



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE CONTROL
Y REGISTRO OPERACIONAL, PARA EMPRESA 3
VOLCANES.**

Memoria para optar al Título de

Ingeniero Civil Mecatrónico

Profesor Guía:

Alejandro Jofré M.

OSCAR MAURICIO MARCHANT QUEZADA

Curicó – Chile

2021

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS UNIVERSIDAD DE TALCA' and the right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO'.

Curicó, 2022

UNIVERSIDAD DE TALCA
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Mecatrónica

Profesor Guía:
Alejandro Jofré M.

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE CONTROL Y
REGISTRO OPERACIONAL, PARA EMPRESA 3
VOLCANES.**

Oscar Mauricio Marchant Quezada

Informe de Memoria de Título
Para optar al Título de
Ingeniero Civil Mecatrónico

Resumen

En el presente documento se muestra el desarrollo de un dispositivo que da una solución a una problemática que tiene la empresa 3 Volcanes, dado que en la actualidad cuenta con un plan de mantenimiento, pero este es sin enfoque preventivo, además no cuenta con ninguna base de datos que registre los tiempos de funcionamiento de sus equipos, tanto para equipos rodantes como estáticos. En base a ello como solución se propone el desarrollo de un dispositivo que se encargue de obtener indicadores como tiempo de funcionamiento y ubicación geográfica (en caso de equipos rodantes), los cuales son almacenados y enviados a una unidad central, proporcionándose de esta manera una base de datos, la cual 3 Volcanes puede utilizar para aplicar un plan de mantenimiento preventivo.

El dispositivo desarrollado es controlado mediante el microcontrolador ATmega328p, el cual se encarga de obtener señales geolocalización captadas mediante el módulo GPS Neo 6Mv2, señales de medición de tiempo que son brindadas mediante la implementación del módulo reloj DS323 y la señal lectura de estado del equipo (“power on-off”). Dichas señales son almacenadas y procesadas como indicadores, en una tarjeta de memoria o tarjeta de memoria flash microSD, con el fin de ser enviadas a una base de datos central mediante la comunicación inalámbrica LoRa.

Como resultado se tiene el desarrollo de un prototipo funcional del dispositivo, el diseño del esquema de este y la fabricación de las placas de circuito impreso para su armado. Por otra parte, se gestionan las cotizaciones y compras necesarias para la implementación, esto es mencionado dado que es importante destacar que se está frente a un trabajo en desarrollo, el cual brinda una solución real de la industria.

...dedicado a mi familia...

Agradecimientos

A mis padres, Oscar y Sabina quienes han estado detrás de todo este tremendo camino recorrido, apoyándome, brindando consejos y herramientas en cada una de las etapas de la vida, nada hubiera sido posible sin su incondicional apoyo.

A mi hermana Sabina que desde pequeño me brindo lo mejor que pudo de sus conocimientos como hermana mayor que es.

A mi sobrina que es más bien como una hermana pequeña que me regalo mi hermana y la vida.

A la persona más bella que la vida me pudo regalar, la cual acostumbra a llamarme “papi”, mi hijo Joaquín. Quien llego sin duda para hacerme crecer, madurar y quien me hace aprender día a día mil y una cosa.

A mi maestra de básica Petty Espinoza que no sabe cómo le dedico con la vida este logro, yo creo que es una de esas personitas que me dio sin duda el primer gran empujón en la vida.

A cada una de las personas que me permitió conocer este periodo universitario, a Franchesca, mi amigo de universidad Bairon, al profesor Dr. Javier Muñoz quien me permitió desarrollar trabajos junto a él y a cada una de las personas que hacían más grata la estadía en las instalaciones de la universidad.

También me queda agradecer a mi profesor guía de tesis Alejandro Jofré M. quien brindo su total apoyo académico frente al desarrollo de este trabajo y a que pesar de incorporándose luego de su inicio ha sido un gran pilar en su desarrollo.

Finalmente agradecer al personal de 3 Volcanes SpA., quienes brindaron la oportunidad de desarrollar mi memoria de título en sus instalaciones y con quienes siempre conté con una gran disposición, en especial a Jorge Moyano, Ingeniero Civil Mecatrónico quien sin duda en base a su experiencia se transforma en un gran apoyo en este desarrollo.

Índice

RESUMEN II	
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DE EMPRESA.....	1
<i>1.2.1 Misión.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2 Visión.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.3 Política de calidad</i>	<i>3</i>
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA U OPORTUNIDAD	4
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES	5
<i>1.6.1 Alcances</i>	<i>5</i>
<i>1.6.2 Limitaciones</i>	<i>5</i>
1.7. METODOLOGÍA	6
<i>1.7.1 Investigación y búsqueda de información.....</i>	<i>6</i>
<i>1.7.2 Diseño.....</i>	<i>7</i>
<i>1.7.3 Cotización y compra de componentes.....</i>	<i>8</i>
<i>1.7.4 Implementación</i>	<i>8</i>
<i>1.7.5 Obtención de resultados.....</i>	<i>8</i>
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1. DESCRIPCIÓN DEL GPS:.....	9
<i>2.1.1 Obtención de coordenadas de posicionamiento GPS.....</i>	<i>13</i>
<i>2.1.2 Fuentes de error del GPS.....</i>	<i>14</i>
<i>2.1.3 Receptor de sistema GPS comercial</i>	<i>16</i>

2.2. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA:	17
2.2.1 M2M GSM/GPRS	17
2.2.2 SIGFOX	17
2.2.3 LoRa	18
2.2.4 BLE – Bluetooth de baja energía	18
2.2.5 ZigBee	18
2.2.6 Comparativa de comunicación inalámbrica	19
2.2.7 Módulo Transceptor con comunicación inalámbrica LoRa comercial	22
2.3. MÓDULO RELOJ	23
2.4. MÓDULO LECTOR MICROSD:	24
2.5. MICROCONTROLADOR:	24
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN	26
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN	27
CAPÍTULO 4: DISEÑO	29
4.1. MÓDULO DE POTENCIA EN NODO REMOTO	29
4.1.1 Convertidor Buck	30
4.1.2 Regulador de carga	32
4.1.3 Protección de carga	33
4.1.4 Relé	34
4.1.5 Diseño módulo de potencia en nodo remoto	36
4.2. MÓDULO DE CONTROL EN NODO REMOTO	37
4.2.1 ATmega 328p	38
4.2.2 GPS Neo-6MV2	42
4.2.3 LoRa E32-TTL-100	46
4.2.4 RC DS3231	52
4.2.5 Lector MicroSD	56
4.2.6 Diseño módulo de control en nodo remoto	58
4.3. NODO CENTRAL	60
4.3.1 Diseño nodo central	60
CAPÍTULO 5: LÓGICA DE PROGRAMACIÓN NODO REMOTO	61
5.1. SECUENCIA LÓGICA DE CÓDIGO PROGRAMADO	61

5.2. INTERRUPCIONES EN EL MICROCONTROLADOR	64
5.3. SECUENCIA LÓGICA EN COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	65
CAPÍTULO 6: RESULTADOS OBTENIDOS.....	67
6.1. ALMACENAMIENTO DE DATOS O INDICADORES EN NODO REMOTO	67
6.2. RECIBIMIENTO DE DATOS EN NODO CENTRAL	69
6.3. PRUEBAS DE LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA GPS	70
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	73
7.1. TRABAJOS FUTUROS.....	74
BIBLIOGRAFÍA	76
CAPÍTULO 8: ANEXOS	84

Índice de Figuras

Figura 1.1: Diagrama de metodología de trabajo.	6
Figura 2.1: Distribución de órbitas GPS posicionadas respecto al ecuador.	10
Figura 2.2: Distribución geográfica del segmento de control GPS.	12
Figura 2.3: Esquema para medir distancia desde satélite a recétor según Geoffrey Blewit.	14
Figura 2.4: Parámetros de frecuencia a nivel mundial.	22
Figura 3.1: Diagrama de arquitectura del sistema.	26
Figura 4.1: Esquema módulo de potencia nodo remoto.	29
Figura 4.2: Esquema base convertidor Buck.	30
Figura 4.3: Esquema base convertidor Buck, Estado ON.	30
Figura 4.4: Esquema base convertidor Buck, Estado OFF.	31
Figura 4.5: Convertidor Buck comercial.	31
Figura 4.6: Esquema de conexión básico regulador de carga.	32
Figura 4.7: Esquema de funcionamiento en modo descarga en el regulador de carga.	33
Figura 4.8: Esquema de implementación, protección de carga.	34
Figura 4.9: Esquemático general de Relé.	35
Figura 4.10: Implementación de esquema en Eagle con relé comercial.	35
Figura 4.11: Relé comercial.	35
Figura 4.12: Diseño de placa de módulo de potencia (PCB).	36
Figura 4.13: Esquema módulo de control en nodo remoto.	37
Figura 4.14: Funcionamiento módulo de control.	38
Figura 4.15: Microcontrolador ATmega 328p.	39
Figura 4.16: Placa en desarrollo Arduino Nano.	39
Figura 4.17: Pines del dispositivo.	41
Figura 4.18: Esquemático microcontrolador ATmega328p.	42
Figura 4.19: 4.2.2: GPS Neo-6MV2.	43
Figura 4.20: Prototipo GPS.	45

Figura 4.21: Datos obtenidos desde módulo GPS en monitor serial IDE Arduino.	45
Figura 4.22: Coordenadas ingresadas en google Maps.	45
Figura 4.23: Esquema representativo de envío de datos con un receptor específico.	46
Figura 4.24: Esquema representativo de envío de datos canal predeterminado.	47
Figura 4.25 Módulo LoRa E32-TLL-100.	48
Figura 4.26: Montaje físico emisor y receptor.	51
Figura 4.27: Datos obtenidos en monitor serial IDE de Arduino.	51
Figura 4.28: Esquemático de funcionamiento RC DS3231.	53
Figura 4.29: Prototipo.	55
Figura 4.30: Monitor serial prototipo.	55
Figura 4.31 Conversión tiempo Unix a hora en formato 12 Hrs.	56
Figura 4.32: Esquemático de funcionamiento microSD.	57
Figura 4.33 Prototipo de módulo de control en nodo remoto.	59
Figura 4.34: Diseño placa módulo de control (PCB).	59
Figura 4.35 Esquema funcionamiento nodo central.	60
Figura 5.1: Secuencia lógica de código programado.	63
Figura 5.2: lógica de comunicación entre nodo remoto y nodo central.	66
Figura 6.1: Respuesta monitor serie por parte del nodo.	69
Figura 6.2: Registro de datos.	70
Figura 6.3: Muestra de pruebas de localizacion geografica sistema de GPS.	72
Figura 6.4: Zona critica en prueba de localización geográfica sistema GPS.	72
Figura 8.1:Respaldo cotizacion de fabricacion PCB dispositivo.	89
Figura 8.2: Código de programación nodo remoto.	90
Figura 8.3: PCB módulo control en nodo remoto, fabricada por MCI.	96
Figura 8.4: PCB módulo potencia en nodo remoto, fabricada por MCI.	96
Figura 8.5: Diagrama de gantt considerando trabajos futuros.	98

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Características técnicas de distintos GPS.....	16
Tabla 2.2: Comparativa de comunicación inalámbrica.	20
Tabla 2.3: Características técnicas de dispositivo LoRa a utilizar.	23
Tabla 2.4: Características técnicas de distintos módulos de reloj.	24
Tabla 2.5: Características técnicas de dispositivo lector MicroSD a utilizar.	24
Tabla 2.6: Características técnicas de distintos microcontroladores.	24
Tabla 4.1: Características convertidor Buck comercial.....	31
Tabla 4.2: Características regulador de carga comercial.....	33
Tabla 4.3: Complementos electrónicos microcontrolador ATmega328p.....	41
Tabla 4.4: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para GPS Neo 6M.....	44
Tabla 4.5: Características de pines de LoRa E32-100.....	49
Tabla 4.6: Modos de funcionamiento para LoRa E32-100.	49
Tabla 4.7: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para LoRa E32-100.....	50
Tabla 4.8: Características de pines de reloj DS3231.....	52
Tabla 4.9: Componentes RC DS3231.....	53
Tabla 4.10: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para reloj DS3231.....	54
Tabla 4.11: Componentes microSD.....	57
Tabla 4.12: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para lector MicroSD. ...	58
Tabla 8.1: Cotización y selección de elementos electrónicos que se emplearán en el diseño del prototipo.	84
Tabla 8.2: Cotización de dispositivos shield que se emplearán en el diseño del dispositivo.....	84
Tabla 8.3: Cotización y selección de elementos electrónicos que se emplearán en el diseño del dispositivo.....	85
Tabla 8.4: Plan de trabajo para trabajos futuros.	97

Capítulo 1: Introducción

1.1. Introducción general

En la actualidad, la tecnología utilizada en la producción se ha convertido en un factor de alto nivel y confiabilidad. Toda empresa que desee mantenerse competitiva tiene, indispensablemente que dirigir y prestarle una especial importancia al mantenimiento de sus equipos. El mantenimiento es una disciplina integradora que ha tenido un desarrollo de gran importancia en la industria y es la encargada de garantizar la disponibilidad del equipamiento de la empresa asociándole a ello un bajo costo. Lo cual se traduce en un incremento importante de la vida útil de los equipos, sus prestaciones y por sobre todo un mayor rendimiento para la empresa.

El mantenimiento implica el desarrollo de técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el buen desempeño de los equipos. Con estos fines existen, se mejoran, se diseñan y crean, nuevos productos electrónicos e informáticos como localizadores GPS, horómetros digitales, diseños de bases de datos, acelerómetros etc. que garanticen de forma automatizada el procedimiento de captación de información o indicadores necesarios para ser utilizados en el mantenimiento de los equipos de tiene la empresa.

El presente trabajo tiene relación directa con lo anteriormente mencionado y fue desarrollado en las instalaciones de la empresa 3 Volcanes SpA. teniendo como finalidad diseñar e implementar un dispositivo que brinde de manera automatizada la información de horarios de funcionamientos y detenciones en los equipos de la empresa. En el caso de los equipos rodantes dicho dispositivo integra de manera adicional un módulo que hace posible captar la ruta que estos desarrollan durante el día, para así luego enviar dichos indicadores a través de comunicación inalámbrica a una base de datos.

1.2. Descripción de empresa

3 Volcanes SpA., es una empresa ubicada en la Región del Maule [1]. Fue creada en el año 2003, en donde se centraba en el negocio de aserrío de pinos, pero al poco tiempo expandió sus horizontes y amplió el uso de la madera. Por esta razón y dada la experiencia que tenía uno de los socios en el rubro de los pallets y embalajes de madera, se decidió ofrecer los mejores productos en este mercado,

pero no solo eso, sino que destacarse de la mejor manera en el servicio que se otorga, enfocando sus actividades en las necesidades de los clientes.

3 Volcanes, se dedica a la fabricación y al posterior despacho de pallets, en donde se debe hacer mención que los pallets son utilizados como base para el transporte de cargas pesadas. Para esto la empresa cuenta con diversas maquinarias y personal especializado en ellas, además, cuenta con aserradero especializado, trazadores de madera, personas especializadas en cada área (aserradero, producción, palleteros, caldera, secado y transporte) y tres secadores para así lograr un producto con buen acabado y logrando cumplir con todas las exigencias tanto a nivel nacional como internacional.

La sociedad maderera busca expandir sus horizontes dando utilidad a su principal desecho, el aserrín. Para esto la empresa decidió importar e implementar una maquina peletizadora para formar parte del proceso productivo de combustibles a base de biomasa. Dicha decisión, se tomó gracias a las importantes propiedades que tiene este tipo de combustible, en primer lugar, es mucho más amigable con el medio ambiente que el común de los comburentes, gracias a que tiene un bajo porcentaje de humedad, el cual se encuentra entre un 6% y un 10%, lo que provoca que haya una combustión más completa y por ende menor contaminación (la calefacción de pellet produce 27 veces menos Co2 que una calefacción a leña, que es el principal culpable y responsable del efecto invernadero en el mundo). Otra gran característica es que el pellet tiene un alto nivel calorífico para ser biomasa que es de alrededor de 4,9 kWh por kilogramo de pellet [1].

Para asegurar que la calidad del procesamiento de la madera la empresa 3 Volcanes, cuenta con certificación NIMF15, la cual corresponde a la norma internacional para medidas fitosanitarias N°15 que regula el embalaje de madera utilizado en el comercio internacional y que describe las medidas fitosanitarias para reducir el riesgo de introducción y/o dispersión de plagas relacionadas con el embalaje de madera. Esta norma fue elaborada por la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) o International Plant Protection Convention (IPPC), esta norma debe ser aplicada a los embalajes confeccionados, en su totalidad o en alguna porción, con madera en bruto y que puedan presentar una vía de introducción y/o dispersión de plagas. Entre los embalajes de madera que deben cumplir se encuentran, los pallets, bins, parrillas, marcos, jaulas, tarimas, cajas, cajones, jabas, tote bins, carretes, madera de estiba entre otros.

1.2.1 Misión

La misión definida por 3 Volcanes SpA. es “Somos una fábrica de pallets y pellets que entrega más que un producto logístico, un servicio confiable y de calidad”. [1]

1.2.2 Visión

La visión definida por 3 Volcanes SpA. es “Querer ser reconocidos dentro del mercado como la mejor empresa de pallets y embalaje del país, destacándonos por nuestros productos al igual que el servicio a los clientes, el servicio a las personas y, en definitiva, el servicio a la comunidad de la que formamos parte.

También queremos maximizar el valor de nuestro negocio y generar excelencia operacional en todos nuestros procesos, para así incrementar nuestras dimensiones en todos los ámbitos, sin dejar de lado el trato humano y el buen servicio que nos caracteriza.” [1]

1.2.3 Política de calidad

Las políticas de calidad que posee la empresa [1] y aplica en la creación de sus productos son:

- 3 Volcanes SpA., se define a sí misma como una empresa de servicio logístico, en el área de embalajes de madera.
- Buscamos la excelencia en la prestación de servicio de abastecimiento de pallets.
- Nos comprometemos con la satisfacción de nuestros clientes como el gran horizonte. Sabemos de la importancia de nuestro producto en la cadena productiva.
- Queremos ser la mejor alternativa y buscaremos para ello la diferenciación, vía la mejora continua de nuestros procesos.
- Queremos ser una empresa reconocida por su seriedad, eficiencia y calidad en sus productos.
- Buscamos materia prima de calidad, renovable y sustentable.
- Procuramos un sano ambiente laboral, respetamos a nuestros colaboradores y proveedores.

1.3. Descripción del problema u oportunidad

En la actualidad, la empresa cuenta con un plan de mantenimiento, pero este es sin enfoque preventivo. Esto se debe a que dicha labor era realizada por una empresa externa y al no ver mejoras la empresa dejó de externalizar esta actividad y la hizo parte de una de sus funciones.

Además, la empresa no cuenta con ninguna base de datos que registre los tiempos de funcionamiento o de detención (power on-off) de los distintos equipos con la que esta cuenta. Existen muchos equipos que trabajan durante la hora laboral pero no existe control de cuántas horas efectivas estos realizan su trabajo o bien cuántas horas son detenidos producto de alguna avería.

La empresa cuenta con equipos rodantes que en la actualidad al igual que los equipos estáticos no se sabe su tiempo de funcionamiento y en el caso de ellos, tampoco sus rutas de trabajos durante el día.

En base a lo anterior, se tiene el interés de diseñar e implementar un dispositivo capaz de medir el tiempo de funcionamiento y detención tanto para las máquinas y los equipos rodantes, en el caso de estos últimos mencionados, dicho dispositivo debe incorporar un sistema de localización GPS. Todo esto con el fin de captar indicadores que sean de interés y que a la larga les sea útiles para crear un plan de mantenimiento.

1.4. Objetivo General

Diseñar dispositivo e implementar un prototipo de control y registro operacional para los equipos estáticos y rodantes utilizados en la empresa 3 Volcanes SpA.

1.5. Objetivos específicos

- Realizar un análisis de los requerimientos del sistema
- Proponer un esquema de funcionamiento del dispositivo para la empresa.
- Diseñar y construir prototipo de dispositivo, el cual sea capaz de obtener indicadores de interés en los equipos.
- Diseñar e implementar una red de comunicación inalámbrica que permita el envío y recepción de datos.
- Diseñar y fabricar las placas de circuito impreso (PCB) que se consideran en el dispositivo.

- Validar y obtener resultados del prototipo propuesto.
- Realizar plan para trabajos futuros.

1.6. Alcances y limitaciones

En el siguiente apartado se darán a conocer los alcances y limitaciones que se han identificado en el proyecto:

1.6.1 Alcances

- El dispositivo debe considerar algún sistema que permita registrar el tiempo de funcionamiento y detención (power on – off) en equipos estáticos y rodantes de la empresa.
- En el caso de equipos rodantes, el dispositivo debe contar con la implementación de un módulo GPS.
- El dispositivo contará con dos opciones que podrán energizar su sistema, la primera de ellas es brindada directamente desde el equipo en el que se emplea, mientras que la segunda es proporcionada por un banco de batería 18650 que se encuentra implementado en el mismo dispositivo.
- El dispositivo tiene como objetivo ser utilizado en equipos que trabajan a 12 Vdc, 24 Vdc, 220 Vac.
- El dispositivo considera la creación de dos placas de circuito impreso (PCB), donde una es dedicada al área de potencia y la otra al área de control con que esté opera.
- Los datos capturados durante el día por parte del dispositivo serán enviados a una plataforma mediante algún tipo de comunicación inalámbrica.
- El dispositivo será un dispositivo de bajo consumo eléctrico.
- La distancia de comunicación mínima para el envío y recepción de datos es de 1km.

1.6.2 Limitaciones

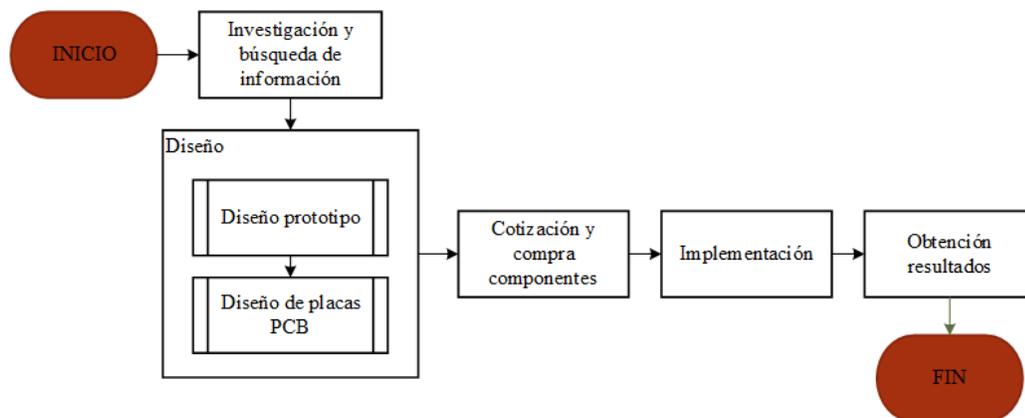
- La crisis sanitaria a nivel mundial presentada por Covid-19 puede implicar algunos inconvenientes en los plazos del desarrollo del proyecto o pruebas de este.
- El dispositivo a diseñar debe considerar que será montado en una estructura mecánica existente (caja de estanco).

- No se tiene como objetivo la creación y el diseño de la plataforma en donde se almacenan los datos.
- La velocidad de transmisión de datos en la comunicación inalámbrica, no es un factor de importancia en el proyecto, dado que no es un objetivo alcanzar altas velocidades de transmisión.
- Este será un dispositivo experimental.

1.7. Metodología

Dados los objetivos, es necesario desarrollar un plan de trabajo que ordene las actividades a realizar para dar cumplimiento al proyecto. Dicho esto, la metodología a implementar comienza con la recolección de información y datos que se pueden obtener de los dispositivos y tecnología a implementar. Posterior a ello, se procede a la etapa de diseño, la cual considera en primera instancia el diseño de un prototipo y posteriormente el diseño de placas PCB, con ello se tiene relación directa con la realización de cotizaciones y compras de componentes que serán necesarios en dichas etapas de diseño. Finalmente se obtienen los resultados del funcionamiento de los diseños realizado. En la Figura 1.1 se aprecia esquemáticamente la metodología de trabajo a implementar.

Figura 1.1: Diagrama de metodología de trabajo.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

1.7.1 Investigación y búsqueda de información

Este proceso pretende abarcar toda la información necesaria para concretar el proyecto, buscando en primera instancia investigar la forma que operan los sistemas que deben implementarse en el

dispositivo a diseñar. Luego realizar estudios de opciones comerciales para así de esta manera lograr escoger los componentes que serán considerados en la construcción del dispositivo y con ello tener toda la información necesaria para dar cumplimiento del objetivo del proyecto.

1.7.2 Diseño

a. Diseño prototipo

El objetivo de este apartado es concretar el diseño conceptual y detallado de un prototipo que contempla los elementos necesarios para el funcionamiento del dispositivo, el cual se realiza sobre el montaje en protoboard, donde se pretende abarcar todas las fases que contemplan la configuración de elementos y dispositivos, conociendo así, las configuraciones que emplean los modos de trabajos con los que se puede contar, las conexiones físicas necesarias para su buen funcionamiento, las respuestas físicas que brindan, entre otros. Para ello se debe contemplar la cotización y compra de elementos necesarios para su armado (Tabla 8.1 y Tabla 8.2).

Es importante considerar que cada una de las conexiones físicas mencionadas necesitan de una fuente de control para funcionar todas de la manera que se desean, por ello se ve necesaria la implementación de un código de programación con el lenguaje adecuado, el cual se crea en base a un diagrama de flujo, dado que es la mejor manera de ordenar las ideas para conseguir una correcta forma de operación.

b. Diseño de placas PCB

El dispositivo involucra el diseño de dos placas PCB (Printed Circuit Board), una de ellas es el módulo de potencia del dispositivo y la segunda el módulo de control. Es por ello que el objetivo de este apartado es diseñar ambas placas de circuito impreso, de tal manera que cumpla con las normas generales de fabricación de una PCB y que el dimensionado sea lo más acorde a la cantidad de componentes que esta considera.

Esta etapa se lleva a cabo gracias a la ayuda del software *Eagle*, el cual corresponde a una de las tantas opciones de programas computacionales que facilitan la creación de diseños de este tipo. Cabe destacar que un diseño PCB permite la sustitución del cableado que el prototipo contempla, creando una placa compacta, más segura y de igual manera funcional.

1.7.3 Cotización y compra de componentes

En esta etapa se realiza un estudio de cotización y compra de todos los componentes que serán necesarios para la creación de las placas ya diseñadas. Además, este apartado contempla la fabricación de las placas, para poder comenzar con su implementación.

1.7.4 Implementación

Una vez realizado el correcto diseño PCB y teniendo su fabricación de forma tangible, se realizan las implementaciones de los componentes necesarios para su funcionamiento, tanto en la PCB de potencia y en la de control, para así finalmente realizar su montaje en una caja de estanco que brinda protección al sistema.

1.7.5 Obtención de resultados

En esta etapa se obtienen los resultados de funcionamiento del dispositivo, se analizan y se plantean trabajos futuros con el fin de presentar mejoras en el dispositivo.

Capítulo 2: Marco teórico

Algo fundamental en el desarrollo del proyecto es en primera instancia realizar un estudio de funcionamiento acerca de los sistemas con los que cuenta el dispositivo a crear. Luego ver y analizar las opciones comerciales con tal de lograr determinar con elementos y dispositivos se desarrolla en primera instancia el prototipo y posterior la implementación final.

