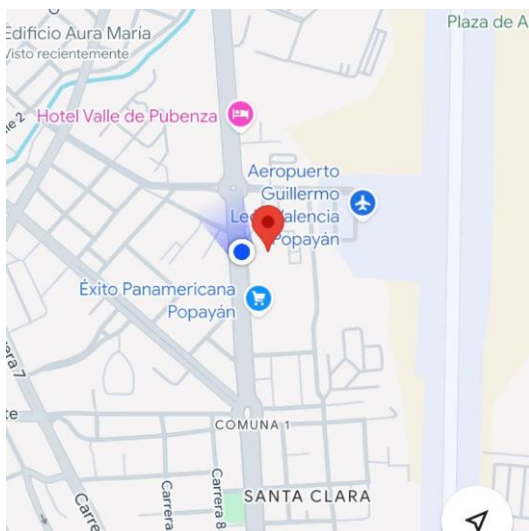


Fig. 28. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 3.

Tabla 14.

Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 3.

Muestra	Latitud	Longitud	Desface en metros
Punto de referencia	2,4510714	- 76,6081534	0
1	2.4510901	- 76.6071097	2,5m
2	2.4515554	-76.6329247	5,7m
3	2.4510818	- 76.6070270	6,1m
4	2.4514824	- 76.6065247	1,2m
5	2,4510754	- 76,6081504	1,9m
6	2.4510956	- 76.6071032	3,5m
7	2.4515587	-76.6329276	0,4m
8	2.4510809	- 76.6070212	0,6m
9	2.4514807	- 76.6065234	2,3m
10	2.4514832	- 76.6065267	0,6m
Promedio metros de Desface			2,4m
Desviación Estándar			2m

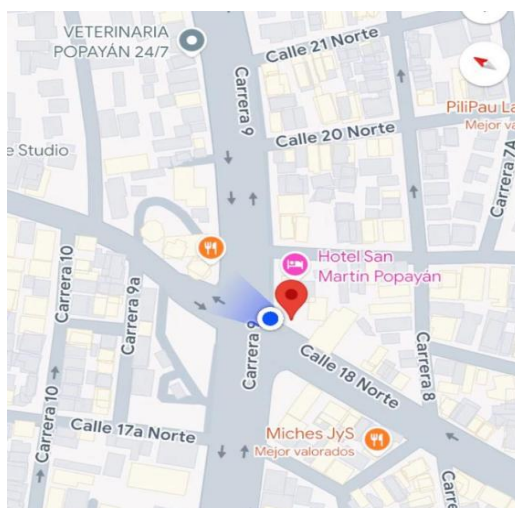


Fig. 29. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 4.

Tabla 15.

Datos de Posición Obtenidos por el Prototipo de Rastreo Muestra 4.

Muestra	Latitud	Longitud	Desface en metros
Punto de referencia	2,4550515	- 76,5973335	0
1	2.4510901	- 76.5972684	4,3m
2	2.4552856	-76.6240892	2,4m
3	2.4552166	-76.5972896	1,7m
4	2.4551470	-76.5973352	2,4m
5	2,4550532	- 76,5973398	1,4m
6	2.4510934	- 76.5972687	1,3m
7	2.4552845	-76.6240876	0,5m
8	2.4552156	-76.5972854	0,3m
9	2.4551467	-76.5973354	4,8m
10	2,4550578	- 76,5973332	3,7m
Promedio metros de Desface			2,2m
Desviación Estándar			1,4m

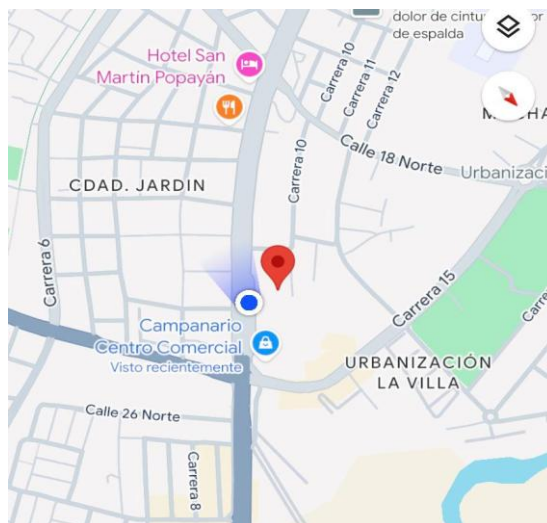


Fig. 30. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 5.

Tabla 16.

Datos de Posición Obtenidos por el Prototipo de Rastreo Muestra 5.

Muestra	Latitud	Longitud	Desface en metros
Punto de referencia	2.4586226	- 76.5940545	0
1	2.4585047	- 76.5941477	3,6m
2	2.4588658	- 76.5938164	1,4m
3	2.4596543	- 76.5935137	2,7m
4	2.4589663	- 76.5937487	4,4m
5	2.4586243	- 76.5940523	3,4m
6	2.4585021	- 76.5941487	1,3m
7	2.4588612	- 76.5938112	0,8m
8	2.4596503	- 76.5935121	0,2m
9	2.4589602	- 76.5937409	4,1m
10	2.4586224	- 76.5940510	3,1m
Promedio metros de Desface			2,5m
Desviación Estándar			1,4m

En la figura 31, se observa una representación más clara de los puntos del recorrido donde se registraron las muestras de ubicación del dispositivo en la ciudad de Popayán.

