



**Implementación de un transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (Radio
Definido por Software) y guía técnica para prácticas de laboratorio de
telecomunicaciones en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga**

Velasco Ruiz, Johanna Lizeth y Cañizares Carvajal, Stalyn Andrés

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera Tecnología en Redes y Telecomunicaciones

Monografía, previo a la obtención del título en la Tecnología de Redes y Telecomunicaciones

Ing. Caicedo Altamirano, Fernando Sebastián

20 de agosto del 2021



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELETRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, “**Implementación de un transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (Radio Definido por Software) y guía técnica para prácticas de laboratorio de telecomunicaciones en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga**” fue realizado por los señores **Velasco Ruiz, Johanna Lizeth y Cañizares Carvajal, Stalyn Andrés** cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de agosto del 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**FERNANDO SEBASTIAN
CAICEDO ALTAMIRANO**

Ing. Caicedo Altamirano, Fernando Sebastián

C.C.:180393502-0






URKUND

Curiginal

Document Information

Analyzed document	MONOGRAFIA ANDRES-CAÑIZARES-JOHANA-VELASCO-TRANSMISOR-FM-SDR.pdf (D111756125)	
Submitted	8/27/2021 4:19:00 PM	
Submitted by	Lorena Ibarra	 <p>Firmado electrónicamente por: FERNANDO SEBASTIAN CAICEDO ALTAMIRANO</p>
Submitter email	loretaibarra@yahoo.es	
Similarity	10%	
Analysis address	lorenadibarra.uta@analysis.urkund.com	

Sources included in the report

W	URL: http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2067/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-032.pdf Fetched: 4/11/2021 3:46:46 PM	 4
SA	Proyecto_técnico_DeLaCruz_Moreira-rev2.docx Document Proyecto_técnico_DeLaCruz_Moreira-rev2.docx (D34758803)	 13
W	URL: https://es.slideshare.net/danielaomaira/ondas-39808332 Fetched: 10/14/2019 2:40:03 AM	 3

Firma:



Firmado electrónicamente por:
FERNANDO SEBASTIAN
CAICEDO ALTAMIRANO

Ing. Caicedo Altamirano, Fernando Sebastián

C.C.: 180393502-0



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Velasco Ruiz, Johanna Lizeth, Cañizares Carvajal, Stalyn Andrés** con el número de identidad 172592375-7 y 175343417-2 declaramos que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Implementación de un transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (Radio Definido por Software) y guía técnica para prácticas de laboratorio de telecomunicaciones en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga”** es de nuestras autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 20 de agosto del 2021

.....

Velasco Ruiz, Johanna Lizeth

C.C.:172592375-7

.....

Cañizares Carvajal, Stalyn Andes

C.C.:175343417-2



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Velasco Ruiz, Johanna Lizeth, y Cañizares Carvajal, Stalyn Andrés** con el número de identidad 172592375-7 y 175343417-2 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Implementación de un transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (Radio Definido por Software) y guía técnica para prácticas de laboratorio de telecomunicaciones en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 20 de agosto del 2021

.....

Velasco Ruiz, Johanna Lizeth

C.C.:172592375-7

.....

Cañizares Carvajal, Stalyn Andes

C.C.:175343417-2

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Pedro y Marisol quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y perseverancia,

A mis hermanos Dennise y Paul por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A todos mis tíos, tías y primos porque con su constante ayuda y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Dedicatoria

Dedico con todo el cariño a mi hermana Naty Velasco por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles simple me estuvo brindándome su apoyo.

A mis queridos padres, pues sin ellos no lo habría logrado.

A mi compañero y amigo presente, quien sin esperar nada a cambio compartió sus conocimientos, alegrías y tristeza, a todas aquellas personas que durante todo este tiempo estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Velasco Ruiz, Johanna Lizeth

Agradecimiento

Quiero agradecer a mis padres y hermanos quienes fueron el motor de mi vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos, pero de manera especial al mejor docente que he conocido y tutor de proyecto de titulación Ing. Fernando Caicedo, que gracias a su apoyo hoy puedo culminar con este trabajo. Y a todos mis compañeros que de alguna manera me ayudaron a cumplir con esta meta de manera desinteresada.

Agradecimiento

A toda mi familia padres, hermanos por brindarme su apoyo incondicional por motivarme a seguir adelante, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidades.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, me dio la oportunidad de estudiar en sus instalaciones a cada uno de los docentes que me brindó su conocimiento en cada una de las asignaturas de la carrera de redes y telecomunicaciones.

Velasco Ruiz, Johanna Lizeth

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Resultados Urkund.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de la publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Tabla de contenidos.....	10
Indice de Figuras	14
Indice de tablas	17
Resumen	18
Abstract.....	19
Tema.....	20
Antecedentes	20

	11
Planteamiento del problema.....	22
Justificación	22
Objetivos.....	23
<i>Objetivo General</i>	23
<i>Objetivos Específicos</i>	24
Alcance	24
Marco Teórico	25
Radiocomunicación.....	25
<i>Espectro Electromagnético</i>	25
Bandas de Frecuencia para Comunicaciones.....	26
<i>VHF</i>	31
<i>Banda VHF bajo</i>	32
<i>Banda VHF alto</i>	32
<i>Algunas Aplicaciones</i>	33
<i>Sistemas de Comunicaciones</i>	33
Modo de Transmisión.....	34
<i>Simplex</i>	34
<i>Semidúplex (HALF DUPLEX)</i>	35
<i>Dúplex (FULL DUPLEX)</i>	35
<i>Duplex Total (FULL-FULL DUPLEX)</i>	35
Modelo de un Sistema de Comunicaciones	36

