

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**PROTOTIPO DE TRANSMISOR DE RADIO FM PARA LA COMUNIDAD
DE OJOJONA**

**SUSTENTADO POR
HAROL SAÚL PERDOMO VÁSQUEZ
31841091**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE LICENCIATURA DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**TEGUCIGALPA, HONDURAS, C.A.
3 DE MAYO DE 2025**

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

DIRECTORA ACADÉMICA DE CEUTEC

JESSY CAROLINA AYESTAS

TEGUCIGALPA, HONDURAS, C.A.

3 DE MAYO DE 2025

**PROTOTIPO DE TRANSMISOR DE RADIO FM PARA LA COMUNIDAD
DE OJOJONA**

**TRABAJO PRESENTADO EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS
EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

ASESOR:

INGENIERO ROGER DANIEL PONCE RODRÍGUEZ

TERNA EXAMINADORA:

INGENIERO ELMER HERNAN CRUZ ÁVILA

LICENCIADA LUCY ALEXANDRA LÓPEZ QUINTANILLA

CIUDAD HONDURAS, C.A.

3 DE MAYO DE 2025

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a todas las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y mi educación:

A mis padres y hermanos, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio a lo largo de mi formación. Su confianza y constante motivación han sido el cimiento sobre el que he construido cada uno de mis logros. Sin su respaldo, nada de esto habría sido posible.

A mi novia, por su amor, paciencia y apoyo constante. Su presencia ha sido una fuente constante de inspiración y fortaleza. Gracias por estar a mi lado en cada momento de este viaje, compartiendo mis alegrías y dándome ánimo en los momentos más difíciles.

A mis compañeros, por haber estado a mi lado y por su apoyo durante este proceso. La amistad, la cooperación y el trabajo en equipo que hemos compartido han sido esenciales para superar las dificultades y alcanzar juntos nuestros objetivos.

A los docentes que han contribuido a mi formación, por su dedicación, paciencia y sabiduría. Sus enseñanzas han sido clave para el desarrollo de mis habilidades y conocimientos. Agradezco profundamente su compromiso con mi educación y el apoyo que siempre me han brindado.

AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero agradecer a Dios por todo lo que nos da en esta vida y sin el nada de esto fuera posible.

Segundo, agradezco a mi novia, por siempre ser la persona que me motiva a ser mejor, es la que me impulsa a seguir adelante y que sin ella no estaría en este punto de la carrera universitaria,

A Rolando, mi jefe, le agradezco por su comprensión, apoyo y flexibilidad, permitiéndome equilibrar mis responsabilidades laborales y académicas. Su liderazgo y orientación han sido fundamentales en mi desarrollo profesional y académico.

A los docentes que me guiaron en mi formación académica, gracias por su paciencia y dedicación. Sus enseñanzas han sido cruciales para desarrollar mis habilidades y conocimientos, y su compromiso con mi educación ha dejado una huella permanente en mi vida.

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se centra en el diseño y construcción de un transmisor de radio FM de baja potencia como solución de comunicación comunitaria para Ojojona, Honduras. La iniciativa surge ante la carencia de medios accesibles para la difusión de contenido educativo, cultural y de interés general. El transmisor, que opera en la frecuencia 102.1 MHz, fue desarrollado con un enfoque técnico riguroso, utilizando un circuito oscilador LC, modulación por frecuencia, amplificación mediante transistores 2N2222 y un filtro pasa-banda para asegurar la calidad y estabilidad de la señal.

Durante su desarrollo, se lograron pruebas exitosas de transmisión, confirmando la estabilidad de la frecuencia y la pureza de la señal portadora. Aunque el alcance actual es limitado a aproximadamente 100 metros, el sistema cumple con sus objetivos iniciales y se establece como una base funcional para futuras ampliaciones. Se comprobó la versatilidad del transmisor al adaptarse a distintas fuentes de audio, y se identificó la etapa resonante como crítica para garantizar una transmisión efectiva.

Entre los aprendizajes más importantes, destaca la sensibilidad del espectro radioeléctrico ante elementos del entorno como estructuras metálicas o vegetación, así como la necesidad de planificación técnica para mejorar la cobertura. A futuro, se plantea la incorporación de transistores más potentes o amplificadores externos, instalación en ubicaciones elevadas, rediseño de la antena y mejoras en el sistema de refrigeración.

Además, se recomienda gestionar las licencias pertinentes ante autoridades como CONATEL para asegurar el cumplimiento normativo y evitar interferencias con otras señales. El proyecto también tiene un impacto formativo, promoviendo el desarrollo de capacidades técnicas dentro de la comunidad y contribuyendo al fortalecimiento de su identidad y participación activa.

Palabras clave

Transmisor FM, Ojojona, modulación de frecuencia, circuito resonante, diseño electrónico, radiodifusión, amplificador de potencia.

ABSTRACT

This project focuses on the design and construction of a low-power FM radio transmitter as a community communication solution for Ojojona, Honduras. The initiative emerged due to the lack of accessible media for broadcasting educational, cultural, and general interest content. The transmitter, operating at a frequency of 102.1 MHz, was developed with a rigorous technical approach, utilizing an LC oscillator circuit, frequency modulation, amplification through 2N2222 transistors, and a band-pass filter to ensure signal quality and stability.

During its development, successful transmission tests were achieved, confirming frequency stability and the purity of the carrier signal. Although the current range is limited to approximately 100 meters, the system meets its initial objectives and serves as a functional foundation for future expansions. The transmitter's versatility was demonstrated by its ability to adapt to various audio sources, and the resonant stage was identified as critical for ensuring effective transmission.

One of the key lessons learned was the sensitivity of the radio spectrum to environmental elements such as metallic structures and vegetation, highlighting the need for technical planning to improve coverage. Future improvements include the incorporation of more powerful transistors or external amplifiers, installation in elevated locations, antenna redesign, and upgrades to the cooling system.

In addition, it is recommended to manage the necessary licenses with authorities such as CONATEL to ensure regulatory compliance and avoid interference with other signals. The project also has an educational impact, promoting the development of technical skills within the community and contributing to the strengthening of its identity and active participation.

Keywords

FM transmitter, Ojojona, frequency modulation, resonant circuit, electronic design, broadcasting, power amplifier.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN EJECUTIVO.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE.....	V
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas	X
GLOSARIO	XI
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1. Antecedentes.....	2
2.1.1. Radios comunitarias en Honduras	2
2.2. Enunciado del Problema	3
2.3. Preguntas de Investigación	3
2.4. Hipótesis y Variables de Investigación.....	3
2.4.1. Hipótesis	3
2.4.2. Variable de investigación.....	4
2.1. Justificación	5
CAPÍTULO III: OBJETIVOS	7
3.1. Objetivo General.....	7
3.2. Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO	8
4.1. Radio Frecuencia Modulada	8
4.2. La Radio como Medio Transformador en Comunidades Rurales	9

4.3.	Línea de tiempo de la Radio	10
4.4.	La Radio FM: Ventajas y Desventajas.....	11
4.5.	La Resonancia.....	12
4.6.	Circuito resonante o tanque	13
4.7.	Filtros Pasivos.....	14
1.5.1	Funcionamiento de un circuito resonante	16
4.8.	Desafíos y oportunidades.....	17
4.8.1.	Desafíos.....	17
4.8.2.	Oportunidades.....	18
4.9.	Componentes.....	19
4.9.1.	Tabla de precios	26
4.10.	Diagrama de Bloques.....	27
4.10.1.	Diagrama esquemático de circuito.....	27
4.11.	Desarrollo del Transmisor de Radio FM	27
4.11.1.	Definición de los requisitos técnicos.	27
4.11.2.	Diseño del Circuito	28
4.11.3.	Construcción del circuito	29
4.11.4.	Pruebas Iniciales de Funcionamiento.....	31
4.11.5.	Pruebas de Calidad de la Señal	31
4.11.6.	Pruebas de Interferencia.....	32
4.11.7.	Pruebas de Seguridad y Estabilidad.....	32
4.11.8.	Ajustes Finales y Optimización	33
4.11.9.	Pruebas de Legalidad	33
4.12.	Requisitos legales.....	33
4.12.1.	CONATEL.....	33

4.12.2.	Requisitos a considerar para un transmisor de radio FM comunitario.	36
4.13.	Mejoras del transmisor.....	39
4.13.1.	Intento de implementación de transistor MOSFET de 45W.....	39
4.13.2.	Intento de implementación de transistores 2N2222 en paralelo	40
CAPÍTULO V: METODOLOGÍA		41
5.1.	Enfoque y Métodos.....	41
5.2.	Investigación Inicial.....	41
5.2.1.	Diseño del Sistema.....	42
5.2.2.	Construcción y Ajustes	42
5.2.3.	Pruebas en Campo y Validación	43
5.2.3.	Implementación y Evaluación.....	44
5.3.	Población y Muestra	44
5.4.	Unidad de Análisis y Respuesta.....	44
5.4.1.	Unidad de Análisis.....	44
5.4.2.	Respuesta de la comunidad.....	45
5.5.	Técnicas e Instrumentos Aplicados	45
5.6.	Fuentes de Información.....	47
5.7.	Cronología de Trabajo	47
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS		48
Resultados		48
Rubrica de evaluación		53
Instrumento mixto de control de variables		54
Análisis.....		55
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....		57
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES.....		58

BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 4-1:</i> Imagen de antenas de radio	8
<i>Figura 4-2:</i> Radio comunitaria en lugares rurales	9
<i>Figura 4-3:</i> Circuito tanque o resonante (Newton C. Braga, 2014)	14
<i>Figura 4-4:</i> Filtro pasa-baja.....	14
<i>Figura 4-5:</i> Filtro pasa-baja.....	15
<i>Figura 4-6:</i> Filtro pasa-banda	15
<i>Figura 4-7:</i> Filtro rechaza-banda.....	15
<i>Figura 4-8:</i> Ejemplo de circuito resonante (Newton C. Braga, 2014)	16
<i>Figura 4-9:</i> Jack de audi 3.5 mm	19
<i>Figura 4-10:</i> Interruptor de corriente 250V 6A KCD1-101	20
<i>Figura 4-11:</i> Jack de 9V y 12V con tuerca.....	20
<i>Figura 4-12:</i> Transistores NPN 2N3904	21
<i>Figura 4-13:</i> Capacitores ceramicos 0-25V 1pf - 100nf	22
<i>Figura 4-14:</i> Capacitores Trimmer.....	22
<i>Figura 4-15:</i> Diodos leds 5mm	23
<i>Figura 4-16:</i> Baquelita virgen para prototipo PCB de cobre	24
<i>Figura 4-17:</i> Alambre Magnético 1 Metro	24
<i>Figura 4-18:</i> Resistencias de filamento.....	25
<i>Figura 4-19:</i> Diagrama esquemático de circuito.....	27
<i>Figura 4-20:</i> Simulación de circuito.....	29

<i>Figura 4-21: Montaje de circuito en baquelita perforada.</i>	30
<i>Figura 4-22: circuito con componentes soldados.</i>	30
<i>Figura 4-23: Verificación de frecuencia de salida.</i>	31
<i>Figura 4-23: Pruebas con transistor MOSFET.</i>	40
<i>Figura 4-24: Pruebas con transistores 2N2222.</i>	41
<i>Figura 5-1: Circuito electrónico de transmisor de radio FM</i>	42
<i>Figura 5-2: Simulación de PCB en Proteus</i>	43
<i>Figura 5-3: Analizador de espectros Hexylon (Hexylon, s.f.)</i>	43
<i>Figura 5-4: Instrumento de medición Hexylon</i>	45
<i>Figura 5-5: Instrumento de medición de potencia RF (Vatímetro).</i>	46
<i>Figura 5-6: Cronología de trabajo, diagrama de Gantt.</i>	48
<i>Figura 6-1: Filtro pasa-banda a 102.1 MHz.</i>	51
<i>Figura 6-2: Grafica de filtro pasa-banda.</i>	51
<i>Figura 6-1: Analizador de espectro Hexylon</i>	52
<i>Figura 10-1: Pista de circuito, fase 1</i>	61
<i>Figura 10-2: Circuito impreso para baquelita, fase 1</i>	61
<i>Figura 10-3: Dimensiones de baquelita, fase 1</i>	62
<i>Figura 10-3: Circuito de pistas PCB, fase 1</i>	62
<i>Figura 10-6: Dibujo de circuito en baquelita, fase 1</i>	63
<i>Figura 10-7: Revelación de pistas después del ácido, fase 1</i>	64
<i>Figura 10-8: Circuito con componentes, fase 1.</i>	64
<i>Figura 10-9: Transmisor en carcasa con botón de encendido y conectores.</i>	65
<i>Figura 10-10: Grafica de filtro Pasa-banda.</i>	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Variables de investigación.....	4
Tabla 4-2: Precios de materiales.	26
TABLA 4-3: Requisitos para servicio de radiodifusión sonora (FM) con fines comunitarios.....	36
Tabla 6-1: VARIABLES CONTINUAS (Evaluadas cuantitativamente).....	53
Tabla 6-2: VARIABLES DISCRETAS (Evaluadas cualitativamente)	53
Tabla 6-3: Control de Variables Discretas (Lista de Cotejo).....	54
Tabla 6-4: Control de Variables Continuas (Escala de Medición).....	55

GLOSARIO

La definición de todas las palabras de este glosario fue buscada en el Diccionario de la Real Academia Española. (Real Academia Española, 2019)

Radiotransmisor: m. Aparato empleado para producir y enviar ondas portadoras de sonidos u otras señales. El policía decide pedir ayuda a la central a través de su radiotransmisor.

FM: f. Radio Sistema de transmisión por medio de la modulación de la frecuencia de las ondas sonoras, que permite una alta calidad de sonido. La cadena de radio tiene varias emisoras que emiten en FM. Tb. la banda de frecuencias correspondiente en el aparato receptor.

Oscilador: m. Fís. Aparato o dispositivo capaz de producir oscilaciones eléctricas o mecánicas. En electrónica, designa un circuito eléctrico generador de señales periódicas.

Amplificador: m. Aparato que sirve para aumentar la amplitud o intensidad de un fenómeno físico, espec. el sonido.

Antena: f. Dispositivo de los aparatos emisores o receptores que, con formas muy diversas, sirve para emitir o recibir ondas electromagnéticas.

Resonancia: La resonancia en circuitos RLC ocurre cuando las reactancias se igualan, haciendo que la energía almacenada oscile continuamente entre el inductor y el capacitor, resultando en una impedancia puramente resistiva.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El acceso a medios de comunicación en zonas rurales como Ojojona, Honduras, es limitado, lo que resalta la importancia de iniciativas como la radio comunitaria. Este proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un prototipo de transmisor de radio FM, con el objetivo de facilitar la difusión de contenido educativo, cultural y de interés general en la comunidad.

Se plantearon objetivos orientados a lograr una cobertura mínima de 100 metros sin interferencias, diseñar un sistema de filtrado eficiente y evaluar el desempeño del transmisor tanto técnica como socialmente. Las hipótesis se centraron en dos aspectos: el uso de un transistor de potencia para mejorar el alcance, y la implementación de filtros de radiofrecuencia para evitar interferencias y cumplir con las normativas de CONATEL.

El desarrollo incluyó la definición de requisitos técnicos, diseño y simulación del circuito, construcción del transmisor, y múltiples pruebas funcionales. Se utilizaron componentes como un oscilador LC, un transistor 2N2222 para amplificación y filtros de señal, además de una antena sencilla acorde a la baja potencia del equipo.

Los resultados demostraron que el transmisor es funcional, con buena calidad de señal, estabilidad en la frecuencia seleccionada (102.1 MHz) y sin interferencias significativas, validando así las hipótesis planteadas. Este prototipo sienta las bases para futuras mejoras e implementación de soluciones similares en otras comunidades rurales.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes

La comunidad de Ojojona, ubicada en un área con limitadas opciones de comunicación, enfrenta desafíos para acceder a información importante y programas educativos. La radio ha sido históricamente un medio esencial para conectar a las comunidades rurales, proporcionando acceso a contenido educativo y cultural. Sin embargo, Ojojona carece de un transmisor de radio local que pueda suplir esta necesidad y fomentar la participación comunitaria.