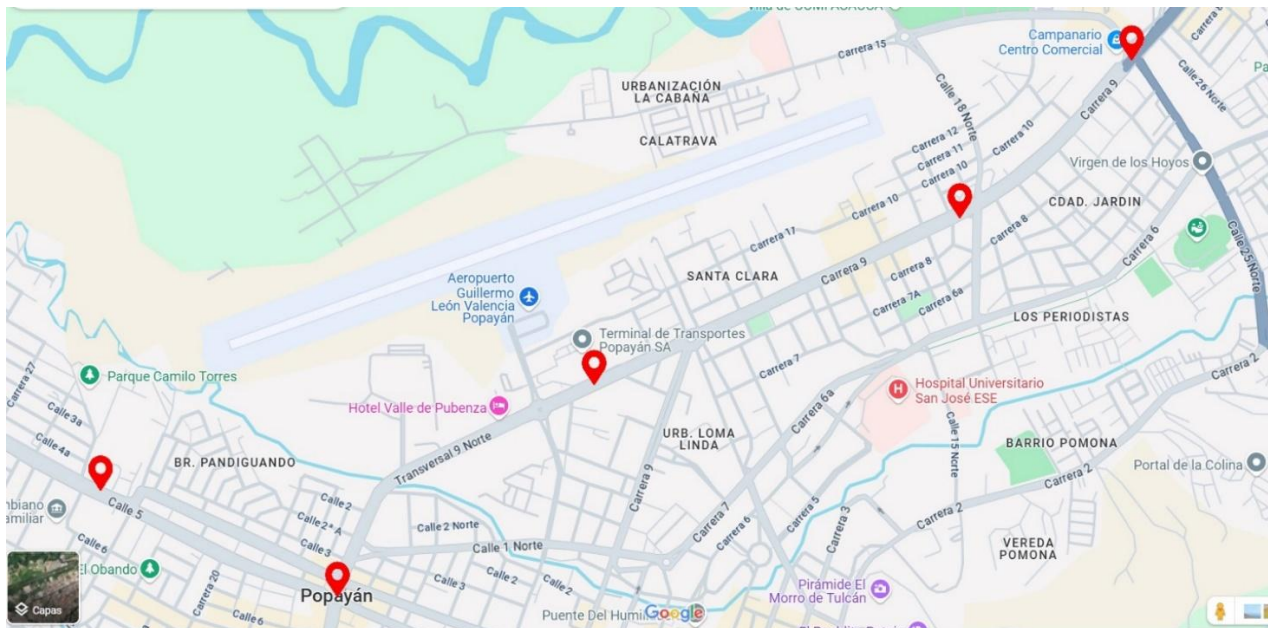


Fig. 31. Mapeo de las Muestras en la Ciudad.

Como se muestra en la figura 30 y 31. También se realizaron mediciones en zonas rurales para verificar el desempeño del dispositivo en distintos escenarios operativos y de esta forma también se obtuvieron datos los cuales se muestran en la tabla 17 y 18.

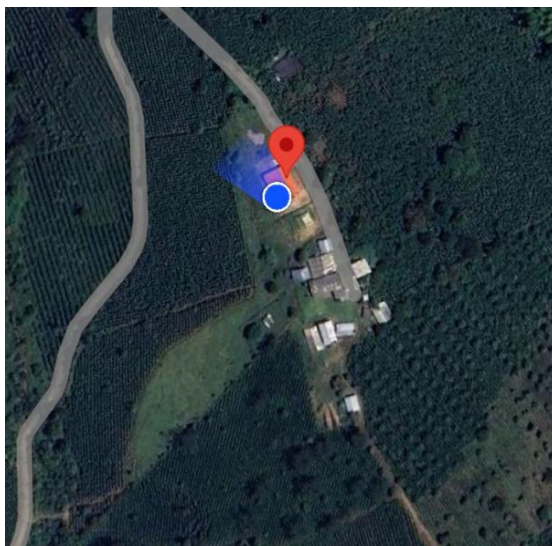


Fig. 32. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 6.

Tabla 17.

Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 6.

Muestra	Latitud	Longitud	Desface en metros
Punto de referencia	2.4517259	-76.6302891	0
1	2.4516690	-76.6302375	3,1m
2	2.4517939	-76.6302415	2,5m
3	2.4517798	-76.6303840	1,3m
4	2.4516428	-76.6303116	5,6m
5	2.4516643	-76.6302356	5,4m
6	2.4517954	-76.6302454	2,3m
7	2.4517721	-76.6303832	1,2m
8	2.4516489	-76.6303116	0,7m
9	2.4516678	-76.6302398	0,4m
10	2.4517998	-76.6306557	1,6m
Promedio Metros de Desface			2,4m
Desviación Estándar			1,8m