	12
Tipos de Sistemas de Comunicación.....	37
<i>Análogos.....</i>	<i>37</i>
<i>Digitales.....</i>	<i>38</i>
<i>Bloques de sistemas de Comunicación.....</i>	<i>40</i>
<i>Fuente de información.....</i>	<i>40</i>
<i>Codificación de canal.....</i>	<i>40</i>
<i>Modulador.....</i>	<i>41</i>
<i>Canal.....</i>	<i>41</i>
Modulación.....	41
<i>Modulación de amplitud (AM).....</i>	<i>41</i>
<i>Modulación de frecuencia (FM).....</i>	<i>44</i>
<i>Modulación de Fase (PM).....</i>	<i>48</i>
Modulación Digital.....	49
<i>Modulación ASK.....</i>	<i>50</i>
<i>Modulación FSK.....</i>	<i>51</i>
<i>Modulación M-PSK.....</i>	<i>52</i>
Comunicaciones Digitales.....	53
Radio Digital.....	54
<i>Compresiones de audio codificaciones.....</i>	<i>54</i>
FM Estéreo.....	56
<i>Limitaciones de la radiodifusión sonora en FM.....</i>	<i>56</i>
<i>La señal múltiplex (MPX).....</i>	<i>57</i>

	13
<i>Señal Suma</i>	58
<i>Señal Resta</i>	58
SDR.....	59
<i>Estructura SDR</i>	60
<i>Radio definida por software</i>	61
<i>Características de los dispositivos SDR</i>	62
<i>Tipo de SDR</i>	63
Software.....	64
<i>GNU RADIO</i>	64
Entorno GNU RADIO.....	65
Desarrollo del Proyecto	67
Selección del dispositivo de Hardware.....	67
Selección de Software.....	72
Preparación	75
Estructura del Flujograma.....	80
Conclusiones	98
Recomendaciones	100
Glosario.....	101
Bibliografía	103
Anexo	110

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Diagrama del espectroelectromagnético</i>	26
Figura 2 <i>Modo de llegar a los televidentes era mediante el aire con ondas de radio en las bandas de VHF y UHF</i>	31
Figura 3 <i>Diagrama simplificado de bloque de un sistema de comunicaciones</i>	34
Figura 4 <i>Modelo de un sistema de comunicaciones</i>	36
Figura 5 <i>Diagrama de bloques de un sistemas de comunicación</i>	40
Figura 6 <i>Señales procesadas en la modulación AM</i>	44
Figura 7 <i>Frecuencia Modulada</i>	46
Figura 8 <i>Diagrama del transmisor FM</i>	47
Figura 9 <i>Modulación de Fase</i>	49
Figura 10 <i>Modulación ASK</i>	51
Figura 11 <i>Modulación FSK</i>	52
Figura 12 <i>Modulación M-PSK</i>	53
Figura 13 <i>Espectro de Frecuencia de la señal MPX</i>	59
Figura 14 <i>Diagrama de bloques funcionales de SDR</i>	60
Figura 15 <i>Entorno GNU Radio</i>	66
Figura 16 <i>USRP</i>	67
Figura 17 <i>HackRF One de Great Scott Gadgets</i>	69

	15
Figura 18 <i>BladeRF USB 3.0 Software Defined Radio</i>	71
Figura 19 <i>Módulo de Ejercicio:Análisis y Procesamiento de Señales,realizado en software en LabVIEW</i>	72
Figura 20 <i>Representación gráfica en tiempo real de la intensidad de señales realizadas en software SDRSharp,software popular para radioaficionados</i>	73
Figura 21 <i>Interfaz gráfica de GNU Radio</i>	77
Figura 22 <i>Ordenador utilizado en este proyecto</i>	77
Figura 23 <i>Búsqueda de software GNU Radio en la tienda de aplicaciones de Ubuntu</i> ...	78
Figura 24 <i>Fabricantes de Hardware SDR compatibles para la librería OsmocomSDR en GNU Radio</i>	78
Figura 25 <i>Instalación de librería OsmocomSDR para GNU Radio,realizado con tan solo un comando en el terminal del sistema operativo</i>	79
Figura 26 <i>Instalación de los drives del Hack Rf</i>	79
Figura 27 <i>Comprobación de instalacion de drivers con hardware conectado</i>	80
Figura 28 <i>Diagrama de bloques general del sistema</i>	81
Figura 29 <i>Hardware y software listo para desarrollo del sistema</i>	81
Figura 30 <i>Parámetros iniciales del programa</i>	82
Figura 31 <i>Frecuencia de muestreo general</i>	83
Figura 32 <i>Bloque “Wav file Source” configurado con un solo canal de salida</i>	84
Figura 33 <i>Bloque “Multiply Cost” encargado de multiplicar una variable por amplitud de de la señal entrante</i>	85

Figura 34 <i>Uso de bloque con 2 variable diferente (2 y 0.25)</i>	86
Figura 35 <i>Bloque “Throttle” configurado para usarse con valores flotantes</i>	87
Figura 36 <i>Demostración de importancia de bloque “Throttle” en el sistema</i>	88
Figura 37 <i>Demostración de importancia de bloque “Throttle” en el sistema</i>	89
Figura 38 <i>Bloque para modulación FM en banda ancha</i>	90
Figura 39 <i>Bloque “Rational Resampler”</i>	90
Figura 40 <i>Configuración del bloque “Osmocom Sink”</i>	91
Figura 41 <i>Diagrama completo de sistema de transmisión en FM banda ancha</i>	92
Figura 42 <i>Variables de Bloque</i>	93
Figura 43 <i>Grafica generada por el bloque “QT GUI Frequency Sink”</i>	94
Figura 44 <i>Grafica generada por el bloque “QT GUI Waterfall Sink”</i>	95
Figura 45 <i>Sistema de Transmisión FM con herramientas de análisis QT GUI</i>	96
Figura 46 <i>Sistemas puesto en marcha en nuestro ordenador y un teléfono celular usado como receptor</i>	97

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Designaciones de banda del CCIR</i>	27
Tabla 2 <i>Transmisores por frecuencia</i>	28
Tabla 3 <i>Parámetros USRP-2900</i>	68
Tabla 4 <i>Parámetros de HACK RF</i>	70
Tabla 5 <i>Tabla Comparativa de posibles softwares que fueron probables a usarse en este proyecto</i>	73

