

Sistema de Transmisión Discreta por RF

Alvaro Mejía Díaz

Leonardo Pérez Fonseca

Carlos Mario Pacheco Rojas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica (Resolución 13155)

Facatativá, Cundinamarca

Septiembre de 2020

Sistema de Transmisión Discreta por RF

Alvaro Mejía Díaz

Leonardo Pérez Fonseca

Carlos Mario Pacheco Rojas

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director:

Ing. Mauricio Alberto García

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica (Resolución 13155)

Facatativá, Cundinamarca

Septiembre de 2020

Declaración de Derechos de Propiedad Intelectual

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Así mismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

*La ciencia puede divertirnos y fascinarnos, pero
es la Ingeniería la que cambia el mundo*

Isaac Asimov.

Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a Dios por la vida, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por ofrecernos la oportunidad de formarnos académicamente. También queremos agradecer a nuestra institución el Ejército Nacional por brindarnos el espacio de poder avanzar en nuestro complemento académico, así mismo, a nuestras familias por apoyarnos y acompañarnos en nuestra formación educativa, que constituye el camino para nuestro crecimiento personal.

De la misma manera, agradecemos a nuestros profesores por brindarnos sus conocimientos. También agradecemos a nuestros compañeros por acompañarnos en nuestro proceso educativo. Igualmente, a nuestro director de proyecto por apoyarnos y guiarnos en el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

Resumen

En Colombia, el conflicto armado interno que se mantiene desde 1960, ha pasado por diferentes etapas de recrudecimiento, en donde se desarrollan operaciones de alta complejidad con el fin de neutralizar el narcotráfico y los procedimientos delictivos de la guerrilla.

Los equipos de operaciones especiales, de vigilancia, seguimiento e inteligencia, tienen grandes limitantes en cuanto a la caracterización y camuflaje de los equipos de comunicación, por su sistema físico de proporción y cableado.

Por lo anterior, se desarrollará una adaptación en el sistema de arnés para transmisión y recepción, que permita un correcto ajuste en los equipos de comunicaciones, minimizando su exposición; de igual manera, garantizar una óptima operatividad, y sostenimiento de la fachada en cualquier terreno.

El sistema de comunicación por RF para radios dos metros, constará de un transmisor de 1 metro de radiación, el cual alcanzará a un sistema ubicado en el canal auditivo externo del oído, el cual recibirá la señal inalámbrica y la convertirá en una señal auditiva de bajos decibeles, pero lo suficientemente fuerte para ser perfectamente escuchada, el sistema estará conformado por un arnés electrónico, el cual se conectará al radio o equipo de comunicaciones, tendrá un sistema de bobina que será la encargada de irradiar la señal, un sistema de interruptor que hará la veces de PTT, y un pinganillo que será el receptor auditivo.

De igual forma, se desarrollará la programación de un microcontrolador que se encargará de configurar los parámetros del sistema del intercomunicador del arnés para su correcto funcionamiento con el conector del puerto de datos de los equipos dos metros.

Palabras claves: Transmisión, Recepción, Radiofrecuencia (RF), Sistema, Impedancia.

Abstract

In Colombia, the internal armed conflict that has been ongoing since 1960 has gone through different stages of escalation, where highly complex operations are carried out in order to neutralize drug trafficking and guerrilla criminal procedures.

The special operations, surveillance, monitoring and intelligence teams have great limitations in terms of the camouflage of communication equipment, due to their physical proportion and wiring system.

Therefore, an adaptation will be developed in the harness system for transmission and reception, which allows a correct adjustment in communications equipment, minimizing its exposure; likewise, to guarantee optimum operability and maintenance of the facade on any terrain.

The RF communication system for two-meter radios will consist of a 1-meter radiation transmitter, which will reach a system located in the external ear canal of the ear, which will receive the wireless signal and convert it into a hearing signal from low decibels, but strong enough to be perfectly heard, the system will consist of an electronic harness, which will be connected to the radio or communications equipment, it will have a coil system that will be in charge of radiating the signal, a switch system which will act as PTT, and an earplug that will be the hearing receiver.

Likewise, the programming of a microcontroller will be developed that will be in charge of configuring the parameters of the harness intercom system for its correct operation with the two meter equipment data port connector.

Keywords: Transmission, Reception, Radiofrequency (RF), System, Impedance.

Contenido

INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
2. JUSTIFICACIÓN	22
3. OBJETIVOS.....	24
3.1. Objetivo General.....	24
3.2. Objetivos Específicos.....	24
4. MARCO REFERENCIAL	25
5. DISEÑO METODOLÓGICO	31
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
6.4. Integración del prototipo	50
6.6. Recursos	74
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
7.4. Conclusiones.....	75
7.5. Recomendaciones	76
BIBLIOGRAFÍA	77

Lista de Figuras

Figura 1. Fases del proyecto	31
Figura 2. Radio XTS2250.....	36
Figura 3. Visualización del acople lateral	37
Figura 4. Distribución de pines Radio XTS-2250 Motorola	37
Figura 5: Configuración de los pines Radio XTS-2250.....	39
Figura 6. Circuito transmisor del radio al sistema	41
Figura 7. Circuito Transmisor Micrófono	43
Figura 8. Circuito de segundo orden.....	44
Figura 9. Circuito Receptor Audífono	46
Figura 10. Diseño del filtro pasabanda.....	48
Figura 11. Implementación del filtro digital.....	49
Figura 12. Diagrama de Flujo del código en assembler.....	50
Figura 13. Acople lateral y circuito de transmisión	51
Figura 14. Bobina transmisora inalámbrica, PTT y nano micrófono 23024CX.....	51
Figura 15. Respuesta en frecuencia del nano micrófono 23024CX.....	52
Figura 16. Pinganillo.....	53
Figura 17. Diagrama del sistema inalámbrico RF	54
Figura 18. Medición de la bobina	55
Figura 19. Pruebas de comunicación	56
Figura 20. Pruebas de cobertura	56
Figura 21. Simulación y parámetros de barrido.....	57

Figura 22. Análisis espectral del filtro	58
Figura 23. Gráfica de frecuencia vs densidad espectral de potencia del filtro	59
Figura 24. Coeficientes del filtro	59
Figura 25. Código diagrama de bode	60
Figura 26. Diagrama de bode.....	60
Figura 27. Simulación de espectro en frecuencia y configuración de parámetros.	61
Figura 28. Espectro en frecuencia del filtro para $f=100$ Hz y $f=1000$ Hz.....	62
Figura 29. Espectro en frecuencia del filtro para $f=2000$ Hz y $f=4000$ Hz.....	62
Figura 30. Circuito amplificador del micrófono.....	63
Figura 31. Circuito receptor del audífono	64
Figura 32. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=100$ Hz	64
Figura 33. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=200$ Hz	64
Figura 34. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=300$ Hz	65
Figura 35. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=400$ Hz	65
Figura 36. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=500$ Hz	65
Figura 37. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=600$ Hz	66
Figura 38. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=700$ Hz	66
Figura 39. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=800$ Hz	66
Figura 40. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=900$ Hz	67
Figura 41. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1000$ Hz.....	67
Figura 42. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1200$ Hz.....	67
Figura 43. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1400$ Hz.....	68
Figura 44. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1600$ Hz.....	68

Figura 45. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1800\text{Hz}$	68
Figura 46. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2000\text{Hz}$	69
Figura 47. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2200\text{Hz}$	69
Figura 48. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2400\text{Hz}$	69
Figura 49. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2600\text{Hz}$	70
Figura 50. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2800\text{Hz}$	70
Figura 51. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3000\text{Hz}$	70
Figura 52. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3200\text{Hz}$	71
Figura 53. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3400\text{Hz}$	71
Figura 54. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3600\text{Hz}$	71
Figura 55. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3800\text{Hz}$	72
Figura 56. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=4000\text{Hz}$	72
Figura 57. Simulación señal entrada y VR con $f=2000\text{Hz}$	73

Lista de Tablas

Tabla 1. Cronograma de actividades.....	33
Tabla 2. Características del micrófono.....	52
Tabla 3. Características pinganillo.....	53
Tabla 4. Presupuesto del Proyecto	74

Lista de Anexos

Anexo 1. Código en Assembler	81
Anexo 2. Características del microcontrolador	99

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Unidad SI	Magnitud
<i>A</i>	Amperios	<i>Corriente eléctrica</i>
<i>H</i>	Henrios	<i>Inductancia</i>
<i>Hz</i>	Hertz	<i>Frecuencia</i>
<i>m</i>	metro	<i>Longitud</i>
Ω	Ohmios	<i>Resistencia</i>
<i>V</i>	Voltios	<i>Voltaje</i>

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>STD</i>	Sistema de transmisión discreta
<i>RF</i>	Radiofrecuencia
<i>JEMPP</i>	Jefatura de estado mayor de planes y políticas del Ejército
<i>CEDOC</i>	Comando de educación y doctrina del Ejército
<i>PTT</i>	Push to talk
<i>VHF</i>	Very High Frequency
<i>UHF</i>	Ultra High Frequency
<i>MTO</i>	Telemática Operacional
<i>SISFRON</i>	Sistema de Comunicaciones Tácticas del Sistema de Monitoreo Fronterizo

Introducción

En la actualidad las organizaciones delictivas han incrementado su accionar, causando inconvenientes en la efectividad de las operaciones militares, por lo cual el Ejército Nacional se ha visto en la obligación de fortalecer las comunicaciones, con el fin de proteger la vida del personal comprometido en las operaciones. Por otra parte, la escasez de accesorios de manos libres para los radios de comunicaciones y el material en que se elaboran han ocasionado dificultades, debido al diseño alámbrico poco práctico que poseen.

Es por esto que se considera un dispositivo con funcionamiento basado en tecnología inalámbrica, donde se emita una señal en una sola vía, que consuma energía de manera constante y mantenga el enlace de dos sistemas, uno de ellos es el arnés que se instala en el equipo de comunicaciones de dos metros, y el otro el receptor auditivo.

El sistema de comunicación por RF para radios dos metros, constará de un transmisor por radiofrecuencia, el cual alcanzará a un sistema ubicado en el canal auditivo externo del oído, el cual recibirá la señal inalámbrica y la convertirá en una señal auditiva de bajos decibeles, pero lo suficientemente fuerte para ser perfectamente escuchada.

Así mismo, el dispositivo STD tendrá un arnés electrónico, el cual se conectará al radio o equipo de comunicaciones, un sistema de bobina que será la encargada de irradiar la señal, un sistema de interruptor que hará las veces de PTT, y un pinganillo que será el receptor auditivo.

Sistema de Transmisión Discreta por RF

De igual forma, se desarrollará la programación de un microcontrolador que se encargará de configurar los parámetros del sistema del intercomunicador del arnés, para su correcto funcionamiento con el conector del puerto de datos de los equipos dos metros.

Planteamiento del Problema

El conflicto armado colombiano ha cruzado por diferentes etapas a lo largo de la historia, en donde las organizaciones terroristas, han desarrollado e incrementado la ofensiva y su accionar delictivo. El comercio ilícito de droga y los intereses económicos que se esconden con ella, han intensificado la labor de las autoridades para combatirla. (Calderón, 2016)

El poder adquisitivo de los grupos al margen de la ley, reduce el poder y el accionar de las operaciones de inteligencia y operaciones de fuerzas especiales, ya que cuentan con gran cantidad de equipos tecnológicos que vulneran nuestra seguridad y atentan contra la vida de nuestros hombres (Ministerio de Defensa Nacional, 2015). Para esto, hacen uso de celulares, redes sociales y sistemas como Avantel, vulnerando la efectividad de las operaciones, poniendo en riesgo la vida del personal, perdiendo la oportunidad en el terreno al momento de concretar una captura o afianzar un resultado operacional.

Las unidades de vigilancia, seguimiento, inteligencia, esquema de escoltas, avanzadas de seguridad y unidades de fuerzas especiales, se han visto afectadas en sus operaciones de encubierta, fachadas de inteligencia, por los equipos de vigilancia y seguimiento que actualmente son utilizados. (Naciones Unidas, 2012)

El factor principal es de orden táctico, para proteger la vida del personal comprometido en una operación, o en una actividad de inteligencia, en zonas de alto riesgo de orden público, como

las infiltraciones a estructuras al margen de la ley que atenten contra la integridad y la seguridad de las personas.

De acuerdo con (JEMPP, 2019): el Ejército Nacional de la República de Colombia, cuenta en la actualidad con un total de 22.944 radios de referencia XTS-2250, 1.375 de referencia XTS-4250, 6.395 radios de referencia APX-5000 y 60 radios de referencia APX-7000, los cuales son de la marca Motorola y son utilizados para la comunicación entre pequeñas unidades, los cuales tienen la opción de ser empleados en conjunto con accesorios de manos libres, los cuales solo son asignados a esquemas de seguridad y unidades que realizan actividades de inteligencia.

De un total de 30.774 equipos que pueden utilizar accesorios de manos libres, a un aproximado de 13.500 equipos se les han asignado este tipo de elementos y en la actualidad solamente un 30% de ellos los conservan aún funcionales, por el tipo de material en el cual son elaborados y el diseño totalmente alámbrico que poseen.

De la misma manera, según la información plasmada en las Órdenes administrativas de los servicios por (JEMPP, 2019) y (JEMPP, 2018), durante los años 2018 y 2019, fueron dados de baja administrativamente 305 manos libres para radios de la marca Motorola, los cuales ingresan al Batallón de Mantenimiento de Comunicaciones del Ejército y no pueden ser reparados porque en su mayoría son destruidos en su parte cableada completamente, este daño es común debido a lo incómodo del diseño que poseen y que usualmente se enreda en el armamento o en los accesorios que cargan los esquemas de seguridad que tiene la institución.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente expuestas, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo optimizar la discreción de los dispositivos manos libres para operaciones militares?

Justificación

A lo largo de la historia del conflicto interno en Colombia, las Organizaciones Narco Terroristas han modificado sus lineamientos políticos, financieros y sociales, con el fin de neutralizar el accionar de las Fuerzas Armadas. La estrecha relación entre el conflicto armado colombiano y el narcotráfico, ha favorecido la violencia. (International Crisis Group , 2017)

Con el desarrollo de un prototipo de comunicación con características tácticas de discreción y de funcionamiento inalámbrico adaptable a radios de operación tipo escuadra, es posible minimizar el riesgo en el cual incurren las unidades especiales y agentes de inteligencia, en el desarrollo normal de sus labores.

De igual forma, como lo manifiesta (CEDOE, 2016), es importante que una institución como el Ejército Nacional, se pueda proyectar hacia la autosostenibilidad logística, adquiriendo capacidades de diseñar y producir diferentes tipos de productos, que le permitan estar a la par de otros Ejércitos en el mundo, dando posibilidad a la conservación de su independencia en el suministro de accesorios para los equipos de comunicaciones empleados por la Fuerza.

El desarrollo del prototipo de un dispositivo manos libres que opere de forma inalámbrica y que sea de características resistentes, posibilita inicialmente la solución de novedades en cuanto a carencia de material de este tipo en el Ejército Nacional, de igual forma, permite el adelanto de actividades de los esquemas de seguridad de forma más eficiente y finalmente la organización de importantes operaciones de inteligencia con gran discreción.

Los equipos de operaciones especiales, de vigilancia, seguimiento e inteligencia, tienen grandes limitantes en cuanto a la caracterización y camuflaje de los equipos de comunicación, por su sistema físico de proporción y cableado. Por lo anterior, se propone el desarrollo de una adaptación en el sistema de arnés para transmisión y recepción, que permita un correcto ajuste en los equipos de comunicaciones, minimizando su exposición; de igual manera, garantizar una óptima operatividad, y sostenimiento de la fachada o cubierta en cualquier terreno.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo de comunicación inalámbrica para radios de tipo dos metros Motorola XTS-2250, para transmisión y recepción de audio, con el fin de mejorar la labor de vigilancia y seguimiento, operaciones encubierta, operaciones de fuerzas especiales, seguridad de dignatarios en el Ejército Nacional.

Objetivos Específicos

- Caracterizar e identificar el sistema de transmisión y recepción del radio dos metros Motorola XTS-2250, para dar inicio a la elaboración del sistema RF de comunicación para radios militares de la gama dos metros.
- Diseñar los planos esquemáticos y ensamblar los circuitos impresos para el módulo transmisor y receptor.
- Desarrollar el firmware para filtrado de la señal que va del radio al oyente y transmitirla a través de la bobina hacia al auricular.
- Integrar el prototipo de sistema electrónico inalámbrico formado por el módulo transmisor, el módulo receptor y el firmware, junto con el radio dos metros Motorola XTS-2250 de gama militar.
- Comprobar el funcionamiento del sistema Transmisor y receptor en modo Full Dúplex junto con el radio de dos metros Motorola XTS-2250, mediante pruebas de medición, de operatividad y de verificación de las comunicaciones.

Marco Referencial

Estado del arte

Módulo de Telemática Operacional (MTO).

El Módulo de Telemática Operacional (MTO) se presentó como parte del Sistema de Comunicaciones Tácticas del Sistema de Monitoreo Fronterizo (SISFRON). El MTO es una herramienta esencial e indispensable para SISFRON y ha sido empleado por la 14ª Compañía de Comunicaciones Mecanizadas (14ª Cia Com Mec) en apoyo de las diversas operaciones de la 4ª Brigada de Caballería Mecanizada. Se centró en sus características, posibilidades y limitaciones, ya que en su uso es el vínculo entre los distintos niveles de SISFRON. Este equipo fue analizado operacionalmente, buscando concluir si cumple con las expectativas tácticas y técnicas para las cuales fue diseñado en SISFRON. Se ha tenido en cuenta cada tipo de MTO (módulos B, F y G) para llegar a conclusiones sobre el formulario de solicitud más apropiado para ellos. (Estevam, R. A. F, 2019).

Intercomunicador enlazado a red de telefonía celular.

La mayoría de timbres y sistemas de intercomunicación instalados en los hogares se vuelven inútiles cuando los habitantes se ausentan, poniendo en riesgo las pertenencias de las familias pues delincuentes consideran esto una oportunidad perfecta. Se desarrolla un dispositivo tipo timbre que no evidencie la ausencia de personas, pues se comunica mediante una llamada telefónica al celular del propietario manteniéndolo siempre en contacto y con conocimiento de quienes visiten su hogar. La instalación del dispositivo es sencilla y resalta su practicidad pues la

comunicación siempre es al teléfono celular del dueño, evitando así utilizar un intercomunicador fijo al interior de la casa. El dispositivo consiste en un módulo de telefonía celular FONIA 3G de Adafruit, el cual está manejado por un microcontrolador PIC18F2550 mediante comunicación serial UART. Dispone en sus entradas de un sensor de movimiento PIR y un botón, ambos manejados digitalmente, al igual que la pantalla tipo OLED de 128x64 pixeles controlada mediante I2C. El sistema está alimentado con una batería recargable de litio de 1300 mAh. (Ruiz, J. F. A., Flores, A. B., López, V. E. B., & Raggi, S. E. A., 2018).

Intercomunicador de audio – Motophone.

La investigación desarrolla la idea de negocio de la empresa RAJJE S.A.C., el cual dedicará a la fabricación y comercialización de intercomunicadores y duplicadores de audio que se pueden conectar al celular para recibir audio y cargarse del mismo, facilitando la comunicación entre el piloto y copiloto de manera nítida, rápida y eficaz, evitando la distracción durante el manejo en el recorrido de viaje. (Achahuanco Pucho, A., Zambrano, A., Del Rosario, L., Hernandez Perez, J. J., Sihuincha Yauri, E. D., & Castro Tello, J. C., 2018).

Sistema intercomunicador mediante reconocimiento de voz y texto a voz utilizando Alexa y Raspberry pi.