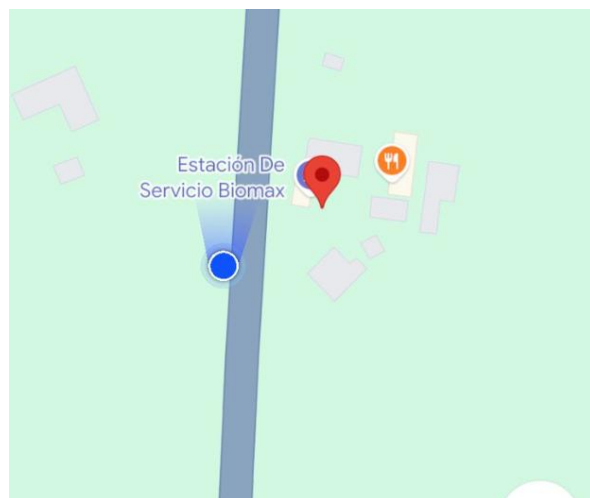


Fig. 33. Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 7.

Tabla 18.

Datos de Posición Obtenidos por el Dispositivo de Rastreo Muestra 7.

Muestra	Latitud	Longitud	Desface en metros
Punto de referencia	2.3942999	-76.6424643	0
1	2.3942992	-76.6424553	1,2m
2	2.3943297	-76.6423614	1,6m
3	2.3944155	-76.6424700	6,7m
4	2.3942467	-76.6425139	4,4m
5	2.3942932	-76.6424698	3,2m
6	2.3942956	-76.6424587	5,2m
7	2.3943267	-76.6423676	3,2m
8	2.3944178	-76.6424765	2,3m
9	2.3942489	-76.6425154	1,7m
10	2.3942954	-76.6424643	1,4m
Promedio Metros de Desface			3m
Desviación Estándar			1,8m

De esta forma, se valida el correcto funcionamiento del sistema de posicionamiento, destacando tanto el desempeño de la antena GNSS como la capacidad del módulo SIM7080G para adquirir y transmitir coordenadas en tiempo real. Las pruebas funcionales se realizaron en distintos entornos de la ciudad de Popayán, incluyendo zonas urbanas y rurales, con el propósito de evaluar la precisión del dispositivo bajo condiciones reales de operación.

Los resultados obtenidos demostraron que el error promedio de localización se mantuvo por debajo de los 3 metros y una desviación estándar menor a 2 metros, lo cual confirma el cumplimiento del requisito **R-06**. Obtenemos que el dispositivo cumple con los estándares técnicos establecidos para su funcionamiento, mostrando un comportamiento confiable y adecuado para aplicaciones de rastreo y monitoreo en campo.

6.3. Diseño de modelado de protección del dispositivo GPS

Para la implementación de este proyecto también se diseñó un chasis como se muestra en la figura 34. Este fue implementado en el software Autodesk Fusión 360, Con el propósito de que el dispositivo esté adecuadamente protegido frente a factores externos como golpes, polvo o humedad, mientras protege su funcionamiento y su portabilidad.

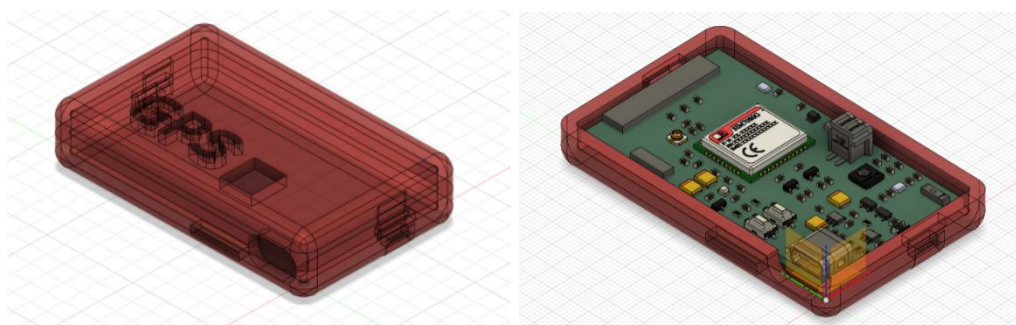


Fig. 34. Chasis del Dispositivo GPS

En el diseño mostrado, el chasis ha sido diseñada para ajustarse a los componentes internos del dispositivo, permitiendo una correcta ventilación y acceso a los conectores, como el puerto USB-C. Además, el encapsulado asegura que los módulos sensibles, como el receptor GPS y otros circuitos electrónicos, se mantengan en su lugar, minimizando el riesgo de desplazamiento o daños.

La carcasa también cumple con requisitos de robustez por el material que será utilizado para la implementación de este, ofreciendo una estructura sólida que protege el dispositivo durante su manipulación o transporte. El diseño compacto y seguro no solo mejora la durabilidad, sino que también facilita la integración del dispositivo en aplicaciones portátiles o IoT. En resumen, esta carcasa garantiza una combinación óptima entre protección y funcionalidad, sin comprometer el rendimiento del sistema GPS.

Conclusiones

1. Validación del desempeño mediante pruebas de campo

El prototipo fue sometido a pruebas en condiciones reales, demostrando su capacidad para adquirir y transmitir datos de ubicación con una buena precisión a considerar usando tecnologías GPS, GNSS y GLONASS, junto con la conectividad Cat-M1. Los resultados confirman que el dispositivo cumple con las expectativas de la empresa para aplicaciones de monitoreo multipropósito, mostrando estabilidad y confiabilidad en la transmisión de datos.