Resumen

El presente proyecto se centra en el desarrollo de la Implementación de un transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (radio definido por software) y guía técnica para prácticas de laboratorio de telecomunicaciones en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, En primer lugar, se llevará a cabo un análisis para la selección de hardware necesario, donde se comparará algunas opciones para el desarrollo de sistemas de comunicación digital, se encontrará la mejor opción, un hardware SDR capaz de transmitir o recibir señales de radio de 1 MHz a 6 GHz, modo de transmisión Half Dúplex, soporte de licencia libre, y además de ser económicamente accesible. A continuación, se elegirá un software compatible, con el cual se logrará experimentar con la variación de señal con diagramas de bloques prediseñados y generados en Python. Finalmente, la simulación entregara un sistema de comunicación inalámbrica que será compatible con receptores FM de banda comercial, además de que el ordenador mostrara el comportamiento de la señal a través de las herramientas de análisis del software. Se espera que este proyecto sea usado como base para nuevos proyectos con más alcance e innovación ya que el hardware a usarse, simboliza el presente y futuro de las telecomunicaciones

Palabras clave:

- **RADIOCOMUNICACIÓN**
- **FRECUENCIA FM**
- **SISTEMAS DE COMUNICACIÓN**

Abstract

This project focuses on the development of the Implementation of an FM radio transmitter using an SDR device (software defined radio) and technical guide for telecommunications laboratory practices at the University of the Armed Forces ESPE headquarters Latacunga, First of all , an analysis will be carried out for the selection of necessary hardware, where some options for the development of digital communication systems will be compared, the best option will be found, an SDR hardware capable of transmitting or receiving radio signals from 1 MHz to 6 GHz, Half Duplex transmission mode, free license support, and in addition to being economically accessible. Next, a compatible software will be chosen, with which it will be possible to experiment with signal variation with predesigned block diagrams generated in Python. Finally, the simulation will deliver a wireless communication system that will be compatible with commercial band FM receivers, in addition to the computer showing the signal behavior through the software analysis tools. It is expected that this project will be used as a basis for new projects with more scope and innovation since the hardware to be used, symbolizes the present and future of telecommunications.

Key words:

- **RADIOCOMUNICACION**
- **FM FREQUENCY**
- **COMUNICACION SYSTEM**

Capítulo I

1. Tema

Implementación de un transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (radio definido por software) y guía técnica para prácticas de laboratorio de telecomunicaciones en la universidad de las fuerzas armadas ESPE sede Latacunga.

1.1. Antecedentes

La Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) en el Art. (109) obliga como requisito de creación de Universidad o Escuela Politécnica que se posea infraestructura tecnológica propia y laboratorios especializados, que faciliten el desarrollo de prácticas para que los estudiantes adquieran habilidades y destrezas propias de la especialidad. Cabe aclarar, que la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE forma tecnólogos superiores en Redes y Telecomunicaciones entre otros, siendo estas herramientas fundamentales para la formación de estos.

Por la relevancia del tema se han realizado trabajos investigativos como los que se exponen a continuación:

Trabajo realizado por B LISINTUÑA. (2019) cuyo tema es: “APLICACIÓN DE UN SISTEMA SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE) PARA PRÁCTICAS MULTIDISCIPLINARIAS EN LA CARRERA DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ISRAEL”, Este proyecto de titulación consistió en aplicar un sistema SDR (radio definido por software) en prácticas de laboratorio. En el que se utilizó un RTL-SDR 2832U como un sintonizador de frecuencias para captar las señales inalámbricas y la señal, que ingrese al sintonizador por la antena del RTL-SDR será procesada mediante un software, el programa a utilizar es el Matlab-Simulink en lo que concluyo que:

“Como resultado de la implementación del proyecto se ha logrado realizar un estudio del funcionamiento de los sistemas SDR y la aplicación de la misma en un laboratorio para el ámbito académico y profesional.” (p. 90)

Trabajo realizado por C MÈRCHAN. (2016) cuyo tema es: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA RADAR UTILIZANDO SISTEMA SDR A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA USRP PARA APLICACIONES TOPOGRÁFICAS.”, En el que se diseñó e implemento un sistema radar utilizando, sistema Software Defined Radio (SDR) a través de Tecnología Universal Software Radio Periphera (USRP) para aplicaciones topográficas. El radar implementado permite estimar la distancia que existe entre un transmisor y un receptor concluyo que:

“Gracias a la realización de este trabajo se puede experimentar el trabajar con las tarjetas USRP que es una tecnología, que tiene una gran acogida a nivel mundial debido a las facilidades que presenta en su manipulación y funcionamiento. Para su uso simplemente se necesita un sistema computarizado para su control y, además se puede configurar mediante software lo que le brinda la ventaja de ser reconfigurable. Los proyectos realizados con las USRP se pueden modificar un sin fin de veces abriendo caminos a la realización de nuevos proyectos a partir de trabajos previamente realizados.” (p.79).

Por lo expresado anteriormente y con el afán de garantizar el aprendizaje óptimo de los futuros estudiantes de la carrera, es necesario implementar equipos didácticos como un radio software (SDR) tiene casi todos sus “componentes” definidos y funcionando en forma de programas, con un mínimo de componentes físicos y es una tecnología muy flexible ya que, modificando, reemplazando o aumentando programas de software se consigue modificar sus funcionalidades.

1.2. Planteamiento del problema

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE fue creada en el año 1922 para formar profesionales de tercer nivel, Tecnólogos superiores en Logística y Transporte, Prevención de Riesgo Laborales, Mecánica Automotriz entre otros; particularmente Tecnólogos en Redes y Telecomunicaciones para ello cuenta con laboratorios para que estudiantes se desarrollan prácticas. Mismos que desde tiempo atrás no cuentan equipos que faciliten la adquisición de habilidades y destrezas. Esto ha dado origen a:

Tecnólogos tengan falencias de manipulación a un equipo de sistemas de software libre.