2.1. Descripción del GPS:

El posicionamiento GPS se basa en la trilateración, que es un método para determinar la posición mediante la medición de distancia a puntos en coordenadas conocidas. Como su propio nombre dice, la trilateración se realiza o requiere tres puntos conocidos, los cuales son brindados por los satélites, pero el posicionamiento de puntos GPS requiere cuatro para así reducir el error prácticamente en su totalidad [2]

Existen segmentos de GPS:

- Segmento espacial, que incluye la constelación de satélites GPS, que transmiten las señales al usuario.
- Segmento de control, que es responsable del seguimiento y funcionamiento del segmento espacial.
- Segmento de usuarios, que incluye hardware de usuario y software de procesamiento para aplicaciones de posicionamiento, navegación y cronometraje.

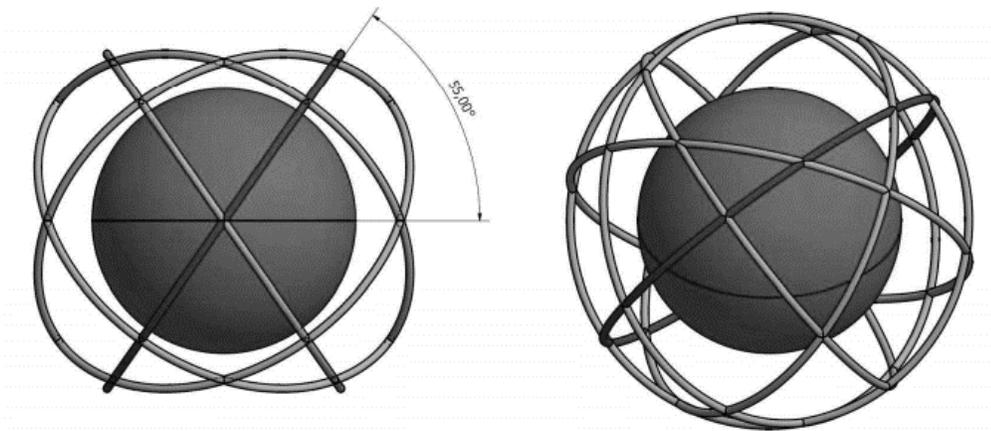
a. Segmento espacial

Este segmento abarca toda la constelación de satélites que se encuentran en órbita, la cual está diseñada para tener al menos cuatro satélites a la vista en cualquier lugar y en cualquier momento desde la tierra. Para ello, hay nominalmente veinticuatro satélites GPS distribuidos en seis planos orbitales, es decir que cada plano cuenta con cuatro satélites en total y se encuentran volando aproximadamente a 20.200 Km de altura [3]

Los planos orbitales se encuentran distribuidos uniformemente alrededor del ecuador con un ángulo de inclinación de 55° . El punto en el que se elevan desde el hemisferio sur al norte a través del ecuador es llamado la “ascensión recta del nodo ascendente”. Dado que los planos orbitales son

uniformemente distribuidos, el ángulo entre los seis nodos ascendentes es de 60° . Cabe mencionar que las fuerzas aéreas tienen más satélites volando para así mejorar su cobertura GPS en algunas zonas, estos satélites no cuentan como parte de la constelación principal ya descrita.

Figura 2.1: Distribución de órbitas GPS posicionadas respecto al ecuador.



Fuente: (Belwitt, 1997) [2].

De acuerdo con las leyes de movimiento orbital de Kepler, cada órbita toma la forma aproximada de una elipse, con el centro de masa de la Tierra en el foco de la elipse.

La ubicación de cada satélite se puede obtener en cada instante conociendo los parámetros Keplerianos que definen su órbita: excentricidad y movimiento medio.

La excentricidad de la elipse es tan pequeña (0.02) que es casi circular y si esta fuera cero, significaría que la distancia entre los focos es nula, lo que originaría la existencia de un solo centro en ella, siendo por tanto completamente circular. El semi eje mayor o radio más grande de la elipse es aproximadamente 26.000 Km, lo que aproxima a cuatro radios terrestres. La excentricidad se puede calcular como el cociente entre la semidistancia entre los focos de la elipse (c) y el semieje mayor (a).

Ecuación 2.1

$$\varepsilon = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$

Donde (b) es el semieje menor.

Dentro de la órbita se pueden mencionar dos puntos a destacar, el apogeo que es donde el satélite se encuentra en el punto más alejado de la Tierra y en el que más superficie abarca, mientras el perigeo, que representa el punto de la órbita más cercano a la Tierra, donde se recibe la señal del satélite más clara y en tiempo más corto.

El movimiento medio muestra el número de vueltas que da un satélite a su órbita en 24 horas. El valor de este parámetro es directamente la inversa del periodo, pero se suele utilizar el movimiento medio por facilidad a la hora de realizar cálculos o comparativos que ya en el periodo, al venir expresado en horas, minutos, es necesario utilizar conversiones para los cálculos.

Se puede calcular el posicionamiento de un satélite considerando tanto el movimiento medio y la hora a la que el satélite ha pasado por el perigeo. Para ello lo que se realiza es multiplicar el tiempo transcurrido desde que pasó por el perigeo y movimiento medio. El periodo orbital es aproximadamente $T = 11\text{h } 58\text{ min}$, por lo tanto, un satélite GPS completa dos revoluciones en $23\text{ h } 56\text{ min}$, esto ha sido creado intencionalmente, ya que es igual al día sideral, que es el tiempo que tarda la Tierra en rotar 360° (teniendo en cuenta que el día solar de 24 horas no es igual a un giro de 360° , porque durante el día, la posición del sol en el cielo ha cambiado en $1/365.25$ de un día, o bien 4 minutos, debido a la órbita de la Tierra alrededor del sol). En consecuencia, todos los días (menos 4 minutos), el satélite aparece sobre la misma ubicación en la superficie de la Tierra, lo que permite decir que las pistas de la Tierra se repiten.

El movimiento medio de los satélites GPS es 2,07 aproximadamente, y el diseño descrito tiene consecuencia que en cualquier superficie terrestre existan siempre cuatro satélites visibles para realizar el posicionamiento. [3]

b. Segmento de control

Este segmento se encarga de todo aquello relacionado con mantener el sistema GPS actualizado y operativo. Está dirigido por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos quienes se encargan del funcionamiento del GPS [4]

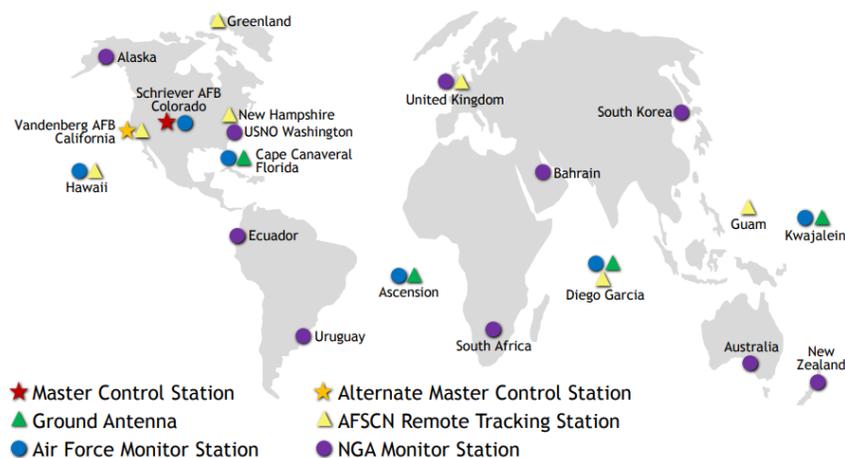
El principal centro de control se encuentra en la Base de la Fuerza Aérea Falcon, Colorado Springs y recibe el nombre de estación de control maestra. Se encarga de realizar las funciones de control de la constelación de satélites, por tanto, genera y actualiza los mensajes sobre la navegación de los satélites para mantener la integridad y precisión de estos. Es aquí donde se reciben todas las señales

de los centros de monitorización, los cuales se procesan para actualizar constantemente el posicionamiento de los satélites y de ser necesario corregir cualquier posible error, se transmiten las correcciones necesarias a los satélites. En caso de algún tipo de fallo en la constelación la estación de control maestra puede repositionar todos los satélites para mantener el correcto funcionamiento del sistema.

También existe una estación de control alternativa para apoyar a la principal o sustituirla si fuera necesario, garantizando así el funcionamiento del GPS. Y a su vez las estaciones de monitoreo que se encuentran alrededor del mundo estratégicamente situadas para tener visibilidad de todos los satélites. Estas estaciones recogen señales de los satélites y datos de la atmósfera para transmitirlos a la estación de control maestra. Existen 16 estaciones de monitoreo, de las cuales 6 pertenecen a las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos y las 10 restantes a la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial o NGA (National Geospatial-Intelligence Agency).

Las antenas de tierra también forman parte de este segmento y son las que hacen posible la comunicación de las ya mencionadas estaciones existentes con los satélites GPS. Cuatro de estas antenas están situadas en las estaciones de monitoreo de Cabo cañaveral, isla de Ascensión, Diego García y Kwajalein. Otras siete se controlan de manera remota y conectadas a AFSCN (Air Force Satellite Control Network) permiten incrementar la visibilidad con los satélites consiguiendo un sistema de comunicación directa con la constelación mucho más robusto.

Figura 2.2: Distribución geográfica del segmento de control GPS.



. Fuente: (gps.gov) [4].

c. Segmento de usuario

Este segmento hace referencia a los equipos que reciben las señales de los satélites y la utilizan para obtener la posición tridimensional y la hora del usuario. Entrando en ello todos los receptores que como usuarios podemos conocer, por ejemplo, teléfonos móviles, navegadores de autos hasta receptores de aviación o militar, etc. [5]

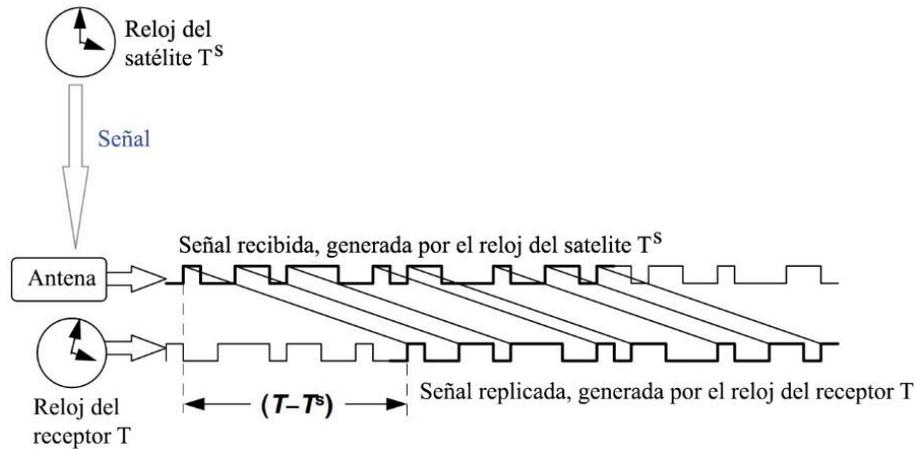
2.1.1 Obtención de coordenadas de posicionamiento GPS

Como se mencionó anteriormente el posicionamiento se basa en una trilateración en donde se hace necesario el empleo de cuatro satélites para así contar con una buena precisión. El cálculo de la posición se lleva a cabo midiendo la distancia del receptor (usuario) con cada uno de los satélites visibles (cuatro), con estas distancias se generan esferas donde el centro de cada una es el respectivo satélite y el radio es la distancia hasta él. Dichas esferas originan una intersección y es en ella donde se encuentra el receptor. [3]

Ahora bien, se habla de trilateración, pero se mencionan la necesidad de contar con cuatro satélites en vez de tres. Esto se debe a que la labor puede ser realizada por tan solo tres satélites, pero haría necesario una gran precisión por parte de los relojes de los emisores y receptores de la señal, lo cual no es problema por parte de los satélites debido a que estos cuentan con un reloj atómico de gran precisión y estabilidad, no ocurriendo lo mismo con los receptores dado que implementar dichos relojes ocasionaría un valor de compra desorbitado. Por ello se añade a la trilateración un cuarto satélite o esfera como fue mencionado anteriormente, originando así una reducción de error prácticamente a su totalidad (dicho error como se puede deducir es ocasionado por las variaciones que puedan tener los relojes en el tiempo).

Ahora bien, Geoffrey Blewit explica en su libro “Geodetic Applications of GPS” [2], que para medir la distancia a cada satélite, el receptor genera una réplica de la señal transmitida por el satélite en el mismo instante, al recibir la señal proveniente del espacio las compara y mide el desfase entre ambas, este desfase es el tiempo que la señal ha estado viajando más los posibles errores de reloj del satélite y el receptor (véase Figura 2.3). Realmente con este tiempo no se miden distancias, sino pseudodistancias debido a los errores de los relojes, como muestra la Ecuación 2.2.

Figura 2.3: Esquema para medir distancia desde satélite a recétor según Geoffrey Blewit.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

Ecuación 2.2

$$R = (T - T^S) \cdot c = \Delta T_{medio} \cdot c$$

T es la lectura de la hora del receptor al recibir la señal, T^S es la lectura de hora del satélite cuando la señal fue enviada y c (velocidad de la luz en el vacío) = 299792458 m/s

Se puede obtener la distancia real sustituyendo el tiempo medido T por el tiempo real t más un error τ producto al desfase de ambos relojes:

Ecuación 2.3

$$T = t + \tau$$

$$T^S = t^S + \tau^S$$

Realizando la sustitución correspondiente en la Ecuación 2.4 se obtiene la ecuación para el cálculo de la distancia real, quedado de la siguiente manera:

Ecuación 2.4

$$R = ((t + \tau) - (t^S + \tau^S)) \cdot c = \Delta T_{medio} \cdot c$$

2.1.2 Fuentes de error del GPS

Si bien la idea o funcionalidad que se espera del sistema GPS es conocer el posicionamiento de un punto de la manera más precisa posible, aun así, existen muchas variables relacionadas para que dicha labor se cumpla de la mejor manera posible y cada pequeño error en alguna de ellas claramente se refleja en rendimiento del sistema a la hora de la localización. [6]

Hasta el año 2000, el sistema GPS incorporaba un error intencionado e introducido por el propio departamento de defensa de Estados Unidos para el uso civil y comercial, de esta manera reservando el sistema más preciso para el ejército y personal autorizado. Esto es conocido como dos tipos de denegación de precisión a civiles los cuales son la disponibilidad selectiva (S/A) y el Anti-Spoofing (A/S), lo cual se puede pensar como errores intencionales impuestos a la señal del GPS. Donde el A/S puede ser vista como una encriptación del código en la precisión.

Existen errores de precisión que netamente atribuidos al segmento de control del sistema GPS, debido a que cada satélite está equipado con un reloj atómico, los cuales son relojes muy precisos y estables, pero aun así no son perfectos y van acumulando error a lo largo de su órbita hasta que vuelven a pasar por el perigeo y se envía una corrección de reloj desde la estación de monitorización correspondiente.

Otros errores más comunes, están en total relación con el segmento de usuarios del sistema GPS, dado que ocurren durante el viaje y recepción de la señal. Al existir obstáculos que dificultan la llegada de la señal de forma directa al receptor se originan problemas y errores en la precisión de la señal enviada y recibida, un ejemplo de ello es cuando un usuario se encuentra en una ciudad rodeado de edificios altos, la señal recibida tiende a perder precisión por las condiciones físicas que impiden que dichas señales interactúen de forma directa. Es aquí donde se hace necesario recordar que, las distancias hasta los satélites se calculan midiendo el tiempo que tarda en llegar al dispositivo las señales y si estas no pueden llegar de forma directa provocándose así la interacción de forma indirecta, dicho tiempo se ve incrementado, originando con ello un error en los cálculos de distancia real al satélite.

Por otro lado, existen errores que escapan de todo segmento descrito en el sistema de GPS y hace referencia a los que son ocasionados por factores naturales. Por ejemplo, uno de ellos es la distorsión o retraso con la que se ve afectada la señal al atravesar la ionosfera, dado que dicha capa es responsable de la absorción de las radiaciones más dañinas para la vida en la tierra. Esta absorción se origina cuando las partículas presentes en ella como por ejemplo el ozono, absorben esta radiación y se fragmentan emitiendo electrones e iones con sus respectivos campos eléctricos y magnéticos, responsables de esta manera de dificultar el paso de la señal del sistema GPS.

2.1.3 Receptor de sistema GPS comercial

El dispositivo a diseñar debe contar con un receptor del sistema GPS a la hora de trabajar en equipos rodantes de la empresa. Por ello se han escogido cuatro dispositivos comerciales (SE868-1 [7], Ublox Neo 6M [8], Ublox Neo 7M [9] y Ublox Neo 7M SMA [9]) para ser analizados y así saber con cuál se procedería a trabajar.

Entre los módulos analizados se podría decir que el módulo GPS SE868-A presenta algunos aspectos que lo transforma en una buena opción como lo es su mayor cantidad canales de adquisición y de rastreo, pero a la vez tiene una restricción técnica que a la hora de probar en terreno se podría transformar en importante dicha característica es que el dispositivo cuenta con una antena interna incorporada, lo cual deja afuera la posibilidad de cambiar dicha antena si es que a futuro se quiere mejorar su funcionamiento. Es por ello que, entre las otras tres opciones restantes, el más destacable es el Ublox Neo 6M, el cual tiene la misma sensibilidad de rastreo que el anteriormente mencionado y a la vez es superior a Ublox Neo 7M y Ublox Neo 7M SMA. Ahora bien, sus canales de adquisición y de rastreo suelen ser inferiores al SE868-A ya mencionado (aun así, superiores a las dos otras opciones de “Ublox Neo 7M”), es posible decir que la ventaja que tiene sobre este es que la antena no se encuentra en su interior y cuenta con un conector de antena que hace posible el cambio de esta si es que a futuro se quisiera mejorar su rendimiento.

Tabla 2.1: Características técnicas de distintos GPS.

Dispositivo	SE868-A	Ublox Neo 6M	Ublox Neo 7M	Ublox Neo 7M SMA
Sensibilidad rastreo (dBm)	-165	-165	-162	-162
Sensibilidad Adquisición (dBm)	-148	-148	-148	-148
Canales adquisición	99	66	56	56
Canales rastreo	33	22	22	22
Consumo rastreo	20 mA	30 mA	30 mA	30 mA
Consumo adquisición	30 mA	40 mA	35 mA	35 mA
Comunicación	SERIAL UART	SERIAL UART	SERIAL UART	SERIAL UART
Antena interna	SI	NO	NO	NO
Alimentación (volt)	3.3 – 5	3.5 – 5	2.7 - 5	2.7 – 5
batería	SI	SI	SI	SI
PRECIO	\$15.890	\$12.981	\$15.650	\$12.690

Fuente: Elaboración propia en base a estudio comercial y datasheet.

2.2. Comunicación inalámbrica:

Cuando se habla de comunicación inalámbrica se hace referencia automáticamente a un tipo de conectividad en donde la entidad emisora y la receptora se encuentran unidas por un medio de propagación no físico, o más bien emplean una modulación de ondas eléctricas a través del espacio para así comunicarse. Es por ello que para efectuar dicha comunicación utilizan como medios físicos antenas, teléfonos, sensores, computadoras, etc.

En esta ocasión lo que se busca es realizar un análisis de los distintos tipos de comunicación inalámbrica con los que el dispositivo podría tratar, escoger la que más se adapte a las necesidades del dispositivo y finalmente el medio físico o dispositivo a emplear para concretar la función de emisor y receptor.

2.2.1 M2M GSM/GPRS

Las redes de comunicación a través del sistema M2M (Machine to Machine) han sido la principal apuesta de hoy en día por parte de muchos equipos que empleamos a diario. Siempre vinculadas a la tarjeta SIM, la conectividad por M2M ha nacido del modelo de negocio del GPRS y el pago por Mbyte transmitido, tal como se conoce ahora en tecnologías como el 3G/4G.

Este tipo de comunicación tiene un gran déficit el cual es su escalabilidad, dado que su cobertura está asociada a un operador y su coste vs datos transferidos. Por otro lado, el alto coste energético que suponen las transmisiones de datos en tecnología 3G/4G lo cual lo vuelve una desventaja rotunda en equipos que operan en lugares rurales o bien se alimentan por medio de baterías.

2.2.2 SIGFOX

Es la red de comunicaciones LPWAN (Low-power Wide- área network) más entendida a nivel mundial, con una cobertura aproximada al 98% en territorios Europeos y Americanos. Dicha red está construida sobre una modulación ultra narrow band (UNB) y opera en la banda 868Mhz en Europa y en la banda 902Mhz en Estados Unidos.

Uno de las principales razones por que se utiliza SIGFOX, se debe a que tiene un despliegue y cobertura casi global, dado que los fabricantes de dispositivos se han adaptado a su tecnología y facilitan la subida de datos a la nube de SIGFOX quedando disponible así en los servidores de la compañía para su acceso a través de cualquier conexión a internet.

El bajo coste de esta tecnología, su aceptación por los fabricantes de dispositivos o el que sea una red bidireccional son otros aspectos técnicos que juegan a su favor. Por lo contrario, al contar con frecuencia no licenciada podría encontrarse en un futuro fuera de mercado, dado que la frecuencia podría ser regulada por los organismos públicos y así ser adquirida por el sector de las empresas de telecomunicaciones.

2.2.3 LoRa

También corresponde a una red LPWAN con un modelo de negocio muy similar a SigFox aunque con una tecnología diferente ya que, utiliza un espectro de comunicaciones más amplios a SigFox. Si se buscan diferencias entre estas, se podría decir que LoRa es una red mejor preparada para establecer una comunicación bidireccional en tiempo real. Por otro lado, un factor muy importante de LoRa es que para los fabricantes que quieran comunicar los dispositivos a través del uso de esta, sus especificaciones son más abiertas o menos estrictas que con SigFox.

2.2.4 BLE – Bluetooth de baja energía

Esta es otra de las alternativas inalámbricas de comunicación, la cual permite interoperar pequeños dispositivos desarrollados para usar Bluetooth y destinados a mandar paquetes de datos reducidos, en comparación a las demás opciones tecnológicas que están capacitadas para mandar grandes volúmenes de datos.

Este tipo de tecnología es utilizada para dispositivos pequeños (que utilizan baterías pila de botón), para dar servicios de señalización y localización de dispositivos, y que puedan durar meses gracias a la baja tasa de transmisión de datos que presentan.

Su corto alcance y la necesidad de establecer redes punto a punto a través de emparejamiento lo convierte en un protocolo de reducida utilidad en entornos industriales y redes de sensores.

2.2.5 ZigBee

Corresponde a una tecnología inalámbrica, utilizada desde ya hace años y centrada en aplicaciones domóticas e industriales. Actualmente los perfiles ZigBee PRO y ZigBee Remote Control (RF4CE) cumplen con las especificaciones de tasas de envío de datos bajos, pero con un alcance de cobertura cercano a los 100 metros. Este es un aspecto fundamental y que supone descartar

las comunicaciones por ZigBee en caso de proyectos donde los dispositivos a comunicar se encuentren muy alejados del concentrador de los datos.

Entre sus aspectos técnicos positivos tenemos bajo consumo, seguridad superior al resto de tecnologías, robustez, alta escalabilidad y capacidad para soportar un gran número de nodos.

2.2.6 Comparativa de comunicación inalámbrica

En este apartado se realiza un análisis de las comunicaciones inalámbricas mencionadas anteriormente y bajo a los aspectos técnicos mencionados con anterioridad se busca escoger la comunicación inalámbrica con la que opera el dispositivo a crear.

La tecnología de transmisión inalámbrica pivotea en tres ejes principales, los cuales son consumo energético, alcance o distancia entre dispositivos y capacidad de transmisión. No existe actualmente una tecnología que cubra muy bien dichos ejes, si no que se sacrifica uno para potenciar a los demás. Un ejemplo de ello es el GSM/GPRS, tiene muy buen alcance, muy buena tasa de transmisión de datos, pero consume mucha energía en su transmisión, si queremos alargar la duración de batería en un dispositivo, debemos desconectar la transmisión de datos. Otro ejemplo es el bluetooth, el cual tiene muy bajo consumo energético, muy buena tasa de transmisión de datos, pero cuenta con un alcance muy limitado. En tanto tecnologías como LoRa o SigFox son tecnologías que, para tener muy buen alcance y un consumo muy pequeño, sacrifican el número de datos que pueden transmitir. [10]

En base a lo descrito anteriormente se puede concluir que ninguna de las tecnologías existentes en el mercado en base a la comunicación inalámbrica cuenta con excelentes prestaciones en las tres áreas (consumo energético, alcance o distancia y capacidad de transmisión) y es por ello que al apreciar la Tabla 2.2 se puede observar que esta afirmación está en lo cierto.

Las tecnologías como GSM/GPRS y Wifi, cuentan con una excelente transmisión de tasa de datos y un alcance que va desde medio a alto, mientras la variable que se ve afectada o sacrifica en dichas tecnologías, es el consumo energético dado que no clasifican como tecnologías de bajo consumo. Esto último es clave en el desarrollo del proyecto dado que es uno de los requisitos establecidos por el dispositivo.

Tecnologías como BLE (bluetooth de baja energía) y ZigBee, cuentan con un alcance que va desde muy bajo a bajo, lo cual no las transforma en una opción de tecnología inalámbrica a ser

empleada en este proyecto, si bien su consumo energético es un aspecto a destacar, el alcance se transforma en una variable de importancia para descartar su uso.

Por otra parte, tecnologías como LoRa y SigFox corresponden a las redes de tipo LPWAN (low power wide area networks) las cuales son las tecnologías de comunicación inalámbrica que permiten transmitir datos entre un dispositivo a otro separado por varios metros o kilómetros y con un buen rendimiento de consumo energético. Y como se dio mención anteriormente estas sacrifican el número o tasa de datos que pueden transmitir, para así conseguir dicho buen alcance en base a un bajo consumo energético. Por lo que es cuando se habla de ellas nunca se puede llegar a pensar en transmitir datos en KBs o Mbs en cada mensaje [10]. Dicho esto, estas tecnologías son las que más se adaptan a los requerimientos del sistema a diseñar, dado que cumplen con los requisitos de consumo y alcance esperados, es decir un bajo consumo con posibilidades de obtener mayores alcances o distancias entre dispositivos a comunicar.

Ahora bien, si se realiza una comparativa centrada en SigFox y Lora, se puede decir en primera instancia en relación a la comunicación, que a diferencia de SigFox, los módulos LoRa estándar, pueden operar de forma bidireccional, es decir utilizando el mismo módulo, un receptor puede transformarse en transmisor en cualquier momento y viceversa, lo que bajo este aspecto LoRa gana ventaja sobre SigFox. Sin embargo, SigFox ofrece una interfaz de programación mucho más simple en comparación a LoRa, lo que transforma a esta última en algo más complicado en configurar sus respectivos módulos de trabajo. Finalizando la comparativa, es posible decir que los tamaños de mensaje con que operan la tecnología SigFox están limitados por diseño a 12 bytes, cambio para LoRa, el usuario define la longitud del mensaje a transmitir. [11]

Tabla 2.2: Comparativa de comunicación inalámbrica.

Tecnología	Consumo	Alcance	Tasa de datos
GSM/GPRS	Muy alto	Alto	Alta
SigFox	Bajo	Medio	Muy baja
LoRa	Bajo	Medio	Muy baja
Wifi	Alto	Bajo	Muy alta
BLE	Muy bajo	Muy bajo	Baja
ZigBee	Medio	Bajo	Baja

Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Excel.