2. Arquitectura hardware orientada a bajo consumo y portabilidad

El proyecto logró desarrollar una arquitectura hardware que prioriza la reducción del consumo energético y la facilidad de transporte del dispositivo. La selección de componentes y el diseño físico permiten que el equipo funcione durante largos periodos con alimentación por batería, facilitando su uso en aplicaciones móviles y en entornos donde la recarga constante no es viable.

3. Desarrollo del circuito impreso bajo normas IPC y criterios de radiofrecuencia

El diseño del circuito impreso se realizó cumpliendo los estándares IPC y tomando en cuenta aspectos clave para dispositivos de radiofrecuencia. Esta atención al detalle en el diseño garantiza la integridad de las señales, minimiza las interferencias y asegura un funcionamiento confiable en ambientes exteriores, lo que es fundamental para aplicaciones de rastreo y monitoreo en tiempo real.

4. Integración tecnológica y proyección empresarial

La combinación de tecnologías avanzadas como Cat-M1, NB-IoT y sistemas globales de posicionamiento fortalece la oferta de IoT Tech Solutions S.A.S., permitiéndole ampliar su portafolio y responder a las demandas actuales y futuras del mercado de rastreo y monitoreo. Esto posiciona a la empresa como referente en soluciones tecnológicas innovadoras dentro del sector.

Trabajos Futuros

Rediseño del sistema electrónico agregando opción de instalar antenas externas, para aplicaciones donde se requiera mayor sensibilidad de recepción de señales.

Diseñar sistema de carga inalámbrica para uso del dispositivo de rastreo en aplicaciones de difícil instalación, como en vehículos tipo bicicleta, patinetas eléctricas.

Referencias

- [1] F. A. Damiani Fontana, «Sistema de gestión operativa y automatización de procesos utilizando RPA en una compañía de servicio de monitoreo vehicular GPS», Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2021. Accedido: 13 de mayo de 2025. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/657828>
- [2] B. A. Peñaherrera Cando, «Implementación de tecnología GPS en el desarrollo de sistemas de rastreo de mascotas mediante dispositivos móviles», *Revista Ingenio global*, vol. 4, pp. 5-20, ene. 2025, doi: 10.62943/rig.v4n1.2025.147.
- [3] K. Strandjord, Y. J. Morton, y P. Wang, «Evaluating the urban signal environment for GNSS and LTE signals», *Proceedings of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS+ 2021*, pp. 2166-2182, oct. 2021, doi: 10.33012/2021.18068.
- [4] M. Sánchez Parejo, «Design of an arduino car tracker implementing GSM/GPRS and GPS modules», E.T.S.I. y Sistemas de Telecomunicación (UPM), Madrid, 2018.
- [5] D. Roy, S. Sadhu, y S. Nandi, «Advantages of 5G-IoT over LTE-M or Nb-IoT Enhancing Next Generation Technologies», en *IET Conference Proceedings*, Institution of Engineering and Technology, 2020, pp. 296-301. doi: 10.1049/icp.2021.1172.
- [6] IoT TECH SOLUTIONS, «IoT TECH SOLUTIONS». [En línea]. Disponible en: <https://iotttsolutions.com/>
- [7] M. Ledesma Chivite, «Desarrollo de un dispositivo IoT de bajo consumo con tecnología LPWAN NB-IoT y CAT-M1», <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/395949>, 2023, doi: <http://hdl.handle.net/2117/395949>.
- [8] Entel Comunidad de Empresas, «¿Qué es CAT M1 y en que se diferencia de NB-IoT?». Disponible en: <https://ce.entel.cl/articulos/cat-m1/>
- [9] ESingeniería, «Influencia del GPS en la Evolución y Modernización de las Industrias». Disponible en: <https://esingenieria.net/influencia-del-gps-en-la-evolucion-y-modernizacion-de-las-industrias/>
- [10] M. Mikulasek *et al.*, «NB-IoT vs LTE Cat M1: Demystifying Performance Differences under Varying Radio Conditions», *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*, vol. 2022-October, pp. 133-138, 2022, doi: 10.1109/ICUMT57764.2022.9943485.
- [11] S. B. Sepulveda Mora, J. A. Castro Correa, B. Medina Delgado, D. Guevara Ibarra, y O. A. Lopez Bustamente, «Sistema de Geolocalización de Vehículos a través de la red GSM/GPRS y tecnología Arduino», *Revista EIA*, vol. 16, pp. 145-157, ene. 2019, doi: 10.24050/reia.v16i31.1269.

