

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERACTIVO PARA RADIO FRECUENCIA, IoT, MODULACIÓN, CONEXIÓN A ETHERNET Y ACCESO POR CONTROL RFID

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

DANIEL OSWALDO NACIMBA COELLO

daniel.nacimba@epn.edu.ec

LUIS DAVID ROMÁN SOLÓRZANO

luis.roman01@epn.edu.ec

DIRECTORA: ING. FANNY PAULINA FLORES ESTÉVEZ

fanny.flores@epn.edu.ec

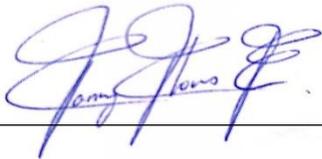
CODIRECTOR: ING. WILLIAM FERNANDO FLORES CIFUENTES

fernando.flores@epn.edu.ec

Quito, Mayo 2020

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Daniel Oswaldo Nacimba Coello y Luis David Román Solórzano, bajo nuestra supervisión.



Ing. Fanny Flores Estévez, MSc.

DIRECTORA DE PROYECTO

Ing. Fernando Flores Cifuentes, MSc.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, DANIEL OSWALDO NACIMBA COELLO y LUIS DAVID ROMÁN SOLÓRZANO, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación -COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaremos toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente



Daniel Oswaldo Nacimba Coello



Luis David Román Solórzano

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mi padre Fausto, mi madre Fanny, a mis hermanos María y Francisco, a mi abuelita Maruja y a mi abuelo Oswaldo quien creyó en mí y me apoyó hasta el final, a toda mi familia y amigos que siempre estuvieron conmigo y apoyaron durante todo este camino de formación.

- Daniel

Dedico el presente proyecto a la Virgen del Cisne, a mi madre Uvaldina Solórzano, a mi padre Luis Román, a mis hermanos, a mis amigos y a mí tutora Ing. Fanny Flores por el apoyo que me brindaron durante toda mi formación profesional.

- Luis

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Politécnica Nacional por dejarnos ser parte de esta institución, a la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) por la acogida en sus instalaciones. Agradecemos a nuestros profesores y profesoras que nos han impartido el conocimiento científico a lo largo de la carrera.

Agradecemos a nuestra directora, Ing. Fanny Flores por el tiempo brindado, por las ideas sugeridas, por guiarnos durante todo el proyecto y por la perseverancia que tuvo al dirigir nuestro proyecto de tesis.

Agradecemos a la Escuela Politécnica Nacional, al personal administrativo, al personal docente, al personal de limpieza y seguridad.

Agradecemos a nuestros compañeros de clase y amigos por el tiempo compartido juntos, por las risas y el apoyo dado uno con otros durante toda la carrera.

- Daniel y Luis

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
RESUMEN.....	XI
<i>ABSTRACT</i>	XII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Marco teórico.....	2
Onda periódica.....	2
Modulación.....	3
Transmisión de datos.....	4
Arduino Nano.....	5
Arduino Pro Mini 5 y 3.3 V.....	6
Módulo <i>Ethernet</i> ENC28J60.....	7
Pantalla NEXTION 7”.....	8
Pantalla <i>OLED</i> 128x32.....	9
Módulo transceptor LoRa.....	10
Módulo RFID PN532.....	12
Módulo AD8317.....	13
Antenas pagoda y trébol.....	15
Generador de funciones XR 2206.....	17
Transistor 2N3904.....	19
Regulador AMS1117.....	20
Módulo regulador de voltaje LM2596.....	21
Mini motor 1020 vibrador plano.....	21
Módulo MOS.....	22
LED 5050 RGB.....	23
Batería LiPo.....	23
Batería 3.7 v.....	24
Ventiladores.....	25
Módulo generador de señales ADF4351.....	26
2 METODOLOGÍA.....	27

2.1	Metodología Exploratoria.....	28
2.2	Metodología Experimental.....	29
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
3.1	Diseño.....	30
	Diagrama de bloques del contenido del módulo interactivo.....	30
	Diseño del <i>hardware</i>	30
	Esquema electrónico.....	32
	Interfaz gráfica.....	49
	Estructura de los programas.....	51
3.2	Implementación.....	59
	Fabricación de placas PCB.....	59
	Montaje de placas en estructura.....	61
3.3	Pruebas de funcionamiento.....	63
	Moduladores.....	63
	Control de acceso.....	64
	Medidor de Potencia RF.....	65
	LoRa.....	66
3.4	Costos de implementación.....	69
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
4.1	Conclusiones.....	71
4.2	Recomendaciones.....	72
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Elementos que componen una onda	3
Figura 1.2: Funcionamiento de un modulador	3
Figura 1.3: Modulación en amplitud	4
Figura 1.4: Modulación en frecuencia FM	4
Figura 1.5: Arduino Nano	6
Figura 1.6: Arduino Pro-Mini 5 y 3.3 V	7
Figura 1.7: Módulo <i>Ethernet</i> ENC28J60.....	8
Figura 1.8: Pantalla NEXTION 7”	9
Figura 1.9: Pantalla OLED 128x32.....	9
Figura 1.10: Modulación LoRa	10
Figura 1.11: Diagrama de radiación antena helicoidal.....	11
Figura 1.12: Módulo LoRa Ra-01	11
Figura 1.13: Módulo RFID PN532	12
Figura 1.14: Comportamiento del medidor de potencia RF a 900MHz	14
Figura 1.15: Medidor de potencia RF.....	14
Figura 1.16: Diagrama de radiación omnidireccional en 3D	15
Figura 1.17: Antena pagoda.....	16
Figura 1.18: Estructura de la antena pagoda	16
Figura 1.19: Antena trébol.....	17
Figura 1.20: Estructura de la antena trébol	17
Figura 1.21: <i>Chip</i> XR-2206	18
Figura 1.22: Diagrama de bloques del XR 2206.....	19
Figura 1.23: Transistor 2N3904	20
Figura 1.24: Aplicación típica	20
Figura 1.25: Módulo regulador de voltaje LM2596	21
Figura 1.26: Mini motor 1020 vibrador plano	22
Figura 1.27: Módulo MOS IRF-520	22
Figura 1.28: LED 5050 RGB	23
Figura 1.29: Batería LiPo	24
Figura 1.30: Batería Samsung 3.7 v.....	24
Figura 1.31: Ventilador centrífugo	25
Figura 1.32: Ventilador de alta presión.....	25
Figura 1.33: Generador de señales ADF4351	26
Figura.2.1: Diagrama de procesos del proyecto.....	28

Figura 3.1: Diagrama de bloques del contenido del módulo interactivo.....	30
Figura 3.2: Estructura del módulo	30
Figura 3.3: Diseño en 3D módulo interactivo	31
Figura 3.4: Diseño en 3D transmisor LoRa	31
Figura 3.5: Esquema electrónico del módulo RFID PN532	32
Figura 3.6: Cable y conector de bus de datos 5x2	32
Figura 3.7: Circuito impreso módulo RFID	34
Figura 3.8: Esquema electrónico módulo transmisor LoRa	36
Figura 3.9: Circuito impreso módulo transmisor LoRa.....	36
Figura 3.10: Esquema electrónico del módulo receptor LoRa	37
Figura 3.11: Circuito impreso módulo receptor LoRa	37
Figura 3.12: Esquema electrónico para control de acceso	38
Figura 3.13: Esquema electrónico control <i>on/off</i>	39
Figura 3.14: Esquema electrónico del núcleo	40
Figura 3.15: Esquema electrónico del servidor	41
Figura 3.16: Fuente reguladora de 5 y 3.3 V	42
Figura 3.17: Circuito impreso placa madre.....	43
Figura 3.18: Circuito generador de prueba XR2206.....	44
Figura 3.19: Amplitud de salida en función de la R3	45
Figura 3.20: Diagrama esquemático del generador de ondas con el <i>chip</i> XR2206	46
Figura 3.21: Diagrama esquemático del modulador AM con el <i>chip</i> XR2206	47
Figura 3.22: Diagrama esquemático del modulador FM usando el <i>chip</i> XR2206	48
Figura 3.23: Selector de salida de señal modulada.....	49
Figura 3.24: Circuito impreso del generador y los moduladores con el <i>chip</i> XR206 ...	49
Figura 3.25: Página de inicio.....	50
Figura 3.26: Página del receptor LoRa	50
Figura 3.27: Página de medición de potencia RF.....	51
Figura 3.28: Tarjeta y llavero	52
Figura 3.29: Diagrama de flujo control de acceso	53
Figura 3.30: Menú en pantalla OLED.....	54
Figura 3.31: Diagrama de flujo transmisor LoRa	55
Figura 3.32: Diagrama de flujo del núcleo.....	57
Figura 3.33: Diagrama de flujo del servidor.....	58
Figura 3.34: Termotransferencia	59
Figura 3.35: Desprendimiento del papel.....	59
Figura 3.36: Tratamiento con cloruro férrico	60
Figura 3.37: Tratamiento antioxidante.....	60

Figura 3.38: Placa PCB	61
Figura.3.39: Pruebas independientes de funcionamiento.....	61
Figura 3.40: Instalación de placas PCB	62
Figura 3.41: Instalación de pantalla HMI y señalización.....	62
Figura 3.42: PCB transmisor LoRa	63
Figura 3.43: Modulación AM y FM	64
Figura 3.44: Prueba de control de acceso.....	65
Figura 3.45: Prueba del medidor de RF	65
Figura 3.46: Ejes de orientación	66
Figura 3.47: Valores RSSI y SNR	67
Figura 3.48: Mapa de cobertura de la transmisión LoRa.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Especificaciones técnicas Arduino Nano	6
Tabla 1.2: Especificaciones técnicas Arduino Pro Mini.....	7
Tabla 1.3: Especificaciones técnicas módulo <i>Ethernet</i> ENC28J60.....	8
Tabla 1.4: Especificaciones técnicas pantalla HMI Nextion 7"	9
Tabla 1.5: Especificaciones técnicas pantalla OLED 128x32	10
Tabla 1.6: Especificaciones técnicas módulo LoRa.....	12
Tabla 1.7: Especificaciones técnicas módulo RFID PN532	13
Tabla 1.8: Especificaciones técnicas módulo AD8317.....	15
Tabla 1.9: Especificaciones técnicas antena pagoda	16
Tabla 1.10: Especificaciones técnicas antena trébol	17
Tabla 1.11: Funciones de los pines	18
Tabla 1.12: Especificaciones técnicas XR-2206	19
Tabla 1.13: Especificaciones técnicas transistor 2N3904	20
Tabla 1.14: Especificaciones técnicas regulador AMS-1117	21
Tabla 1.15: Especificaciones técnicas regulador de voltaje LM2596	21
Tabla 1.16: Especificaciones técnicas Mini motor 1020 vibrador plano	22
Tabla 1.17: Especificaciones técnicas Módulo MOS IRF-520.....	23
Tabla 1.18: Especificaciones técnicas LED 5050 RGB.....	23
Tabla 1.19: Especificaciones técnicas batería LiPo.....	24
Tabla 1.20: Especificaciones técnicas batería Samsung	24
Tabla 1.21: Especificaciones técnicas ventilador centrífugo	25
Tabla 1.22: Especificaciones técnicas ventilador de alta presión.....	25
Tabla 1.23: Especificaciones técnicas generador de señales ADF4351	26
Tabla 2.1: Análisis de materias	27
Tabla 3.1: Frecuencias y niveles de potencia.....	54
Tabla 3.2: Condiciones para la mejor modulación en AM.....	64
Tabla 3.3: Condiciones para la mejor modulación en FM	64
Tabla 3.4: Potencia RF.....	65
Tabla 3.5: Ejes de orientación	66
Tabla 3.6: Costos de implementación	69

RESUMEN

La primera sección del presente documento, es la introducción, donde se analiza la problemática que existe en la actualidad con los métodos de enseñanza. De esta manera, se procedió a investigar formas más didácticas y útiles de aprendizaje mediante la práctica.

Así, se contempló el desarrollo de un módulo interactivo para algunas clases de la carrera de Tecnología en Redes y Telecomunicaciones de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT), para lo cual se analizó varios PEAs (Programa de Estudios por Asignatura) de la carrera.

Por consiguiente, se seleccionó e investigó las tecnologías y conceptos utilizados en el proyecto. Las tecnologías que se seleccionaron para el módulo fueron: modulación en AM (*Amplitude Modulation*) y FM (*Frequency Modulation*), acceso por RFID (*Radio Frequency Identification*), medición de potencia RF y comunicación por medio de la tecnología LoRa (*Long Range*) para IoT (*Internet Of Things*).

En la segunda sección, se analizó el plan de avance del proyecto, al igual que las metodologías implementadas en el desarrollo.

En la tercera sección, se detalla el diseño, implementación y pruebas realizadas con el módulo interactivo. Las pruebas de funcionamiento de *hardware* y *firmware*, se realizaron en campo con el objetivo de presentar escenarios reales.

En la cuarta sección, se presenta conclusiones y recomendaciones, incluyendo futuras mejoras que el módulo podría tener.

Finalmente, en la quinta sección se incluye la bibliografía consultada y los anexos que abarcan los programas, la administración del módulo interactivo y las prácticas.

Palabras clave: AM, FM, RFID, LoRa, IoT, PCB, módulo didáctico.

ABSTRACT

The first section of this document is the introduction where, the problems that currently exist with teaching methods are analysed. In this way, an investigation about more didactic and useful forms of learning was proceeded.

Thus, the development of an interactive module for some classes of the Technology in Networks and Telecommunications career of the School of Technology Education (ESFOT) was contemplated, for which several ASPs (Program of Studies by Subject) of the career were analyzed.

Consequently, the technologies and concepts used in the project were selected and researched. The technologies that were selected for the module were: AM (Amplitude Modulation) and FM (Frequency Modulation), access by RFID (Radio Frequency Identification), RF power measurement and communication by means of LoRa (Long Range) technology for IoT (Internet Of Things).

In the second section, the project progress plan was analyzed, as well as the methodologies implemented in the development.

In the third section, the design, implementation and tests carried out with the interactive module are detailed. The hardware and firmware performance tests were carried out on campus with the aim of presenting real scenarios.

In the fourth section, conclusions and recommendations are presented, including future improvements that the module could have.

Finally, the fifth section includes the bibliography consulted and the Annexes covering the programs and the User Manual of the interactive module.

Keywords: *AM, FM, RFID, LoRa, IoT, PCB, interactive module.*

1 INTRODUCCIÓN

En la carrera de Tecnología Superior en Redes y Telecomunicaciones de la ESFOT, se imparten clases como Propagación y antenas, Comunicaciones Inalámbricas y Comunicaciones Analógicas y Digitales [1]. Estas materias son de suma importancia y por ello se requiere generar un alto interés en el estudiante. Si bien las formas de enseñanza convencionales dan resultados, se evidencia que el estudiante es apartado a un segundo plano y el control de la clase siempre la tiene el profesor; esto produce que el estudiante quede relegado a simplemente tomar notas y escuchar [2].

Por ello, se ha planteado hacer de estas clases más prácticas ya que se ha demostrado que una clase didáctica tiene muchas ventajas respecto a las clases teóricas. Entre estas ventajas se encuentran que el alumno se sienta parte de la clase; para que perciba de la utilidad de lo aprendido, se introduce al estudiante a nuevas tecnologías de manera más directa. Además, se desarrollan habilidades en el estudiante ya que se enfoca en el saber hacer [3].

Tomando todo eso en cuenta, el presente proyecto plantea el diseño y construcción de un módulo didáctico para dichas clases. Considerando que el pilar fundamental del módulo a desarrollar constituye su propiedad de facilitar el aprendizaje a través de clases didácticas. Se incluyó diferentes temas vistos en la carrera, que faciliten la consecución de los objetivos planteados; tales como modulación AM y FM, transmisión de datos vía inalámbrica, medición de potencia de radio frecuencia, Nivel RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) y SNR (*Signal To Noise Ratio*).

El módulo tiene acceso mediante tecnología RFID, para que solo la persona autorizada maneje el dispositivo; adicionalmente, incorpora tecnología LoRa, implementada en el módulo principal como receptor y en un pequeño módulo móvil como transmisor.

Por otra parte, el dispositivo cuenta con potenciómetros, los cuales cumplen la función de variar parámetros de la modulación FM y AM como son la amplitud y frecuencia. El tipo de modulación se selecciona con un *switch* de tres estados, conectado a una salida BNC (*Bayonet Neill Concelman*).

Finalmente, se espera que con esta herramienta el estudiante pueda aprender los diferentes temas planteados de una mejor manera. A su vez, el profesor dispondrá de una herramienta útil, que le permitirá complementar la parte teórica de su clase, con aplicaciones prácticas.

1.1 Marco teórico

En los siguientes párrafos se detallará los elementos utilizados en el *hardware*, así como también los diferentes conceptos que el lector requiere conocer para comprender el funcionamiento del módulo didáctico.

Onda periódica

Una onda es una perturbación periódica que viaja a través del espacio; estas ondas cumplen con ciertas características que se presentan a continuación:

- **Amplitud:** Es el máximo valor que una onda puede llegar a tener en su eje vertical.
- **Periodo:** Es el tiempo en que una onda demora en repetir su estado inicial en un tiempo diferente, se mide en segundos (S).
- **Frecuencia:** Es el número de veces que la onda se repite en un segundo, su unidad es el Hercio (Hz). La frecuencia es el inverso del periodo; como se presenta en la Ecuación 1.1.

$$f = \frac{1}{T}$$

Ecuación 1.1: Relación entre frecuencia y periodo [4]

- **Longitud de onda:** Es la medida tomada entre dos puntos de un ciclo de la onda, se suele asociar a la longitud de onda con la letra lambda (λ). Su relación con la frecuencia se presenta mediante la Ecuación 1.2, donde $C = 3 \cdot 10^8$ m/s que es la velocidad de la luz en el vacío. El resultado se da en metros (m) y es el tamaño de la longitud de onda, la cual resulta tener una relación inversamente proporcional a la frecuencia.

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

Ecuación 1.2: Relación entre frecuencia y longitud de onda [4]

En la Figura 1.1, se presenta con más detalle todas las características de una onda periódica.

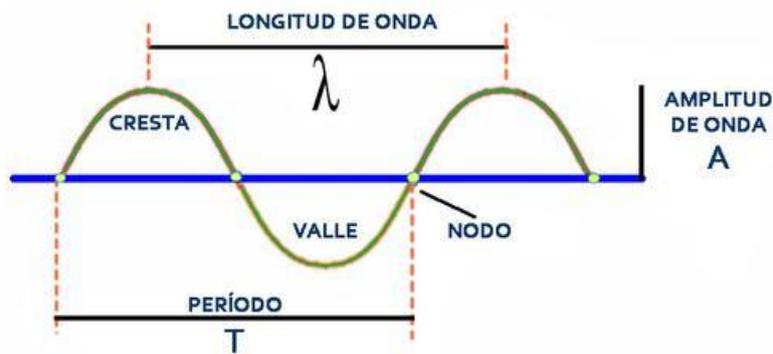


Figura 1.1: Elementos que componen una onda [4]

Modulación

La información en un canal de transmisión se envía en una frecuencia baja, ya que la fuente de este mensaje trabaja de esta manera; esta onda se la conoce como modulante. Para enviar la información a través del canal de transmisión, hay que considerar que no es posible transmitir a una frecuencia baja; por ejemplo, un canal inalámbrico requeriría construir una antena que trabaje a esta frecuencia; por ello se modula las señales, es decir que se toma la señal base y se la multiplica por otra señal en una frecuencia mucho más alta para poder enviarla, como se presenta en la Figura 1.2, a esta onda con mayor frecuencia se la conoce como portadora, resultando en una onda que adquiere cierta característica de la moduladora y se llama onda modulada.

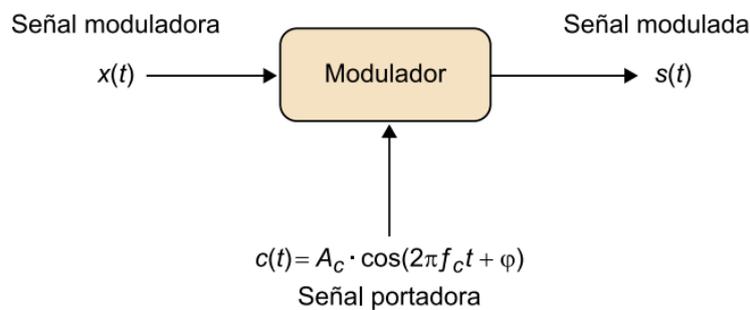


Figura 1.2: Funcionamiento de un modulador [5]

Hay varios tipos de modulación, tanto en analógico como digital, pero solo se describirán dos a continuación:

- **Modulación AM:** La modulación en amplitud (AM) es un tipo de modulación analógica, en la cual la portadora cambia su amplitud dependiendo de la señal modulante. En la Figura 1.3 se presenta una onda modulada en AM; en la parte superior se observa la onda modulante y en la parte inferior se observa la señal modulada, una vez multiplicada por la portadora.

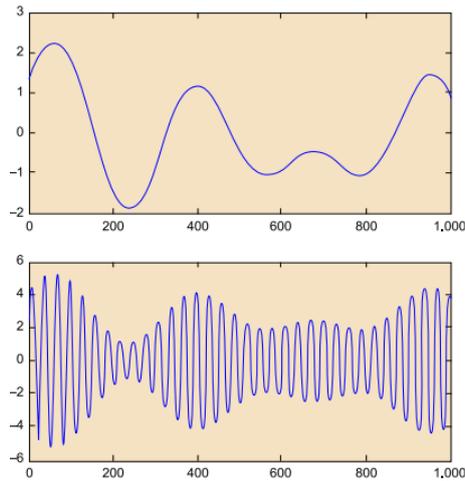


Figura 1.3: Modulación en amplitud [5]

- **Modulación FM:** La modulación en frecuencia (FM), es un método de modulación donde la frecuencia de la portadora es la que va a variar en función de la onda modulante; es decir que se crea un efecto como de acordeón donde las ondas se abren y cierran dependiendo de la onda modulante, esto se presenta con más claridad en la Figura 1.4.

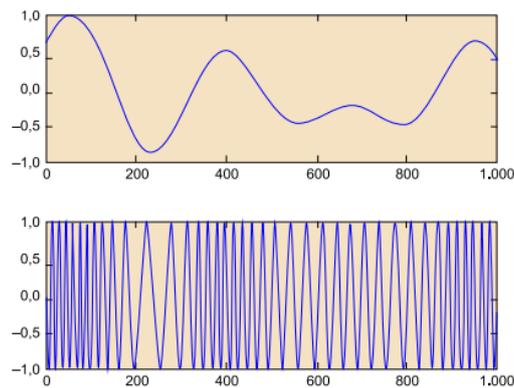


Figura 1.4: Modulación en frecuencia FM [5]

Transmisión de datos

- **dBW:** Es una unidad adimensional, el cual se obtiene de la relación de dos potencias en vatios. En radiofrecuencia, los dB representan la potencia de propagación de una antena, siempre se tiene una referencia para transformar valores a dB. La fórmula para obtenerlo se observa en la Ecuación 1.3.

$$dB = 10 \log_{10} \frac{\text{potencia en } W}{1 W}$$

Ecuación 1.3: Relación entre dB y potencia en Watts [6]

- **dBm:** Es una medida adimensional, pero en este caso la referencia es 1mW. Es utilizada para expresar relaciones de potencias pequeñas. En un sistema con una antena, los dBm son las medidas para representar la potencia.
- **SNR:** Es conocida como la relación Señal a Ruido y expresa, el nivel de señal que se obtendrá a un cierto nivel de ruido en el sistema. Entre mayor sea, el rendimiento de la transmisión será más eficiente porque expresa que la potencia del sistema es mayor que el ruido. [7]
- **RSSI:** es (*Received Signal Strength Indicator*) un indicador de intensidad de la señal, este se mide en dBm. El valor es negativo y entre más cercano al cero se encuentre, significa que la señal es óptima; por el contrario, si la señal es muy débil o no hay suficiente cobertura el valor decrece, esto puede variar siempre dependiendo del fabricante y de la aplicación. [7]
- **Ganancia de una antena:** Es la sensibilidad de una antena; es decir la intensidad de campo con la que puede captar la señal de otra antena. Entre mayor sea esta, es mucho mejor ya que puede incluso captar señales débiles. Esta ganancia se mide en dBi, que es la intensidad de campo de una antena isotrópica. [7]
- **Ruido captado por la antena:** El ruido es una interferencia que la antena capta, este puede ser natural o artificial. El ruido natural puede presentarse por oscilaciones propias de la naturaleza como ruidos cósmicos o radiación proveniente del sol. El ruido artificial, es provocado por el ser humano, como el ruido producido por máquinas eléctricas. Este ruido interfiere al sistema haciendo que baje la SNR y que el mensaje llegue corrupto o que incluso no se recpte. [8]
- **UHF:** (*Ultra High Frequency*), es una de las bandas utilizadas dentro del espectro radio eléctrico; se compone de las frecuencias que van desde los 300 MHz hasta los 3 GHz, y su longitud de onda va desde 1m a 10 Cm. [9] [10]. En este rango de frecuencias también se encuentran sub-bandas llamadas ISM (*Industrial Scientific and Medical*) que son usadas para fines no comerciales, es decir son bandas que no necesitan licencia y cualquier persona las puede usar.