La Universidad no cumple con los reglamentos establecidos por la LOES en el Art. (109) para creación de Universidades y Escuelas Politécnicas ya que la mayoría de prácticas son simuladas.

De no solucionarse, lo mencionado seguirá la insatisfacción tanto de docentes como de estudiantes por no contar con un Infraestructura Tecnológica propia y laboratorios especializados; así como también, el incumplimiento al Art. (109) de la LOES.

Por lo expuesto es necesario que la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión. Latacunga cuente con un Radio definido por Software y la consiguiente adquisición de habilidades y destrezas.

1.3. Justificación

En la constitución en el Art. (26) de la República del Ecuador se estipula claramente que todo los ciudadanos deben tener una educación de calidad para facilitar la inserción al campo laboral, ya que organismos reguladores exigen que todas los IES faciliten tanto al docente como al estudiante la ayuda del desarrollo académico, a través

de equipos de prueba manipulables y configurables, incluyendo un manual de uso para que sus estudiantes puedan realizar prácticas y adquirir habilidades y destrezas. Así como también:

Proporcionar información sustentable para el desarrollo académico.

Apoyo didáctico para que el estudiante logre su formación académica.

Minimizar el bajo rendimiento académico por falta de material didáctico.

Permitirá reforzar el conocimiento de temas específicos de la especialidad.

Se beneficiarán del presente trabajo investigativo, los docentes que contarán con una ayuda para el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje, los estudiantes podrán guiarse tanto en el conocimiento científico como práctico.

Los resultados permitirán a las autoridades cumplir con lo estipulado en la normativa de Educación Superior.

Por lo que antecede, es importante que la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, posea herramientas manipulables que faciliten el desarrollo de conocimiento para la adquisición de una educación de calidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar de un transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (radio definido por software) y guía técnica para prácticas de laboratorio de Telecomunicaciones en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.

1.4.2. Objetivos Específicos

Establecer información sobre qué es y los beneficios de un SDR con contenido científico y tecnológico.

Analizar la utilización del transmisor FM sobre un SDR para garantizar un aprendizaje óptimo en los laboratorios de la Universidad.

Desarrollar un manual comprensible para configuración de un SDR en el sistema operativo Ubuntu.

1.5. Alcance

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga a pesar de adquirir conocimientos básicos sobre la materia en sí, al no tener un instrumento donde se pueda ver de forma práctica lo expresado de manera teórica el aprendizaje no es óptimo, para lo cual se recordable un sistema SDR y una guía técnica con los cuales; podrán transmitir o recibir señales de radio de 1 MHz a 6 GHz, experimentar con la variación de señal, modificar el hardware para diferentes usos, en las asignaturas de la malla curricular presentada en la Carreara de Redes y Telecomunicaciones como Enlaces de Comunicaciones Inalámbricas, Sistemas operativos , redes LAN y Sistemas de comunicación .

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1. Radiocomunicación

Es la comunicación inalámbrica en telecomunicaciones, llamada así ya que el medio para la conexión utilizado es el aire. Se utiliza exclusivamente en sistemas de comunicaciones móviles, comunicaciones marinas, sistemas de transmisión de audio o televisión. Estos componentes son aproximadamente el modulador y demodulador, transmisor y receptor, antena y canal de transmisión. La comunicación inalámbrica es una limitación de recursos. La información se transmite modulando la portadora. O es como enviar un seno o tono a una frecuencia particular, frecuencia portadora y cambiar sus parámetros, amplitud e información de fase. El destinatario detectará estos cambios y obtendrá la información. (Murillo, 2015)

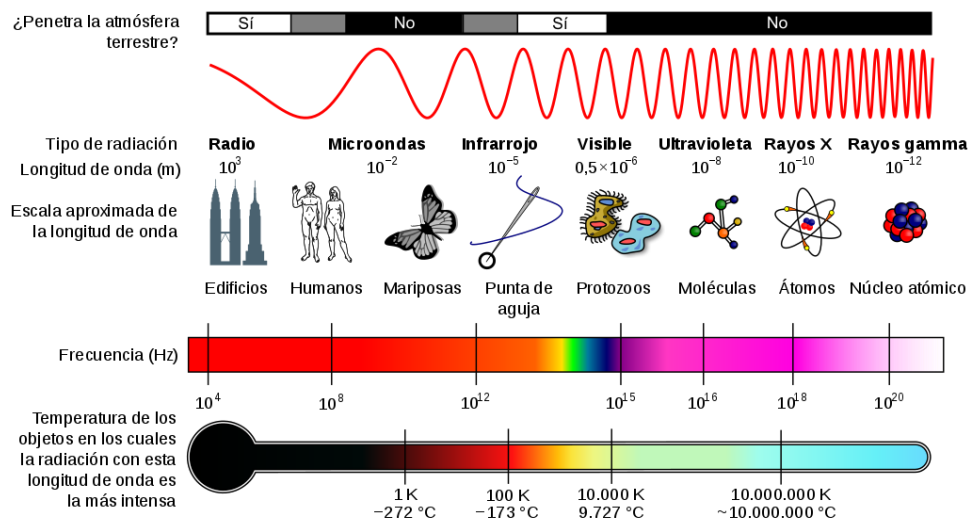
2.1.1. Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el grupo de cada una de las frecuencias probables a las que se genera radiación electromagnética, y está distribuida por medio de un rango de frecuencias casi infinito. (Wayne, 2003 citado en De la Cruz & Moreira, 2018)

El espectro de frecuencias electromagnéticas total que muestra las localizaciones aproximadas de diversos servicios se muestra en la Figura 1, en donde el espectro de frecuencias se prolonga a partir de las frecuencias subsónicas (unos cuantos Hertz) a los relámpagos cósmicos (1022 Hz) cada banda de frecuencias tiene una característica exclusiva que la hace distinto de las demás bandas. (Wayne, 2003 citado en De la Cruz & Moreira, 2018)

Figura 1

Diagrama del espectro electromagnético.