- [12] GSL Industrias, «Sistema de geolocalización». Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sistema-de-geolocalizacion>
- [13] J. Cascón-Katchadourian, C. Rodríguez-Domínguez, F. Carranza-García, y D. Torres-Salinas, «GeoAcademy: web platform and algorithm for automatic detection and location of geographic coordinates and toponyms in scientific articles», *Revista Espanola de Documentacion Cientifica*, vol. 46, 2023, doi: 10.3989/redc.2023.4.1393.
- [14] Á. A. Guzmán Castañeda, J. W. Pinto Uribe, y D. A. Velosa Castañeda, «Implementación de un sistema de geoposicionamiento con transmisión de coordenadas por radiofrecuencia», *Perspectivas en Inteligencia*, vol. 12, pp. 275-291, oct. 2021, doi: 10.47961/2145194x.227.
- [15] L. Margalef García, «Evaluación formativa de los aprendizajes en el contexto universitario: Resistencias y paradojas del profesorado», *Educacion XXI*, vol. 17, pp. 35-55, 2014, doi: 10.5944/educxx1.17.2.11478.
- [16] J. Gonzalez, «Tecnología al servicio del deportista outdoor», Oxígeno. Disponible en: https://www.revistaoxigeno.es/novedades/tecnologia-al-servicio-del-deportista-outdoor_50292_102.html
- [17] D. K. Flores Taípe, «Sistema de localización indoor y outdoor para un mini vehículo aéreo autónomo no tripulado utilizando módulos wi-fi», Tesis de Maestría, Politécnico de Leiria, 2017. Disponible en: <https://iconline.ipleiria.pt/entities/publication/7a9393ea-3a86-4e03-8e5d-8fb883d98dd5>
- [18] G. O. Jerez y D. B. M. Alves, «Analysis of the use of GPS/GLONASS data for different satellite positioning methods considering the influence of the Brazilian ionospheric conditions», *Revista Cartografica*, vol. 2022, pp. 31-46, jul. 2022, doi: 10.35424/rcarto.i105.1094.
- [19] GPS.gov, «Sistema de Posicionamiento Global: Al Servicio del Mundo». [En línea]. Disponible en: <https://www.gps.gov/spanish.php>
- [20] A. Zamora Maciel, R. Romero-Andrade, C. R. Moraila-Valenzuela, y F. Pivot, «Evaluación de receptores GPS de bajo costo de alta sensibilidad para trabajos geodésicos. Caso de estudio: línea base geodésica», *CIENCIA ergo sum*, vol. 27, p. e73, feb. 2020, doi: 10.30878/ces.v27n1a5.
- [21] C. Flores, «¿Cómo la tecnología GPS ha cambiado el mundo?», UbiTec GPS Solutions. [En línea]. Disponible en: <https://ubitec.mx/la-tecnologia-gps/>
- [22] M. Antichán, J. Morán, y S. Núñez, «Sistema de posicionamiento global aplicado al tráfico inteligente para organismos de emergencia», *Télématique*, vol. 8, pp. 56-69, 2009, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78411787005>

- [23] J. Moya Zamora, «Procesamiento GNSS en el Marco Geodésico CR-SIRGAS: influencia de las épocas de observación y referencia», *Ingeniería*, vol. 32, pp. 48-85, jun. 2022, doi: 10.15517/ri.v32i2.50181.
- [24] V. Lucas-Sabola, G. Seco-Granados, J. A. López-Salcedo, J. A. García-Molina, y M. Crisci, «Efficiency analysis of cloud GNSS signal processing for IoT applications», *30th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS 2017*, vol. 6, pp. 3843-3852, oct. 2017, doi: 10.33012/2017.15237.
- [25] TOPOSERVIS, «¿Qué es y para qué sirve un GNSS?» [En línea]. Disponible en: <https://toposervis.com/que-es-y-para-que-sirve-un-gnss/>
- [26] D. A. García Álvarez, «Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)», Proyecto fin de carrera, Universidad Autónoma de Madrid, 2008. Disponible en: <https://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>
- [27] F. Nunes y F. Sousa, «Deep Learning Soft-Decision GNSS Multipath Detection and Mitigation», *Sensors*, vol. 24, jul. 2024, doi: 10.3390/s24144663.
- [28] G. O. Jerez y D. B. M. Alves, «Diseño e implementación de un aplicación web para envío de mensajes de texto a través de un Gateway GSM GOIP con almacenamiento de SIM CARDS», *Revista Brasileira de Geomática*, vol. 6, p. 155, jun. 2018, doi: 10.3895/rbgeo.v6n2.7368.
- [29] S. B. Chaves Pabón y E. F. Muñoz Serna, «Estudio técnico comparativo de levantamientos topográficos en terreno montañoso realizados con estación total, equipos GNSS, y UAV de consumo con y sin apoyo de puntos de control», *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, vol. 1, pp. 19-31, ene. 2025, doi: 10.24054/rcta.v1i45.3025.
- [30] Y. Fernández, «GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo: qué son y cuáles son las diferencias», Xataka. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/gps-glonass-beidou-galileo-que-cuales-diferencias>
- [31] P. Li y X. Zhang, «Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning», *GPS Solutions*, vol. 18, pp. 461-471, 2014, doi: 10.1007/s10291-013-0345-5.
- [32] A. Camps, A. Alonso-Arroyo, H. Park, R. Onrubia, D. Pascual, y J. Querol, «L-band vegetation optical depth estimation using transmitted GNSS signals: Application to GNSS-reflectometry and positioning», *Remote Sens (Basel)*, vol. 12, ago. 2020, doi: 10.3390/RS12152352.
- [33] Glonass-iac, «Sobre el sistema GLONASS». [En línea]. Disponible en: https://glonass-iac.ru/spa/about_glonass/#structure