Arduino Nano

Es una placa de Arduino que utiliza el microcontrolador ATmega 328p, en la Tabla 1.1 se presentan algunas especificaciones técnicas que permiten una implementación apropiada. Su lenguaje de programación es C++, cuenta con 14 pines digitales de los

cuales 6 proveen salidas PWM (*Pulse Wave Modulation*) y 8 pines analógicos. Tiene 2 pines *UART* (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) D0 y D1, 2 pines *I2C* (*Inter Integrated Circuits*) A4 y A5. Además, cuenta con pines para conexión *ICSP* (*In Chip Serial Programmer*), botón de *reset*, LEDs (*Light Emitting Diode*) indicadores, conexión con un conector mini USB-B hembra. El módulo Arduino Nano se presenta en la Figura 1.5.

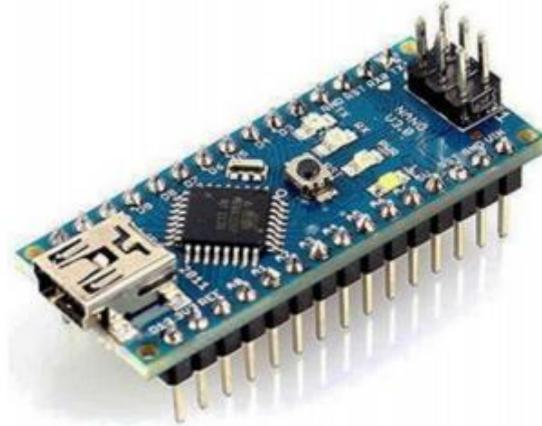


Figura 1.5: Arduino Nano [11]

Tabla 1.1: Especificaciones técnicas Arduino Nano [11]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de entrada	7 a 12 V
Tensión de operación típica	5 V
Tensión de operación mínima	4.95 V
Corriente de funcionamiento	150 mA
Corriente máxima de E/S	40 mA
Memoria <i>flash</i>	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Arduino Pro Mini 5 y 3.3 V

Es una placa de Arduino que utiliza el microcontrolador ATmega 328p; cuenta con 14 pines digitales señalados con el color amarillo, de los cuales 6 proveen salidas PWM y 8 pines analógicos señalados con el color azul. En la Tabla 1.2 se presenta algunas especificaciones técnicas para el uso de un Arduino Mini. Además, tiene 2 pines *UART*

D0 y D1, 2 pines I2C A4 y A5 al interior de la placa, botón de *reset*, LEDs indicadores. El módulo Arduino Pro Mini se presenta en la Figura 1.6.

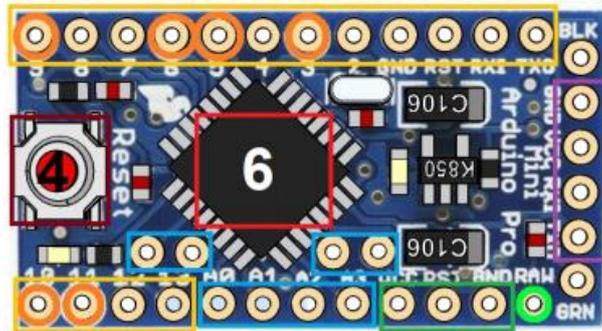


Figura 1.6: Arduino Pro-Mini 5 y 3.3 V [11]

Tabla 1.2: Especificaciones técnicas Arduino Pro Mini [11]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de entrada	7 a 9 V
Tensión de operación 16MHz	5 V
Tensión de operación máxima	4.95 V
Tensión de operación 8MHz	3.3 V
Tensión de operación mínima	2,8 V
Corriente de funcionamiento	150 mA
Corriente máxima de E/S	40 mA
Memoria <i>flash</i>	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Módulo *Ethernet* ENC28J60

El módulo ENC28J60, diseñado por la empresa Microchip, es compatible con el estándar IEEE802.3 de la trama de datos. Admite PHY (*Physical Layer*) del estándar 10BASE-T de 10 Mbps con un detector automático para la corrección de la polaridad. En la Tabla 1.3 se presenta algunas especificaciones técnicas para el uso del módulo *Ethernet* ENC28J60.

Su transmisión puede ser *Full-Duplex* o *Half-Duplex* con relleno programable y generación de CRC (*Cyclic Redundancy Check*) para detección de errores con 3 bits redundantes. Tiene un *buffer* FIFO (*First In, First Out*) de programación del espacio de memoria para transmisión y recepción de datos. Como se presenta en la Figura 1.7,

está estructurado por un puerto *Ethernet* RJ45 hembra, un LED indicador de encendido, un *chip* ENC28J60 interfaz de comunicación SPI (*Serial Peripheral Interface*). [12]



Figura 1.7: Módulo *Ethernet* ENC28J60 [12]

Tabla 1.3: Especificaciones técnicas módulo *Ethernet* ENC28J60 [12]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de entrada	5 V
Tensión de operación	3.3 V
Tensión de operación mínima	3.1 V
Corriente de funcionamiento	50 mA
Dirección IP	IPV4; IPV6
Oscilador	25 MHz
SRAM	8 kB

Pantalla NEXTION 7"

Pantalla HMI (*Human Machine Interface*) modelo NX8048P070-011R-Y, diseñada por la empresa Nextion, para el diseño de una interfaz gráfica amigable con el usuario. Su protocolo de comunicación UART permite una comunicación directa con las placas Arduino. La pantalla resistiva, mostrada en la Figura 1.8, permite al usuario la interacción con las ventanas de comunicación representadas, como botones o secciones establecidas para imprimir datos. Cuenta con una resolución de 480 x 800 pixel y una duración de 30000 horas con 1 millón de toques. En la Tabla 1.4, se presentan los parámetros técnicos de la pantalla como guía para una correcta implementación.

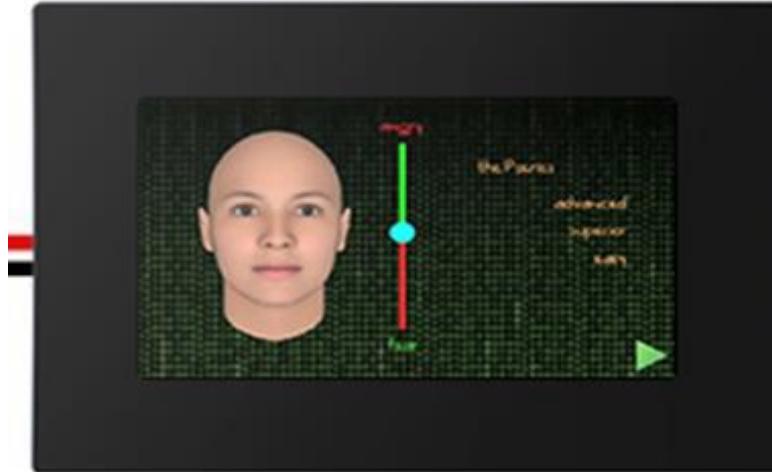


Figura 1.8: Pantalla NEXTION 7" [13]

Tabla 1.4: Especificaciones técnicas pantalla HMI Nextion 7" [13]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de entrada	5 a 6.5 V
Tensión de operación típica	5 V
Tensión de operación mínima	4.75 V
Corriente de funcionamiento	550 mA
Tensión de puerto serie	3.3 y 5 V
Memoria <i>flash</i>	120 MB
RAM	512 kB
EEPROM	1,024 kB
Colores	65536

Pantalla OLED 128x32

Pantalla OLED (*Organic Light Emitting Diode*), diseñada por la empresa Vishay, para imprimir datos con un bajo consumo energético. Su protocolo de comunicación I2C permite una comunicación directa con las placas Arduino. La pantalla, mostrada en la Figura 1.9, posee una resolución de 128 x 32 pixel y una duración de 50000 horas.



Figura 1.9: Pantalla OLED 128x32 [14]

En la Tabla 1.5 se presenta las características técnicas de la pantalla *OLED* utilizada para establecer las condiciones para un correcto funcionamiento.

Tabla 1.5: Especificaciones técnicas pantalla OLED 128x32 [14]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de entrada	7.25 V
Tensión de operación típica	5 V
Tensión de operación mínima	2.8 V
Corriente de funcionamiento	7 mA
Tensión de puerto I2C	3.3 y 5 V
Colores	2

Módulo transceptor LoRa

El módulo LoRa Ra-01 fue diseñado por la empresa Ai-Thinker con el *chip* STM32WL para la transmisión de datos de dispositivos IoT con una baja potencia a largas distancias. Como se ve en la Figura 1.10, LoRa combina la técnica de modulación *Spread Spectrum* aprovechando el ancho de banda con la modulación digital en frecuencia FSK (*Frequency Shift Keying*) para tener un mayor alcance con una baja potencia. Forma paquetes CRC de 256 *bytes* para detección de errores con 3 bits redundantes.

Radía la información a través de una antena helicoidal, sobre una lámina de cobre, usada como la otra mitad de la antena en la Sub banda ISM de Sudamérica dentro del espectro radioeléctrico de la banda UHF. En la Figura 1.11 el diagrama de radiación muestra la forma en la cual radía la antena helicoidal omnidireccional de LoRa. El *hardware* característico del módulo LoRa Ra-01, está representado en la Figura 1.12, en la cual se indica el nombre de los pines disponibles para la comunicación a través de un bus SPI. [15]

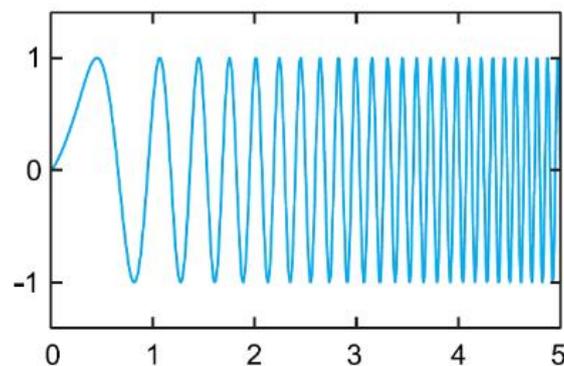


Figura 1.10: Modulación LoRa [16]

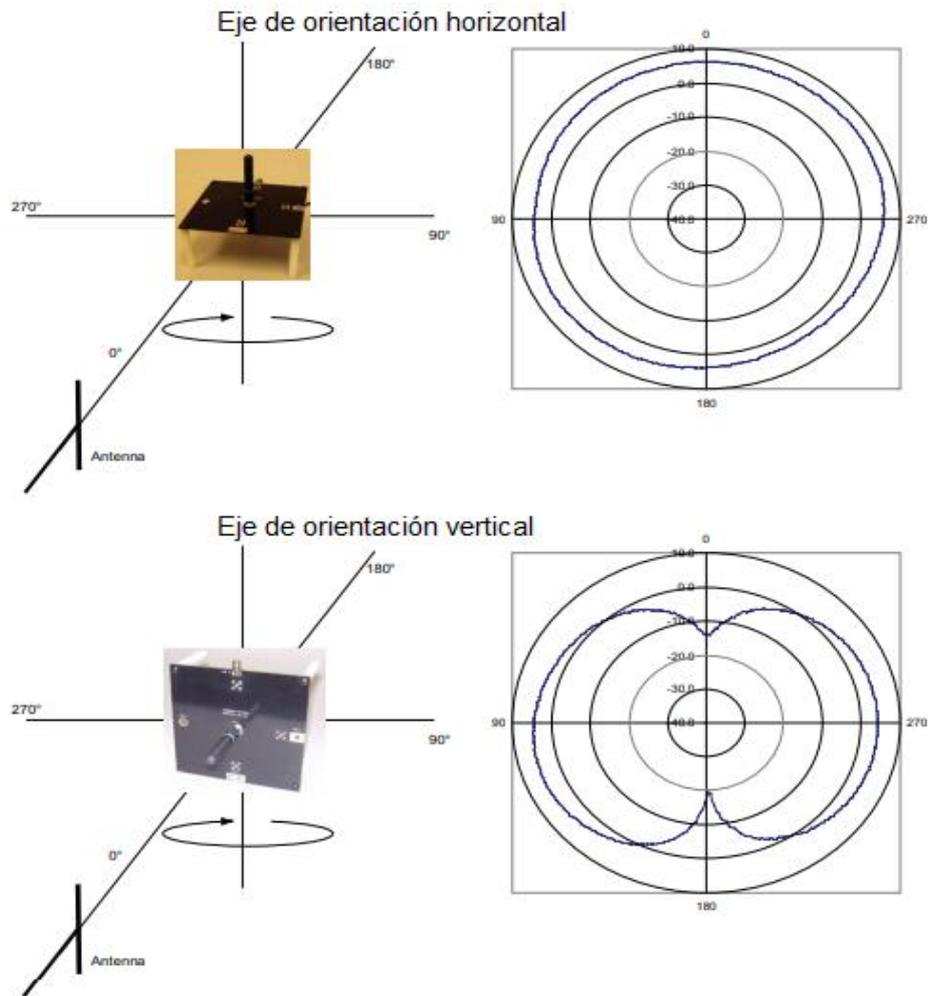


Figura 1.11: Diagrama de radiación antena helicoidal [17]

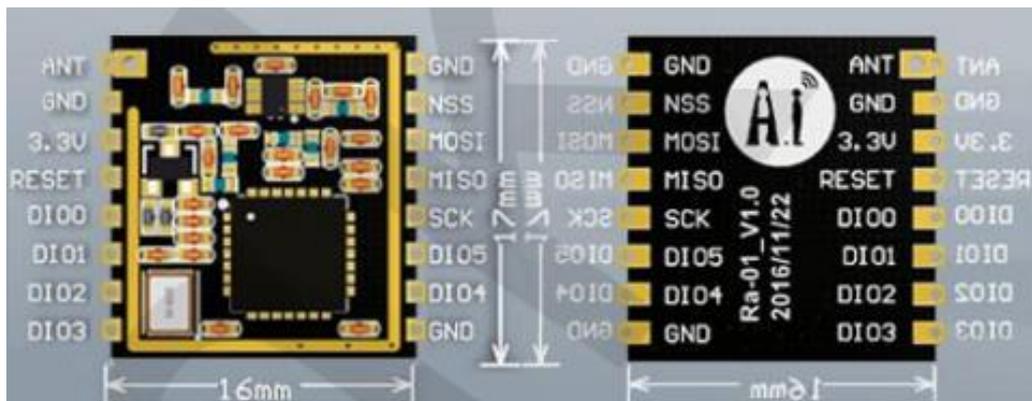


Figura 1.12: Módulo LoRa Ra-01 [15]

En la Tabla 1.6 se muestran las especificaciones del módulo LoRa Ra-01 con las cuales se crean las condiciones requeridas para un óptimo funcionamiento de transceptor.

Tabla 1.6: Especificaciones técnicas módulo LoRa [15]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de operación típica	3.3 V
Tensión de operación mínima	2.5 V
Corriente de funcionamiento de 433 a 470 MHz TX	93 a 97 mA
Corriente de funcionamiento de 433 a 470 MHz RX	12.15 mA
Corriente de funcionamiento de <i>standby</i>	1.6 mA
Sensibilidad	-141 dBm
Banda ISM (<i>Industrial, Scientific and Medical</i>)	410 a 525 MHz
Ancho de banda	125 kHz
Velocidad de bit	300 kbps
Ganancia de la antena	2.5 dBi
Potencia de TX máxima	18 dBm
Impedancia de la antena	50 Ω
Altura	53 mm
Diámetro	5 mm

Módulo RFID PN532

El módulo RFID PN532 fue diseñado por la empresa Texas Instruments. Permite la comunicación con dispositivos RFID ISO14443A y dispositivos NFC (*Near Field Communication*). Los dispositivos que cuentan con comunicación inalámbrica NFC solo pueden intercambiar datos a muy corta distancia en la misma frecuencia que RFID. Esta característica, es la diferencia clave que separa a las dos tecnologías.

El módulo RFID PN532, presentado en la Figura 1.13 incorpora una antena exterior para incrementar su alcance. Además, puede comunicarse a través de buses SPI, I2C y UART; el tipo de protocolo que se usaría es seleccionado con *dip switches*. [18]



Figura 1.13: Módulo RFID PN532 [18]

En la Tabla 1.7 se muestran las especificaciones técnicas del módulo RFID PN532 con las cuales se consigue un óptimo funcionamiento.

Tabla 1.7: Especificaciones técnicas módulo RFID PN532 [19]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de entrada	5.5 V
Tensión de operación típica	5 V
Tensión de operación mínima	2.7 V
Corriente de funcionamiento en la transmisión	60 mA
Corriente de funcionamiento en <i>standby</i>	25 mA
Tensión de puerto I2C	3.3 y 5 V
Impedancia de la antena	50 Ω
Ganancia de la antena	10 dBi
Distancia de comunicación	4 Cm
Frecuencia de operación NFC Y RFID	13.56 MHz

Módulo AD8317

El módulo AD8317 es un dispositivo diseñado por la empresa *Analog Devices*, que permite detectar la envolvente de una señal de entrada de RF. El rango de frecuencias para su funcionamiento es desde 1 MHz hasta 10 GHz, pero el fabricante recomienda el uso dentro del rango de 1 MHz hasta 8 GHz.

La precisión varía debido al error dinámico de ± 1 , ± 3 dB y aumenta con respecto a la frecuencia y potencia suministrada a la entrada. La función decreciente lineal representa la amplitud de la señal de entrada de RF como 22 mv/dBm y su gráfica resultante se puede apreciar en la Figura 1.14.

Los conectores SMA (*Subminiature Version A*), son conectores de cable coaxial de 50 Ω , con los cuales se envía las señales RF y de salida. El módulo presentado en la Figura 1.15 cuenta con un blindaje metálico que protege al circuito, garantizando la calidad y la fiabilidad de la medición de potencia RF. El circuito se alimenta a través de una bornera conectada a un diodo 1N4007 para protección de polaridad inversa. [20]

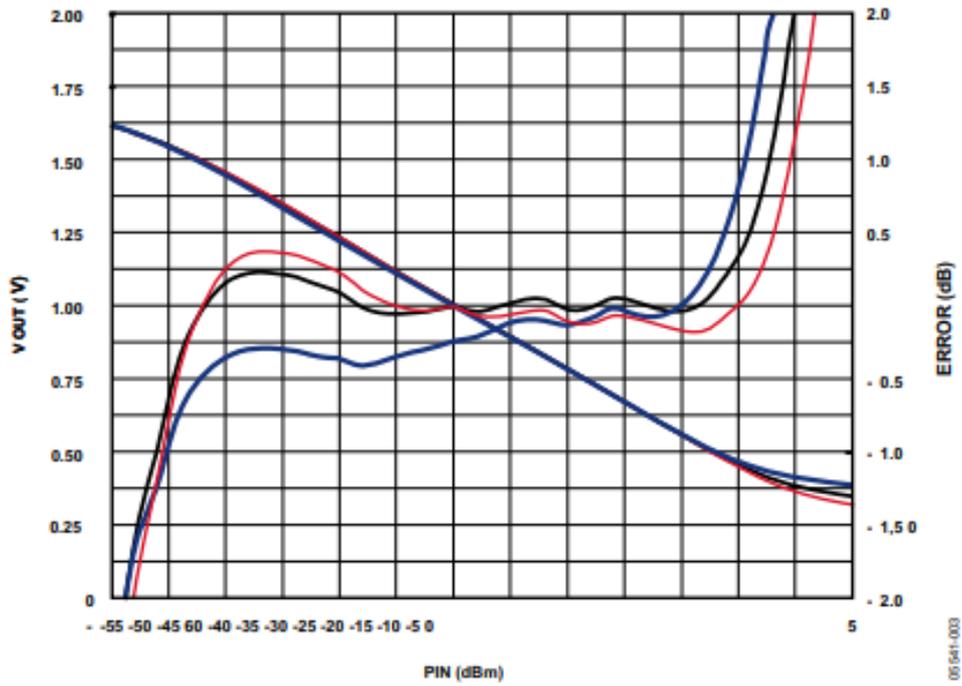


Figura 1.14: Comportamiento del medidor de potencia RF a 900MHz [20]



Figura 1.15: Medidor de potencia RF [21]

En la Tabla 1.8 se muestran las especificaciones técnicas del módulo AD8317 con las cuales se consigue un funcionamiento óptimo. Es prioritario crear las condiciones

necesarias para el funcionamiento del módulo debido a que es un dispositivo sensible. Esta sensibilidad hace que el módulo no sea confiable al traspasar la barrera de los 8 GHz.

Tabla 1.8: Especificaciones técnicas módulo AD8317 [20]

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de entrada	5.7 V
Tensión de operación típica	3.3 V
Tensión de operación mínima	3 V
Corriente de funcionamiento	30 mA
Oscilación de voltaje <i>out</i>	0 ; 1.7 V
Rango de entrada recomendado	0 ; -55 dBm
Rango máximo de entrada	12dBm
Error dinámico	± 1 ; ± 3 dB
Frecuencia	1MHz-10GHz
Tiempo de respuesta	6 nS

Antenas pagoda y trébol

La antena pagoda fabricada por la empresa Realacc, es usada para pilotaje remoto de pequeñas aeronaves en sistemas FPV (*First Person View*). Esta antena es omnidireccional, como se muestra en el diagrama de radiación 3D de la Figura 1.16 y tiene una forma semejante a una edificación asiática llamada pagoda. Como se muestra en la Figura 1.17 su conector SMA permite que esta antena se adapte a los requerimientos de las líneas de transmisión de 50Ω . Tiene una estructura de dos placas con 3 dipolos graficados con color naranja que le dan una polarización LHCP (*Left Hand Circular Polarized*) circular izquierda, como se muestra en la Figura 1.18. [22]

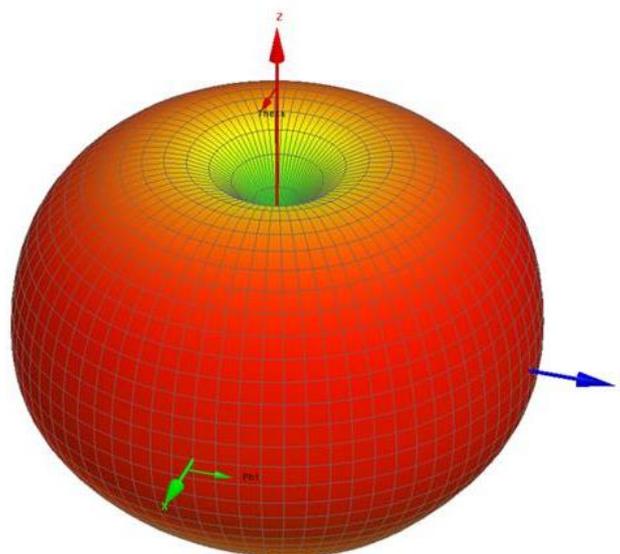


Figura 1.16: Diagrama de radiación omnidireccional en 3D [23]



SMA

Figura 1.17: Antena pagoda [22]

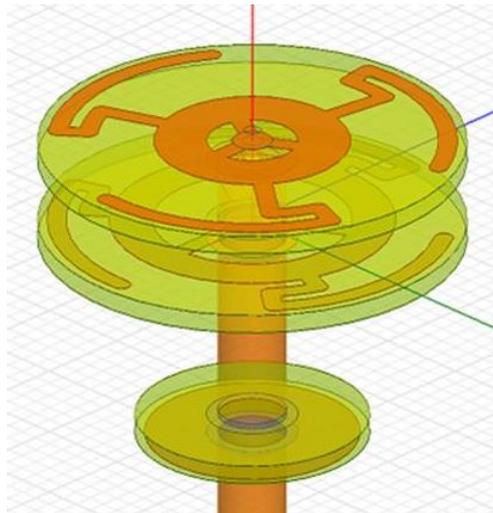


Figura 1.18: Estructura de la antena pagoda [23]

En la Tabla 1.9 se muestran las especificaciones técnicas para la correcta implementación de la antena pagoda en sistemas de transmisión de 50 Ω .

Tabla 1.9: Especificaciones técnicas antena pagoda [22]

PARÁMETRO	VALOR
Frecuencia	5.8 GHz
Ganancia	5 dBi
Impedancia	50 Ω
Potencia máxima	50 W
Conector	SMA macho
Longitud	6.6 Cm
Peso	8 g

La antena trébol, fabricada por la empresa Aomway, es usada para pilotaje remoto de pequeñas aeronaves en sistemas FPV. Como se presenta en la Figura 1.19, la antena tiene una forma semejante a un trébol y su conector SMA permite que se adapte a los requerimientos de las líneas de transmisión de 50 Ω . [24]

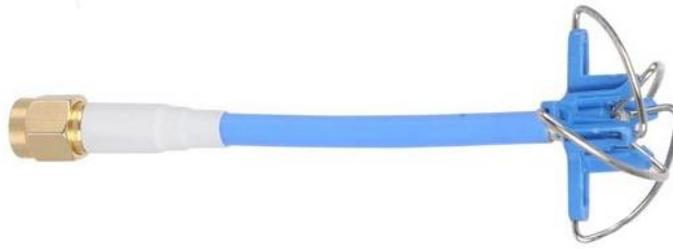


Figura 1.19: Antena trébol [25]

Como se observa en la Figura 1.20, la antena tiene una estructura de 4 pétalos de trébol que forman los dipolos graficados con color naranja. Esta estructura le da a la antena una polarización RHCP (*Right Hand Circular Polarized*) circular derecha omnidireccional. [24]

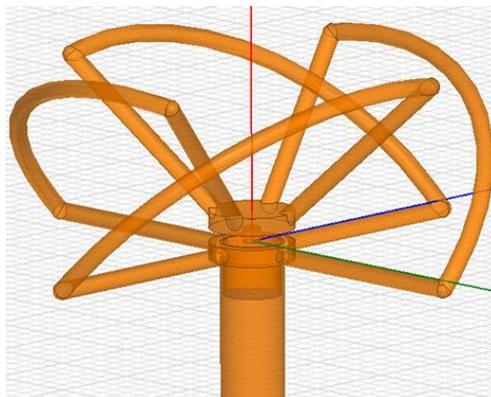


Figura 1.20: Estructura de la antena trébol [23]

En la Tabla 1.10 se muestran las especificaciones técnicas como guía para la correcta implementación de la antena trébol.