Hoy en día existen diversos sistemas intercomunicadores al alcance de los usuarios, estos pueden ser instalados en hogares y entornos de trabajo para facilitar la comunicación a cierta distancia. Muchas veces estos dispositivos pueden tener altos costos, por lo que se desarrolló un sistema intercomunicador de bajo costo integrando diversas tecnologías que en conjunto ayudan a cumplir este objetivo. Se utilizó la computadora de bajo costo Raspberry Pi en la cual se instaló

el servicio de voz de Alexa desarrollado por Amazon para realizar el reconocimiento de voz del usuario y transmitir su mensaje en forma de texto por medio de la red mediante un servicio web. Además, se utilizaron dos computadoras Raspberry Pi para la construcción del prototipo, sumado a que todas las herramientas utilizadas para el desarrollo están disponibles de manera gratuita, por lo que el costo se reduce considerablemente. Como resultado se obtuvo un prototipo funcional que fue probado por diez usuarios con respuestas favorables como fácil uso. El desempeño del dispositivo fue aceptable en las distintas pruebas realizadas. (Ávila Cornejo, E., 2016).

Diseño y construcción de un intercomunicador portátil de 10 entradas y 10 salidas para aviones de instrucción CESSNA 208 CARAVAN.

El presente trabajo de investigación de tesis tiene como finalidad diseñar y construir un intercomunicador portátil de 10 entradas y 10 salidas para la instrucción, capacitación y entrenamiento de los pilotos a bordo de una aeronave de instrucción Cessna 208 Caravan, en la Dirección de Aviación Policial del Perú (DIRAVPOL). La metodología que se empleó para llevar a cabo la investigación fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, diseño de investigación no experimental corte transversal, nivel de investigación descriptivo - explicativo y el método de diseño prescriptivo utilizando el tipo de diseño modelo "V". Además, se utilizó la metodología de investigación de "Desarrollo de Escala y Validación" realizando una encuesta a través de una muestra de 33 encuestados (a los pilotos y al personal de mantenimiento). Los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación del intercomunicador portátil son: voltaje de entrada máximo (30,5Vdc), frecuencia de operación (50Hz-15KHz), potencia de salida de audio (30mW), impedancia headphone (150) y adaptación de impedancia a la radio aircraft

(500). Las conclusiones del proyecto de investigación fueron óptimas porque se diseñó y construyó un intercomunicador portátil de 10 entradas y 10 salidas, consiguiendo que los parámetros técnicos se encuentran dentro de los requerimientos del sistema, satisfaciendo la necesidad en el proceso de la comunicación entre el instructor y los alumnos pilotos permitiendo en todo momento en hablar y escuchar a lo largo de la instrucción. (Molina Chávez, J. T., 2018).

Marco Conceptual

Comunicación inalámbrica:

En la actualidad, como lo expone (López Riera, 2017): se ha acrecentado el uso de las comunicaciones inalámbricas convirtiéndose en una necesidad para la sociedad. Es notorio el aumento en la tendencia por utilizar sistemas de datos inalámbricos, ya sea en aplicaciones con requerimientos de movilidad como en las de uso fijo. La distancia que deben abarcar este tipo de enlaces varía según su aplicación y puede ir desde distancias muy cortas, de pocos metros, hasta algunos kilómetros.

Comunicación por radio:

Para hacer posible la comunicación inalámbrica se tienen dos alternativas principales. La primera es la comunicación vía óptica en el espectro visible o infrarrojo, mediante LEDs - incluyendo los de un mando a distancia- o láseres. La segunda alternativa es la comunicación por radio. (López Riera, 2017). De acuerdo con (López Riera, 2017), "... en esta última se puede adquirir mayor movilidad y, por otro lado, ofrece un amplio rango de velocidades de datos y una gran variedad de modulaciones, desde las más tradicionales (ASK, FSK) hasta las más complejas (OFDM, UWB), entre otras".

Filtro:

Se puede definir como cualquier dispositivo que modifica de un modo determinado una señal que pasa a través de él. Aunque para algunos autores solo utilizan el término de "filtro" para referirse a los dispositivos con la capacidad de seleccionar una frecuencia, es decir, aquellos que

solo permiten el paso de una frecuencia y bloquean las señales restantes. (Miraya, F, 2004). Sin embargo, existen muchos otros filtros que son de interés práctico que no cumplen esa función, por lo que se debe utilizar una definición más amplia, como la expuesta inicialmente, puesto que una de estas excepciones se puede evidenciar en los filtros denominados “pasa todo”, los cuales modifican la fase, sin alterar la amplitud.

Bobina:

De acuerdo con Preciado, (López & Méndez, 2011): Es un sistema de cobre aislado conductor, de forma variable, que cumple como generador de ondas magnéticas o pulso eléctrico, de acuerdo a su impedancia y diámetro, grosor y su sistema de aislamiento, puede ser cortada frecuencias precisas para la transmisión de datos, señales que puedan ser transformadas en ondas auditivas, o pulsos electromagnéticos, capaz de llevar una señal voltaica de menor o mayor potencia según el circuito que le alimente, pueden usarse señales cuadradas o sinusoidal, según sea la necesidad de transmisión o recepción y la intensidad de impulso del sistema de onda, y la distancia necesaria para ser tomada con un receptor.

Intercomunicador:

Se define como un intercomunicador a un dispositivo de comunicaciones bidireccional (full dúplex) que permite el diálogo entre dos interlocutores de forma interactiva a través de una conexión. A través de este componente es posible la comunicación sencilla y eficaz entre dos o más personas. Actualmente los intercomunicadores poseen gran adaptabilidad, facilitando enlaces con teléfonos fijos y celulares, los cuales se conectan gracias al empleo de diversos sistemas de conmutación. (Preciado, López & Méndez, 2011).

Diseño Metodológico

Fases del proyecto

Para el desarrollo de los objetivos propuestos se formuló una metodología integrada por cinco fases, a saber:

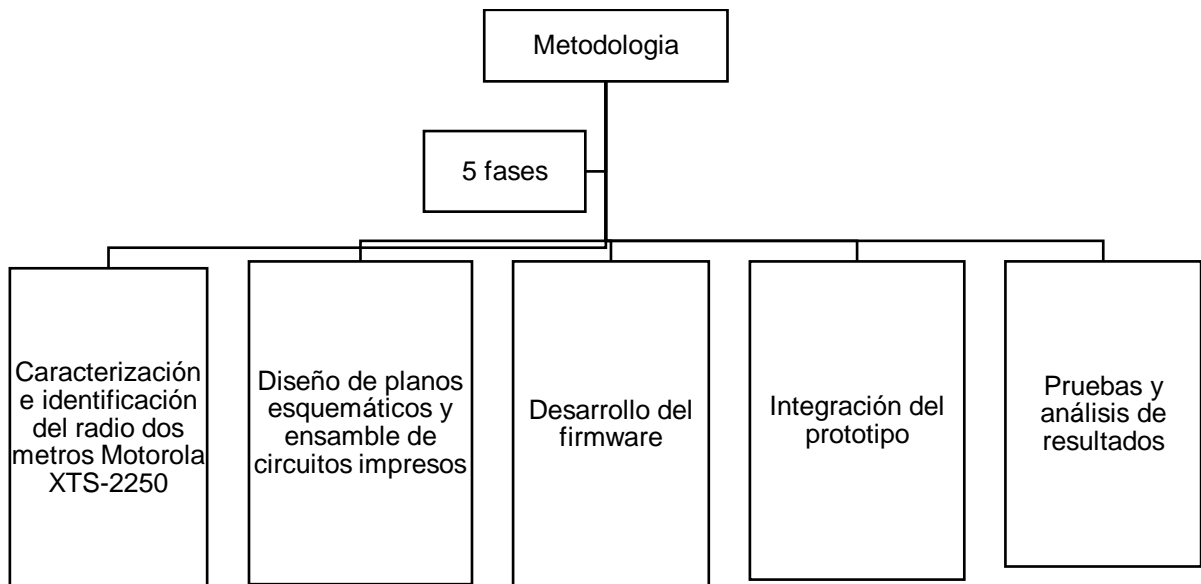


Figura 1. Fases del proyecto. Fuente propia

Caracterización e identificación del radio dos metros Motorola XTS-2250:

En esta fase se caracteriza e identifica el sistema de transmisión y recepción del radio XTS 2250, para que a partir de esta información se comience a diseñar el sistema inalámbrico RF de comunicación para radios militares de la gama dos metros, tomando en cuenta el protocolo de comunicación del radio XTS 2250. En esta sección se incluye la función del PTT o interruptor, como selector en la apertura del micrófono del sistema, con el fin de que se pueda transmitir la señal de radio.

Diseño de planos esquemáticos y ensamble de circuitos impresos:

Se llevan a cabo los cálculos matemáticos para el diseño de la bobina, del circuito receptor del audífono y del circuito amplificador del micrófono. Luego se elaboran los planos esquemáticos en el software de simulación Proteus y por último, se realizan los circuitos impresos para el posterior ensamble de los componentes electrónicos seleccionados de acuerdo al diseño del módulo transmisor y receptor.

Desarrollo del firmware

Se desarrolla el firmware del microcontrolador, que permite el filtrado de la señal que va del radio al oyente y la transmite a través de la bobina hacia al auricular. Es así como el microcontrolador, se utiliza como filtro pasa banda digital, utilizando el conversor análogo digital interno, para convertir la entrada que ingresa por un pin análogo de este dispositivo a una señal compatible con el microcontrolador.

Integración del prototipo

Se integran todos los siguientes módulos:

- El sistema de recepción que corresponde a un pinganillo que irá en el oído.
- El sistema de transmisión conformado por el PTT, la bobina transmisora inalámbrica, el circuito transmisor, el micrófono y el acople lateral del radio, ubicados en un chasis que permite proteger los módulos de agentes externos, que pueden causar daños a los dispositivos electrónicos.
- El firmware que se carga en la memoria del microcontrolador, con el fin de que se ejecuten las instrucciones, que permitan el filtrado de la señal de radio.

- El radio dos metros Motorola XTS-2250 de gama militar.

Pruebas y análisis de resultados

Se llevan a cabo pruebas de funcionamiento del sistema transmisor y receptor en modo Full Dúplex, junto con el radio de dos metros Motorola XTS.2250; que incluyen pruebas de verificación de comunicaciones, de operatividad y de medición. Asimismo, se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

Cronograma de actividades

Tabla 1. Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES				
ACTIVIDAD	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
Establecer normas y reglas de trabajo	X			
Diligenciamiento de formatos para presentación del proyecto	X			
Investigación, recolección de información para el desarrollo del proyecto	X			
Diseño del dispositivo STD		X		
Selección de componentes para el desarrollo del dispositivo STD		X		
Diseño del firmware		X		
Desarrollo de planos electrónicos,			X	

Sistema de Transmisión Discreta por RF

manufactura de partes (tarjetas impresas, chasis, cableado) y ensamble de los módulos.				
Pruebas de funcionamiento del sistema STD			X	
Sustentación y entrega del proyecto				X

Fuente: Tomado de Autor

Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que: “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Se selecciona este tipo de enfoque, ya que el análisis de resultados se realiza a hechos concretos y se llevan a cabo mediciones científicas, a través de la recolección de datos de tipo numérico. El alcance de este estudio es descriptivo ya que: “Busca especificar propiedades y características portantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Se elige este tipo de alcance de investigación ya que se analiza el comportamiento del dispositivo STD y luego se muestran las características del prototipo para probar que su funcionamiento es correcto.

El diseño de la investigación es de tipo experimental ya que: “Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes)

para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Se selecciona este diseño, debido a que en este proyecto se llevan a cabo pruebas de funcionamiento, y se determina el comportamiento de diversas variables a través de experimentos.

Resultados y Análisis

Caracterización e identificación del radio dos metros Motorola XTS-2250

Características de rendimiento del radio XTS2250



Figura 2. Radio XTS2250. Fuente: (Motorola Solutions, Inc, 2020)

- **Banda de frecuencia:** VHF, UHF, 700 MHz, 800 MHz
- **Espaciamento de canal:** 12.5 KHz, 25 KHz
- **Rango de frecuencia:** 764-870 MHz; VHF - 136-174 MHz; UHF - 403-470 MHz, 450-520 MHz
- **Potencia:** 1-3W—700/800 MHz, 1-5W—UHF, 1-5W—VHF

(Motorola Solutions, Inc, 2020)

Planos del radio XTS2250

El contenido que se presenta a continuación son los planos del radio XTS2250 (Ver Figura 3), los cuales fueron obtenidos del manual del fabricante, como parte de la consulta en fuentes de información. Es así, como el prototipo de comunicación discreta que se va a diseñar, utiliza la alimentación que nos proporciona el conector lateral del radio XTS2250, del pin 2 EXT_SPK con 4,2 VDC, y el pin 6 GND. La distribución de pines del radio se puede observar en la Figura 4.

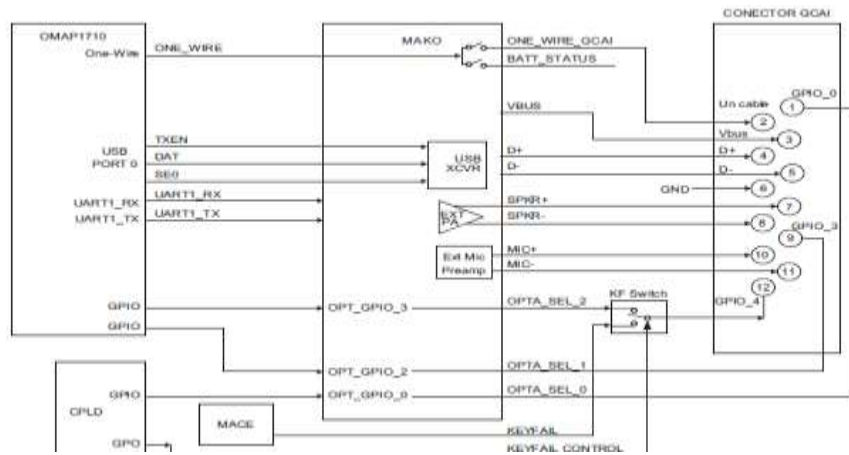


Figura 3. Visualización del acople lateral

ASIGNACIÓN DE PIN P1	SEÑAL DEL CONECTOR LATERAL
1	GCAI_VBUS_5V
2	GCAI_VBUS_5V
3	TIERRA
4	GCAI_USB_P_GPIO1 / TxDc / FillReq
5	GCAI_USB_P_GPIO2 / RxDc / FillData
6	TIERRA
7	GCAI_GPIO0 / PwrOn
8	GCAI_CTS_GPIO_4 / KeyFall / FillCk
9	GCAI_MIC_P
10	GCAI_MIC_N
11	GCAI_SPKR_N / LineOut-
12	GCAI_SPKR_P / LineOut+
13	TIERRA
14	GCAI_RTS_GPIO_3 / OTG-ID / FillSen
15	TIERRA
16	GCAI_ONE_WIRE

Figura 4. Distribución de pines Radio XTS-2250 Motorola

Protocolo de comunicación del sistema de transmisión con el radio XTS2250

Tomando en cuenta la Figura 5, se establece un protocolo de comunicaciones mediante diversas configuraciones de los pines de conexión.

Pin 1 con pin 8 speaker, es decir la salida hacia la bobina transmisora

Pin 2 con pin 8 parlante 4,2vdc (external speaker)

Pin 3 con pin 8 Micrófono (ext mic)

Pin 4 con pin 8 (VPP +) 4.2V

Pin 5 con pin 8 Funciona como un interruptor normal abierto PTT

Función		opción selec 1	opción selec 2	
External PTT	N abierto	0	0	Rx Señal
Normal cerrado		1	1	Tx Mic
External Speaker		0	1	
Xtva		Diodo	Diodo	

Es decir, si el interruptor esta normalmente abierto porque no se ha pulsado las opciones de selección 1 y 2 se mantiene en cero. Cuando se obtura el interruptor, está en estado normalmente cerrado y la opción selec1 y selec2 están en 1, se permite la transmisión del micrófono. Es así, como el external speaker se encuentra habilitado para recibir la señal cuando el pulsador no está obturado, porque es un radio de una sola vía, de tal forma que transmite pero debe estar abierto para recibir la señal.

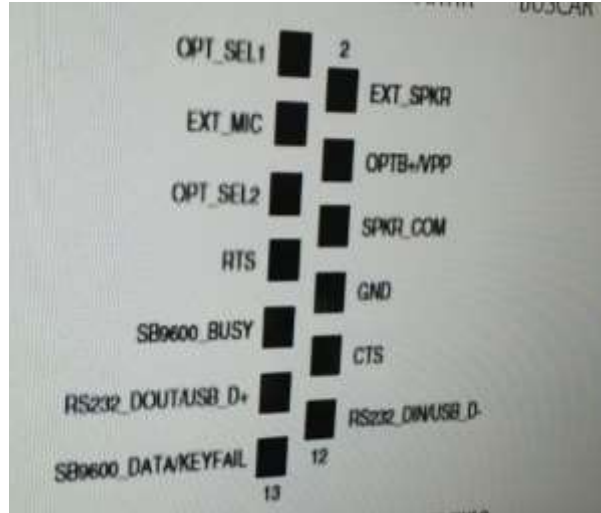


Figura 5: Configuración de los pines Radio XTS-2250. Fuente: Propia

Diseño de planos esquemáticos y ensamble de circuitos impresos

La bobina de transmisión de señal de radio

Se realizó a partir de la medida que tiene el alto parlante del radio Motorola XTS2250, cuya resistencia es de $6,06 \Omega$ y soporta de 3.2 V a 4.5 V, para la bobina se usa un hilo de cobre de 0.2 mm (la resistividad del cobre es $\rho_{Cu} = 1.69 * 10^{-8} \Omega m$). La bobina tiene un total de 200 espiras de aproximadamente 2 cm de largo. El núcleo es de ferrita U 60 que posee una permeabilidad relativa $\mu_r = 8$. La ecuación para la resistencia de un material es la ecuación 1, donde R es resistencia, l es longitud y A área del material, en este caso cobre:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Se calcula la longitud de alambre de cobre que se requiere para obtener $6,06 \Omega$ de resistencia:

$$6,06\Omega = 1.69 * 10^{-8}\Omega m * \frac{l}{\pi*(0.1mm)^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Despejando l:

$$l = \frac{6,06}{0.538} = 11.26 m \quad \text{Ecuación 3}$$

(Hayt, Buck, & Pedraza, 2006)

La longitud l es dada por el perímetro de la bobina por el número de vueltas:

$$l = 2 * ancho * largo * 200 \quad \text{Ecuación 4}$$

Calculamos el valor del ancho de cada espira:

$$ancho = \frac{1126cm}{2*2cm*200} = 1.4 cm \quad \text{Ecuación 5}$$

Ahora se calcula la inductancia de la bobina mediante la siguiente ecuación:

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l} \quad \text{Ecuación 6}$$

(Hayt, Buck, & Pedraza, 2006)

Donde A es el área de la bobina, l la longitud, N el número de vuelta, μ la permeabilidad magnética y la inductancia. Se calculan estos valores y se reemplazan en la ecuación.

$$\mu = \mu_0 * \mu_r = 4\pi * 10^{-7} * 8 = 1.01 * 10^{-5} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$A = (0.02) * (0.014) = 2.8 * 10^{-4} m^2 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$l = 0.2mm * 200 + 2.5cm = 0.067m \quad \text{Ecuación 9}$$

Entonces la inductancia L es:

$$L = 1.01 * 10^{-5} * \frac{200^2 * 2.8 * 10^{-4}}{0.067} = 1.69 mH \quad \text{Ecuación 10}$$

El factor Q para una frecuencia de 2KHz a la que se realizan las pruebas es:

$$Q = \frac{2\pi * 2KHz * 1.69mH}{6.06\Omega} = 3.5 \quad \text{Ecuación 11}$$

(Hayt, Buck, & Pedraza, 2006)

Circuito transmisor del radio al sistema

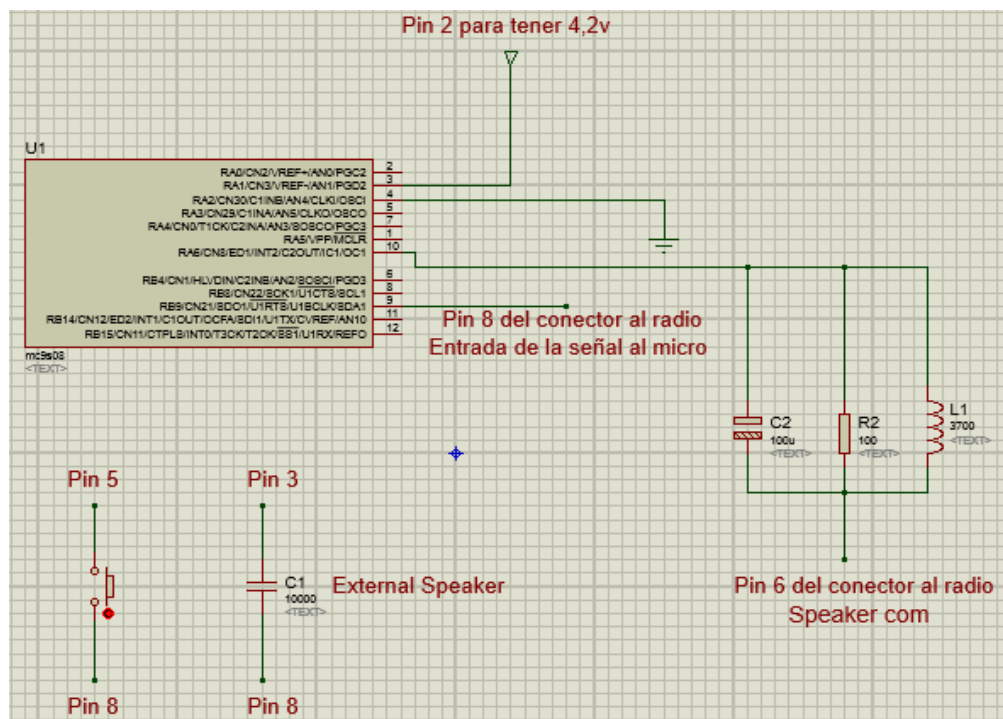


Figura 6. Circuito transmisor del radio al sistema. Fuente Propia

Se realiza la programación de un microcontrolador de referencia mc9s08 (Ver Figura 6) del fabricante NXP, en el que se configuran los parámetros del sistema, del intercomunicador del arnés al conector del puerto de datos de los equipos dos metros.