- [34] Digi, «Introducción a la tecnología celular LTE-M». [En línea]. Disponible en: <https://es.digi.com/blog/post/2017/introduction-to-lte-m-cellular-technology>
- [35] S. Y. Wang, J. E. Chang, H. Fan, y Y. H. Sun, «Comparing the Performance of NB-IoT, LTE Cat-M1, Sigfox, and LoRa for IoT End Devices Moving at High Speeds in the Air», *J Signal Process Syst*, vol. 94, pp. 81-99, ene. 2022, doi: 10.1007/s11265-021-01660-4.
- [36] P. Masek, M. Stusek, K. Zeman, R. Drapela, A. Ometov, y J. Hosek, «Implementation of 3GPP LTE Cat-M1 Technology in NS-3: System Simulation and Performance», *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*, vol. 2019-October, oct. 2019, doi: 10.1109/ICUMT48472.2019.8970869.
- [37] B. Andersen *et al.*, «Point-of-care medical devices and systems interoperability: A mapping of ICE and FHIR», en *2016 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking, CSCN 2016*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., dic. 2016. doi: 10.1109/CSCN.2016.7785165.
- [38] Wireless Logic, «¿Qué es CAT-1?» [En línea]. Disponible en: <https://wirelesslogic.com/es/que-es-el-cat-1/>
- [39] D. Arora y A. K. Verma, «A robust and secure hybrid reversible data embedding algorithm», en *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GUCON 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., mar. 2019, pp. 657-660. doi: 10.1109/GUCON.2018.8675113.
- [40] C. Sun, J. Zhou, J. Liuliang, J. Zhang, X. Zhang, y W. Wang, «Computation Offloading with Virtual Resources Management in Mobile Edge Networks», en *IEEE Vehicular Technology Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., jul. 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/VTCSpring.2018.8417681.
- [41] Telefónica, «¿Qué es NB-IoT y cómo funciona?» Disponible en: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/que-es-nb-iot-y-como-funciona/>
- [42] CCNA desde Cero, «Narrowband-IoT (NB-IoT): ¿Qué es y para qué sirve?» [En línea]. Disponible en: <https://ccnadesdecero.es/que-es-nb-iot/>
- [43] H. Shariatmadari *et al.*, «Machine-type communications: Current status and future perspectives toward 5G systems», *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, pp. 10-17, sep. 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7263367.
- [44] Electroners, «Preguntas frecuentes: Lo que necesita saber sobre Cat 1 LTE». Disponible en: <https://electroners.com/cat1-lte-faqs/>
- [45] Y. S. Choi, D. S. Choi, W. K. Kim, C. S. Eun, y J. M. Woo, «Design of subminiature microstrip antenna for GPS using perturbation effect», *Microw Opt Technol Lett*, vol. 64, pp. 1104-1111, jun. 2022, doi: 10.1002/mop.33244.

- [46] R. Carrasco, «Aplicaciones GPS en IoT (Internet de las Cosas)», Data Alliance. Disponible en: <https://www.data-alliance.net/es/aplicaciones-gps-en-iot-internet-de-las-cosas>
- [47] M. S. Islam, M. T. Islam, M. A. Ullah, G. K. Beng, N. Amin, y N. Misran, «A Modified Meander Line Microstrip Patch Antenna with Enhanced Bandwidth for 2.4 GHz ISM-Band Internet of Things (IoT) Applications», *IEEE Access*, vol. 7, pp. 127850-127861, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2940049.
- [48] Alai Secure, «Radiofrecuencia en telecomunicaciones: ¿Qué es y cómo funciona?» Disponible en: <https://alaisecure.co/glosario/radiofrecuencia-en-telecomunicaciones-que-es-y-como-funciona/>
- [49] Highleap Electronic, «Antenas RF: Principios, tipos y aplicaciones». Disponible en: <https://hilelectronic.com/es/rf-antennas/>
- [50] S. W. Ellingson, *Electromagnetics, Volume 2*. VT Publishing, 2020. doi: 10.21061/electromagnetics-vol-2.
- [51] O. Ubierna, «¿Qué son las antenas omnidireccionales?», Comunicaciones inalámbricas hoy. Disponible en: <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-son-las-antenas-omnidireccionales/>
- [52] Antenna Theory, «Patrón de radiación». Disponible en: <https://www.antenna-theory.com/spanish/basics/radPattern.php>
- [53] G. Hardesty, «Antenas WiFi, LTE, GSM: Cómo elegir / Alcance y patrones de radiación», Data Alliance. Disponible en: <https://www.data-alliance.net/es/antenas-wifi-lte-gsm-c%C3%B3mo-elegir-alcance-y-patrones-de-radiaci%C3%B3n>
- [54] P. V. Anh, N. H. Nguyễn, P. A. Hà, y N. T. Đức, «THIẾT KẾ ĂNG-TEN VÔ HƯỚNG MẠCH DẢI BĂNG RỘNG SỬ DỤNG TRONG CÁC ỨNG DỤNG KHÔNG DÂY», *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 226, pp. 141-148, jul. 2021, doi: 10.34238/tnu-jst.4577.
- [55] J. M. López, «Diferencias entre una antena direccional y una omnidireccional», Movistar. Disponible en: <https://www.movistar.es/blog/router/antena-direccional-antenas-omnidireccionales/>
- [56] G. S. K. G. Devi, S. K. Veni, T. Vidyavathi, y S. J. Ahmad, «Design of a Compact ISM-band Microstrip Slot Antenna for Wireless Sensor Nodes», *Indian J Sci Technol*, vol. 15, pp. 1958-1964, oct. 2022, doi: 10.17485/ijst/v15i38.1678.
- [57] B. T. Duyen, L. M. Thuy, y N. Q. Cuong, «High gain antenna with wide angle radiation for modern wireless communication applications», en *International Conference on Advanced Technologies for Communications*, IEEE Computer Society, dic. 2017, pp. 39-42. doi: 10.1109/ATC.2017.8167638.