Tabla 1.10: Especificaciones técnicas antena trébol [24] [25]

PARÁMETRO	VALOR
Frecuencia	5.8 GHz
Ganancia	3 dBi
Impedancia	50 Ω
Potencia máxima	50 W
Conector	SMA macho
Longitud	8.5 Cm
Peso	9.3 g

Generador de funciones XR 2206

Es un generador de funciones monolítico diseñado por la empresa EXAR, capaz de generar señales seno, cuadrada y triangular. Cuenta con la capacidad de modificar la frecuencia de las señales desde 0.01 Hz hasta más de un 1 MHz [26]; con una distorsión de onda típica del 0.5 % en una senoidal baja. Su estructura está compuesta por un *chip*

de silicio con 16 pines para su funcionamiento, como se ve en la Figura 1.21. En la Tabla 1.1 se resume la función que cumple cada pin del circuito integrado. [27]

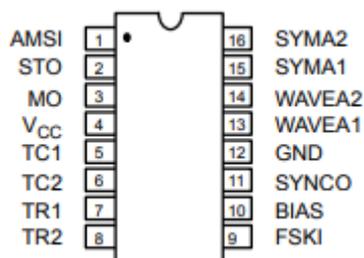


Figura 1.21: Chip XR-2206 [26]

Tabla 1.11: Funciones de los pines [26]

PIN#	SÍMBOLO	TIPO	DESCRIPCIÓN
1	AMSI	I	Entrada de señal moduladora de amplitud.
2	STO	O	Salida de onda sinusoidal o triangular.
3	MO	O	Multiplicador de salida.
4	VCC	-	Fuente de alimentación positiva.
5	TC1	I	Entrada de condensador de temporización.
6	TC2	I	Entrada de condensador de temporización.
7	TR1	O	Resistencia de temporización 1 salida.
8	TR2	O	Resistencia de temporización 2 salida.
9	FSKI	I	Entrada de codificación de cambio de frecuencia.
10	BIAS	O	Referencia de voltaje interno.
11	SYNCO	O	Salida de sincronización.
12	GND	-	Pin de tierra.
13	WAVEA1	I	Ajuste de forma de onda Entrada 1.
14	WAVEA2	I	Ajuste de forma de onda Entrada 2.
15	SYMA1	I	Ajuste de simetría de onda 1.
16	SYMA2	I	Ajuste de simetría de onda 2.

Este *chip* es ideal para operaciones como modulación AM, FM, FSK, y generación de ondas; entre estas ondas se encuentran la senoidal, tipo rampa y cuadrada.

El XR 2206 tiene en su interior cuatro bloques en funcionamiento. El primero es un oscilador controlado por voltaje (VCO), el segundo es un multiplicador analógico y moldeador senoidal, el tercero es un amplificador de búfer de ganancia unitaria y el cuarto es un conjunto de interruptores de corriente [26]. En la Figura 1.22 se observa cómo están constituidos los diferentes bloques, junto con los pines del XR 2206.

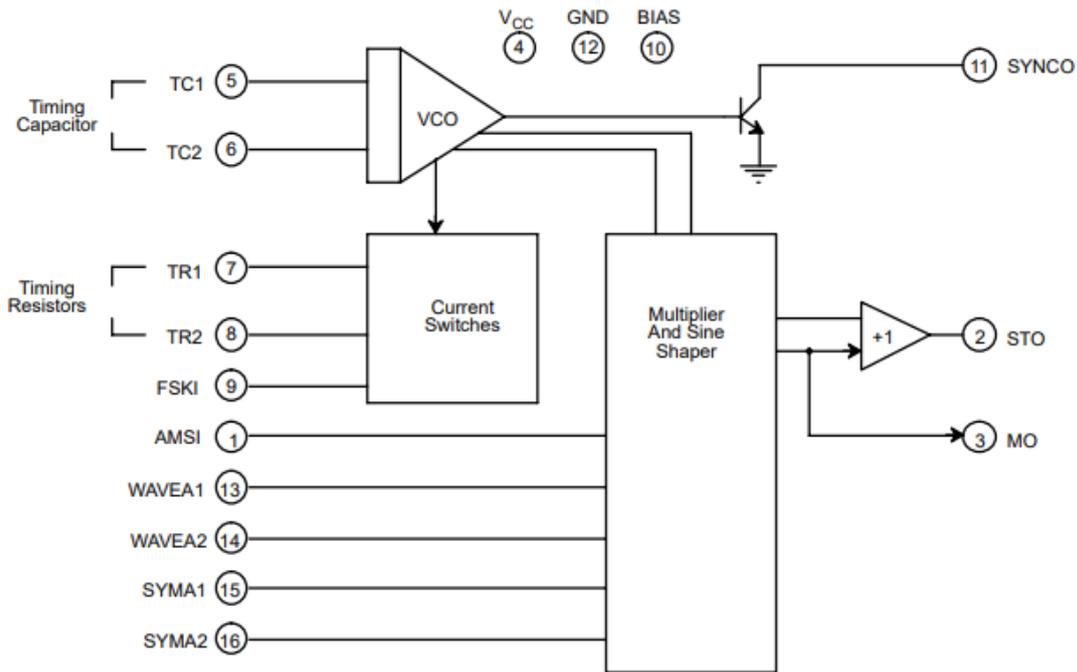


Figura 1.22: Diagrama de bloques del XR 2206 [26]

El bloque de VCO es muy importante ya que produce una frecuencia de salida proporcional a una corriente de entrada, dada en los pines 5 y 6 por una resistencia de sincronización. En la Tabla 1.12 se observa las especificaciones técnicas para el funcionamiento del *chip* XR 2206.

Tabla 1.12: Especificaciones técnicas XR-2206 [27]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de funcionamiento	10 a 26 V
Corriente de funcionamiento	20 mA
Rango de frecuencia	0.01 a más de 1MHz
Temperatura de funcionamiento	-40 a 85 °C

Transistor 2N3904

Es un transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*) de tipo NPN. Tiene tres pines: Base (2), Colector (3) y Emisor (1). Como se observa en la Figura 1.23, para polarizar un transistor se suministra una señal de voltaje menor a la fuente colector-emisor en la base para controlar un mayor suministro de corriente en función a la ganancia adimensional β . Esta capacidad permite al transistor ser un amplificador de señales o comportarse como un *switch*. La fuente externa se conecta entre colector y emisor, positivo colector y negativo emisor. [28]

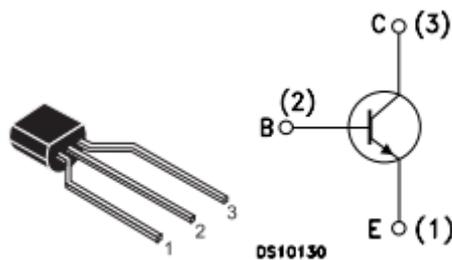


Figura 1.23: Transistor 2N3904 [28]

En la Tabla 1.13 se muestran datos útiles del fabricante para calcular la resistencia que debe ser colocada en la base del transistor.

Tabla 1.13: Especificaciones técnicas transistor 2N3904 [28]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje colector-base	60 V
Voltaje colector-emisor	40 V
Voltaje emisor-base	6 V
Corriente máxima de colector	200 mA
Ganancia de corriente en DC	Ic β
	0.1 mA 60
	1 mA 80
	10 mA 100
	50 mA 60
100 mA 30	
Factor de seguridad	3
Disipación total	625 mW

Regulador AMS1117

Son reguladores lineales SMD (*Surface Mounting Device*), un componente para soldar en la superficie de la baquelita; fabricados por la empresa *Advanced Monolithic Systems*. Tiene la capacidad de ser un regulador ajustable desde los 1.5 V, hasta los 5 V dependiendo la versión. Su aplicación típica, como se observa en la Figura 1.24, lleva un capacitor de 10 uF conectado a Vin y otro capacitor de 22 uF en Vout. [29]

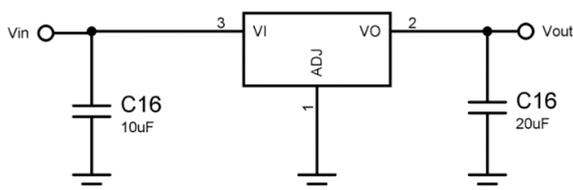


Figura 1.24: Aplicación típica [29]

En la Tabla 1.14 se muestran especificaciones técnicas en las cuales se determinan las condiciones para que el regulador AMS-1117 opere sin sufrir daños.

Tabla 1.14: Especificaciones técnicas regulador AMS-1117 [29]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de entrada	5 a 12 V
Versión del regulador	3.3 y 5 V
Corriente de suministro	1 A
Temperatura de funcionamiento	-20 a 125 °C

Módulo regulador de voltaje LM2596

El módulo LM2596, es un regulador de voltaje conmutado de alta eficiencia cercana al 90%, diseñado por la empresa Texas Instruments. Como se puede observar en la Figura 1.25, un diseño típico está formado por el regulador LM2596, capacitores de 100 uF 50 V para V_{in} y 220 uF 35 V para V_{out} , un diodo de 3 A o superior, un potenciómetro de 10 k Ω y un oscilador 150 kHz. [30]



Figura 1.25: Módulo regulador de voltaje LM2596 [30]

En la Tabla 1.15 se muestran especificaciones técnicas en las cuales se determinan las condiciones para que el módulo regulador LM2596 opere sin sufrir daños.

Tabla 1.15: Especificaciones técnicas regulador de voltaje LM2596 [30]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de entrada máximo	5 a 45 V
Corriente de entrada máxima	3.6 A
Voltaje de salida	1.2 a 37 V
Corriente de suministro	3 A
Temperatura de funcionamiento	-65 a 150 °C

Mini motor 1020 vibrador plano

Es un motor vibrador fabricado por la empresa Shenzhen Chuangxinda Micro Motor Co, para generar vibraciones en celulares como alarma silenciosa. Su forma cilíndrica y compacta, permite ahorrar mucho espacio en los dispositivos que lo usan, como se observa en la Figura 1.26. Para alimentar el mini motor, se dispone de dos cables, uno

color azul (-) y uno color rojo (+); de esta manera, se puede determinar la polaridad para su instalación. [31]



Figura 1.26: Mini motor 1020 vibrador plano [31]

En la Tabla 1.16 se muestran especificaciones técnicas para la implementación del mini motor vibrador plano con un óptimo desempeño.

Tabla 1.16: Especificaciones técnicas Mini motor 1020 vibrador plano [31]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje máximo	5 V
Voltaje de funcionamiento	2.5; 3.5 V
Corriente de arranque	100 mA
Corriente normal	85 mA
Resistencia de los terminales	60 $\Omega \pm 15\%$
Velocidad	120000 rpm

Módulo MOS

Es un módulo que incorpora el Mosfet IRF-520 canal N, creado por la empresa STMicroelectronics. Con la función de circuito *on/off*, se evita la implementación de componentes con partes móviles que sufren desgaste debido a los ciclos de accionamiento como un relé. Como se observa en la Figura 1.27, el módulo cuenta con 3 pines VCC, GND y SIG para control desde una placa Arduino, dos borneras de dos pines para conexión a la fuente VIN, GND y la carga V+, V-. [32]



Figura 1.27: Módulo MOS IRF-520 [32]

En la Tabla 1.17 se muestran especificaciones técnicas para la implementación del módulo MOS.

Tabla 1.17: Especificaciones técnicas Módulo MOS IRF-520 [32]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje DC máximo drenador-fuente V_{DS}	100 V
Voltaje DC máximo compuerta-fuente V_{GS}	20 V
Corriente máxima drenador a 100°C	5 A
Corriente drenador a 25°C	7 A

LED 5050 RGB

El LED R (*Red*), G (*Green*) y B (*Blue*) es un dispositivo electrónico emisor de luz, capaz de mezclar las frecuencias de los colores RGB. Como se puede observar en la Figura 1.28, el LED 5050 es del tipo SMD. Cuenta con una superficie cuadrada de color blanco, con sus pines expuestos a los extremos opuestos. [33]



Figura 1.28: LED 5050 RGB [33]

En la Tabla 1.18 se muestran datos útiles proporcionados por el fabricante para calcular la resistencia que debe ser colocada en el ánodo del diodo LED.

Tabla 1.18: Especificaciones técnicas LED 5050 RGB [33]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de operación máximo	5 V
Voltaje máximo por color recomendado	R 2.4 V G 3.6 V B 3.6 V
Voltaje mínimo por color	R 1.8 V G 1.8 V B 2.8 V
Corriente	10 mA

Batería LiPo

La batería LiPo (*Lithium Polymer*) está compuesta por celdas de litio recargables; generando una capacidad superior a las baterías comunes. Como se observa en la Figura 1.29, su estructura tiene un conector XT 30, un conector para cargar las celdas de forma balanceada y las celdas de energía representadas por la letra (S).

La capacidad de la batería está expresada en mAh, que es la corriente que suministrará la batería de forma constante durante 1 hora. El voltaje de cada batería varía dependiendo del número de celdas, su resistencia interna es creciente y varía dependiendo del tiempo de funcionamiento que lleva batería. [34]



Figura 1.29: Batería LiPo [34]

En la Tabla 1.19 se muestran detalles técnicos útiles proporcionado por el fabricante para calcular la duración de la batería.

Tabla 1.19: Especificaciones técnicas batería LiPo [34]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de máximo	8.4 V
Corriente	2200 mAh
Voltaje de carga	6 V
Clasificación de descarga	25C
Número de celdas	2 S

Batería 3.7 v

La batería Samsung 3.7 V, mostrada en la Figura 1.30, es una batería destinada para el uso del celular GT-E2121/E2121L, por lo cual, como se presenta en la Tabla 1.20, tiene un excelente rendimiento. [35]



Figura 1.30: Batería Samsung 3.7 v [35]

Tabla 1.20: Especificaciones técnicas batería Samsung [35]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje máximo	4.2 V
Corriente	1 Ah

Ventiladores

El ventilador centrífugo genera viento en una trayectoria axial, reduciendo así el espacio utilizado en un circuito electrónico, como se ve en la Figura 1.31. Su principal función es refrigerar la superficie de dispositivos que generen una gran cantidad de calor que pueda dañarlos o reducir su tiempo de vida útil. El ventilador de alta presión, como se observa en la Figura 1.32, genera una salida de aire rápida a través de una estructura cilíndrica estrecha. [36]



Figura 1.31: Ventilador centrífugo [36]

En la Tabla 1.21 se muestran detalles técnicos útiles proporcionados por el fabricante para una correcta implementación del ventilador centrífugo.

Tabla 1.21: Especificaciones técnicas ventilador centrífugo [36]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de operación	5 V
Corriente	170 mA



Figura 1.32: Ventilador de alta presión [36]

Las características de operación sugeridas por el fabricante se presentan en la Tabla 1.22.

Tabla 1.22: Especificaciones técnicas ventilador de alta presión [36]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de operación	12 V
Corriente	120 mA

Módulo generador de señales ADF4351

El módulo generador de señales, fabricado por la empresa *Analog Devices*, tiene un *chip* compacto y de bajo consumo ADF4351. Para determinar la frecuencia y potencia se dispone de dos pines, un *DATA* y un *CLK* con los cuales se envía la información desde un microcontrolador con los pines MOSI y CLK del bus SPI. Como se observa en la Figura 1.33, el módulo cuenta con 4 pines para salida de la señal A+, A- y B+, B-.

Su pantalla OLED permite tener información gráfica del nivel de potencia y la frecuencia; se puede energizar a través de un *jack* DC 5 V o con un puerto mini USB tipo B. Tiene un pequeño *switch on/off* para su funcionamiento, 5 botones *OK* (aceptar), *L* (izquierda), *R* (derecha), *UP* (arriba), *DW* (abajo), que permiten al usuario modificar los parámetros de frecuencia y potencia. [37]

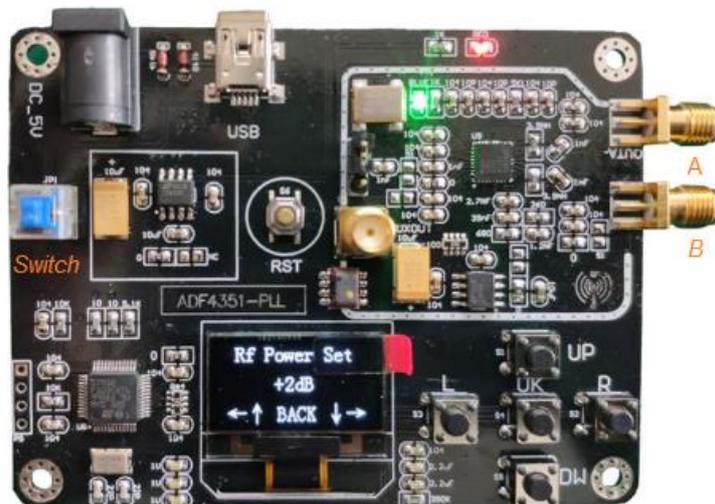


Figura 1.33: Generador de señales ADF4351 [38]

En la Tabla 1.23 se muestran detalles técnicos útiles proporcionados por el fabricante para crear las condiciones óptimas de funcionamiento del módulo generador de señales ADF4351. Además, se proporciona los rangos de funcionamiento de potencia y frecuencia disponibles en las configuraciones del módulo.

Tabla 1.23: Especificaciones técnicas generador de señales ADF4351 [37]

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de operación	5 V
Corriente	130 mAh
Potencia máxima	5 dB
Potencia mínima	2 dB
Frecuencia máxima	4.4 GHz
Frecuencia mínima	35 MHz
Error de frecuencia	± 1 kHz

2 METODOLOGÍA

El análisis realizado durante todo el proceso de selección de las tecnologías, se enfocó en el estudio del contenido de los PEAs. Donde, se seleccionó las materias de tercero y cuarto semestre mostradas en la Tabla 2.1, que involucran contenido referente a transmisión inalámbrica. Las materias, se seleccionaron en los semestres tercero y cuarto debido a que en estos niveles se consideró, que las materias necesitan un enfoque más práctico para que los estudiantes tengan una mejor comprensión en el estudio de sistemas de transmisión inalámbrica.

En estas materias, se identificó la necesidad de implementar una herramienta en temas de estudio que involucren propagación de ondas electromagnéticas, tecnologías inalámbricas y sistemas de modulación AM y FM. Esto facilitará la comprensión del contenido de las materias en los estudiantes que tienen una visión amplia de contenido teórico.

Tabla 2.1: Análisis de materias

SEMESTRE	MATERIA	TEMA	Capítulo
3er semestre	Propagación y antenas	Propagación de ondas electromagnéticas	2
4to semestre	Comunicaciones Inalámbricas	Tecnologías inalámbricas	2 y 3
4to semestre	Comunicaciones Analógicas y Digitales	Sistemas de modulación AM y FM	2

Los diseños de cada componente tecnológico seleccionado se desarrollaron en función de los requerimientos de la calidad, eficiencia, condiciones de trabajo y espacio. Tomando en cuenta los requerimientos, se optó por la implementación de tecnología SMD y métodos de construcción de circuitos PCB a doble capa. Las tecnologías y métodos implementados facilitaron la reducción de tamaño de los circuitos, manteniendo una alta calidad del resultado.

Una vez terminada la implementación, se procedió a realizar pruebas de cada una de las funcionalidades incorporadas en el módulo interactivo, pudiendo así realizar los ajustes necesarios para obtener un funcionamiento óptimo.

En la Figura 2.1 se presenta el diagrama de procesos que se realizó en el proyecto.



Figura.2.1: Diagrama de procesos del proyecto

2.1 Metodología Exploratoria

Se usó la metodología exploratoria, al analizar los PEAs de la carrera de Tecnología Superior en Redes y Telecomunicaciones. De este modo, se seleccionó algunas materias que se determinó como prácticas con temas que involucran tecnologías inalámbricas, sistemas de modulación AM y FM y propagación de ondas electromagnéticas. Determinados los temas, se investigó las tecnologías disponibles en el mercado relacionadas con IoT que cumplan con los temas seleccionados.

Se seleccionó dispositivos de interfaz inalámbrica como la tecnología LoRa, RFID y medidor de potencia RF y así cubrir los temas seleccionados. Para la modulación AM y FM se investigaron los diseños propuestos por la marca EXAR y su *chip* XR2206 generador de ondas. Se creó un circuito independiente de los módulos inalámbricos con el objetivo de blindar los moduladores. Adicional, se integró una interfaz HMI para la interacción del usuario-máquina y se proyectó los datos recibidos a través de una interfaz *Ethernet*.

Los dispositivos seleccionados se controlaron a través de placas Arduino Nano y Mini, por ser placas que cuentan con un entorno de desarrollo integrado. El entorno permite el manejo de librerías desarrolladas para el control de dispositivos periféricos con un lenguaje C++ amigable.

2.2 Metodología Experimental

Llevar a cabo el proyecto, derivó múltiples pruebas con los dispositivos que se encuentran en el módulo interactivo. Se realizaron pruebas con los módulos LoRa, en diferentes condiciones verificando así el alcance. Los moduladores se diseñaron y construyeron en base a ensayos hechos con diferentes esquemas de circuitos. Se manipuló varios parámetros para encontrar el desempeño óptimo de los diferentes dispositivos como la ubicación de los módulos periféricos en la estructura y los reguladores de voltaje.

Finalizados los ensayos, se procedió a tomar nota de los datos resultantes y así determinar las capacidades de cada dispositivo del módulo interactivo. Con la metodología experimental, se pudo adquirir información esencial para determinar los cambios que genera la variación de los parámetros: potencia y frecuencia para RF y LoRa, así como frecuencia y amplitud para modulación.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El módulo interactivo desarrollado a través del presente proyecto, es una herramienta didáctica, para que un profesor pueda enseñar su materia de forma más práctica. Por lo cual, se llevó a cabo la creación de prácticas de modulación AM y FM, control de acceso, transmisión inalámbrica con tecnología LoRa y medición de potencia RF. Todo esto con el objetivo de dar al estudiante un enfoque práctico, vinculando la teoría revisada en clase. Para el desarrollo de modulación AM y FM, el docente podrá demostrar mediante un osciloscopio la variación de amplitud y frecuencia, teniendo la capacidad de variar parámetros de la señal de entrada, mediante potenciómetros de control.

Además, con el acceso RFID podrá demostrar la aplicación de los dispositivos de reconocimiento por radiofrecuencia en sistemas de seguridad. Por otro lado, al realizar la clase de medición de potencia RF, se podrá demostrar la incidencia de la distancia sobre, la potencia medida. Con los transceptores LoRa, tecnología inalámbrica ampliamente utilizada en aplicaciones IoT, el docente podrá demostrar la incidencia de varios factores sobre los resultados de la medición de RSSI y SNR como: los obstáculos, frecuencia y potencia de transmisión. Estas prácticas fueron desarrolladas exitosamente, llevando al límite a todas las tecnologías incorporadas, cumpliendo así los requerimientos de calidad y eficiencia en condiciones de trabajo continuo. Las prácticas están detalladas en el ANEXO C.

3.1 Diseño

Diagrama de bloques del contenido del módulo interactivo

El diagrama de bloques mostrado en la Figura 3.1, contiene todos los dispositivos que conforman al módulo interactivo. Además, permite identificar la importancia y el intercambio de información que existe entre dispositivos al interior del módulo interactivo.

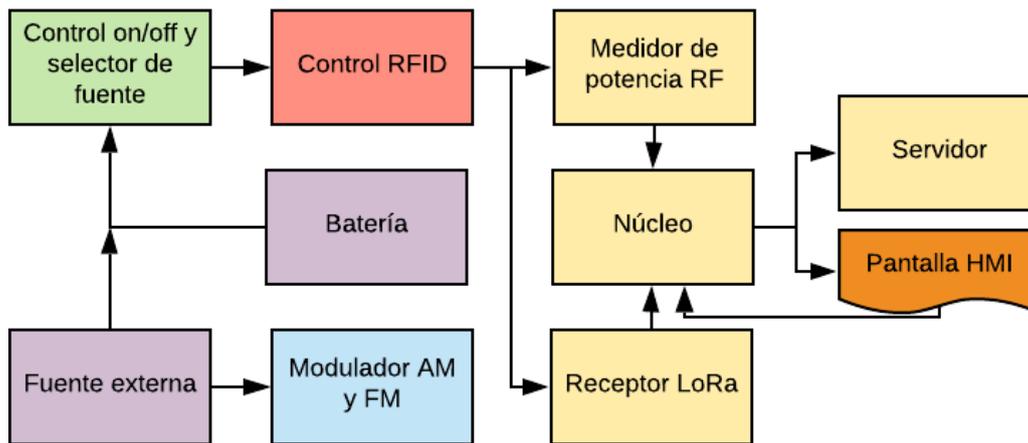


Figura 3.1: Diagrama de bloques del contenido del módulo interactivo

Diseño del *hardware*

Para el diseño, se seleccionó una carcasa que se adecúe a los requerimientos de espacio y adaptabilidad del módulo interactivo. La cual, como se presenta en la Figura 3.2, cumple con el espacio requerido para el montaje de los componentes por tener las siguientes medidas: largo 19 Cm, ancho 25.5 Cm y altura 8 Cm. Su estructura plástica permite realizar perforaciones para adaptar los pequeños módulos en el espacio disponible.