2.1.1. Radios comunitarias en Honduras

En Honduras, la radio FM se ha convertido en un medio de comunicación de alta demanda debido a la limitada cobertura de otros medios y su capacidad de llegar a comunidades remotas donde otros canales no logran acceso. Por ello, muchas personas han optado por invertir en pequeñas radios comunitarias, con el objetivo de transmitir o retransmitir señales que mantengan a la población informada, al tiempo que generan ingresos a través de publicidad y otros servicios.

En respuesta a esta necesidad, la Red de Desarrollo Sostenible Honduras (RDS-HN), junto con el Programa de Transformación del Ministerio de Asuntos Exteriores de la República Checa, lanzaron en 2018 el proyecto “Comunicando con Dignidad”. Esta iniciativa beneficia a radios comunitarias indígenas como Radio Morazanista 106.1 FM en Intibucá y Radio Lepaterique "La Voz Lenca" 102.9 FM en Francisco Morazán, fortaleciendo su capacidad de gestión informativa y técnica.

Con un enfoque participativo, el proyecto ha capacitado a jóvenes voluntarios, promoviendo su desarrollo técnico y cognitivo. Actualmente, las acciones se están expandiendo a dos radios comunitarias en Choluteca: Radio Cholula Triunfeña 89.1 FM, en el municipio de El Triunfo, y Radio Sapotillo 89.1 FM, en Orocuina, mediante un plan de formación diseñado específicamente para sus necesidades. (Red de desarrollo sostenible, 2024)

2.2. Enunciado del Problema

Actualmente, la comunidad de Ojojona no dispone de un sistema de comunicación local o comunitario que permita la difusión de información crítica, programas educativos o anuncios de distintos tipos como ser, religiosos, políticos o comerciales. Esto limita el acceso de los habitantes a recursos informativos que son esenciales para su desarrollo social y cultural. La creación de un transmisor de radio FM es una solución que busca cerrar esta brecha y fortalecer la comunicación local.

2.3. Preguntas de Investigación

- ¿Qué características técnicas debe tener un transmisor de radio FM para cubrir al menos 100 metros en un entorno rural como Ojojona, sin comprometer la estabilidad ni generar interferencias?
- ¿Qué tipo de filtros (pasa baja, pasa alta o pasa banda) son más adecuados para garantizar que la señal emitida se mantenga dentro del ancho de banda autorizado por CONATEL?
- ¿Cómo influye la implementación de filtros de radiofrecuencia en la reducción de interferencias con otras frecuencias o estaciones de radio cercanas?
- ¿Qué tan efectivo es el prototipo del transmisor en términos de cobertura geográfica, calidad de audio y recepción por parte de la comunidad?

2.4. Hipótesis y Variables de Investigación

2.4.1. Hipótesis

1. Aumento de potencia del transmisor.

Hipótesis: Si se implementa un transistor de potencia a la etapa de amplificación de RF se podría obtener una mayor potencia y por ende una mayor cobertura de la zona

Justificación:

Ojojona, al ser una región rural, podría presentar desafíos técnicos debido a la geografía,

el clima o el acceso limitado a recursos energéticos. Por lo tanto, la potencia del transmisor debe ser suficiente para cubrir un área amplia sin causar interferencias con otras estaciones.

2. Filtro de radio frecuencia.

Hipótesis: Si se aplica un arreglo de filtros pasa baja, filtros pasa alta o filtro pasa banda, se podría garantizar que la frecuencia de oscilación permanecería dentro del ancho de banda autorizado por los entes reguladores como lo es CONATEL. (Ajustar)

Justificación:

Si la señal interfiere en otras frecuencias podríamos ser sancionados por los entes reguladores, además de estar perjudicando a otras radios.

2.4.2. Variable de investigación

Tabla 2-1 Variables de investigación

Variable	Definición	Tipo de Variable	Medición	Método de Recolección
Cobertura de la señal	Distancia máxima a la que el transmisor de radio puede emitir una señal con calidad aceptable.	Cuantitativa (continua)	Medición de alcance con receptores de radio.	Pruebas de campo con mediciones específicas en varias ubicaciones.
Estabilidad de la frecuencia	Variabilidad o estabilidad de la frecuencia de transmisión a lo largo del tiempo.	Cuantitativa (continua)	Medición de la frecuencia con frecuencímetro.	Análisis de datos de frecuencia durante la

				operación del transmisor.
Eficiencia del sistema	Desempeño del transmisor, evaluado a través de su capacidad para mantener la transmisión continua sin fallos.	Cuantitativa (continua)	Registro de fallos, funcionamiento continuo.	Monitoreo del funcionamiento y análisis de tiempos de inactividad.

Esta tabla muestra todas las variables a considerar para poder diseñar, fabricar e implementar un transmisor de Radio FM.

2.1. Justificación

El proyecto del transmisor de radio FM para la comunidad de Ojojona tiene como objetivo proporcionar una plataforma de comunicación accesible y eficiente que beneficie a toda la comunidad. La radio FM se presenta como una herramienta ideal para la transmisión de información en áreas rurales, donde otras formas de comunicación pueden ser limitadas o costosas. En este contexto, el transmisor de radio no solo permitirá la difusión de información crucial sobre salud, seguridad, y eventos locales, sino también promoverá el acceso a programas educativos que pueden enriquecer los conocimientos de los habitantes, contribuyendo al desarrollo personal y comunitario.

Además, la radio puede desempeñar un papel importante en la preservación y promoción de la cultura local. Permitiría la difusión de contenidos relacionados con las tradiciones y costumbres de Ojojona, lo que fortalecería la identidad comunitaria y fomentaría un sentido de pertenencia. La posibilidad de transmitir programas interactivos también abriría espacios para que los miembros de la comunidad se expresen, favoreciendo un ambiente de participación activa en la toma de decisiones y en la resolución de problemas locales.

El proyecto también tiene un impacto en el desarrollo de la infraestructura tecnológica local. La creación y gestión del transmisor permitirá transferir conocimientos técnicos a los habitantes, especialmente a jóvenes y estudiantes, quienes podrán involucrarse en la operación del sistema y adquirir experiencia práctica en áreas como la ingeniería, la tecnología y las comunicaciones. Esto no solo contribuirá al crecimiento personal, sino que también podría generar empleo en la comunidad en áreas como la operación de la emisora y el mantenimiento del equipo.

El acceso a la radio es sencillo y económico, lo que la convierte en una opción viable para comunidades rurales. En Ojojona, donde la conectividad a internet o el acceso a otros medios tecnológicos pueden ser limitados, la radio FM garantiza que todos los hogares puedan recibir la señal sin la necesidad de equipos costosos o complicados. Esto asegura que la comunidad tenga acceso a una fuente confiable de información y entretenimiento, incluso en áreas de difícil acceso o con limitaciones tecnológicas.

A largo plazo, el proyecto tiene el potencial de generar un impacto significativo en la comunidad, no solo al proporcionar información y educación, sino también al abrir nuevas oportunidades económicas. La visibilidad que genera una emisora local puede atraer turistas, promover el emprendimiento y fortalecer la economía local, mientras que la creación de contenido local puede abrir puertas a nuevas iniciativas sociales y culturales. Así, el transmisor de radio FM se presenta no solo como un medio de comunicación, sino como una herramienta integral de desarrollo social, económico y cultural.

CAPÍTULO III: OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de transmisor de radio FM para la comunidad de Ojojona, que permita la difusión de contenido educativo, cultural y de interés general.

3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar circuito de potencia que tenga una cobertura mínima de 100 metros sin sacrificar estabilidad e interferencias.
- Diseñar un circuito encargado de filtrar la señal y evitar interferencias en otras frecuencias
- Evaluar la efectividad del transmisor en términos de alcance, calidad de la señal y satisfacción de la comunidad.

CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO

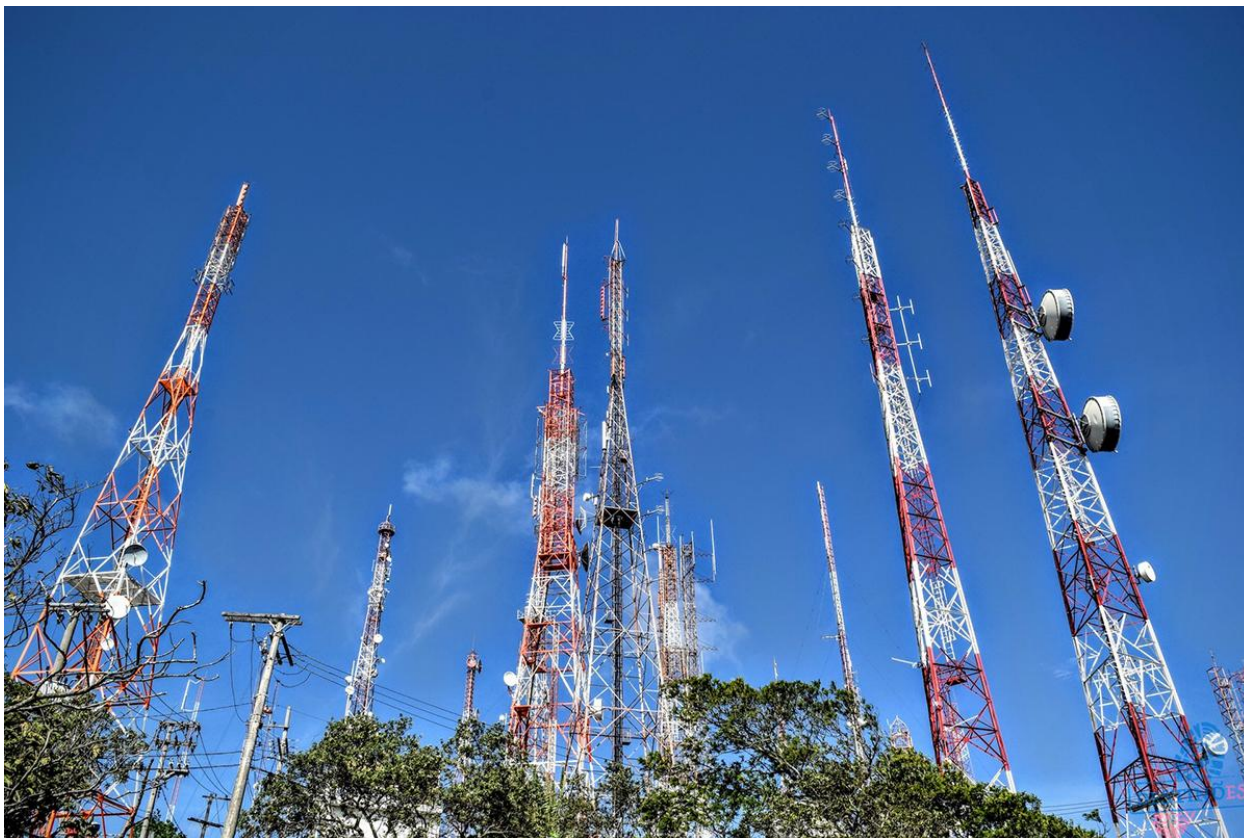


Figura 4-1: Imagen de antenas de radio

4.1. Radio Frecuencia Modulada

La Frecuencia Modulada (FM) es un sistema de transmisión de radio en el que se modula la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la señal de audio que se transmite. Este proceso se conoce como "modulación de la señal de audio", y permite que las ondas de radiofrecuencia transporten señales de sonido. La FM tiene varias ventajas sobre el sistema de Amplitud Modulada (AM), entre ellas su mayor resistencia a interferencias y su capacidad de ofrecer mejor fidelidad tonal, lo que resulta en una calidad de sonido superior. (Jaimes Busto Mandiola, 1960)

La FM es ampliamente utilizada en la radiodifusión, especialmente para la transmisión de música, debido a la claridad del sonido que ofrece en comparación con el sistema AM, que tiende a sufrir más interferencias y distorsión. (Jaimes Busto Mandiola, 1960)

4.2. La Radio como Medio Transformador en Comunidades Rurales



Figura 4-2: Radio comunitaria en lugares rurales

Las comunidades rurales enfrentan desafíos significativos en términos de acceso a servicios básicos como electricidad, telefonía e internet, lo que las coloca en una situación de aislamiento informativo. En este contexto, la radio se consolida como un medio esencial para la comunicación, educación y acceso a información global y local.

La radio no solo actúa como un canal informativo, sino también como una herramienta para el desarrollo, particularmente cuando es utilizada por organismos como la FAO para promover prácticas agrícolas sostenibles y estrategias comunitarias que impulsen el progreso social y económico (ONU, 2014) Este medio ofrece una accesibilidad única debido a su bajo costo, simplicidad técnica y capacidad de penetrar en territorios con infraestructura limitada.

En un mundo cada vez más interconectado, la radio sigue siendo relevante para fomentar la cohesión social y servir como plataforma para el intercambio cultural y la educación en áreas marginadas. Así, las radios comunitarias se convierten en vehículos de cambio social y empoderamiento, garantizando que las voces de las comunidades sean escuchadas y atendidas.

4.3. Línea de tiempo de la Radio

1894: Albert Turpain realiza la primera emisión-recepción de señales Morse a 25 metros en Francia.

1895: Popov (Rusia) presenta el primer receptor de ondas electromagnéticas y Marconi realiza la primera transmisión sin hilos a 400 metros en Italia.

1896: Marconi patenta su invento en Inglaterra y realiza un intercambio de señales Morse a 3 km.

1897: Marconi funda la Wireless Telegraph and Signal Company en Londres; Karl Braun inventa la antena acoplada.

1898: Ducretet realiza transmisiones en París entre la Torre Eiffel y el Panteón (4 km).

1899: Marconi transmite a través del Canal de la Mancha y Popov realiza transmisiones de 50 km.

1901: Marconi logra la primera transmisión transatlántica sin hilos entre Poldhu y Terranova.

1912: El Titanic naufraga, y la radio juega un papel crucial en el rescate. Se regula la radio en EE. UU. con la Radio Act of 1912.

1920: KDKA en Pittsburgh realiza la primera transmisión comercial regular de radio.

1922: La BBC inicia sus transmisiones regulares en Reino Unido y la RCA se convierte en una de las mayores empresas de radio en EE. UU.

1933: Edwin Armstrong desarrolla la radio FM, mejorando la calidad del sonido y reduciendo las interferencias.

1950: La radio AM se convierte en el medio de comunicación masivo principal.

1970: La radio por satélite gana popularidad, ofreciendo mejor calidad y cobertura global.

1990: La radio en línea se expande con el auge de Internet y plataformas de streaming.

2000: El podcasting y la radio digital crecen, permitiendo a los usuarios controlar el contenido que consumen.

2010: Plataformas como Spotify y Apple Music transforman la radio tradicional, ofreciendo servicios de streaming personalizados. (UNESCO, 1997)

4.4. La Radio FM: Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Tiene una elevada inmediatez para hacer llegar la noticia.
- Permite interacción en tiempo real con su audiencia.
- Otro de los aspectos positivos una forma barata de mantener informada a la población.
- Dada su simplicidad, se puede transmitir cualquier mensaje con mucha rapidez.
- El dispositivo para tener acceso a la radio es barato, ahora se puede escuchar incluso en un smartphone.
- Está altamente segmentada.
- Goza de amplia credibilidad.
- Es uno de los medios de comunicación con mayor penetración; es decir, que llega a más personas.

Desventajas

- No hay imagen visual, lo que, en ese sentido, presenta al medio en minusvalía frente a la televisión.

- Para los oyentes, el spot publicitario puede ser molesto, sobre todo cuando son muchos.
- La audiencia es difícil de medir, esto no es bueno para la publicidad si se le compara con internet, razón por la que un anunciante solo tiene métricas con limitaciones de acceso a los datos.