- [58] B. Mishra, R. K. Verma, N. Yashwanth, y R. K. Singh, «A review on microstrip patch antenna parameters of different geometry and bandwidth enhancement techniques», junio de 2022, *Cambridge University Press*. doi: 10.1017/S1759078721001148.
- [59] R. S. Uqaili, J. A. Uqaili, S. Zahra, F. B. Soomro, y A. Akbar, «A Study on Dual-band Microstrip Rectangular Patch Antenna for Wi-Fi», *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, vol. 16, pp. 1-12, 2020, doi: 10.46604/peti.2020.6266.
- [60] Cadence PCB Solutions, «Understanding Voltage Standing Wave Ratio», Cadence. Disponible en: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2024-understanding-voltage-standing-wave-ratio>
- [61] * , Hüseyin ÇİZMECİ2 Husnu YALDUZ1, «DESIGN AND ANALYSIS OF MULTI-BAND COMPACT MICROSTRIP ANTENNA IN GSM1900/WLAN/WiMAX/DSRC/X-BAND FREQUENCY BANDS FOR VEHICLE APPLICATIONS», Dulunpinar University, 2023.
- [62] Huawei, «¿A que nos referimos cuando hablamos de potencia en una antena y como serie el cálculo de la misma?» Disponible en: <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/es/thread/%C2%BFA-que-nos-referimos-cuando-hablamos-de-potencia-en-una-antena-y-como-serie-el-c%C3%A1lculo-de-la-misma/699555583805505536?blogId=699555583805505536>
- [63] Antenna Theory, «Bandas de frecuencia». [En línea]. Disponible en: <https://www.antenna-theory.com/spanish/basics/freqBands.php>
- [64] G. Hardesty, «Polarización de la antena: vertical, lineal: factor clave en la selección de una antena», Data Alliance. Disponible en: <https://www.data-alliance.net/es/polarizaci%C3%B3n-de-la-antena-vertical-lineal-factor-clave-en-la-selecci%C3%B3n-de-una-antena>
- [65] P. Vera Sesmero, «Antenas de parche con diagrama de radiación monopolar y banda ancha», Trabajo de fin de grado, Universidad Carlos III de Madrid, 2014. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/7fb8db95-a5e1-40fb-8bf7-cf9dd58e6eb7>
- [66] R. Palla, M. Nikitha, y K. K. Naik, «Dual-band decagonal circular patch antenna with complementary split ring resonator on ground plane», *International Journal on Engineering Applications*, vol. 7, pp. 33-39, mar. 2019, doi: 10.15866/irea.v7i2.17150.
- [67] Antenna Theory, «Antena helicoidal». [En línea]. Disponible en: <https://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/travelling/helix.php>
- [68] M. K. Mumu y R. Hasan, «Design of a Palm Leaf Shaped Compact Microstrip Patch Antenna for Wireless Applications», en *2020 IEEE Region 10 Symposium, TENSYP 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., jun. 2020, pp. 465-468. doi: 10.1109/TENSYP50017.2020.9230944.