Circuito amplificador del micrófono

Los componentes electrónicos del circuito amplificador del micrófono que se observa en la Figura 7 cumplen con las siguientes funciones:

- La Resistencia $R1=1K$ permite la polarización del transistor.
- La Resistencia $R2=1k$ provee el voltaje necesario para el funcionamiento del micrófono.
- La resistencia $R3=1K$ efectúa la realimentación de la señal.
- El $C1=100nF$ bloquea la componente DC dejando ir hasta la siguiente etapa solo la señal de audio.
- El $C2=1 \mu F$ bloquea la componente DC de la señal, permitiendo a la AC perteneciente al audio ingresar al transistor Q1 amplificador por su base.
- El circuito puede alimentarse con una tensión entre 3 a 9 V. Se selecciona un voltaje de $VCC= 4.2 V$.
- El transistor Q1 de referencia 2N3904 de tipo NPN. Tiene las siguientes características $\beta = 100$ y $V_{BE} = 0.7$.

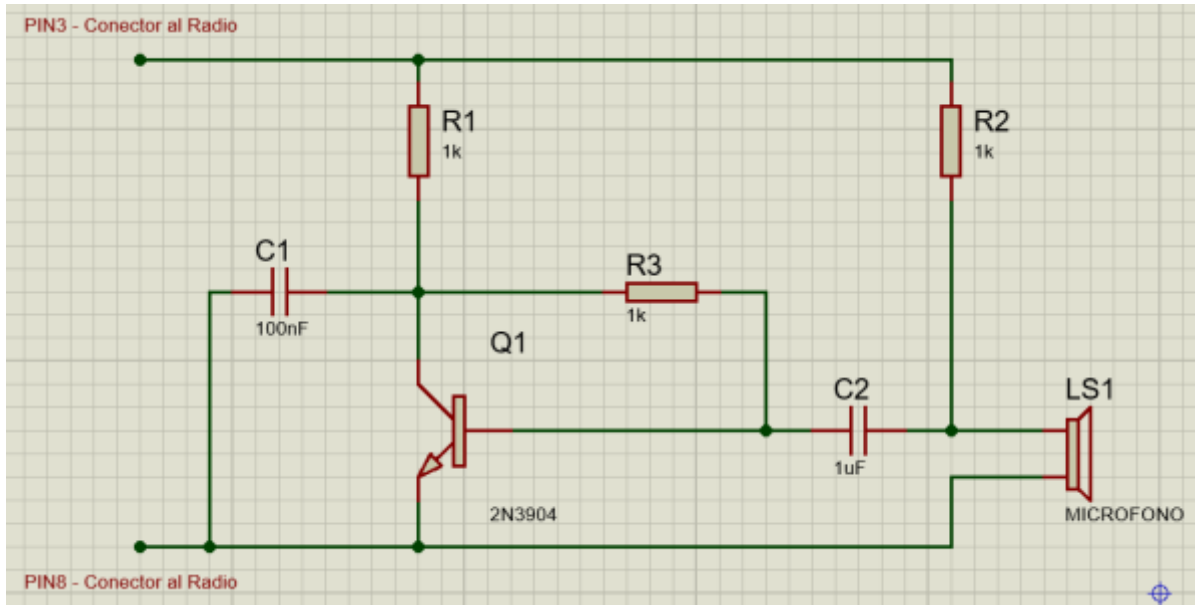


Figura 7. Circuito Transmisor Micrófono. Fuente Propia

El valor de la corriente de colector es:

$$I_c = \frac{4.2V - 2.1V}{1K\Omega} = 2.1mA = I_e \quad \text{Ecuación 12}$$

La resistencia de emisor R_e o transresistencia ya está integrada al transistor:

$$R_e = \frac{0.026V}{I_e} = 12.4\Omega \quad \text{Ecuación 13}$$

La ganancia del transistor es:

$$\text{Ganancia} = \frac{R_c}{R_e} = \frac{1K\Omega}{12.4\Omega} = 81 \quad \text{Ecuación 14}$$

(Boylestad & Nashelsky, 2003)

Circuito receptor del audífono

Red de compensación de máxima impedancia del audífono

Es una red de compensación de máxima impedancia que minimiza el efecto de la alta impedancia de un altavoz a la frecuencia de resonancia y aprovechar mejor el margen de frecuencias. Se utiliza en altavoces medios y agudos para eliminar el pico de impedancia a la frecuencia de resonancia.

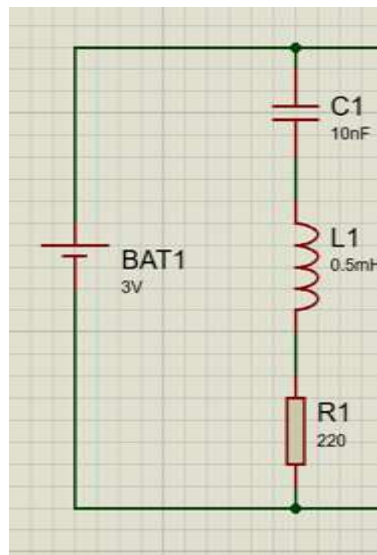


Figura 8. Circuito de segundo orden. Fuente Propia

A continuación, se presenta el análisis del circuito. Inicialmente, se determinan las condiciones iniciales de la corriente en la bobina i_L y el voltaje en el condensador $v_C i_L(0_-) = 0$ y $v_C(0_-) = 3v$. Por mallas se realiza el análisis del circuito:

$$-v_f + v_C + v_L + v_R = 0$$

Ecuación 15

Dado que el voltaje en la bobina está dado por $v_L = L * \frac{di_L}{dt}$ y la corriente del condensador está dada por $i_C = C * \frac{dv_C}{dt}$. Se reemplazan los voltajes en la ecuación de mallas:

$$-v_{f+} \frac{1}{C} \int i_L dt + v_C(0^-) + L * \frac{di_L}{dt} + R i_L = 0 \quad \text{Ecuación 16}$$

(Hayt, Kemmerly, & Durbin, 2012)

Se derivan todos los términos para quitar la integral, la derivada de los valores constantes es cero:

$$\frac{1}{C} i_L + L * \frac{d^2 i_L}{dt^2} + R \frac{di_L}{dt} = 0 \quad \text{Ecuación 17}$$

(Hayt, Kemmerly, & Durbin, 2012)

Se dividen por L todos los términos y se reorganiza la ecuación:

$$\frac{d^2 i_L}{dt^2} + \frac{R di_L}{L dt} + \frac{1}{LC} i_L = 0 \quad \text{Ecuación 18}$$

Se aplica la transformada de Laplace de la forma $s^m = \frac{d^m}{dt}$ y se factoriza i_L :

$$i_L (s^2 + \frac{R}{L} s + \frac{1}{LC}) = 0 \quad \text{Ecuación 19}$$

Se calculan las raíces con la fórmula cuadrática, reemplazando los valores de la resistencia $R=220\Omega$, $L=0.5$ mH y $C=10$ nF. Donde s_1 y s_2 son de tipo complejo, lo que implica que la señal de corriente es sobre amortiguada en el tiempo: $s_1 = -220000 + 389358i$ y $s_2 = -220000 - 389358i$. La ecuación de corriente en el tiempo es:

$$i_L = -3V * \left(\frac{s_1 s_2 C}{s_1 - s_2} \right) * (e^{s_1 t} - e^{s_2 t}) \quad \text{Ecuación 20}$$

(Hayt, Kemmerly, & Durbin, 2012)

Circuito receptor del audífono

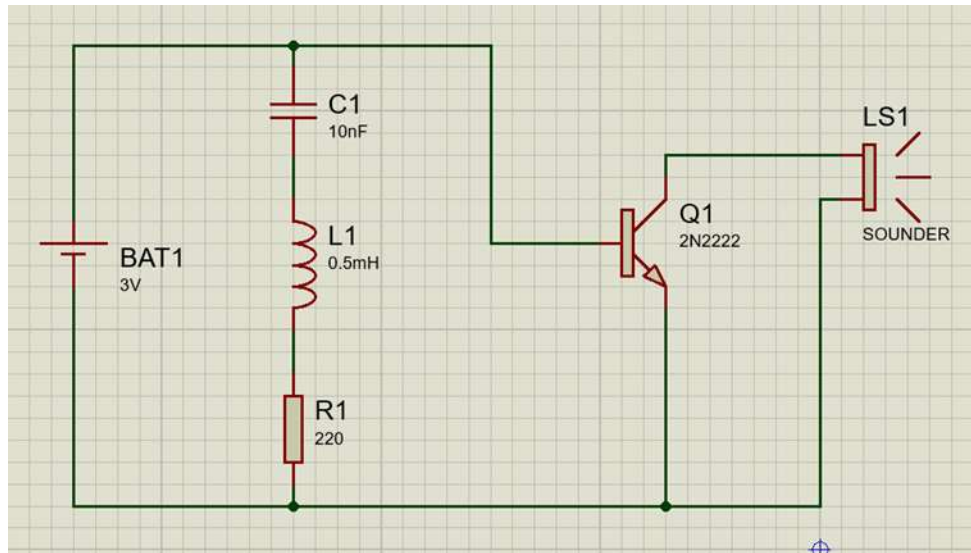


Figura 9. Circuito Receptor Audífono. Fuente Propia

Las características del transistor 2N2222 de tipo NPN son: $\beta = 100$ y $V_{BE} = 0.7$. Para determinar la resistencia de base R_B es necesario conocer la impedancia del circuito RLC que se refleja en la base del transistor, para la frecuencia de resonancia ω_0 , para $R = 220\Omega$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{10\text{nF} * 0.5\text{mH}}} = 141421 \text{ Hz} \quad \text{Ecuación 21}$$

Entonces X_L y X_C son:

$$X_L = \omega_0 * L = 70.71\Omega, \text{ y } X_C = \frac{1}{\omega_0 * C} = 707.1\Omega \quad \text{Ecuación 22}$$

La X total será:

$$X_{total} = |X_C - X_L| = 636.4\Omega \quad \text{Ecuación 23}$$

La impedancia total es:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_{total}^2} = 673.35\Omega = R_B \quad \text{Ecuación 24}$$

(Bernardoni, 2013)

Teniendo el valor de R_B se calcula I_c :

$$I_c = 100 * \frac{3V - 0.7V}{673.35\Omega} = 0.34A = I_e \quad \text{Ecuación 25}$$

Ahora se calcula el valor de la corriente de base I_B :

$$I_B = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.34A}{100} = 3.4mA \quad \text{Ecuación 26}$$

(Boylestad & Nashelsky, 2003)

Desarrollo del firmware

Diseño del filtro pasabanda

Generalmente el rango de voz humana va de 100Hz a 4 KHz. De esta manera, se genera un filtro digital pasabanda. En primer lugar, se seleccionan las frecuencias para diseñar el filtro digital las cuales son: $f_{stop1} = 80Hz$, $f_{pass1} = 100Hz$, $f_{pass2} = 4KHz$ y $f_{stop2} = 4020Hz$.

El rizado en la banda de paso en dB y el rizado en la banda de supresión en dB son: $R_p = 1dB$ y $R_s = 1dB$. Por otra parte, se calcula la frecuencia de Nyquist que es mayor a dos veces la frecuencia máxima de la señal de entrada: $f_N > 2 * f_{m\acute{a}x}$ como $f_N > 2 * 4KHz = 8KHz$, se selecciona 9 KHz como frecuencia de muestreo. El filtro se diseña en simulink de Matlab mediante la herramienta de diseo de filtros digitales. (Ver figura 10).

Posteriormente utilizando el lenguaje ensamblador mediante, el programa Mgdplus Mgdstar para microcontroladores NXD como se muestra en la Figura 11, se implementa el filtro digital en hardware. De esta manera, la se\u00f1al entra por A4 y sale por A5 en el microcontrolador, donde existe una programaci\u00f3n de un filtro pasabanda. Se selecciona este tipo de filtro debido a que, permite amplificar unas frecuencias m\u00e1s que otras y eliminar ruidos que aparecen junto a una se\u00f1al.

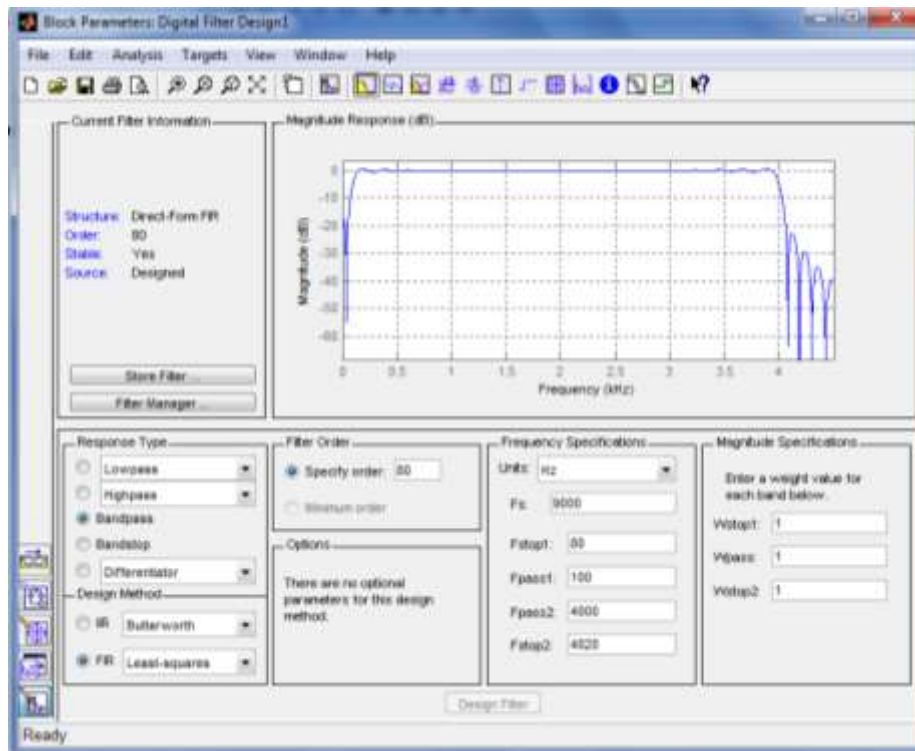


Figura 10. Dise\u00f1o del filtro pasabanda. Fuente: Propia

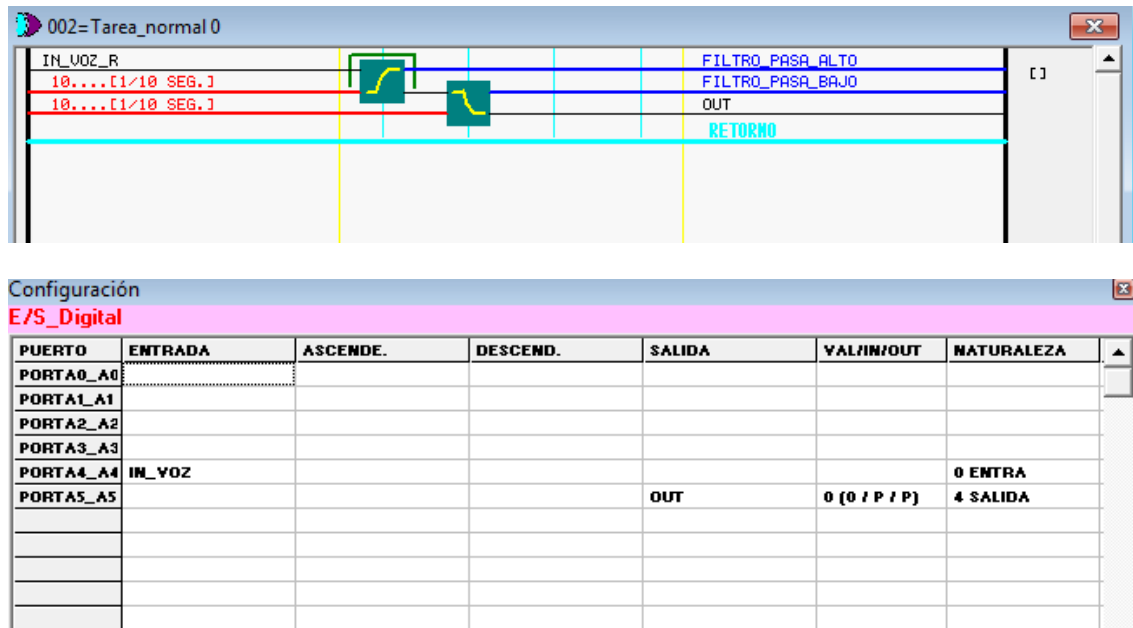


Figura 11. Implementación del filtro digital. Fuente: Propia

Diagrama de flujo del código en assembler

En el diagrama de flujo de la Figura 12 se observa que el código en assembler del microcontrolador es usado para el procesamiento y amplificación de la señal. Debido a que se utiliza el microcontrolador para realizar el filtro pasa banda e ingresa la señal de radio por un pin analógico se utiliza el ADC interno del microcontrolador, para realizar la conversión de la señal analógica a digital.

Las características del conversor ADC son: 4 canales, 10 bits de convertidor analógico a digital, con función de comparación automática y fuente de reloj asincrónica (Freescale, 2020). Cuando la señal filtrada y amplificada sale del microcontrolador por el pin A5, pasa a una bobina transmisora que se une a tierra, y emite una señal. En la cavidad auditiva hay otra bobina con un

receptor, que lleva la señal hacia un pequeño parlante que proporciona una señal auditiva entendible.