Nota. El grafico representa el diagrama de espectro electromagnético longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la radiación ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Tomado de *Sistemas electrónicos de comunicaciones frenzel* por Frenzel, L., mayo 2021.

2.1.1.1. Bandas de Frecuencia para Comunicaciones

El espectro total de la frecuencia electromagnética está dividido en subsectores o bandas, cada banda tiene un nombre y fronteras. Concretamente, la banda de radiodifusión FM Comercial se prolonga de 88 a 108 MHz, la asignación y regulación es llevado a cabo por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) en Estados Unidos. (Couch, 2008, citado en Calero & Pilco, 2019)

Tabla 1

Designaciones de banda del CCIR.

Número de Banda	Rango de Frecuencia	Designaciones
2	30 - 300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 - 3 KHz	VF (frecuencias de voz)
4	3- 30 KHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 - 300 KHz	LF (frecuencias bajas)
6	0.3 - 3 MHz	MF (frecuencias medias)
7	3 - 30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 - 300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	0.3 - 3 GHz	UHF (frecuencias ultras altas)
10	3 - 30 GHz	SHF (frecuencias super altas)
11	30 - 300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 - 3 THz	Luz infrarroja
13	3 - 30 THz	Luz infrarroja
14	30 - 300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 - 3 PHz	Luz visible
16	3 - 30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 - 300 PHz	Rayos X
18	0.3 - 3 EHz	Rayos gamma
19	3 - 30 EHz	Rayos cósmicos

Nota. Esta tabla muestra las designaciones de banda del CCIR Tomado de Couch (2008 citado en Calero & Pilco, 2019).

CLASIFICACION DE LOS TRANSMISORES POR FRECUENCIA

Tabla 2

Transmisores por frecuencia.

SIGLAS	SUBDIVISION	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENCIA	CARACTERISTICAS DE PROPAGACION	USO TIPICO
	Ondas muy largas (milimétricas)	De 30000 m a 10000 m	De 10 kHz a 30 kHz	Propagación por onda de tierra; atenuación débil; características estables	Enlaces de radio gran distancia
LF	Ondas largas (kilométricas)	De 10000 m a 1000 m	De 30 kHz a 300 kHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables	Enlaces de radio en navegación aérea y marítima
MF	Ondas medias (hectométricas)	De 1000 m a 100 m	De 300 kHz a 3 MHz	Similar a VLF y a LF, absorción elevada en el día; propagaciones ionosféricas por la noche	Radiodifusión

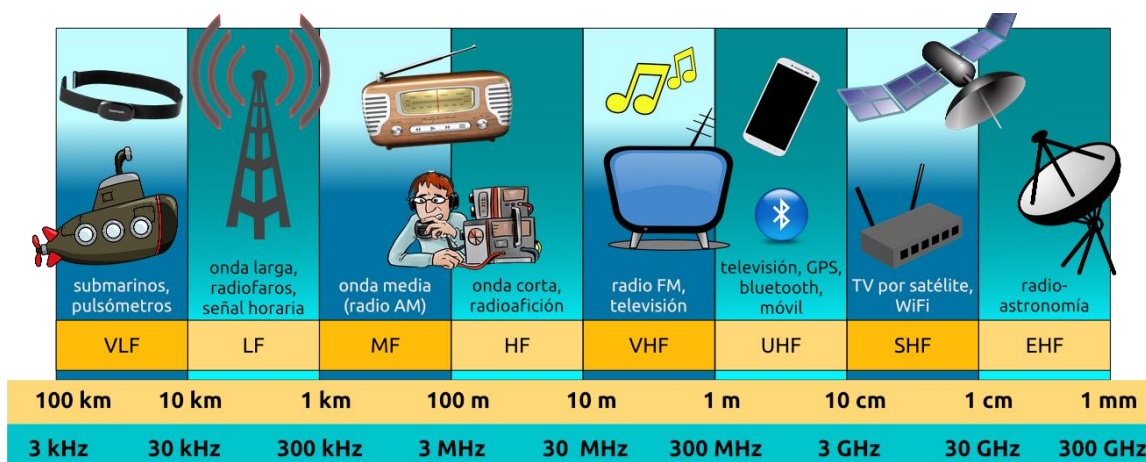
SIGLAS	SUBDIVISION	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENCIA	CARACTERISTICAS DE PROPAGACION	USO TIPICO
HF	Ondas cortas (diamétricas)	De 100 m a 10 m	De 300 MHz a 30 MHz	Propagaciones ionosféricas con fuertes variaciones estacionales y en diferentes horas del día y de la noche	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia
VHF	Ondas cortísimas (métricas)	De 10m a 1 m	De 30 MHz a 300 MHz	Propagación directa; esparcidamente propagación ionosférica o troposférica	Enlace de radio a corta distancia, TV, y frecuencia modulada
UHF	Ondas ultracortas (dosimétricas)	De 1 m a 10 cm	De 300 MHz a 3 GHz	Exclusivamente propagación directa; posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales	Enlaces de radio, TV, radar ayuda a la navegación aérea.
SHF	Microondas (centimetricas)	De 10 cm a 1 cm	De 3 GHz a 30 GHz	Igual que la UHF	Radar, enlaces de radio

SIGLAS	SUBDIVISION	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENCIA	CARACTERISTICAS DE PROPAGACION	USO TIPICO
EHF	Microondas (milimétricas)	De 1 cm a 1 mm	De 300 GHz a 300 GHz	Igual que la UHF	Radar, enlaces de radio
EHF	Microondas (decimilimétricas)	De 1 mm a 0.1 mm	De 300 GHz a 300 GHz	Igual que la UHF	Radar, enlaces de radio

Nota. En tabla se observa las divisiones por saltos de frecuencia

Figura 2

Modo de llegar a los televidentes era mediante el aire con ondas de radio en las bandas de VHF y UHF.



Nota. Las bandas de frecuencia son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones.

Tomado de *blogspot Ondas Electromagnética*, por Belleza, A. (2019, marzo).