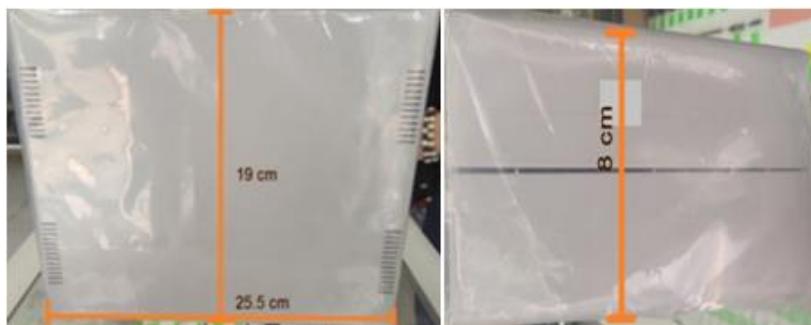


Figura 3.2: Estructura del módulo

El módulo interactivo alberga los siguientes dispositivos: receptor LoRa, medidor de potencia RF, control de acceso, servidor y modulador. Tomando en cuenta las medidas

de los elementos, se procedió a realizar su diseño en 3D. El receptor LoRa se encuentra ubicado estratégicamente en el centro de la parte superior del módulo interactivo, junto al medidor de potencia RF. El servidor se encuentra en la parte posterior izquierda del módulo interactivo. Los moduladores se ubican en la parte izquierda, cuentan con una salida BNC, dos *switches* de control, dos borneras de la señal modulante y los potenciómetros para su calibración.

El diseño proporcionó una visión física de la estructura en la cual se distribuyó todas las tecnologías seleccionadas. Como se ve en la Figura 3.3, el programa AutoCad, permitió realizar un diseño 3D que muestra al módulo interactivo ensamblado.

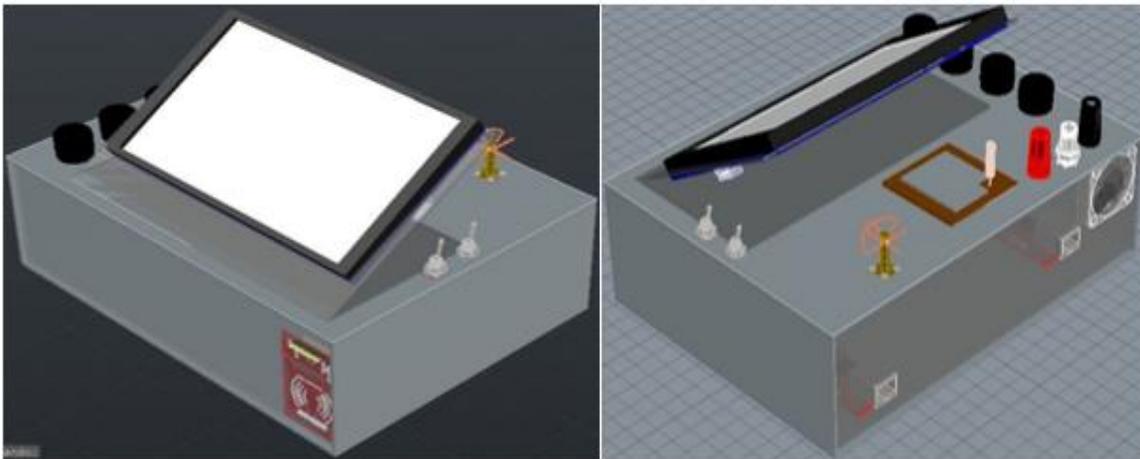


Figura 3.3: Diseño en 3D módulo interactivo

La estructura del transmisor LoRa de la Figura 3.4, es compacta y su cubierta superior está hecha de acrílico de 4 mm. Los botones de interacción se ubicaron de acuerdo con los siguientes colores: menú (rojo), guardar y salir (amarillo), arriba (verde) y abajo (verde). La pantalla OLED se ubica al centro y el transceptor LoRa en la esquina superior izquierda. Los LEDs de señalización se ubicaron bajo la cubierta roja y el puerto de carga se ubicó en la esquina lateral inferior.

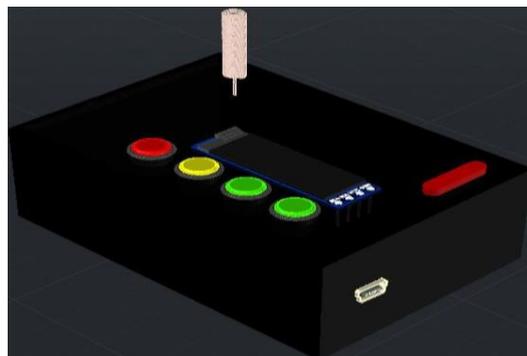


Figura 3.4: Diseño en 3D transmisor LoRa

Esquema electrónico

- **Esquema electrónico del módulo RFID PN532**

El esquema electrónico de la Figura 3.5, se diseñó como un circuito independiente de la placa madre, debido a la ubicación que debe tener para la comodidad del usuario. La comunicación con el Arduino Mini, es a través de un cable tipo bus, como se observa en la Figura 3.6. El bus I2C, dispone de dos resistencias *pull up* SDA Y SCL, ubicadas en la placa madre. Estas se calculan de acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante *Texas Instruments*, para evitar que existan niveles lógicos que no puedan ser identificados por el Arduino Mini [39].

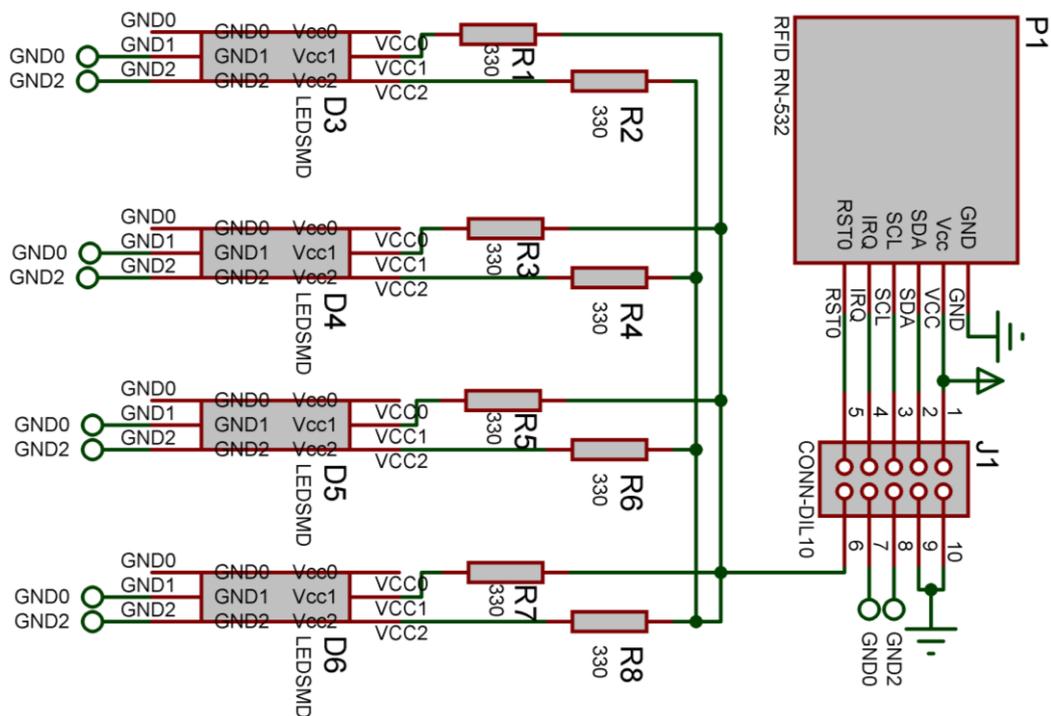


Figura 3.5: Esquema electrónico del módulo RFID PN532

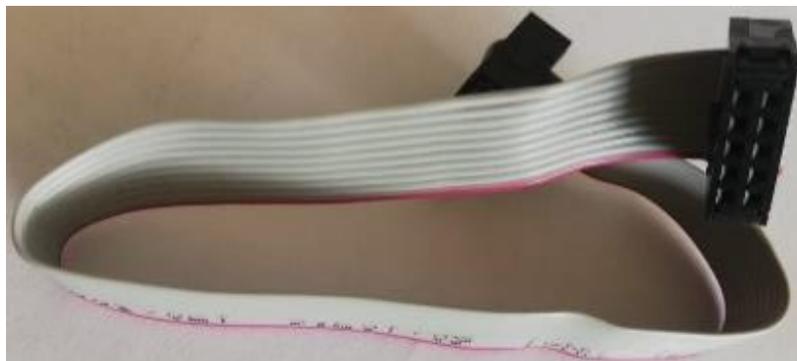


Figura 3.6: Cable y conector de bus de datos 5x2

Cálculo de resistencia *pull up* del bus de datos I2C

Resistencia máxima:

Tiempo de subida máximo $T_r = 1 \mu\text{s}$ [39]

Capacitancia del bus $C_b = 200 \text{ pF}$ [39]

$$R_p(\text{max}) = \frac{T_r}{0.8473 \times C_b} = 5,9 \text{ k}\Omega$$

Ecuación 3.1: Fórmula para el cálculo de resistencia *pull up* máxima [39]

Resistencia mínima:

Voltaje de alimentación $V_{cc} = 5 \text{ V}$ [39]

Voltaje de salida de bajo nivel $V_{ol} = 0.4 \text{ V}$ [39]

Corriente de salida de bajo nivel $I_{ol} = 3 \text{ mA}$ [39]

$$R_p(\text{min}) = \frac{V_{cc} - V_{ol}}{I_{ol}} = 966,6 \Omega$$

Ecuación 3.2: Fórmula para el cálculo de resistencia *pull up* mínima [39]

La resistencia de *pull up* puede ser seleccionada dentro del rango de $966,6 \Omega$ hasta $5,9 \text{ k}\Omega$. La resistencia comercial dentro del rango en SMD es $4.7 \text{ k}\Omega$.

El esquema cuenta con 4 LEDs RGB SMD, cuyos colores funcionan como señalización en el módulo interactivo. Los colores utilizados son: rojo para permiso denegado en el cual se mantiene apagado el módulo y verde para permiso concedido en el cual se enciende el módulo. Las resistencias para los LEDs, se calcularon de acuerdo a los datos de corriente y voltaje proporcionados en la Tabla 1.18 del marco teórico con un voltaje V_{cc} regulado de 5 V .

$V_{led} = 1.8 \text{ V}$; $I = 10 \text{ mA}$

$$R = \frac{V_{cc} - V_{led}}{I_{led}} = 320 \Omega$$

Ecuación 3.3: Fórmula para el cálculo de una resistencia para un LED

La resistencia comercial más cercana en SMD es 330Ω .

El circuito impreso en ARES de la Figura 3.7, se diseñó con el objetivo de reducir la cantidad de espacio requerido para las conexiones del módulo RFID. Para lograr eso,

se optó por usar tecnología SMD y las capas *Top* y *Bottom copper* que cuentan con su plano de GND.

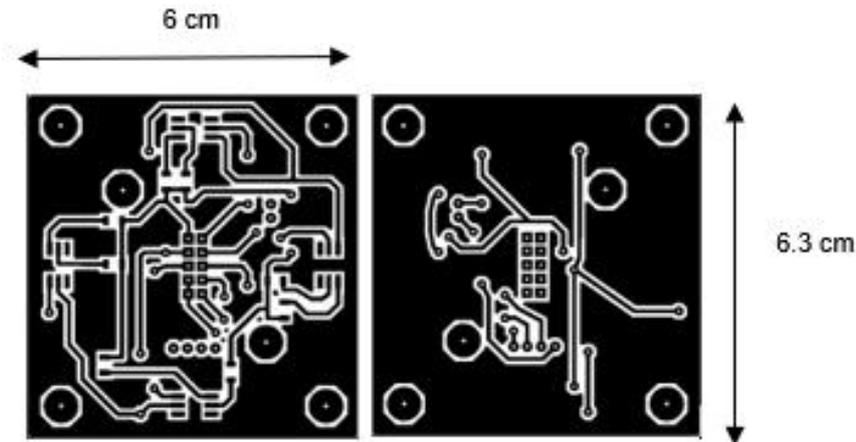


Figura 3.7: Circuito impreso módulo RFID

- **Esquema electrónico del módulo transmisor LoRa**

El esquema electrónico, se diseñó como un circuito independiente móvil utilizando al Arduino Mini, en su versión 3.3 V, alimentado por una batería de 3.7 V. Su conector de carga es un puerto USB-B, alimentado con una fuente de 5 V. Debido al voltaje de operación del Arduino Mini, toda la placa recibe una tensión estándar de 3.3 V con el regulador AMS1117.

El diseño cuenta con dos diodos 1N4007 como protección para evitar una polarización inversa. El circuito incluye un *buzzer* como señalización auditiva y un motor vibrador plano como alarma silenciosa para el usuario. La resistencia en la base del transistor se calcula de acuerdo con la corriente requerida por el motor vibrador I_c de la Tabla 1.16 del marco teórico y los datos del transistor 2N3904 de la Tabla 1.13 del marco teórico [40]:

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = 3.33 \text{ mA}$$

Ecuación 3.4: Fórmula para el cálculo de la corriente en la base [40]

Corriente multiplicada por el factor de seguridad

$$I_b = 10 \text{ mA}$$

$$V_{\text{fuente}} - V_{\text{barrera de SI}} = I_b * R_b$$

Ecuación 3.5: Fórmula para el cálculo de la resistencia de la base [40]

$$3.3 - 0.7 = 10 \text{ mA} * R_b$$

$$R_b = 260 \Omega$$

El valor comercial en SMD más cercano es 330Ω . El vibrador cuenta con un condensador de desacople de $10\mu\text{F}$, recomendado por el fabricante para filtrar cualquier armónico que pueda generar el arranque. [31]

Las resistencias para los LEDs SMD, se calcularon de acuerdo con los datos de corriente y voltaje proporcionados en la Tabla 1.18 del marco teórico con un voltaje V_{cc} regulado de 3.3 V .

$$V_{led} = 1.8 \text{ V} ; I = 10 \text{ mA}$$

$$R = \frac{V_{cc} - V_{led}}{I_{led}} = 150 \Omega$$

Ecuación 3.6: Fórmula para el cálculo de una resistencia para un LED

El fusible se dimensionó de acuerdo con la sumatoria de la corriente requerida de cada dispositivo integrado a la placa y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Corriente total requerida} = 464 \text{ mA} + 25\%$$

$$\text{Fusible} = \text{Corriente total requerida} + 25\%$$

Ecuación 3.7: Fórmula para el cálculo del fusible

$$\text{Fusible} = 580 \text{ mA}$$

El valor comercial más cercano en SMD es 1 A a 7 V .

El transceptor LoRa, es capaz de transmitir paquetes de información continuos que permiten la medición de los parámetros RSSI y SNR en el receptor. El diseño posee un LED (azul) de error que enciende si hay un daño en el transmisor, un LED (RGB) cuyo color varía dependiendo el estado en el que se encuentra el módulo tran

smisor, estado (menú) color rojo, estado (transmitiendo) intermitencia color verde.

Todos los dispositivos mencionados, se encuentran implementados en el esquema de la Figura 3.8. El diseño en ARES de la Figura 3.9, cuenta con dos capas *top* y *bottom copper* blindadas con un plano de GND que albergan a todos los dispositivos que componen el módulo transmisor LoRa.

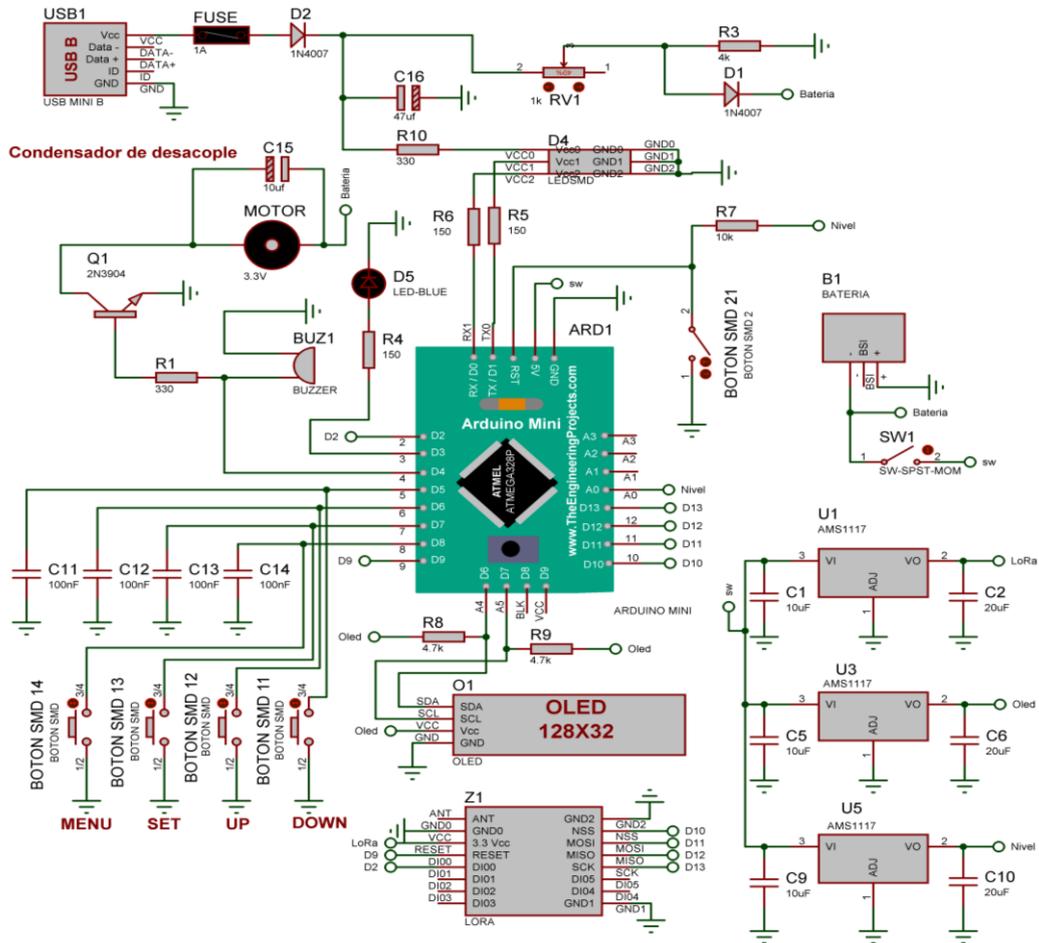


Figura 3.8: Esquema electrónico módulo transmisor LoRa

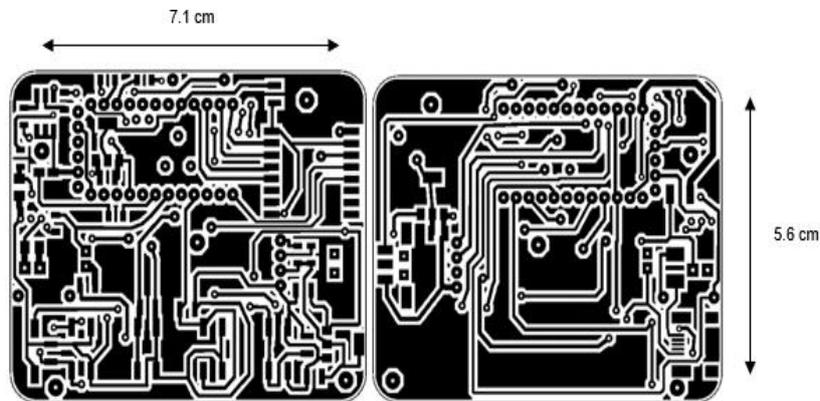


Figura 3.9: Circuito impreso módulo transmisor LoRa

El cálculo de duración de la batería se realizó de acuerdo con la corriente requerida por los componentes que funcionan continuamente en el módulo transmisor LoRa. Los componentes que funcionan de forma continua son: Arduino Mini, Transceptor LoRa, la pantalla OLED y un LED.

El dato de corriente hora suministrada por la batería I_b , es proporcionado en la Tabla 1.20, del marco teórico.

Corriente de los componentes $I_c = 264 \text{ mA}$

$$\text{Tiempo} = \frac{I_b \text{ Ah}}{I_c}$$

Ecuación 3.8: Fórmula para el cálculo del tiempo de duración de la batería

Tiempo = 3.8 h

La batería es capaz de funcionar un tiempo aproximado de 3.8 horas.

- **Esquema electrónico del módulo receptor LoRa**

El esquema electrónico de la Figura 3.10, se diseñó como un circuito independiente de la placa madre. Para establecer la comunicación entre el Arduino Nano y el transceptor LoRa, se incluyó un bus de comunicación 5x2. La iluminación en la placa del receptor está configurada por un LED SMD color azul y una resistencia de 330 Ω .

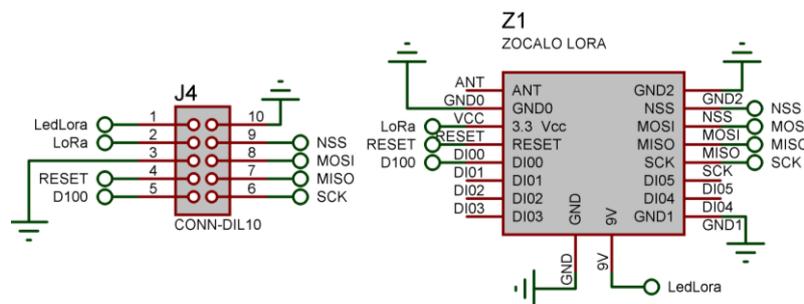


Figura 3.10: Esquema electrónico del módulo receptor LoRa

El circuito impreso presentado en la Figura 3.11, se diseñó con las capas *top* y *bottom copper*, protegido por un plano de GND.