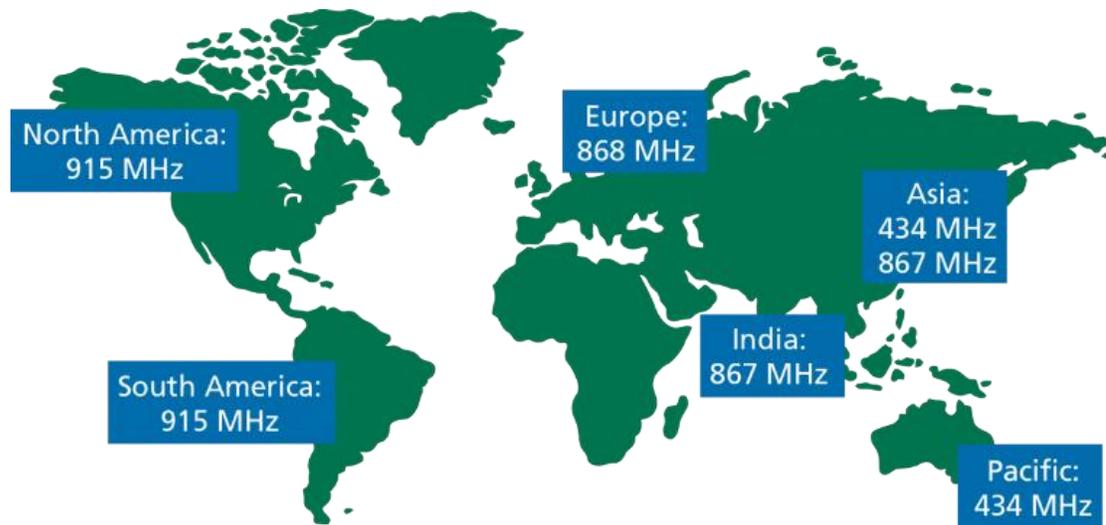
En base a todos los antecedentes técnicos analizados sobre LoRa y SigFox, la tecnología a considerar en la implementación es LoRa. Esta decisión se basa un aspecto importante como lo es la posibilidad de configuración dual que tienen los dispositivos LoRa, dado que pueden ser utilizados como emisor y receptor cuando el programador lo estime pertinente. Al contar con esta dualidad de uso, el código a programar abre la posibilidad de que entre ambos dispositivos LoRa tengan una comunicación bidireccional, aumentando de esta manera la interacción entre dispositivos.

Una vez establecida la comunicación inalámbrica que se empleará, es necesario mencionar algunos datos previos que brinden información de la procedencia de esta. Por ello cabe destacar que LoRa es la capa física de la tecnología inalámbrica, desarrollada y patentada por la corporación Semtech [12]. Basa su funcionamiento en la modulación de espectro ensanchado pulsado CSS (por sus siglas en inglés, Chirp Spread Spectrum) en una banda menor al GHz, la cual permite rangos largos de cobertura mayores a 10 Km en campos sin obstáculos.

La modulación CSS permite extender una señal sobre un amplio ancho de banda causando que la señal sea difícil de interceptar, decodificar o ser interferida por otras señales. Esta modulación originalmente se diseñó para propósitos militares con la finalidad de proveer seguridad en las comunicaciones [13].

La comunicación emplea espectros de frecuencia de uso público sin licencia ISM (Industrial, Scientific and Medical) siendo esta una de sus principales ventajas, puesto que puede operar su propia red sin tener que pagar por el espacio aéreo, disminuyendo así el costo al utilizar LoRa, siempre y cuando se cumplan las regulaciones en el área que se opera, como es la de trabajar dentro del plan de canales disponibles para cada país, presentado en la Figura 2.4, en donde se muestra los parámetros para diferentes ubicaciones en todo el mundo. Europa trabaja con la frecuencia 868 MHz, Australia utiliza una frecuencia de 434 MHz, Asia utiliza ambas frecuencias ya mencionadas (Europea y Australiana), y en América específicamente Chile, se utiliza la frecuencia de 915MHz, la cual permite trabajar con las bandas entre 915 a 928Mhz y el nombre del canal es AU915 [14]

Figura 2.4: Parámetros de frecuencia a nivel mundial.



Fuente: (Low power Lab, 2017) [15].

2.2.7 Módulo Transceptor con comunicación inalámbrica LoRa comercial

Una vez establecido el tipo de comunicación inalámbrica a utilizar se ha concluido que el módulo transceptor inalámbrico LoRa a utilizar está basado en el chip original SX1276 de SEMTECH. El cual brinda una mayor distancia de comunicación, teniendo como ventaja la densidad de potencia concentrada mientras ofrece gran confidencialidad. Este tipo de módulos cuentan con cifrado y compresión de datos, el algoritmo de cifrado-descifrado hace que interceptar datos sea una tarea sin sentido, ya que la información no puede ser obtenida.

Además, la compresión de datos permite un dato de tiempo de transmisión más corto y una menor tasa de interferencia lo que aumenta la confiabilidad y eficiencia de transmisión. Entre una de la más destacada característica cabe mencionar que presenta bajo consumo en aplicaciones, lo cual lo hace muy atractivo para el dispositivo a crear.

En la Tabla 2.3 se pueden apreciar algunos los aspectos técnicos del dispositivo LoRa que se emplea, como lo es su alimentación (volt), la distancia máxima de transmisión y el tipo de comunicación que emplea.

Tabla 2.3: Características técnicas de dispositivo LoRa a utilizar.

Dispositivo	LoRa E32-TTL-100
Alimentación (volt)	3.3 – 5.2
Distancia máxima transmisión	3 km
COMUNICACIÓN	SERIAL UART

Fuente: Elaboración propia en base a datasheet [16].

2.3. Módulo reloj

El encargado de brindar las horas de trabajo que realizan los equipos a los que se les implementara el dispositivo a diseñar, es un módulo de reloj y este cumple un gran papel en el dispositivo, ya que es una de las características principales de funcionalidad que se debe implementar.

Factores como la temperatura, causan efectos sobre las mediciones del tiempo ya que pueden producir un desfase acumulativo en su medición. Por lo que aspectos como estos se transforman en importantes a la hora de escoger el módulo de trabajo para el dispositivo.

Ahora bien, para la implementación de este módulo se realizó la comparativa entre dos opciones comerciales una sería DS1307 [17] y el DS3231 [18], en donde finalmente se escogió el segundo mencionado, debido a que cuenta con un compensador de temperatura. Dichas características técnicas es posible observarlas en la Tabla 2.4.

En el modelo DS1307, las variaciones de temperatura que afectan a la medición del tiempo de los cristales resonadores se traducen en errores en un desfase acumulado. Esto hace que el DS1307 sufra de un desfase temporal, que puede llegar a ser 1 o 2 minutos al día.

Para solucionarlo, el DS3231 incorpora medición y compensación de la temperatura garantizando una precisión de al menos 2ppm, lo que equivale a un desfase máximo 172ms/día o un segundo cada 6 días. En la práctica utilizándole se consiguen precisiones superiores, equivalente a desfases de 1-2 segundos al mes.

La comunicación en ambos modelos se realiza a través del bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos. La tensión de alimentación es 4.5 a 5.5 para el DS1307, y 2.3 a 5.5V para el DS3231.

Tabla 2.4: Características técnicas de distintos módulos de reloj.

Dispositivo	DS1307	DS3231
Alimentación (volt)	4.5 – 5.5	2.3 – 5.5
Compensador de temperatura	NO	SI
COMUNICACIÓN	I2C	I2C
BATERIA	SI	SI
PRECIO	\$2.490	\$2.990

Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Excel en base a estudio comercial [18] [17].

2.4. Módulo lector MicroSD:

Este módulo no tiene mayor comparativa dado que corresponde a un módulo estándar, y algunos aspectos importantes a considerar es conocer su tipo de comunicación con el microcontrolador y la alimentación que utiliza, lo cual se observa en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Características técnicas de dispositivo lector MicroSD a utilizar.

Dispositivo	Lector MicroSD
Alimentación (volt)	3.3 – 5
COMUNICACIÓN	SPI

Fuente: Elaboración propia en base a (naylampmechatronics) [19].

2.5. Microcontrolador:

El microcontrolador es el cerebro del dispositivo, es la unidad que tiene el control sobre todos los módulos planteados. Los aspectos que se deben considerar en su elección, en primera instancia son netamente técnicos y mientras este cumpla con lo necesario para que el dispositivo opere en su totalidad se estaría frente una buena opción.

Tabla 2.6: Características técnicas de distintos microcontroladores.

Dispositivo	PIC 18F4550	ATmega328p	Atmega2560
Velocidad (Mhz)	48	20	16
Memoria (KB)	2	2	4
Ancho de bus de datos (bit)	8	8	8
Entradas/Salidas	32	23	54
ADC	13	6	16
UARTS		2	4
Comunicación	EAUSART, I2C, SPI	I2C, SPI, UART	I2C, SPI, UART
VALOR KIT	\$28.990	\$16.890	\$39.990
MICROCONTROLADOR	\$6.670	\$4.650	

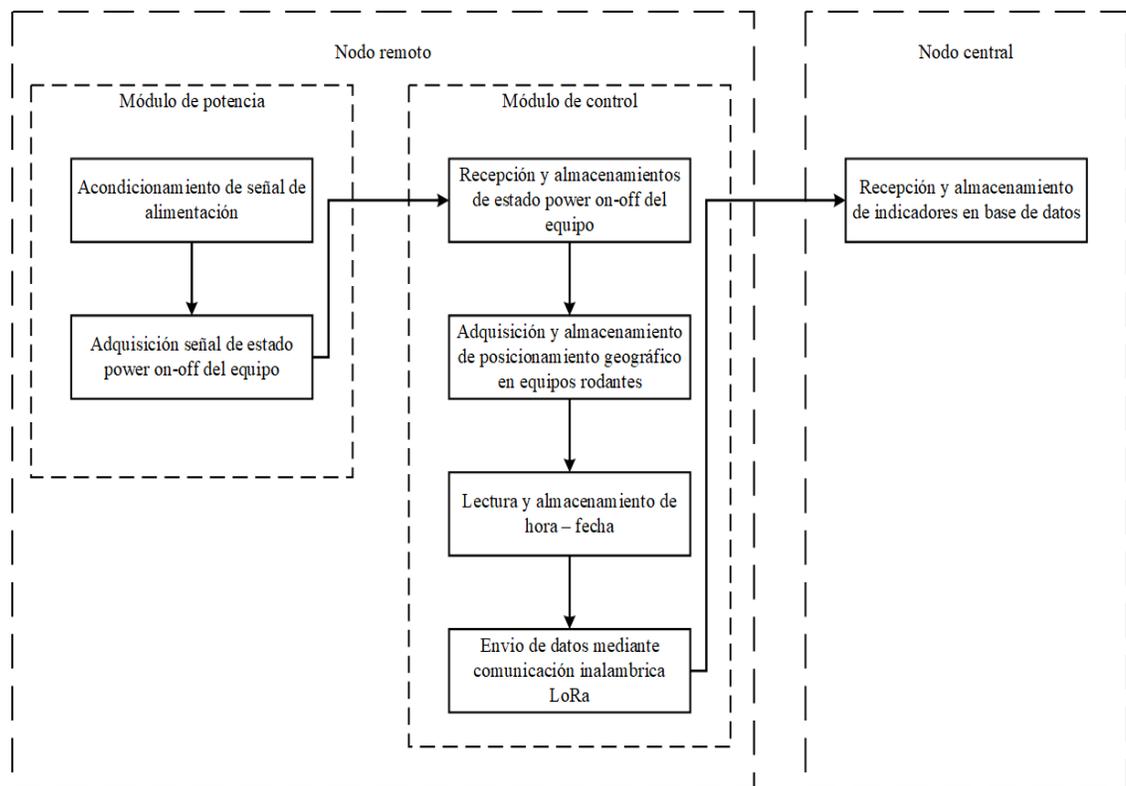
Fuente: Elaboración propia en base a estudio comercial [20] [21] [22].

Al comprar los tres dispositivos considerados en este apartado como se muestra en la Tabla 2.6, se puede verificar que todas las opciones cumplen con los requisitos técnicos, tales como tipos de comunicación, entradas/salidas, etc. por lo que cualquiera sea la opción escogida es posible decir que se estaría frente un dispositivo técnicamente operativo. Es por ello que, ante esto, se realizó un análisis en su placa de desarrollo y en el caso del microcontrolador ATmega328p se tiene la gran opción de utilizar un dispositivo de bajo costo, de pequeñas dimensiones, fácil de manipular y fácil de replicar su esquema básico de funcionamiento para el PCB a crear finalmente. Siendo de esta manera escogido dicho microcontrolador ATmega328p, el cual se es posible encontrar en la placa de desarrollo Arduino Nano, un dispositivo muy práctico a la hora de querer hacer montajes de prototipos en protoboard.

Capítulo 3: Propuesta de solución

En este capítulo se plantea la propuesta del sistema a ser desarrollado, el cual se divide en dos etapas principales conformadas con un total de siete módulos, como es posible ver en la Figura 3.1, en donde dichas etapas serían: nodo remoto y nodo central.

Figura 3.1: Diagrama de arquitectura del sistema.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

La primera etapa está compuesta de dos subetapas, las cuales son: módulo de potencia y módulo de control, estas hacen referencia al dispositivo físico, dado que la primera se encarga del acondicionamiento de la señal de alimentación con la que contará el dispositivo y a su vez cumple la función de adquirir la señal de estado power on - off del equipo en el que se encuentre funcionando el dispositivo a crear. Todo esto es recibido por la segunda subetapa mencionada (módulo de control), la cual se encarga de recibir la señal de estado de equipo (power on - off) para transformarlo en un indicador que se almacena en conjunto a los demás indicadores de interés, es decir el posicionamiento

y hora – fecha en que se realizan los cambios de estado power on – off del equipo. El último módulo en esta denominada subetapa hace referencia al envío de datos u indicadores captados, a una determinada hora del día, mediante el empleo de comunicación inalámbrica LoRa.

La segunda etapa mencionada con anterioridad (nodo central), es la que se encarga de recibir y almacenar los datos (indicadores) que se enviaron desde la primera etapa ya descrita. Dichos datos son llevados a una base de datos previamente diseñada.

3.1. Descripción de la propuesta de solución

En este apartado se realiza una descripción de manera simple, de los componentes que conforman cada módulo.

a. Módulo de potencia en nodo remoto

- **Convertidor Buck:** Es un convertidor DC-DC que cumple la función de reductor sin aislamiento galvánico. La finalidad de éste, es reducir el voltaje que proviene desde el equipo en donde operaría el dispositivo a diseñar y conectarlo a su vez al regulador de carga. Cabe mencionar que la forma más simple de reducir una tensión continua es el empleo de un circuito divisor de tensión, pero estos disipan mucha energía en forma de calor. Por lo que con la implementación de un convertidor Buck se puede obtener una alta eficiencia y autorregulación.
- **Regulador de carga:** Este dispositivo es capaz de proporcionar y gestionar la energía proveniente del equipo para cargar un banco de batería 18650 y a su vez proporcionar la alimentación al microcontrolador y a todo el sistema del nodo remoto.
- **Batería 18650:** Es la encargada de almacenar y proporcionar la energía necesaria para mantener en marcha el nodo remoto cuando dicha energía no es entregada por equipo.
- **Protección de batería:** Se encarga de proteger a la batería ante posibles sobrecargas.
- **Relé:** Es un dispositivo electromagnético, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Su función en la implementación del dispositivo, sería proporcionar al sistema la señal de power on-off del equipo.

b. Módulo de control en nodo remoto

- ATmega 328p: Es el microcontrolador encargado de tener el control del sistema, el procesa las señales y transforma en indicadores que son almacenados y luego enviados por medio de comunicación inalámbrica LoRa.
- Transceptor con comunicación inalámbrica LoRa E32-TTL-100: Es el módulo encargado de proporcionar la comunicación inalámbrica del dispositivo, siendo posible el envío de los datos desde el nodo remoto al central.
- GPS Ublox Neo 6M: Es el encargado de proporcionar la ubicación de localización, esto lo realiza mediante la obtención de las coordenadas que el sistema GPS le proporciona, tal como fue descrito el sistema GPS en capítulos anteriores.
- RTC DS3231: Se encarga de proporcionar al sistema, la hora y fecha. Esto se emplea para obtener dichos datos a la hora de originarse un cambio de estado (power on-off) en el equipo intervenido.
- MicroSD: Es quien almacena los datos obtenidos del módulo RTC DS3231, del módulo GPS Ublox Neo 6M y la señal recibida desde el relé (señal power on-off).

c. Nodo central

- Transceptor con comunicación inalámbrica LoRa E32-TTL-100: éste módulo se repite en éste nodo y se encarga de comunicar nodo central con nodo remoto. Y cuya función en nodo central es recibir los datos que proporciona el nodo remoto.
- Raspberry pi: es una computadora de bajo costo con tamaño compacto, del tamaño de una tarjeta de crédito [23] Esta será la unidad central en procesar los datos recibidos por parte del nodo central y dejarlos en una plataforma previamente diseñada.

Capítulo 4: Diseño

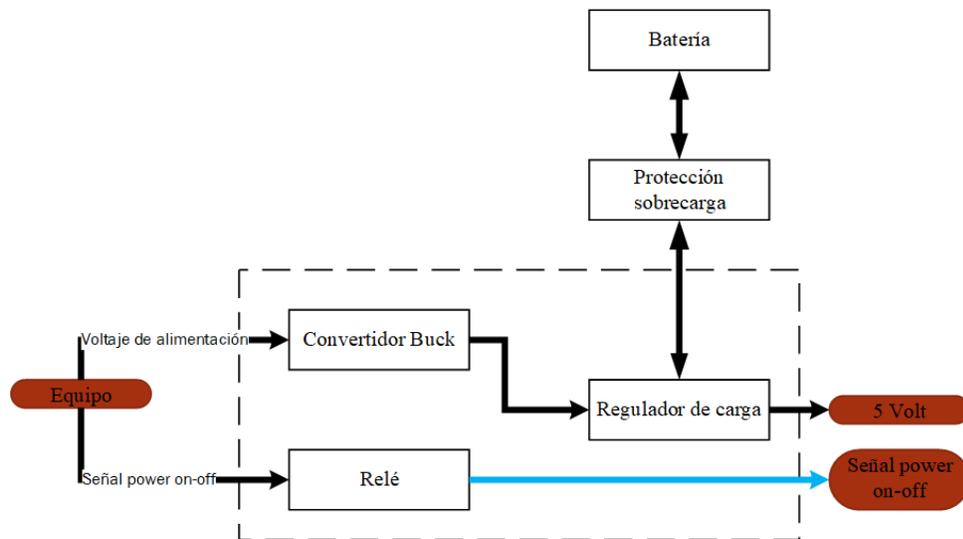
El presente capítulo, hace referencia al diseño del dispositivo, describiendo así a los nodos principales, nodo remoto y nodo central.

El nodo remoto tiene la funcionalidad de obtener las variables, almacenarlas y luego enviarlas mediante comunicación inalámbrica LoRa. Mientras que el nodo central es quien tiene la función de recibir las variables o indicadores de interés enviadas por el nodo remoto, para así almacenarlas en una plataforma previamente diseñada.

4.1. Módulo de potencia en nodo remoto

El módulo de potencia en el nodo remoto, es quien se encarga de entregar o proporcionar dos cosas de importancia al sistema de control del dispositivo. La primera es la alimentación, la cual proviene del equipo al cual se le implementará el dispositivo y la segunda es una señal power on-off que también es brindada por el equipo cuando este se encuentra encendido o apagado.

Figura 4.1: Esquema módulo de potencia nodo remoto.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

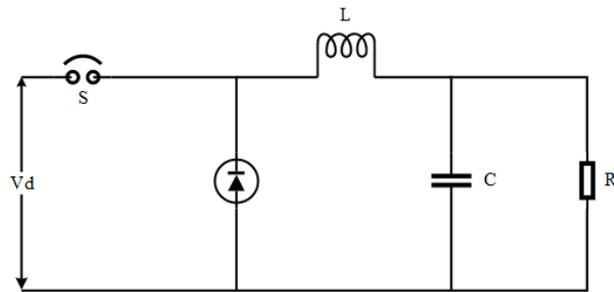
El dispositivo operará en equipos que trabajan a 12 Vdc, 24 Vdc y a 220 Vac. Por tanto, desde dichos equipos se debe obtener tanto el voltaje encargado de la alimentación del dispositivo y la señal power on-off del equipo. En la Figura 4.1, se puede apreciar que el equipo proporciona el voltaje de

alimentación, para disminuir dicho voltaje se implementa un convertidor Buck, que es seguido por un regulador de carga que se encarga de proporcionar al sistema finalmente la alimentación. Dicho regulador de carga, se encarga de alimentar al sistema desde la energía proveniente desde el equipo o bien desde un banco de batería 18650, manteniendo de esta manera alimentado el dispositivo en todo momento.

4.1.1 Convertidor Buck

El convertidor Buck es un convertidor DC-DC sin aislamiento galvánico, éste tiene la particularidad de que el voltaje de salida es menor al voltaje de entrada V_d . [24]

Figura 4.2: Esquema base convertidor Buck.

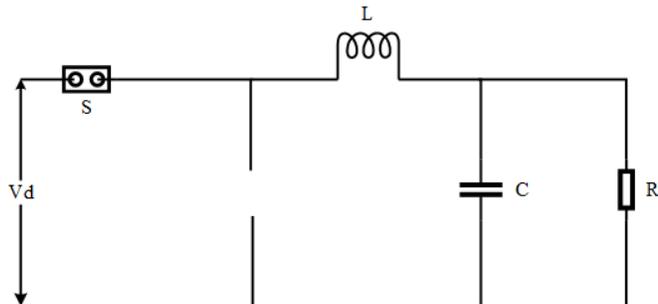


Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

En la Figura 4.2, se puede apreciar el circuito base de un convertidor Buck, donde cabe destacar que este circuito tiene dos estados, on/off los cuales son designados por el switch S,

El estado on ocurre cuando el switch S, se encuentra cerrado, es aquí cuando el circuito se comporta como la Figura 4.3, realizando la conexión directa de la fuente de alimentación al inductor L, además en el diodo no circula corriente y se comporta como un circuito abierto.

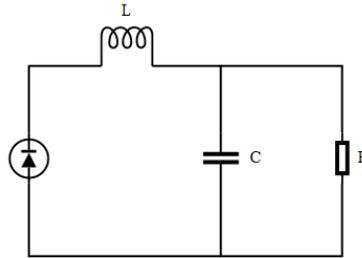
Figura 4.3: Esquema base convertidor Buck, Estado ON.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

Ahora bien, cuando el switch S se encuentra en estado abierto, es posible decir que el convertidor se encuentra en estado off, el circuito se comporta como se ve en la Figura 4.4, donde ya la fuente de alimentación está desconectada del circuito, sin embargo, el inductor L libera la energía almacenada durante el estado on, de la misma forma con el condensador [25]

Figura 4.4: Esquema base convertidor Buck, Estado OFF.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

El diseño del convertidor Buck no es uno de los propósitos del trabajo, es por ello que se ha utilizado un convertidor Buck comercial (Figura 4.5) cuyo valor es aproximadamente 5.69 \$US. Las características que este proporciona se encuentran en la Tabla 4.1, en donde es posible ver que cumple con los voltajes que proporcionan los equipos (voltajes de entrada) a los que se piensa implementar el dispositivo y a su salida se obtiene un voltaje de 6V.

Tabla 4.1: Características convertidor Buck comercial.

Voltaje de entrada	10 ~ 80V
Voltaje de salida	6V
Corriente máxima salida	2.1A
Dimensiones	60x30x16mm

Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Excel en base a datasheet.

Figura 4.5: Convertidor Buck comercial.

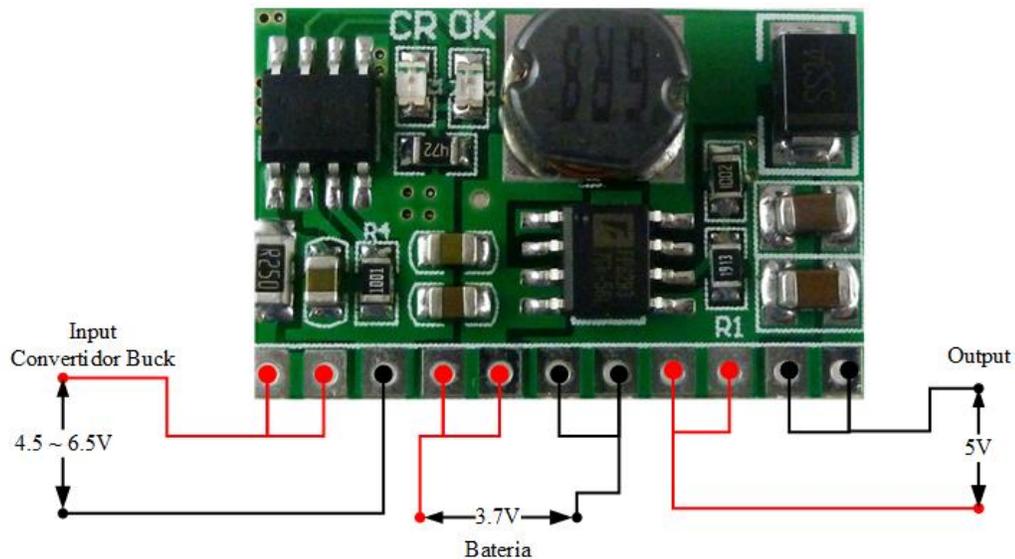


Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Regulador de carga

El regulador de carga es el encargado de realizar la carga al banco de batería 18650 a implementar y a su vez alimentar al sistema con una señal de voltaje de 5 volt, dado que es la alimentación que necesita y emplea la unidad de control del dispositivo. El esquema de conexión básico se puede observar en la Figura 4.6, en el cual la señal input del regulador de carga sería entregada por la salida del convertidor Buck previamente descrito (es decir una señal de 6 volt). Mientras que la salida Output del regulador de carga, corresponde a la señal de 5 volt, que como bien se mencionó antes, es la encargada de alimentar al dispositivo y unidad de control de este.

Figura 4.6: Esquema de conexión básico regulador de carga.

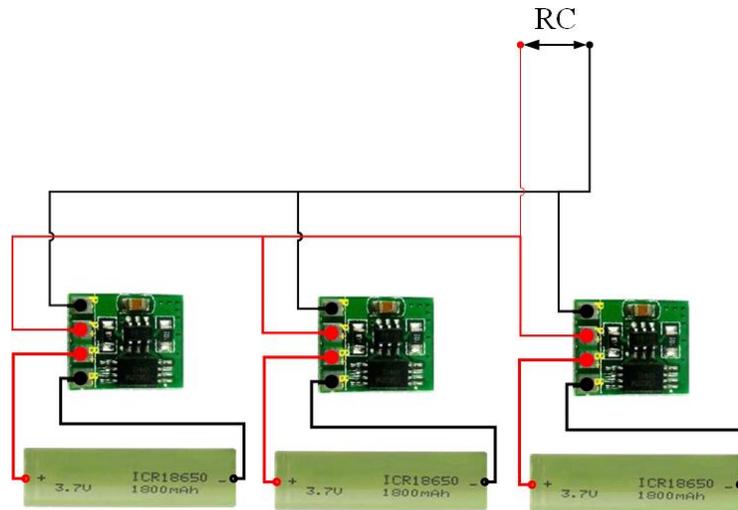


Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

Cuando el equipo no se encuentra alimentando al convertidor Buck, este no se encuentra energizado por tanto no entrega energía al sistema. Es aquí cuando el banco de batería se encarga de mantener el dispositivo energizado y en la Figura 4.7, se puede observar como el regulador de carga, se encarga de alimentar al sistema y descargar el banco de batería 18650.

proteger la sobre carga de la batería, protegerla también en la descarga, contra cortocircuitos o bien contra sobre corriente. Las dimensiones del dispositivo corresponden a 12,6x10,2x2,1mm.