2.1.1.1.1. VHF

A juicio de Larrea et al. (2010) en Ecuador se ha establecido una subdivisión banda por banda en VHF, cada una con diferentes características de propagación. Esto permite que SUPERTEL use estas bandas para una variedad de aplicaciones. Una característica distintiva de las radios VHF, UHF y SHF es su corto alcance de superficie terrestre. La comunicación directa punto a punto entre estaciones terrestres está limitada a un alcance de decenas de km. Al pasar por la atmósfera, no se reflejan en las diferentes capas, las atraviesan por completo y se pierden en el espacio. El límite es el horizonte óptico. La televisión y la radio FM se transmiten en VHF y solo tienen cobertura local la comunicación a más de 1000 millas por kilómetros utiliza satélites

artificiales que reflejan las señales que llegan en la línea recta y regresan a la Tierra. Bajo ciertas condiciones, las propiedades refractivas de la atmósfera están disponibles y pueden alcanzarse a distancias considerables durante diferentes períodos de tiempo puede quedarse varios días. La atmósfera con mayor impacto en las frecuencias VHF y más altas es la troposfera, que está dominada por el cambio climático. Las condiciones de transmisión de VHF y el cambio climático.

2.1.1.1.2. Banda VHF bajo

Para Morejón (2010) las frecuencias en esta banda se utilizan para establecer conexiones fijas o móviles mono canal. Su propagación se puede considerar como una transición entre la banda de alta frecuencia de HF y la banda de frecuencia de VHF, que puede verse afectada por la interferencia de largo alcance causada por reflejos esporádicos en la ionosfera. Además, requiere una mayor utilización de energía y antenas más grandes. Principalmente debido a su radio de alto nivel, es adecuado para áreas rurales.

2.1.1.1.3. Banda VHF alto

Acosta (2020) plantea que, el ancho de esta banda se utiliza principalmente para establecer conexiones de un solo canal. En este tipo fijo o móvil su propagación se ve afectada en gran medida en visibilidad, por la atenuación del espacio libre que aumenta con la frecuencia, y las condiciones del terreno relacionadas, que causan reflexión, difracción y trayectorias múltiples.

Es poco probable que ocurran condiciones de propagación anormales en esta banda, y esta proporciona un enlace confiable que funciona normalmente sin interferencias. La aplicación es muy útil para sistemas móviles con amplia cobertura en áreas urbanas, suburbanas y rurales, principalmente porque reduce en gran medida las

interferencias de radio existentes. Tamaño de la antena, proporcionan ingresos suficientes. (Astudillo, 2019)

2.1.1.1.4. Algunas Aplicaciones

Rivas (2015) Indica “Parte de la banda de frecuencias VHF es utilizada en transmisión de radio FM y televisión abierta, por tanto, para explotar una parte del espectro de frecuencias regulado, se debe solicitar a la SIGET (Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.) la respectiva concesión” (p.29)

Algunas de las aplicaciones que suele tener este rango de frecuencias pueden ser las siguientes:

- Radiocomunicación privada.
- Radio navegación.
- Sistemas troncalizados comerciales.
- Televisión abierta, etc.

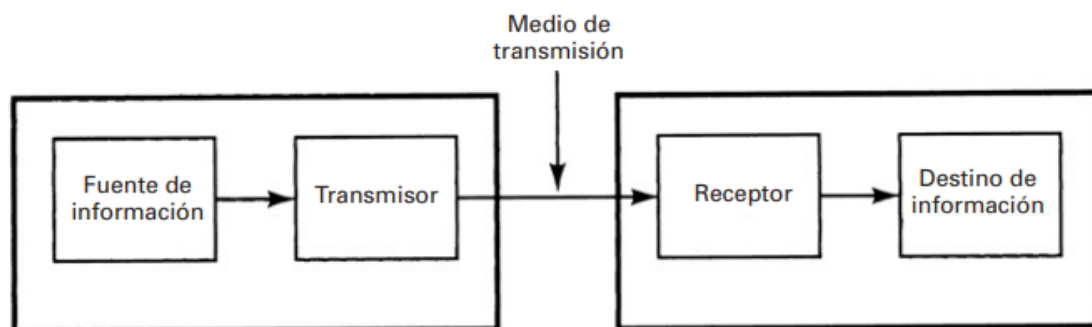
2.1.2. Sistemas de Comunicaciones

Un sistema de comunicaciones es un conjunto de dispositivos que son utilizados con la finalidad de transmitir, emitir y recibir señales de todo tipo, como voz, datos, audio, video, etc., además dichas señales pueden ser del tipo digital o analógica. Un sistema de comunicaciones puede describirse fácilmente mediante tres elementos básicos; un transmisor, el cual se encarga de generar la señal que se desea y acoplarla de tal forma que pueda viajar a través del canal, mediante procedimientos como modulación, filtrado, codificación, etc.; un medio de transmisión, el cual será el canal mediante el cual la señal va a viajar, y puede ser desde fibras ópticas, cables coaxiales, hasta el mismo aire; y finalmente un receptor, que realiza el procedimiento inverso del

transmisor con la finalidad de reconstruir la señal y que esta sea lo más parecida a la original. (Tomasi, 2015)

Figura 3

Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas.



Nota. El gráfico representa un diagrama de bloque de un sistema de comunicaciones electrónicas simplificado tomado de *Sistemas de Comunicaciones electrónicas* (p.2), por Tomasi, W. (2015). Pearson.

2.1.2.1. Modo de Transmisión

Dentro de las comunicaciones y los sistemas electrónicos, a medida que la tecnología avanza se han ido diseñando y modificando para que estos puedan realizar envío y recepción de la información, esto puede ser en un solo sentido, en ambos sentidos en diferentes tiempos o de manera simultánea. (Ojeda, 2013)

2.1.2.1.1. Simplex

Llanos (2019) expresa que en el modo simplex los equipos se pueden comportar ya sea como emisor o receptor, pero no como ambos en el mismo tiempo. Esta transmisión se lo realiza en un solo sentido, por ejemplo, la comunicación entre la emisión comercial de radio y televisión.