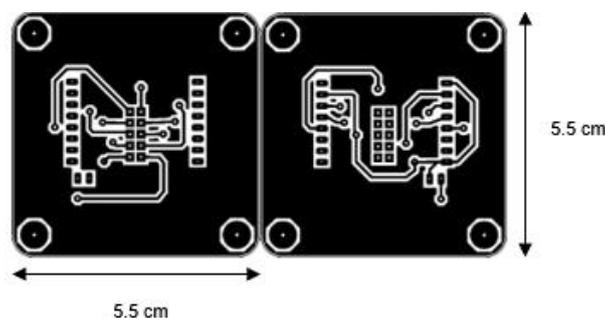


Figura 3.11: Circuito impreso módulo receptor LoRa

- **Esquema electrónico placa madre**

El esquema electrónico está dividido en control de acceso, control *on/off*, núcleo y servidor. Se diseñó como un circuito que centraliza los procesos, reduciendo el espacio

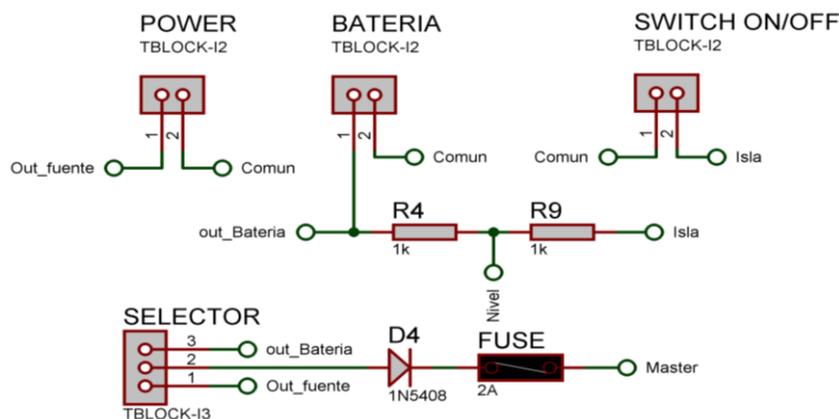


Figura 3.13: Esquema electrónico control *on/off*

Como se observa en el siguiente cálculo, el divisor de tensión garantiza que, el nivel de voltaje medido en la batería por el pin analógico del Arduino Mini, no traspase la barrera de los 5 V. El dato de voltaje máximo de la batería, es proporcionado en la Tabla 1.19 del marco teórico

Nota: El voltaje del nivel debe ser un valor seleccionado bajo la barrera de los 5V.

$$\text{Nivel} = 4.2 \text{ V}$$

$$R4 = 1 \text{ k}\Omega$$

Fórmula del divisor de tensión

$$\text{Nivel} = \frac{R9}{R4 + R9} V_{\text{máximo de batería}}$$

Ecuación 3.9: Fórmula para el cálculo de una resistencia para el divisor de tensión

$$R9 = \frac{R4 * \text{Nivel}}{V_{\text{máximo de batería}} - \text{Nivel}}$$

$$R9 = 1 \text{ k}\Omega$$

Nivel no pasa la barrera de los 5 V; por lo tanto, el valor de resistencia es 1 kΩ

El *switch* selector se conectó a un diodo 1N5408, cuya capacidad es de 3 A para impedir una polarización inadecuada que pueda dañar los dispositivos de la tarjeta madre. El fusible se determinó con la corriente de funcionamiento del módulo interactivo, como se calcula a continuación.

$$\text{Fusible} = \text{Corriente de funcionamiento} + 25\%$$

Ecuación 3.10: Fórmula para el cálculo del fusible

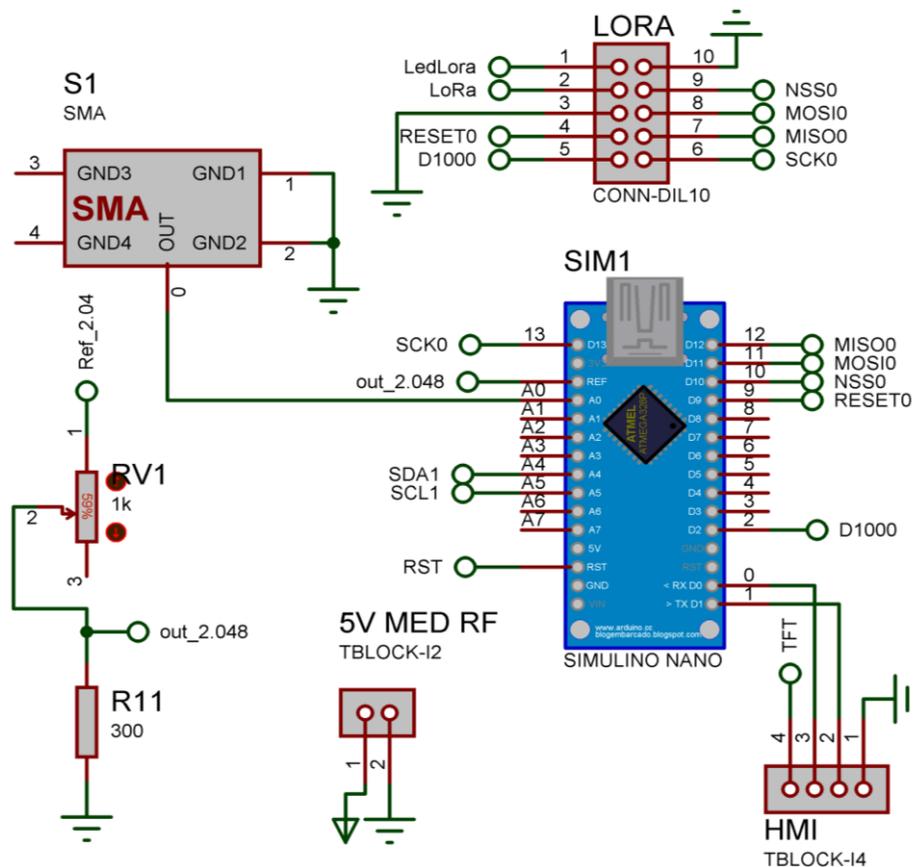
$$\text{Fusible} = 1.7 + 0.425$$

$$\text{Fusible} = 2.125 \text{ A}$$

Fusible comercial en SMD más cercano es 2 A.

El núcleo, es el único diseño donde convergen los datos del receptor LoRa, medidor de potencia RF y pantalla HMI. Su esquema electrónico, presente en la Figura 3.14, está constituido por un conector SMA para placa que recibe la señal analógica del medidor de potencia RF. El Arduino Nano, tiene una referencia de voltaje externa de 2.048 V debido a que la señal analógica de salida del medidor de potencia RF, no supera los 2 V. Esto permite al convertor A/D, tomar una mayor cantidad de muestras dentro del rango de voltaje de referencia.

El diseño cuenta con una conexión a través de un bus de datos 5x2 hacia el receptor LoRa, una fuente regulada que suministra 5V al medidor de potencia RF y mantienen una conexión con la pantalla HMI a través de los pines UART del Arduino Nano. La conexión para la alimentación de la pantalla HMI, tiene una tensión no regulada debido al alto consumo de la pantalla; para solventar el problema, se instaló un módulo regulador de voltaje externo LM2596.



El cálculo de las resistencias para el divisor de tensión que suministra el voltaje de referencia V_{ref} para el convertor A/D, se realizó de acuerdo con el voltaje V_f proporcionado por el regulador AMS1117 de 3.3 V de acuerdo con la Tabla 1.14, del marco teórico.

Voltaje de referencia $V_{ref} = 2.048 \text{ V}$ [41]

$R_{11} = 330 \Omega$

$$RV1 = \frac{R_{11} * V_{ref}}{V_f - V_{ref}}$$

Ecuación 3.11: Fórmula para el cálculo de la resistencia para el divisor de voltaje

$RV1 = 539.8 \Omega$

Para obtener el valor exacto de resistencia se usó un potenciómetro de precisión de valor 1 k Ω .

El esquema del servidor presentado en la Figura 3.15, posee un diseño estructurado por un Arduino Mini y un módulo *Ethernet* ENC28J60, comunicado a través de un bus I2C, donde se reciben todos los datos procesados listos para ser presentados. El módulo *Ethernet* es refrigerado por un ventilador debido al calor generado por la constante transmisión de datos con intervalos de 1 segundo. El diseño cuenta con un *reset* externo que se conecta al núcleo y servidor, facilitando el reinicio de manera simultánea.

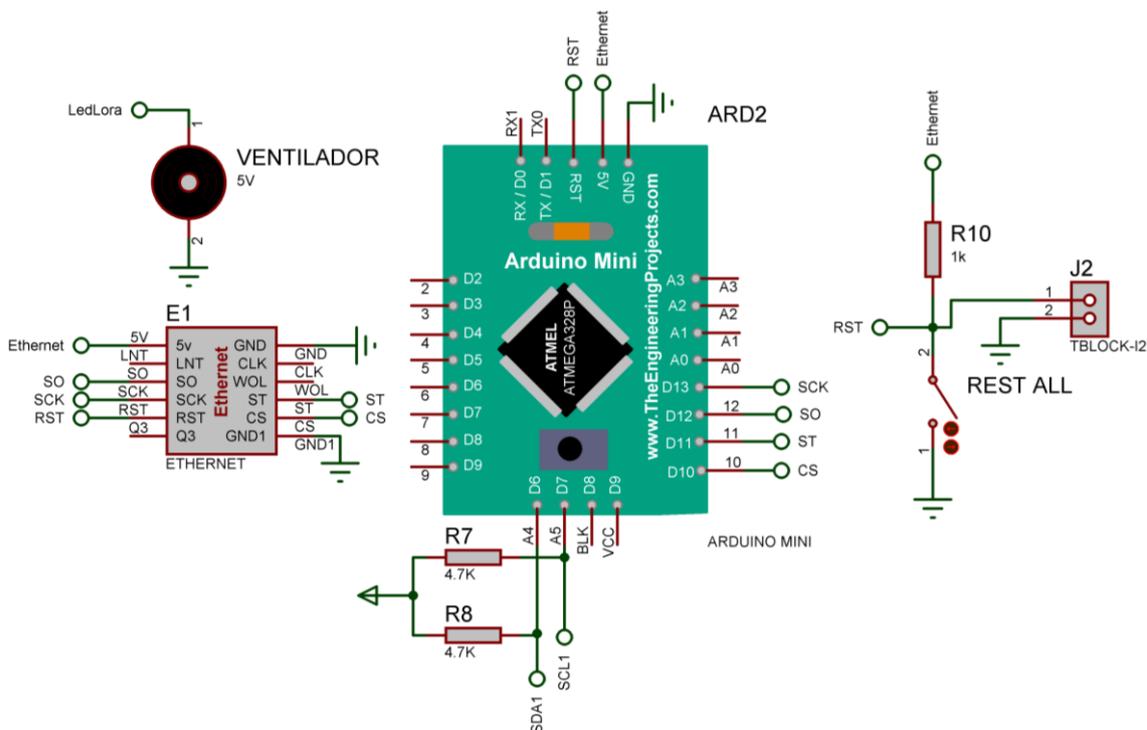


Figura 3.15: Esquema electrónico del servidor

Para alimentar todos los circuitos, se cuenta con la batería LiPo, que se seleccionó por su reducido tamaño y por los amperios hora suministrados. Además, se cuenta con una fuente externa de 12 V a 2 A seleccionada por la corriente requerida por el módulo. El cargador de la batería es de tipo *Ethernet* debido al método de carga balanceada que necesita una batería LiPo, esto requiere de 3 cables dedicados al monitoreo de las celdas. La fuente reguladora de 5 y 3.3 V presentada en la Figura 3.16, se incluyó en el diagrama de acuerdo con los diseños del fabricante del regulador AMS1117, para regular el voltaje suministrado por la batería y la fuente. [29]

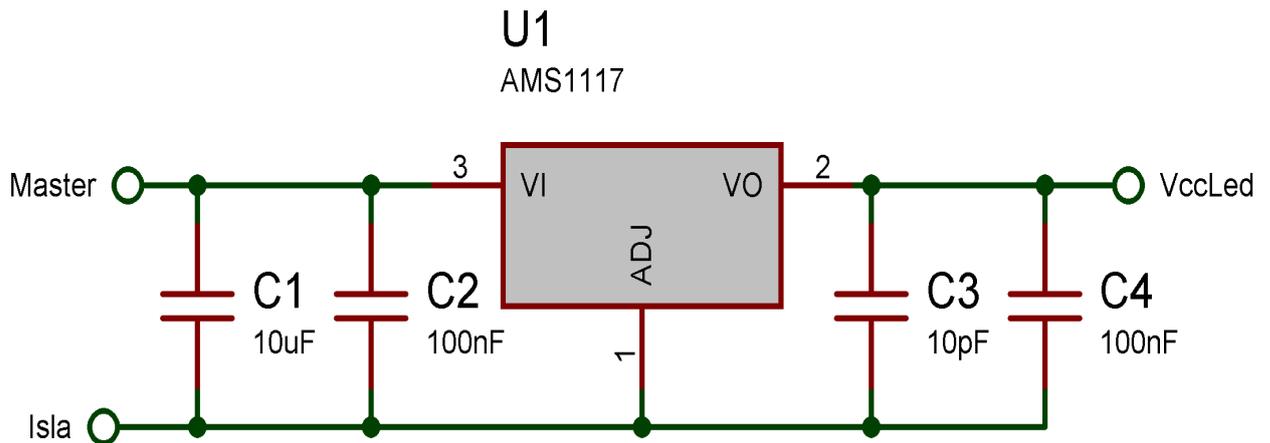


Figura 3.16: Fuente reguladora de 5 y 3.3 V

El cálculo de duración de la batería se realizó de acuerdo con la corriente requerida por los componentes I_c que funcionan con la batería como fuente opcional. La corriente hora suministrada por la batería I_b , se encuentra en la Tabla 1.19 del marco teórico.

Corriente de los componentes $I_c = 1.64 \text{ A}$

$$\text{Tiempo} = \frac{I_b \text{ Ah}}{I_c}$$

Ecuación 3.12: Cálculo de duración de la batería

Tiempo = 1.34 h

La batería es capaz de funcionar un tiempo aproximado de 1.34 horas, pero el valor estimado de voltaje recomendado por el fabricante no debe ser inferior a los 6 V. Es por esta razón que se estimó el tiempo de funcionamiento en 45 min, de acuerdo con las pruebas realizadas y las muestras tomadas con el dispositivo denominado salvalipos. De esta manera, se aseguró que el voltaje de la batería no sea inferior a 6 V, alargando su tiempo de vida útil.

El circuito impreso de la placa madre presentado en la Figura 3.17, abarca las funciones de control de acceso, núcleo y servidor; de esta forma, todos los procesos son centralizados en una sola placa PCB.

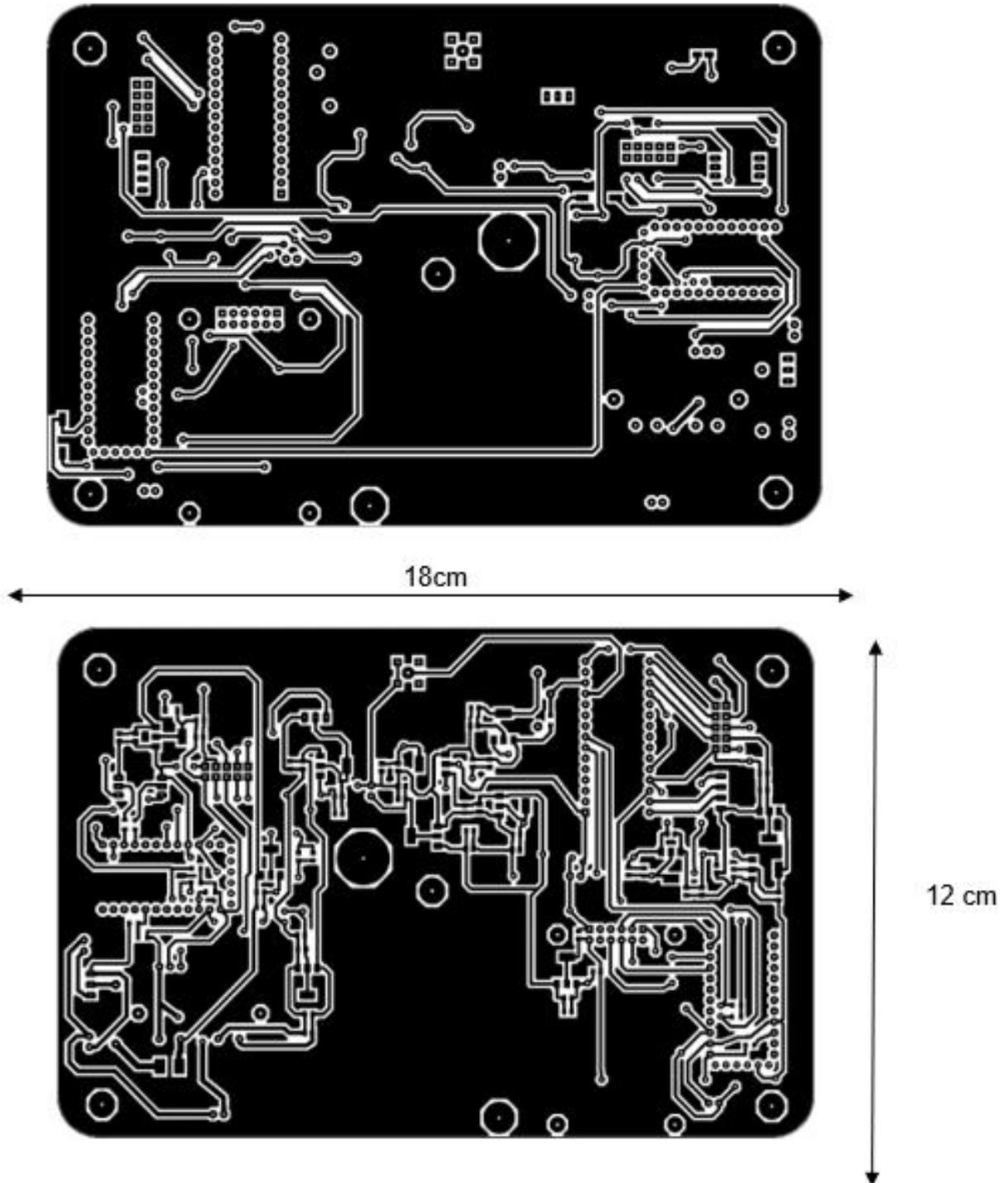


Figura 3.17: Circuito impreso placa madre

- **Generador de ondas y moduladores**

Tanto los moduladores, como el generador de ondas fueron diseñados en base al *chip* EXAR 2206. Todos los valores de los elementos fueron tomados del *datasheet* del *chip* y de diferentes diseños esquemáticos.

El generador de ondas fue lo primero que se diseñó en base al circuito básico de prueba en el *datasheet*, el cual se observa en la Figura 3.18. Así mismo se puede ubicar los pines de salida de la señal, los cuales corresponden al pin 11 para señal cuadrada y el pin 2 para señal senoidal.

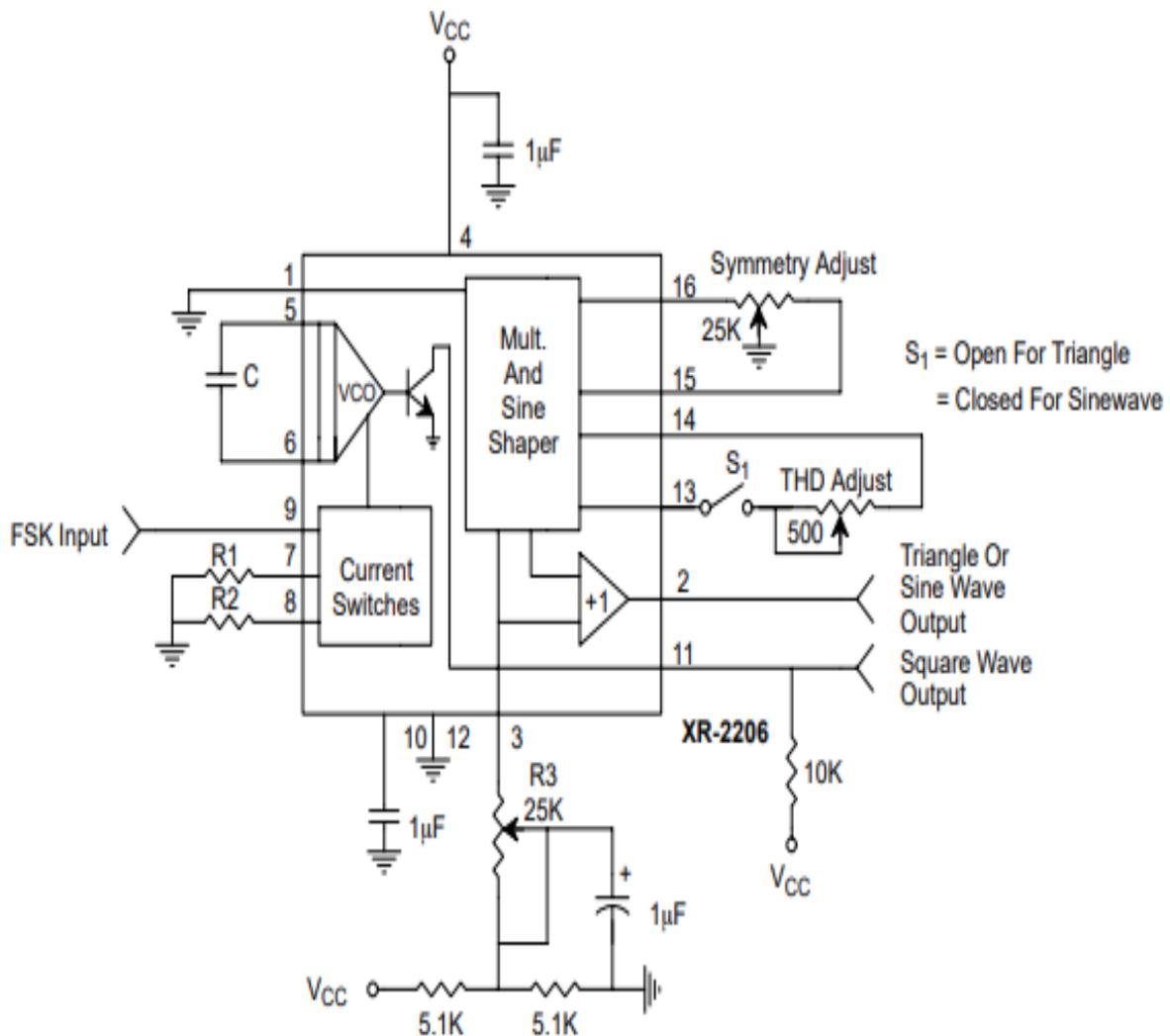


Figura 3.18: Circuito generador de prueba XR2206 [26]

La frecuencia máxima de este circuito se controla por el bloque VCO (pines 5 y 6), en el cual se colocó un banco de capacitores para dar una frecuencia máxima lo suficientemente baja. La amplitud se controla mediante el pin número 3, donde se

conectó una resistencia variable, que según su valor va a tener más o menos amplitud, como se muestra en la Figura 3.19 [26].

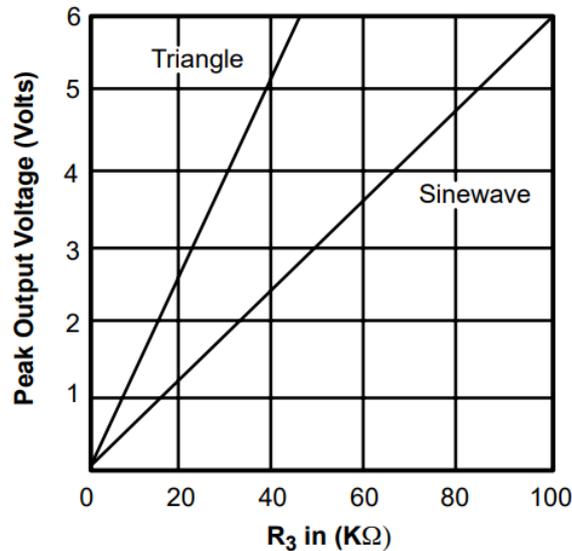


Figura 3.19: Amplitud de salida en función de la R3 [26]

De esta forma se diseñó un circuito en el cual se eliminaron algunos elementos y se cambiaron los valores de otros. Para calcular la frecuencia, se utilizó la fórmula presentada en la Ecuación 3.12 que se encuentra en el *datasheet* del *chip*.

$$f = \frac{2}{C} * \left(\frac{1}{R1 + R2} \right)$$

Ecuación 3.13: Fórmula de la frecuencia en un XR2206 [26]

En donde C es la capacitancia entre los pines 5 y 6, la cual es un banco de capacitores de 880nF, R1 y R2 son resistencias ubicadas en los pines 7 y 8. Se dejó solo en el pin 7 una resistencia de carga de 10 kΩ y una variable de 50 kΩ para poder subir o bajar la frecuencia.

Así pues, utilizando la fórmula de la ecuación 12 se obtiene los siguientes resultados:

$$f = \frac{2}{880\text{nf}} * \left(\frac{1}{10\text{k} + 50\text{k}} \right) = 37.87 \text{ Hz}$$

La frecuencia mínima es de 37.87 HZ

$$f = \frac{2}{880\text{nf}} * \left(\frac{1}{10\text{k} + 0\text{k}} \right) = 227.27 \text{ Hz}$$

La frecuencia máxima es de 227.27 Hz

Se retiró el selector de onda senoidal o tipo rampa, para dejarla solo en senoidal. En la Figura 3.20 se presenta el diseño para el generador de señales implementado en modulación.

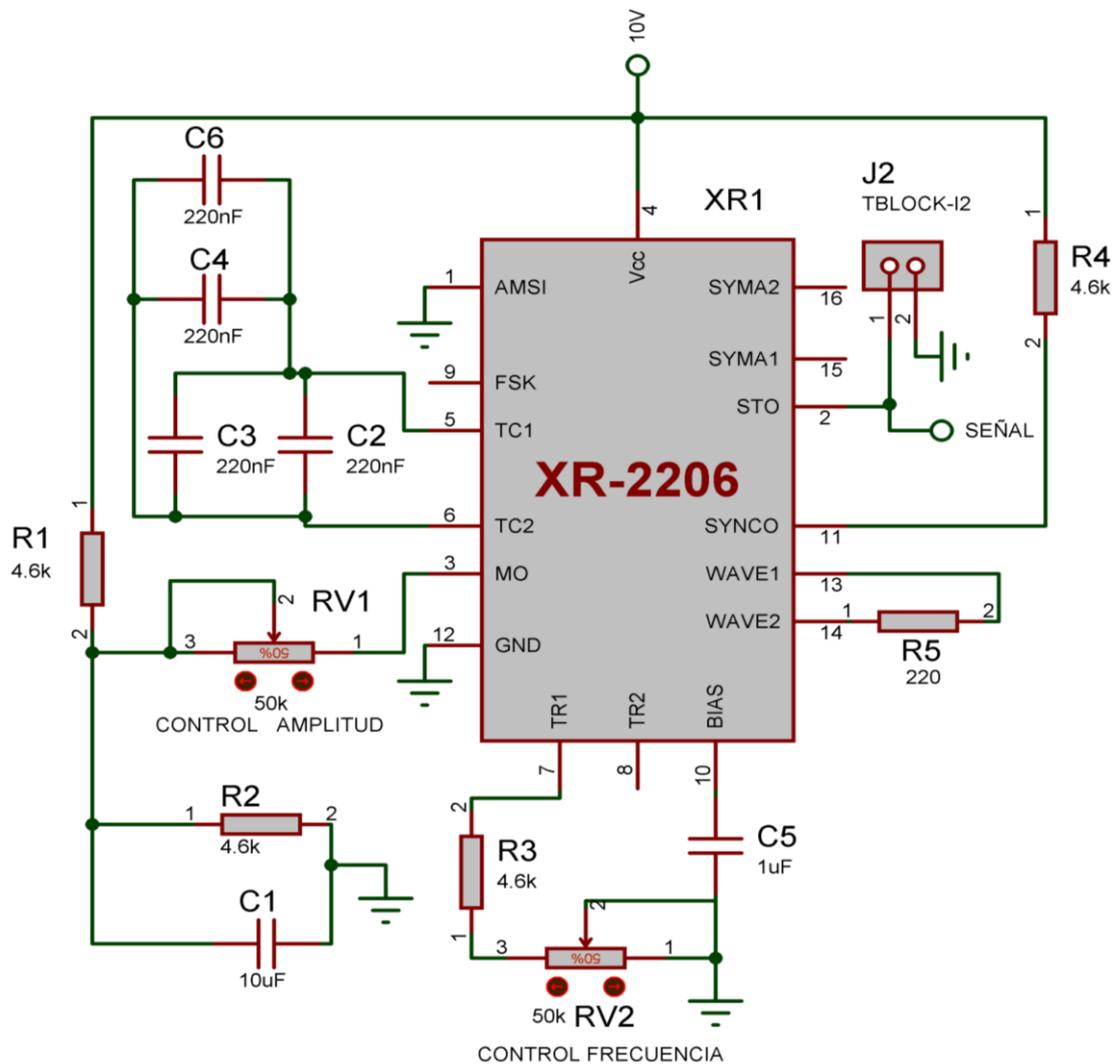


Figura 3.20: Diagrama esquemático del generador de ondas con el *chip* XR2206 [26]

Para el modulador AM presentado en el esquema de la Figura 3.21, se utilizó el pin 1 como entrada, ya que este va al multiplicador de señal. Permitiendo la modulación en AM de doble banda lateral, de igual manera se calculó la capacitancia y resistencias necesarias para que, dicho circuito funcione de manera óptima.