Figura 4.8: Esquema de implementación, protección de carga.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

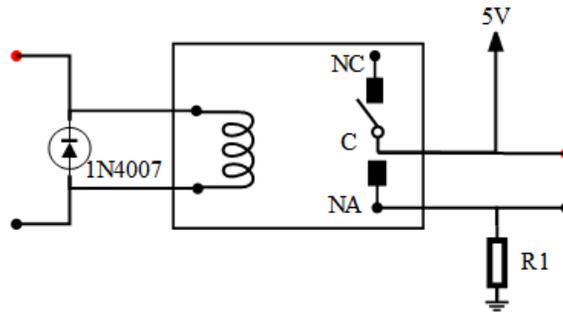
4.1.4 Relé

Cuando el operador de la empresa, desde el tablero del equipo provoque su encendido, pasará corriente eléctrica por la bobina del relé, lo cual crea un campo magnético. Dicho campo atrae la armadura que, acercándose al núcleo de la bobina, mueve los contactos del relé actuando la conmutación. El relé se encontrará conectado con su configuración normalmente abierta (ver en la Figura 4.9), lo que quiere decir que cuando el equipo esté en funcionamiento desde el módulo de potencia tenga a su salida una señal de 5 Volt, esta señal significará que el equipo se encuentra en su estado “ON” y deberá ser procesada por el módulo de control del dispositivo,

Una vez que se interrumpe la corriente que pasa por la bobina, el campo magnético presente en el relé induce en los terminales de la misma bobina, por un breve instante, una tensión elevada de polaridad opuesta. Por lo tanto, para evitar dicho efecto, se ha conectado en paralelo un diodo rectificador inversamente polarizada, de tal modo que durante el funcionamiento del relé no trabaje, mientras que, cuando se deja de energizar la bobina el diodo absorbe dicha energía residual de polaridad opuesta.

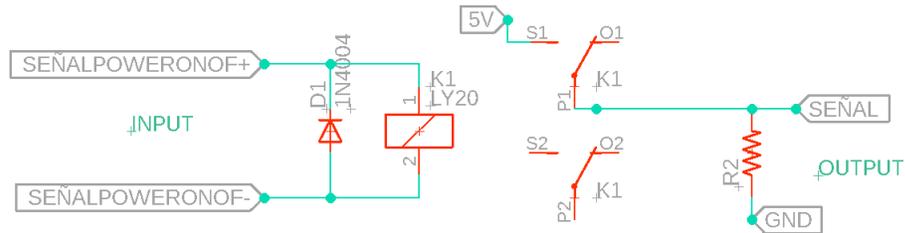
Cabe mencionar que la implementación del relé varía según el Voltaje con el que trabaja el equipo a implementar el dispositivo, es decir se emplea el uso de relé comercial (Figura 4.11) de 12 Vdc, 24 Vdc y 220 Vac, según sea el caso a considerar.

Figura 4.9: Esquemático general de Relé.



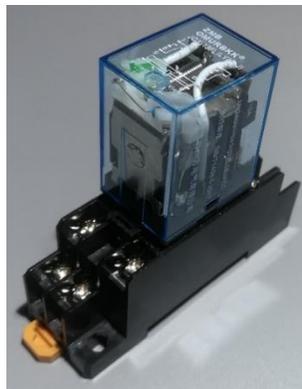
Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

Figura 4.10: Implementación de esquema en Eagle con relé comercial.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Eagle.

Figura 4.11: Relé comercial.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Diseño módulo de potencia en nodo remoto

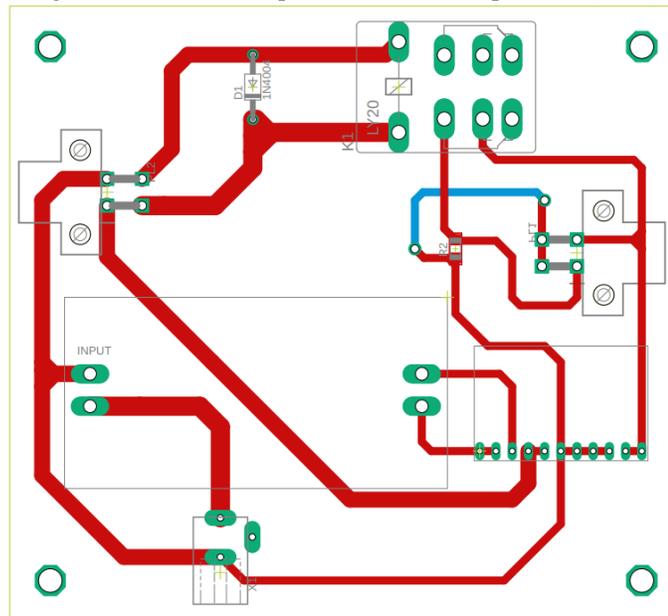
A continuación, se presenta la integración de las tecnologías presentadas anteriormente, esta integración se realizó en base al dimensionamiento de cada uno de los componentes ya mencionados.

Para diseñar la placa del módulo de potencia se utilizó el software Eagle de Autodesk. Este software se debe considerar una suscripción, sin embargo, gracias al convenio que la Universidad posee con Autodesk se puede optar a la versión estudiante, lo que permite utilizar las diversas funciones que posee Eagle.

Cabe destacar que por la contingencia provocada por el COVID-19, el diseño y pruebas en versión de prototipo no lograron ser probadas por no contar con la instrumentación necesaria para ello. Dado que la empresa donde se efectúa el proyecto no cuenta con los equipos de laboratorio que harían posible llevar a cabo esta etapa. Y en base a ello se optó por el uso de dispositivos comerciales para así garantizar el buen funcionamiento de estos.

Por otra parte, cabe mencionar que el desarrollo de fabricación placa PCB fue realizado por la empresa MCI electronics (Figura 8.4). En la Figura 4.12 se puede apreciar el diseño de la placa del nodo remoto creado en el software mencionado anteriormente.

Figura 4.12: Diseño de placa de módulo de potencia (PCB).

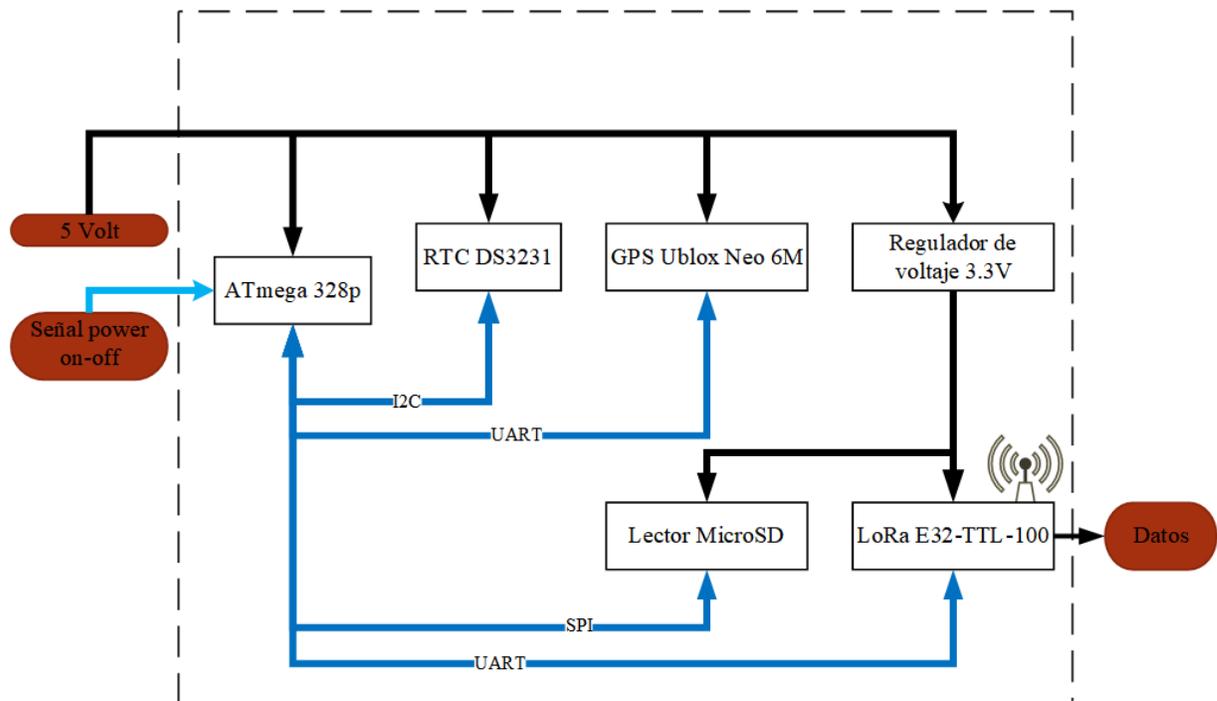


Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Eagle.

4.2. Módulo de control en nodo remoto

El módulo de control en el nodo remoto, es quien se encarga de controlar, adquirir, almacenar y finalmente gestionar el envío de los datos captados durante el día mediante comunicación inalámbrica LoRa, al nodo central. Este módulo se encuentra alimentado gracias al módulo de potencia previamente descrito, por ello cabe destacar que a partir de él se obtiene la señal power on-off del equipo y también la alimentación necesaria para funcionar el dispositivo (ya sea proveniente desde el equipo o bien desde el banco de batería 18650).

Figura 4.13: Esquema módulo de control en nodo remoto.

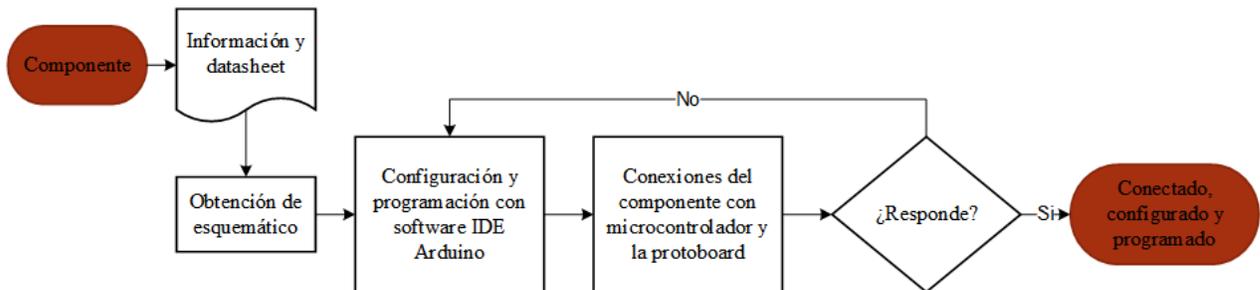


Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

Para dar análisis y descripción del módulo de control en el nodo remoto, se comenzará en primera instancia por su cerebro, es decir, el microcontrolador ATmega 328p y luego con cada uno de los demás módulos que le componen, es decir, RTC DS3231, GPS UBblox Neo 6M, Lector MicroSD y LoRa E32-TLL-100. En donde, se indagará con su información obtenida desde el datasheet, continuando con la obtención del esquemático a considerar en su diseño y una vez realizado esto se comienza con las configuraciones, conexiones con el microcontrolador y pruebas de funcionamiento.

Realizado todo esto, se procede a la obtención de un prototipo funcional que permita luego en base a él, diseñar un circuito a considerar para la fabricación de PCB.

Figura 4.14: Funcionamiento módulo de control.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

4.2.1 ATmega 328p

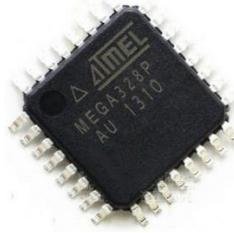
El cerebro del módulo de control y del dispositivo en sí, es el microcontrolador Atmega328p quien se encarga de recibir, procesar, gestionar y almacenar todos los datos, provenientes ya sea desde el GPS Ublox Neo 6M, RTC DS3231 o señal power on-off del equipo, para luego enviarlos mediante la comunicación inalámbrica LoRa por medio del empleo del dispositivo E32-TTL-100.

Las características básicas del microcontrolador fueron vistas en capítulos anteriores, es por ello que aquí se pretende dar descripción a cosas más específicas que ayuden a crear el diseño y también un prototipo.

Existen distintos tipos de encapsulado para el ATmega328P, sin embargo, en este caso se decide utilizar un microcontrolador de montaje superficial (smd) el cual posee una arquitectura RISC de 8-bits a baja potencia, además posee pines en los cuales se contempla pines de alimentación, puertos digitales, puertos análogos, entre otros.

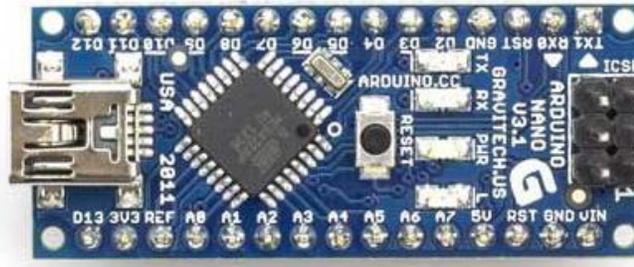
Cabe mencionar también que, para el desarrollo del prototipo, se emplea el uso de la placa en desarrollo Arduino Nano, la cual cuenta con un microcontrolador ATmega 328p y facilita mucho la labor, dado que ésta se adapta muy bien para ser utilizada sobre el montaje en protoboard.

Figura 4.15: Microcontrolador ATmega 328p.



Fuente: (Smart Prototyping, 2019) [26].

Figura 4.16: Placa en desarrollo Arduino Nano.



Fuente: Elaboración propia

a. **Tipos de comunicación disponibles en ATmega 328p**

Los tipos de comunicación disponibles en el microcontrolador ATmega 328p, son comunicación I2C, SPI y UART. Las cuáles serán explicadas de manera muy simple a continuación.

1. **Comunicación I2C** es un bus del tipo serial que utiliza dos pines: SDA (Slave Data Adress) y SCL (Slave Clock) y funciona de la siguiente manera:
 - Se envía una señal al pin SCL para indicar que se quiere iniciar una transferencia.
 - Los siguientes 7 bits que se envían es la dirección del dispositivo subordinado, hay un límite de 128 dispositivos subordinados.
 - Los siguientes 8 bits son la transferencia de datos entre el dispositivo maestro y el subordinado.
2. **Comunicación SPI** es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado por tarjetas SD o microSD de baja velocidad y los dispositivos Bluetooth también utilizan este tipo de interfaz de manera interna.

Al igual que el I2C se trata de un bus de un solo bit entre el dispositivo maestro y el subordinado, pero es diferente en la forma en la que transmite los datos ya que funciona con los siguientes pines:

- **MOSI (Master Out Slave In):** Este pin indica que el dispositivo maestro es el que envía el dato hacía el dispositivo subordinado.
- **MISO (Master In Slave Out):** Si este pin se encuentra activo entonces son los dispositivos subordinados quienes envían los datos hacía el dispositivo maestro.
- **SCLK:** Envía la señal se reloj, la cual es necesaria para enviar los datos tanto desde la interfaz SPI maestro como desde la interfaz SPI subordinada. La velocidad de reloj indica la cantidad de datos que se van a enviar por segundo.
- **CS (Chip Select):** Si este pin se encuentra activo entonces se pueden enviar los datos a ese dispositivo subordinado. Un dispositivo SPI maestro va a tener tantos pines CS como dispositivos SPI subordinados. haya en el sistema.

3. Comunicación UART Es diferente a las anteriores por el hecho de que estamos ante una interfaz que no tiene pines de maestro/subordinado y al contrario de los dos anteriores se trata de un puerto de comunicación en paralelo, por lo que transfiere varios bits por ciclo de reloj.

- Una colección de pines que se encargan de enviar datos en un extremo (pin TXD)
- Una colección de pines que se encargan de recibir datos en el otro extremo (pin RXD)
- Un pin de reloj que controla cuando se ha de transmitir la señal y cuando no.

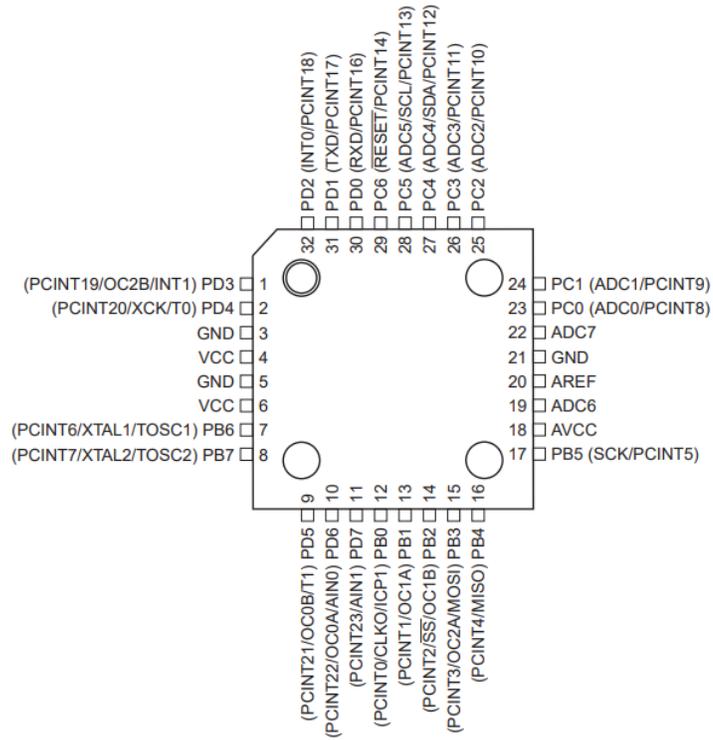
b. Esquemático de funcionamiento ATmega328p

A la hora de realizar el diseño, se debe conocer de buena manera el esquema del dispositivo. Y parte importante de ello, es conocer los PinOut para ello es necesario hacer revisión de datasheet el cual nos proporciona dicha información. En la Figura 4.17, se puede observar los distintos pines del dispositivo con sus respectivos nombres, siendo en total 32 pines.

En la Figura 4.18, es posible ver el esquemático que se debe desarrollar a la hora de querer implementar el microcontrolador ATmega328p. Para implementar dicho esquema es necesario contar con los componentes electrónicos que se muestran en la Tabla4.3.

Finalmente cabe mencionar que el microcontrolador ATmega328P no viene configurado para poder utilizar el software IDE Arduino, es por ello que se necesita cargar el bootloader de Arduino Nano. Mientras que, en el caso del prototipo a desarrollar es distinto, dado que el microcontrolador ATmega 328p del Arduino Nano, viene listo para programar mediante el uso del software IDE Arduino.

Figura 4.17: Pines del dispositivo.



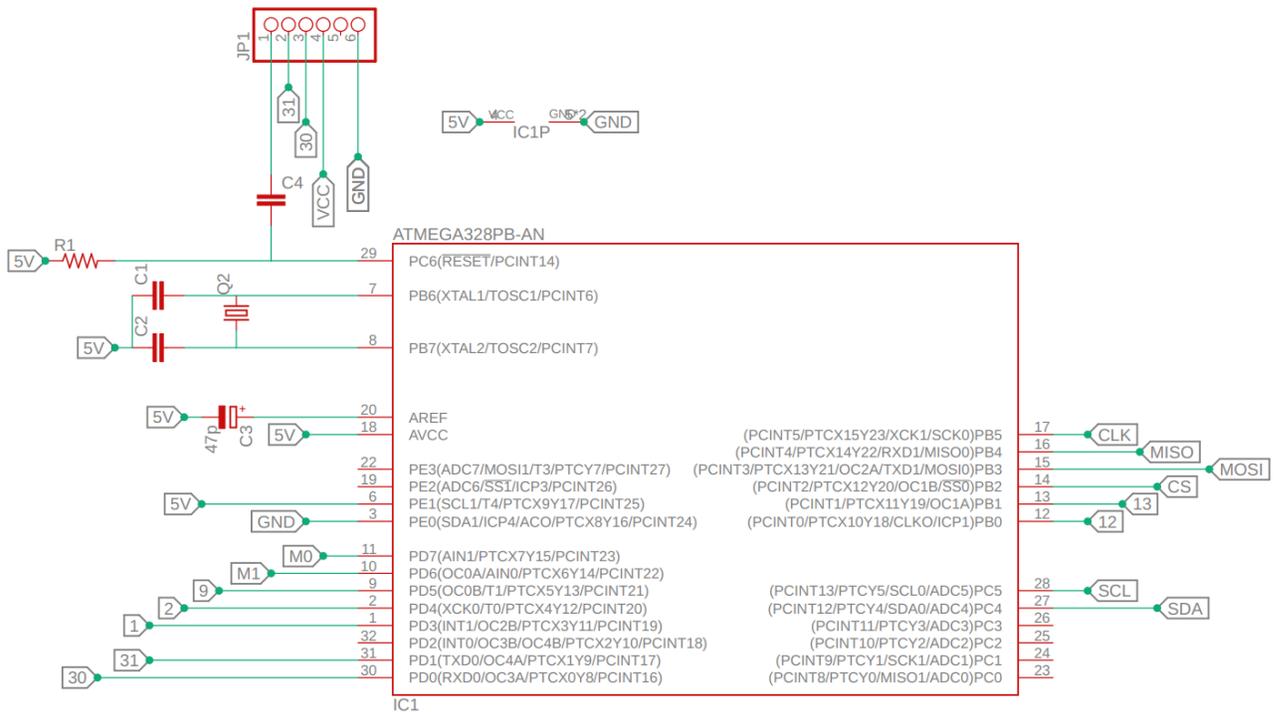
Fuente: (Electrónica components) [21].

Tabla 4.3: Complementos electrónicos microcontrolador ATmega328p.

Componentes electrónicos
ATmega328p
Cristal 16 Mhz
Capacitor 22 pF
Capacitor 47 uF 16v Electrolítico
Capacitor 0.1 uF
Resistencia 1k

Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Excel en base a datasheet.

Figura 4.18: Esquemático microcontrolador ATmega328p.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Eagle.

4.2.2 GPS Neo-6MV2

a. Datos de programación y configuración

Este módulo no necesita mayor configuración, dado que cuenta con la propia asignada de fábrica, lo cual es suficiente para iniciar la comunicación con él y de esta manera tener los datos que se necesitan.

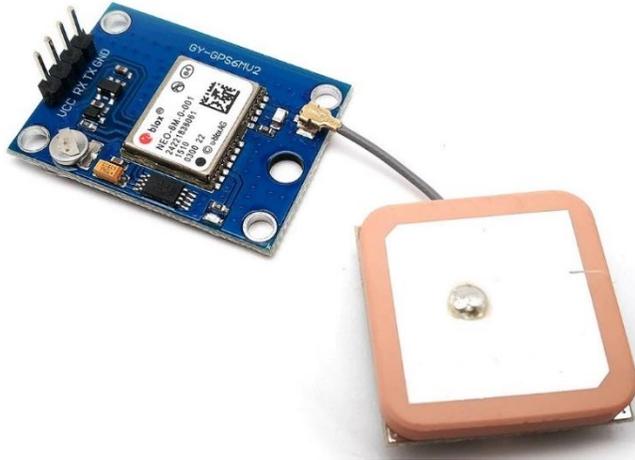
El GPS Neo-6MV2 puede rastrear 22 satélites en 50 canales y alcanza un nivel muy alto de sensibilidad de -161 dB. Es capaz de realizar hasta 5 actualizaciones de ubicación por segundo con una precisión de posición horizontal de 2.3 metros. El módulo admite una velocidad en baudios de 4800 bps a 230400 bps con una velocidad de transmisión predeterminada de 9600.

GEO Neo-6MV2 está equipado con una EEPROM serial y una batería recargable que actúa como un supercondensador. Una EEPROM junto con la batería ayuda a retener la RAM respaldada por batería (BBR). El BBR contiene datos de reloj, datos de posición más recientes (datos de órbita

GNSS) y la configuración del módulo, pero no está diseñado para el almacenamiento permanente de datos.

La antena con la que cuenta es una antena que tiene una sensibilidad de -161 dBm y va a un conector U.FL.

Figura 4.19: 4.2.2: GPS Neo-6MV2.



Fuente: Elaboración propia.

b. Esquemático de funcionamiento GPS Neo-6MV2

Este dispositivo será implementado como módulo comercial tanto para el diseño y desarrollo, del prototipo como también para el caso del diseño de tarjeta de circuito impreso (PCB), del dispositivo.

c. Escritura y compilación de código

Para la escritura de código de prueba se debe contar con el software IDE Arduino el cual proporciona todo lo necesario para lograr programar la tarjeta en desarrollo de Arduino Nano. Se debe mencionar que comunicación entre GPS Neo-6MV2 y el microcontrolador es mediante comunicación serial (UART). Lo que hace necesario el empleo de la biblioteca Software Serial y por otra parte la biblioteca TinyGPS.

Es posible obtener los datos mediante sentencias NMEA, lo cual es un acrónimo de *National Marine Electronics Association*, siendo un formato de mensaje estándar para casi todos los receptores GPS. El estándar NMEA está formado en líneas de datos llamados oraciones, en donde cada oración está separada por comas para que sea más fácil analizar por computadoras y microcontroladores.

Hay muchas oraciones en el estándar NMEA, las más comunes son:

\$GPRMC (coordenadas mínimas remendadas de posicionamiento global) proporciona la hora, fecha, latitud, longitud, altitud y velocidad estimada.

\$GPGGA proporciona datos de corrección esencial que proporcionan datos de precisión y ubicación 3D.

Y es aquí donde cabe destacar la labor de la biblioteca TinyGPS en el software IDE Arduino, dado que esta hace una gran cantidad de trabajo pesado requerido para recibir datos del GPS, como leer y extraer datos útiles en segundo plano. Gracias a esta biblioteca es posible obtener la información de latitud, longitud, altitud y UTC (fecha y hora).

d. Conexiones físicas:

Este dispositivo no requiere de mayores conexiones físicas más que su alimentación correspondiente y los dos pines necesarios para establecer comunicación serial.

Tabla 4.4: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para GPS Neo 6M.

Pin	N° en placa desarrollo	N° en ATMEGA328
RXD	D9	13
TXD	D8	12
VCC	5V	5V
GND	GND	GND

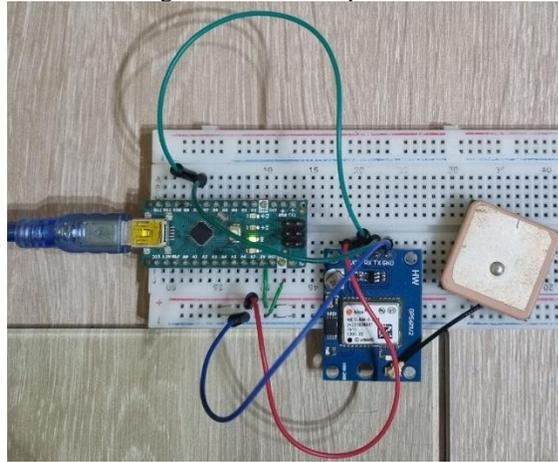
Fuente: Elaboración propia en base a datasheet.

e. Prueba de implementación para prototipo

Lo que se espera como respuesta de este dispositivo es la obtención de dos variables de importancia para el proyecto, las cuales son las coordenadas, de latitud y longitud. Teniendo esas coordenadas geográficas es posible determinar la posición que el equipo rodante tuvo durante su funcionamiento. Es por ello que lo que se hace en la práctica, es hacer que el GPS imprima en pantalla las coordenadas y corroborar si son las correctas ingresándolas a un buscador en línea (una opción es Google Maps) y con ello corroborar.