En el modo simplex la comunicación solo se realiza en un sentido, desde el terminal transmisor al receptor. (Llanos, 2019, p.12)

2.1.2.1.2. Semidúplex (HALF DUPLEX)

Para Blanco (2019) Semidúplex permite la transmisión en los dos sentidos, pero esta transmisión solo puede producirse de forma alterna. En este caso solo uno de los dos terminales puede transmitir en cada instante. (p.9)

Este tipo de comunicación se caracteriza por la comunicación en ambos sentidos, pero no de manera simultánea, por ejemplo: Redes sociales, radios de banda policiaca, radio de banda civil, Walkie-Talkie.

2.1.2.1.3. Dúplex (FULL DUPLEX)

Este tipo de comunicación es más completa que Simplex y Half Dúplex, aquí podemos comunicarnos en ambos sentidos de forma simultánea, el trasmisor puede ser receptor, por ejemplo, la telefonía convencional.

Olvera, Hernández, & Romero (2012, citado en Llanos, 2019) es el método de comunicación más aconsejable, puesto que los datos fluyen en ambas direcciones a la vez entre los equipos del emisor y el receptor, transmitiendo esa información de manera simultánea. En este modo tiene dos frecuencias esto permite la transmisión de datos simultánea. (p.13)

2.1.2.1.4. Dúplex Total (FULL-FULL DUPLEX)

En la opinión de Lisintuña (2019) En las comunicaciones Full-Full Dúplex la transmisión de datos se realizan en ambos sentidos y de manera simultánea,

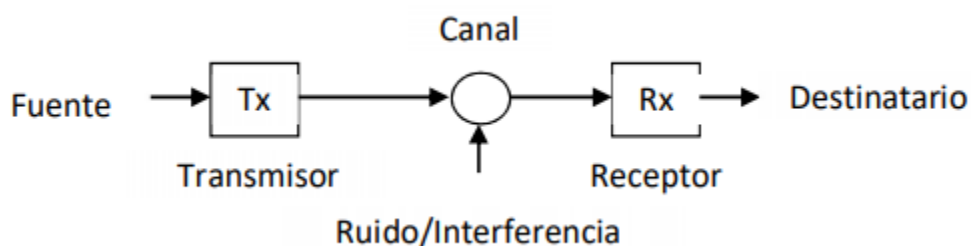
pero a diferencia de las comunicaciones Dúplex, el envío de información no necesariamente se realiza entre las mismas estaciones, esto significa que un dispositivo A puede enviar información a un dispositivo B, y al mismo tiempo

recibiendo información de otro dispositivo C. Como ejemplo podríamos describir el Servicio Postal en EEUU. (p.23)

2.1.2.2. Modelo de un Sistema de Comunicaciones

Figura 4

Modelo de un sistema de comunicaciones.



Nota. El gráfico representa el modelo de un sistema de comunicaciones que usa señales para la transmisión de un mensaje desde una fuente hasta un destino. Tomado de *Modelos de Comunicación* (p.23) por E. Galeano, 2019, Lecciones del Portal.

Fuente

Galeano (2019) define la fuente como el mensaje y la información que originalmente se pretende enviar. Ejemplo:

- Solo voz humana, imagen de TV.
- SMS o mensaje de datos.

Transmisor

Es un dispositivo que convierte una señal de banda base en otra señal, con características óptimas, transmitida por el canal de comunicación utilizado para transmitir la información emitida por la fuente. (Galeano, 2019)

Canal de comunicación

Aquí es donde la información viaja de transmisor a receptor, puede ser conductor, cable coaxial, guía de ondas, cable de fibra óptica, enlace inalámbrico, entre otros medios existentes.(Galeano, 2019)

Ruido / interferencia

Son agentes externos al sistema que agregan o modifican la información enviada. El ruido se considera generalmente una interferencia. El ruido también se puede definir como un componente de voltaje o corriente no deseado que se superpone a un elemento de señal que se está procesando o interfiere con la medición. (Galeano, 2019)

Receptor

Este es un dispositivo que procesa la señal enviada por el canal y restaura la señal original de la fuente en un intento de eliminar el ruido o la interferencia de la entrada. (Galeano, 2019)

Destinatarios

La entidad desea proporcionar información generada desde la fuente y debe recibir de manera confiable la información generada desde la fuente. (Galeano, 2019)

2.1.2.3. Tipos de Sistemas de Comunicación

2.1.2.3.1. Análogos

Las medidas físicas se utilizan cuando hablamos de utilizar señales analógicas, que son especialmente usadas para llevar a cabo la transmisión de elementos de vídeo o sonido. Aunque son señales de tipo continuo hay que decir que su expansión se produce por la entrada en escena de las ondas de tipo senoidal. Para que las distintas

señales analógicas que se transmitan puedan ser interpretadas de una manera adecuada habrá que tener un decodificador que permita cumplir con el proceso de trabajo. (Barreto & Mora, 2018)

Ventajas

Santamaría (2014) entre las ventajas de la señal analógica destaca que hay poco consumo de ancho de banda, mientras que por otro lado es un tipo de acción que se procesa en tiempo real. Hay menores necesidades en términos de inversión y la calidad suele ser más fiel a la realidad (cuando hablamos de la transmisión de sonido).