- [69] Shinhom, «Antena de chip de cerámica SMD», Shaanxi Shinhom Enterprise Co., Ltd. Disponible en: <http://es.shinhom.com/rf-microwave-components/smd-ceramic-chip-antenna-unfinished.html>
- [70] C. A. Suárez-Fajardo, D. R. Méndez-Marín, A. Pineda-Rodríguez, y G. A. Puerto-Leguizamón, «Antena de parche con sentido de giro reconfigurable para aplicaciones en satélites CubeSat», *DYNA (Colombia)*, vol. 83, pp. 157-164, dic. 2016, doi: 10.15446/dyna.v83n199.52449.
- [71] M. M. Nowak, K. Dziób, Ł. Ludwisiak, y J. Chmiel, «Mobile GIS applications for environmental field surveys: A state of the art», septiembre de 2020, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.gecco.2020.e01089.
- [72] khanavi; saghin,igotk yekar, «Vista de Prototipo de geolocalización para personas vulnerables: botón de pánico, SOS», <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/3818/5786>.
- [73] SIMCom Wireless Solutions, «SIM7080G_Hardware_Design_V1.04», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.simcom.com/product/SIM7080G.html>
- [74] Quectel BG96, «Quectel BG96 LTE Cat M1 & Cat NB1 & EGPRS Module», https://www.quectel.com/content/uploads/2024/03/Quectel_BG96_LPWA_Specification_V1.9-1.pdf?wpId=114225.
- [75] «SIM7080G Cat-M/NB-IoT HAT», https://www.waveshare.com/wiki/SIM7080G_Cat-M/NB-IoT_HAT.
- [76] Luis Llamas, «Probamos el nuevo ESP32-C3, el sustituto del ESP8266». [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/probamos-el-nuevo-esp32-c3-el-sustituto-del-esp8266/>
- [77] R.-V. single ESP32-C3 series of SoCs, «ESP32-C3-MINI-1 ESP32-C3-MINI-1U Datasheet Version 2.0 Small-sized 2.4 GHz Wi-Fi (802.11b/g/n) and Bluetooth». Disponible en: www.espressif.com
- [78] Grandado, «FZ1546-01». Disponible en: <https://esp.grandado.com/products/antena-gps-pasiva-rcmall-cable-de-extension-ipx-ufl-cable-de-navegacion-con-ganancia-de-2dbi-15x15x6mm-fz1546-01?variant=UHJvZHVjdFZhcmllhbnQ6MTcxNDI0MjY>
- [79] HWJ ELEC, «CA-G01 贴片天线 应用手册 [Manual de aplicación de la antena de chip CrossAir CA-G01]», abr. 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.gzhwjdz.com/DownLoad/57469.html>
- [80] GNSS antennas, «Ekinox Micro: Antennas and coax cables | SBG Systems», <https://support.sbg-systems.com/sc/hp/latest/documentation-resources/ekinox-micro-documentation/recommended-accessories/antennas-and-coax-cables>.

- [81] P. Gawlowicz, A. Zubow, S. Bayhan, y A. Wolisz, «Punched Cards over the Air: Cross-Technology Communication between LTE-U/LAA and WiFi», en *Proceedings - 21st IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, WoWMoM 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., ago. 2020, pp. 297-306. doi: 10.1109/WoWMoM49955.2020.00058.
- [82] HWJ ELEC, «OverAir OA-N01 5g SMD贴片天线规格书 [Ficha técnica de la antena con chip SMD 5g Over OA-N01]», jun. 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.gzhwjdz.com/Download/65031.html>
- [83] O. | www.ovaga.com, «AP2191WG-7», <https://www.ovaga.com/products/detail/ap2191wg-7>.
- [84] «Top Benefits of the Ignition Cutoff Feature in GPS Trackers», <https://www.brickhousesecurity.com/blog/benefits-of-ignition-cutoff-feature>.
- [85] Mouser Electronics, «AP2191WG-7». Disponible en: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Diodes-Incorporated/AP2191WG-7?qs=ptj1V1atRAr3Jx%252Bv1V49ew%3D%3D>
- [86] Texas Instruments, «TPS22918». Disponible en: <https://www.ti.com/product/es-mx/TPS22918>
- [87] D. Incorporated, «AP2181/ AP2191», 2015. [En línea]. Disponible en: www.diodes.com
- [88] Microchip Technology, «MCP1700 Low Quiescent Current LDO Data Sheet». Disponible en: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1700-Low-Quiescent-Current-LDO-20001826E.pdf>
- [89] Sigma Electrónica, «AMS1117-3.3».. Disponible en: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/ams1117-3-3/>
- [90] Unic Electronics, «LD1117AL Regulador de Voltaje 3.3V 1A TO-220». [En línea]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/ld1117al-regulador-de-voltaje-3-3v-1a-to-220/>
- [91] Microchip Technology Inc, «MCP73831 Family Data Sheet DS2000 1984 H - © 2005-2020 Microchip Technology Inc. DS20001984H-page 1 - Studeersnel», <https://www.studeersnel.nl/nl/document/universiteit-twente/computer-systems-for-cs/mcp73831-family-data-sheet-ds2000-1984-h/38814617>.
- [92] Microchip Technology, «MCP73831-Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion, Li-Polymer Charge Management Controllers». Disponible en: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP73831-Family-Data-Sheet-DS20001984H.pdf>

- [93] Xu Tammy, «What Is a SIM Card and How Does It Work? | Built In», <https://builtin.com/hardware/what-is-a-sim-card>.
- [94] Suma Móvil, «¿Qué es y cómo funciona una SIM?», Suma Móvil SAS. [En línea]. Disponible en: <https://sumamovil.com.co/glosario/que-es-y-como-funciona-una-sim/>
- [95] AliExpress, «Soporte para tarjeta SIM de 5 piezas, 6 P, SMT, SMD, 6 pines, ranura para 6 pines, asientos, conector para teléfono». [En línea]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/1005005864491759.html>
- [96] C. M. Armas Cadena y J. C. García, «Diseño e implementación de un aplicación web para envío de mensajes de texto a través de un Gateway GSM GOIP con almacenamiento de SIM CARDS», <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56366>.
- [97] «ESP8266 Deep Sleep, cuánto consumen NodeMCU y Wemos D1 Mini», <https://programarfacil.com/esp8266/esp8266-deep-sleep-nodemcu-wemos-d1-mini/>.