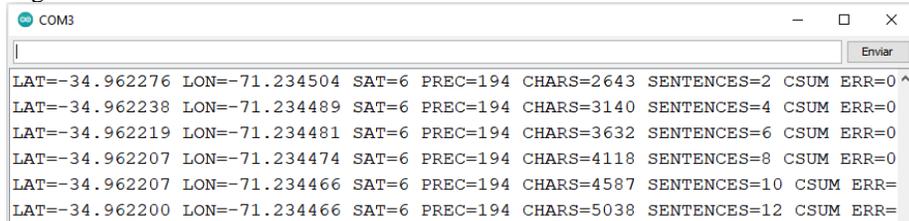
En el ejemplo de la Figura 4.21 y la Figura 4.22, se obtienen en pantallas las coordenadas -34.962192 y -71.234466, en donde estas corresponden a la coordenada geográfica latitud y longitud. Siendo posible ser ingresadas en buscador web y comprobar de esta manera que la ubicación brindada por GPS son las indicadas.

Figura 4.20: Prototipo GPS.



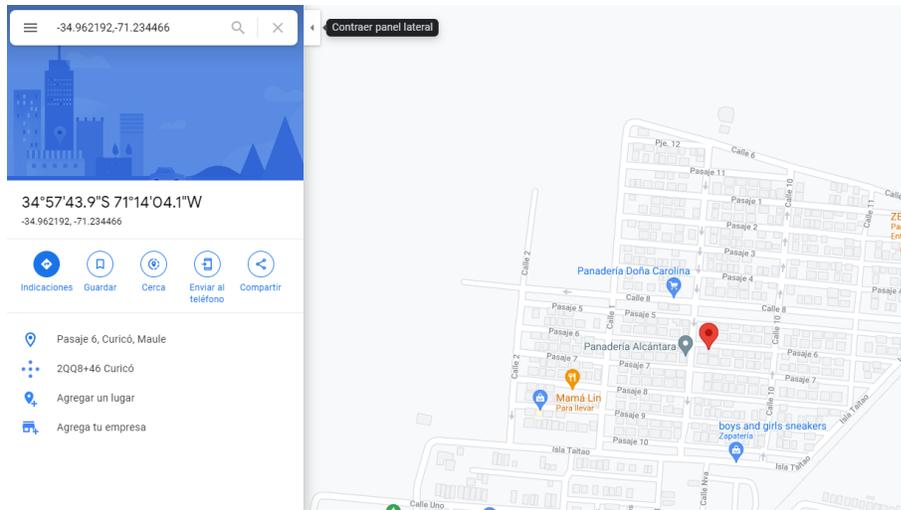
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.21: Datos obtenidos desde módulo GPS en monitor serial IDE Arduino.



Fuente: Elaboración propia en base a IDE de Arduino.

Figura 4.22: Coordenadas ingresadas en google Maps.



Fuente: (Google Maps) [27].

4.2.3 LoRa E32-TTL-100

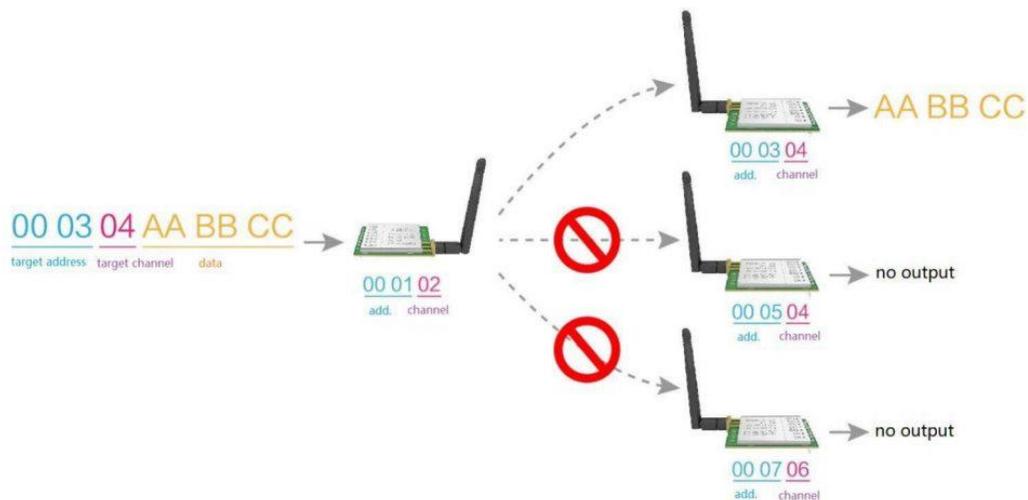
a. Datos de programación y configuración

Este dispositivo cuenta con dos tipos de transmisión, los cuales son transparente o fija.

- Transmisión transparente: Este tipo de transmisión se considera prácticamente como un “modo de demostración”, dado que por defecto puede enviar un mensaje a todos los dispositivos de la misma dirección y canal previamente configurados.
- Transmisión fija (red punto a punto): En este tipo de transmisión se puede especificar una dirección y un canal por donde se desee enviar el mensaje o información deseada.

Los datos pueden enviarse a un dispositivo especificado con una dirección baja, una dirección alta y un canal predeterminados. Esto se emplea cuando se desea que exista un receptor en específico, lo cual es necesario en el caso del proyecto dado que el emisor o los emisores, deben comunicarse con un dispositivo receptor en específico para almacenar los datos o información captada en el día.

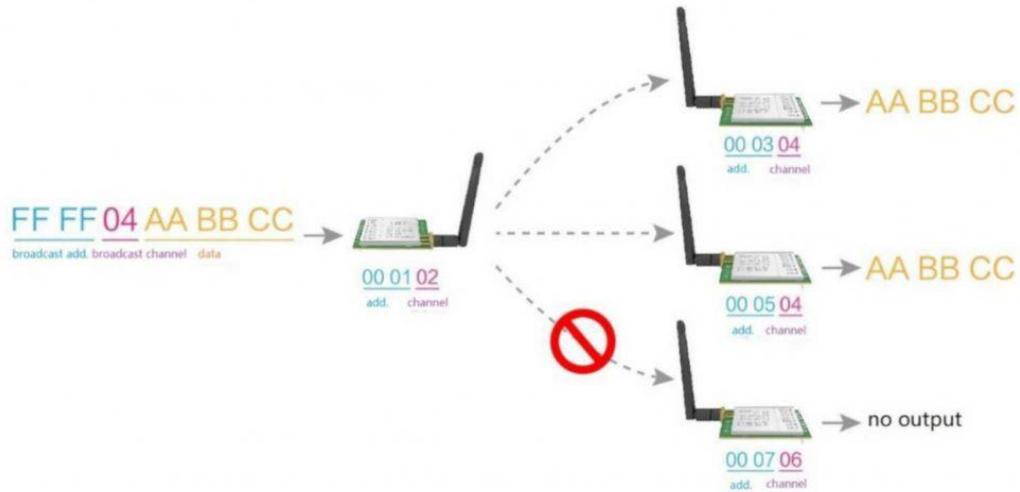
Figura 4.23: Esquema representativo de envío de datos con un receptor específico.



Fuente: (Mischianti, Renzo) [28].

O bien también transmitir un mensaje o información en un canal predeterminado. Esto hace posible que la información enviada sea recibida por todos los dispositivos que se encuentran en el canal previamente configurado.

Figura 4.24: Esquema representativo de envío de datos canal predeterminado.



Fuente: (Mischianti, Renzo) [28].

Los modos en los que se puede trabajar con este dispositivo son: modo normal, modo despertador y modo de ahorro de energía o bien modo programa o dormir.

- Modo normal: este modo simplemente envía un mensaje deseado.
- Modo despertador y modo de ahorro de energía: como puede suponer si un dispositivo está en modo de activación, puede “despertar” uno o más dispositivos que están en modo de ahorro de energía con una comunicación de preámbulo.
- Modo programa o dormir: en este modo se puede cambiar la configuración del dispositivo.

En el último modo mencionado se pueden cambiar algunas opciones o configuración como ahí se mencionó. Como es la velocidad en baudios, formato UART, tasa de datos de aire, el modo de transmisión a emplear, etc. es de suma importancia mencionar que todas estas configuraciones pueden ser almacenadas en la memoria EEPROM con la que cuenta el dispositivo, por lo que una vez modificadas sólo basta con que sean almacenadas.

La tasa de datos de aire está directamente relacionada con la velocidad de transmisión y con la distancia que esta puede tener. Dada una velocidad mayor los datos claramente son enviados más rápidamente, pero a la vez la distancia con la que ambos dispositivos (emisor-receptor) se deben encontrar es menor, dado que a una gran distancia dicha velocidad se ve afectada y la pérdida de datos es considerable.

b. Esquemático de funcionamiento LoRa E32-TLL-100

Este dispositivo será implementado como módulo comercial tanto para el diseño y desarrollo, del prototipo como también para el caso del diseño de tarjeta de circuito impreso (PCB), del dispositivo.

c. Escritura y compilación de código

Para la escritura de código de prueba igualmente se debe considerar el software IDE Arduino el cual proporciona todo lo necesario para lograr programar el microcontrolador ATmega de la tarjeta en desarrollo de Arduino Nano. Otro factor importante en ello es contar con la librería “LoRa_E32_Series_Library-máster” la cual brinda ejemplos de configuración de dispositivo tanto para dispositivo emisor y para dispositivo receptor.

Al igual que los demás dispositivos, lo primero que se realiza es crear las conexiones correspondientes y cargar los códigos de ejemplo para así comenzar las pruebas iniciales de dispositivo, en donde en este dispositivo se hace necesario contar con al menos dos de su clase, para así corroborar que el envío y la recepción de datos se está realizando de buena manera.

En el código de carga se deben realizar todas las configuraciones que fueron vistas en el apartado anterior, dado que es en él dónde se configura por ejemplo el canal, modo de trabajo, la velocidad, etc. Este punto es de suma importancia dado que una incorrecta configuración, involucra que los datos no sean enviados al destinatario.

d. Conexiones físicas

La comunicación entre LoRa E32-TTL-100 y el microcontrolador es mediante comunicación serial (UART).

Figura 4.25 Módulo LoRa E32-TLL-100.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5: Características de pines de LoRa E32-100.

N° pin	Pin	Input/Output	Función de pin
1	M0	Input	Decide el modo de funcionamiento en conjunto de M1
2	M1	Input	Decide el modo de funcionamiento en conjunto de M0
3	RXD	Input	Entradas TTL UART, se conecta a salida TXD del microcontrolador
4	TXD	Output	Salidas TTL, UART, se conecta a la entrada RXD del microcontrolador
5	AUX	Output	Indica el estado de funcionamiento del módulo
6	VCC		Fuente de alimentación 2.3V a 5.5 V DC
7	GND		Tierra

Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Excel en base a datasheet.

La configuración del modo de funcionamiento del dispositivo se ve relacionada con el estado de los pines M0 y M1:

Tabla 4.6: Modos de funcionamiento para LoRa E32-100.

Modo	M1	M0
Normal	0	0
Despertador	0	1
Ahorro de energía	1	0
Programa o dormir	1	1

Fuente: Elaboración propia en base a datasheet.

Ahora bien, teniéndose claro la funcionalidad de los pines y los modos de trabajos que con estos se pueden conseguir, queda dar a conocer cómo dichos pines se conectan al microcontrolador y la placa desarrollo Arduino Nano.

Tabla 4.7: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para LoRa E32-100.

Pin	N° en placa desarrollo	N° en ATMEGA328
M0	D7	11
M1	D6	10
RXD	D4	2
TXD	D5	9
AUX	D3	1
VCC	3.3V	OUT LM1086
GND	GND	GND

Fuente: Elaboración propia en base a datasheet.

Cabe mencionar que los pines AUX, TXD y RXD, deben ser conectado a resistencias Pull up alimentadas igualmente con 3.3.V, dado que los pines dedicados a la salida TXD y RXD en la placa de desarrollo cuentan con dichas resistencias para así originar un buen funcionamiento y cómo fue posible notar no se están utilizando dichos pines haciendo necesaria su implementación externa (esto fue corroborado en la práctica, dado que al desarrollar la prueba de funcionamiento, el dispositivo no funcionaba correctamente si no se contaba con dichas resistencias).

e. Prueba de implementación para prototipo

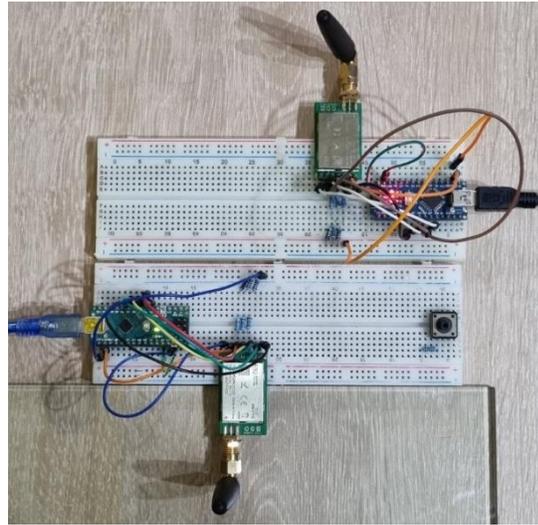
En toda comunicación sea cual sea, para generarse debe existir un emisor, un receptor, un medio y un mensaje. Y la comunicación LoRa no está excepta de contemplar todo esto para así lograr concretarse de buena manera. Por ello la prueba de implementación del módulo LoRa E32-TLL-100 es algo fundamental en el desarrollo en el diseño de prototipo como también en el diseño PCB del nodo remoto.

Como bien se mencionó para comprobar el buen funcionamiento de la comunicación inalámbrica LoRa se hace necesario implementar un emisor y un receptor. Y en base a la programación de estos se establece un canal de comunicación, y un mensaje de envío-recibo, para que luego dicho mensaje enviado y recibido (emisor y receptor) sea reflejado en pantalla y de esta manera corroborar que el envío-recibo entre ambos dispositivos se ejecuta con éxito.

En la Figura 4.26, se observa el montaje físico de ambos dispositivos necesarios para establecer la comunicación, en donde uno es configurado como emisor y el otro el receptor. El mensaje de

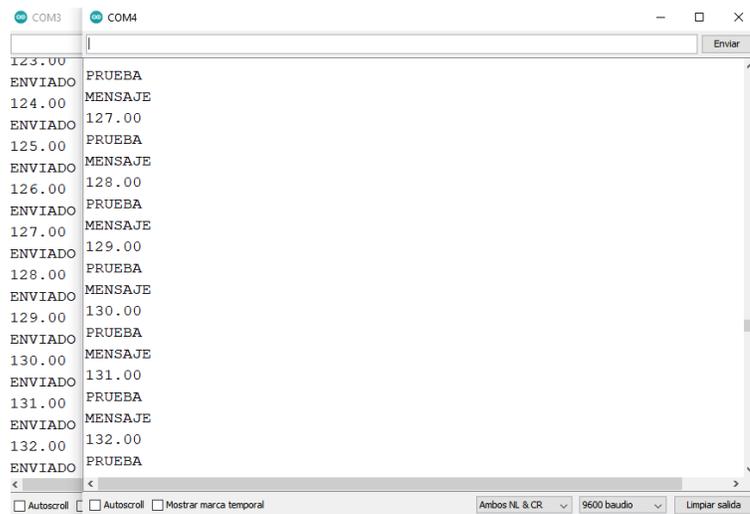
prueba enviado por el emisor es un número que aumenta en una unidad en cada envío y junto esta cifra se envía un mensaje que dice “MENSAJE PRUEBA”. En la Figura 4.27, se observa el monitor serie de ambos dispositivos en donde la ventana del COM3 es el emisor y COM4 el receptor, por lo que, en base a lo anteriormente explicado, se puede concluir que la comunicación entre ambos dispositivos es exitosa dado que el mensaje previamente descrito es recibido y reflejado en el receptor.

Figura 4.26: Montaje físico emisor y receptor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.27: Datos obtenidos en monitor serial IDE de Arduino.



Fuente: Elaboración propia en base a software IDE.

4.2.4 RC DS3231

a. Datos de programación y configuración

La comunicación entre DS3231 y el microcontrolador se realiza mediante comunicación I2C. Este dispositivo necesita una configuración inicial la cual se desarrolla en el código a programar, esta configuración corresponde al establecimiento del horario y fecha actual, la cual es almacenada en la memoria EEPROM con la que posee. Cabe mencionar que el dispositivo cuenta con una batería incorporada, la cual alimenta al sistema haciendo posible, que la fecha previamente almacenada no se borre y se desincronice.

Los datos de configuraciones de pines a considerar en la implementación sería posible encontrarlas en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Características de pines de reloj DS3231.

PIN	Nombre	Función
1	SCL	Entrada serial de la señal de reloj para la interfaz I2Cy es usada para sincronizar el movimiento de los datos en dentro de la interfaz serial.
2	SDA	Entrada/Salida serial de dato para un interfaz serial I2C. Este pin es de colector abierto y requiere de un resistor externo conectado a VCC (pull-up).
3	VCC	Fuente de alimentación primaria.
4	GND	Tierra

Fuente: Elaboración propia en base a datasheet.

b. Esquemático de funcionamiento RC DS3231

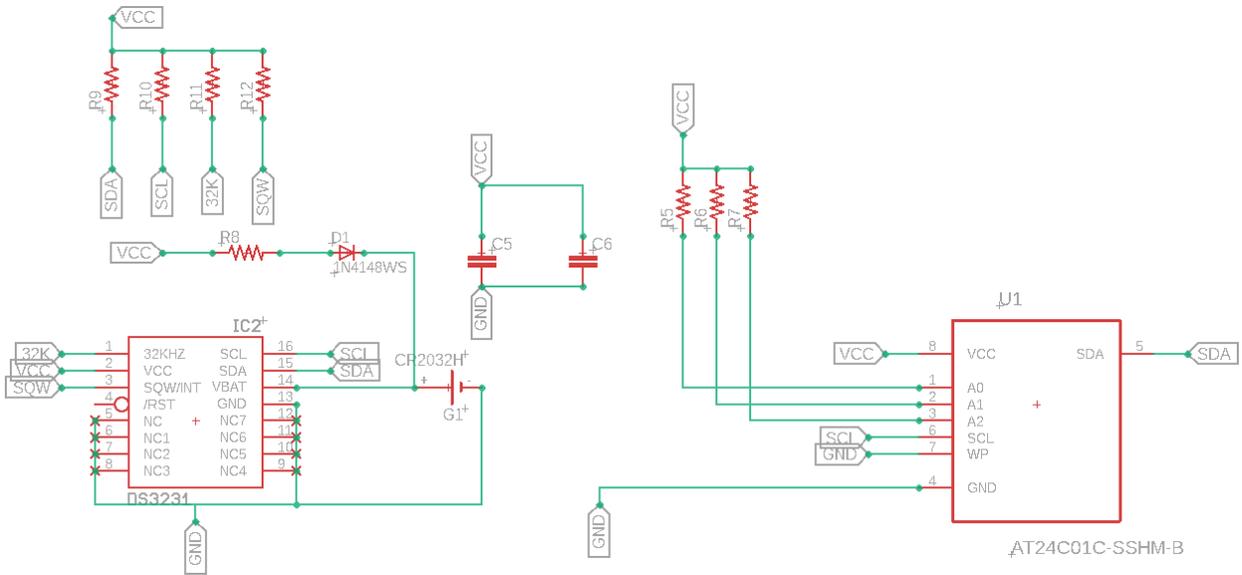
El esquemático de este dispositivo será integrado en el diseño de la PCB, es por ello que se debe conocer tanto el esquema que se necesita para implementarle, como también los componentes a considerar. Dicho esto, es posible ver su esquema en la Figura 4.28 y los respectivos componentes en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Componentes RC DS3231.

Componentes electrónicos
RTC DS3231SN 16 PINES
CR2032
SOPORTE CR2032
MEMORIA EPROM AT24C32N
DIODO BAQ 133
LED AZUL SMD
CONDENSADOR 100nF (1206)
RESISTENCIA 1K (1210)
RESISTENCIA 4.7K (1210)
RESISTENCIA 200 (1210)

Fuente: Elaboración propia en base a datasheet.

Figura 4.28: Esquemático de funcionamiento RC DS3231.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Eagle.

c. Escritura y compilación de código

Al igual que los casos anteriores para la escritura de código de prueba se debe contar con el software IDE Arduino, el cual proporciona todo lo necesario para lograr programar el microcontrolador ATmega de la tarjeta en desarrollo de Arduino Nano. El código debe contar en primera instancia con las líneas necesarias para establecer la fecha y hora actual al dispositivo (configuración inicial) sí el dispositivo cuenta con la batería, estos datos podrían ser almacenados por el dispositivo sin ningún problema en dicha configuración inicial.

La fecha y hora que abastecerá el reloj al sistema, serán almacenadas variable de tiempo Unix, el cual es un sistema para describir instantes de tiempo en cantidades de segundos transcurridos desde la medianoche UTC del 1 de enero de 1970, sin contar segundos intercalares. Este sistema fue escogido por que en un solo número se unifica la representación de todos los datos necesarios, es decir hora y fecha, el cual es muy utilizado en sistemas computaciones debido a su gran utilidad y simplicidad al ser todo encontrado en una sola variable.

d. Conexiones Físicas

La Tabla 4.10, elaborada en base a datasheet, muestra las conexiones de los pines del dispositivo.

Tabla 4.10: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para reloj DS3231.

Pin	N° en placa desarrollo	N° en ATMEGA328
SCL	A5	28
SDA	A4	27
VCC	5V	5V
GND	GND	GND

Fuente: Elaboración propia en base a datasheet.

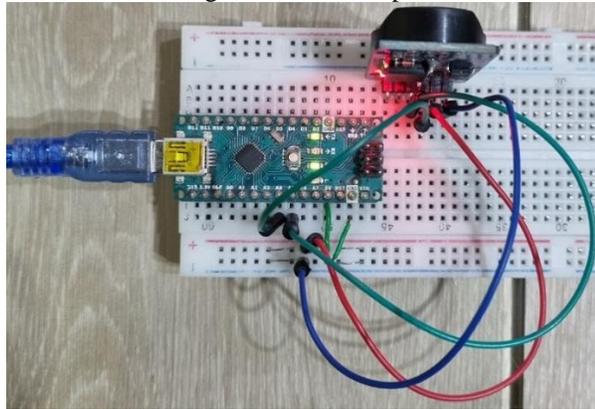
e. Prueba de implementación para prototipo

La funcionalidad del módulo RC DS3231 es brindarle al dispositivo los datos de hora y fecha en una variable de tiempo Unix, lo cual fue explicado anteriormente. Es por ello que, a la hora de implementar como prototipo, lo que se debe hacer es en primera instancia utilizar su versión comercial para así luego cargar el código correspondiente al microcontrolador, realizar las conexiones

correspondientes y mediante el uso del monitor serial mostrar en pantalla la fecha y hora en una variable en tiempo Unix.

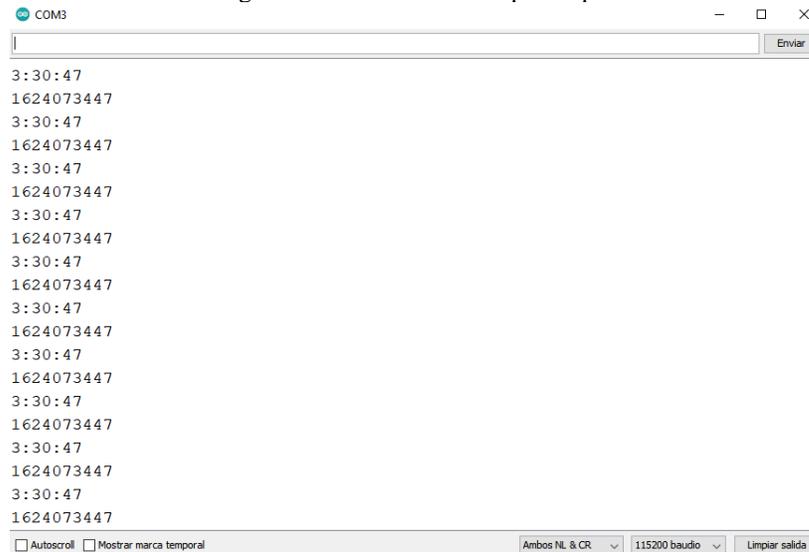
En la Figura 4.30, se es posible ver el monitor serial del prototipo, el cual da a conocer la hora tanto en formato normal como en tiempo Unix, la finalidad de esto es tomar la variable en tiempo Unix y desarrollar su conversión en algún sitio web que haga posible llevar a cabo dicha tarea. En base a la Figura 4.31, se puede notar que al realizar la transformación correspondiente la equivalencia se cumple con los datos brindados en el monitor serial.

Figura 4.29: Prototipo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.30: Monitor serial prototipo.



Fuente: Elaboración propia en base a IDE de Arduino.

Figura 4.31 Conversión tiempo Unix a hora en formato 12 Hrs.

Convertir epoch a fecha normal

Admite marcas de tiempo Unix en segundos, milisegundos y microsegundos.

Tiempo Unix en **segundos**:

GMT/UTC : sábado, 19 de junio de 2021 3:30:47 AM
En su tiempo : viernes, 18 de junio de 2021 11:30:47 PM GMT-04:00
Relativo : hace 4 horas

Fuente: (Epoch Converter) [29].

4.2.5 Lector MicroSD

a. Datos de programación y configuración:

Un lector microSD es un dispositivo que permite emplear como almacenamiento una tarjeta microSD, la cual se puede incorporar al dispositivo a diseñar con el fin almacenar los datos.

La lectura puede ser realizada a través de bus SPI. Aunque pueden disponer de otros interfaces, como bus I2C o UART, normalmente es preferible emplear SPI por su alta tasa de transferencia.

La ventaja que tiene el empleo de este dispositivo en el proyecto es tener la herramienta necesaria, para almacenar los datos que los otros dispositivos brindan durante el día. Además, se podría decir que es el dispositivo que tiene mayor interacción con todos los demás dispositivos dado que se relaciona con los datos, es de decir datos de hora (tiempo UNIX), datos de ubicación geográfica GPS y posteriormente con la comunicación LoRa dado que dicha comunicación se encarga de enviar los datos que se encuentran almacenados en la memoria microSD.