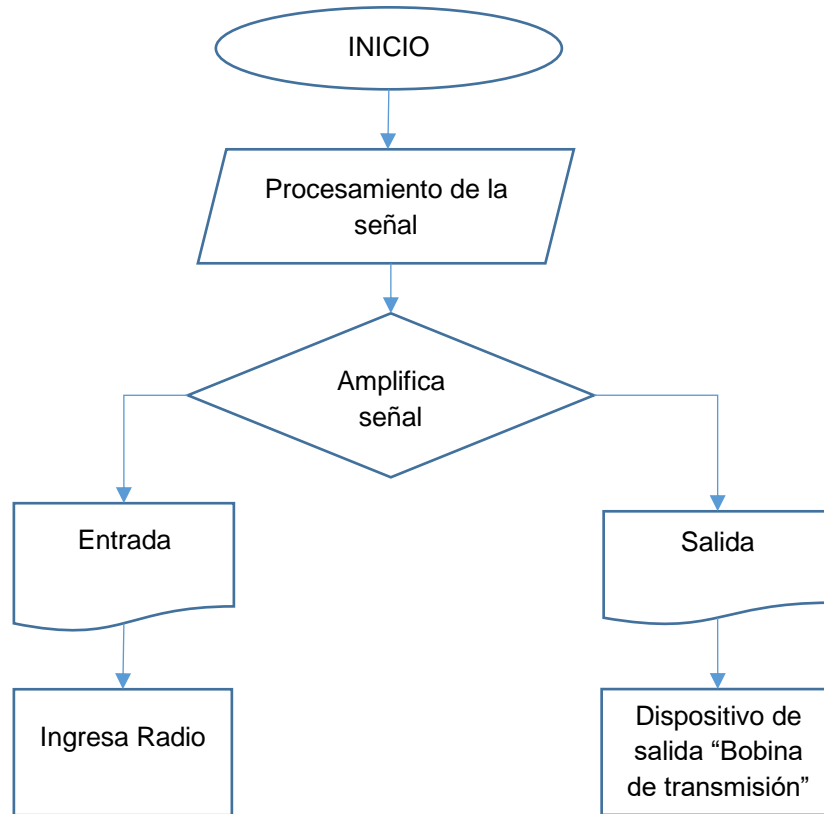


Figura 12. Diagrama de Flujo del código en assembler. Fuente propia

Integración del prototipo

En el chasis del prototipo, se aloja un acople lateral para los radios de tipo XTS2250 unido al circuito de transmisión como se observa en la Figura 13 (donde se encuentra el microcontrolador con el firmware), la bobina transmisora inalámbrica (unida al micrófono) y el PTT (Ver Figura 14). De esta manera, se cumple la función de transmisión inalámbrica.

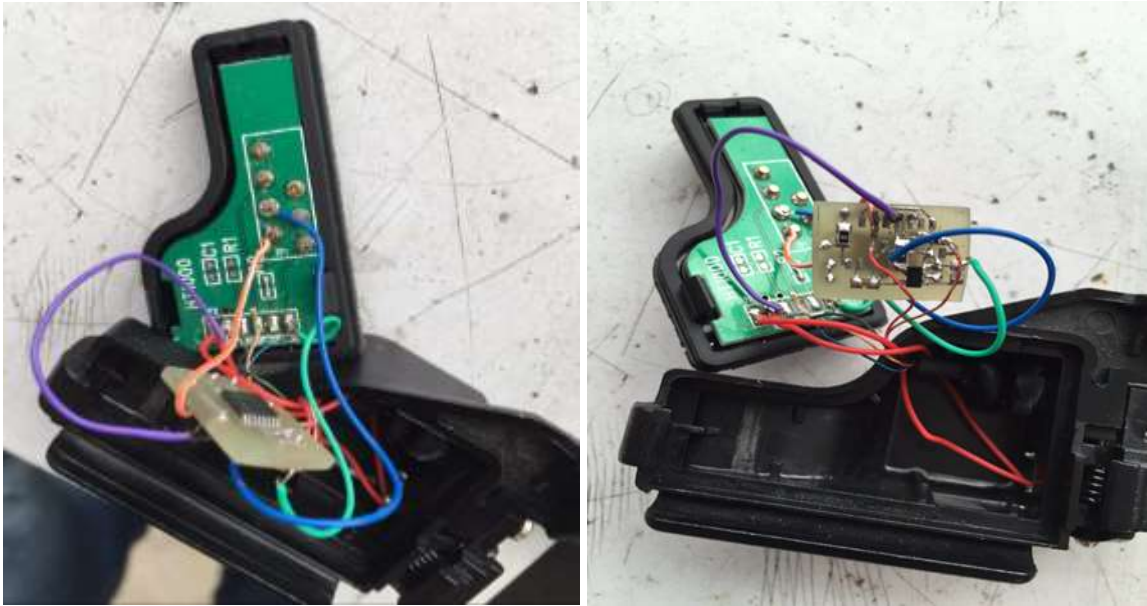


Figura 13. Acople lateral y circuito de transmisión. Fuente: Propia

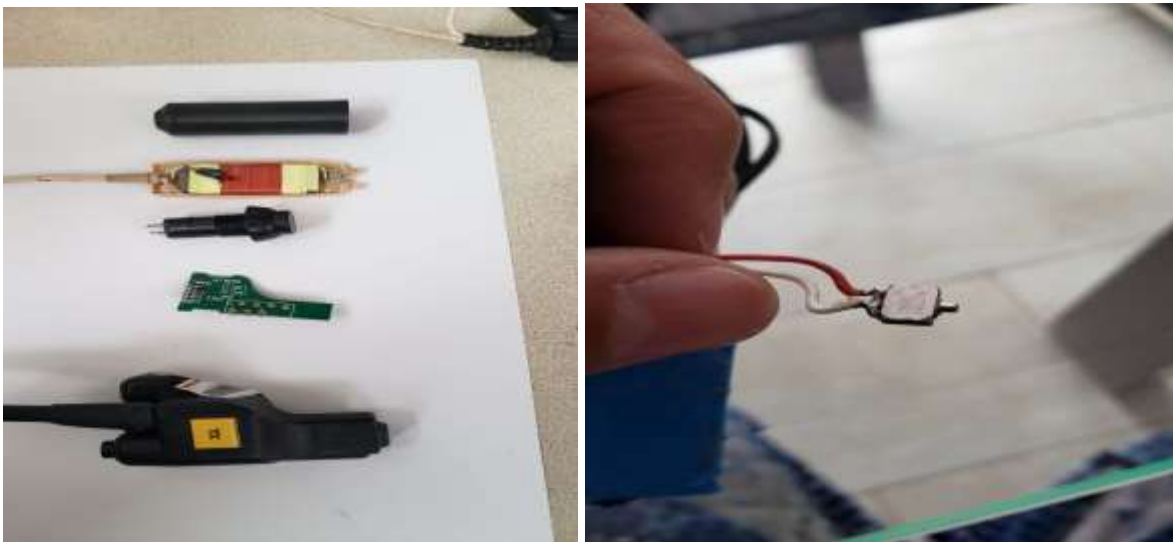


Figura 14. Bobina transmisora inalámbrica, PTT y nano micrófono 23024CX. Fuente: Propia

Las características del micrófono que es habilitado por el PTT se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. Características del micrófono

Impedancia:	4.4 kOhms
Régimen de corriente:	50 uA
Sensibilidad:	- 53 dBA
Voltaje de alimentación operativo:	1.3 V
Dimensiones:	5.56 mm x 3.98 mm x 2.21 mm
Frecuencia:	5.5 kHz

Fuente: (Mouser Electronics, Inc., 2020)

La respuesta en frecuencia del micrófono se observa en la Figura 15:

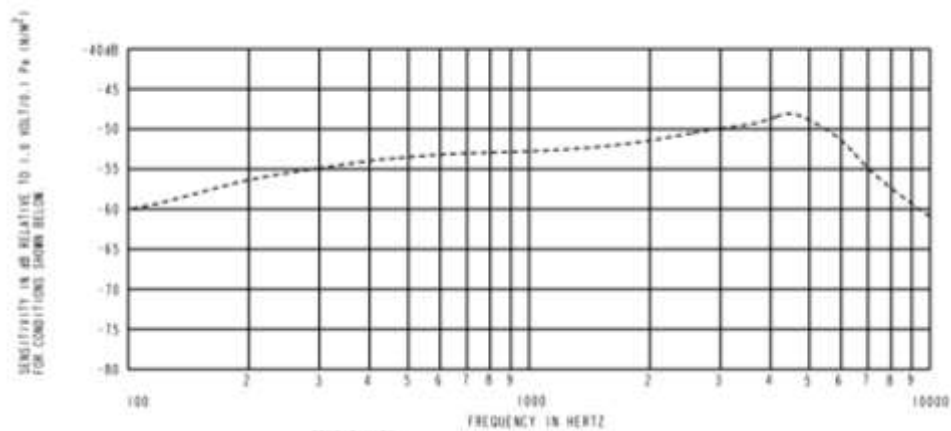


Figura 15. Respuesta en frecuencia del nano micrófono 23024CX. Fuente: (Knowles Electronics, 2005)

El módulo transmisor por radiofrecuencia se encarga de enviar la información a un módulo receptor ubicado en el canal auditivo externo del oído (pinganillo) que se observa en la Figura 16.



Figura 16. Pinganillo. Fuente: (COELMA, 2020)

El pinganillo posee las siguientes características:

Tabla 3. Características pinganillo

Pinganillo PLUS		Características			Unidades
		Min	Typ	Max	
Sensitividad	200Hz	98.5	101.5	104.5	dB
	500Hz	99	102	105	dB
	1000Hz	101	104	107	dB
Pico de salida frecuencia		110	115	119	dB
Impedancia 1000Hz		246	330	369	Ω
Impedancia corriente directa		137	161	185	Ω
Dimensiones		5*10*14			Mm

Sistema de Transmisión Discreta por RF

Duración batería en trabajo	80	H
Peso incluida batería	1.3	Gr
Tipo de batería	Zinc-air battery	

Fuente: (COELMA, 2020)

La idea del sistema inalámbrico RF, es tener un módulo transmisor donde el usuario tenga acceso al PTT o pulsador para hacer la apertura del micrófono. También posee un firmware para filtrado de la señal, que va del radio al oyente y la transmite a través de la bobina hacia al auricular. Asimismo, el módulo receptor es un pinganillo alimentado con una pila número 10 de 3V, que posee una bobina receptora y permite amplificar la señal ya que a la salida tiene un parlante. Por último, el sistema inalámbrico incorpora el radio XTS2250 para verificar el funcionamiento total del sistema (Ver Figura 17).

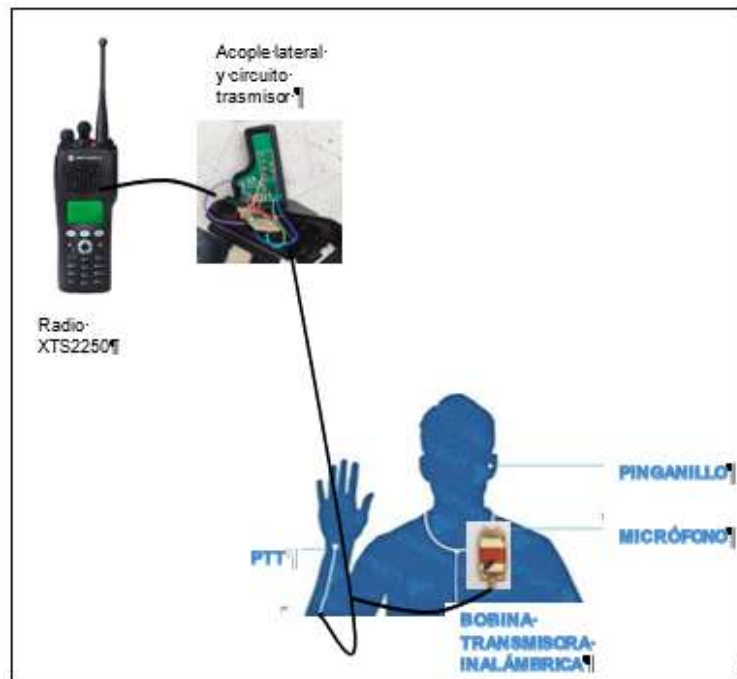


Figura 17. Diagrama del sistema inalámbrico RF. Fuente: Propia

Pruebas y análisis de resultados

Pruebas de medición de la bobina

Al realizar la medición de la bobina (Ver Figura 18) usando el osciloscopio se observa, que los valores son muy similares a los obtenidos en los cálculos matemáticos donde se obtuvo que la bobina tendría una inductancia $L=1.69\text{mH}$ y el factor de calidad sería $Q=3.5$. Al realizar las mediciones usando el osciloscopio se obtiene una inductancia $L=1.73\text{mH}$, $Q=3.6$ y una resistencia $R=6.06\ \Omega$.

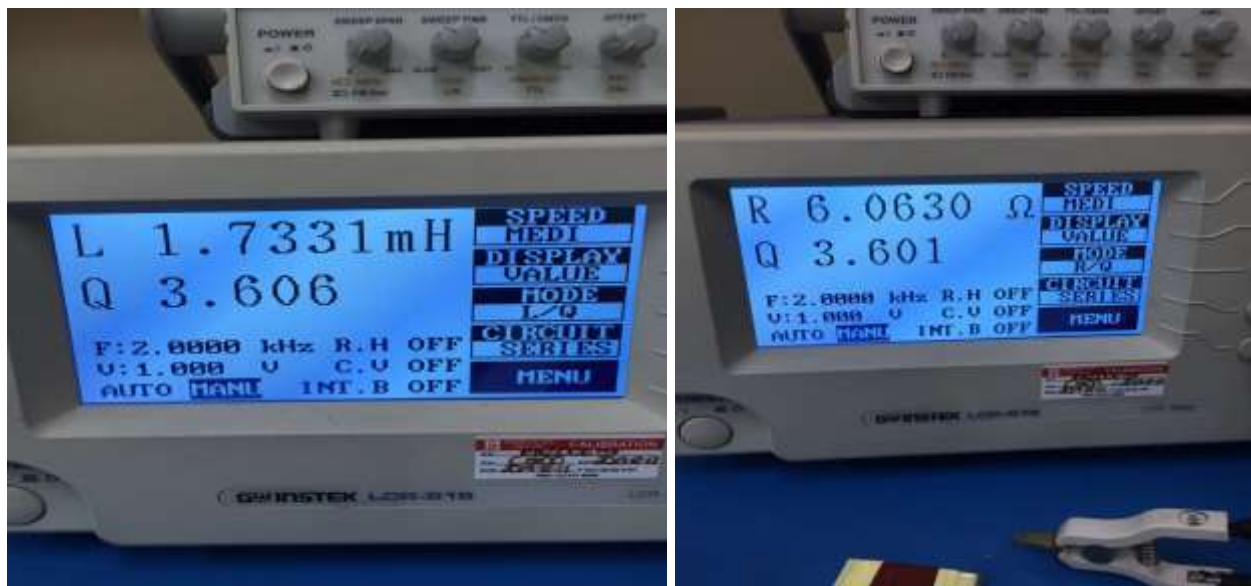


Figura 18. Medición de la bobina. Fuente: Propia

Pruebas de comunicación

- ✓ **Primer paso:** El conector que se vincula al radio, funciona como jumper y cancela el uso del altoparlante del radio y el micrófono.
- ✓ **Segundo paso:** Revisar que el sistema funcione correctamente, el micrófono y la bobina.
- ✓ **Tercer paso:** Al presionar el PTT el sistema hace efectiva la apertura del micrófono del sistema y el radio puede transmitir una señal radial.

- ✓ **Cuarto paso:** El sistema recibe la señal y la transmite a través de la bobina al auricular del oído.



Figura 19. Pruebas de comunicación. Fuente Propia

Pruebas de cobertura

Estas pruebas se realizan para determinar hasta que distancia funciona el transmisor alejado del receptor. Se determina que la distancia mayor de separación es de 70 cm como se observa en la Figura 20.

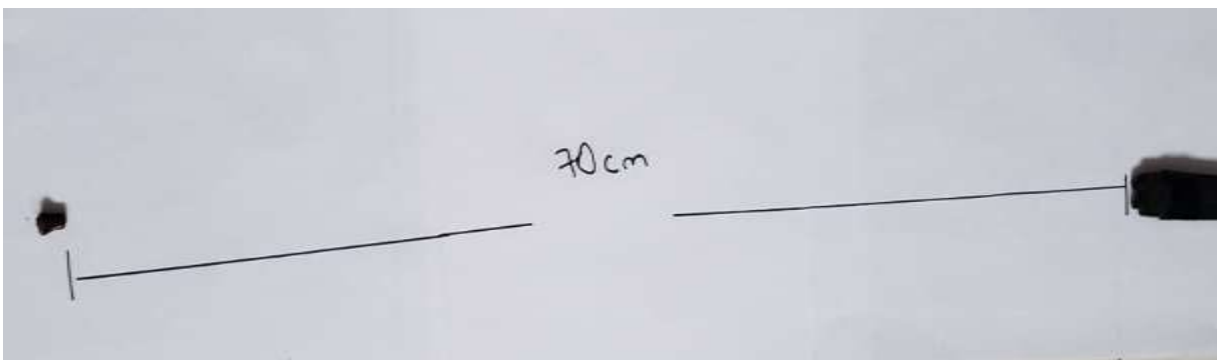


Figura 20. Pruebas de cobertura. Fuente: Propia

Pruebas de operatividad del filtro

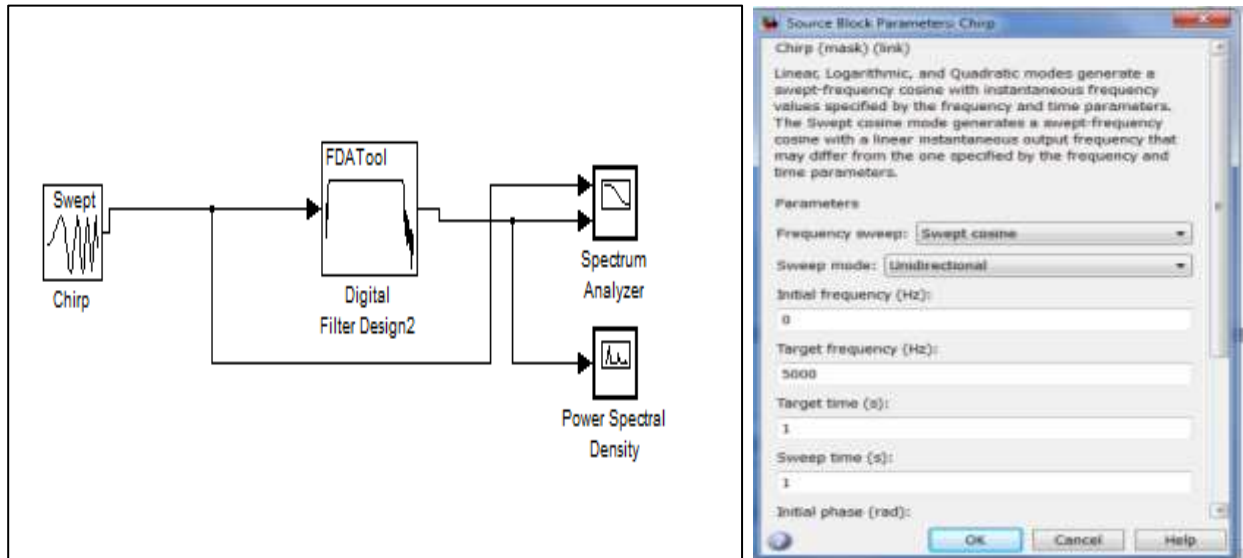


Figura 21. Simulación y parámetros de barrido. Fuente: Propia

Se utiliza Simulink de Matlab para realizar un barrido de frecuencia (Ver Figura 21), con el fin de evaluar el comportamiento del filtro pasabanda digital. Para esto, se utiliza el bloque Chirp que permite generar un barrido de frecuencia, desde 0 Hz a 5000Hz. Posteriormente, se agrega un analizador de espectro y un bloque de densidad espectral de potencia que se unen a la salida del filtro digital.