4.5. La Resonancia

La resonancia es un fenómeno físico que ocurre en sistemas que contienen componentes como inductores y capacitores. En términos simples, es la condición en la que un sistema vibra con la máxima amplitud debido a que la frecuencia de una excitación externa coincide con la frecuencia natural del sistema. (Hayt, 2019)

En el caso de circuitos eléctricos, específicamente circuitos RLC (que combinan resistencias, inductores y capacitores), la resonancia tiene lugar cuando la impedancia del circuito es puramente resistiva.

Esto significa que la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva se cancelan entre sí, dejando únicamente la resistencia en el circuito.

Características principales:

Frecuencia resonante:

Es la frecuencia a la cual ocurre la resonancia y está dada por la ecuación:

$$F = \frac{2\pi}{\sqrt{(L)(C)}}$$

Resonancia en circuitos:

En un circuito RLC en serie, la corriente alcanza su valor máximo en la frecuencia resonante, ya que la impedancia total es mínima.

En un circuito RLC en paralelo, la corriente a través de la fuente es mínima porque la admitancia total es puramente resistiva.

Aplicaciones:

- Filtros electrónicos, donde la resonancia permite seleccionar señales de una frecuencia específica.
- Radiotransmisión y recepción, al ajustar la frecuencia resonante para captar señales deseadas.

Efectos prácticos:

- Puede ser beneficiosa, como en sistemas de transmisión de energía y comunicación.
- Puede ser indeseable, como en estructuras mecánicas, donde la resonancia puede causar fallas debido a vibraciones excesivas.

4.6. Circuito resonante o tanque

Los circuitos resonantes se encuentran en prácticamente todos los equipos de telecomunicaciones. Son responsables de la frecuencia de la señal que debe ser transmitida o recibida, por la separación de señales en filtros, por el rechazo de interferencias y ruidos y mucho más.

Todos los objetos tienen una frecuencia de vibración. Percibimos esto cuando golpeamos una copa, un pedazo de metal o un diapasón. El material de que se hace el objeto, sus dimensiones y su formato determinan esta frecuencia. Denominamos esta frecuencia de "frecuencia de resonancia". Un hecho interesante puede ser observado cuando dos objetos cercanos tienen la misma frecuencia de resonancia y hacemos uno de ellos vibrar. (Newton C. Braga, 2014)

Dos diapasones afinados para la misma frecuencia, por ejemplo, pueden servir de ejemplo para un experimento interesante que involucra este hecho. Cuando golpeamos en un emisor de sonido, este sonido hace que el otro diapasón entre en vibración.

Este fenómeno también ocurre con los circuitos electrónicos. Determinados circuitos electrónicos también poseen frecuencias propias de vibración, emitiendo señales en una sola frecuencia cuando son excitados. Y, circuitos similares que reciben estas frecuencias tienden a

vibrar de forma más intensa, recibiendo las señales de estas frecuencias. En el caso, el circuito que hace esto es el circuito resonante LC. (McAllister., s.f.)

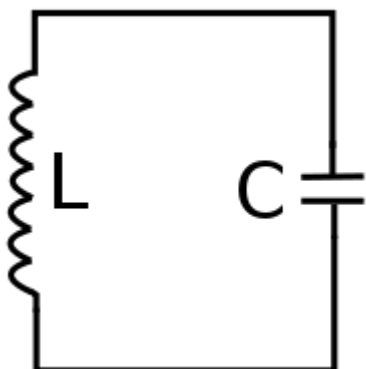


Figura 4-3: Circuito tanque o resonante (Newton C. Braga, 2014)

Este circuito presenta algunas propiedades de extrema importancia para las radiocomunicaciones. La primera de ellas es la de oscilar en una frecuencia única, vamos a suponer que el capacitor esté completamente cargado.

4.7. Filtros Pasivos

Un filtro es un circuito que permite pasar ciertas frecuencias y atenúa otras. Puede ser pasivo (usando R, L y C) o activo (incluyendo transistores o amplificadores operacionales). Los filtros LC, usados por más de ocho décadas, tienen aplicaciones en ecualizadores, acoplamiento de impedancias, divisores de potencia, y radio frecuencia y más. También existen otros tipos como los digitales, electromecánicos y de microondas. (Sadiku, 2013)

- Un filtro pasa-bajas deja pasar frecuencias bajas y detiene frecuencias elevadas.

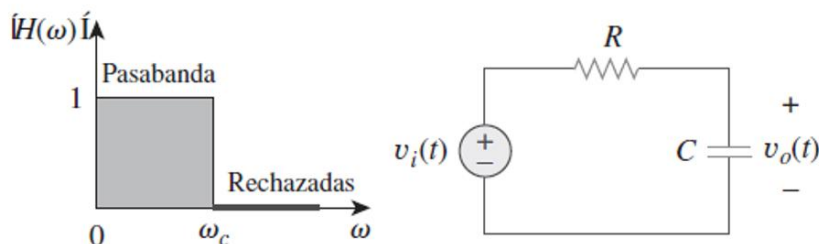


Figura 4-4: Filtro pasa-baja

- Un filtro pasa-altas deja pasar altas frecuencias y rechaza las frecuencias bajas.

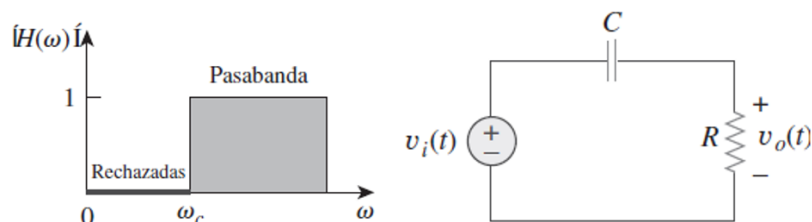


Figura 4-5: Filtro pasa-baja.

- Un filtro pasa-banda deja pasar frecuencias dentro de una banda de frecuencia y bloquea o atenúa las frecuencias fuera de la banda.

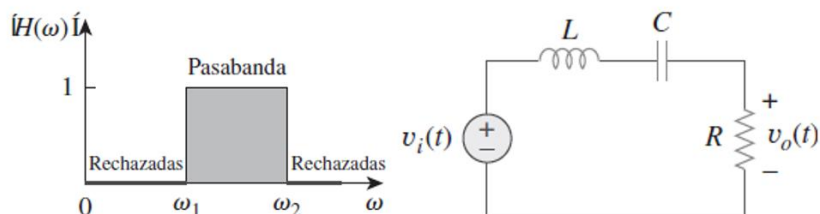


Figura 4-6: Filtro pasa-banda.

- Un filtro rechaza-banda deja pasar frecuencias fuera de una banda de frecuencia y bloquea o atenúa frecuencias dentro de la banda.

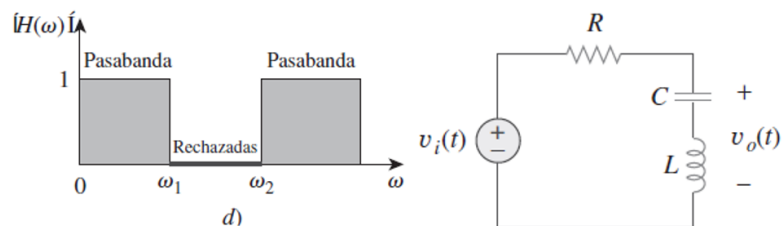


Figura 4-7: Filtro rechaza-banda.

1.5.1 Funcionamiento de un circuito resonante

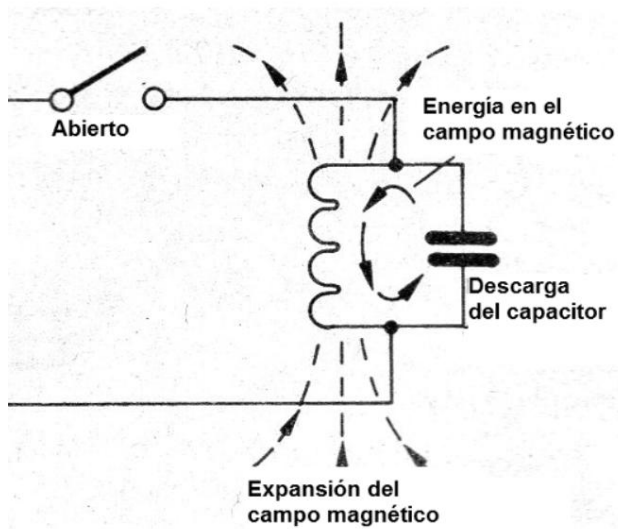


Figura 4-8: Ejemplo de circuito resonante (Newton C. Braga, 2014)

1. El capacitor almacena energía en un campo eléctrico, que al descargarse genera un campo magnético en el inductor.
2. La contracción del campo magnético recarga el capacitor con polaridad opuesta, iniciando un ciclo de oscilación.
3. Estas oscilaciones generan una señal cuya frecuencia depende del capacitor y el inductor, pero se amortiguan debido a las pérdidas por resistencia.
4. En osciladores, se utiliza un amplificador para reponer la energía perdida, manteniendo constante la amplitud de la señal.
5. Cuando el circuito resuena a su frecuencia natural, amplifica señales externas coincidentes y rechaza las demás, permitiendo aplicaciones como la sintonización en radios.
6. Capacitores variables o diodos de capacitancia ajustable permiten seleccionar frecuencias específicas, posibilitando sintonización manual o automática.

4.8. Desafíos y oportunidades

4.8.1. Desafíos

1. Diseño y Complejidad Técnica:

- Elaborar un diseño eficiente que integre correctamente los módulos de oscilación, modulación, amplificación y transmisión.
- Equilibrar el tamaño y la potencia del circuito para obtener un buen rendimiento sin comprometer la calidad de la señal.

2. Selección de Componentes:

- Identificar y adquirir componentes electrónicos adecuados como transistores, resistencias, capacitores, inductores y cristales de cuarzo.
- Posibles dificultades para encontrar componentes específicos en el mercado local.

3. Control de Interferencias:

- Diseñar un circuito que minimice la interferencia entre las distintas etapas del sistema y con otros dispositivos electrónicos cercanos

4. Estabilidad y Ajuste de Frecuencia:

- Asegurar que el oscilador mantenga una frecuencia estable durante la transmisión, especialmente ante cambios de temperatura o suministro eléctrico.

5. Optimización del Alcance:

- Calibrar la antena y los circuitos de salida para maximizar el alcance sin exceder los límites legales de potencia.

6. Compatibilidad y Acoplamiento de Impedancia:

- Diseñar un sistema que asegure una correcta transferencia de energía entre el circuito y la antena.

7. Pruebas y Ajustes:

- Realizar pruebas exhaustivas para identificar fallos, ajustar la modulación y garantizar la calidad de la señal.

8. Simulación y Prototipos:

- Uso de herramientas como Proteus o LTspice para simular el comportamiento del circuito antes de fabricarlo. Las simulaciones pueden no representar con precisión el comportamiento real del circuito

9. Fabricación y Soldadura:

- Ensamblar los componentes en una placa de circuito impreso (PCB) sin errores de conexión ni cortocircuitos.

10. Costo:

- Mantener un presupuesto ajustado mientras se adquieren componentes de calidad para garantizar el buen funcionamiento.

4.8.2. Oportunidades

1. Desarrollo de Habilidades Técnicas:

- Aprender y aplicar conocimientos avanzados en diseño de circuitos electrónicos, radiofrecuencia y transmisión de señales.

2. Optimización del Diseño:

- Personalizar el diseño del transmisor según las necesidades específicas de la comunidad y el entorno geográfico.

3. Uso de Tecnología Accesible:

- Aprovechar herramientas de simulación y software libre para probar el circuito antes de ensamblarlo, reduciendo errores.
4. Flexibilidad del Proyecto:
- Diseñar un circuito modular que permita actualizaciones futuras, como mejorar la calidad del sonido o extender el alcance.
5. Sostenibilidad y Replicabilidad:
- Diseñar un sistema que pueda ser replicado en otras comunidades con limitaciones similares, ampliando el impacto del proyecto.

4.9. Componentes

Todos los componentes utilizados en este proyecto se compraron en C&D Tecnología (C&D Tecnología, s.f.)

1. Jack de audio 3.5mm para PCB estéreo



Figura 4-9: Jack de audi 3.5 mm

Características:

Conector Jack de montaje en panel de 3,5 mm suministrado con contratuerca, cuenta con 4 contactos que lo hace perfecto para poder capturar un audio estéreo y poder tener la mejor calidad de audio.

2. Interruptor de corriente 250V 6A KCD1-101



Figura 4-10: Interruptor de corriente 250V 6A KCD1-101

Especificaciones:

- Voltaje y corriente nominales: 6A 250V CA
- Resistencia aislada:> 100M ohm
- Capacidad de resistencia de voltaje: 2000V / min
- Temperatura de trabajo: T 85
- Ciclo de vida:> 10000 veces
- Dimensiones: 21mm (L) x 15mm (W) x 13.2mm (H)

3. Jack de 9V y 12V con tuerca



Figura 4-11: Jack de 9V y 12V con tuerca

Características:

- 2 terminales tipo positivo y negativo.
- Tomará conectores de empuje de 3,2 mm o ajuste de soldadura.

- Requiere espacio libre total detrás del panel de 13 mm.

Especificaciones:

- Capacidad de contacto: MAX 3A 12V DC
- Tamaño del conector: 2.1 mm x 5.5 mm x 9 mm
- Tamaño del producto: 10 mm x 10 mm x 18 mm
- Profundidad máxima del panel: 3 mm

4. Transistores NPN 2N3904

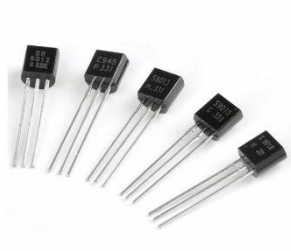


Figura 4-12: Transistores NPN 2N3904

Especificaciones:

- Encapsulado tipo TO-92
- Voltaje máximo de operación 40V
- Corriente máxima entre colector – emisor 200mA
- Tres terminales, Base, Emisor y Colector.

5. Capacitores ceramicos 0-25V 1pf - 100nf



Figura 4-13: Capacitores ceramicos 0-25V 1pf - 100nf

Características:

- Nomenclatura 104

6. Capacitores Trimmer



Figura 4-14: Capacitores Trimmer

Descripción:

Los capacitores trimmer, también conocidos como condensadores ajustables o condensadores variables, son componentes electrónicos cuya capacidad eléctrica puede ajustarse manualmente. Estos son utilizados en circuitos electrónicos para ajustar o sintonizar la frecuencia, la respuesta de frecuencia o la temporización de un circuito.

Características:

- **Ajustabilidad:** Pueden ajustarse manualmente utilizando una herramienta adecuada, como un destornillador, para cambiar la capacidad.
- **Configuración:** A menudo vienen en configuraciones de dos placas o más, donde la distancia entre las placas se puede ajustar para cambiar la capacidad.
- **Aplicaciones:** Se utilizan en circuitos de radiofrecuencia (RF), osciladores, sintonización de antenas, circuitos de temporización y en otros lugares donde la capacidad precisa y ajustable es esencial.

7. Diodos Leds 5mm



Figura 4-15: Diodos leds 5mm

Especificaciones:

- Corriente recomendada 20mA
- Voltaje de operación, dependiendo el color.

8. Baquelita virgen para prototipo PCB de cobre



Figura 4-16: Baquelita virgen para prototipo PCB de cobre

Descripción:

- Compatible mecánicamente y se conecta eléctricamente con componentes electrónicos utilizando pistas conductoras, almohadillas y otras características grabadas de láminas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor.

9. Alambre Magnetico 1 Metro



Figura 4-17: Alambre Magnético 1 Metro

Descripción:

es un tipo de alambre conductor recubierto con una capa de aislamiento de esmalte. Este tipo de alambre se utiliza comúnmente en aplicaciones donde se requiere la creación de bobinas electromagnéticas, como en motores eléctricos, transformadores, inductores y otros componentes eléctricos y electrónicos.