Emplear el lector microSD en el dispositivo no presenta mayor configuración previa, dado que realizando una buena conexión física y empleando los códigos necesarios para sus funciones (lectura, escritura, etc.) se asegura un correcto funcionamiento.

b. Escritura y compilación de código:

Respecto a la escritura y compilación de código, se hace necesario mencionar que se debe iniciar la comunicación SPI y el empleo de una biblioteca “SD.h” la cual está incluida en el IDE estándar de Arduino. Esta última biblioteca incorpora las funciones para el manejo de archivos y directorios en la SD, a su vez se es posible encontrar ejemplos en donde se crea un archivo, se escribe en él cierta

información, se borran datos, se borra el archivo etc. haciendo de esta manera muy fácil lograr entender el funcionamiento en general.

c. Esquemático de funcionamiento microSD

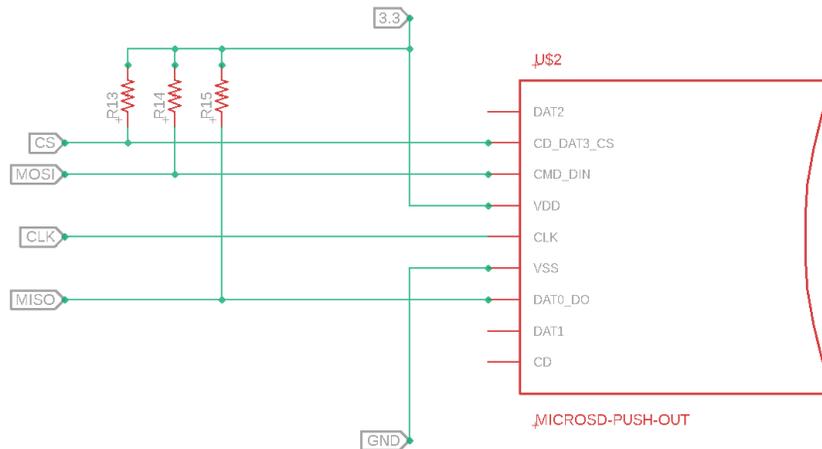
El esquemático de este dispositivo será integrado en el diseño de la PCB, es por ello que se debe conocer tanto el esquema que se necesita para implementarle, como también los componentes a considerar. Dicho esto, su esquema es posible ver en la Figura 4.32 y los respectivos componentes en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Componentes microSD.

Componentes electrónicos
MICROSD SOCKET
RESISTENCIAS 47K

Fuente: *Elaboración propia en base a datasheet.*

Figura 4.32: Esquemático de funcionamiento microSD.



Fuente: *Elaboración propia desarrollada en Software Eagle.*

d. Conexiones Físicas:

La Tabla 4.12, elaborada en base a datasheet, muestra las conexiones de los pines del dispositivo.

Tabla 4.12: Conexiones físicas en placa de desarrollo y microcontrolador para lector MicroSD.

Pin	N° en placa desarrollo	N° en ATMEGA328
CS	D10	14
SCK	D13	17
MOSI	D11	15
MISO	D12	16
VCC	3.3V	OUT LM1086
GND	GND	GND

Fuente: Elaboración propia en base a datasheet.

e. Comprobación respuesta deseada:

El dispositivo de lectura y escritura en MicroSD se encarga de guardar el registro de todas las variables que los dispositivos previamente fueron descritos. Almacena la hora brindada por el reloj, el cual proporcionaría la hora de encendido y apagado de un equipo, también almacenaría las variables de interés que el GPS brinda (latitud y longitud).

Cabe mencionar que no solo se encarga de almacenar los distintos registros, sino que también luego se encargará de hacer lectura de estos para ser enviado mediante la comunicación LoRa previamente descrita.

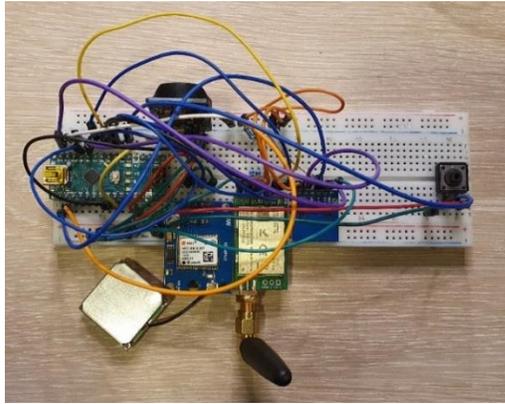
Una manera de comprobar la respuesta deseada en este dispositivo es crear un código y al ejecutarlo, realice la creación de un documento que almacene una variable determinada. Para luego revisar si en la memoria se encuentra dicho documento.

4.2.6 Diseño módulo de control en nodo remoto

A continuación, se presenta la integración de las tecnologías presentadas anteriormente, la cual se realizó en base al dimensionamiento y esquemáticos presentados cada uno de los componentes ya mencionados.

Para diseñar la placa del módulo de control se utilizó una vez más el software Eagle de Autodesk.

Figura 4.33 Prototipo de módulo de control en nodo remoto.

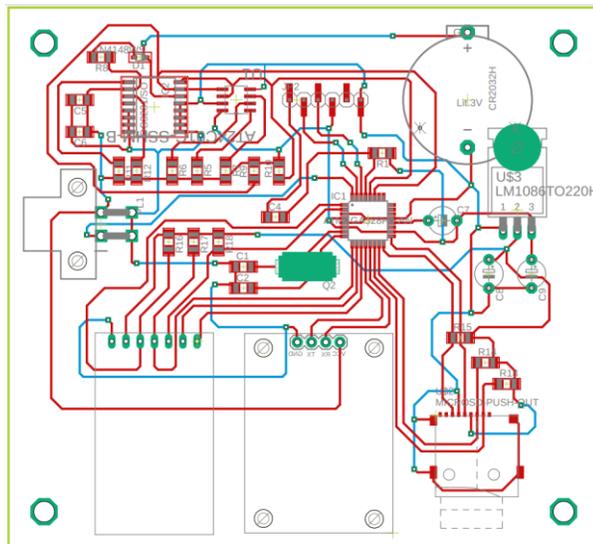


Fuente: Elaboración propia.

En el caso del diseño módulo de control en nodo remoto, se contempló la creación de un prototipo considerando el empleo comercial de todas las tecnologías mencionadas en este apartado. A su vez con dicho prototipo se desarrollaron pruebas en terreno para así lograr evaluar y comprobar su funcionamiento en las mismas instalaciones de la empresa 3 Volcanes. Los resultados de estas pruebas serán expuestos y analizados en el capítulo 6.

Finalmente cabe mencionar que el desarrollo de fabricación placa PCB fue también realizado por la empresa MCI electronics (en la Figura 8.3, se puede observar cómo quedo una vez fabricada).

Figura 4.34: Diseño placa módulo de control (PCB).

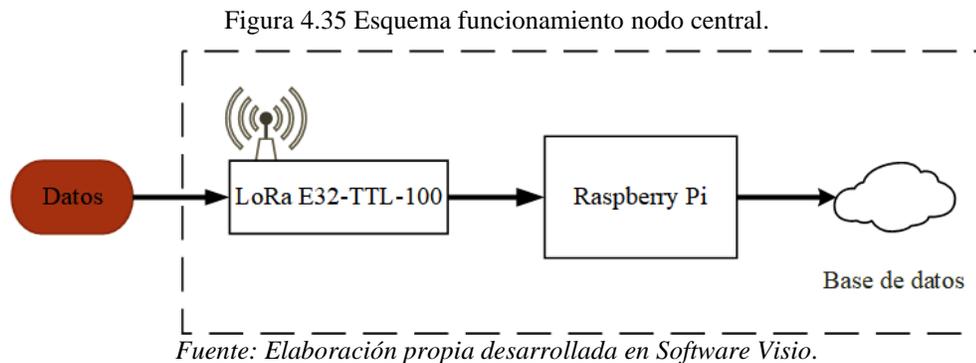


Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Eagle.

4.3. Nodo central

El nodo central es el encargado de recibir los datos e indicadores captados por el nodo remoto y dejarlos en una plataforma ya diseñada por la empresa, creándose así una base de datos.

El nodo central lo compone el mismo módulo comercial LoRa E32-TTL-100, el cual se encarga de establecer comunicación con nodo remoto, haciendo posible de esta manera el traspaso de datos de un nodo a otro. La unidad de control en nodo central es desarrollada por una Raspberry Pi, la cual se encarga gestionar el recibimiento de datos para luego establecer conexión con la plataforma previamente diseñada y almacenar en esta, los indicadores recibidos.



4.3.1 Diseño nodo central

En la implementación de este nodo el uso de la Raspberry Pi, no fue posible considerar, dado que las compras de componentes son gestionadas y financiadas por la empresa y en el transcurso de la memoria de título no se logró concretar completamente dado a los protocolos internos que tiene la empresa para gestionar compras, quedando dicha implementación como trabajos futuros a desarrollar. Ahora bien, para lograr corroborar que el nodo remoto y central se comunican de buena manera, la función de recibir los datos enviados por el nodo remoto es realizada por tarjeta en desarrollo Arduino Nano mismo que se utiliza en nodo remoto.

Capítulo 5: **Lógica de programación nodo remoto**

Hasta este punto se han tratado todos los dispositivos de manera individual, se ha visto su configuración e información, sus respectivos esquemáticos, la manera que se comunican con el microcontrolador, la respuesta que se espera de ellos y también dicha comprobación, por lo que una vez que se ha hecho todo esto de manera individual y de manera exitosa, se debe realizar la interconexión con todo un sistema que unifique todas las piezas en un solo funcionamiento. Dicha unificación implica la creación de un código de programación que controle todo el sistema y de esta manera todos los dispositivos previamente vistos se relacionen de tal manera que se obtenga el resultado esperado.

A la hora de programar sea cual sea el código a tratar, se hace primordial establecer una correcta lógica de programación, la cual oriente y ayude al programador a ordenar tanto las ideas como también las tareas secuenciales que son ejecutadas por el código. La base para establecer una correcta lógica de programación, es conocer bien la respuesta que se espera del sistema, es decir los resultados que debe entregar la correcta ejecución del código, por tanto, dicho esto, el presente capítulo se orienta a la lógica con la que debe operar el código para así obtener los resultados esperados.

Cabe recordar que las variables de interés a guardar por el sistema son tres, la primera de ellas vendría siendo el estado del equipo (ON-OFF), la segunda las coordenadas obtenidas gracias al GPS y la última sería la fecha-hora (cabe recordar que esto se da a conocer mediante el empleo de formato en tiempo Unix). Considerando lo anterior, el código programado tiene como finalidad la obtención de dichas variables. de tal manera que su adquisición y almacenamiento se realice en el momento y forma correcta, para luego garantizar un envío éxito de datos hacia el nodo central.

5.1. Secuencia lógica de código programado

Para dar inicio a la secuencia en que se desarrolla el código de programación, el cual se basa en la lógica que establece que el estado inicial de todo equipo es estar apagado (power off), y bajo esta condición, el código a implementar, en primera instancia debe verificar si dicho estado inicial cambia (es decir cambiar a un estado power on). De llegar a cambiar el estado, estamos frente a la primera variable de interés del dispositivo, dado que el estado del equipo debe ser almacenado junto a la hora

y fecha que se originó dicho cambio, es por ello que aquí de inmediato entra en acción el módulo de memoria que tiene el dispositivo, comprobando si existe un documento en el cual almacenar las variables, de no existir lo crea y da inicio a almacenar las variables deseadas.

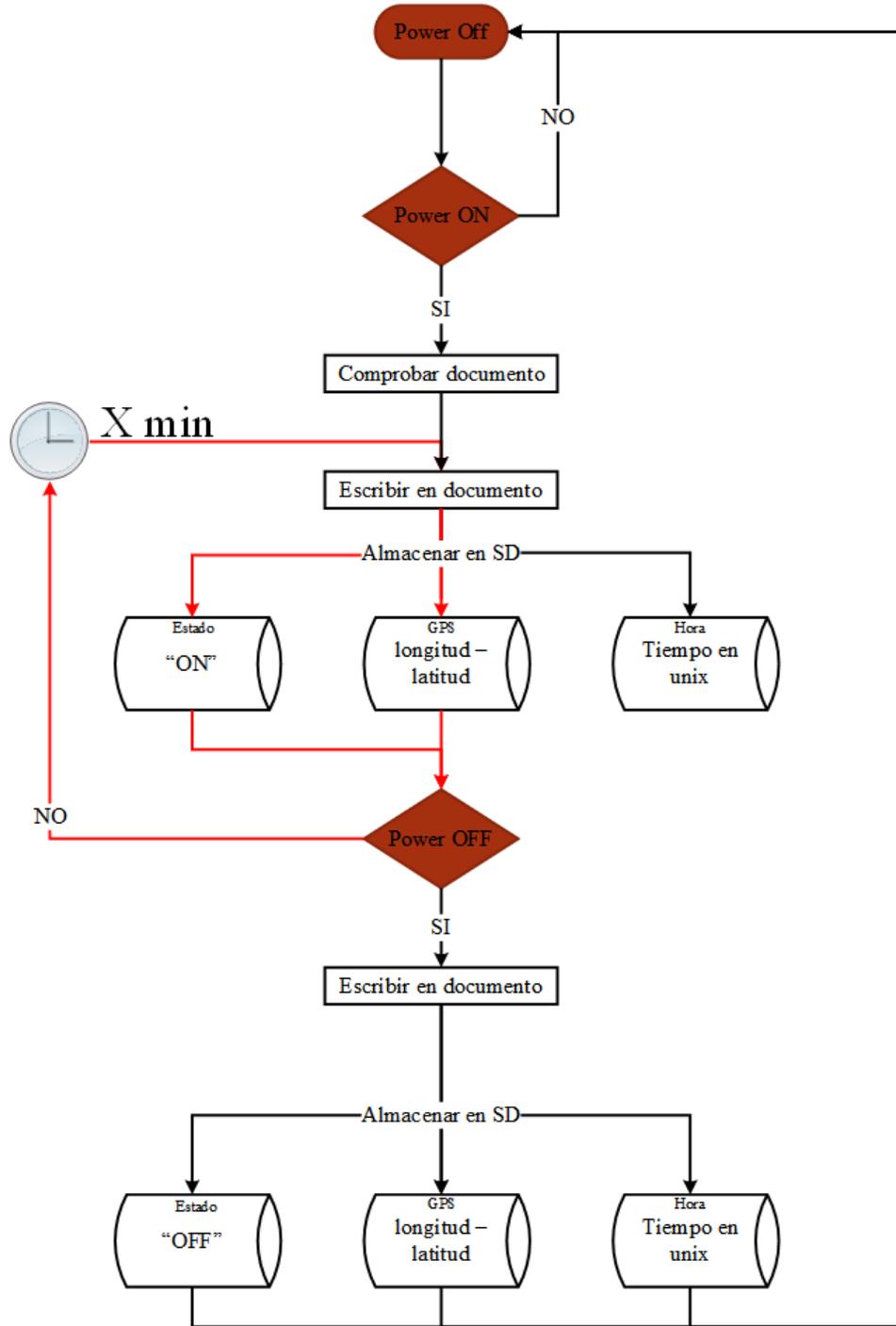
La variable de estado (power on-off), GPS (localización geográfica, latitud-longitud) y hora (tiempo Unix), son solo almacenadas simultáneamente cuando existe un cambio de estado en el equipo, es decir cuando este cambia de apagado (off) a encendido (on) o viceversa. Esto es mencionado, porque en el caso de la hora, dicho almacenamiento está restringido al cambio de estado en el equipo, es decir se almacena solo y únicamente cuando se provoca un cambio de estado, no ocurriendo lo mismo con la variable de estado (power on – off) y GPS (latitud – longitud), dado que estas son almacenadas tanto en los cambios de estado como también después de un tiempo determinado.

Cuando se dio mención anteriormente a un “**tiempo determinado**” para almacenar el posicionamiento geográfico (variable de localización GPS latitud – longitud) lo que se buscaba explicar, es que la lectura de posicionamiento sería realizada cada una cierta cantidad de tiempo, dado que el registro de ruta no se pretende que sea almacenada como una ruta en tiempo real (es decir almacenar su registro segundo a segundo), sino que, se registre cada cierta cantidad de tiempo ejemplo cada 10 minutos, 15 minutos, 25 minutos etc. dicho tiempo se define según las necesidades que tenga la empresa en el equipo correspondiente, puede ser que le interese tener cierta cantidad mínima de datos captados en el día y en base a ello se define el tiempo determinado. Por otro lado, junto a este registro como se dio mención anteriormente, también se almacena el estado power on-off del equipo.

En la Figura 5.1, se es posible ver el flujo de programación anteriormente descrita, esta vez plasmado en un diagrama, en el cual se destacan dos ciclos. Ambos ciclos hacen referencia al cambio de estado del equipo, uno evalúa si el equipo realiza el cambio de power off a on y el otro realiza la tarea inversa, es decir el cambio de power on a off. Si se entra en el ciclo en donde el estado del equipo es on, en primera instancia como fue mencionado anteriormente, se almacenan las tres variables (estado, ubicación geográfica y hora) de manera simultáneamente, luego se analiza si dicho estado cambia y de no ser así en **X min** (tiempo determinado) se vuelven a almacenar las variables de estado y localización GPS. Si el cambio de estado es de power on a off, se almacenan las tres

variables en ese instante y el programa vuelve a quedar en modo espera hasta que exista un nuevo cambio de estado.

Figura 5.1: Secuencia lógica de código programado.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

5.2. Interrupciones en el microcontrolador

Una vez vista la secuencia lógica que debe tener el código de programación, se debe proceder a describir un punto que amerita ser considerado en dicha programación, dado que hechos como cambios de estados o bien el uso de lo que ha sido denominado “tiempo determinado”, son hechos que pueden ocurrir en cualquier instante de tiempo mientras se ejecuta el código, por lo tanto su ocurrencia se traduce como un hecho que no se puede controlar, un ejemplo de ello se puede dar, cuando el código programado se ejecuta y a mitad de este se origine un cambio de estado por parte del equipo (es decir de encendido el equipo se apague). Si se deja que el código programado actúe de manera secuencial, lo más probable es que el microcontrolador no note cambios de estados que se originan a mitad de su ejecución, transformando esto en una gran problemática de programación.

En la práctica la problemática anteriormente mencionada se traduciría como un error en el almacenamiento de indicadores, producto que no se estarían almacenando todas las variables de manera correcta, debido a que muchas de ellas no serían detectadas durante la ejecución del código. Pero esto es evitable con la implementación y el uso de un recurso o mecanismo denominado interrupciones, lo cual puede ser utilizado en el microcontrolador para responder a eventos, permitiendo suspender temporalmente el programa principal, para ejecutar una subrutina de servicio de interrupción en donde una vez finalizada dicha subrutina, se reanuda la ejecución del programa principal. [30]

Las interrupciones representan un atributo importante para todo sistema empotrado que le permite atender procesos del mundo exterior sin descuidar actividades relevantes en la ejecución del programa del usuario. [30]

En los microcontroladores ATmega hay dos tipos de interrupciones, el primer tipo corresponde a eventos externos que generan un estado lógico (cambio de voltaje) y también por transición como un pulso electrónico de disparo, la transición se detecta por flanco de subida en la señal periódica (es decir de low a high) o por flanco de caída (es decir de high a low), al ocurrir esto, se habilita una bandera de interrupción, lo cual dependiendo de la prioridad de interrupción, el programa salta a la memoria correspondiente donde se encuentra la rutina de la interrupción, dejando de esta manera suspendido el programa principal, para ejecutar la rutina programada en la interrupción.

En el código de programación cuya lógica fue explicada en el punto anterior, se considera claramente el uso de dos interrupciones. La primera es de forma física y es recibida de manera externa, con ello se hace referencia a la señal power on – off del equipo, esta es brindada por el equipo en el cual se utiliza el dispositivo y dicha interrupción lee los flancos de subida o bajada, el microcontrolador los procesa e interpreta como estado on o estado off. La segunda interrupción se encuentra a nivel de software dado que no es recibida de manera externa, sino que interna, y no es más que una alarma que se ejecuta en un “tiempo determinado X”, la cual se encarga de almacenar los datos provenientes del GPS cada cierta cantidad de tiempo como fue explicado en puntos anteriores (dicho tiempo es medido gracias al reloj implementado RC DS3231).

5.3. Secuencia lógica en comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica se desarrolla en el sistema gracias a una alarma adicional que se adjunta dentro de la interrupción temporal explicada en el apartado anterior, con la única diferencia es que esta es programada a una hora en particular del día. Así diariamente transcurrido todo el día laboral, se ha determinado que a las 10 P.M. los datos almacenados durante el día se envían desde el nodo remoto al nodo central, en donde este último es quien se encarga de determinar el orden de recepción de datos por parte de los distintos equipos que se comunican con él, creándose de esta manera una red punto a punto con topología estrella entre todos los dispositivos de la empresa.

El encargado de gestionar el orden en que se envían los datos por parte de los distintos dispositivos implementados en la empresa es el nodo central. Para ello, lo que realiza es enviar una señal a cada dispositivo de manera ordenada, ejecutándose de esta manera un barrido secuencial en cada uno de los puntos de la topología estrella establecida.

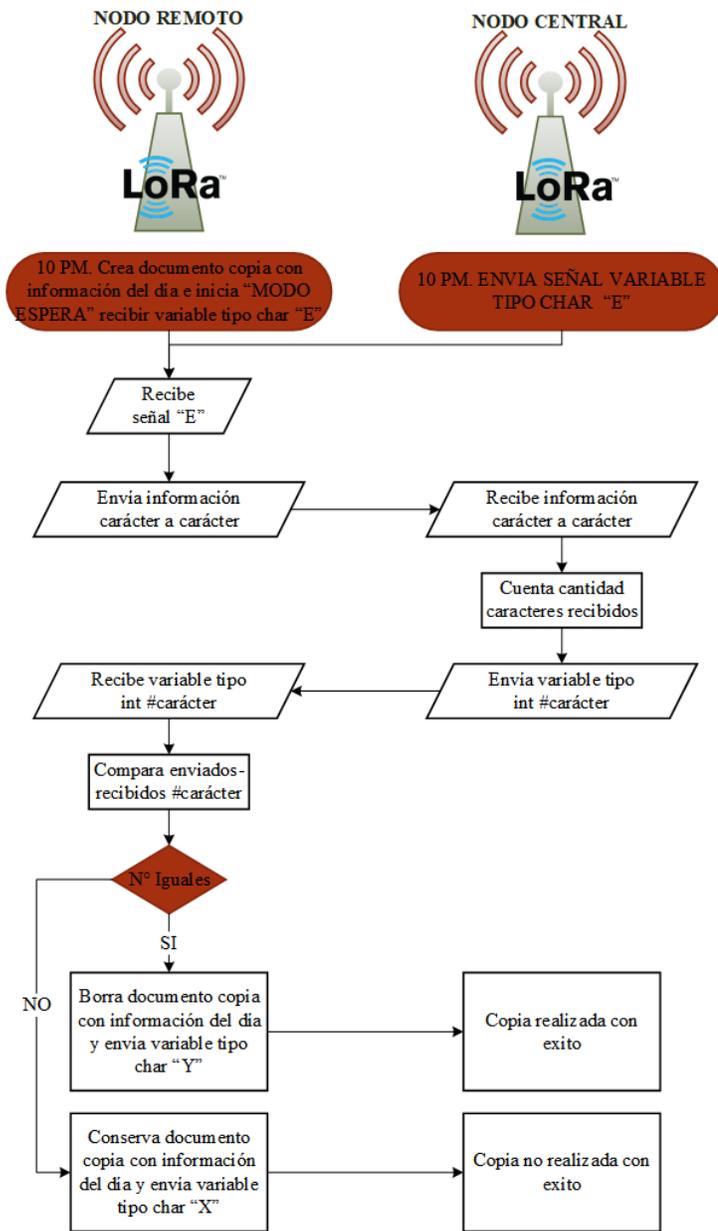
Por otro lado, cuando los datos de un equipo son recibidos por la unidad central, esta se encarga de contabilizarlos y enviar dicha cifra al nodo remoto correspondiente, con tal que este confirme que la cantidad de datos recibidos por la unidad central son los mismos a los que se han enviado. De no ser igual cantidad el emisor conserva los datos y estos son enviados al día siguiente en el mismo horario establecido.

La comunicación establecida entre el nodo central y el nodo remoto durante el día, es una comunicación de enlace punto a punto con una topología de tipo estrella y el tipo de enlace que se

utiliza corresponde a semi duplex o half duplex dado que existe una transmisión en ambos sentidos, es decir de emisor a receptor y viceversa, pero no de manera simultánea. Por último, se puede decir que dicho enlace es simétrico dado que la velocidad de transmisión en ambos sentidos es igual.

En la Figura 5.2, se encuentra un diagrama de flujo que ejemplifica en detalle la lógica de comunicación que se establece entre nodo remoto y nodo central.

Figura 5.2: lógica de comunicación entre nodo remoto y nodo central.



Fuente: Elaboración propia desarrollada en Software Visio.

Capítulo 6: Resultados obtenidos

Los resultados que serán descritos en el presente capítulo fueron obtenidos en las instalaciones de la empresa 3 Volcanes SpA. y es importante considerar que todos los resultados son en base al funcionamiento del prototipo desarrollado.

A modo de resumen el prototipo implementado, cuenta con la implementación de la placa de desarrollo Arduino Nano (cuyo microcontrolador que utiliza es ATmega 328p), el módulo de reloj RTC DS3231, un GPS Ublox Neo 6M, un lector MicroSD, el módulo de comunicación Lora E32-TTL-100 y un pulsador el cual se encarga de simular la señal power on - off del equipo

6.1. Almacenamiento de datos o indicadores en nodo remoto

Cuando se realizó la prueba por separado de cada uno de los módulos que componen el nodo remoto, los resultados fueron visualmente obtenidos mediante el empleo del monitor serial del software IDE de Arduino. En esta ocasión dichos módulos se unificaron en un solo montaje y junto a ello un unico código de operación (el cual dicha lógica fue explicada en capítulos anteriores), por lo que mostrar en pantalla cada una de las interacciones que los módulos realizan no tienen mayor sentido, debido a que en la práctica se transformaría en un código poco eficiente teniendo demasiadas líneas de código destinadas a una interacción con el monitor serial y empleando con ello, memoria innecesaria dentro del microcontrolador.

El uso del monitor serial en este caso se emplea netamente para efectos visuales con el fin de corroborar el buen funcionamiento del código, pero cuando sea implementado en el microcontrolador ATmega 328p en tarjeta de circuito impreso (PCB) dicho código no considerará las líneas dedicadas a esta función. Como se dio mención anteriormente, no es necesario que en el monitor serial se refleje gráficamente cada una de veces que se utilizan de los módulos que conforman el prototipo y a partir de esta declaración, lo que se ha realizado en base a ello es que en pantalla (monitor serial) sólo se muestre la hora (en formato 24 hrs) segundo a segundo y cuando existe el almacenamiento de alguna variable de interés (GPS, estado power on-off, hora de cambio de estado) se muestre la expresión **hecho encendido** o **hecho apagado**.

La expresión **hecho apagado** se muestra unicamente cuando el equipo pasa del estado encendido a apagado (de power on a power off) y cuando esto ocurre, internamente se almacenan simultaneamente las tres variables de importancia, es decir ubicación (latitud y longitud), hora (tiempo Unix) y estado de apagado (power off).

Por otro lado, cada vez que existe un cambio de estado en el equipo y este corresponde de apagado a encendido (off a on), en el monitor serial se muestra la expresion **hecho encendido** y luego el código programado queda operando con tal modo de recibir una interrupción ya sea un nuevo cambio de estado o bien, la señal de GPS que se ha definido para almacenar cada cierto tiempo determinado. Esto ocasiona que en los resultados obtenidos se pueda observar la expresión **hecho encendido** en monitor serial en más de una oportunidad, debido a que cada cierto tiempo la señal del reloj almacena los datos brindados por el GPS es almacenada en la tarjeta microSD.