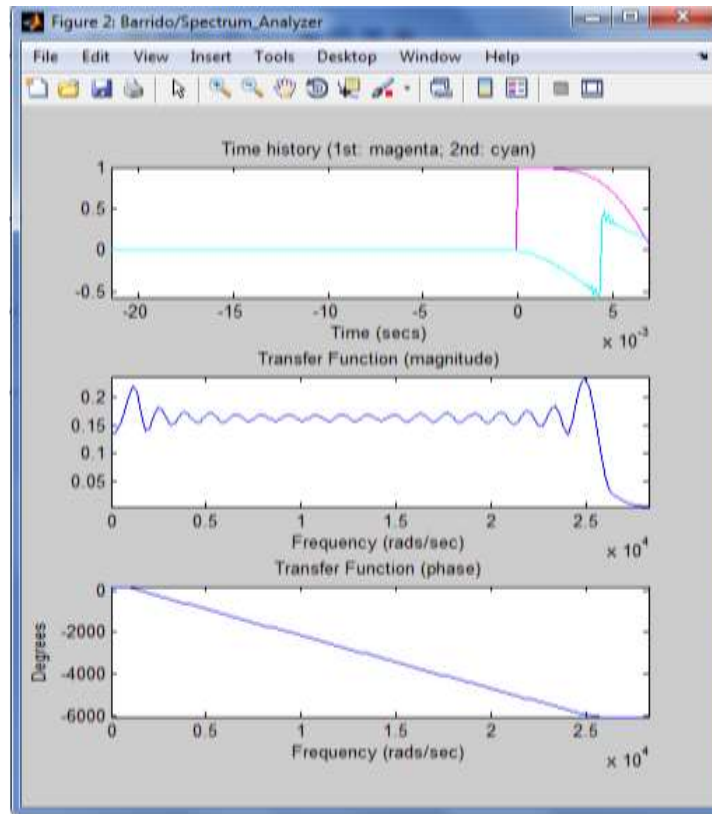


Figura 22. Análisis espectral del filtro. Fuente: Propia

Es así como, se obtiene la gráfica de la Figura 22 donde se observa la respuesta en frecuencia de la función de transferencia del filtro tanto en magnitud como en fase, ante una entrada coseno con barrido en frecuencia entre 0 y 5000 Hz. Se observa que la magnitud toma la forma del filtro pasabanda y sus valores más altos comprenden el rango entre 100Hz y 4KHz.

Asimismo, se realiza la medición de la densidad espectral de potencia vs la frecuencia, tanto en magnitud en fase como se observa en la Figura 23. La potencia corresponde a la magnitud de la transformada de Fourier al cuadrado de la señal y representa como está distribuida la potencia o la energía en las distintas frecuencias (para este caso se encuentra distribuida entre 0 y 800 Hz aproximadamente según la gráfica de magnitud).

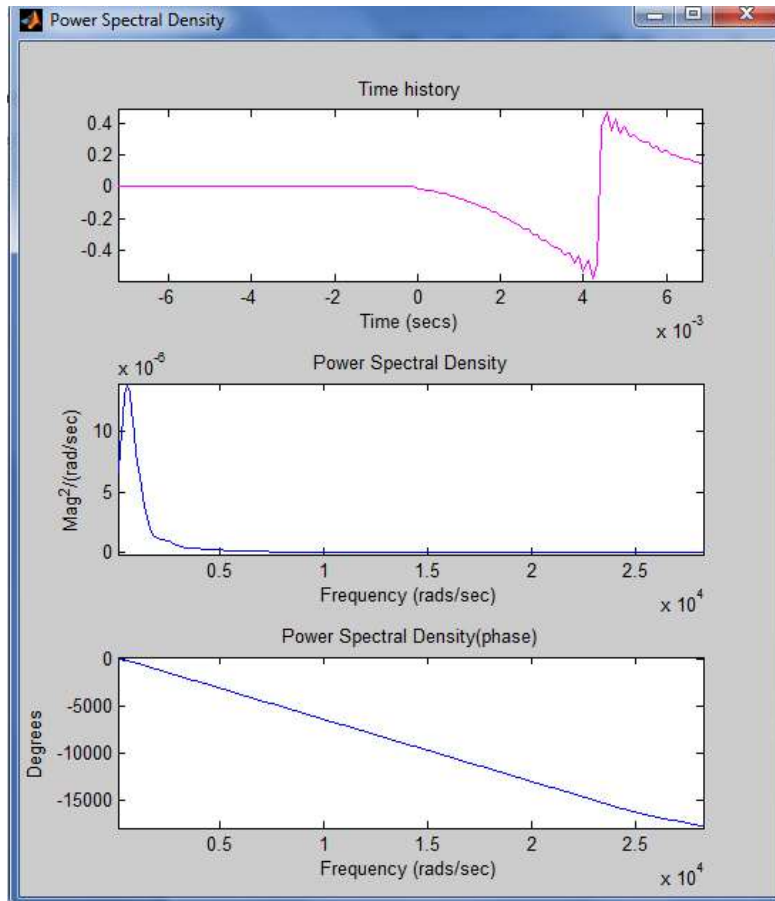


Figura 23. Gráfica de frecuencia vs densidad espectral de potencia del filtro. Fuente: Propia

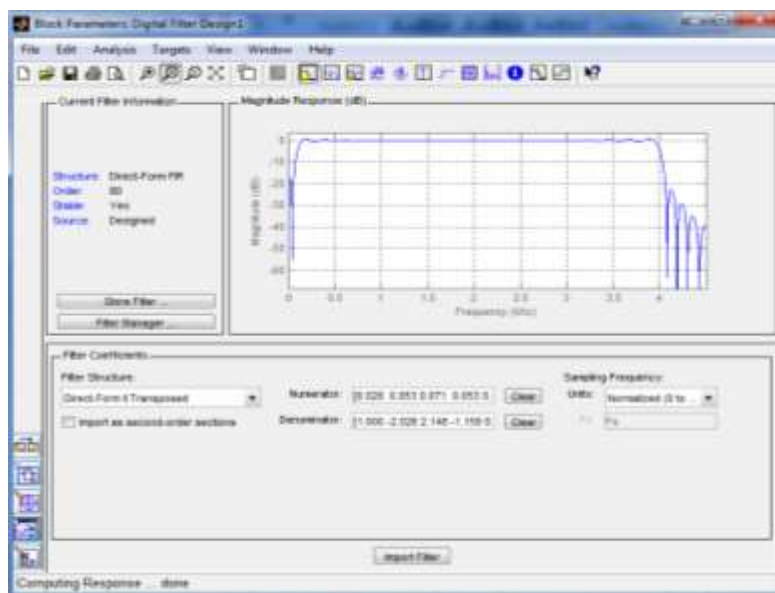


Figura 24. Coeficientes del filtro. Fuente: Propia

La Figura 26 representa el diagrama de bode del filtro tanto en magnitud, esta gráfica representa la respuesta en frecuencia del sistema, se puede observar que en la frecuencia 10^2 es decir 100 Hz dejar pasar la señal de entrada y también deja pasar la frecuencia de 4 KHz. Este diagrama permite mostrar la función de transferencia (Ganancia) en dB en función de la frecuencia en escala logarítmica.

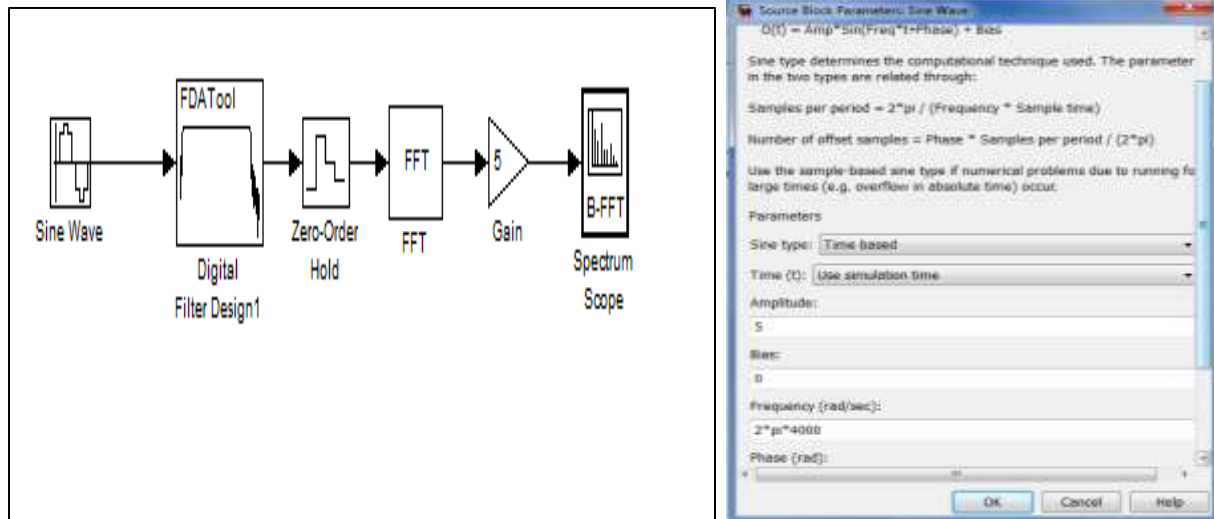


Figura 27. Simulación de espectro en frecuencia y configuración de parámetros. Fuente: Propia

Por último, se realiza la simulación del espectro en frecuencia (Ver Figura 27) utilizando como entrada una señal senoidal y cambiando la frecuencia en cuatro valores 100 Hz, 1000Hz, 2000 Hz y 4000 Hz. Para observar, la señal de salida se utiliza un retenedor de orden cero con tiempo de muestro de 1/9000, un módulo de transformada de Fourier FFT, una ganancia de 5, y un osciloscopio de espectro.

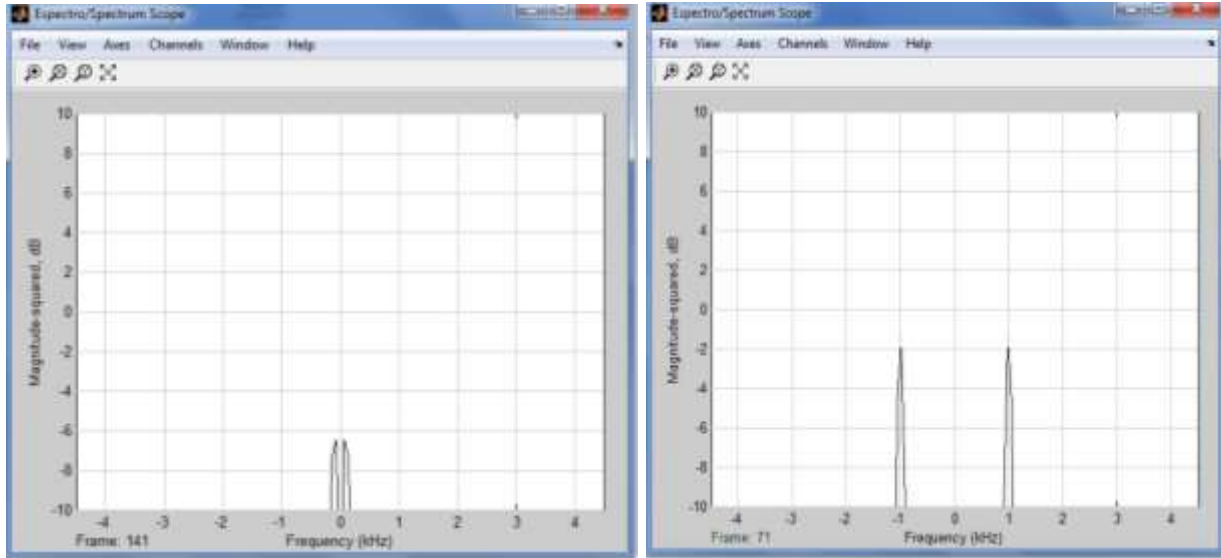


Figura 28. Espectro en frecuencia del filtro para $f=100$ Hz y $f=1000$ Hz. Fuente: Propia

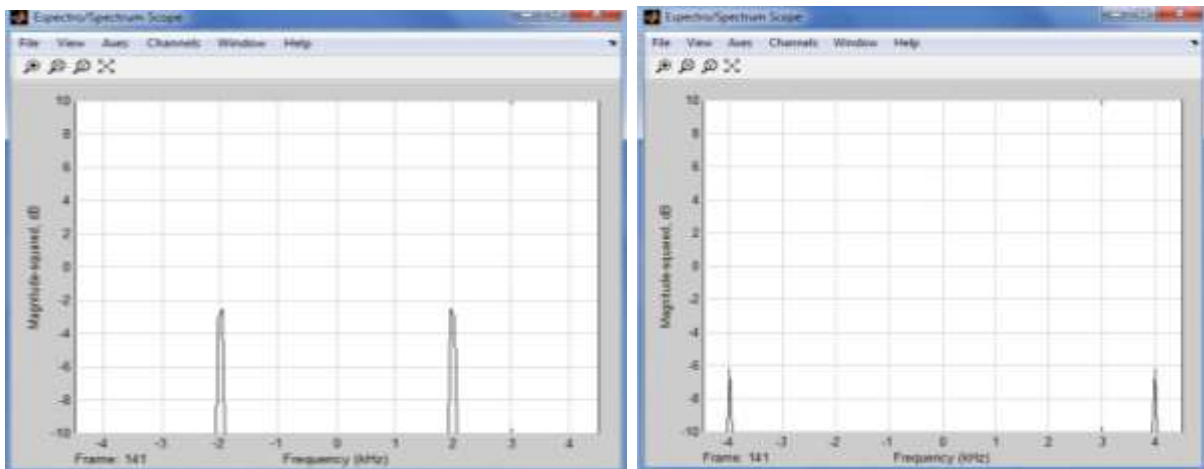


Figura 29. Espectro en frecuencia del filtro para $f=2000$ Hz y $f=4000$ Hz. Fuente: Propia

Se observa en la Figura 28 que el espectro de 100 Hz tiene menor magnitud que el espectro de 1 KHz, debido a que la frecuencia de 100 Hz se encuentra en un extremo del filtro, por lo tanto tiene menor magnitud en dB. Asimismo, sucede con las frecuencias de 2KHz y 4KHz, donde la frecuencia de 2KHz tiene mayor ganancia en dB. Esto representa ventajas, ya que la frecuencia de 2 KHz es la seleccionada para el funcionamiento de la bobina, debido a que

las pruebas realizadas con diversas bobinas mostraron que esta frecuencia era adecuada para el sistema.

Pruebas de simulación de los circuitos con diferentes frecuencias

Inicialmente, se realiza la simulación del circuito amplificador del micrófono en Proteus (Ver figura 30), para observar el comportamiento de las señales de la entrada (color amarillo) y la salida del circuito (color azul) a través del osciloscopio. Para esto se utilizan una entrada senoidal con 0.5 V de amplitud y una frecuencia que va de 100 Hz a 4KHz. De esta manera, se observa que la señal de entrada (color amarillo) y una señal de salida (color azul).

Posteriormente, se realiza la simulación del circuito receptor del audífono con una señal senoidal que tiene una amplitud de 4 V y cuya frecuencia varía entre 100 Hz y 4KHz (Ver Figura 31), de esta manera se observa la señal de entrada (color amarillo) y la señal de salida (color azul)

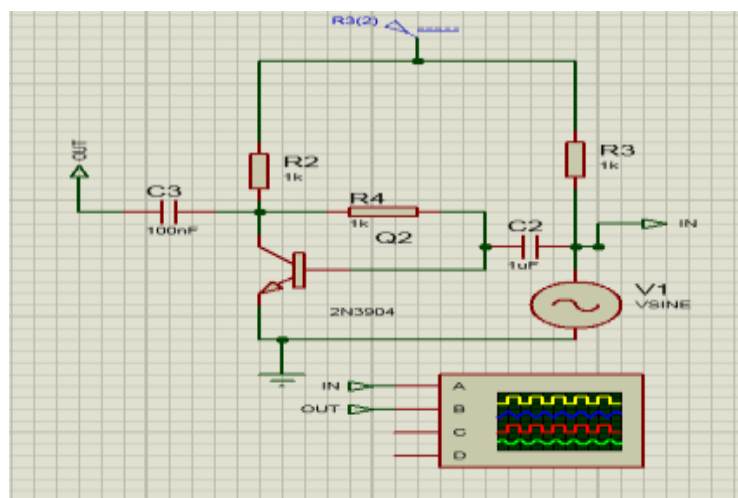


Figura 30. Circuito amplificador del micrófono. Fuente propia

Sistema de Transmisión Discreta por RF

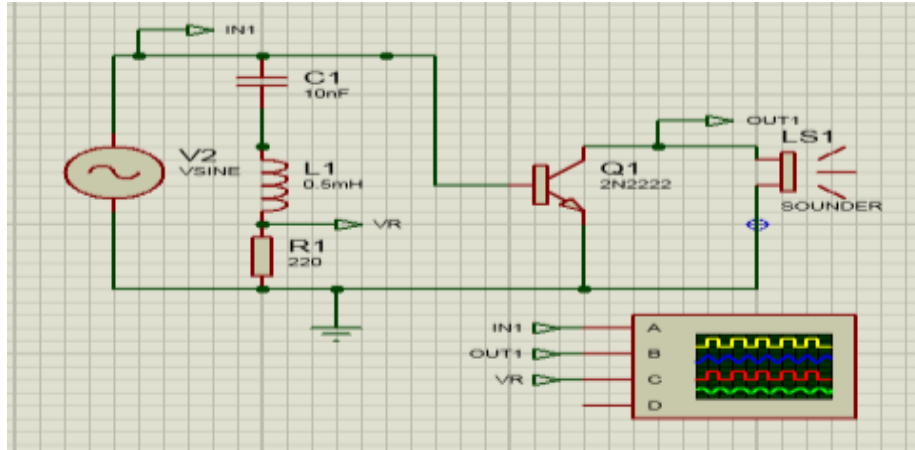


Figura 31. Circuito receptor del audífono. Fuente propia



Figura 32. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=100\text{Hz}$. Fuente propia



Figura 33. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=200\text{Hz}$. Fuente propia

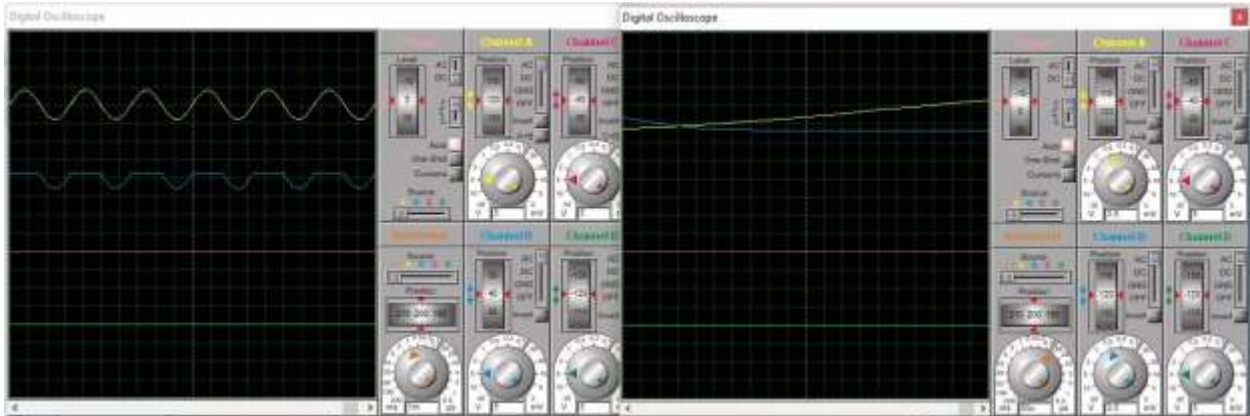


Figura 34. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=300\text{Hz}$. Fuente propia

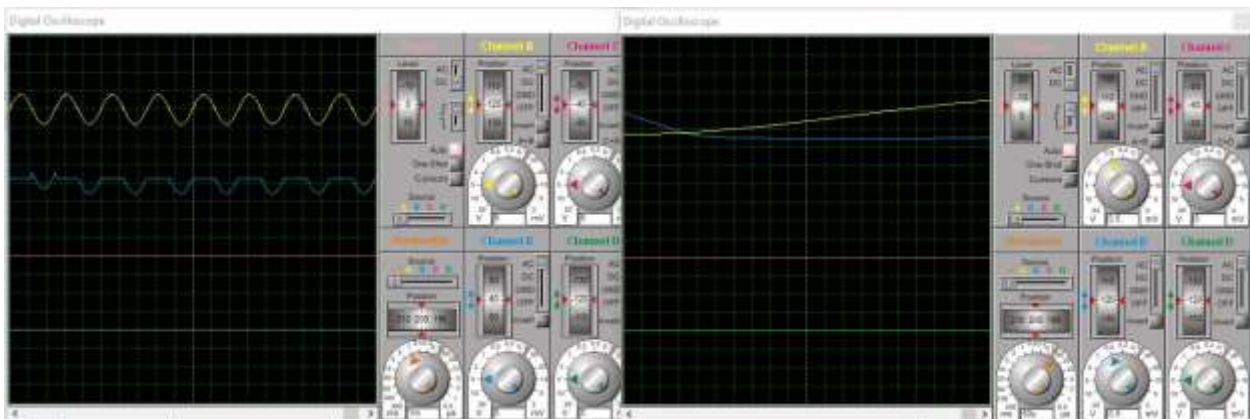


Figura 35. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=400\text{Hz}$. Fuente propia