Características:

- Diámetro del Alambre: 0.812 mm y 0.511mm

- Calibre del Alambre: 20 y 24 AWG (American Wire Gauge)
- Cobre: Generalmente hecho de cobre debido a su excelente conductividad eléctrica.
- Alto Grado de Pureza: Asegura baja resistencia eléctrica y alta eficiencia en aplicaciones electromagnéticas.
- Esmalte de Poliuretano o Poliamida: Recubierto con un esmalte aislante que protege el alambre y permite su uso en bobinas y enrollados sin riesgo de cortocircuitos.
- Alta Resistencia a la Temperatura: Resistente a temperaturas elevadas, lo que permite su uso en aplicaciones donde se genera calor.

10. Resistencias de filamento



Figura 4-18: Resistencias de filamento

Descripción:

Las resistencias son componentes que se oponen al paso de la corriente consumiendo la corriente y disipándola en forma de calor, con esto se logra proteger los componentes periféricos y dejando pasar solo la corriente necesaria.

Características:

- **470 ohm ¼ watt**
- **10k ohm ¼ watt**

- **1M ohm ¼ watt**
- **100k ohm ¼ watt**
- **100 ohm ¼ watt**
- **10 ohm ¼ watt**

4.9.1. Tabla de precios

Tabla 4-2: Precios de materiales.

Tabla de precios de componentes				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio	Total
1	Jack de audio 3.5mm para PCB estéreo	1	L60.00	L60.00
2	Interruptor de corriente 250V 6A KCD1-101	1	L25.00	L25.00
3	Jack de 9V y 12V con tuerca	1	L60.00	L60.00
4	Transistores NPN 2N2222	6	L6.20	L37.20
5	Capacitores cerámicos 0-25V 1pf - 100nf	6	L6.20	L37.20
6	Capacitores Trimmer de 0-30pf	1	L20.00	L20.00
7	Diodos Leds de 5mm (10 unidades)	1	L4.00	L4.00
8	Baquelita virgen de 7x10 cm para prototipo PCB de cobre	1	L84.00	L84.00
9	Alambre Magnético calibre 0.812mm, 1 Metro	1	L10.00	L10.00
10	Resistencia de filamento 1 M ohm 1/8W (10 unidades)	1	L3.10	L3.10
11	Resistencia de filamento 100 K ohm 1/8W (10 unidades)	1	L3.10	L3.10
12	Resistencia de filamento 100 ohm 1/8W (10 unidades)	1	L3.10	L3.10
13	Resistencia de filamento 10 ohm 1/8W (10 unidades)	1	L3.10	L3.10
14	Resistencia de filamento 479 ohm 1/8W (10 unidades)	1	L3.10	L3.10
15	Resistencia de filamento 10 K ohm (10 unidades)	1	L3.10	L3.10
16	Caja de plástico, caja de registro 10x10 cm	1	L43.00	L43.00
TOTAL				L399.00

En esta tabla se detalla el precio de cada componente electrónico utilizado para el proyecto.

4.10. Diagrama de Bloques

4.10.1. Diagrama esquemático de circuito

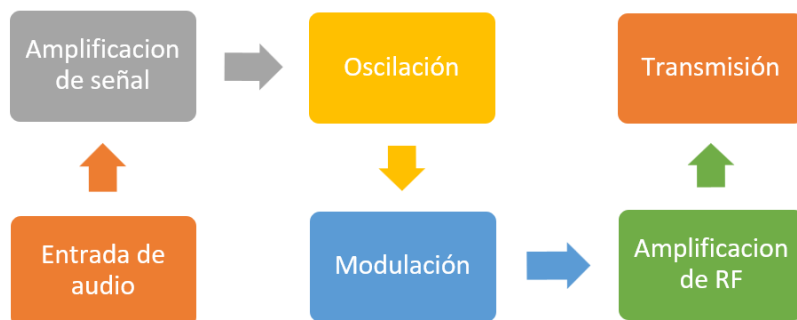


Figura 4-19: Diagrama esquemático de circuito

4.11. Desarrollo del Transmisor de Radio FM

4.11.1. Definición de los requisitos técnicos.

Antes de comenzar con el diseño, es crucial definir los requisitos técnicos del transmisor:

Frecuencia de transmisión: Determinar en qué parte del espectro de FM (88 MHz a 108 MHz) se emitirá la señal, asegurándose de que no haya interferencias con otras emisoras locales.

En nuestro caso vamos a utilizar la frecuencia 102.1 ya que actualmente es una de las frecuencias que tienen más baja potencia en Tegucigalpa y esto nos beneficia para no interferir en la cobertura de ellos. Otra de las ventajas es que el espectro radio eléctrico no alcanza Ojojona por lo tanto tampoco vamos a tener interferencia de ellos.

Alcance de la señal: Establecer la potencia de transmisión adecuada según el área geográfica a cubrir. En el caso de Ojojona, dependiendo de su tamaño y geografía, la potencia del transmisor deberá ser suficiente para asegurar una cobertura amplia sin exceder los límites legales de emisión. Actualmente la potencia de este transmisor sigue siendo muy baja sin embargo puede ser la pauta para un transmisor de alta potencia.

Regulación: Verificar las normativas locales y obtener las licencias necesarias para operar el transmisor dentro de los límites legales establecidos.

4.11.2. Diseño del Circuito

El diseño del transmisor FM consta de varias etapas clave:

Oscilador LC (Circuito Resonante): Un circuito LC se utiliza para generar la frecuencia de la portadora en la cual se realizará la modulación. El diseño de este oscilador debe ser preciso para asegurar que la frecuencia esté en el rango adecuado para FM.

La combinación de inductores (L) y capacitores (C) determinará la frecuencia resonante del oscilador. En nuestro caso estamos utilizando una combinación LC en paralelo donde $L=324\text{nH}$ y $C=11.69\text{nF}$, obteniendo una frecuencia de 102.1 Mhz.

Modulación: La señal de audio (por ejemplo, la voz o música) debe ser utilizada para modular la frecuencia de la señal portadora.

La modulación de frecuencia (FM) se logra variando la frecuencia de la portadora en función de la señal de audio.

Este proceso se puede lograr mediante un modulador de frecuencia, que puede ser un circuito basado en un transistor o un módulo especializado.

Amplificación: La señal modulada debe ser amplificada antes de ser transmitida. Un amplificador de RF (radiofrecuencia) se utiliza para aumentar la potencia de la señal, asegurando que llegue a las distancias areas deseadas. Donde nosotros estamos utilizando un transistor 2N2222

Antena: El diseño de la antena es crucial para la emisión. Una antena dipolo o una antena monopolo generalmente se utiliza para transmisores de FM, dependiendo de la potencia y el alcance requerido. En nuestro caso, al ser un transmisor de baja potencia solo se necesita un pedazo de alambre para poder disipar la señal.

4.11.3. Construcción del circuito

Diseño de circuito:

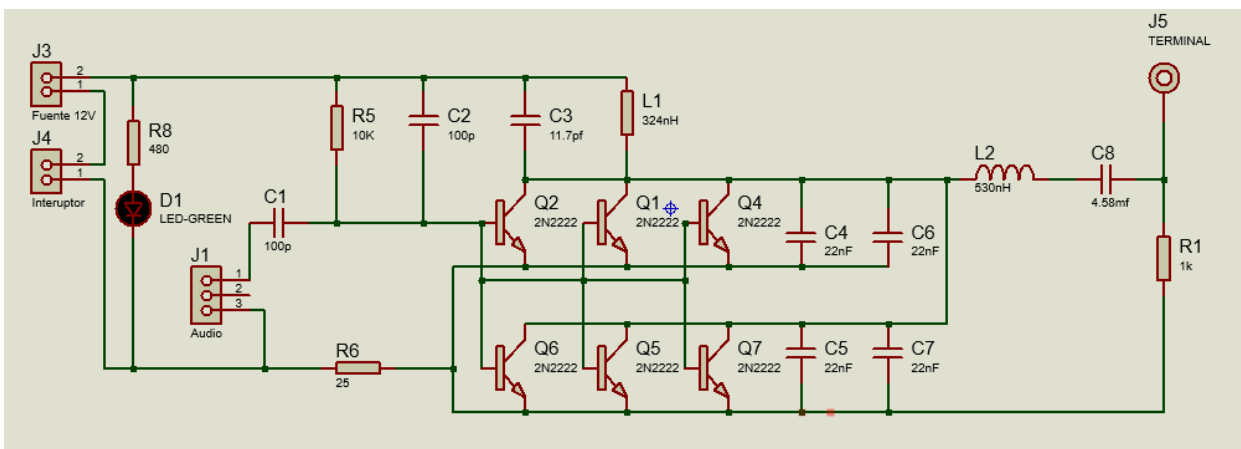


Figura 4-20: Simulación de circuito.

Se procedió en diseñar el circuito del transmisor siguiendo la estructura del transmisor anterior, teniendo en cuenta la entrada de audio la cual consta del Jack de audio, el capacitor de desacople y las resistencias limitadoras para poder tener un sonido de buena calidad.

Se tomó el mismo circuito tanque el cual ya estaba calculado para la frecuencia seleccionada, y luego se agregaron los transistores en paralelo para poder aumentar la potencia.

Se instaló una resistencia de carga la cual es la encargada de que los transistores no se quemen por el alto consumo de corriente.

Se pusieron 4 capacitores cerámicos entre colector y emisor para poderle dar mas ganancia a los transistores.

Por ultimo se instaló un circuito de filtrado de radio frecuencia, el cual es el encargado de que la potencia no interfiera en frecuencias no seleccionadas.

Construcción del circuito: En esta etapa del circuito se procedió en montar todos los componentes en una baquelita perforada para mas practicidad.

Se revisaron todas las conexiones para evitar falso contactos y corto circuitos.

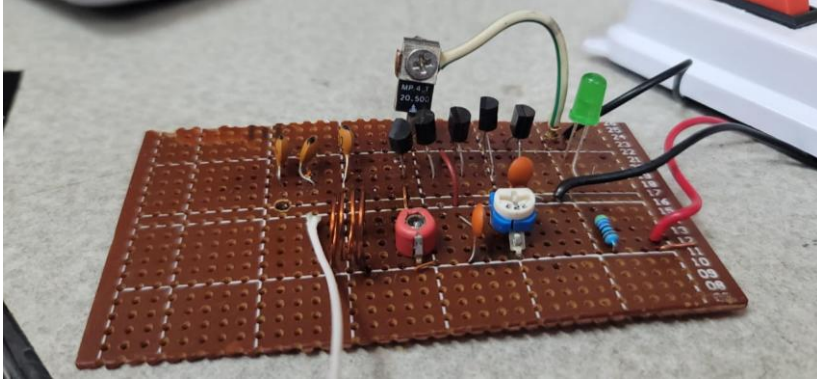


Figura 4-21: Montaje de circuito en baquelita perforada.

Pruebas de conexiones: Verificar que todas las conexiones estén correctas antes de encender el circuito. Asegurarse de que la alimentación eléctrica sea adecuada y que no haya cortocircuitos.

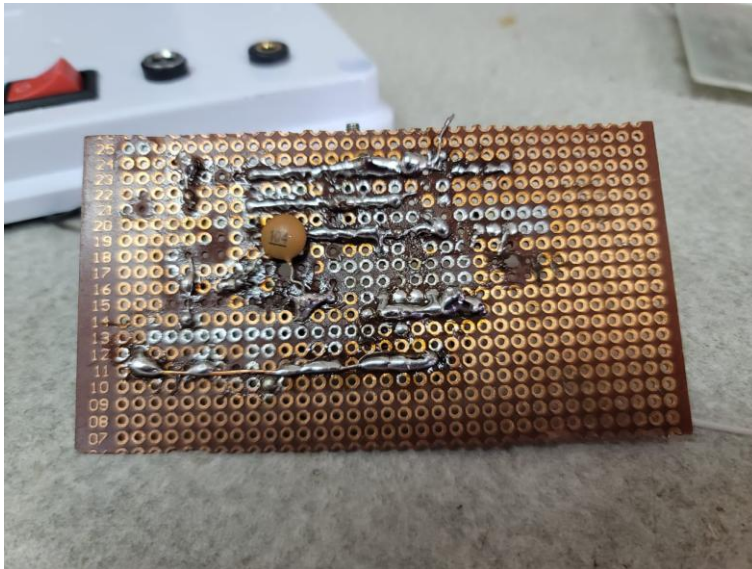


Figura 4-22: circuito con componentes soldados.

Pruebas del Transmisor de Radio FM

Una vez construido el circuito, es esencial realizar diversas pruebas para asegurar que el transmisor funcione correctamente. Estas pruebas se dividen en varias categorías:

4.11.4. Pruebas Iniciales de Funcionamiento

Verificación de la frecuencia de salida: Se verificó con el analizador de Radio Hexylon la frecuencia de transmisión y efectivamente el transmisor quedó funcionando en la frecuencia 102.1 Mhz, también se observó que la señal portadora es estable y no se mete en otras frecuencias.



Figura 4-23: Verificación de frecuencia de salida.

Pruebas de modulación: Se conectó una fuente de audio proveniente de una computadora, cuando el volumen de la computadora es aumentado la señal recibida se empieza a saturar, por ese motivo es importante mantener un nivel medio.

Prueba de amplificación: Medir la potencia de salida del transmisor con un medidor de potencia RF para verificar que la señal sea lo suficientemente fuerte para cubrir el área deseada sin exceder los límites legales de emisión: esta prueba no se pudo realizar ya que para medir una potencia muy baja se ocupa de herramientas muy precisas y lastimosamente no contaba con ellas.

4.11.5. Pruebas de Calidad de la Señal

Receptor de FM: Usar un receptor de radio FM estándar para recibir la señal y verificar la calidad del audio y la estabilidad de la señal en el área de cobertura prevista.

Se realizó esta prueba y el audio es de calidad, son mínimas las interferencias y la cobertura según la prueba realizada, tiene un alcance de 100 metros.

Distorsión y ruido: Para evitar distorsión se debe mantener el nivel de salida de audio de la computadora en un nivel medio, esto con el propósito de evitar saturación de audio.

Rango de cobertura: El rango especificado de este transmisor es de 100 metros, sin embargo este puede ser afectado por diversos factores como lo es, obstáculos como ser, paredes, arboles, estructuras metálicas incluso las personas.

4.11.6. Pruebas de Interferencia

Interferencia con otras emisoras: Verificar que el transmisor no esté interfiriendo con otras emisoras de radio en el área. Se realizaron pruebas y no hubieron inferencias en otras frecuencias, sin embargo, al mover el capacitor variable del circuito tanque, este puede variar estos valores y provocar un barrido en todas las frecuencias e interferir.

Pruebas de interferencia electromagnética: Asegurarse de que el transmisor no cause interferencia con otros dispositivos electrónicos cercanos, como radios, televisores o sistemas de comunicación.

4.11.7. Pruebas de Seguridad y Estabilidad

Prueba de sobrecalentamiento: Monitorizar la temperatura del transmisor durante su funcionamiento para evitar el sobrecalentamiento, especialmente en la etapa de amplificación.

Seguridad eléctrica: Verificar que las conexiones eléctricas sean seguras y que el transmisor esté correctamente protegido contra cortocircuitos o picos de voltaje.

Estabilidad a largo plazo: Dejar el transmisor funcionando durante varias horas y monitorear su rendimiento para asegurarse de que no haya fallos o degradación en la señal.

4.11.8. Ajustes Finales y Optimización

Ajuste de la frecuencia de resonancia: Es necesario, ajustar el circuito LC para lograr la frecuencia exacta de emisión que se desea. Este proceso se hará con el capacitor variable para lograr obtener la frecuencia de 102.1 Mhz

Optimización de la antena: Ajustar la longitud o la orientación de la antena para obtener el mejor rendimiento en términos de alcance y calidad de la señal. Existen procesos y fórmulas matemáticas las cuales especifican la longitud de la antena dependiendo a la frecuencia deseada, este cálculo se realiza utilizando la longitud de onda, velocidad de la luz, el medio por donde se transporta, entre otras.

Regulación de la potencia: Si el alcance es mayor de lo esperado, es posible que sea necesario reducir la potencia de salida para cumplir con las regulaciones locales y evitar interferencias. En nuestro caso, este factor no es tan perjudicial, ya que la potencia todavía es muy baja.