Ahora hay un *input* en el pin 1 y también, el control de amplitud se maneja mediante una resistencia variable conectada entre los pines 13 y 14, mientras que en el pin 3 se deja una resistencia fija de 46 k ohmios.

Para saber su índice de modulación se recurre a la Ecuación 3.14 donde V_m es el voltaje de la modulante y V_p el voltaje de la portadora.

Es decir, el voltaje del generador de señales que es 5 V y el del modulador que es 6V.

$$m = \frac{V_m}{V_p}$$

Ecuación 3.14: Formula del índice de modulación en AM [42]

$$m = \frac{5\text{ V}}{6\text{ V}} = 0.83$$

El índice de modulación en AM es 0.83

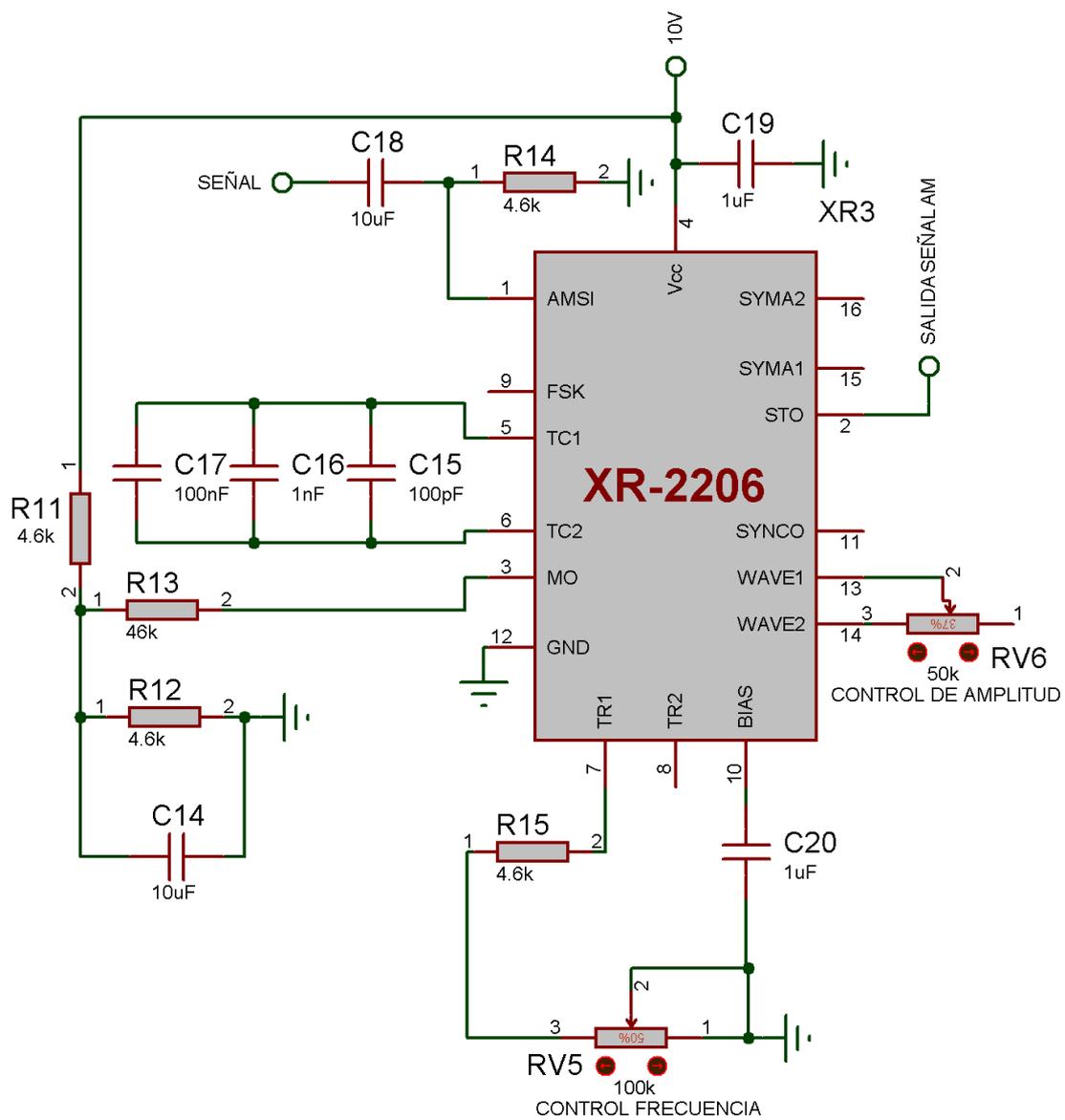


Figura 3.21: Diagrama esquemático del modulador AM con el *chip* XR2206 [26]

En cuanto al modulador FM presentado en el esquema de la Figura 3.22, se hicieron los cálculos para las resistencias y capacitores. En este caso, lleva menos capacitancia ya que se requiere que el circuito alcance una frecuencia mucho mayor a la del generador de señales.

La entrada va a estar en el pin 7, el cual es el que controla la frecuencia. El control de amplitud está en el pin 3 mediante una resistencia variable. Al pin 7, además de conectar la señal de entrada, se colocó una resistencia variable para control de frecuencia.

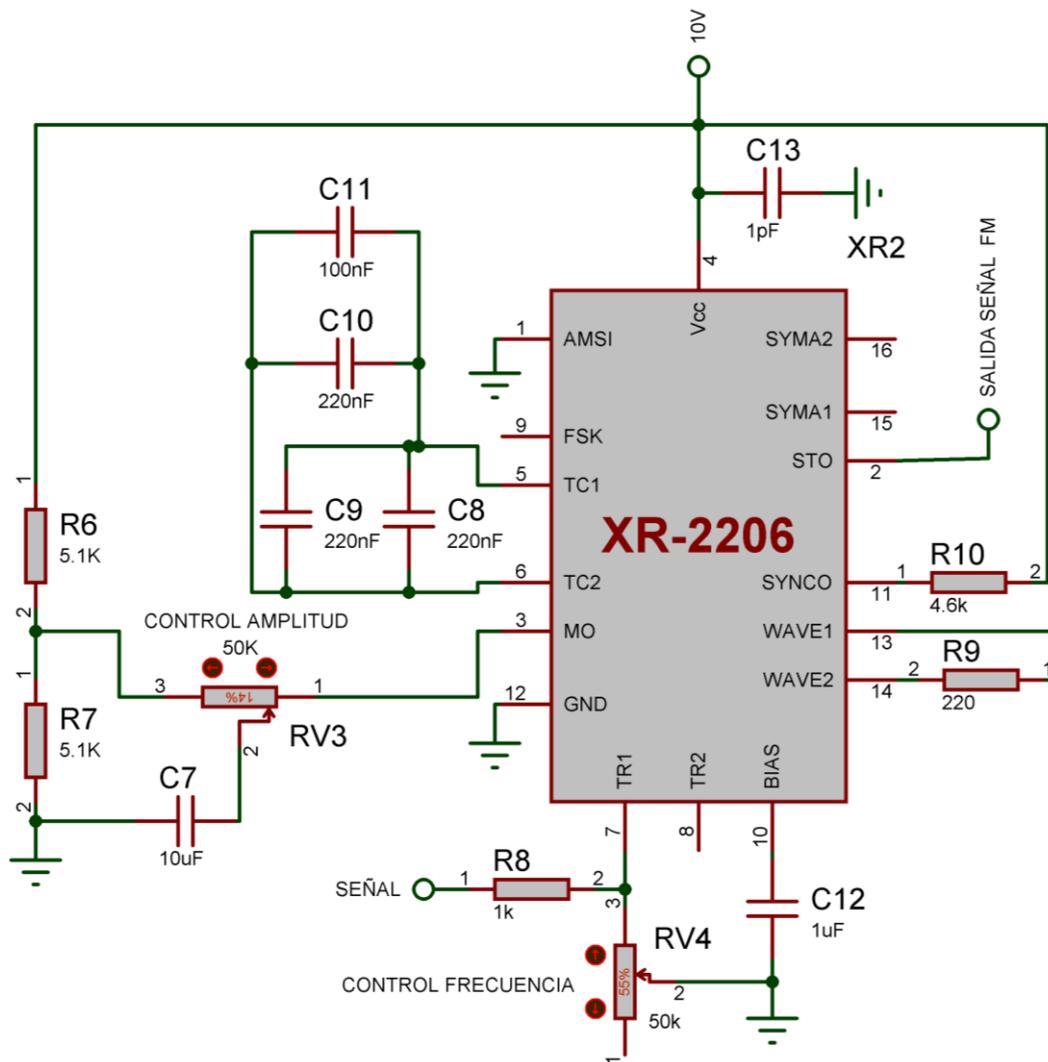


Figura 3.22: Diagrama esquemático del modulador FM usando el *chip* XR2206 [26]

Estos tres circuitos, se diseñaron independientemente uno del otro, pero para su implementación se unieron los tres en una sola placa.

En el caso de la modulación en FM no se puede calcular con certeza el índice de modulación ya que su desviación de frecuencia es variable, debido a que se puede variar la frecuencia tanto del modulador FM como la del generador de ondas.

La placa está diseñada de tal manera que la entrada de voltaje sea compartida por los tres circuitos. El amperaje para los circuitos no supera el medio amperio. Cada circuito cuenta con dos perillas las cuales controlan amplitud y frecuencia.

El circuito tiene dos salidas para las señales, la primera es una salida para la señal del generador de ondas la cual es de tipo banana hembra. La segunda salida es una SMA la cual mediante adaptador termina siendo un *output* BNC en la cual salen las señales de los moduladores, para seleccionar la señal se lo hace mediante un *switch* de tres estados como, se observa en la Figura 3.23.

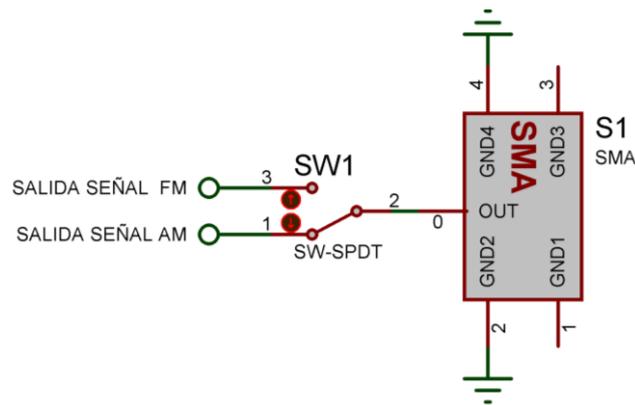


Figura 3.23: Selector de salida de señal modulada

Al igual que las placas anteriores, el circuito impreso se diseñó a doble capa, como se presenta en la Figura 3.24.

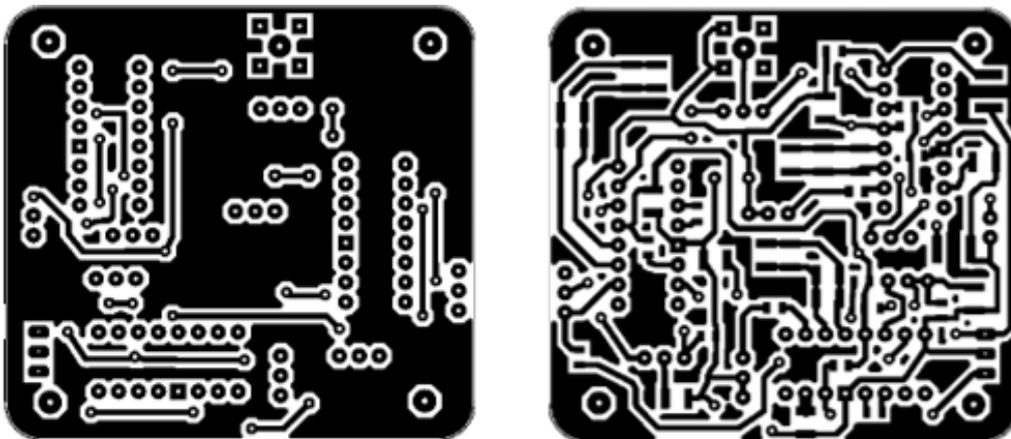


Figura 3.24: Circuito impreso del generador y los moduladores con el *chip* XR206

Interfaz gráfica

Los gráficos para la pantalla HMI, fueron diseñados en el programa Inkscape. Estos gráficos divididos en páginas, se cargaron en el programa Nextion Editor, donde se crearon 5 ventanas, en las cuales se presentan los resultados.

La página de inicio, presentada en la Figura 3.25, muestra dos botones de selección que envían un mensaje al núcleo, donde se activa la función: receptor LoRa o medidor de potencia RF.



Figura 3.25: Página de inicio

En la página del receptor LoRa, presentada en la Figura 3.26, los paquetes recibidos se proyectan en una ventana principal. Las tres ventanas restantes, muestran el nivel de RSSI, SNR y la frecuencia de operación del receptor. El diseño cuenta con dos botones de frecuencia que hacen la petición de cambio al núcleo y un botón de retorno que finaliza la transmisión de datos entre el núcleo y la pantalla.



Figura 3.26: Página del receptor LoRa

La página de medición de potencia RF presentada en la Figura 3.27, tiene un campo en el cual se muestra el resultado en nW. El diseño, tiene un botón de retorno que finaliza la transmisión de datos entre el núcleo y la pantalla.



Figura 3.27: Página de medición de potencia RF

Estructura de los programas

Los programas están divididos en: control de acceso, transmisor LoRa, núcleo y el servidor. Estos programas se fundamentaron en librerías proporcionadas por la plataforma de Arduino para controlar: el acceso al módulo, el nivel de potencia y la frecuencia de operación para los transceptores LoRa, medición de potencia RF, la presentación de datos en el servidor y el manejo de una interfaz HMI.

Control de acceso

El programa de control de acceso, se diseñó con el objetivo de dar seguridad a los usuarios a través de la tecnología RFID. Solicita una tarjeta o un llavero mostrados en la Figura 3.28, para leer una secuencia de números de 4 *bytes*. Esto genera una barrera, impidiendo que usuarios sin autorización, manipulen los instrumentos más sensibles.



Figura 3.28: Tarjeta y llavero

En el diagrama de la Figura 3.29, se puede observar que el programa se mantiene en espera de un estímulo externo, una solicitud de una tarjeta para ser leída la cual se analiza y se determina si leyó con éxito. Si existe una tarjeta o llavero, determina su extensión a través de un contador y almacena los *bytes* de información. Los *bytes* recibidos son analizados y se comparan para saber si estos pertenecen al llavero o a la tarjeta.

El estado actual del pin *on/off*, es dependiente de la máquina en función de si está apagada o encendida. Si cualquiera de las dos condiciones se cumple, se ejecuta una negación que cambia de estado el pin *on/off*, cambia el estado de los pines que controlan los LEDs rojo y verde según se permita el acceso o no.

Para tarjetas sin acceso, se especifica que en el estado de los LEDs prevalece en color rojo. Posteriormente, el programa determina el voltaje actual de la batería LiPo y lo compara con el voltaje de carga especificado en la Tabla 1.19 del marco teórico. Si es el caso de batería baja, el color de los LEDs pasará a un tono verde naranja.

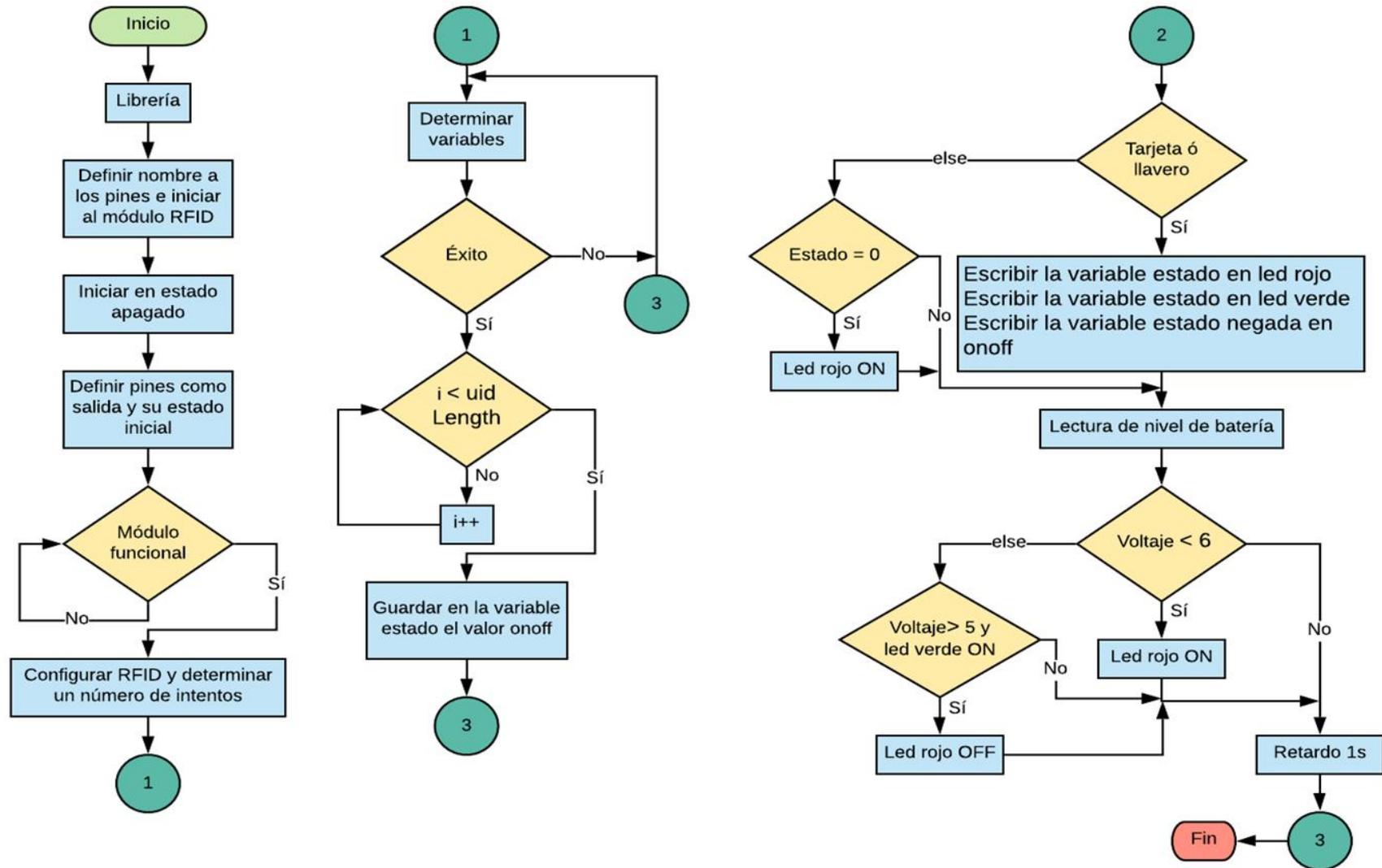


Figura 3.29: Diagrama de flujo control de acceso

- **Transmisor LoRa**

Como se representa en el diagrama de flujo de la Figura 3.31, el programa se diseñó con el objetivo de enviar un mensaje temporizado cada 5 segundos. Esto permite que se tome muestras continuas, al mismo tiempo que el módulo transmisor LoRa se desplaza.

El menú de opciones presente en el diagrama tiene: un *buzzer* y un motor vibrador como alarmas, 4 botones de los cuales 3 se habilitan al presionar el botón menú. Estos botones permiten que el dispositivo entre en modo de menú de selección, asegurando que solo se puede cambiar los parámetros de frecuencia y potencia, si la transmisión se detiene. En este menú, se permite realizar combinaciones con todos los valores de frecuencia y potencia disponibles en la Tabla 3.1. Al salir de menú de opciones, se muestra un (OK), afirmando que se puede iniciar la transmisión de paquetes.

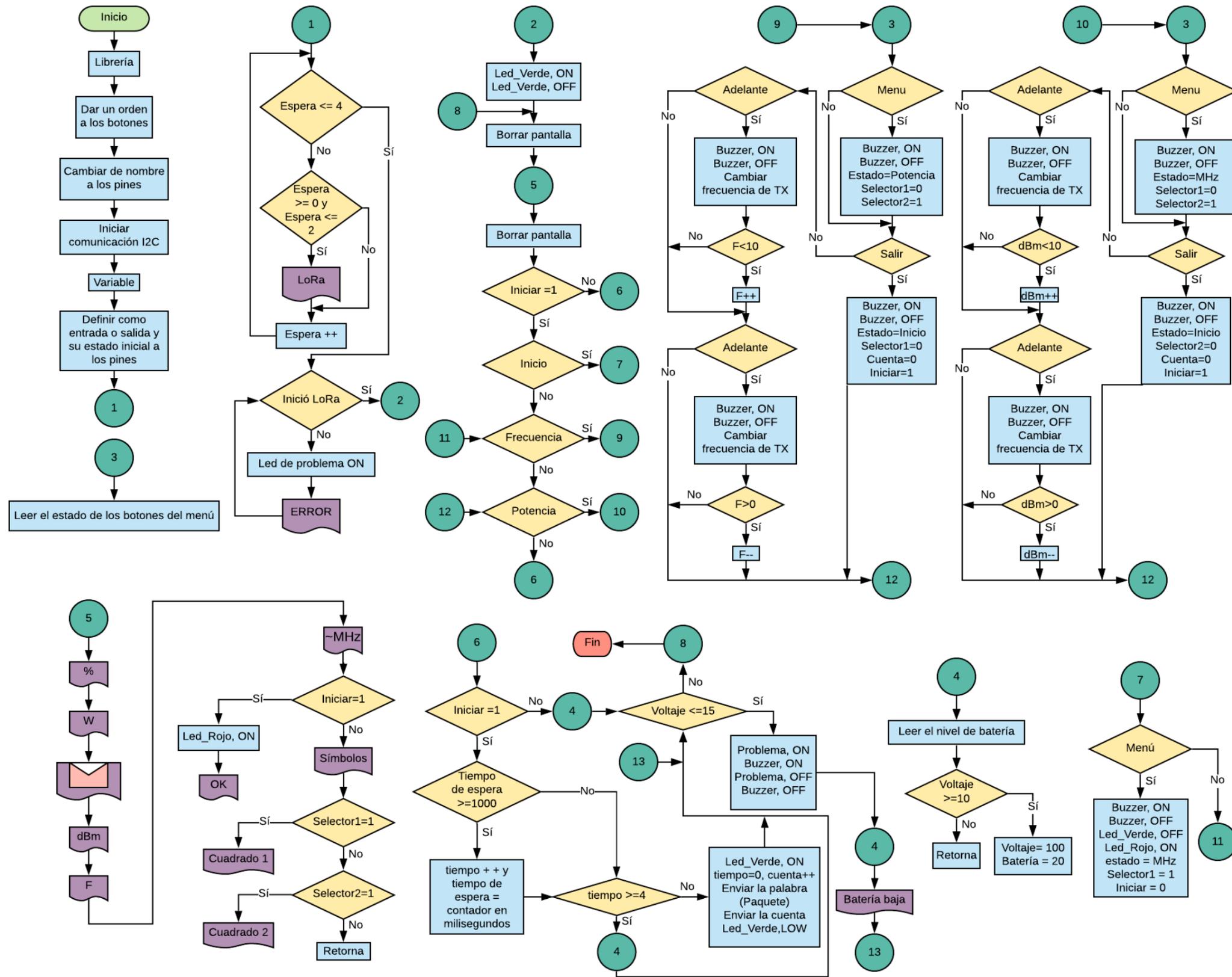
Tabla 3.1: Frecuencias y niveles de potencia

FRECUENCIA EN MHZ	POTENCIA EN dBm
433	10
436	11
438	12
440	13
442	14
444	15
446	16
448	17
450	18
452	N/A
454	N/A

En el diagrama de flujo, la pantalla OLED presentada en la Figura 3.30, despliega un diseño donde: se imprime el número de paquetes transmitidos, el nivel de la batería y el valor de potencia en dBm con la frecuencia en MHz.