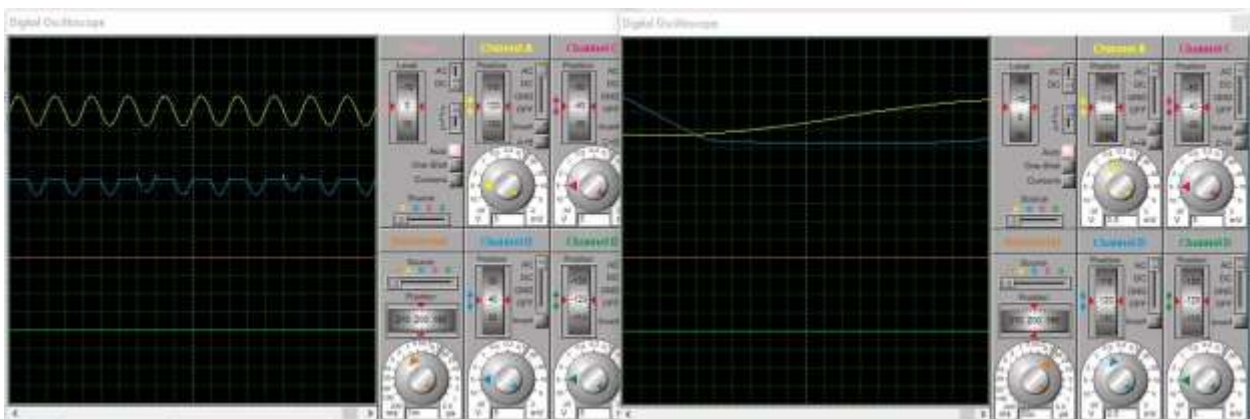


Figura 36. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=500\text{Hz}$. Fuente propia

Sistema de Transmisión Discreta por RF

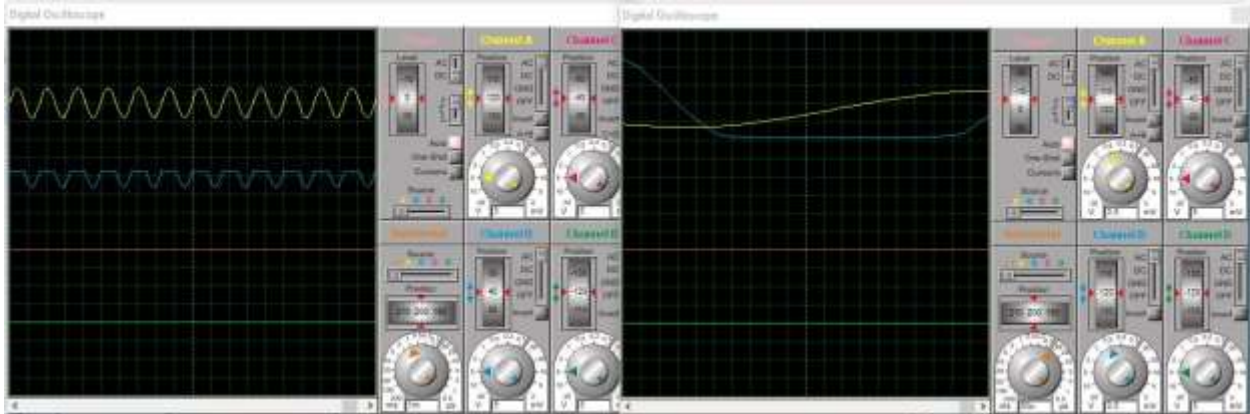


Figura 37. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=600\text{Hz}$. Fuente propia

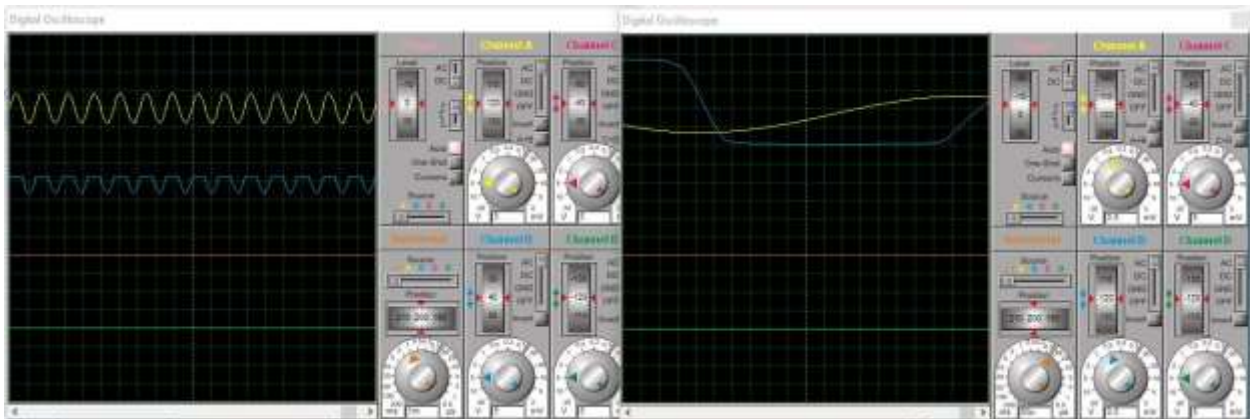


Figura 38. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=700\text{Hz}$. Fuente propia

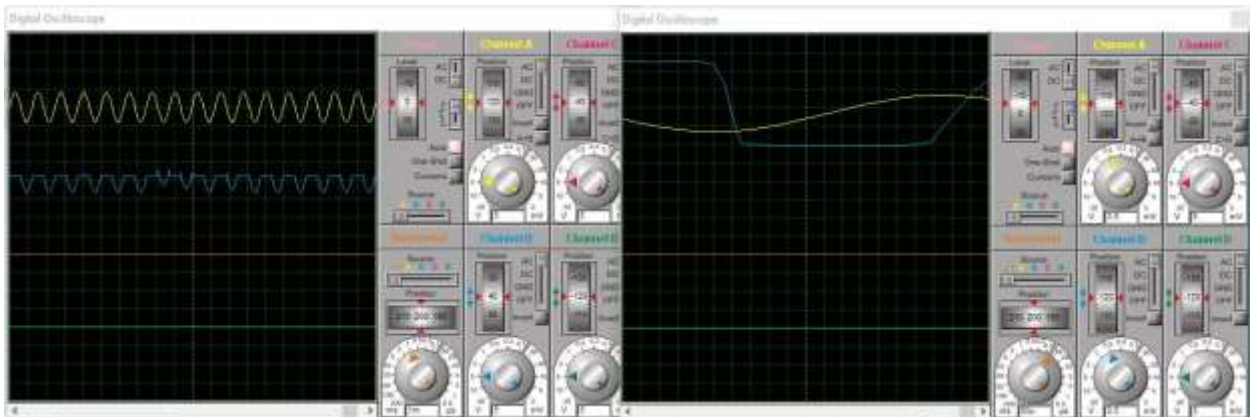


Figura 39. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=800\text{Hz}$. Fuente propia

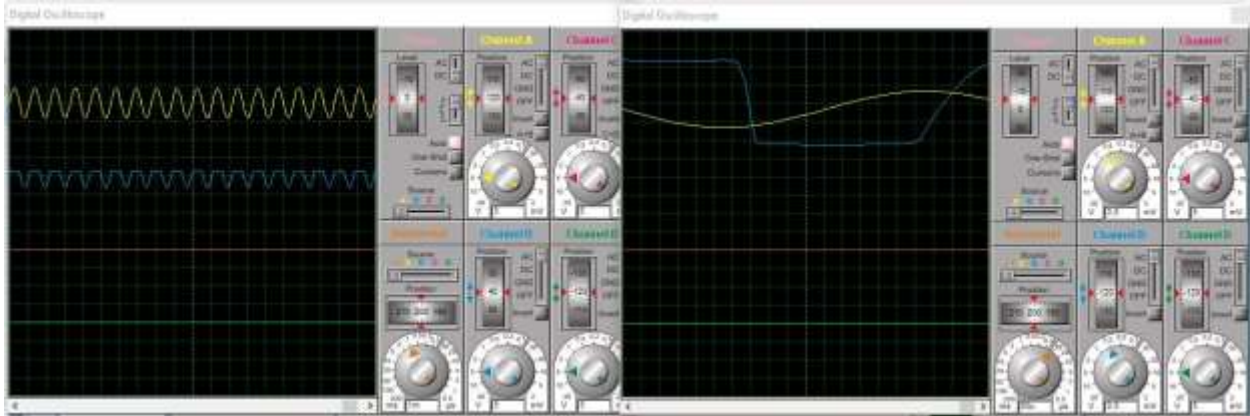


Figura 40. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=900\text{Hz}$. Fuente propia

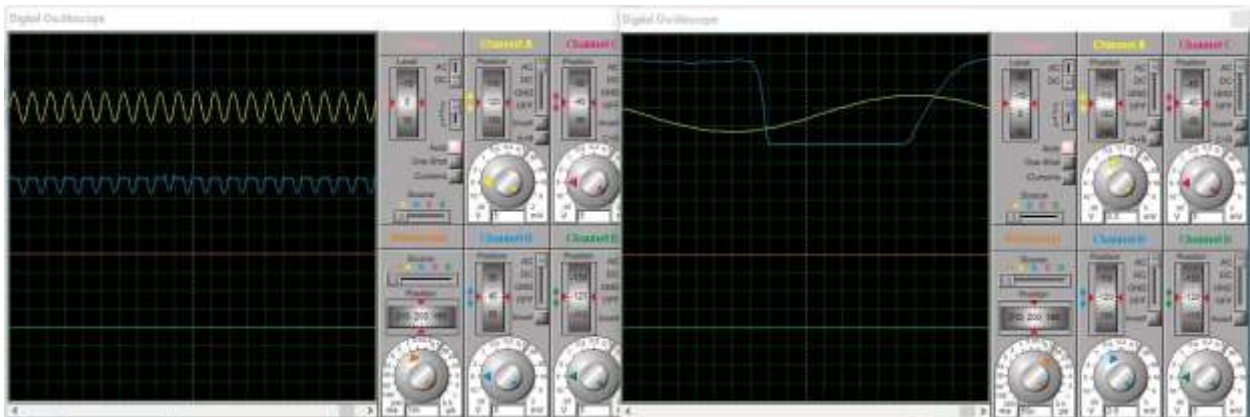


Figura 41. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1000\text{Hz}$. Fuente propia

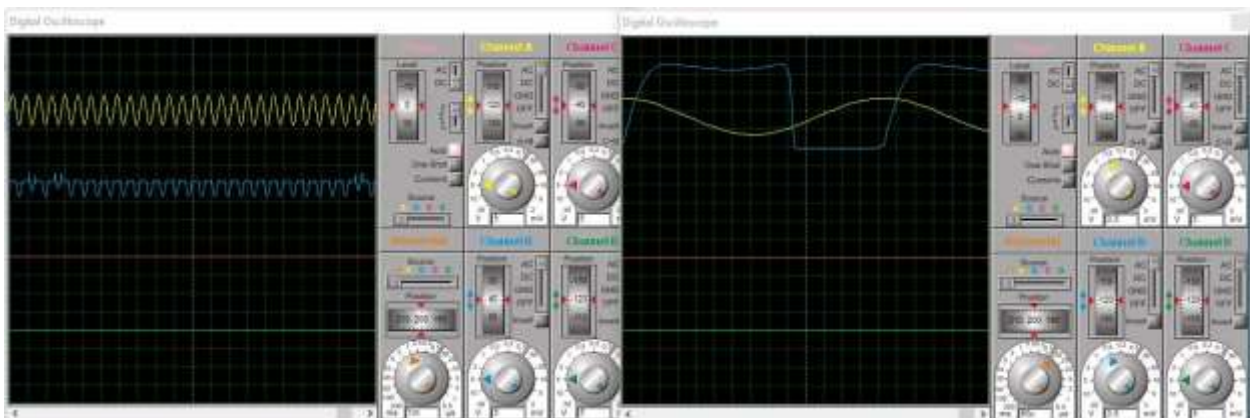


Figura 42. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1200\text{Hz}$. Fuente propia

Sistema de Transmisión Discreta por RF

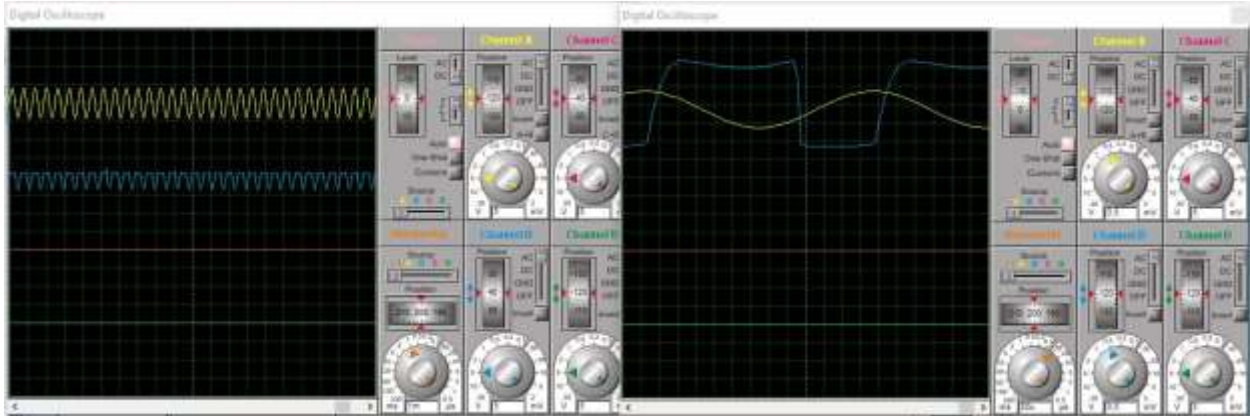


Figura 43. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1400\text{Hz}$. Fuente propia

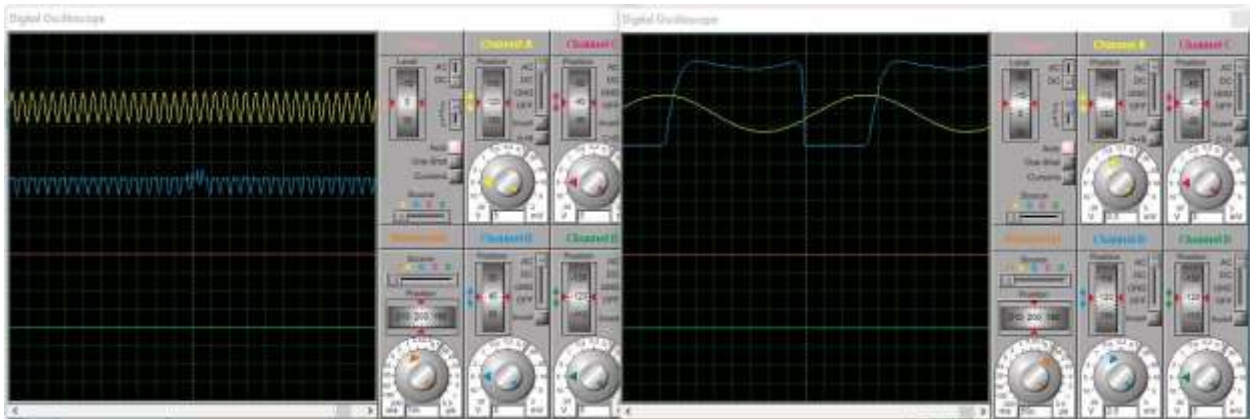


Figura 44. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1600\text{Hz}$. Fuente propia

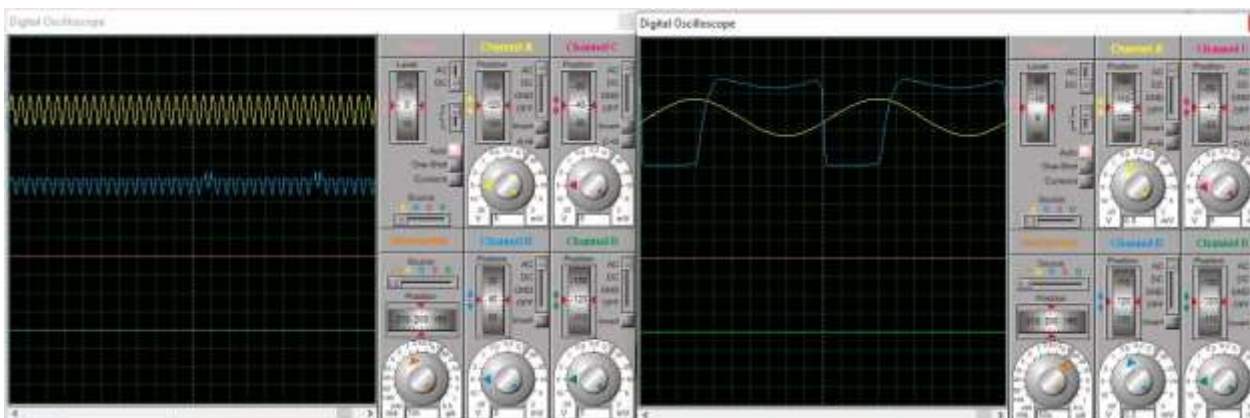


Figura 45. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=1800\text{Hz}$. Fuente propia

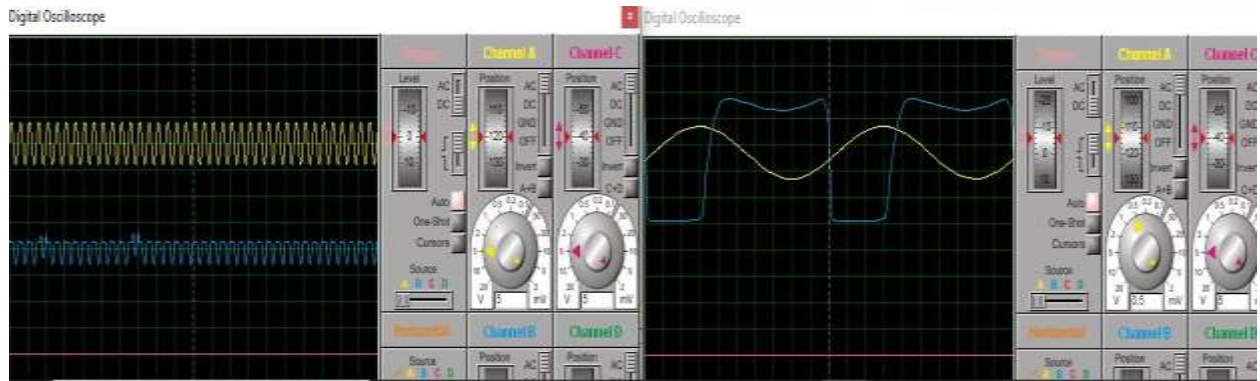


Figura 46. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2000\text{Hz}$. Fuente propia

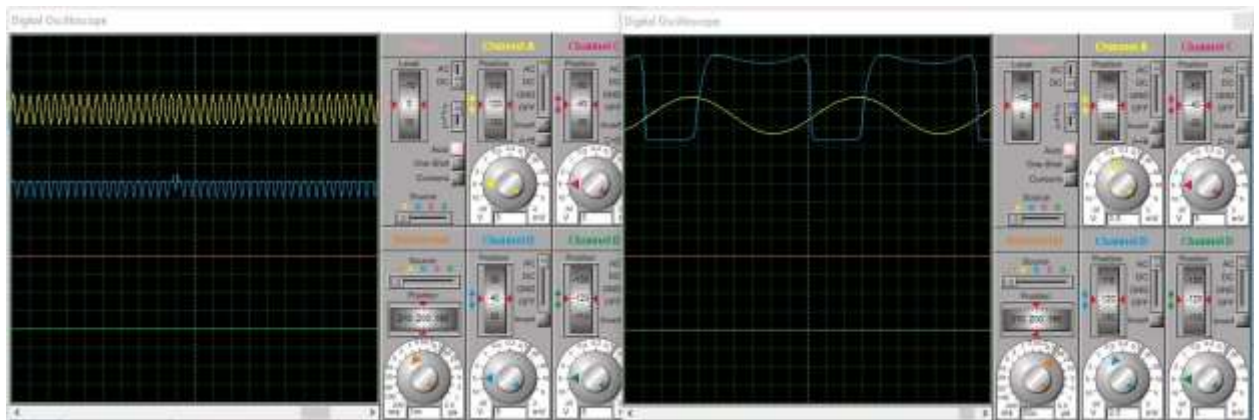


Figura 47. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2200\text{Hz}$. Fuente propia