4.11.9. Pruebas de Legalidad

Antes de poner el transmisor en funcionamiento en la comunidad, es fundamental realizar una prueba de conformidad con las normativas locales sobre la radiodifusión. Esto puede implicar:

- Obtener la licencia de emisión de las autoridades de telecomunicaciones.
- Realizar pruebas de emisión controladas para verificar que se cumplan los requisitos legales de potencia y frecuencia.

4.12. Requisitos legales

4.12.1. CONATEL

CONATEL Es un organismo estatal desconcentrado que ejecuta, mediante la regulación y coordinación, la política de Telecomunicaciones en la República de Honduras. (CONATEL, 2022)

CONATEL fue fundada el 5 de diciembre de 1995, mediante Decreto 185/95.

Misión

Somos el ente técnico especializado del Estado de Honduras que regula los servicios en el sector de telecomunicaciones, administra el Espectro Radioeléctrico e impulsa el desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), fomentando la competencia leal, la inversión, garantizando la calidad de los servicios, a fin de proteger los derechos de los usuarios e impulsar la conectividad de la población en general.

Visión

Ser la institución pública que genera políticas orientadas a mejorar la competencia efectiva y la transformación digital de Honduras, garantizando el acceso de la población a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), alcanzando para el año 2026 reducir la brecha digital al 38%.

Nuestras Funciones

Acorde a la actual Ley Marco del Sector de Telecomunicaciones (Decreto 185-95, del 05 de diciembre de 1995. Actualización de la Ley Marco mediante Decreto 118-97, del 25 de octubre de 1997) y al reglamento general de la ley marco del sector de telecomunicaciones, en su artículo 75, CONATEL tiene las siguientes funciones y atribuciones:

- Colabora con el presidente de la república de Honduras en la formulación de las políticas de telecomunicaciones.
- Ejerce la representación del Estado de Honduras en materia de telecomunicaciones.
- Emite las regulaciones y normas técnicas requeridas para la prestación de servicios de telecomunicaciones.
- Emite regulaciones con respecto a las tarifas que podrían cobrar los operadores de servicios de telecomunicaciones.
- Clasifica los servicios de telecomunicaciones.

- Otorga autorizaciones, permisos, registros, y licencias, para prestación de servicios de telecomunicaciones y de ser el caso, los renueva, modifica, declara su caducidad o los revoca de acuerdo con el correspondiente reglamento.
- Aprueba normas sobre la homologación de equipos y aparatos de telecomunicaciones.
- Cumple y hace cumplir las leyes, reglamentos, normas técnicas, y demás disposiciones así como tratados, convenios y acuerdos internacionales sobre Telecomunicaciones.
- Adopta las medidas necesarias para que los servicios de telecomunicaciones se brinden en forma eficiente, sin interrupciones sin interferencias y discriminaciones.
- Vela por el respeto de los derechos de los usuarios y establece los mecanismos mediante los cuales, los usuarios podrán ejercer sus derechos ante los operadores.
- Supervisa el cumplimiento de las obligaciones establecidas en las concesiones, licencias, permisos o registros.
- Administra y controla el uso del espectro radioeléctrico.
- Promueve la universalización de los servicios de telecomunicaciones, procura su más alta calidad y menor costo posible.
- Promueve la inversión privada y la competencia en la prestación de los servicios de telecomunicaciones.
- Establece las tarifas y demás cargos, que deberán pagar al Estado los operadores de los sistemas de telecomunicaciones.
- Investiga, combate y sanciona las infracciones previstas en la Ley Marco del Sector de Colabora con el presidente de la república de Honduras en la formulación de las políticas de telecomunicaciones.

4.12.2. Requisitos a considerar para un transmisor de radio FM comunitario.

TABLA 4-3: Requisitos para servicio de radiodifusión sonora (FM) con fines comunitarios.

(Telecomunicaciones CONATEL, s.f.)

REQUISITOS PARA SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA (FM) CON FINES COMUNITARIOS				
Nota: El solicitante no debe ser titular de ningún Servicio de Difusión, (Radiodifusión Sonora o de Radiodifusión de Televisión)				
ITEM	REQUISITO	NS	RN	MD
1	<p>a. Solicitud por medio de Apoderado Legal, en base a los artículos No. 56, 60 y 61 de La Ley de Procedimiento Administrativo, que deberá contener: domicilio, datos generales, teléfono fijo, teléfono celular y correo electrónico.</p> <p>b. El área de cobertura solicitada y las características técnicas requeridas para el cumplimiento de sus fines.</p> <p>c. El plan de servicios a la comunidad y proyecto de programación que pretende brindar, en consonancia con los principios que definen al Servicio de Radiodifusión Sonora con Fines Comunitarios y Radiodifusión de Televisión con Fines Comunitarios.</p> <p>d. Los mecanismos previstos para asegurar la participación ciudadana en la gestión y programación de la Estación Radiodifusora o de Televisión con Fines Comunitarios.</p> <p>e. Adjuntar un breve estudio de la rentabilidad social a ser desarrollada por la comunidad o comunidades a ser servidas.</p> <p>f. Los antecedentes de trabajo social y comunitario de la organización en la zona de cobertura solicitada.</p> <p>g. Las referencias de personas, organizaciones o instituciones</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	sociales representativas del plan de servicios a la comunidad, del proyecto de programación y de la propuesta de comunicación que se pretende brindar.			
2	Copia del recibo del servicio público de Energía Eléctrica para acreditar el domicilio u oficina del solicitante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Nota de la Asociación de Medios de Comunicación Comunitarios de Honduras, (AMCH), debidamente legalizada, que manifieste que el solicitante se encuentra en operación y pertenece a esta asociación, lo anterior no es vinculante para la emisión de los Títulos Habilitantes solicitados. (Cuando le aplique, si no explicarlo en el escrito)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Carta Poder debidamente autenticada, o Poder en Escritura Pública (debidamente autenticada).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Declaración Jurada de No estar Comprendido, en lo preceptuado según el Artículo 92 inciso del e) al j) del Reglamento de la Ley Marco del Sector de Telecomunicaciones (debidamente autenticada).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Copia debidamente legalizada de la Escritura de la Organización. (autenticada).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Copia de los Estatutos de la Organización con explícita indicación de que ésta no tiene fines comerciales y lucrativos, y quedando en clara evidencia, que no es subsidiaria o filial de empresas nacionales o extranjeras.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Constitución de domicilio legal para todos los efectos relacionados con la solicitud de Autorización o Licencia.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

9	Acreditar pago del aviso de Trámite según Resolución Normativa de Tasas y Canon Vigente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Presentar Constancia de que está Solvente Económicamente ante CONATEL, emitida por el Departamento de Administración de Cartera y Cobranzas, cuya vigencia aceptada será de 10 (diez) días hábiles desde su emisión.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	El Formato Técnico 100 llenado y completado con la información del solicitante y de su apoderado legal siendo necesario que venga firmado y sellado por este último.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	El Formato Técnico 101 llenado y completado con la información técnica solicitada, siendo necesario que venga firmado o sellado por un ingeniero afín a la especialidad en telecomunicaciones colegiado en el CIMEQH.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	El Formato Técnico 201 llenado y completado con la información técnica según corresponda al Servicio de Radiodifusión Sonora con Fines Comunitarios o del Servicio de Radiodifusión de Televisión con Fines Comunitarios, siendo necesario que venga firmado y sellado por un ingeniero afín a la especialidad en telecomunicaciones que se encuentre debidamente colegiado en el CIMEQH.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	El Formato Técnico 204, en caso de utilizar sistemas auxiliares de enlaces. Debe ser llenado, firmado, timbrado y sellado por un profesional de la ingeniería, habilitado en el ejercicio de su profesión, afín a la especialidad en telecomunicaciones que se encuentre debidamente colegiado por el Colegio de Ingenieros Mecánicos, Eléctricos, Químicos de Honduras (CIMEQH).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Esta tabla establece una lista de requisitos que deben cumplirse para solicitar la autorización o licencia de un servicio de radiodifusión sonora con fines comunitarios.

Nomenclatura:

- NS Nueva Solicitud
- RN Renovación
- MD Modificación
- CPEL Cancelación Permiso y Licencia

Los principales requisitos incluyen:

1. **Solicitud formal** con detalles del solicitante, área de cobertura, plan de servicios y programación comunitaria, mecanismos de participación ciudadana y estudio de rentabilidad social.
2. **Documentación de respaldo** como copias del recibo de energía eléctrica, declaración de no estar comprendido en restricciones legales, copias de estatutos y escritura de la organización, y la constitución de domicilio legal.
3. **Formularios técnicos** que deben ser completados por ingenieros colegiados, como los formatos 100, 101, 201 y 204, dependiendo del tipo de servicio solicitado.
4. **Constancia de solvencia económica** ante CONATEL y pago de tasas administrativas.

Cada requisito debe ser debidamente autenticado y presentado para asegurar que el solicitante cumpla con los criterios establecidos para operar una estación de radiodifusión comunitaria.

4.13. Mejoras del transmisor

4.13.1. Intento de implementación de transistor MOSFET de 45W

En los transmisores de radio frecuencia son muy utilizados los transistores MOSFET ya que son capaces de disipar mayor potencia a frecuencias muy altas como las que son usadas en radio

FM, por ese motivo se había decidido implementar uno de 45W conectándolo a la salida del actual transmisor y de esta manera poder amplificar la potencia existente.

Previo a la instalación del transistor se tuvo que investigar mucho sobre el funcionamiento de estos transistores, se vieron diversos videos de YouTube para entender y aprender como son implementados estos tipos de transistores en radio frecuencia, se realizaron diversas pruebas con el transistor, pero no se lograba tener potencia en la salida, por ese motivo se optó por no utilizar este tipo de transistores.

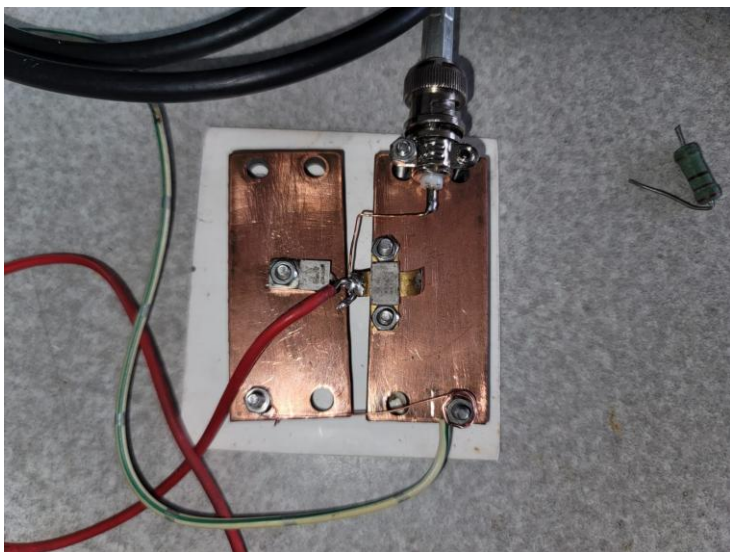


Figura 4-23: Pruebas con transistor MOSFET

4.13.2. Intento de implementación de transistores 2N2222 en paralelo

Este transistor tiene una corriente nominal de 1A, se hicieron pruebas agregando uno por uno y probando la recepción, y la cobertura aumentaba porcentualmente, sin embargo, entre mayo era la potencia mas interferencia había, se instalaron resistencias variables para poder ajustar los valores y poder llegar al optimo, a continuación, adjunto evidencia de pruebas realizadas.

Este método fue mas efectivo, ya que al seguir el principio inicial se logró amplificar la potencia con cada uno de los transistores, sin embargo se sacrificó parte de la calidad de la señal de audio.

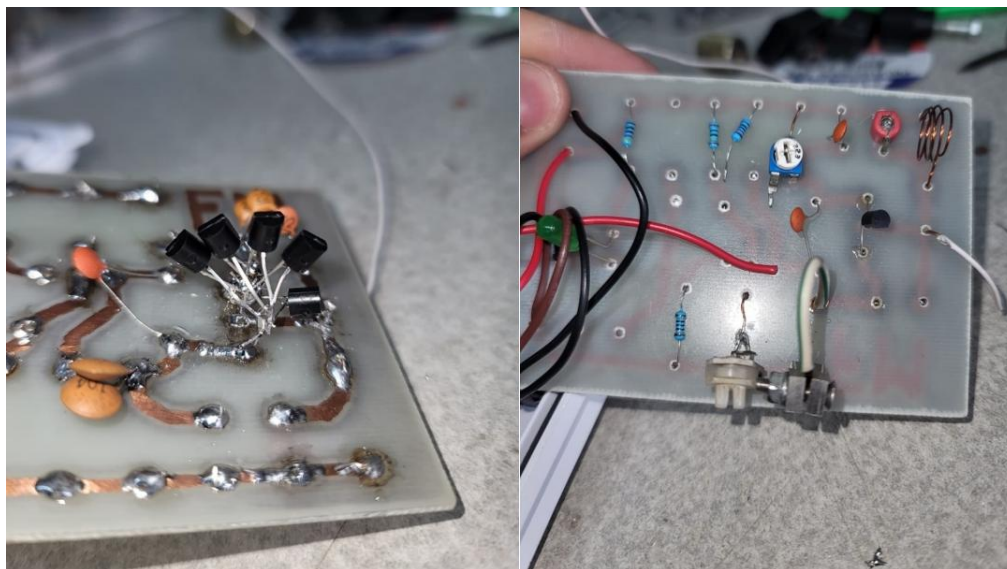


Figura 4-24: Pruebas con transistores 2N2222.

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA

5.1. Enfoque y Métodos

El enfoque del proyecto es eminentemente experimental y práctico, ya que no solo busca diseñar y construir un transmisor de radio FM, sino también implementarlo de manera real en la comunidad de Ojojona. Esto implica un proceso de intervención técnica con la participación activa de la comunidad, fomentando la transferencia de conocimientos y la capacidad local para mantener el sistema de manera autónoma. La metodología se estructura en diversas fases: investigación, diseño, prueba y validación.

5.2. Investigación Inicial

El proyecto inicia con una revisión bibliográfica y técnica, que abarca aspectos fundamentales de la transmisión FM, como la modulación de frecuencia (FM), circuitos osciladores, y las normativas legales relacionadas con el uso de frecuencias de radio. La revisión también incluye el estudio de los componentes electrónicos necesarios, como transistores, amplificadores y capacitores, esenciales para el diseño de un transmisor FM eficaz. Además, se considera el

contexto local de Ojojona, evaluando las necesidades específicas de la comunidad para garantizar que el diseño final cumpla con sus expectativas.

5.2.1. Diseño del Sistema

Una vez recopilada la información necesaria, se procede al diseño del sistema transmisor. Esta fase incluye la creación de esquemas eléctricos detallados, la selección y cálculo de los componentes electrónicos y la simulación del sistema. El uso de herramientas de simulación como Proteus que permite prever el comportamiento del circuito antes de su construcción física. Durante esta etapa se consideran aspectos como la frecuencia de operación, potencia de salida y alcance del transmisor, con el objetivo de cubrir la mayor área posible de la comunidad.