Figura 3.30: Menú en pantalla OLED



- **Núcleo**

Se diseñó con el objetivo de centralizar los procesos de: obtención del nivel de potencia RF, obtención de niveles de RSSI y SNR del módulo LoRa, unificar cadenas de caracteres y transmisión de datos por el bus I2C. Como se representa en el diagrama de flujo de la Figura 3.32, el programa incluye: una conexión con la Pantalla HMI para enviar mensajes y recibir eventos *touch*. Además, inicia la comunicación I2C, verifica el funcionamiento del módulo LoRa, envía un mensaje de alerta si el receptor está dañado y prepara a todas las variables.

En el diagrama, el receptor LoRa espera en un bucle, de manera que si existe un mensaje, se recolecta en una cadena de caracteres y se almacena. Los datos recolectados son transformados en caracteres separados y enviados al servidor por el bus I2C. Además, estos datos son mostrados en la pantalla HMI al hacer la petición de envío para ser proyectados en la interfaz gráfica.

De no existir ningún dato pendiente de recolectar o enviar por el módulo LoRa, el programa de RF actualizado realiza mediciones continuas de potencia, [41]. Además, hace transformaciones y cálculos según las fórmulas de las gráficas proporcionadas en el *datasheet* del medidor de potencia RF AD8317. [20] Los datos de potencia RF son presentados en nW, por ser una medida muy pequeña debido a la baja potencia radiada por el inhibidor de señales mostrado en la Figura 1.33 del marco teórico.

Cálculo de voltaje del A/D

$$\text{Voltaje A/D} = \text{Promedio de muestras} * \left(\frac{\text{Voltaje de referencia}}{\text{Resolución A/D}} \right) \text{ V}$$

Ecuación 3.15: Cálculo de voltaje del A/D

$$\text{Voltaje de referencia} = 2.048 \text{ V}$$

$$\text{Resolución A/D} = 1023$$

Cálculo de potencia

$$\text{Potencia} = \text{Potencia a 0v en dBm} - \left(\frac{\text{Voltaje A/D}}{\text{Pendiente en } \frac{\text{mV}}{\text{dB}}} \right) \text{ dBm}$$

Ecuación 3.16: Cálculo de potencia

$$\text{Potencia} = 10^{\frac{\text{dBm}}{10}} \text{ mW}$$

Ecuación 3.17: Conversión de dBm a mW

$$\text{Potencia a 0v en dBm} = 21.80 \text{ dBm} \quad \text{Pendiente en } \frac{\text{mV}}{\text{dB}} = 0.021 \frac{\text{mV}}{\text{dB}}$$

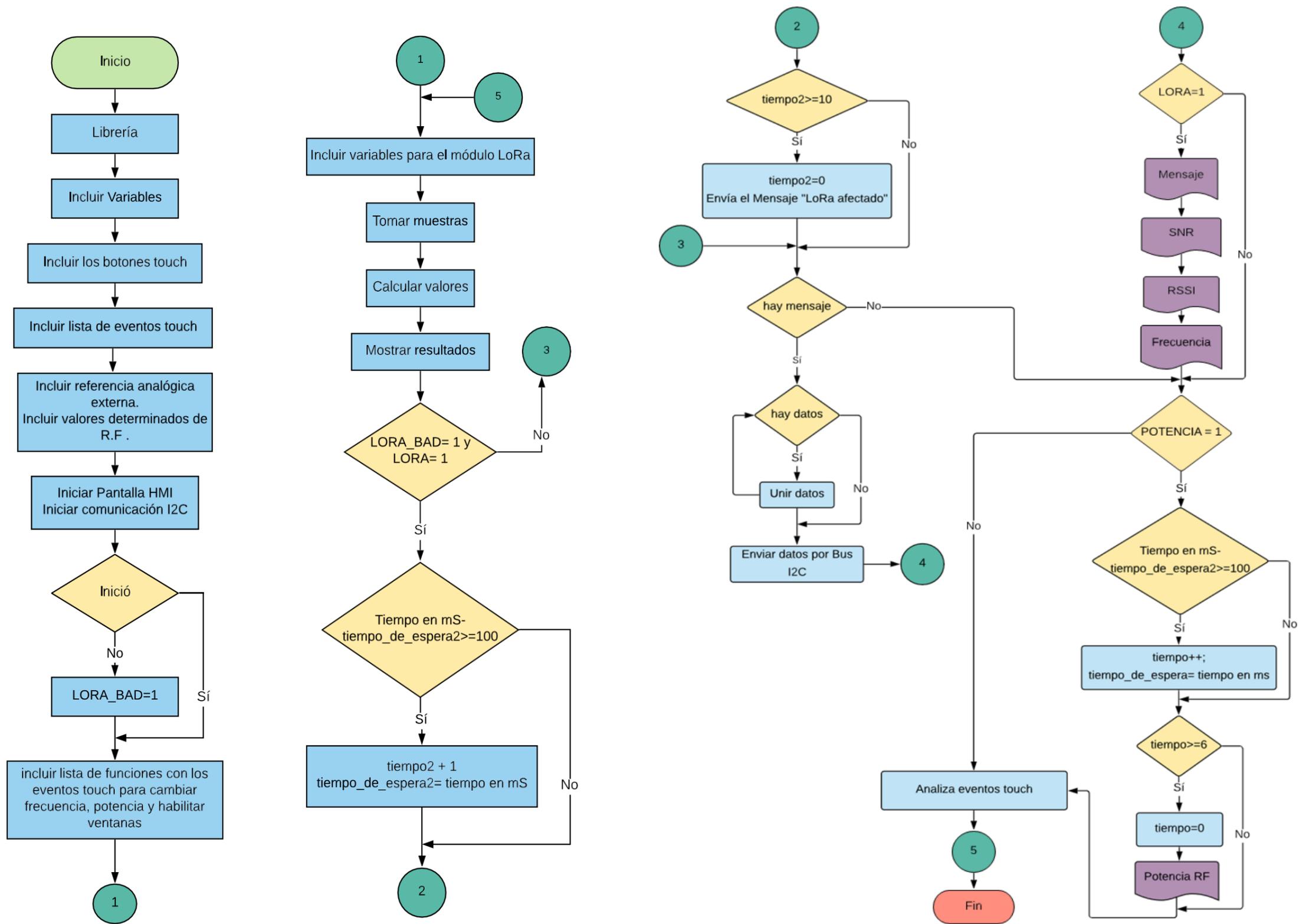


Figura 3.32: Diagrama de flujo del núcleo

- **Servidor**

Se diseñó con el objetivo de proyectar el resultado obtenido de: el nivel de RSSI con SNR, el mensaje contenido en el paquete transmitido por el módulo TX LoRa y el valor de potencia RF. De esta manera, se puede mostrar en tiempo real la variación de los valores mencionados, con ayuda de una computadora y un proyector. Como se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 3.33, el programa incluye un servidor desarrollado en lenguaje HTML que se refresca cada 1 segundo. Esto permite almacenar los datos recolectados a través del bus I2C y proyectarlos de manera inmediata.

Para recibir datos de un bus I2C, se asigna una dirección al dispositivo, en este caso el 1. Además, se verifica si el módulo *Ethernet* ha iniciado y no está dañado; al estar dañado, se impide establecer conexión con el servidor. Al iniciar el módulo *Ethernet*, se presenta la página y se refrescan las variables de transmisión y recepción. A continuación, en el diagrama de flujo, se monitorea si existen datos por recibir en el bus I2C; de existir datos tipo carácter, se almacenan en una cadena. Si el dato es un número, se recolecta y almacena su valor en una variable. Si ya no existen datos de ningún tipo, se llama a la página del servidor y se envía la información.

El servidor representado en el diagrama de flujo, se inicia declarando el lenguaje con el cual será programado HTML, seguido se declara el nombre de la pestaña de la página como (MÓDULO I.O.T). En el cuerpo del código, se designa el título que encabeza la página del servidor, dicho título siempre está acompañado del tamaño de letra seleccionado para el encabezado.

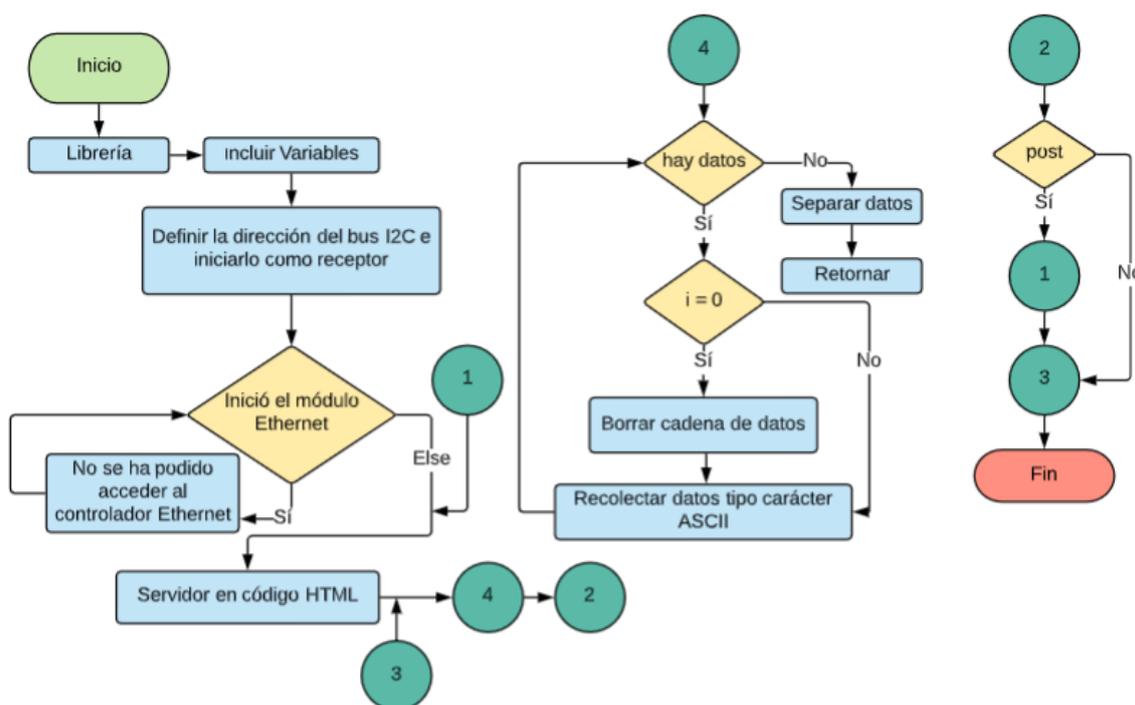


Figura 3.33: Diagrama de flujo del servidor

3.2 Implementación

Fabricación de placas PCB

Las placas se fabricaron con el método de planchado; para implementar este método, se debe imprimir a láser el diseño de ARES en cualquier tipo de papel de termotransferencia. La baquelita utilizada es *top* y *bottom copper*, debido a los requerimientos del diseño.

Termotrasferencia

Previo al planchado se limpió la superficie de la baquelita en la cual se imprimió posteriormente el diseño. Al aplicar el papel con el diseño, este fue cubierto con una pequeña tela para protegerlo. Finalmente, se procedió con el planchado, como se observa en la Figura 3.34.



Figura 3.34: Termotransferencia

Finalizado el planchado de la PCB, esta fue examinada, determinando que la termotransferencia fue exitosa y el diseño se imprimió en toda la superficie. En este paso presentado en la Figura 3.35, se retiró los restos de papel, aplicando agua, de manera que el papel se desprendió sin afectar al diseño. Culminado el proceso, la PCB fue lavada; al ser una PCB de doble cara, el proceso se repitió, ubicando el diseño de manera simétrica al otro.



Figura 3.35: Desprendimiento del papel

- **Tratamiento con cloruro férrico**

Para iniciar el tratamiento con cloruro férrico, se examinó que toda la superficie con la lámina de cobre expuesta se encontrara sin ningún tipo de fragmento del papel. Cumpliendo esta condición, se sumergió la PCB en cloruro férrico, hasta que todo el cobre expuesto se diluyó en el ácido, como se muestra en la Figura 3.36.



Figura 3.36: Tratamiento con cloruro férrico

- **Tratamiento antioxidante**

El tratamiento antioxidante inició desde que la PCB se retiró del ácido; para esto, la placa fue lavada. La tinta que formó la cubierta de la lámina de cobre se retiró utilizando *thinner* y se roció una capa de esmalte sobre la lámina de cobre. Esto formó una cubierta que protegió al cobre de la oxidación, como se muestra en la Figura 3.37.

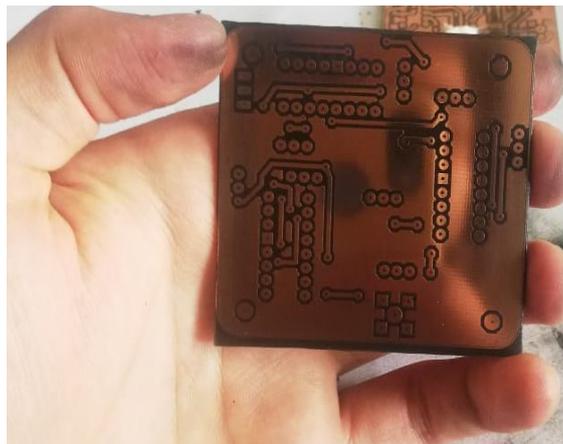


Figura 3.37: Tratamiento antioxidante

- **Soldadura**

En este proceso se realizaron perforaciones para todos los componentes THT y puentes entre capas. Con la soldadura, primero se realizaron los puentes, conectando así a las pistas dentro de la placa PCB. Concluidos los puentes, se procedió con la soldadura de

toda la tecnología SMD y por último los componentes THT. Para finalizar el circuito, se realizaron pruebas de continuidad que garantizan que todos los puntos de suelda están bien realizados. Para la conexión de dispositivos externos, se soldaron conectores molex y zócalos; de modo que, los componentes sean desmontables, como se muestra en la Figura 3.38.

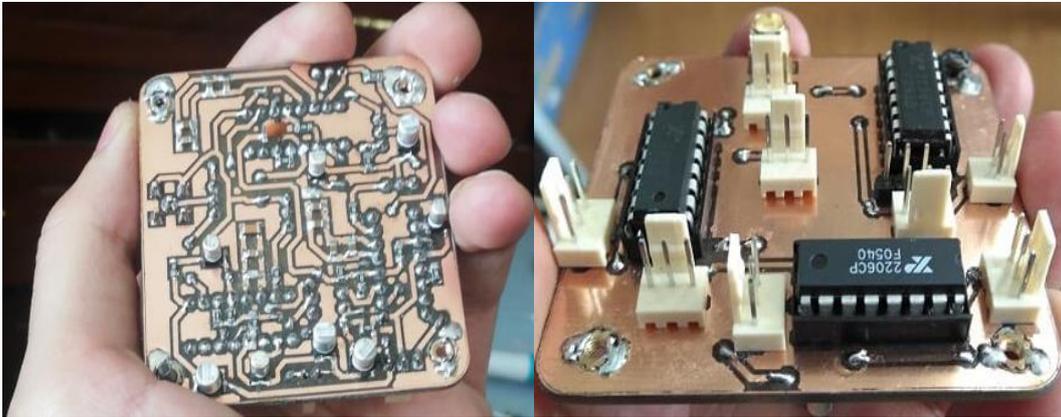


Figura 3.38: Placa PCB

Montaje de placas en estructura

Previo a la instalación de todos los componentes, se realizaron pruebas de funcionamiento con los módulos de manera independiente, implementando los programas de control de acceso, transmisor LoRa, núcleo y servidor presentados en los Anexos A1, A2, A3 y A4. Como se presenta en la Figura 3.39, se verificó que las placas de control de acceso, receptor LoRa, medidor de potencia RF, servidor y núcleo operen con un buen rendimiento y ejecuten todas las funciones.

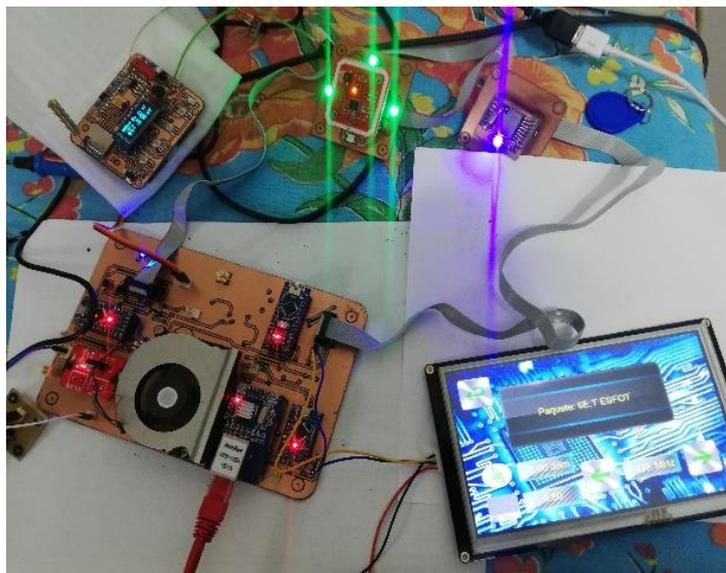


Figura.3.39: Pruebas independientes de funcionamiento

Como se muestra en la Figura 3.40, se procedió a realizar las perforaciones y la instalación de las PCBs. Para fijar las placas en la estructura, se optó por utilizar postes, tuercas y tornillos, de tal manera que las placas PCB estén fijas y sean desmontables.



Figura 3.40: Instalación de placas PCB

Como se observa en la Figura 3.41, para culminar con la instalación de los dispositivos, se construyó una estructura en acrílico de 4 mm de grosor, con una superficie capaz de albergar a la pantalla HMI de 7". La serigrafía es una parte fundamental para el manejo del módulo interactivo por lo cual, se graficó toda la señalización para guiar al usuario.



Figura 3.41: Instalación de pantalla HMI y señalización

- **Transmisor LoRa**

En la PCB de la Figura 3.42, se puede apreciar el transceptor LoRa y la pantalla OLED, distribuidos de manera estratégica para comodidad del usuario. Los botones de interacción con el usuario se encuentran ubicados en su parte inferior. La ubicación del Arduino Mini, en su versión 3.3 V, es clave para la miniaturización de la PCB, esto debido a que se encuentra en la capa *bottom copper*, desde la cual se distribuye todas las funciones a la PCB.

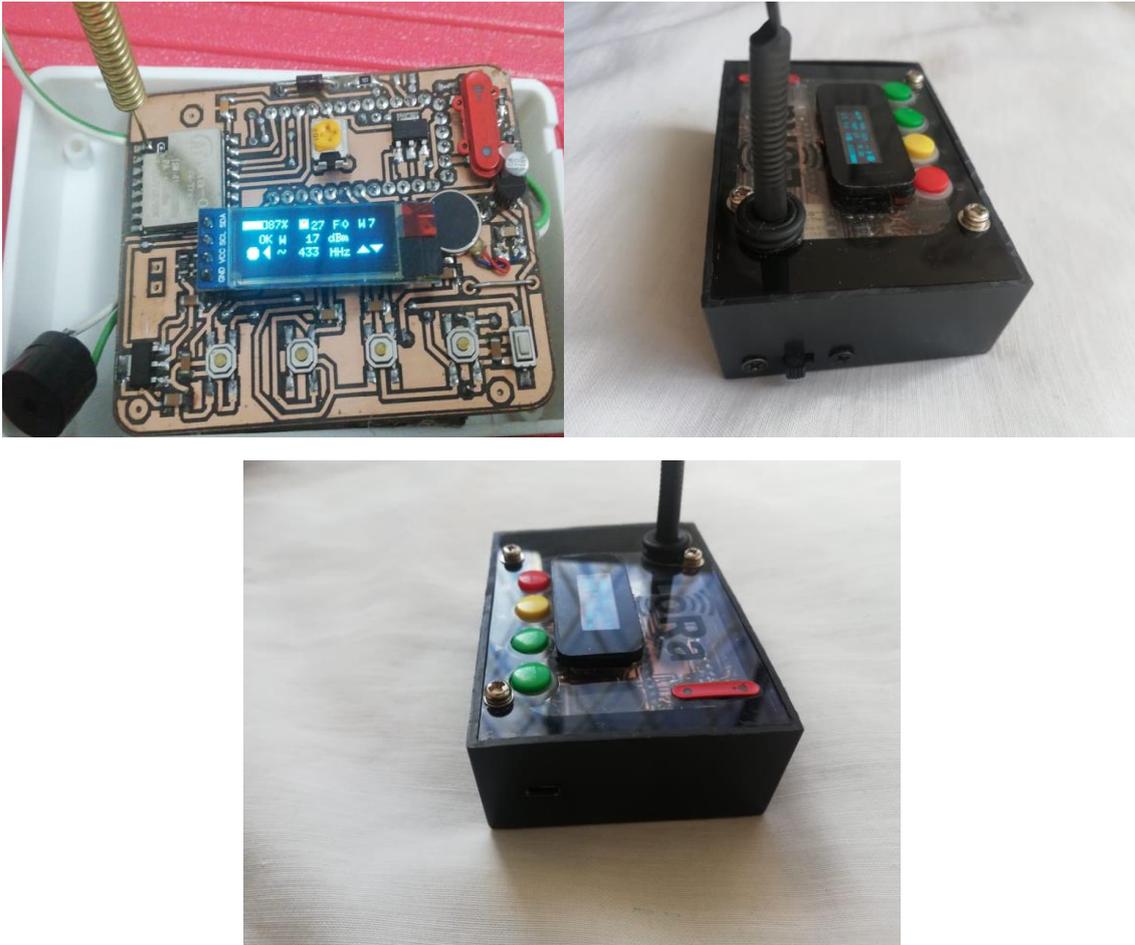


Figura 3.42: PCB transmisor LoRa

3.3 Pruebas de funcionamiento

Moduladores

Para la prueba de modulación, se utilizó un osciloscopio como se muestra en la Figura 3.43, esto permitió observar las señales moduladas en AM y FM. La prueba consistió en buscar los valores de amplitud y frecuencia con los cuales las ondas son estables y la modulación se puede apreciar a simple vista.

Para establecer una referencia, se conectó la onda modulante; esto permite ver la variación tanto en amplitud como en frecuencia que sufre la portadora en función de la modulante; el resultado es una señal modulada.

En el caso de modulación AM, existen condiciones en las cuales la señal modulada desaparece, debido a la gran diferencia de niveles de amplitud que existe entre la señal portadora y la modulante. En la Tabla 3.2, se muestra las mejores condiciones de voltaje y frecuencia obtenidas en la práctica para modulación AM.

Tabla 3.2: Condiciones para la mejor modulación en AM

	VPP (V)	FRECUENCIA EN HZ
Modulante	4.60	47
Portadora	3.28	293

En el caso de modulación FM, existen condiciones en las cuales la señal modulada se ve deteriorada por la baja frecuencia de la portadora. Esto causa que en la modulación se vea una línea recta y un aumento de frecuencia instantáneo. En la Tabla 3.3, se muestra las mejores condiciones de voltaje y frecuencia obtenidas para modulación FM.

Tabla 3.3: Condiciones para la mejor modulación en FM

	VPP (V)	FRECUENCIA EN HZ
Modulante	4.64	97
Portadora	3.8	805

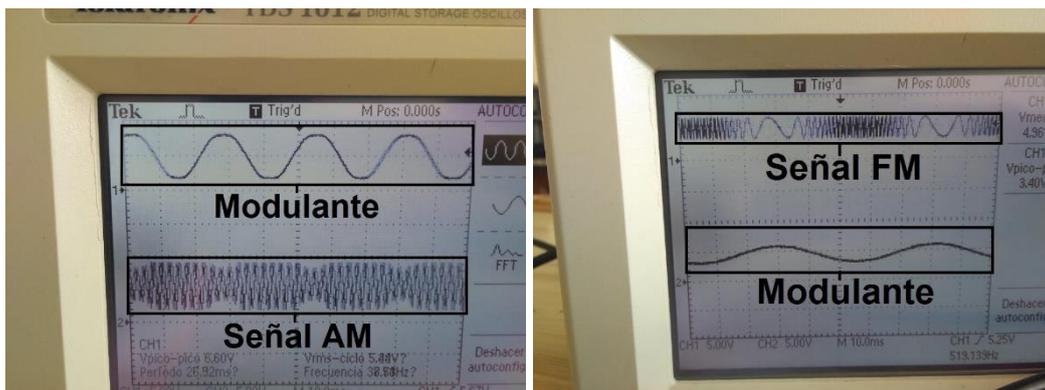


Figura 3.43: Modulación AM y FM

Control de acceso

El control de acceso cuenta con dos llaves autorizadas. Tanto la tarjeta, como el llavero, conceden el acceso al usuario. En la Figura 3.44, se presenta la prueba realizada con el llavero. Como se observa, el módulo interactivo inicia en un estado de acceso

denegado con los LEDs rojos encendidos, una vez se acerca el llavero concede el acceso y sus LEDs se cambian a color verde.