A modo de resumen los resultados observables en el almacenamiento de datos o indicadores en el nodo remoto explicados hasta ahora, son vistos desde el monitor serial, en donde se ven las expresiones **hecho encendido**, **hecho apagado** o bien la hora que se enseña segundo a segundo.

Cabe recordar que el nodo remoto es el encargado de enviar los datos almacenados mediante comunicación inalámbrica LoRa al nodo central y esto es ejecutado internamente gracias a la implementacion de interrupciones en el código (vistas en capitulos anteriores). Cuando esto ocurre el código se detiene para realizar dicha subrutina y en monitor serial la hora que era mostrada segundo a segundo tambien se ve detenida debido que internamente se esté originando la activación del módulo de comunicación (LoRa E32), el cual entra en “modo espera” para así recibir la señal enviada desde el nodo central la cual da inicio al envio de datos. Los resultados de todo lo anteriormente dicho, se genera a nivel de software y una vez que se finaliza el envio de datos, la hora en el monitor serial vuelve a ser mostrada segundo a segundo.

El éxito del envio de los datos y la confirmacion de este hito, generan que internamente la memoria del nodo remoto sea borrada, porque valga la redundancia dichos datos fueron enviados con éxito y recibidos de igual modo por parte del nodo central, existiendo su registro en una base de datos.

En la Figura 6.1, se observa la respuesta visible que se tiene en el monitor serie por parte del nodo remoto y a su vez corroborar lo que fue explicado anteriormente, en donde sólo se observan las expresiones hecho encendido, hecho apagado o la hora.

Figura 6.1: Respuesta monitor serie por parte del nodo.

```

COM4
16:29:38
hecho encendido
16:29:39
16:29:40
16:29:41
16:29:42
16:29:43
16:29:44
16:29:45
16:29:46
16:29:47
16:29:48
hecho encendido
16:29:49
16:29:50
16:29:51
16:29:53
hecho apagado
16:29:54

```

Autoscroll Mostrar marca temporal Ambos NL & CR 115200 baudio Limpiar salida

Fuente: Elaboración propia en base a IDE de Arduino.

6.2. Recibimiento de datos en nodo central

El recibimiento de datos es realizado por el nodo central y estos en el caso del prototipo, son almacenados en una planilla Excel la cual simplifica su visualización y manipulación. Cabe destacar que dicha planilla se encuentra guardada en un módulo de tarjeta SD igual que el nodo remoto. Las razones por las que se realiza este tipo de implementación fueron mencionadas en el capítulo de diseño.

Al recibir los datos con éxito, se procede a la extracción de la memoria para realizar la revisión de los datos recibidos en una computadora. La Figura 6.2, muestra la planilla obtenida de los datos captados en las instalaciones de la empresa, en donde se procedió a realizar un recorrido por las instalaciones, simulando el funcionamiento de un equipo rodante para luego realizar el envío y recepción de datos, generándose de esta manera dicha planilla. Cabe destacar que el código programado almacena los datos en un archivo “.csv”, por tanto, se obtiene de forma automática la planilla en dicho formato.

En la primera columna se tienen los datos relacionados con el estado del equipo en donde se realizaron variaciones durante el recorrido para así obtener una muestra de datos tanto para casos de power on y power off, mientras que en la segunda columna se encuentran los datos provenientes desde el GPS correspondiendo a estos las coordenadas de latitud y longitud, para así finalmente en la tercera columna encontrar los datos de fecha y hora almacenados en una variable de tiempo Unix,

cabe recordar que la hora y fecha se almacenan cuando se producen los cambios de estado por parte del equipo.

Figura 6.2: Registro de datos.

	A	B	C
1	ON	-35.466239,-71.568885	1608551521
2	ON	-35.466335,-71.569145	
3	ON	-35.466419,-71.569145	
4	OFF	-35.466457,-71.569145	1608551542
5	ON	-35.466457,-71.569145	1608551545
6	ON	-35.466457,-71.569145	
7	ON	-35.466499,-71.569099	
8	ON	-35.466537,-71.569000	
9	ON	-35.466567,-71.568893	
10	ON	-35.466602,-71.568763	
11	OFF	-35.466644,-71.568641	1608551601
12	ON	-35.466640,-71.568641	1608551605
13	ON	-35.466663,-71.568557	
14	ON	-35.466716,-71.568435	
15	ON	-35.466835,-71.568275	
16	ON	-35.466865,-71.568344	
17	ON	-35.466953,-71.568206	
18	ON	-35.467014,-71.568161	
19	ON	-35.467006,-71.568061	
20	ON	-35.467044,-71.567962	
21	OFF	-35.467044,-71.567871	1608551697

Fuente: Elaboración propia en base Excel.

6.3. Pruebas de localización geográfica GPS

En capítulos anteriores se dio mención a los errores más comunes en el sistema GPS, donde ocurren con mayor frecuencia en el segmento del usuario del sistema GPS, dado que se originan durante el viaje y recepción de la señal brindada por los satélites. En base a ello, se realizaron pruebas de localización geográfica GPS, en las instalaciones de la empresa con el fin comprobar el buen funcionamiento del sistema GPS dentro de las instalaciones de la empresa, dado que esto no es un asunto trivial en el dispositivo ya que es un requerimiento de funcionalidad por parte de la empresa.

La línea de producción de la empresa se podría dividir en cuatro áreas, las cuales serían área de aserradero, área de paletizado, área de trabajo de pelletizadora y área de materia prima. En dichas áreas son por las cuales se movilizan los equipos rodantes de la empresa y dado que estos son los que

portarán el dispositivo con GPS se hace fundamental determinar el buen funcionamiento del sistema GPS en ellas, ya que como es sabido al existir obstáculos que dificulten la llegada de la señal enviada por los satélites al receptor, se originan problemas y errores en la precisión de la señal enviada y recibida.

Entonces en primera instancia lo que se corrobora es que el GPS reciba la señal correspondiente para luego analizar qué tan próxima a la realidad se encuentra esta, dado que el dispositivo GPS implementado en teoría tiene un margen de error de 2 a 3 metros. Por ello se procedió a realizar el recorrido por las instalaciones de la empresa, obteniendo así las coordenadas mediante la visualización del monitor serial, para finalmente ser ingresadas en un buscador web (Google Maps) con el propósito de verificar su exactitud.

El área de paletizado tiene dos sectores, dado que se podría decir que la empresa tiene distintas categorías de pallet, producto que fabrican pallet que cuentan con mejores acabados. En la Figura 6.3, letra **a** se puede observar que el punto de referencia se encuentra en el área de paletizado en este punto se realizó lo anteriormente descrito es decir se tomaron las coordenadas se ingresaron a Google Maps y se concluyó el buen funcionamiento del sistema, a pesar de encontrarse en un área con techumbre y máquinas que podrían generar alguna interferencia en el sistema. Mientras que en la letra **b** de la misma figura, esta última condición es distinta dado que el área de trabajo se encuentra al aire libre lo cual hace que sea más cuestionable la idea que el sistema pueda fallar, y en la práctica esto se cumple, el área de trabajo facilita la posibilidad de captar las señales de manera más directa producto que los posibles obstáculos físicos se ven disminuidos.

El área de trabajo de pelletizadora (letra **c** en Figura 6.3) o el área de aserradero letra **d** son espacios que la actividad se realiza bajo techumbre y con una cantidad de equipos eléctricos de gran magnitud, lo cual sin duda pone a prueba el sistema GPS tanto en su disponibilidad como también en su exactitud por ello que en estos puntos se realizó un recorrido minucioso seleccionando varias áreas de análisis, lo cual logró determinar que el sistema GPS en primera instancia recibía la señal de buena manera y su exactitud era correcta dada a su buena aproximación.

Existe un punto en la empresa, en que la señal del GPS no es recibida exitosamente por el dispositivo dado que no logra funcionar. Este punto se encuentra en el interior de las oficinas y cabe destacar que fue el punto inicio para estudiar el comportamiento del sistema GPS en las instalaciones

de empresa. En la Figura 6.4, la señal se encuentra a las afuera de las oficinas, exactamente a unos tres o seis metros de estas, y en ese punto es posible comenzar a captar las señales del sistema GPS, pero si el dispositivo entra en las oficinas el sistema de GPS, pierde inclusive el recibimiento de señales causando así el impedimento de captar alguna ubicación.

Figura 6.3: Muestra de pruebas de localización geográfica sistema de GPS.



Fuente: (Google Maps) [28].

Figura 6.4: Zona crítica en prueba de localización geográfica sistema GPS.



Fuente: (Google Maps) [28].

Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros

Bajo el desarrollo del presente documento, se puede concluir que es posible desarrollar el diseño de un dispositivo y un respectivo prototipo de este, que sea capaz de realizar el monitoreo de funcionamiento (power on – off) de equipo, el cual cuenta con módulo GPS para cuando se requiera almacenar coordenadas de posicionamiento y comunicación inalámbrica que facilite el traspaso de los datos almacenados durante el día.

El dispositivo diseñado es funcional para la empresa, lo cual es demostrable en las pruebas desarrolladas en las instalaciones de esta.

La precisión por parte del GPS y el funcionamiento del sistema de localización GPS, en las instalaciones de la empresa presentan buena respuesta teniendo un rango de error muy aceptable en base a los datos brindados por la hoja técnica del dispositivo y teniendo presente que no todas son conseguidas a aire libre como es lo ideal según lo visto en el sistema de GPS. Ahora bien, considerando que su funcionamiento fue puesto a prueba en todos los lugares e instalaciones, es posible decir que existe sólo un punto en el cual el funcionamiento de este se vio afectado, pero cabe dar mención que esto no pone en duda su implementación en la empresa ya que dicha ubicación hace referencia a la instalaciones de las oficinas de la empresa, lugar en que el dispositivo y sistema GPS no tendría función al considerarse un lugar en el cual no es ruta de movilización por parte de los equipos rodantes.

La comunicación inalámbrica LoRa presenta gran flexibilidad de configuración inicial, por tanto, es relevante tener en cuenta cada uno de los modos de trabajo que tiene el dispositivo LoRa empleado. Teniendo esto claro se hace factible un buen empleo y funcionamiento de la comunicación inalámbrica LoRa, la cual asegura el envío y recepción de datos.

La velocidad de transmisión de datos va en relación a la distancia entre módulos de comunicación LoRa, y respecto a ello cabe mencionar que en el dispositivo diseñado no es un tema o variable de gran relevancia, debido a que no es de interés si esta se efectúa de forma rápida o lenta. Pero se puede concluir y corroborar que cuando la distancia aumenta entre dispositivos lo más seguro es disminuir la velocidad para así asegurar un traspaso de datos correcto, de no ser así, el sistema no asegura que todos sean recibidos producto de posibles pérdidas de datos. En esto fue clave crear una lógica

comunicacional, que asegurase que los datos no sean perdidos, dado que en el peor de los casos estos son conservados por la memoria microSD del dispositivo y de ser enviados – recibidos con éxitos dicha memoria es liberada automáticamente.

Por último, cabe destacar que el dispositivo RTC DS3231 presenta buen funcionamiento en el sistema considerando que este implementa un sistema de corrección de temperatura el cual asegura que su error acumulativo de tiempo sea el mínimo a lo largo de su funcionamiento.

7.1. Trabajos futuros

El dispositivo es un proyecto en desarrollo, el cual ha sido parte de la memoria de título y su ejecución continua en proceso, es por ello que este apartado se hace mención a las actividades que serán desarrolladas en el corto mediano plazo. Para ello en la Tabla 8.4, se puede observar el plan de trabajos para futuros desarrollos y de manera mas grafica en la Figura 8.5 se desarrolla un diagrama de Gantt realizado en base a la tabla mencionada.

- Recibir elementos electrónicos ya comprados por la empresa que se emplean en la implementación del dispositivo. (véase Tabla 8.3)
- Implementar placas de circuito impreso recibidas el día 22 de Junio 2021 (Figura 8.3 y Figura 8.4)
- Realizar pruebas de funcionamiento de placa PCB módulo de potencia del nodo remoto.
- Realizar configuraciones y programación en módulo de control del nodo remote, en base al código desarrollado en la Figura 8.2.
- Realizar pruebas de funcionamiento de placa PCB módulo de control del nodo remoto.
- Obtener pruebas de nodo remoto.
- Realizar configuración del nodo central considerando la implementación de la Raspberry Pi.
- Obtener pruebas de comunicación entre nodo remoto y nodo central considerando la implementación de Raspberry Pi.
- Realizar pruebas de consumo energético en nodo central para así diseñar de correcta forma la autonomía del banco de batería 18650 a implementar.

- Gestionar el punto de ubicación del nodo central con tal de implementar la topología estrella en el sistema de comunicación.
- Probar el sistema de forma global.
- Obtener futuras mejoras para el dispositivo.

Bibliografía

- [1] L. 3 Volcanes, «3 Volcanes,» 2016. [En línea]. Available: www.3volcanes.cl. [Último acceso: 15 Abril 2021].
- [2] G. Blewitt, «Basics of the GPS Technique: Observation Equations,» Department of Geomatics, Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 1997.
- [3] Oficina de coordinación nacional de posicionamiento, navegación y cronometría por satélite., «GPS.GOV,» 2006. [En línea]. Available: www.gps.gov/systems/gps/space. [Último acceso: Mayo 2021].
- [4] Oficina de coordinación nacional de posicionamiento, navegación y cronometría por satélite., «GPS.GOV,» 2006. [En línea]. Available: www.gps.gov/systems/gps/control. [Último acceso: Mayo 2021].
- [5] Oficina de coordinación nacional de posicionamiento, navegación y cronometría por satélite., «GPS.GOV,» 2006. [En línea]. Available: www.gps.gov/applications. [Último acceso: Mayo 2021].
- [6] J. Fallas, «Universidad nacional,» 2002. [En línea]. Available: https://ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/Sistemas_de_posicionamiento_global.pdf. [Último acceso: Mayo 2021].
- [7] Telit.com, «SE868 V3,» 20021. [En línea]. Available: https://y1cj3stn5fbwhv73k0ipk1eg-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/03/Telit_SE868-V3_Datasheet-2.pdf. [Último acceso: Abril 2021].
- [8] «NEO-6 u-blox 6 GPS Modules,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf). [Último acceso: Abril 2021].
- [9] Ublox, «NEO-7 u-blox 7 GNSS modules,» 2014. [En línea]. Available: https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-7_DataSheet_%28UBX-13003830%29.pdf. [Último acceso: Abril 2021].
- [10] F. Campos, «Industrial M2M,» Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.m2mlogitek.com/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/>. [Último acceso: 2021].
- [11] Link Labs, «Link Labs,» [En línea]. Available: <https://www.link-labs.com/blog/sigfox-vs-lora>. [Último acceso: 2021].
- [12] Semtech, «Semtech,» [En línea]. Available: <https://www.semtech.com/lora>. [Último acceso: Mayo 2021].

- [13] S. A. Zavaleta, «Diseño de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) empleando,» Lima, Perú, 2020.
- [14] I. Lora Alliance, RP002-1.0.1 LoRaWAN Regional Parameters, Lora Alliance, Inc, 2020.
- [15] «Low Power Lab,» 19 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://lowpowerlab.com/guide/rf-best-practices/regional-considerations/>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [16] EBYTE, «E32 Series,» 20212. [En línea]. Available: https://img.filipeflop.com/files/download/E32_User+Manual_EN_v1.00.pdf. [Último acceso: 2021].
- [17] E. C. D. Search, «DS1307 Datasheet,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/123888/DALLAS/DS1307.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [18] E. C. D. Search, «DS3132 Datasheet,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/254832/MAXIM/DS3231.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [19] «naylorlampmechatronics,» [En línea]. Available: https://naylorlampmechatronics.com/blog/38_tutorial-arduino-y-memoria-sd-y-micro-sd.html. [Último acceso: Mayo 2021].
- [20] «Electronic Components Datasheet Search,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/93911/MICROCHIP/PIC18F4550.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [21] «Electronic Components Datasheet Search ATMEGA328,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [22] «Electronic Components Datasheet Search,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174758/ATMEL/ATMEGA2560.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [23] raspberrypi, 2012. [En línea]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>. [Último acceso: Abril 2021].
- [24] M. C. Gallego, Estudio y análisis de un convertor AC/AC basado en la topología Buck, Valparaíso: Pontificia Universidad Católica del Valparaíso, 2019.
- [25] J. P. J. C. M. C. O. N. J. R. Morales, Control de un convertidor CD-CD tipo buck por medio del microcontrolador ATMEGA328, Juárez: Ph.D. dissertation, 2015.

- [26] «Smart Prototyping,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.smart-prototyping.com/ATMEGA328P-AU-TQFP>. [Último acceso: 2021].
- [27] «Google Maps,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.google.cl/maps/place/34%C2%B057'43.9%22S+71%C2%B014'04.1%22W/@-34.9620653,-71.2355387,287m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-34.962192!4d-71.234466>. [Último acceso: 2021].
- [28] R. Mischianti, 15 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.mischianti.org/2019/10/15/lora-e32-device-for-arduino-esp32-or-esp8266-specs-and-basic-usage-part-1/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [29] «Epoch Converter,» [En línea]. Available: <https://espanol.epochconverter.com/>. [Último acceso: 2021].
- [30] «Manejo de Interrupciones,» 2008. [En línea]. Available: http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/opt_archivos/arduino/Manejo_de_Interrupciones.pdf. [Último acceso: 2021].
- [31] Altronics, «Altronics,» [En línea]. Available: <https://altronics.cl/breadboard-830?search=protoboard>. [Último acceso: Enero 2021].
- [32] Altronics, «Altronics,» [En línea]. Available: <https://altronics.cl/index.php?route=product/search&search=RELOJ>. [Último acceso: Enero 2021].
- [33] Altronics, «Altronics,» [En línea]. Available: <https://altronics.cl/arduino-Nano-30-ops?search=ARDUINO%20NANO>. [Último acceso: Enero 2021].
- [34] MCI Electronics, «MCI Electronics,» [En línea]. Available: <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/mci-modulo-gps-se868-a-21480?search=gps&page=2>. [Último acceso: Enero 2021].
- [35] Altronics, «Altronics,» [En línea]. Available: <https://altronics.cl/modulo-nrf24l01-e01-m101dp5?search=TRANSCEPTOR>. [Último acceso: Enero 2021].
- [36] Altronics, «Altronics,» [En línea]. Available: <https://altronics.cl/modulo-micro-sd-01?search=modulo%20sd>. [Último acceso: Enero 2021].
- [37] Mechatronics store, «Mechatronics store,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/modulo-gps-gy-neo6mv2-ublox/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [38] «Mechatronics store,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/arduino-nano-v3-0-atmega328-cable/>. [Último acceso: Enero 2021].

- [39] Mechatronics store, «Mechatronics store,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/modulo-de-expansion-mini-sd/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [40] Mechatronics store, «Mechatronics store,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/arduino-nano-v3-0-atmega328-cable/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [41] Mechatronics store, «Mechatronics store,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/modulo-wifi-esp8266-serial/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [42] Mechatronics store, «Mechatronics store,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/breadboard-830-puntos-mb102/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [43] Mechatronics store, «Mechatronics store,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/boton-pulsador-switch-cuadrado-de-4-pines/>. [Último acceso: Enero 2021].
- [44] eletechsup Outlet Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/33048838899.html?spm=a2g0o.detail.1000023.30.f9492c60PeUUQR&storeId=2348129>. [Último acceso: Marzo 2021].
- [45] IoT Solutions Expert, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32791688496.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1c067706tEsve5&algo_pvid=2ebf31cb-cfb4-4a8a-ba3a-da2f6b6f3046&algo_expId=2ebf31cb-cfb4-4a8a-ba3a-da2f6b6f3046-1&btsid=0bb0622c16136433648765368ee9db&ws_ab_test=searchweb0_0,searchwe. [Último acceso: Marzo 2021].
- [46] AITEXM Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005001624712539.html?albpd=es1005001624712539&acnt=494-037-6276&aff_platform=aaf&albpg=743612850714&netw=u&albcP=12837994457&pvid=dbd3989a-a8c0-42c5-90a7-2eb6a2dc660e&sk=UneMJZVf&scm=1007.23534.124736.0&trgt=743612850714&te. [Último acceso: Marzo 2021].
- [47] Shop1525466 Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32816254080.html?spm=a2g0o.search0302.0.0.6f5c20af2R9nSS&algo_pvid=84cd7a3a-9bc0-48f4-a35f-dae05127898d&algo_expId=84cd7a3a-9bc0-48f4-a35f-dae05127898d-3&btsid=0b0a556f16136248060496075efd28&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb. [Último acceso: Marzo 2021].

- [48] Shop1525466 Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32803131082.html?spm=a2g0o.detail.1000023.17.9a2d6734udzOIB>. [Último acceso: Marzo 2021].
- [49] Lingsheng co., LTD Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4001353058112.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.2a941eacjDQQL7&algo_pvid=22d7545e-77c6-42af-bd11-33419ef739fa&algo_expid=22d7545e-77c6-42af-bd11-33419ef739fa-2&btsid=0bb0623316126540471335092e448d&ws_ab_test=searchweb0_0,search. [Último acceso: Abril 2021].
- [50] satisfyelectronics Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32804284371.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.30937c16VlfzrV&algo_pvid=0545e9cc-7498-405a-9827-751db292f9d8&algo_expid=0545e9cc-7498-405a-9827-751db292f9d8-23&btsid=0b0a555e16126310856867685efb04&ws_ab_test=searchweb0_0,searchw. [Último acceso: Abril 2021].
- [51] BAIHUIWEIYE IC Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005002107721107.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.796353ffnQzNjf&algo_pvid=25412960-fcbd-4fb5-b426-6326cc49e871&algo_expid=25412960-fcbd-4fb5-b426-6326cc49e871-13&btsid=0bb0623c16136379832617650e3a69&ws_ab_test=searchweb0_0,se. [Último acceso: Abril 2021].
- [52] Co's zoo Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005001915700613.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.26857e90j5ZEm4&algo_pvid=c08133c5-8fe1-4173-8916-614723e10c45&algo_expid=c08133c5-8fe1-4173-8916-614723e10c45-0&btsid=0bb0623c16129332666085136efd5a&ws_ab_test=searchweb0_0,sea. [Último acceso: Abril 2021].
- [53] ICGOGO Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005002075527957.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.55203675fO3Tbm&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a556016162313693084201ef538&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_. [Último acceso: Abril 2021].
- [54] Fei te Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/33055902870.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6acf7dbd8AvsVN&algo_pvid=0877e5f4-6fb2-42c2-b0c3-e1ba6e0a70d0&algo_expid=0877e5f4-6fb2-42c2-b0c3-e1ba6e0a70d0-4&btsid=0b0a556616129338732652207e38c4&ws_ab_test=searchweb0_0,searchwe. [Último acceso: Abril 2021].

- [55] SUNLEPHANT Official Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32946781917.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.5f57fa9deggc1g&algo_pvid=2fa5af25-6cd3-420c-b2c2-a7ca4de012f1&algo_expid=2fa5af25-6cd3-420c-b2c2-a7ca4de012f1-20&btsid=0b0a556d16164463296114218edc2f&ws_ab_test=searchweb0_0,searchw. [Último acceso: Abril 2021].
- [56] HINSOO Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4000033854553.html?src=google&albch=shopping&acnt=494-037-6276&isd1=y&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&aff_platform=google&aff_short_key=UneMJZVf&&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&albc=17058510. [Último acceso: Abril 2021].
- [57] IC global Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/33044483343.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1f3326f0EKlojk&algo_pvid=50e5b3da-3c54-4d1a-8dc8-ee0c47f7cb7e&algo_expid=50e5b3da-3c54-4d1a-8dc8-ee0c47f7cb7e-21&btsid=0b0a555e16164462244608297e4267&ws_ab_test=searchweb0_0,searchw. [Último acceso: Abril 2021].
- [58] Shop900247336 Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4001293179266.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3b6537a1BiaQ3D&algo_pvid=4f3a19ae-d36f-4eb0-a5f2-dc8498545475&algo_expid=4f3a19ae-d36f-4eb0-a5f2-dc8498545475-4&btsid=0b0a556e16161463794284861e8d95&ws_ab_test=searchweb0_0,search. [Último acceso: Abril 2021].
- [59] Ashopro Official Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32949445306.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.2f822c6fii26NQ&algo_pvid=4bb42a1c-462d-4668-8cda-0aa3cea6d234&algo_expid=4bb42a1c-462d-4668-8cda-0aa3cea6d234-9&btsid=0bb0623416126271834086214e7d18&ws_ab_test=searchweb0_0,searchwe. [Último acceso: Abril 2021].
- [60] Shop910300002 Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005001792499101.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.24f653fej1zzck&algo_pvid=903c26e8-7e48-4f50-bfd1-ecb7d88e40b4&algo_expid=903c26e8-7e48-4f50-bfd1-ecb7d88e40b4-1&btsid=0b0a556a16129260820341355e3fd3&ws_ab_test=searchweb0_0,sea. [Último acceso: Abril 2021].
- [61] Chips Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32906040850.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.408436a0XFAMcE&algo_pvid=464f6d4c-fea7-46cf-bc49-e65a44f32db6&algo_expid=464f6d4c-fea7-46cf-

bc49-e65a44f32db6-0&btsid=0b0a555916126302178091537e628c&ws_ab_test=searchweb0_0,searchwe. [Último acceso: Abril 2021].

- [62] Elektronkit Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005002045167188.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.680a3d8dbV9yU0&algo_pvid=6afc1e1e-06d8-44a1-b486-d20a0954a1ee&algo_expid=6afc1e1e-06d8-44a1-b486-d20a0954a1ee-0&btsid=0b0a555a16126303058584751ee13c&ws_ab_test=searchweb0_0,sea. [Último acceso: Abril 2021].
- [63] Fantasy Electronics CO., Ltd, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4001110450917.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.d8d33c592RHvfr&algo_pvid=b550cfd7-3763-4167-bcfa-84d88ac74b3a&algo_expid=b550cfd7-3763-4167-bcfa-84d88ac74b3a-0&btsid=0b0a555c16161442813957031ef9c1&ws_ab_test=searchweb0_0,search. [Último acceso: Abril 2021].
- [64] ICGOGO Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005002075527957.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43894636ZOOEqG&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a556716161450350322521ec8cd&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_.](https://es.aliexpress.com/item/1005002075527957.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43894636ZOOEqG&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a556716161450350322521ec8cd&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_) [Último acceso: Abril 2021].
- [65] AGUHAJSU Chinese chip Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4001104152422.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.257c330807y7gf&algo_pvid=b47a5343-243b-4f95-b28b-1617cbad8f79&algo_expid=b47a5343-243b-4f95-b28b-1617cbad8f79-5&btsid=0bb0623016142356559667133ed844&ws_ab_test=searchweb0_0,search. [Último acceso: Abril 2021].
- [66] Fantasy Electronics CO., Ltd, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32714864337.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.748b3907XHvhQX&algo_pvid=2232cd45-3868-4efc-a949-19a174c72c2d&algo_expid=2232cd45-3868-4efc-a949-19a174c72c2d-2&btsid=0b0a556716142370585077417e331f&ws_ab_test=searchweb0_0,searchwe. [Último acceso: Abril 2021].
- [67] «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/10000354668630.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1f2450c2C5gpmS&algo_pvid=aec58f88-cdb5-41c3-a0f0-efe605626666&algo_expid=aec58f88-cdb5-41c3-a0f0-efe605626666-20&btsid=0bb0622d16142377295275765ed264&ws_ab_test=searchweb0_0,sear. [Último acceso: Abril 2021].