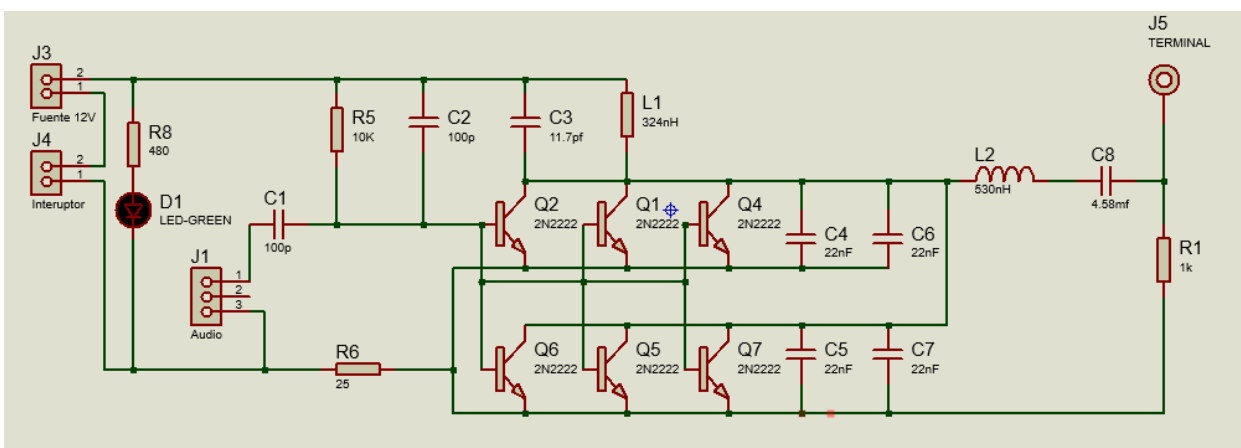


Figura 5-1: Circuito electrónico de transmisor de radio FM

5.2.2. Construcción y Ajustes

Tras la simulación, se realiza la construcción del prototipo. En esta fase, el diseño del transmisor se monta físicamente en una baquelita perforada, y se procede con el ajuste de parámetros, tales como la frecuencia de transmisión, la potencia y los niveles de modulación. Durante las pruebas de laboratorio, se mide la estabilidad de la frecuencia, la calidad de la señal y el alcance de la transmisión. Estas pruebas permiten realizar las primeras correcciones en el prototipo, asegurando su funcionamiento eficiente.

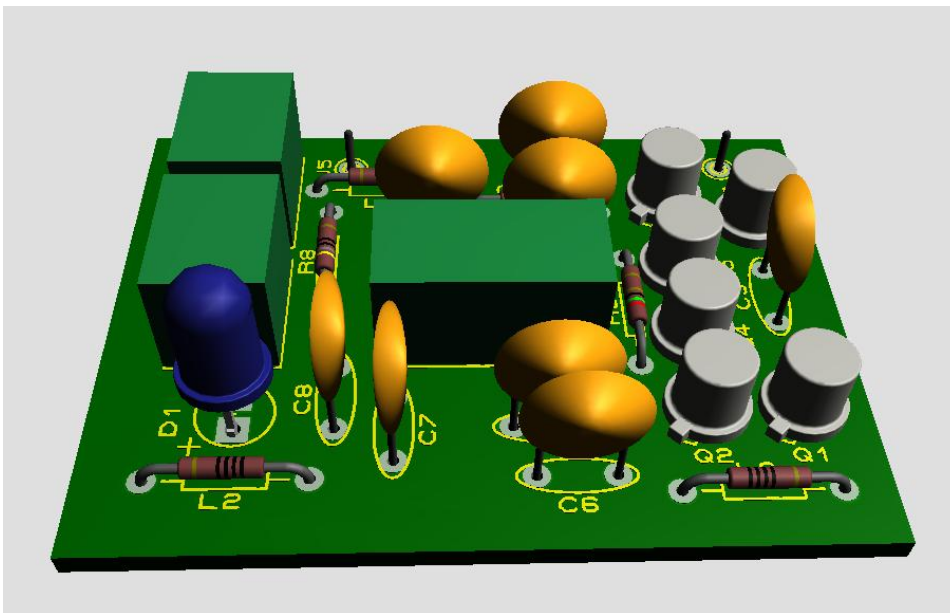


Figura 5-2: Simulación de PCB en Proteus

5.2.3. Pruebas en Campo y Validación

Una vez ajustado el prototipo en el laboratorio, se realiza una prueba en campo, donde se hicieron pruebas de cobertura y se logró alcanzar hasta 100 metros, con una señal estable.



Figura 5-3: Analizador de espectros Hexylon (Hexylon, s.f.)

5.2.3. Implementación y Evaluación

Finalmente, se instala el sistema de transmisión de forma definitiva, asegurando que su impacto social y educativo sea medido y evaluado a lo largo del tiempo. La evaluación del éxito del proyecto se realiza mediante la recopilación de retroalimentación directa de la comunidad, como encuestas y entrevistas, para determinar si el transmisor cumple con las expectativas y necesidades de los habitantes.

5.3. Población y Muestra

El proyecto está dirigido a toda la comunidad de Ojojona, con especial enfoque en grupos que tienen un interés directo en la difusión de información educativa, cultural y social. Esto incluye a líderes comunitarios, organizaciones locales, estudiantes y familias, quienes serán los principales beneficiarios de la implementación del transmisor FM.

La muestra en este caso se refiere al prototipo del transmisor de radio FM que se construirá y ajustará para cubrir un área de 1km sin embargo el proyecto todavía no tiene ese alcance. El alcance de la señal dependerá de factores como la potencia del transmisor y las características del terreno (topografía, obstáculos físicos, etc.).

5.4. Unidad de Análisis y Respuesta

5.4.1. Unidad de Análisis

La unidad de análisis es el propio sistema transmisor FM, evaluado desde diversos aspectos técnicos y funcionales. Se analiza principalmente:

Estabilidad de la frecuencia de transmisión: La consistencia en la frecuencia de emisión es crucial para evitar interferencias y asegurar que la señal sea clara y estable.

Alcance de la señal: Se evalúa si el transmisor es capaz de cubrir la zona requerida, sin perder calidad en la señal debido a interferencias u obstáculos.

Calidad del audio: La calidad de la señal de audio es un aspecto esencial, ya que el propósito es transmitir información educativa y cultural de manera clara, sin distorsiones.

5.4.2. Respuesta de la comunidad

La respuesta de la comunidad se mide mediante encuestas y entrevistas, lo que permite recoger retroalimentación sobre la satisfacción con el servicio, la utilidad de la información transmitida y la aceptación del sistema. Esta información servirá para realizar ajustes y mejoras en el sistema, tanto a nivel técnico como operativo

5.5. Técnicas e Instrumentos Aplicados

Para llevar a cabo este proyecto, se emplea una combinación de técnicas y herramientas especializadas que garantizan que el diseño y las pruebas del transmisor sean eficientes y efectivos. Durante la fase de diseño, se utilizan programas como Proteus para simular el circuito y prever su comportamiento. Estos programas permiten analizar la estabilidad de la frecuencia, la respuesta de los componentes electrónicos y el comportamiento global del sistema.

Durante las pruebas en laboratorio y en campo, se utilizan instrumentos de medición como multímetros, osciloscopios y analizadores de espectro. Estos permiten verificar aspectos como los niveles de voltaje, la forma de la señal y las frecuencias generadas. En las pruebas de alcance, se emplean receptores FM y antenas de prueba para evaluar la propagación de la señal en diferentes condiciones, y ajustarla para garantizar que la cobertura sea adecuada.

Uno de los instrumentos más indispensables es el analizador de espectro, sin este instrumento sería imposible poder leer la frecuencia de modulación, cabe resalta que este equipo es profesional y utilizado por expertos de radio frecuencia.



Figura 5-4: Instrumento de medición Hexylon

Otros de los instrumentos utilizados para poder fabricar el transmisor es el Vatímetro direccional, ya que es indispensable al momento de medir la potencia disipada por el transmisor, también es utilizado para medir potencia reflejada, la cual es la potencia que se devuelve al transmisor al no tener un medio de difusión correcto como lo son las antenas.



Figura 5-5: Instrumento de medición de potencia RF (Vatímetro)

5.6. Fuentes de Información

El proyecto utiliza una variedad de fuentes de información. Las fuentes primarias incluyen los resultados de las pruebas de campo realizadas con el prototipo del transmisor, como la medición de la frecuencia de transmisión, la calidad del audio y el alcance efectivo de la señal. Estas pruebas se realizan tanto en condiciones controladas como en el campo, dentro de Ojojona, para observar el desempeño real del sistema.

Las fuentes secundarias consisten en manuales técnicos y estudios previos sobre transmisores FM, como libros y artículos sobre modulación FM, circuitos resonantes LC y la legislación sobre telecomunicaciones. Además, se consultan documentos técnicos de fabricantes de los componentes electrónicos utilizados.

Finalmente, las fuentes terciarias incluyen la retroalimentación obtenida de la comunidad de Ojojona, que será crucial para evaluar la efectividad del transmisor y realizar ajustes finales para mejorar su rendimiento.

5.7. Cronología de Trabajo

El proyecto está planificado en etapas, con una cronología bien definida. En las primeras semanas se realiza una investigación técnica, donde se recopilan datos sobre transmisores FM y se establece el diseño del sistema. Durante las siguientes semanas, se lleva a cabo la simulación y construcción del prototipo, seguido de pruebas en laboratorio donde se ajustan parámetros clave como la frecuencia y la potencia de transmisión.

A medida que el prototipo se ajusta, se realiza un proceso de pruebas de campo para validar el alcance del transmisor en condiciones reales. La instalación final se efectúa en una ubicación estratégica dentro de Ojojona, y se realiza una capacitación a los miembros de la comunidad para asegurar que sepan cómo operar y mantener el sistema de forma adecuada.

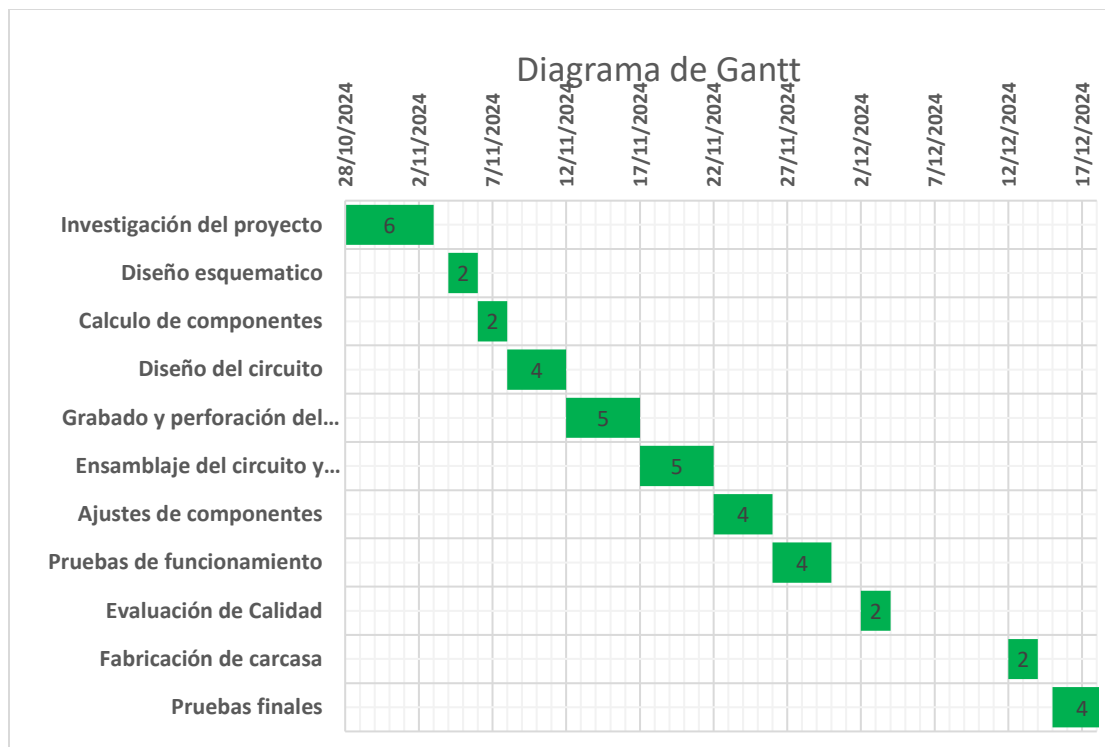


Figura 5-6: Cronología de trabajo, diagrama de Gantt.

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS

Resultados

Cálculo de circuito Tanque:

Para crear un circuito tanque ocupamos los valores de dos componentes, inductor y capacitor, para calcular la inductancia de una bobina, primero necesitamos saber el área del núcleo. A continuación, realizamos el ejercicio, donde tenemos los siguientes datos:

D: 12mm

Vueltas: 4

Ancho: 7 mm

$$A = \frac{\pi d}{4} = \frac{\pi(12 \times 10^{-3})}{4}$$

$$A = 0.113 \times 10^3 \text{ m}^2$$

Luego necesitamos calcular la inductancia con la siguiente formula:

$$L = \frac{N^2 MA}{l}$$

$$L = \frac{(4)^2 (4\pi \times 10^{-3} \text{ H/m}) (0.113 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{7 \times 10^{-3} \text{ m}} = 324 \text{ pH}$$

Tenemos contemplado usar un capacitor variable que esté cerca de 11.7pf el cual es perfecto para poder obtener la frecuencia de 102.1 Mhz

Continuando vamos a hacer el cálculo de frecuencia:

$$F = \frac{2\pi}{\sqrt{(L)(C)}}$$

$$F = \frac{2\pi}{\sqrt{(324 \text{ pH})(11.69 \text{ pf})}} = 102.093 \text{ Mhz}$$

Cálculo de Filtro Pasa-Banda

Para hacer un filtro pasa-banda, primero se tiene que definir la frecuencia que se desea filtrar, en nuestro caso vamos a utilizar la frecuencia 102.1 MHz ya que es una de las frecuencias que tiene menos potencia en Tegucigalpa y tampoco llega a Ojojona.

Paso 1: definir rango de frecuencia donde se desea transmitir.

Frecuencia 1: 102.0 MHz

Frecuencia 2: 102.3 MHz

Estas frecuencias se tienen que convertir a radianes sobre segundos.

$$\omega_1 = 102(2\pi) = 640.884M \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\omega_2 = 102.3(2\pi) = 642.770M \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Luego tenemos que encontrar ω^2 y B

$$\omega^2 = \omega_1 \times \omega_2 = 411,941M$$

$$B = \omega_2 - \omega_1 = 1.886M$$

$$F(s) = \frac{Bs}{s^2 + Bs + \omega^2}$$

$$F(s) = \frac{1.886Ms}{s^2 + 1.886Ms + 411,941M}$$

$$H(s) = \frac{s \frac{R}{L}}{s^2 + s \frac{R}{L} + \frac{1}{LC}}$$

Podemos observar que la función $F(s)$ y $H(s)$ tienen las mismas características por lo tanto podemos igualar los resultados.

$$\frac{R}{L} = 1.886M$$

$$L = \frac{1000}{1.886M} = 530.2nH$$

Ese sería el valor del inductor del filtro.

$$\frac{1}{LC} = 411,941M$$

$$C = \frac{1}{411,941M \times 530.2nH} = 4.58pF$$

Ese sería el valor del capacitor del filtro.

Por lo tanto, quedaría de la siguiente forma:

$$L = 530.2 \text{ nH}$$

$$C = 4.58 \text{ pf}$$

$$R = 1 \text{ K}$$

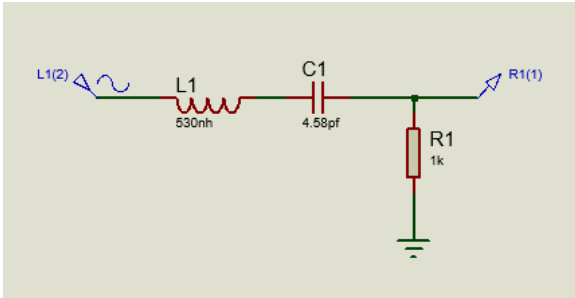


Figura 6-1: Filtro pasa-banda a 102.1 MHz.