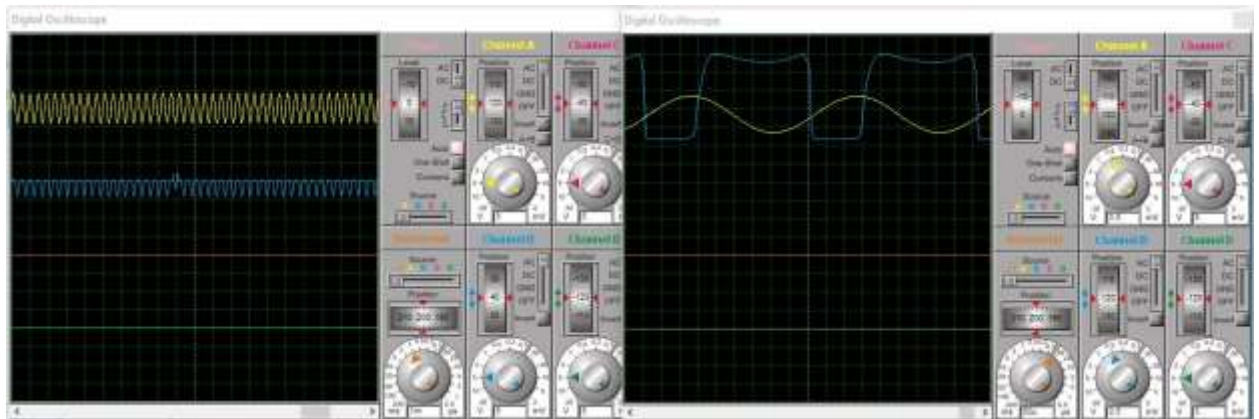


Figura 48. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2400\text{Hz}$. Fuente propia

Sistema de Transmisión Discreta por RF

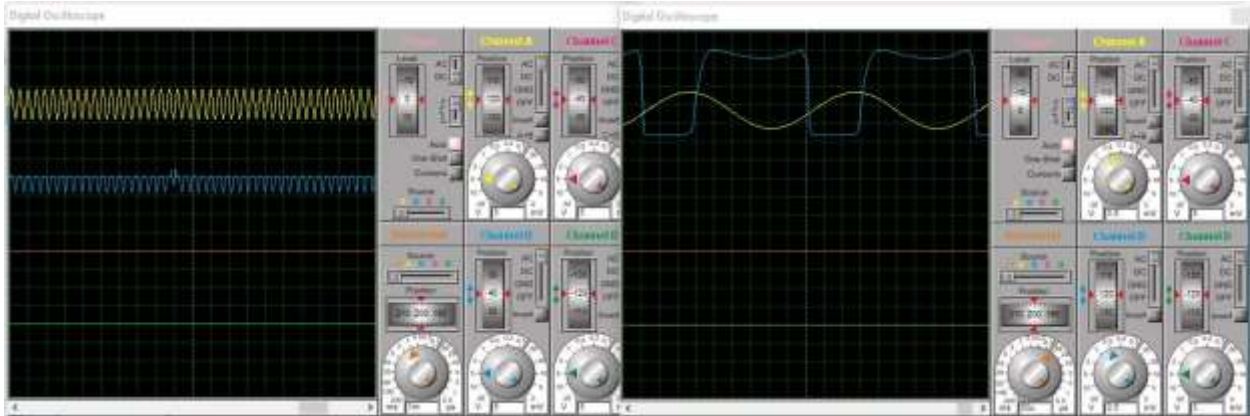


Figura 49. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2600\text{Hz}$. Fuente propia

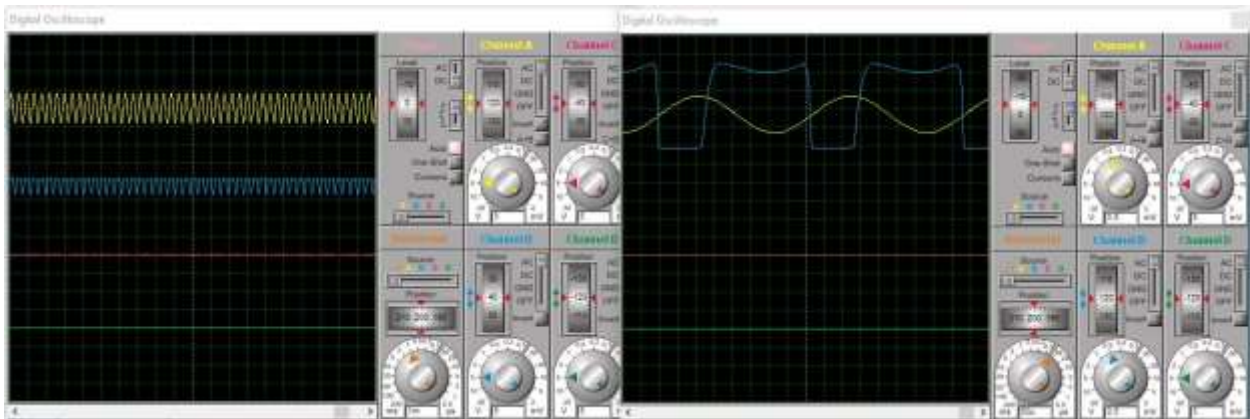


Figura 50. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=2800\text{Hz}$. Fuente propia

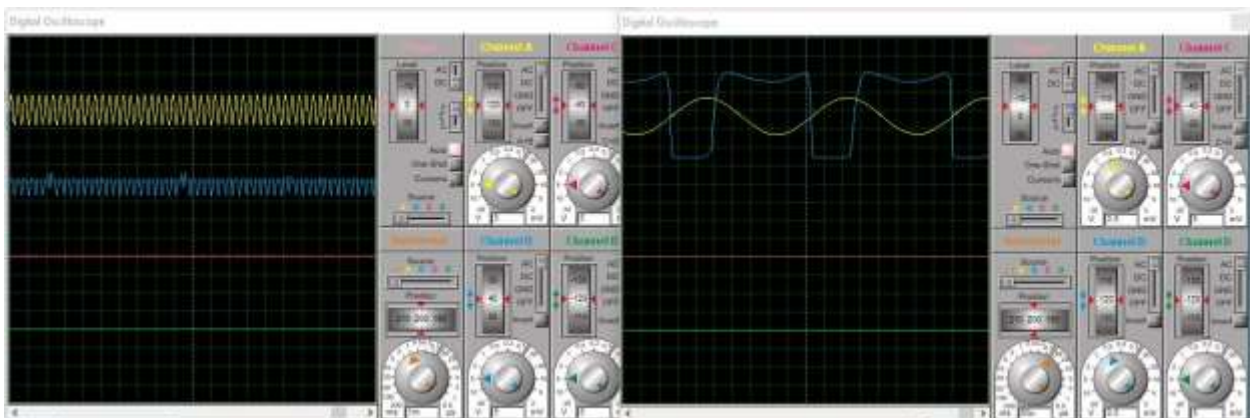


Figura 51. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3000\text{Hz}$. Fuente propia

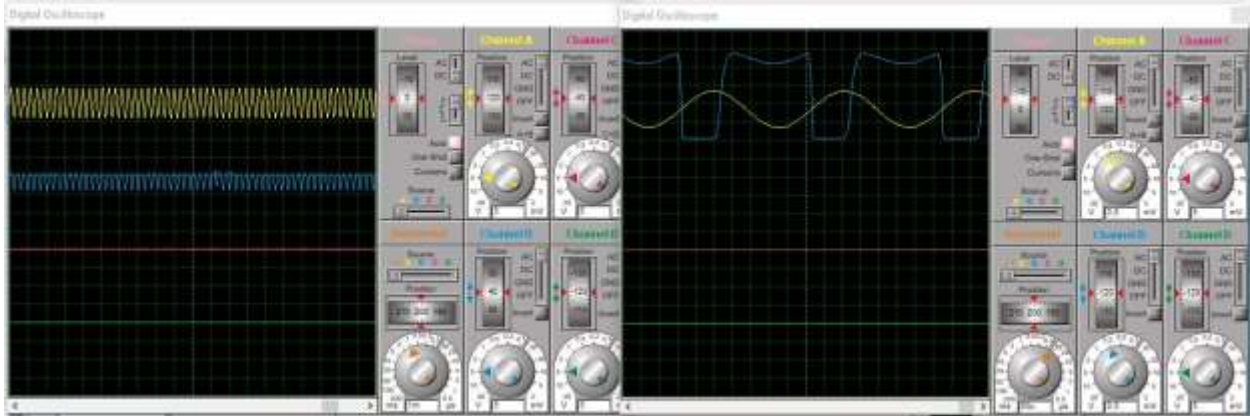


Figura 52. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3200\text{Hz}$. Fuente propia

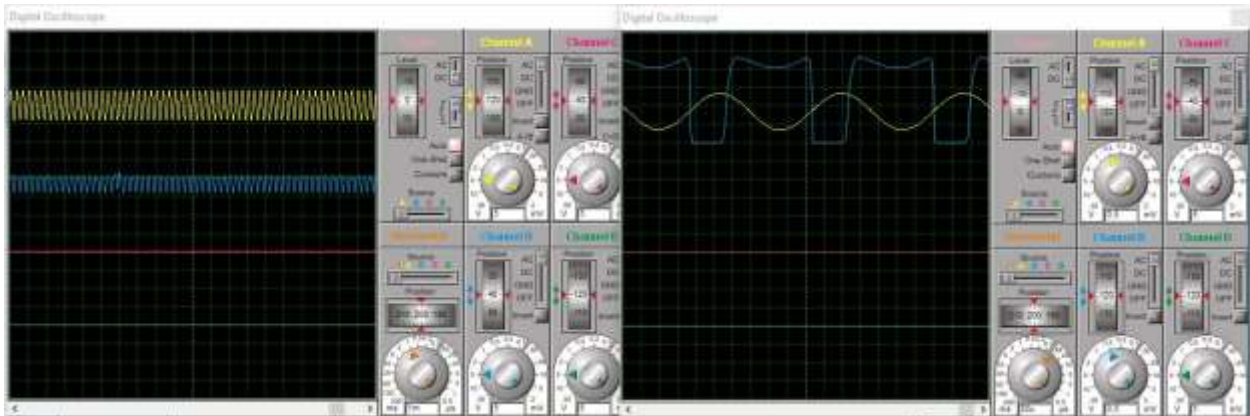


Figura 53. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3400\text{Hz}$. Fuente propia

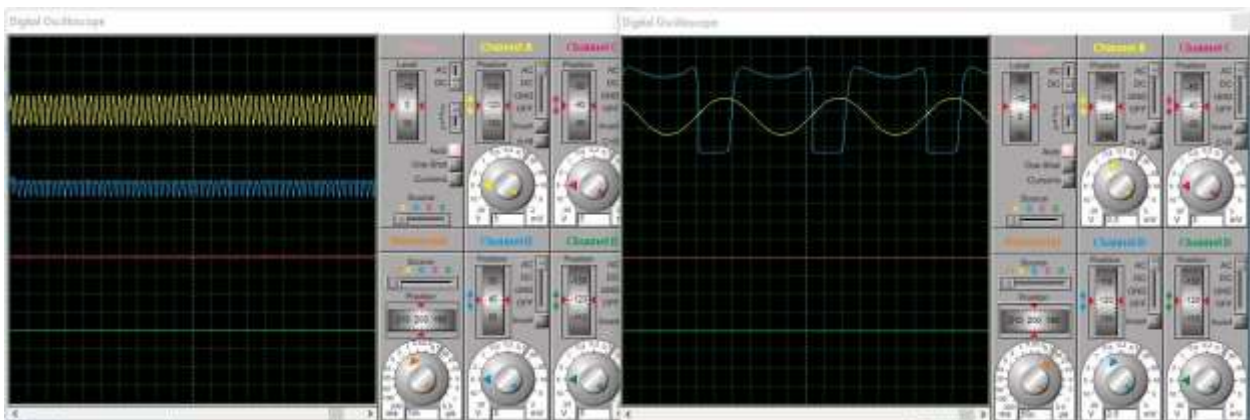


Figura 54. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3600\text{Hz}$. Fuente propia



Figura 55. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=3800\text{Hz}$. Fuente propia

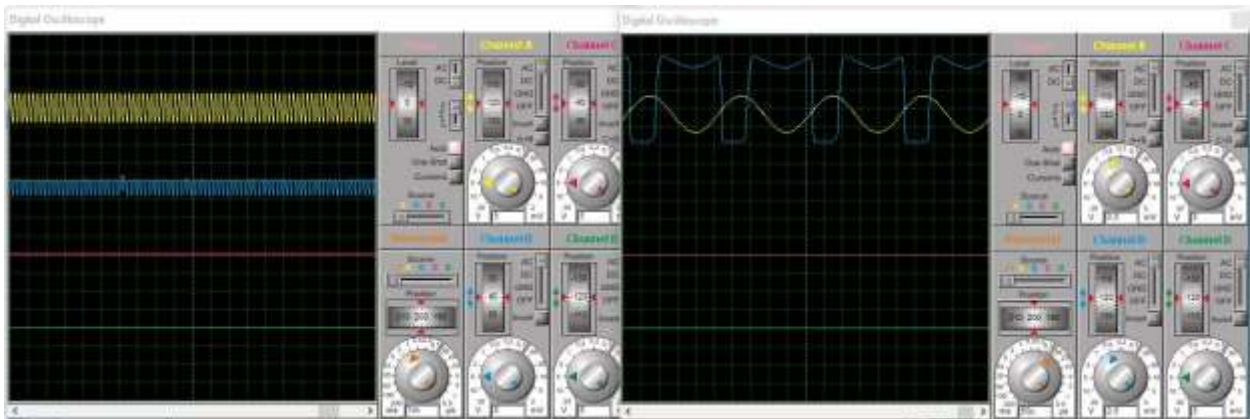


Figura 56. Simulación circuito del micrófono y el audífono con $f=4000\text{Hz}$. Fuente propia

Se realizan diversas simulaciones en el rango de frecuencias de 100Hz a 4000 Hz para observar el comportamiento de los circuitos a las diversas frecuencias sin embargo, se selecciona la frecuencia de 2 KHz a la que trabajan todos los circuitos.

Así mismo, se muestra en la Figura 57 la comparación entre el voltaje de la resistencia y la señal de entrada para $f=2\text{KHz}$, muestra el desfase entre las señales, debido al uso de un circuito RLC en el circuito del micrófono. La frecuencia de 2KHz es seleccionada, para el diseño de la bobina después de realizar pruebas con diversas bobinas; y es la frecuencia a la que

funciona el sistema inalámbrico del amplificador del micrófono y el circuito receptor del audífono.

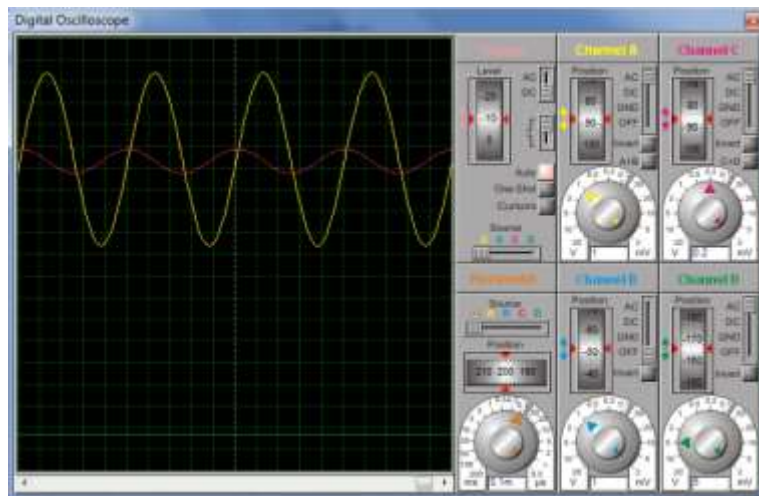


Figura 57. Simulación señal entrada y VR con $f=2000\text{Hz}$. Fuente propia

Recursos

El presupuesto (Ver Tabla 4) detalla minuciosamente los costos de desarrollo del proyecto.

Tabla 4. Presupuesto del Proyecto

ITEM	CANTIDA D	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Micro audífono de recepción	3	620.000	1.860.000
Adaptador para radio XTS	4	90.000	360.000
Embobinado para TX	4	45.000	180.000
Nano micrófono de ultra ganancia	4	90.000	360.000
Empaquetamiento del sistema	4	180.000	720.000
Interface de sistema	4	85.000	340.000
Chaleco tipo flit	2	100.000	200.000
Asesoría hora	60	20.000	1.200.000
Viáticos y pasajes	1	628.000	628.000
Total			5.848.000

Fuente: Tomado de Autor

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se lleva a cabo el diseño de un software para el procesamiento y amplificación de la señal de radio que va hacia la bobina de transmisión, acotando la señal a ciertas frecuencias del rango de voz.

El prototipo de manos libres inalámbrico, que integra el prototipo electrónico diseñado y el radio de dos metros, incorpora diversos módulos que en conjunto representan un dispositivo de fácil uso y grandes prestaciones al usuario.

Se comprueba el funcionamiento del dispositivo desarrollado junto al radio XTS 2250, mediante diversas pruebas que muestran un buen desempeño y mejores características frente a los manos libres tradicionales.

Recomendaciones

Se recomienda el uso apropiado del dispositivo STD, para que tenga un buen funcionamiento, siguiendo el protocolo de pruebas que existe para su manejo. De la misma manera, se recomienda seguir trabajando en proyectos de electrónica específicamente en el área de comunicaciones, con el fin de satisfacer las necesidades del entorno, aplicando los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica de la UNAD, en pro del desarrollo del país.

Bibliografía

- Achahuanco Pucho, A., Zambrano, A., Del Rosario, L., Hernandez Perez, J. J., Sihuincha Yauri, E. D., & Castro Tello, J. C. (2018). Intercomunicador de audio–Motophone.
- Alarcón Rodríguez, L. A. (2012). Rediseño de la etapa de preamplificación del electromiógrafo digital de cuatro canales implementado en la Universidad Militar Nueva Granada.
- Ávila Cornejo, E. (2016). Sistema intercomunicador mediante reconocimiento de voz y texto a voz utilizando Alexa y Raspberry pi. Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- Bernardoni, R. (2013). *Guía de estudio 8: Circuitos RLC serie (Doctoral dissertation)*. Obtenido de Universidad Nacional de Rosario: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2020/07/ELECTRONICA_Gu--a08-Circuitos-RLC.pdf
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (2003). *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. PEARSON educación.
- Calderón, J. (2016). Etapas del conflicto armado en Colombia: hacia el posconflicto. *Revista de Estudios Latinoamericanos*, 227-257.
- CEDOÉ. (2016). Manual Fundamental del Ejército MFE 6-0 Mando tipo Misión. Fuerzas Militares de Colombia.
- CEDOÉ. (2016). Manual Fundamental del Ejército MFE 1.0 Ejército. Fuerzas Militares de Colombia.
- CEDOÉ. (2016). Manual Fundamental del Ejército MFE 3-05 Operaciones Especiales. Fuerzas Militares de Colombia.

COELMA. (2020). *Pinganillo profesional para escoltas, teatro, conferencia, etc.* Obtenido de <https://www.todoelectronica.com/es/pinganillo-profesional-para-escoltas-teatro-conferencias-etc-p-7618.html>

Estevam, R. A. F. (2019). As comunicações táticas no SISFRON: uma análise do Módulo de Telemática Operacional (MTO) empregado pela 14ª companhia de comunicações mecanizada e sua forma de utilização no apoio às operações da 4ª brigada de cavalaria mecanizada.