- [68] Tienda8, «Mercado libre Chile,» 1999. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-459786015-fuente-de-poder-220vac-a-24vdc-1a-multiples-usos-_JM?matt_tool=99862696&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=11711586846&matt_ad_group_id=119080158852&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&m. [Último acceso: Abril 2021].
- [69] Shop3897015 Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4000648820046.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.79ef1831eAuRyh&algo_pvid=ed472a48-4e7d-4e8e-a57c-23b4c61955b2&algo_expid=ed472a48-4e7d-4e8e-a57c-23b4c61955b2-9&btsid=0bb0623616142119457507142eb1f2&ws_ab_test=searchweb0_0,search. [Último acceso: Abril 2021].
- [70] Intersting Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005001927984170.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.31874090tL8Vkr&algo_pvid=99b6cd0f-195d-4cf5-8595-b7f6eb31cdbf&algo_expid=99b6cd0f-195d-4cf5-8595-b7f6eb31cdbf-2&btsid=0bb0623f16142140196218775e5617&ws_ab_test=searchweb0_0,sea. [Último acceso: Abril 2021].
- [71] Aideepen official store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4000506372982.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.188c5924APiOYz&algo_pvid=19b1772d-0fb8-4189-888b-15106edc76ab&algo_expid=19b1772d-0fb8-4189-888b-15106edc76ab-7&btsid=0b0a555f16142115798515036ede5c&ws_ab_test=searchweb0_0,search. [Último acceso: Abril 2021].
- [72] Si Tai&SH Official Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4001136099830.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.417ba7c4RQOF4g&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0bb0624016158661970948151e1047&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_. [Último acceso: Abril 2021].
- [73] Si Tai&SH Official Store, «Aliexpress,» 2009. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4000796608567.html?spm=a2g0o.detail.1000060.3.1b543f99kog4cc&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.169870.0&scm_id=1007.13339.169870.0&scm-url=1007.13339.169870.0&pvid=d802f310-71f5-4d45-960c-ac85bcd6dc3a&t=gps. [Último acceso: Abril 2021].
- [74] V. Pinto, Historia, Geografía y ciencias sociales, Santiago: SM, 2015.

Capítulo 8: Anexos

Para realizar el prototipo se realiza una cotización y selección de elementos electrónicos que pueden observarse en las Tabla 8.1 y Tabla 8.2.

Tabla 8.1: Cotización y selección de elementos electrónicos que se emplearán en el diseño del prototipo.

MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Protoboard [31]	1	\$ 3,250	\$ 3,250
Reloj DS3231 [32]	1	\$ 4,249	\$ 4,249
ARDUINO NANO [33]	2	\$ 4,390	\$ 8,780
GPS SE868-A [34]	1	\$ 12,981	\$ 12,981
Transceptor wifi [35]	1	\$ 3,450	\$ 3,450
Módulo micro SD [36]	1	\$ 1,800	\$ 1,800
TOTAL			\$ 34,510
GPS [37]	1	\$ 10,900	\$ 10,900
Arduino Nano [38]	2	\$ 4,990	\$ 9,980
Sd [39]	1	\$ 2,990	\$ 2,900
Reloj [40]	1	\$ 2,890	\$ 2,890
Transceptor wifi [41]	1	\$ 3,190	\$ 3,190
Protoboard [42]	1	\$ 3,300	\$ 3,300
Pulsador [43]	3	\$ 200	\$ 600
TOTAL			\$ 33,760

Fuente: Elaboración propia en base a estudio comercial.

Tabla 8.2: Cotización de dispositivos shield que se emplearán en el diseño del dispositivo.

DISPOSITIVO / COMPONENTE	UNID.	VENTA	ENVIO	TOTAL	CHILE
CONVERTIDOR BUCK 6V [44]	1	\$4,268	\$3,339	\$7,607	
LORA [45]	1	\$4,881		\$4,881	
GPS NEO M6 [46]	1	\$2,129	\$2,636	\$4,765	\$10,900
Regulador Carga & Boost (DD05CVSA) [47]	1	\$2,782	\$3,399	\$6,181	
PROTECCION SOBRECARGA (DD04CPMA) [48]	1	\$873	\$940	\$1,813	
TOTAL				\$43,406	

Fuente: Elaboración propia en base a estudio comercial.

De la misma forma del prototipo, el diseño y desarrollo del dispositivo implica gestiones de cotización y selección de elementos electrónicos que se emplean en el dispositivo. Por ello en la Tabla 8.3, se aprecian todos los componentes electrónicos necesarios para crear el dispositivo.

Tabla 8.3: Cotización y selección de elementos electrónicos que se emplearán en el diseño del dispositivo.

DISPOSITIVO / COMPONENTE	UNID.	VENTA	ENVIO	TOTAL	UNID.	\$ Unitario	\$ Total
ATMEGA328P							
ATMEGA328P [49]	1	\$984	\$2,974	\$3,958	1	\$3,958	\$3,958
CRISTAL 16 MHZ [50]	12	\$742	\$2,929	\$3,671	1	\$306	\$306
RESISTENCIA 1K [51]					1	\$9	\$9
CAPACITOR 22 pf [52]					2	\$20	\$40
CAPACITOR 47 uF 16V ELECTROLITICO [53]	50	\$1,722	\$3,697	\$5,419	1	\$108	\$108
CAPACITOR 0.1 uF [54]	100	\$1,407	\$3,292	\$4,699	1	\$47	\$47
FTDI [55]	1	\$831	\$3,102	\$3,933	1	\$3,933	\$3,933
TOTAL				\$21,680			\$8,401
SD							
MICROSD SOCKET [56]	10	\$289	\$3,135	\$3,424	1	\$342	\$342
RESISTENCIA 47K [51]					3	\$9	\$27

CAPACITOR 0.1 uF [54]					1	\$47	\$47
TOTAL				\$3,424			\$416
DISPOSITIVO DS3231							
RTC DS3231SN 16 PINES [57]	5	\$3,639	\$2,477	\$6,116	1	\$1,223	\$1,223
CR2032 Chile [58]	1	\$1,262	\$3,771	\$5,033	1	\$5,033	\$5,033
SOPORTE CR2032 [59]	5	\$477	\$2,533	\$3,010	1	\$602	\$602
MEMORIA EPROM AT24C32N [60]	10	\$279	\$3,252	\$3,531	1	\$353	\$353
DIODO BAQ 133 [61]	50	\$5,380	\$4,640	\$10,020	1	\$200	\$200
LED AZUL SMD [62]	100	\$1,461	\$2,107	\$3,568	1	\$36	\$36
CONDENSADOR 100nF (1206)					2	\$20	\$40
RESISTENCIA 1K (1210) [51]					1	\$9	\$90
RESISTENCIA 4.7K (1210) [51]					8	\$9	\$81
RESISTENCIA 200 (1210) [51]	100	\$1,250	\$3,059	\$4,309	1	\$43	\$43
TOTAL				\$35,587			\$7,701
CONVERTIDOR BUCK 6V [44]	1	\$4,268	\$3,339	\$7,607	1	\$7,607	\$7,607
TOTAL				\$7,607			\$7,607

LORA [45]	1	\$4,881		\$4,881	1	\$4,881	\$4,881
TOTAL				\$4,881			\$4,881
GPS NEO M6 [46]	1	\$2,129	\$2,636	\$4,765	1	\$4,765	\$4,765
TOTAL				\$4,765			\$4,765
LM1086 3.3 [63]	10	\$1,477	\$2,420	\$3,897	1	\$390	\$390
CONDENSADOR ELECTROLITICO 10uF 16V [64]	50	\$1,648	\$3,697	\$5,345	2	\$107	\$214
TOTAL				\$9,242			\$214
IDEM							
RESISTENCIA 1206 [51]	660	\$2,679	\$2,937	\$5,616		\$9	
CAPACITOR [52]	320	\$2,694	\$3,751	\$6,445		\$20	
1n4007 [65]	100	\$455	\$2,281	\$2,736		\$27	
LD1117V33 [66]	10	\$1,436	\$2,353	\$3,789		\$379	
CAPACITOR 0.1 uF [54]	100	\$1,384	\$3,238	\$4,622		\$46	
TOTAL				\$18,586			
RELÉ 24 [67]	1	\$736	\$2,404	\$3,140		\$3,140	
RELÉ 12 [67]	1	\$736	\$2,404	\$3,140		\$3,140	

RELÉ 220 VAC [67]	1	\$736	\$2,404	\$3,140		\$3,140	
TRANSFORMADOR 220 vac-24vdc CHILE [68]	1	\$7,490	\$2,323	\$9,813	1	\$9,813	\$9,813
TERMORETRACTIL [69]	1	\$1,415	\$1,808	\$3,223	1	\$3,223	\$3,223
BATERIA [70]	12	\$20,126	\$3,441	\$23,567		\$1,964	
CINTA NIQUEL PURO 10 mt [71]	1	\$653	\$4,058	\$4,711	1	\$4,711	\$4,711
PINHEAD HEMBRA [72]	10	\$744	\$2,352	\$3,096		\$310	
CONECTOR [73]	20	\$767	\$2,352	\$3,119			
TOTAL				\$56,949			

Fuente: Elaboración propia en base a estudio comercial.

En la Figura 8.1, se observa la facturación por parte de MCI electronics, lugar donde realizo la fabricación de tarjetas PCB que contempla el dispositivo para los módulos correspondiente.

Figura 8.1:Respaldo cotizacion de fabricacion PCB dispositivo.

	Ingeniería MCI Ltda Luis Thayer Ojeda 0115, Of. 1105 Providencia, Santiago, Chile 76.269.680-0
Cotización N° 334859	
Señor(es): SOC MADERERA Y TRANSPORTES 3 VOLCANES LIMITADA	Dirección de Entrega:
Rut:	Tipo de Entrega/Envío Despacho a Domicilio

Imagen	Descripción	Cantidad	Desc. (%)	Precio Und.	Total Neto
	[MCI04600] Fabricación de PCB - Espesor: < 2.0mm / Plomo: Con Plomo / Cobre: 1oz / Dimensión: 10x15	5 Unidad(es)		\$ 8.487	\$ 42.437
	Despacho a Domicilio	1 Unidad(es)		\$ 4.202	\$ 4.202
	[MCI05727] Stencil 19x29cm (10x10cm) sin marco	1 Unidad(es)	47.34%	\$ 15.958 \$ 8.403	\$ 8.403
	[MCI04600] Fabricación de PCB - Espesor: < 2.0mm / Plomo: Con Plomo / Cobre: 1oz / Dimensión: 10x15	5 Unidad(es)		\$ 8.487	\$ 42.437
	[MCI05727] Stencil 19x29cm (10x10cm) sin marco	1 Unidad(es)	47.34%	\$ 15.958 \$ 8.403	\$ 8.403
Subtotal Neto					\$ 105.882
IVA					\$ 20.118
Total					\$ 126.000

Fuente:(MCI electronics,2021) [34].

El código empleado en el dispositivo se es posible ver en la Figura 8.2, dicho código es cargado al microcontrolador para que así el dispositivo funcione.

Figura 8.2: Código de programación nodo remoto.

```
#include <SoftwareSerial.h> //GPS UART
#include <TinyGPS.h> //GPS UART
#include <Wire.h> //RELOJ I2C
#include <RTClib.h> //RELOJ I2C
#include <TimerOne.h> //RELOJ INTERRUPCION I2C
#include <SPI.h> //SD SPI
#include <SD.h> //SD SPI

#include "LoRa_E32.h"
bool Timex=false;
SoftwareSerial dd(5,4); //PIN digital GPS
LoRa_E32 e32ttl100(&dd,3,7,6); //Declarar LoRa
RTC_DS3231 rtc; //Declarar reloj RTC_DS3231
TinyGPS gps; //Declarar GPS
File archivo; //Declarar archivo tipo File

#define SSpin 10 //PIN digital SD
SoftwareSerial ss(8, 9); //PIN digital GPS
const int pulsador = 2; //PIN digital pulsador

long fechaunix; //Variable fecha unix

const int umbral = 200; //Variable interrupcion pulsador
int ISRCcounter = 0; //Variable interrupcion pulsador
long startTime = 0; //Variable interrupcion pulsador
int counter = 0; //Variable utilizada en condiciones relacionadas con interrupcion
pulsador

long int Time=0; //Variable interrupcion tiempo GPS
float flat, flon; //Variable de localizacion GPS
unsigned long age; //Variable de localizacion GPS

char nombearchivo[13]="prueba.txt"; //PROGRAMAR Nombre de archivo de guardado
long startgps=10; //PROGRAMAR Tiempo de captura localización GPS en
segundos
int hora,minutos,segundos; //PROGRAMAR Hora de envio de datos

char caracter2; //VARIABLE RECIBIDA SEÑAL DE ACTIVACION DE ENVIO
```

```

////////////////////////////////////
//          VOID SETUD          //
////////////////////////////////////
void setup(){
  Serial.begin(115200);
  ss.begin(9600);
  e32ttl100.begin();
  rtc.begin();SD.begin(SSpin);
  pinMode(pulsador, INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pulsador), debounceCount, FALLING);
  Timer1.initialize(1000000);
  Timer1.attachInterrupt(Temporizador);
}
struct Message { // ENVIA INFORMACION CAPTADA
  char info;
} message;
struct Message2 { // RECIBE SEÑAL PARA ENVIAR
  byte sign[8];
};
struct Cantidad { // RECIBE CANTIDAD
  int num[4];
};
struct Compara { // ENVIA INFORMACION
  char xy[8];
} compara;
////////////////////////////////////
//          VOID LOOP          //
////////////////////////////////////
void loop(){
  char date[10] = "hh:mm:ss";
  rtc.now().toString(date);
  if (rtc.begin() && SD.begin(SSpin)) {
    Serial.println(date);
  }
  DateTime fecha = rtc.now();
  fechaunix=fecha.unixtime();
  hora=fecha.hour();minutos=fecha.minute();segundos=fecha.second();
  ss.listen();
  for (unsigned long start = millis(); millis() - start < 1000;){
    while (ss.available()){
      char c = ss.read();
      gps.encode(c); // Did a new valid sentence come in?
    }
  }
}

```

```

if (counter != ISRCounter){
    counter = ISRCounter;
    gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
    flat == (TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flat, 6);
    flon == (TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flon, 6);
    if (counter%2==0){
        ISRCounter=0;
        save(archivo,nombreachivo,0,flat,flon,fechaunix);
    }
    if (counter%2!=0){
        save(archivo,nombreachivo,1,flat,flon,fechaunix);
    }
}
if (counter%2!=0 && Time==startgps){
    gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
    flat == (TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flat, 6);
    flon == (TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flon, 6);
    save(archivo,nombreachivo,1,flat,flon,fechaunix);
}
while(Timex==true){
    dd.listen();
    if (e32ttl100.available()>1){
        ResponseStructContainer rsc = e32ttl100.receiveMessage(sizeof(Message2));
        struct Message2 message2 = *(Message2*) rsc.data;
        caracter2=*(char*)(message2.sign) ;
        Serial.print(caracter2);
        rsc.close();
        if (caracter2=='E'){
            Serial.print(caracter2);
            envio(archivo,nombreachivo);
            Timex=false;
        }
    }
}
}
}
}
////////////////////////////////////
//      INTERRUPCION PULSADOR      //
////////////////////////////////////
void debounceCount(){
    if (millis() - startTime > umbral){
        ISRCounter++;
        startTime = millis();
    }
}

```

```

////////////////////////////////////
// INTERRUPCION LECTURA TIME GPS //
////////////////////////////////////
void Temporizador(){
  Time++;
  if(Time==startgps+1){
    Time=0;
  }
  if(hora==00 && minutos==14 && segundos==00){
    Timex=true;
  }
}
////////////////////////////////////
// FUNCION GUARDADO GPS //
////////////////////////////////////
void save(File file,char namearchivo[],int estado,float lat,float lon,long calendario){
  if (estado == 1) {
    file = SD.open(namearchivo, FILE_WRITE); // apertura para lectura/escritura de archivo
prueba.txt
    if(file){

file.print("ON;");file.print(lat,6);file.print(",");file.print(lon,6);file.print(";");file.print(calendari
o);file.println(";;");file.close();
    Serial.println(F("hecho encendido"));
  }
}
  if (estado == 0) {
    file = SD.open(namearchivo, FILE_WRITE); // apertura para lectura/escritura de archivo
prueba.txt
    if(file){

file.print("OF;");file.print(lat,6);file.print(",");file.print(lon,6);file.print(";");file.print(calendario
);file.println(";;");file.close();
    Serial.println(F("hecho apagado"));
  }
}
}

```

```

////////////////////////////////////
//          FUNCION ENVIO          //
////////////////////////////////////
void envio(File filee, char namearchivo[]){
  File documento;          //Declarar archivo tipo File COPIA
  char namearchivo2[]="COPIA.csv"; //Declarar nombre de archivo COPIA
  char caracter;          //Variable tipo char a enviar LoRa
  char aux;              //Variable CHAR auxiliar que realiza COPIA
  int ener;              // 1 de recepcion por parte del receptor
  int conteo=0;          //Variable conteo por 2° dispositivo
  int ene=0;            //Variable conteo enviados
  char caracterxy; //ENVIA X O Y

  documento = SD.open(namearchivo2, FILE_WRITE);
  filee = SD.open(namearchivo);

  if (filee && documento) {
    while (filee.available()) {
      aux=filee.read();
      documento.print(aux);
    }
    filee.close();
    documento.close();
  }
  struct Message {
    byte info[8];
  }message;
  struct Compara {
    byte xy[8];
  } compara;
  documento = SD.open(namearchivo2); // apertura de archivo prueba.txt
  if (documento){
    while (documento.available()){
      caracter=(documento.read());
      *(char*)(message.info) = caracter;
      ResponseStatus rs = e32ttl100.sendFixedMessage(0,3,23,&message, sizeof(Message));
      ene++;
      Serial.print(caracter);
      ResponseStructContainer rsc2 = e32ttl100.receiveMessage(sizeof(Cantidad));
      struct Cantidad cantidad = *(Cantidad*) rsc2.data;
      ener=*(int*)(cantidad.num) ;
      conteo=ener+conteo;
      rsc2.close();
    }
  }
}

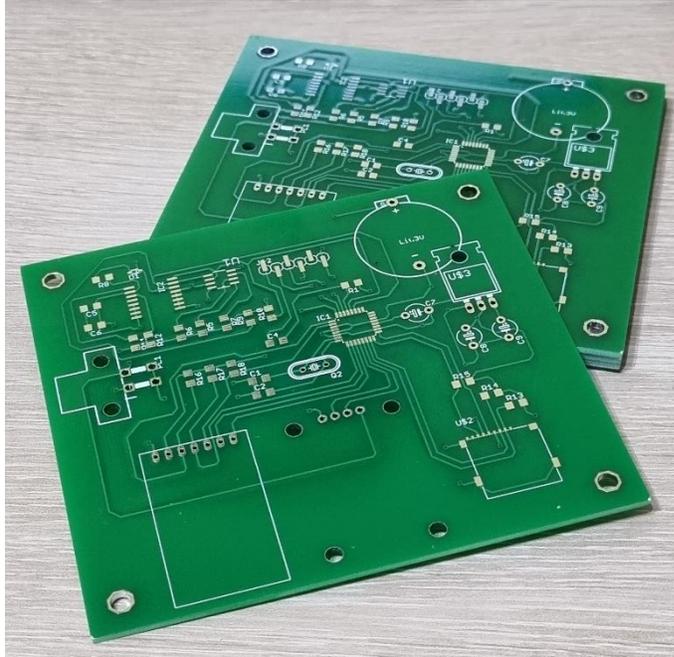
```

```
    documento.close();
}
if (ene==conteo && ene!=0){
    caracterxy='y';
    *(char*)(compara.xy) = caracterxy;
    ResponseStatus rs2 = e32ttl100.sendFixedMessage(0,3,23,&compara, sizeof(Compara));
    Serial.println (caracterxy);
    Serial.println ("IGUALES");
    SD.remove(namearchivo2);
}
if (ene!=conteo && ene!=0){
    Serial.println ("NO IGUALES");
    caracterxy='x';
    *(char*)(compara.xy) = caracterxy;
    ResponseStatus rs2 = e32ttl100.sendFixedMessage(0,3,23,&compara, sizeof(Compara));
}
}
```

Fuente: Elaboración propia desarrollada en IDE de Arduino.

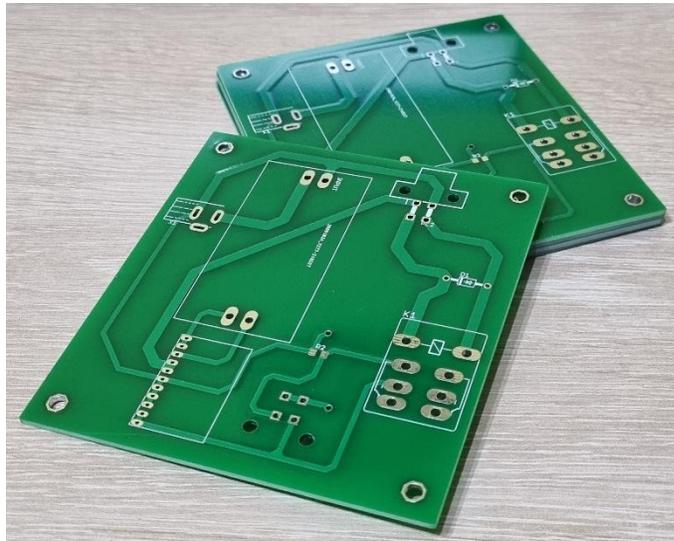
Una vez recibidas las placas fabricas por MCI, su resultado se ve en las Figura 8.3 y Figura 8.4.

Figura 8.3: PCB módulo control en nodo remoto, fabricada por MCI.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.4: PCB módulo potencia en nodo remoto, fabricada por MCI.



Fuente: Elaboración propia.

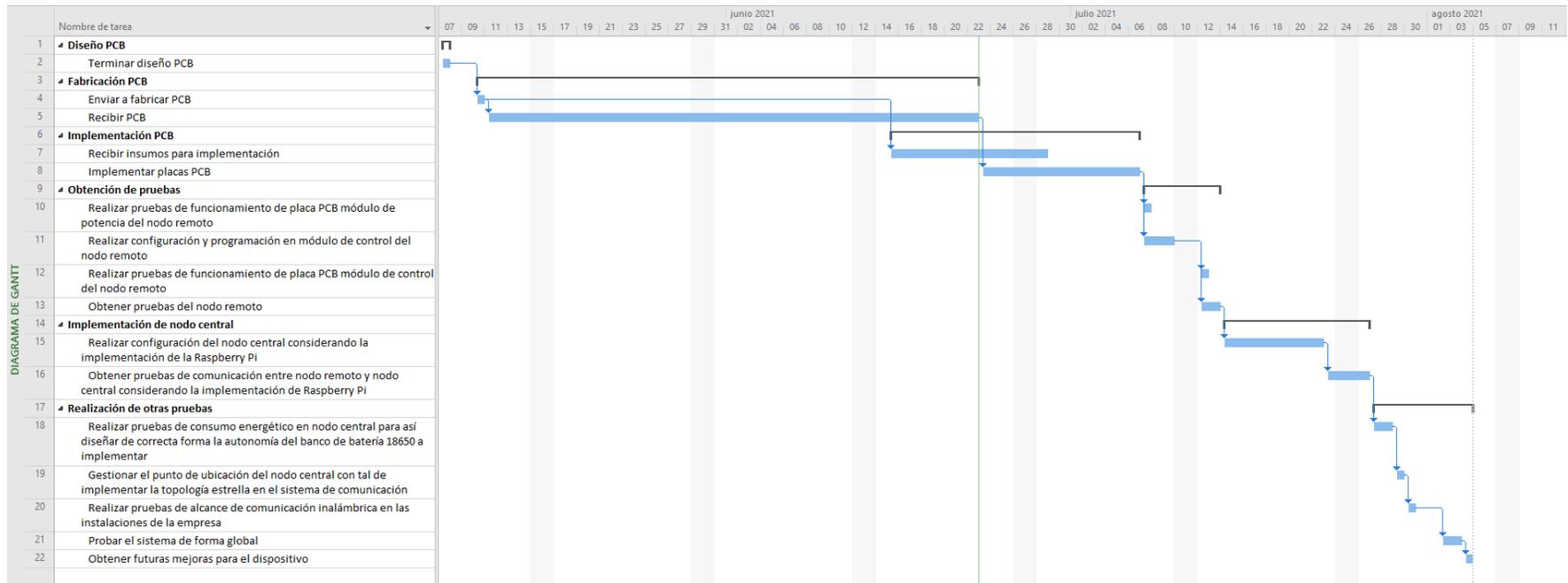
El dispositivo es un trabajo en desarrollo, en el cual queda un plan de trabajo y actividades futuras. Por ello se presenta en la Tabla 8.4, un plan de trabajo tentativo de las futuras actividades y de igual manera en la Figura 8.5 se aprecia un diagrama de Gantt que se desarrolla a partir de la tabla recién mencionada.

Tabla 8.4: Plan de trabajo para trabajos futuros.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Diseño PCB	1 día	vie 07-05-21	vie 07-05-21
Terminar diseño PCB	1 día	vie 07-05-21	vie 07-05-21
Fabricación PCB	32 días	lun 10-05-21	mar 22-06-21
Enviar a fabricar PCB	1 día	lun 10-05-21	lun 10-05-21
Recibir PCB	31 días	mar 11-05-21	mar 22-06-21
Implementación PCB	16 días	mar 15-06-21	mar 06-07-21
Recibir insumos para implementación	10 días	mar 15-06-21	lun 28-06-21
Implementar placas PCB	10 días	mié 23-06-21	mar 06-07-21
Obtención de pruebas	5 días	mié 07-07-21	mar 13-07-21
Realizar pruebas de funcionamiento de placa PCB módulo de potencia del nodo remoto	1 día	mié 07-07-21	mié 07-07-21
Realizar configuración y programación en módulo de control del nodo remoto	3 días	mié 07-07-21	vie 09-07-21
Realizar pruebas de funcionamiento de placa PCB módulo de control del nodo remoto	1 día	lun 12-07-21	lun 12-07-21
Obtener pruebas del nodo remoto	2 días	lun 12-07-21	mar 13-07-21
Implementación de nodo central	9 días	mié 14-07-21	lun 26-07-21
Realizar configuración del nodo central considerando la implementación de la Raspberry Pi	7 días	mié 14-07-21	jue 22-07-21
Obtener pruebas de comunicación entre nodo remoto y nodo central considerando la implementación de Raspberry Pi	2 días	vie 23-07-21	lun 26-07-21
Realización de otras pruebas	7 días	mar 27-07-21	mié 04-08-21
Realizar pruebas de consumo energético en nodo central para así diseñar de correcta forma la autonomía del banco de batería 18650 a implementar	2 días	mar 27-07-21	mié 28-07-21
Gestionar el punto de ubicación del nodo central con tal de implementar la topología estrella en el sistema de comunicación	1 día	jue 29-07-21	jue 29-07-21
Realizar pruebas de alcance de comunicación inalámbrica en las instalaciones de la empresa	1 día	vie 30-07-21	vie 30-07-21
Probar el sistema de forma global	2 días	lun 02-08-21	mar 03-08-21
Obtener futuras mejoras para el dispositivo	1 día	mié 04-08-21	mié 04-08-21

Fuente: Elaboración propia desarrollado en software Project Profesional.

Figura 8.5: Diagrama de gantt considerando trabajos futuros.



Fuente: Elaboración propia desarrollado en software Project Profesional.