Resultados obtenidos en Proteus

En la imagen muestra la grafica realizada de la simulación utilizando el circuito de filtro pasa-banda el cual está compuesto por un inductor, capacitó y resistencia. Se logra observar la curva donde el filtro está haciendo la función, en la parte inferior se muestra la frecuencia en el punto central la cual es 102.1 MHz

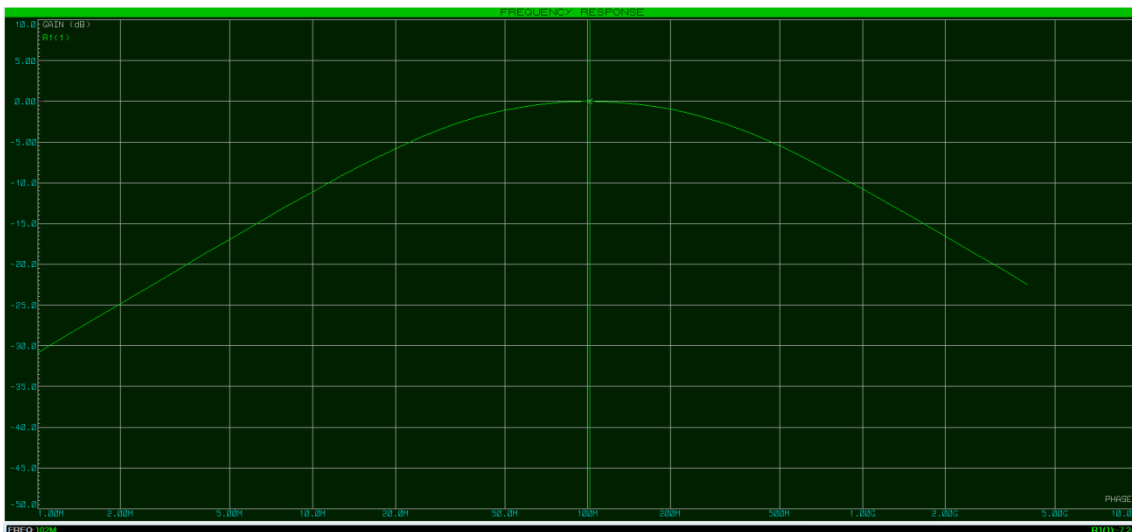


Figura 6-2: Grafica de filtro pasa-banda.

Cobertura de la Señal

Se realizaron pruebas de transmisión que determinaron una distancia máxima de 100 metros a la redonda desde la ubicación de la antena.

Calidad de la Transmisión

Las pruebas revelaron una calidad de audio aceptable, equiparable a la calidad de la fuente original. Sin embargo, como es común en transmisiones aéreas, existen ligeras pérdidas, aunque no afectan significativamente la experiencia auditiva.

En las mediciones realizadas con un analizador de espectro para la frecuencia FM de 102.1 MHz, se observó que la señal portadora es muy pura, con un rango de 1 kHz, significativamente menor al de otras portadoras de radio que suelen tener alrededor de 3 kHz. Además, se confirmó que la señal es estable y no presenta desplazamientos a otras frecuencias.



Figura 6-1: Analizador de espectro Hexylon

Rubrica de evaluación

Tabla 6-1: VARIABLES CONTINUAS (Evaluadas cuantitativamente)

Criterio	Descripción	1	2	3	4	5
Estabilidad de la frecuencia	La frecuencia varía constantemente e interfiere con otras señales	Muy inestable	Inestable	Medianamente estable	Casi siempre estable	Totalmente estable
Calidad de audio	Presencia de distorsión, ruido o saturación	Muy baja	Baja	Aceptable	Buena	Excelente
Alcance de la señal	Cobertura efectiva medida en metros desde el transmisor	<50 m	50–70 m	71–90 m	91–100 m	>100 m
Potencia de transmisión	Medida de potencia según condiciones de salida	No medible	Muy baja	Baja	Moderada	Adecuada
Nivel de interferencia	Grado en que interfiere con otras señales o equipos	Muy alta	Alta	Media	Baja	Nula

Tabla 6-2: VARIABLES DISCRETAS (Evaluadas cualitativamente)

Criterio	Descripción	1	2	3	4	5
Implementación física del circuito	Correcta soldadura, montaje y distribución de componentes	Incompleto	Deficiente	Regular	Bueno	Excelente
Cumplimiento de normativa legal	Verificación de pruebas legales y adecuación a normativas	Ninguno	Parcial	Regular	Casi completo	Completo
Validación técnica en laboratorio	Pruebas de modulación, frecuencia, audio y seguridad en laboratorio	No realizadas	Parcialmente realizadas	Realizadas con errores	Realizadas correctamente	Completas y documentadas
Pruebas en campo	Pruebas reales de cobertura y calidad de señal	No realizadas	Resultados insuficientes	Resultados aceptables	Resultados buenos	Resultados excelentes
Participación comunitaria y retroalimentación	Nivel de involucramiento comunitario y valoración del sistema	Nula	Muy baja	Moderada	Alta	Muy alta

Instrumento mixto de control de variables

Variabes discretas: evaluadas mediante lista de cotejo (presencia o ausencia de elementos, cumplimiento de procedimientos, etc.).

Variabes continuas: evaluadas mediante escalas numéricas (niveles de señal, calidad, alcance, etc.).

Tabla 6-3: Control de Variables Discretas (Lista de Cotejo)

Categoría	Ítem a evaluar	¿Cumple? (Si/No)	Observaciones
Construcción del circuito	Todos los componentes están correctamente montados y soldados	Si	
	Se instaló el circuito de filtrado de RF	Si	Circuito filtro pasa banda
	Se utilizó el transistor 2N2222 como etapa de amplificación	Si	
	Se montó en baquelita perforada como se indicó en el diseño	Si	
Pruebas técnicas	Se verificó la frecuencia con analizador Hexylon	Si	Se obtuvo una señal estable
	Se conectó correctamente una fuente de audio	Si	Proveniente de PC
	Se verificó la estabilidad de la portadora en 102.1 MHz	Si	Se demostró en Hexylon
	Se realizaron pruebas de seguridad eléctrica (falsos contactos, sobrecalentamiento)	No	
Cumplimiento normativo	Se consideraron las regulaciones nacionales de emisión	Si	Normar de CONATEL
	Se realizaron pruebas de interferencia con otras frecuencias	Si	Cuando se aumenta el volumen interfiere en otras frecuencias.

Tabla 6-4: Control de Variables Continuas (Escala de Medición)

Escala 1–5:

1 = Muy deficiente, 2 = Deficiente, 3 = Aceptable, 4 = Bueno, 5 = Excelente

Categoría	Variable Técnica Evaluada	Medición (1-5)	Observaciones
Calidad técnica	Estabilidad de frecuencia durante 2 horas continuas	3	Al pasar del tiempo empieza a interferir en otras frecuencias.
	Claridad del audio recibido en radio comercial	4	El audio es aceptable
	Ausencia de ruido y distorsión en la señal	2	Si se escucha ruido
	Respuesta del sistema ante cambios de volumen de la fuente de audio	3	Si se aumenta mucho el audio se escucha distorcionado.
Rendimiento	Alcance real de la señal en metros (esperado: 100 m)	4	Depende mucho de la interferencias que hayan en esa frecuencia
	Variación del alcance según obstáculos físicos	3	La señal se debilita con obstaculos
	Calidad del audio a diferentes distancias	5	El audio permanece igual

Análisis

Circuito Resonante o Tanque

El circuito resonante, también conocido como tanque, es una de las etapas más destacadas y esenciales del sistema. Aunque cada componente del circuito cumple una función específica, el tanque resalta por su papel crucial en la generación de resonancia. Está compuesto por una bobina y un capacitor variable, que juntos producen resonancia magnética. Este fenómeno permite combinar una señal de audio mediante un proceso de modulación para luego ser emitida como una señal de radio a través de la antena. Durante el desarrollo del proyecto, se logró

comprender en profundidad el funcionamiento de este circuito y su importancia en el diseño del transmisor.

Potencia de Radiofrecuencia

Durante la fabricación, se observó que el transistor de la etapa de modulación, un 2N2222, tiene baja potencia, lo que limita la cobertura de la señal. Inicialmente, no se comprendía claramente el origen de la potencia de radiofrecuencia; sin embargo, tras un análisis detallado, se identificó que esta etapa es clave para aumentar la potencia y ampliar la cobertura. Esto será un punto a mejorar en futuras iteraciones del proyecto.

Etapa de Amplificación

En este proyecto, se descubrió que no todas las señales de audio tienen las mismas características. Originalmente, el transmisor estaba diseñado para trabajar con señales de un micrófono pasivo, que tiene alta impedancia y genera señales de audio débiles que requieren amplificación antes de ser transmitidas.

Sin embargo, al utilizar un reproductor de audio con una salida de nivel de línea (ya amplificada), este proceso de amplificación no es necesario. Por esta razón, fue necesario realizar modificaciones en el circuito para adaptarlo al nuevo tipo de señal. Estas modificaciones resultaron exitosas, permitiendo que el sistema funcionara correctamente con el nuevo tipo de entrada de audio.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

El diseño y construcción del prototipo de transmisor FM fue exitoso, cumpliendo con el objetivo general de permitir la difusión de contenido educativo, cultural y de interés general dentro de la comunidad de Ojojona. La frecuencia seleccionada (102.1 MHz) demostró ser adecuada para evitar interferencias con emisoras existentes debido a su baja presencia en la zona.

El diseño del circuito de potencia logró alcanzar la cobertura mínima estimada de 100 metros, lo cual valida la hipótesis de que el uso de un transistor de potencia (2N2222) en la etapa de amplificación RF puede aumentar el alcance del transmisor sin generar inestabilidad significativa. Esto sugiere que una futura implementación de mayor potencia es viable con ajustes mínimos.

La implementación de filtros de radiofrecuencia fue efectiva para evitar interferencias, tanto con otras emisoras como con dispositivos electrónicos cercanos. Esto confirma la segunda hipótesis, ya que el uso de filtros adecuados permitió mantener la señal dentro del ancho de banda permitido por las normativas de CONATEL.

Las pruebas de modulación y calidad de señal indicaron una buena fidelidad de audio y estabilidad en la frecuencia seleccionada, lo que demuestra que el circuito oscilador LC fue bien calculado y afinado mediante el capacitor variable. Sin embargo, se identificó que niveles altos de entrada de audio pueden generar saturación, por lo que se recomienda controlar el nivel de entrada para evitar distorsión.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

Mejorar el Alcance del Transmisor: Para aumentar la cobertura de la señal, se recomienda instalar el transmisor en una ubicación elevada, como una colina o un edificio alto, lo que facilitaría la propagación de la señal y cubriría más áreas de la comunidad, incluyendo zonas de difícil acceso. Además, es importante considerar la posibilidad de ajustar la potencia de salida del transmisor para extender el alcance sin infringir las normativas locales sobre emisiones.

Evaluación y Mantenimiento Regular: Se debe implementar un plan de evaluación y mantenimiento regular para asegurar que el sistema funcione de manera óptima. Esto incluiría pruebas periódicas de calidad de señal, monitoreo de posibles fallas en los equipos y actualizaciones tecnológicas cuando sea necesario.

Diseñar y ajustar la antena utilizando fórmulas basadas en la longitud de onda de la frecuencia de transmisión (102.1 MHz) para garantizar una cobertura óptima y minimizar pérdidas de señal. Esto incluye considerar factores como la altura de instalación, orientación y materiales adecuados.

Obtener las licencias necesarias de las autoridades correspondientes, como CONATEL, antes de ampliar la potencia o cobertura del transmisor. Esto asegurará que el proyecto opere dentro de los límites legales y evite posibles conflictos o sanciones.

Dado que se prevé aumentar la potencia del transmisor, es recomendable añadir sistemas de enfriamiento pasivo o activo para evitar problemas de sobrecalentamiento, especialmente en la etapa de amplificación.

Se recomienda implementar nuevas tecnologías de oscilación como son los PLL, estos son dispositivos digitales que son capaces de modular en una frecuencia específica sin interferir en otras frecuencias no deseadas, esto con el propósito de dar más robustez al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- C&D TecHNologia. (s.f.). *C&D TecHNologia*. Obtenido de <https://cdtecnologia.net/>
- CONATEL. (2022). *CONATEL*. Obtenido de <https://www.conatel.gob.hn/institucion/>
- CONATEL. (s.f.). *Resolucion NRXX/2021*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.conatel.gob.hn/doc/resoluciones/2021/VPARN%20REGLAMENTO%20RADIOAFICIONADOS.pdf>
- Hayt, W. H. (2019). *Análisis de circuitos en ingeniería*. McGraw-Hill.
- Hexylon*. (s.f.). Obtenido de <https://www.gsertel.com/es/hexylon>
- J. M, S. (22 de abril de 2024). *Un invento que cambió el mundo*. Obtenido de Historia National Geographic: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/marconi-y-primera-transmision-por-radio-historia_14204
- Jaimes Busto Mandiola. (1960). *Cronicas de un Ex locutor de Radio*. Obtenido de Biblioteca Nacional de Chile.
- Les Ingenierus. (2022). *INDUCTANCIA en una BOBINA*. Obtenido de Les Ingenierus: https://www.youtube.com/watch?v=_IRm1wf0LAU
- McAllister., W. (s.f.). *Khan Academy*. Obtenido de La respuesta natural de un circuito LC: <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-natural-and-forced-response/a/ee-lc-natural-response>
- Newton C. Braga. (2014). *Newton C. Braga*. Obtenido de <https://es.newtonbraga.com.br/articulos/53-como-funcionan/9960-circuitos-resonantes-como-funcionan-tel056s>
- ONU. (13 de febrero de 2014). *Noticias ONU*. Obtenido de Jorge Miyares: <https://news.un.org/es/audio/2014/02/1404381>

Real Academia Española. (2019). *RAE*. Obtenido de <https://www.rae.es/>

Red de desarrollo sostenible. (2024). *Red de desarrollo sostenible*. Obtenido de Red de desarrollo sostenible: <https://portal.rds.hn/archivos/3044>

Tecnología, C. (s.f.). *C&D Tecnología*. Obtenido de <https://cdtecnologia.net/otros/1356-jack-de-9v-y-12v-con-tuerca.html>

Telecomunicaciones CONATEL. (s.f.). *Telecomunicaciones CONATEL*. Obtenido de [https://www.conatel.gob.hn/doc/simplificacion/requisitos/24.%20REQUISITOS%20DE%20SERVICIO%20RADIODIFUSI%C3%93N%20SONORA%20\(FM\)%20FC%20V.2.PDF](https://www.conatel.gob.hn/doc/simplificacion/requisitos/24.%20REQUISITOS%20DE%20SERVICIO%20RADIODIFUSI%C3%93N%20SONORA%20(FM)%20FC%20V.2.PDF)

UNESCO. (Febrero de 1997). *El correo de la unesco*. Obtenido de <file:///C:/Users/DELL/Downloads/WRD-milestones-in-radio-SP.pdf>