Figura 3.44: Prueba de control de acceso

Medidor de Potencia RF

Para las pruebas realizadas con el medidor de potencia de radiofrecuencia, se puede observar la atenuación que sufre la onda en el medio de transmisión; en este caso, el aire y los factores que lo producen.

Para la prueba 1 se requiere de una regla de 20 Cm o mayor para obtener una medida de distancia confiable, como se presenta en la Figura 3.45. Se seleccionó medición de potencia RF en el módulo interactivo y se encendió el generador de señales con la antena trébol a una frecuencia de 433 MHz. Se tomó las medidas de acuerdo con los datos de distancia y potencia de la Tabla 3.4.



Figura 3.45: Prueba del medidor de RF

Tabla 3.4: Potencia RF

DISTANCIA	POTENCIA	POTENCIA RF
15 cm	5 dB	871 nW
20 cm	5 dB	138 nW

Para la prueba 2, se usó la propiedad omnidireccional de la antena trébol. El objetivo fue comprobar si la antena radía de acuerdo con el diagrama de radiación de una antena omnidireccional. Las medidas fueron tomadas a una frecuencia de 433 MHz y con los ejes de orientación horizontal y vertical mostrados en la Figura 3.46.



Figura 3.46: Ejes de orientación

Como se puede observar en la Tabla 3.5, la mayor potencia registrada se da cuando la orientación de la antena es vertical. Esto se debe a que los lóbulos de radiación forman una dona en la cual se concentra la mayor potencia de radiación. La menor potencia registrada se da cuando la orientación es horizontal. Esto se debe a los lóbulos laterales que radían en direcciones distintas a la deseada. Así se confirma que, la antena trébol radía en forma de dona de acuerdo con su diagrama de radiación en forma omnidireccional.

Tabla 3.5: Ejes de orientación

EJE DE ORIENTACION	POTENCIA RF
Vertical	1513.6 nW
Horizontal	691.8 nW

LoRa

Para la prueba realizada con los transceptores LoRa, se pudo observar la variación de RSSI y SNR. En el desarrollo fue requerido el servidor, dos personas que operen los transceptores y dos celulares que faciliten la comunicación entre los operadores.

Para el manejo del transmisor LoRa, los parámetros a variar son frecuencia y potencia. Los parámetros son variados de acuerdo con la distancia que existe entre los transceptores. También con condiciones varias como clima, ubicación geográfica, obstáculos y posibles dispositivos que operen en la banda ISM.

Se preparó el transmisor y receptor en la frecuencia de 454 MHz con una potencia de 10 dBm.

Como se puede observar en la Figura 3.47, el valor RSSI se representa con una cifra negativa en dBm. La SNR está representada en dB por ser adimensional, representando

así la relación que existe entre la potencia promedio de la señal con respecto a la potencia promedio del ruido.

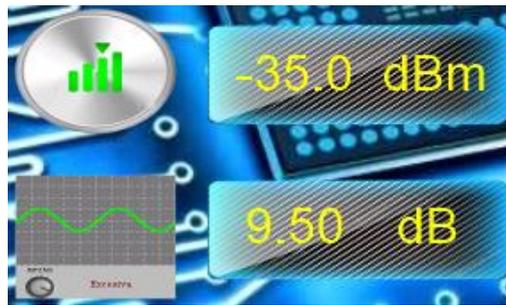


Figura 3.47: Valores RSSI y SNR

Teniendo en cuenta los factores longitud de onda y frontera por la sensibilidad del receptor; se procedió a distanciar los equipos de acuerdo con la ruta trazada que se presenta en la Figura 3.48, generando respuesta inmediata en los valores de RSSI y SNR. El camino se trazó a través del campus de la EPN, con la finalidad de establecer obstáculos como edificaciones que limiten el alcance del transmisor. Como primera frontera en función de la ruta trazada, se identificó a la posición geográfica 1 marcada en el cuadro amarillo.

La distancia recorrida hasta la posición geográfica 1 se dio con los valores de potencia de 10 dBm y frecuencia de 454 MHz. Los valores establecidos permitieron definir el alcance mínimo del transmisor. El punto geográfico se definió por la ausencia de paquetes recibidos en el receptor, esto se puede determinar por la comparación del número de paquetes recibidos versus paquetes transmitidos.

Para desplazar el punto geográfico mínimo 1 al punto geográfico 2, se aumentó la potencia de transmisión a 18 dBm. De esta manera, se definió que el punto geográfico 1 se estableció por la sensibilidad del receptor y no por el alcance de la onda transmitida a la frecuencia de 454 Mhz. En el punto geográfico 2 se reanuda la pérdida de paquetes, por lo cual se decidió cambiar la frecuencia de transmisión a 433 MHz. De esta manera, se pudo verificar la relación inversamente proporcional entre la frecuencia y la longitud de onda, llegando así al punto geográfico 3.

En dicho punto, se reanuda la pérdida de paquetes con una intermitencia debido al obstáculo que representó el edificio de la facultad de Ingeniería en Sistemas. Para comprobar la barrera que representa la edificación, se procedió a seguir la ruta hasta el punto geográfico 4. En dicho punto geográfico, se puede apreciar la diferencia de distancia recorrida que existe al seguir la ruta que posee la menor cantidad de obstáculos para que la señal transmitida pueda ser recibida por el receptor.

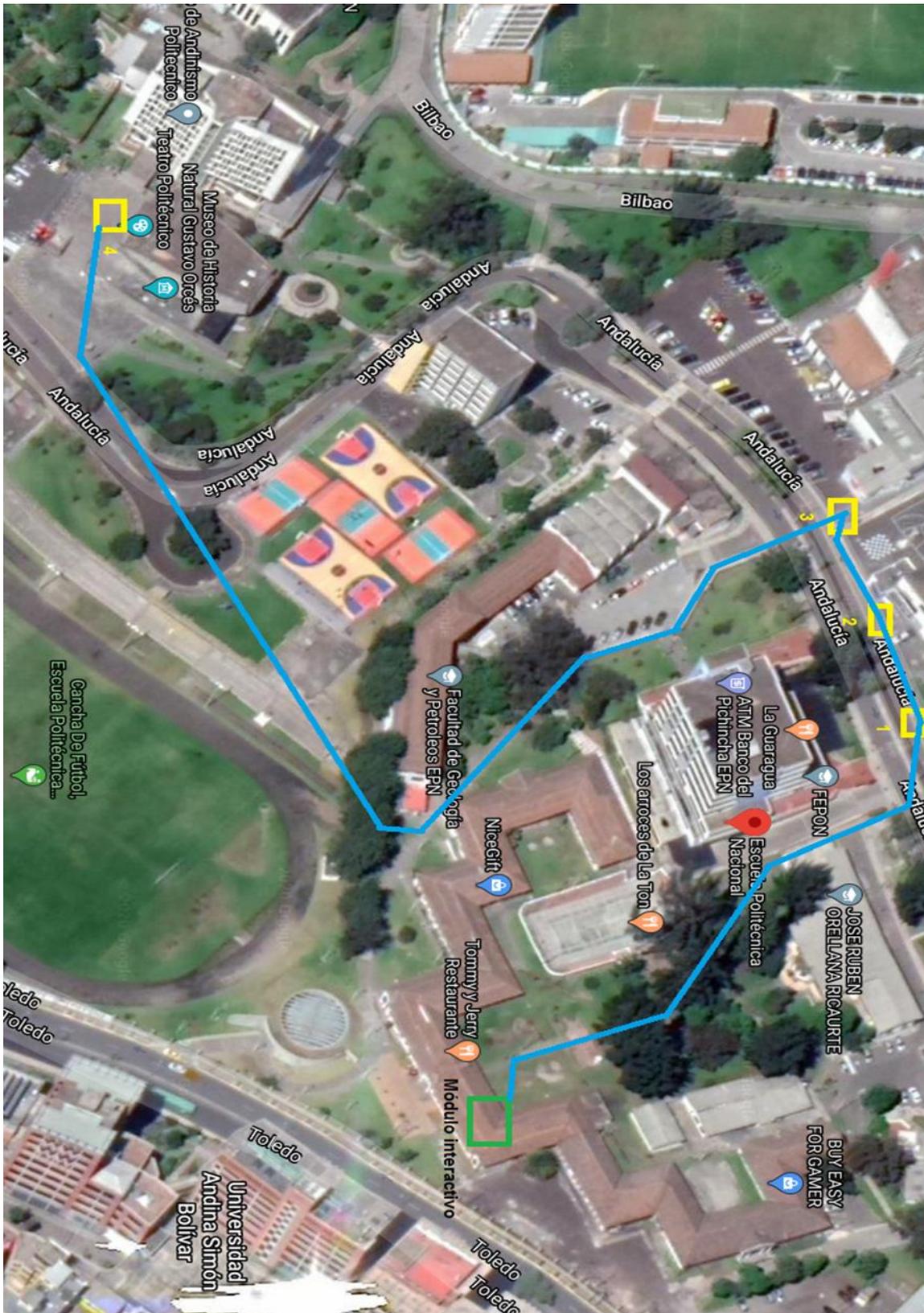


Figura 3.48: Mapa de cobertura de la transmisión LoRa

Es posible que la SNR no varíe drásticamente, esto se debe a la resistencia que presenta la modulación LoRa al ruido en el medio de transmisión. Para generar una potencia de ruido mayor, se radió una señal en la frecuencia de 433 MHz con el

generador de señales ADF4351, causando un efecto de inhibidor de señales. El efecto evidenció un notable decrecimiento de la SNR.

Para presentar los datos obtenidos, se conectó el servidor a una computadora que permita proyectar los datos. De este modo, se convirtió al módulo interactivo en una herramienta capaz de compartir la información en una clase didáctica.

3.4 Costos de implementación

En la Tabla 3.6 se detallan los costos de implementación del proyecto.

Tabla 3.6: Costos de implementación

DETALLE	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	SUB TOTAL
Antena pagoda	\$ 4,22	2	\$ 8,44
Antena trébol	\$ 6,18	2	\$ 12,36
Arduino Mini	\$ 4	3	\$ 12
Arduino Nano	\$ 6,5	1	\$ 6,5
Baquelita FR4	\$ 6	2	\$ 12
Batería LiPo	\$ 33	1	\$ 33
Batería Samsung	\$ 13	1	\$ 13
Borneras	\$ 0,3	2	\$ 0,6
Botones plásticos	\$ 0,15	4	\$ 0,6
Cable coaxial SMA de 50Ω	\$ 3	1	\$ 3
Cable de bus de datos	\$ 2	2	\$ 4
Cable UTP	\$ 0,8	1	\$ 0,8
Capacitor SMD 10uF	\$ 0,2	30	\$ 6
Capacitor SMD 20uF	\$ 0,25	30	\$ 7,5
Carcasa plástica para el módulo interactivo	\$ 17,25	1	\$ 17,25
Carcasa plástica para el transmisor LoRa	\$ 2	1	\$ 2
Conector BNC macho y hembra	\$ 1,5	1	\$ 1,5
conector de cable coaxial para SMA	\$ 3	2	\$ 6
Conector <i>Ethernet</i>	\$ 0,55	2	\$ 1,1
Conector JST	\$ 0,3	2	\$ 0,6
Conector para batería LiPo XT 30	\$ 1	1	\$ 1
Conectores SMA PCB	\$ 3	2	\$ 6
Conectores tipo bus	\$ 0,8	2	\$ 1,6
Diodo 1N4007	\$ 0,1	1	\$ 0,1
Diodo 1N5408	\$ 0,3	1	\$ 0,3
Fusibles	\$ 1,5	2	\$ 3
Generador de señales ADF4351	\$ 47,4	1	\$ 47,4
LEDs SMD	\$ 0,5	7	\$ 3,5

Medidor RF AD8317	\$ 26,72	1	\$ 26,72
Módulo <i>Ethernet</i> ENC28J60	\$ 6,5	1	\$ 6,5
Módulo IRF520	\$ 1,42	1	\$ 1,42
Módulo RFID	\$ 12	1	\$ 12
Molex	\$ 0,33	22	\$ 7,26
Motor vibrador plano	\$ 2,25	1	\$ 2,25
Ojos de cangrejo	\$ 0,45	5	\$ 2,25
Pantalla HMI Nextion de 7" + cubierta	\$ 99	1	\$ 99
Pantalla OLED 128x30	\$ 8	1	\$ 8
Perilla de Potenciómetros	\$ 0,45	6	\$ 2,7
Piezas de acrílico	\$ 16	1	\$ 16
Postes	\$ 0,26	41	\$ 10,66
Potenciómetros	\$ 0,5	7	\$ 3,5
Pulsadores SMD	\$ 0,3	8	\$ 2,4
Regulador AMS1117 5v y 3,3v	\$ 0,15	14	\$ 2,1
Regulador LM2596	\$ 2,5	1	\$ 2,5
Resistencias SMD	\$ 0,1	26	\$ 2,6
RJ45	\$ 0,3	2	\$ 0,6
Tornillos	\$ 0,08	41	\$ 3,28
Transceptor LoRa	\$ 11	2	\$ 22
Transistor 2N3904	\$ 0,2	1	\$ 0,2
Tuercas	\$ 0,05	41	\$ 2,05
Ventiladores	\$ 5	2	\$ 10
XR2206 y zócalo	\$ 5,3	3	\$ 15,9
		Total	\$ 473

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El método de enseñanza de los docentes debe ir avanzando según la tecnología lo permita y este módulo permite tener nuevas formas de enseñanza mucho más efectivas que las convencionales, ya que apuesta por el saber-hacer y no solo por el saber.
- Al ser un equipo sofisticado, permite tener muchas funcionalidades que pueden ser aprovechadas al máximo dependiendo de las clases que esté recibiendo el estudiante; como por ejemplo aprender modulación de una manera más amigable, comparado con analizar muchas fórmulas en el pizarrón. El módulo interactivo tiene la capacidad de brindar al estudiante, el espacio práctico en la gama de modulación AM y FM. La variación de los parámetros amplitud y frecuencia permiten observar en el osciloscopio la formación de las señales moduladas. Los estudiantes pueden aplicar sus fundamentos teóricos para determinar qué parámetro se requiere modificar para generar la mejor señal modulada.
- La tecnología LoRa, empleada para la comunicación inalámbrica, es una nueva tecnología cuya utilización está pensada para aplicaciones IoT, por lo cual los estudiantes no solo aprenderán comunicaciones inalámbricas sino, que también lo harán con una tecnología nueva y con mucho potencial en el futuro.
- Se realizó pruebas de campo con los dispositivos ubicados dentro de una estructura adquirida para albergar las placas PCB, en dichas pruebas se pudo obtener los resultados esperados en el proyecto. Siendo un módulo capaz de trabajar por largo tiempo con facilidad de movilidad y versatilidad para que el profesor pueda enseñar de una manera más inmersiva su materia y para que, el estudiante pueda ser no solo espectador sino también participe de la clase.
- Las pruebas realizadas con el transmisor LoRa demuestran que: la variación de potencia y frecuencia de transmisión se realiza de acuerdo con la posición geográfica, condiciones ambientales y la sensibilidad del receptor. Se pudo evidenciar que una forma de solventar la pérdida de comunicación entre el transmisor y receptor es disminuir la frecuencia de operación; esto se debe a la relación inversamente proporcional entre la frecuencia y la longitud de onda. Otra técnica usada para recuperar la transmisión fue el incremento de la potencia en el transmisor.

- De acuerdo con los resultados obtenidos en la medición de potencia RF, la señal radiada presenta una atenuación en el canal inversamente proporcional a la distancia. Este efecto se produce por la absorción que genera el canal, haciendo que la señal se debilite al aumentar la distancia.
- La medición de potencia RF presenta una limitante por la sensibilidad del *chip* AD8317, esto genera una frontera invisible que impide al equipo proporcionar una medida que esté bajo los -55 dBm. Este problema se intensifica por la potencia radiada por el generador de señales de 2 y 5 dB, que no es aprovechada al 100% debido a la frecuencia de resonancia de la antena utilizada.
- El módulo interactivo cuenta con un sistema de control de acceso que limita la cantidad de usuarios. Esta función le brinda seguridad al módulo, evitando que personas sin un conocimiento previo, controlen sus instrumentos. Esto permite a los estudiantes comprender que las comunicaciones inalámbricas son aplicables inclusive en sistemas de seguridad y en comunicaciones de muy corta distancia.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda que, en próximas actualizaciones del dispositivo, se incluya modulación FSK, soportada por el chip XR 2206 debido a que, en el presente proyecto no fue considerada dicha modulación.
- Una mejora al módulo desarrollado sería la inclusión de un osciloscopio como parte del propio dispositivo; de esta forma no sería necesario depender de un osciloscopio externo. En el presente proyecto, el presupuesto limitó la recomendación realizada.
- Se recomienda que, para proyectos similares, se considere la utilización de partes recicladas, fomentando así una cultura de reciclaje electrónico. En el presente proyecto, las partes recicladas que fueron utilizadas son los conectores y la batería del módulo transmisor.
- Para solventar el problema de frontera, intensificado por la frecuencia de resonancia de la antena en medición de potencia RF, se recomienda construir una antena capaz de operar en las frecuencias de ISM desde los 433 hasta los 525 MHz.
- Se recomienda que el usuario del módulo didáctico utilice la Guía de Usuario, incluida en el Anexo B; de este modo se facilitará el manejo.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ESFOT, "https://esfot.epn.edu.ec," 15 05 2018. [Online]. Available: <https://esfot.epn.edu.ec/index.php/component/jdownloads/send/3-oferta-academica/578-malla-tecnologia-superior-en-redes-y-telecomunicaciones>. [Accessed 09 06 2019].
- [2] R. G. López, "ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DIDÁCTICOS," Malaga, 2002.
- [3] universidad de Murcia , "Métodos de enseñanza," Murcia.
- [4] Estoy aprendiendo, "http://www.estoy-aprendiendo.com," 2020. [Online]. Available: <http://www.estoy-aprendiendo.com/ondas.html>. [Accessed 05 2020].
- [5] F. T. R. Francesc Rey Micolau, Comunicaciones analógicas: modulaciones AM y FM, una perspectiva historica, Cataluña: UOC (Universidad Oberta de cataluña), 2013.
- [6] CISCO, "https://www.cisco.com," 06 03 2008. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/23231-powervalues-23231.html>.
- [7] SonicWall, "Wireless: SNR, RSSI And Noise Basics Of Wireless Troubleshooting," 2019.
- [8] F. Ramos, "Ruido externo captado por la antena".
- [9] UIT, "Nomenclatura de las bandas de frecuencias," Union Internacional de Telecomunicaciones, 2016.
- [10] ARCOTEL, "https://www.arcotel.gob.ec," 2012. [Online]. Available: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf. [Accessed 05 2020].
- [11] A. Electronica, "OEM Arduino Nano V3.0," AG Electrónica S.A., México, 2017.
- [12] Microchip, "Stand-Alone Ethernet Controller," Microchip Technology Inc, U.S.A, 2006.
- [13] Nextion, "Datasheets-NX8048P070-011R-Y," Nextion, Nanshan Dist, China, 2020.
- [14] Vishay, "OLED-128O032D-LPP3N00000," ww.vishay.com, Malvern, Pensilvania, 2017.
- [15] A.-T. Technology, "Ra-01 LoRa Module," Ai-Thinker, Shenzhen ,China, 2017.
- [16] Semtech, "LoRa portal de desarrollador," 01 01 2020. [Online]. Available: <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>. [Accessed 17 04 2020].
- [17] L. technologies, "Understanding Antenna Specifications and Operation," linxtechnologies.com, Merlin, Estados Unidos, 2012.
- [18] elechouse, "PN532 NFC RFID Module User Guide," elechouse.com, U.S.A, 2012.
- [19] N. Semiconductors, "Near Field Communication (NFC) controller," Product short data sheet, Eindhoven, Países Bajos, 2012.

- [20] A. Devices, "1 MHz to 10 GHz, 55 dB," Analog Devices, Massachusetts, Estados Unidos, 2019.
- [21] Banggood, "Banggood," [Online]. Available: https://es.banggood.com/DC5V-AD8317-Module-RF-Power-Meter-Logarithmic-Detector-Power-Controller-Signal-Amplifier-Fm-HF-VHF-p-1238246.html?rmmds=buy&cur_warehouse=CN. [Accessed 11 04 2020].
- [22] FOXEER, "FOXEER Pagoda PRO 5.8G," FOXEER, 01 01 2020. [Online]. Available: <http://www.foxeer.com/FOXEER-Pagoda-PRO-58G-RHCP-FPV-Antenna-g-111>. [Accessed 12 04 2020].
- [23] Alexnld, "MXK 5.8 GHZ 1.2DBI PAGODA-2 OMNIDIRECTIONAL FPV ANTENNA LHCP/RHCP," Alexnld, 01 01 2020. [Online]. Available: <https://alexnld.com/product/mxk-5-8-ghz-1-2dbi-pagoda-2-omnidirectional-fpv-antenna-lhcp-rhcp-sma-male-95mm/>. [Accessed 12 04 2020].
- [24] N. RF, "Antena omnidireccional 5.8GHz SpiroNET," Nexwave RF, U.S.A, 2014.
- [25] Banggood, "Banggood," 01 01 2020. [Online]. Available: https://es.banggood.com/Aomway-5_8GHz-FPV-4-Leaf-Clover-AV-Transmission-RHCP-Antenna-1-Pair-p-961730.html?ID=514095&cur_warehouse=CN. [Accessed 12 04 2020].
- [26] EXAR, "www.sparkfun.com," 02 2008. [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Kits/XR2206_104_020808.pdf.
- [27] XR-EXAR, "XR-2206 Monolithic Function Generator," TQM, China, 2008.
- [28] STMicroelectronics, "2N3904 SMALL SIGNAL NPN TRANSISTOR," STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES, U.S.A, 2003.
- [29] A. M. Systems, "AMS1117," AMS-semitech, Livermore, U.S.A, 2007.
- [30] T. Instruments, "LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz," Texas Instruments, Dallas, U.S.A, 2020.
- [31] Made-in-China, "1020 CC de fábrica de 3V DC Motor Electrónico del Motor de vibración para teléfono móvil," Focus Technology Co., Ltd, China, 2020.
- [32] STMicroelectronics, "IRF520 N - CHANNEL ENHANCEMENT MODE," SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES, Japon, 1994.
- [33] Dreamland, "SMD 5050 RGB," Dreamland, China, 2020.
- [34] Turnigy, "HobbyKing," 01 01 2020. [Online]. Available: https://hobbyking.com/es_es/new-items.html?merch=1#q=&idx=hbk_live_magento_es_es_products_news_from_date_desc. [Accessed 12 04 2020].
- [35] Samsung, "User manual GT-E2121/E2121L," Samsung, Korea, 2020.
- [36] S&P, "Clasificación de ventiladores," 01 01 2020. [Online]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-clasificacion-de-ventiladores/>. [Accessed 12 04 2020].
- [37] A. Devices, "Wideband Synthesizer ADF 4351," analog, U.S.A, 2017.

- [38] Banggood, "Banggood," 01 01 2020. [Online]. Available: https://www.banggood.com/Geekcreit-Signal-Generator-Module-35M-4_4GHz-RF-Signal-Source-Frequency-Synthesizer-ADF4351-Development-Board-p-1416998.html?rmmds=buy&cur_warehouse=CN. [Accessed 13 04 2020].
- [39] T. Instruments, "I2C Bus Pullup Resistor Calculation," Texas Instruments, U.S.A, 2015.
- [40] I. F. Flores, "Transistores Bipolares," Quito-Ecuador, 2017.
- [41] J. Breed, "AD8317_mWmeter 10MHz - 10GHz," Arduino, 2018.
- [42] C. P. Vega. [Online]. Available: https://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH5ST_Web.pdf. [Accessed 2020].
- [43] ESFOT, "esfot.epn," 01 01 2017. [Online]. Available: <https://esfot.epn.edu.ec/index.php/oferta-academica/tecnologia-superior-en-redes-y-telecomunicaciones>. [Accessed 09 06 2019].
- [44] J. W. C. Pastrana, 01 04 2015. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11375/1/CD-6451.pdf>. [Accessed 05 06 2019].
- [45] B. I. Oratile Khutsoane, "IoT Devices and Applications based on LoRa/LoRaWAN," Mafikeng, South Africa.
- [46] D. I. Lakshmi, "A Vision, Architectural Elements, and Future direction of," Department of Computer Science, Stella Maris College, Nadu India, 2018.
- [47] R. B. M. P. S. M. J Gubbi, "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and," Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Melbourne, Melbourne.
- [48] Sebas, "medium.com," 25 sept 2017. [Online]. Available: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>. [Accessed 20 05 2019].
- [49] J. M. Huidobro, "La tecnología RFID," ACTA, [Online]. Available: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/058037.pdf. [Accessed 05 06 2019].
- [50] Marcelo Cardenas, Diego González,y Camila Retamal, "Protocolo LoRa para implementacion de redes ´," 2018.
- [51] NEXTION, "https://nextion.tech," [Online]. Available: <https://nextion.tech/datasheets/nx8048k070/>. [Accessed 2020].
- [52] G. A. Z. Luna, Internet de las Cosas: extensión del, València: Universidad Politécnica de València, 2014.
- [53] SkyRC, "http://www.ittgroup.ee," 2009. [Online]. Available: http://www.ittgroup.ee/files/IMAX_B6_manual.pdf. [Accessed 05 2020].