Freescale. (2020). *Datasheet MC9S08QD4*. Obtenido de <https://datasheetspdf.com/pdf-file/560190/MotorolaSemiconductor/MC9S08QD4/1>

Hayt, W. H., Kemmerly, J. E., & Durbin, S. M. (2012). *Análisis de circuitos en ingeniería*. McGraw Hill.

Hayt, W., Buck, J., & Pedraza, C. (2006). *Teoría electromagnética*. McGraw-Hill.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación, Sexta edición*. México: DF, Editores, SA de CV.

International Crisis Group . (2017). *Los grupos armados de Colombia y su disputa por el botín de la paz*. Obtenido de CrisisGroup: <https://www.crisisgroup.org/es/latin-america-caribbean/andes/colombia/63-colombias-armed-groups-battle-spoils-peace>

JEMPP. (2019). *Orden administrativa de los Servicios (Comunicaciones) No. 002 de 2019*. Obtenido de Ejército Nacional de Colombia.

JEMPP. (2019). *Orden administrativa de los Servicios (Comunicaciones) No. 003 de 2019*. Ejército Nacional de Colombia.

JEMPP. (2018). *Orden administrativa de los Servicios (Comunicaciones) No. 001 de 2018*. Ejército Nacional de Colombia.

JEMPP. (2018). Orden administrativa de los Servicios (Comunicaciones) No. 002 de 2018.

Ejército Nacional de Colombia.

JEMPP. (2018). Orden administrativa de los Servicios (Comunicaciones) No. 003 de 2018.

Ejército Nacional de Colombia.

Knowles Electronics. (2005). *Mouser Electtonics*. Obtenido de

<https://www.mouser.com/datasheet/2/218/ek-23024-000-1173780.pdf>

Lerma, G. H. D. (2009). Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto (4a ed.). pp. 49 – 57. Bogotá, CO: Ecoe Ediciones. URL:

<http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?docID=10552938>

López Riera, A. (2017). Aplicaciones avanzadas del principio superregenerativo a comunicaciones por radiofrecuencia.

Ministerio de Defensa Nacional. (2015). *Política de Defensa y Seguridad*. Obtenido de

MinDefensa:

https://www.mindefensa.gov.co/irj/go/km/docs/Mindefensa/Documentos/descargas/Documentos_Descargables/espanol/politica_defensa_deguridad2015.pdf

Miyara, F. (2004). Filtros activos. E-book, Rosario: Universidad Nacional de rosario.

Molina Chávez, J. T. (2018). Diseño y construcción de un intercomunicador portátil de 10 entradas y 10 salidas para aviones de instrucción CESSNA 208 CARAVAN.

Motorola Solutions, Inc. (2020). *Radio Portatil digital XTS2250* . Obtenido de

https://www.motorolasolutions.com/es_xl/productos/sistemas-de-radios-de-dos-vias/descontinuado/xts2250.html#tabproductinfo

Mouser Electronics, Inc. (2020). *EK-23024-000*. Obtenido de

<https://www.mouser.com/ProductDetail/Knowles/EK-23024-000?qs=iTHNLYg2fuVZNP3WD9hA==>

Naciones Unidas. (2012). *Compendio de casos de delincuencia organizada*. Obtenido de

UNODC: https://www.unodc.org/documents/organized-crime/SpanishDigest_Final291012.pdf

Pazmiño, C. I. (2008). Tiempo de investigar, proyectos de ciencia. pp. 54 – 83. Quito, EC:

EDITEKA Ediciones. URL:

<http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?docID=10224107>

Preciado Romero, A., López Rubiano, E. Y., & Méndez Murillo, J. G. (2011). Diseño y construcción de un intercomunicador inalámbrico.

Ruiz, J. F. A., Flores, A. B., López, V. E. B., & Raggi, S. E. A. (2018).

INTERCOMUNICADOR ENLAZADO A RED DE TELEFONÍA CELULAR. *Pistas Educativas*, 39(128).

Anexos

Anexo 1. Código en Assembler

```

;*****
;*****
;***** SISTEMA OPERATIVO
;*****
PARA_APLICATIVOS_MICROGRADES_QG8_8P_VERSION_2.04.06 *****
;*****
;*****
;***** DECLARACION DE_LAS_CONFIGURACIONES_DEL_ENSAMBLADOR *****
;*****
;*****
;***** DECLARACION DE_LOS_REGISTROS_PERIFERICOS_DEL_MCU *****
;MCULIB_: EQU MQG88SYS
PORTA_: EQU $0000
DDRA_: EQU $0001
INTKBSCR_: EQU $000C
INTKBIER_: EQU $000D
INTKBIES_: EQU $000E
INTSCR_: EQU $000F
ADCTR_: EQU $0010
ADSCRL_: EQU $0011

```

ADRH_: EQU \$0012
ADRL_: EQU \$0013
ADR_: EQU \$0013
ADRVH_: EQU \$0014
ADRVL_: EQU \$0015
ADCCFG_: EQU \$0016
APCTL1_: EQU \$0017
ADSCR_: EQU \$0010
ADCLK_: EQU \$0016
ADRH0_: EQU \$0012
ADRL0_: EQU \$0013
ADPE_: EQU \$0017
ACMPSC_: EQU \$001A
SCBDH_: EQU \$0020
SCBDL_: EQU \$0021
SCC1_: EQU \$0022
SCC2_: EQU \$0023
SCS1_: EQU \$0024
SCS2_: EQU \$0025
SCC3_: EQU \$0026
SCDR_: EQU \$0027
SPC1_: EQU \$0028
SPC2_: EQU \$0029

SPBR_: EQU \$002A
SPIS_: EQU \$002B
SPDR_: EQU \$002D
IICA_ EQU \$0030
IICF_ EQU \$0031
IICC_ EQU \$0032
IICS_ EQU \$0033
IICD_ EQU \$0034
ICGC1_: EQU \$0038
ICGC2_: EQU \$0039
ICGTRM_: EQU \$003A
OSCTRM_: EQU \$003A
ICGSC_: EQU \$003B
MTIMSC_: EQU \$003C
MTIMCLK_: EQU \$003D
MTIMCNT_: EQU \$003E
MTIMMOD_: EQU \$003F
T1SC_: EQU \$0040
T1CNTH_: EQU \$0041
T1CNTL_: EQU \$0042
T1MODH_: EQU \$0043
T1MODL_: EQU \$0044
T1SC0_: EQU \$0045

T1CH0H_: EQU \$0046

T1CH0L_: EQU \$0047

T1SC1_: EQU \$0048

T1CH1H_: EQU \$0049

T1CH1L_: EQU \$004A

*** DECLARACION DE_LOS_REGISTROS_DE_CONTROL_DEL_MCU ***

SBSR_: EQU \$1800

SBDFR_: EQU \$1801

SOPT1_: EQU \$1802

SOPT2_: EQU \$1803

SDIDH_: EQU \$1806

SDIDL_: EQU \$1807

SRTISC_: EQU \$1808

SPMSC1_: EQU \$1809

SPMSC2_: EQU \$180A

SPMSC3_: EQU \$180C

DBGCAH_: EQU \$1810

DBGCAL_: EQU \$1811

DBGCBH_: EQU \$1812

DBGCBL_: EQU \$1813

DBGFH_: EQU \$1814

DBGFL_: EQU \$1815

DBGC_: EQU \$1816

DBGT_: EQU \$1817
DBGS_: EQU \$1818
FCDIV_: EQU \$1820
FOPT_: EQU \$1821
FCNFG_: EQU \$1823
FPROT_: EQU \$1824
FSTAT_: EQU \$1825
FCMD_: EQU \$1826
PUEA_: EQU \$1840
PSEA_: EQU \$1841
PDEA_: EQU \$1842
PUEB_: EQU \$1844
PSEB_: EQU \$1845
PDEB_: EQU \$1846
FTRIM_: EQU \$FFAE
ICSTRM_: EQU \$FFAF
NVBACKKEY_: EQU \$FFB0
NVPROT_: EQU \$FFBD
NVOPT_: EQU \$FFBF
COPCTL_: EQU \$1800

;*** DECLARACION DE CONFIGURACIONES DEL PROGRAMA ***

IIPORTA_: EQU %00000000

CPORTA_: EQU %00100000
EPORTA_: EQU %00000000
PPORTA_: EQU %00000000
QPORTA_: EQU %00100000
MKINPTA_: EQU %00000000
MKOUTA_: EQU %00000000
CADSCR_: EQU %00011111
TADCLK_: EQU %01010000
MADCLK_: EQU %01000101
GADCLK_: EQU %11001001
QADCLK_: EQU %01101000
CFCHAD_: EQU %00000000
CFSCBR_: EQU 0
CFSCC1_: EQU %00000000
CFSCC2_: EQU %00000000
CFISCBR_: EQU 0
CFISCC2_: EQU %00000000
CT1MOD_: EQU 1000
CFT1SC_: EQU %00001011
CT1SC0_: EQU %00000000
CT1SC1_: EQU %01000000
CFICGC1_: EQU %00000100
CFICGC2_: EQU %00000100

CFFCDIV_: EQU \$9

VECTRS_:

ORG \$FFD0

;*** VECTORES DE_RESET_Y_DE_INTERRUPCIONES_DEL_MCU ***

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W VECT_I2C_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W VECT_TM2_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W NOTINT_

DC.W VECT_TM1_

DC.W NOTINT_

DC.W VECT_T10_

DC.W NOTINT_

DC.W \$4279

DC.W VECT_IR1_

DC.W \$7302

DC.W MAIN_

ORG NVPROT_

DC.B \$FE00 / \$100

FSHDH_: EQU \$0060 + 4

FSHDL_: EQU \$0060 + 5

FSHRS_: EQU \$0060 + 6

FSHRH_: EQU \$0060 + 6

FSHRL_: EQU \$0060 + 7

FSHCN_: EQU \$0060 + 7

FSHCH_: EQU \$0060 + 8

FSHCL_: EQU \$0060 + 9

EXRAM_: EQU \$0060 + 10

ORG \$0060

*** DECLARACION DE LOS REGISTROS DEL PROGRAMA ***

INIRAM_:

REGA_: DS.B 1

REGB_: DS.B 1

REGC_: DS.B 1

REGD_: DS.B 1

ACUM0_: DS.B 1

ACUM1_: DS.B 1

ACUM2_: DS.B 1

ACUM3_: DS.B 1

CNTTM0_: DS.B 1

CNTTM1_: DS.B 1

FLAG0_: DS.B 1

FLAG1_: DS.B 1

TASKH_: DS.B 1

CLOCK_: DS.B 1

WAVES_: DS.B 1

CNCK12_: DS.B 1

CNCK13_: DS.B 1

INITRZ_: ;INICIO DEL TRAZADO

ENTRA_: DS.B 1

SALEA_: DS.B 1

FINSYS_:

;*** DECLARACION DE_LOS_REGISTROS_DE_APLICACION ***

DATOS_:

DAT00_: DS.B 1

DAT01_: DS.B 1

FINDIR_:

FINRAM_:

ORG \$FE02

*** RUTINAS DE INICIO DE COMUNICACIONES PARA LA GRABACION,...

MAIN_: NOP

NOP

MOV #CFICGC1_,ICGC1_

MOV #CFICGC2_,ICGC2_

LDA ICSTRM_

STA ICGTRM_

LDA FTRIM_

BCLR 0,ICGSC_

BEQ \$+4

BSET 0,ICGSC_

LDA FSTAT_

BIT #%00110000

BEQ MAID_

LDA #%00110000

STA FSTAT_

```

MAID_:      LDA  FCDIV_
            BIT  #%10000000
            BNE  MAIV_
            LDA  #CFFCDIV_
            STA  FCDIV_

MAIV_:      LDHX #$025F
            TXS
            BSR  INICFLASH_
            JMP  MAIN0_

```

```

;*** RUTINAS DE BOOTLOADER PARA LA GRABACION.,.,.

```

```

INICFLASH_:  RTS
            ORG  INICFLASH_ + $FEFD - $FE39

```

```

INIBLOCK_:
            ORG  INICFLASH_ + $FF4D - $FE39

```

```

FINBLOCK_:
            ORG  $FE00
            DC.B $9D

```

```

            ORG  $E000

```

```

;*** ESTRUCTURA PRINCIPAL_DEL_SISTEMA_OPERATIVO_(MAIN) ***.,.,.

```

```

INIMAIN_:  BRA  MAIN0_

```

NOTINT_: RTI

VECT_I2C_: JMP NOTINT_

VECT_TM2_:JMP NOTINT_

VECT_TM1_:JMP NOTINT_

VECT_T10_: JMP NOTINT_

VECT_IR1_: JMP NOTINT_

MAIN0_: LDA #20

MAINI_: LDHX #998

STA COPCTL_

MAINII_: AIX #-1

CPHX #0

BNE MAINII_

DBNZA MAINI_

JSR CONFIGURA_

JSR INISYSTEM_

JSR ENTRADA_R_

MAIN1_:

MAIN2_: BRCLR 7,T1SC_,MAIN2_

BCLR 7,T1SC_

STA COPCTL_

JSR SALIDA_A_

JSR ENTRADA_R_

```
LDA TASKH_  
CMP #3  
BHS RETNOR_  
LSLA  
ADD TASKH_  
TAX  
CLRH  
RETNOR1_: JMP RETNOR1_ + 3,X  
JMP TASKH0_  
JMP TASKH1_  
MOV #255 - 7,TASKH_  
JMP TASKH2_  
RETNOR_: INC TASKH_  
JMP MAIN1_  
  
;*** RUTINA DE_CONFIGURACION_DEL_HARDWARE ***.,.,.  
CONFIGURA_:  
MOV #CPORATA_,DDRA_  
LDHX #CT1MOD_  
STHX T1MODH_  
MOV #CT1SC0_,T1SC0_  
MOV #CT1SC1_,T1SC1_  
MOV #CFT1SC_,T1SC_
```

RTS

;*** RUTINA DE_INICIALIZACION_DE_LOS_REGISTROS_DEL_SISTEMA ***.,.,.

INISYSTEM_:

MOV #IIPORTA_ ^ MKOUTA_,PORTA_

MOV #IIPORTA_,SALEA_

LDHX #FINSYS_ - INIRAM_

INISYSTEM3_: CLR INIRAM_ - 1,X

DBNZX INISYSTEM3_

MOV #10,CNCK12_

MOV #10,CNCK13_

MOV #%11000000,FLAG0_

INISYSTEM4_:

RTS

;*** RUTINA DE_TEMPORIZACION ***.,.,.

TEMPORIZA_: LDA #%11110011

AND CLOCK_

STA CLOCK_

BSET 1,CLOCK_

DBNZ CNCK12_,TEMPORIZA1_

BSET 2,CLOCK_

MOV #10,CNCK12_

DBNZ CNCK13_,TEMPORIZA1_

BSET 3,CLOCK_

MOV #10,CNCK13_

TEMPORIZA1_: RTS

;*** RUTINAS DE_ENTRADAS_DIGITALES RAPIDAS ***.,.,.

ENTRADA_R_:

LDA PORTA_

STA ENTRA_

RTS

;*** RUTINAS DE_SALIDAS_DIGITALES ***

;*** RUTINA DE_SALIDAS_DIGITALES ***.,.,.

SALIDA_A_: LDA SALEA_

AND #CPORTA_

STA REGA_

LDA #CPORTA_ ^ \$FF

AND PORTA_

ORA REGA_

STA PORTA_

RTS

;*** AREA DE_UBICACION_DE_LOS_BLOQUES_EN LENGUAJE_ENSAMBLADOR

*** RUTINA DE APLICACION EXTERNA ***

RUTEXTERNA:

RTS

*** AREA DE_UBICACION_DE_LOS_BLOQUES_DE_APLICACION_EN_TABLAS

*** AREA DE_UBICACION_DE_LOS_BLOQUES_DE_APLICACION_EN_TAREAS

*** BLOQUES DE_CODIFICACION_DE_PROCEDIMIENTOS_POR_TAREAS ***

TASKH0_:

JSR INICFLASH_

JSR TEMPORIZA_

BRCLR 2,CLOCK_,IMPUL1_

INC WAVES_

IMPUL1_:

JMP RETNOR_

TASKH1_:

BRSET 4,ENTRA_,LI00021_

CLR DAT00_

LI00021_ LDA #!10

BSET 0,FLAG0_

CBEQ DAT00_,LI00029_

BCLR 0,FLAG0_


```
BRCLR    2,CLOCK_,LI00029_  
INC  DAT00_  
LI00029_:  
BRCLR    0,FLAG0_,LI00031_  
MOV  #!10,DAT01_  
LI00031_:    CLRA  
BCLR 5,SALEA_  
CBEQ DAT01_,LI00039_  
BSET 5,SALEA_  
BRCLR    2,CLOCK_,LI00039_  
DEC  DAT01_  
LI00039_:  
JMP  RETNOR_  
  
TASKH2_:  
  
BCLR 7,FLAG0_  
BCLR 6,FLAG0_  
JMP  RETNOR_  
  
;*** AREA DE_UBICACION_DE_LOS_BLOQUES_DE_APLICACION_EN_RUTINAS  
;*** SUBRUTINAS DE_LA_APLICACION_GRAFICA_
```

MAIN9_:

ORG \$FE01

DC.B \$9D

ORG (MAIN9_ + \$1FF) & \$FE00

*** BLOQUES DE_ALMACENAMIENTO_EN_MEMORIA_NO_VOLATIL_

USERROM_:

FINPROG_:

END

Anexo 2. Características del microcontrolador

MC9S08PA4

MC9S08PA4 Data Sheet

Supports: MC9S08PA4(A)

Key features

- 8-Bit S08 central processor unit (CPU)
 - Up to 20 MHz bus at 2.7 V to 5.5 V across operating temperature range
 - Supporting up to 40 interrupt/reset sources
 - Supporting up to four-level nested interrupt
 - On-chip memory
 - Up to 4 KB flash read/program/erase over full operating voltage and temperature
 - Up to 128 byte EEPROM; 2-byte erase sector; program and erase while executing flash
 - Up to 512 byte random-access memory (RAM)
 - Flash and RAM access protection
- Power-saving modes
 - One low-power stop mode; reduced power wait mode
 - Peripheral clock enable register can disable clocks to unused modules, reducing currents; allows clocks to remain enabled to specific peripherals in stop3 mode
- Clocks
 - Oscillator (XOSC) - loop-controlled Pierce oscillator; crystal or ceramic resonator range of 31.25 kHz to 39.0625 kHz or 4 MHz to 20 MHz
 - Internal clock source (ICS) - containing a frequency-locked-loop (FLL) controlled by internal or external reference; precision trimming of internal reference allowing 1% deviation across temperature range of 0 °C to 70 °C and 2% deviation across whole operating temperature range; up to 20 MHz
- System protection
 - Watchdog with independent clock source
 - Low-voltage detection with reset or interrupt; selectable trip points
 - Illegal opcode detection with reset
 - Illegal address detection with reset
- Development support
 - Single-wire background debug interface
 - Breakpoint capability to allow three breakpoints setting during in-circuit debugging
 - On-chip in-circuit emulator (ICE) debug module containing two comparators and nine trigger modes
- Peripherals
 - ACMP - one analog comparator with both positive and negative inputs; separately selectable interrupt on rising and falling comparator output; filtering
 - ADC - 8-channel, 12-bit resolution; 2.5 μs conversion time; data buffers with optional watermark; automatic compare function; internal bandgap reference channel; operation in stop mode; optional hardware trigger
 - FTM - Three 2-channel flex timer modulators modules; 16-bit counter; each channel can be configured for input capture, output compare, edge- or center-aligned PWM mode
 - RTC - 16-bit real timer counter (RTC)
 - SCI - one serial communication interface (SCI/ UART) modules optional 13-bit break; full duplex non-return to zero (NRZ); LIN extension support
- Input/Output
 - Up to 18 GPIOs including one output-only pin
 - One 8-bit keyboard interrupt module (KBI)
 - Two, ultra-high current sink pins supporting 20 mA source/sink current
- Package options
 - 20-pin SOIC
 - 20-pin TSSOP
 - 16-pin TSSOP
 - 8-pin DFN
 - 8-pin SOIC