ANEXOS

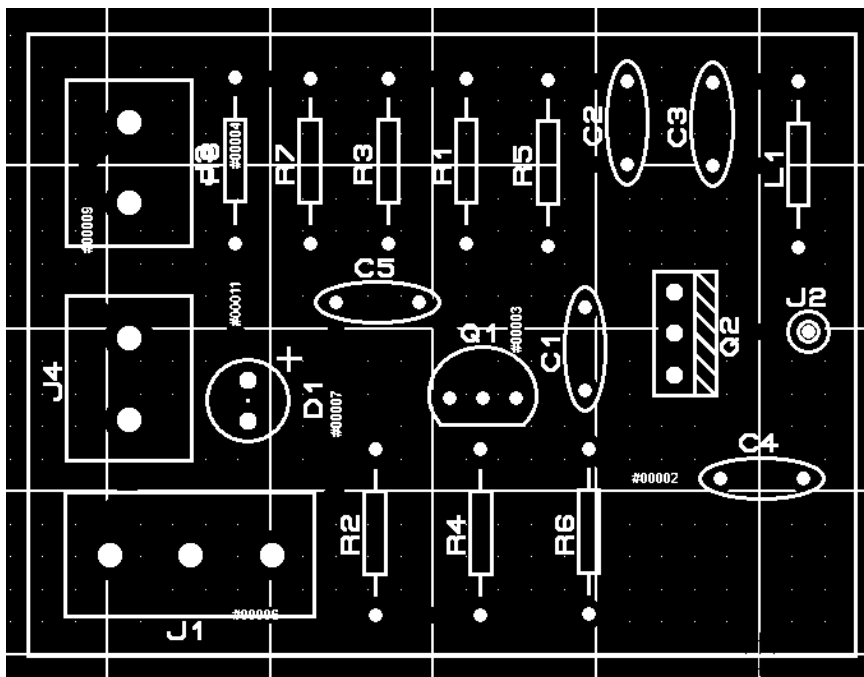


Figura 10-1: Pista de circuito, fase 1

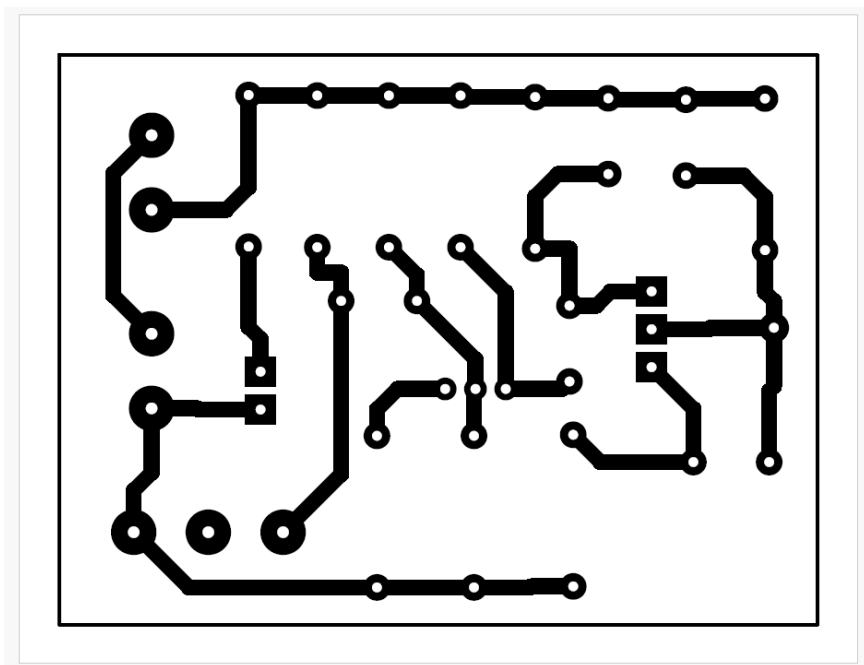


Figura 10-2: Circuito impreso para baquelita, fase 1

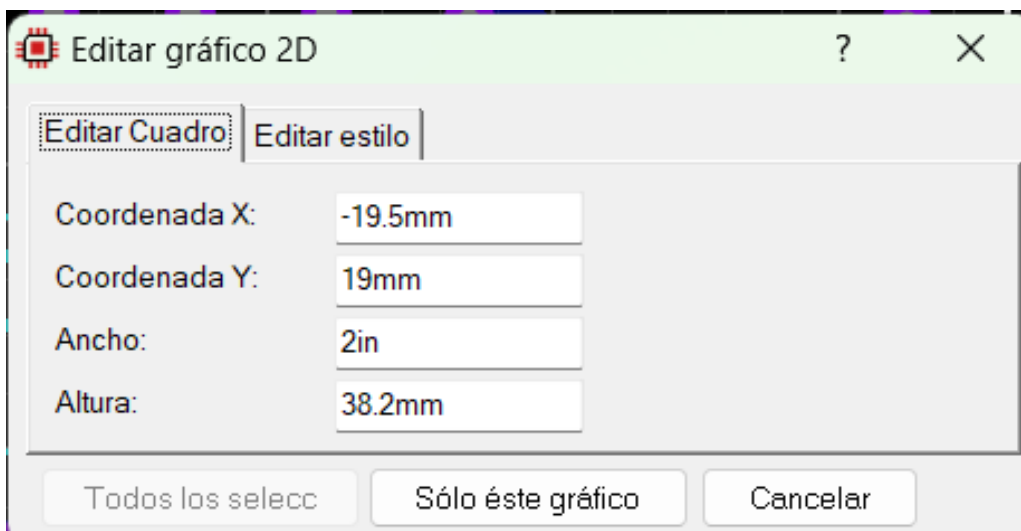


Figura 10-3: Dimensiones de baquelita, fase 1

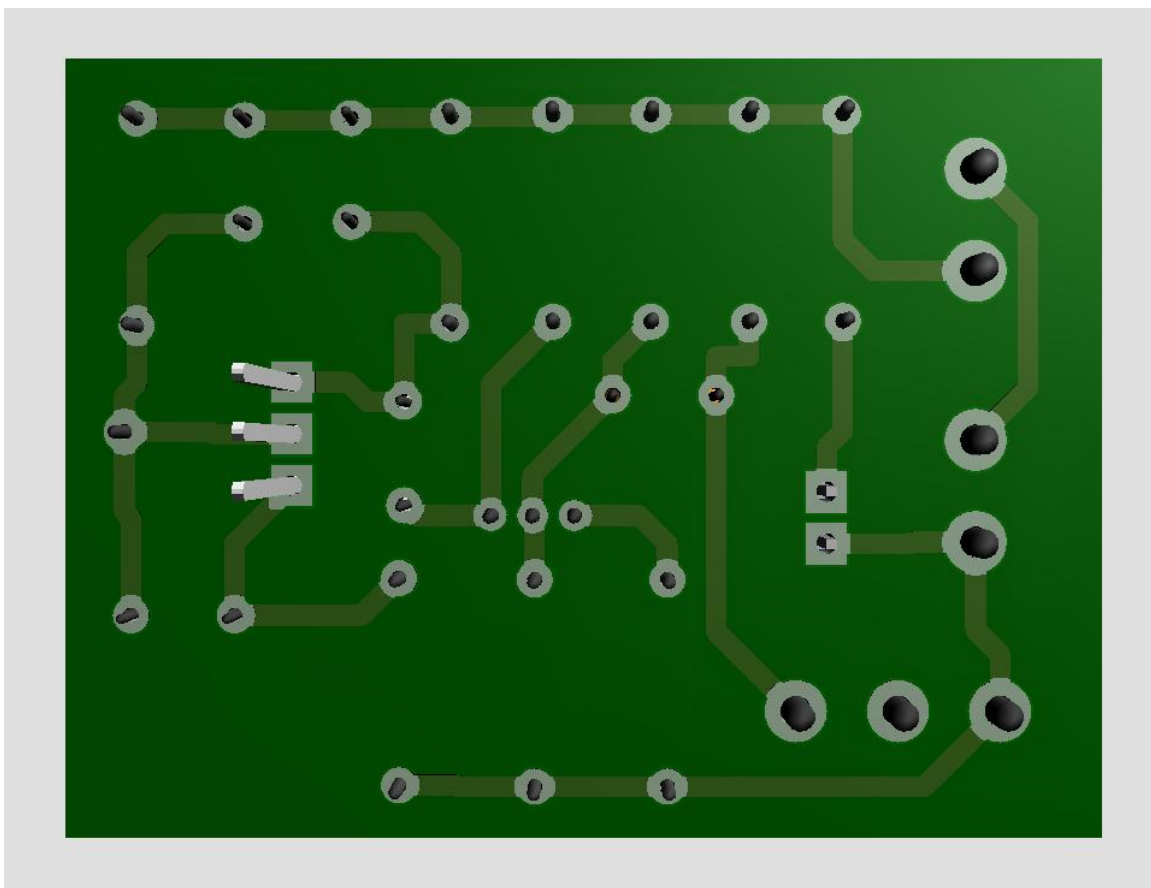


Figura 10-3: Circuito de pistas PCB, fase 1

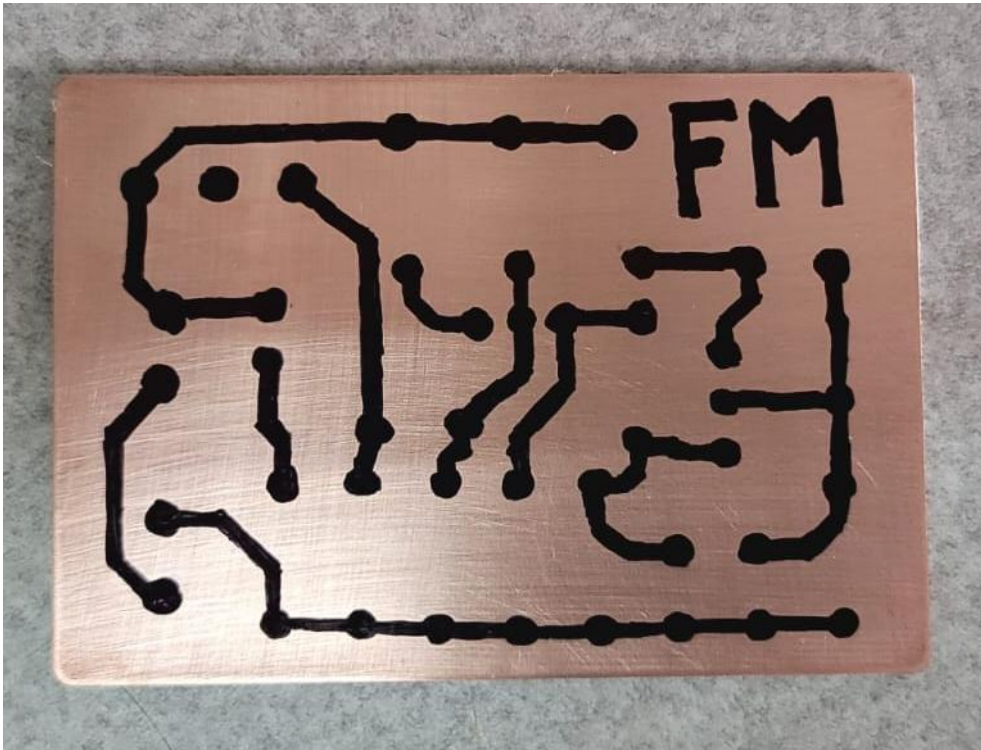


Figura 10-6: Dibujo de circuito en baquelita, fase 1

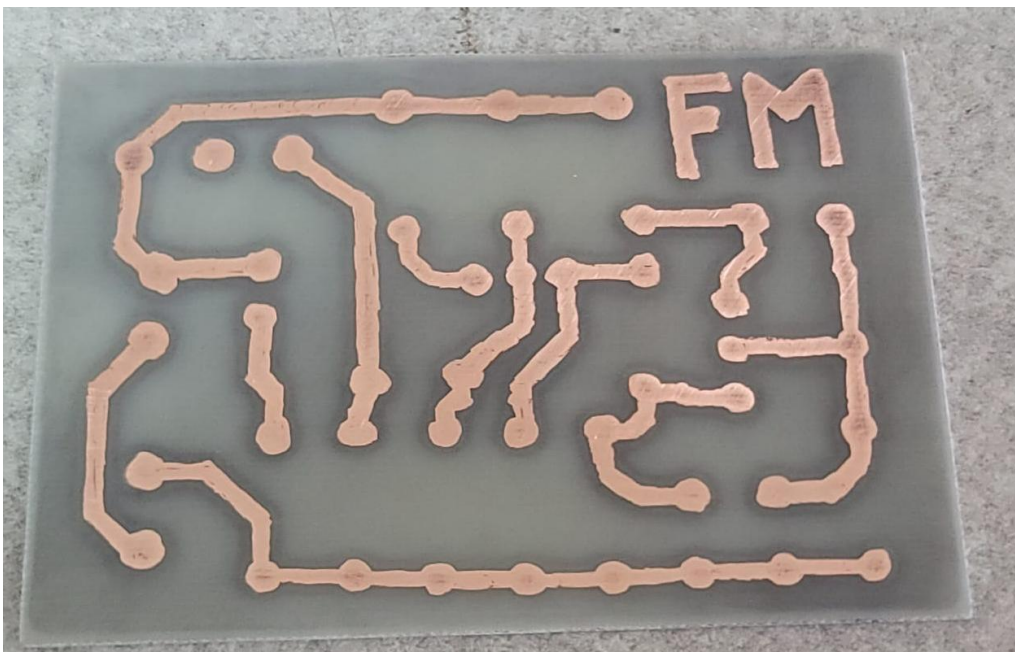


Figura 10-7: Revelación de pistas después del ácido, fase 1

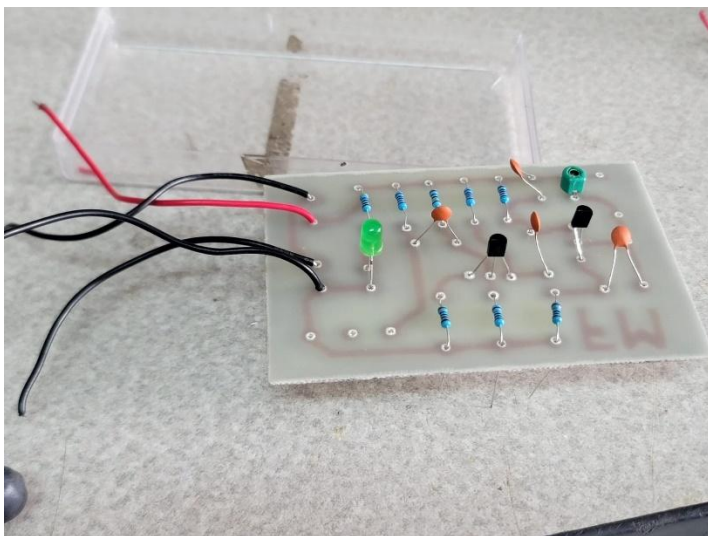


Figura 10-8: Circuito con componentes, fase 1.



Figura 10-9: Transmisor en carcasa con botón de encendido y conectores.

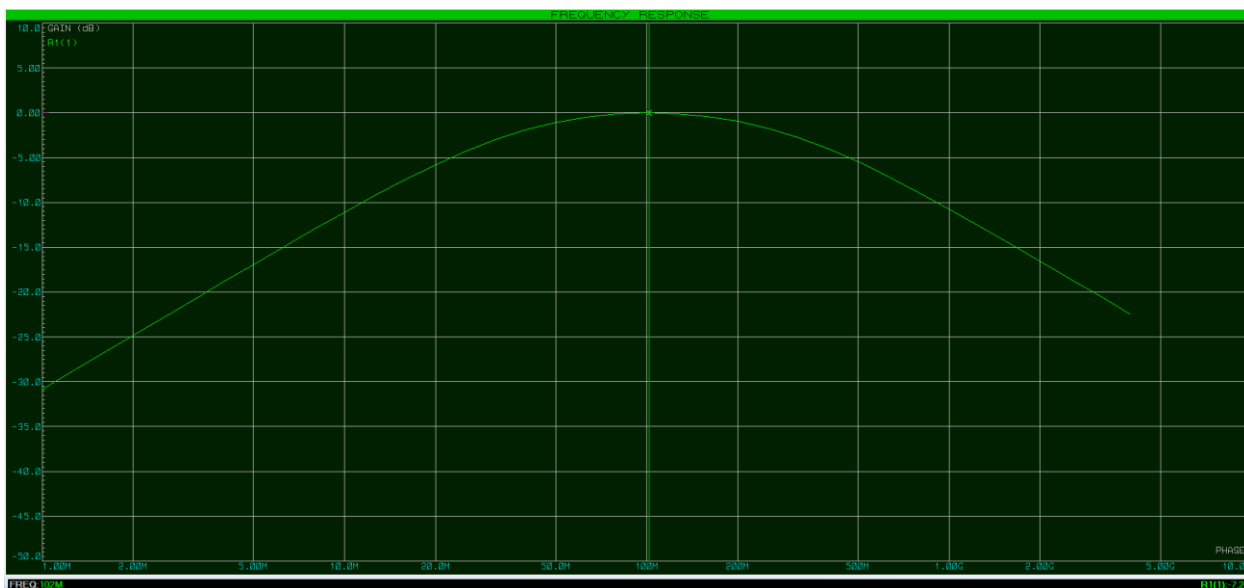


Figura 10-10: Grafica de filtro Pasa-banda.