Desventajas

La principal es lo complicado que resulta solucionar una transmisión fallida en comparación a si estuviéramos usando una señal digital. Sin llegar a uno de estos fallos trabajando con señales analógicas también se corre el riesgo de ver cómo el contenido en cuestión se degrada a medida que realizamos copias. Esto no ocurre en una señal digital, donde no importa el número de veces que la repliquemos, dado que nunca hay bajada de calidad.(Avilés, 2017)

Las señales analógicas están más limitadas que las digitales debido al poco soporte que proporcionan en términos de volumen de datos que permiten transmitir. Aun así, hay algunos contextos en los que sí siguen siendo útiles, como es el caso de los micrófonos. (Maldonado, 2019)

2.1.2.3.2. Digitales

Señales digitales, que se aplican de una manera más recurrente gracias a su flexibilidad y polivalencia. La información no se transmite del mismo modo, sino que en esta situación se usa un sistema de códigos binarios (los números 0 y 1) con los que se

realiza la transmisión bajo una pareja de amplitudes que da monumentales modalidades. (Santamaría, 2014)

Para Barreto & Mora (2018) Término asociado directamente a la tecnología, aunque inicialmente hacían referencias a los relacionados a los dedos. Desde ese punto se podría decir que digital tendría que ser aquella interacción directa de ser humano a través de los dedos con la tecnología u aparato electrónico. (p.25)

El proceso del que conversábamos con las ondas senoidales en las señales analógicas cambia de manera completa para ofrecer paso a ondas cuadradas, lo cual posibilita hacer uso de la modulación digital y de un tipo de señal que no es continua. Hay puntos que se tienen que considerar tal y como ya hemos dicho anteriormente, como que las señales digitales otorgan una más grande capacidad para transmitir información de una forma fiel. (Astudillo, 2019)

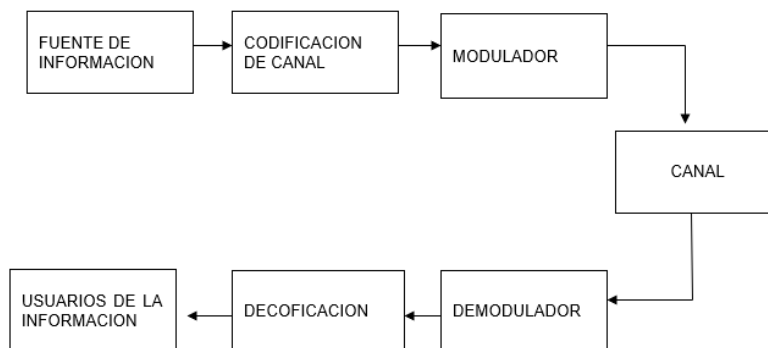
En otras palabras, Las muchas posibilidades que dan las señales digitales, la facilidad que hay para transmitir información con ella y la forma en la cual tienen la posibilidad de utilizar sin pérdida de información, hicieron que se impongan en el mercado. Y aun cuando, como decíamos en el apartado anterior, las señales analógicas todavía se utilizan en ciertos entornos, es más recurrente que se opte por las digitales inclusive teniendo presente que sus costes son más elevados.

Asimismo, la zona tecnológica ha observado que en este sentido la transmisión de información era de mayor relevancia disponer de una señal eficiente que con una económica. En otros términos, es lo que vemos aplicado al sector de los dispositivos móviles cada vez que los usamos.

2.1.2.4. Bloques de sistemas de Comunicación

Figura 5

Diagrama de bloques de un sistema de comunicación.



Nota. El diagrama representa un módulo con los símbolos de un sistema de comunicación de modo que el lector no se confunda sobre la localización de las señales en sistema completo. Tomado de *Introducción a los sistemas de comunicaciones digitales* (p.33) por Francesc & Francesc, 2019, Universidad Oberta de Catalunya.

2.1.2.4.1. Fuente de información

Es la encargada de convertir el mensaje que se desea transmitir en una señal eléctrica adecuada al tipo de sistema que se va a utilizar. Por tratarse de un sistema de comunicación digital, la fuente debe generar una señal de tipo digital. En el caso de que la señal eléctrica sea de tipo analógico, será necesario utilizar un conversor A/D que convierta dicha señal analógica en señal digital. (García & Paba, 2017)

2.1.2.4.2. Codificación de canal

Codificador de canal se añade redundancia, esto es debido a que la redundancia generada por la fuente de información no aporta nada a la transmisión sin embargo la redundancia añadida por el codificador de canal sirve para mejorar la transmisión.

(Mora, 2014)

El principal objetivo de la codificación de canal es la protección de 13: información digital a transmitir o almacenar asegurándole una mayor inmunidad frente al ruido, de manera que no llegue alterada al receptor, independientemente de la bondad del canal.(Escabosa, 2017, p.33)

2.1.2.4.3. Modulador

El modulador realiza la operación de la modulación, que es el proceso por el cual se modifica alguna de las características de la portadora mediante la señal moduladora. Los parámetros de la portadora susceptibles de ser modificados son la amplitud, la frecuencia y la fase, así, se obtienen modulaciones digitales.(Cortés et al., 2020)

2.1.2.4.4. Canal

Canal de transmisión va a ser el medio que va a utilizar la señal modulada para ser transmitida. (Escabosa, 2017)

2.1.2.5. Modulación

A juicio de Castillo-rodíguez (2021) la modulación es un proceso que tiene por finalidad modificar alguna característica de la denominada onda portadora, tomando como referencia la forma de la señal que se tiene como información. La característica que cambia en la onda denominada portadora, puede ser la amplitud, la frecuencia o la fase y la señal que se toma como referencia puede ser de audio o video.

2.1.2.5.1. Modulación de amplitud (AM)

Gutierrez (2019) define a la modulación de amplitud (AM), como una técnica que utiliza preferentemente para la transmisión de señales que tienen baja frecuencia, utilizando el aire o un conductor como medio físico. Para lograr este objetivo, se usa una señal de alta frecuencia denominada portadora, cuya amplitud se va modificando

de acuerdo a la forma de la señal que se desea transmitir, entonces el mensaje queda ubicado en la envolvente de esta señal.

Flores (2018) expresa a la modulación (AM) como el proceso mediante la cual se hace variar a la portadora en amplitud, de acuerdo a la amplitud que tiene la señal que se desea transmitir. Con este tipo de modulación, la señal de información se imprime en la envolvente de la portadora. De las definiciones mencionadas, se colige que la modulación de amplitud es una técnica utilizada para modificar la amplitud en la portadora, tomando como referencia la señal audible o imagen que se desea transmitir. Lo que se desea lograr, es convertir la 27 señal con frecuencia baja que ingresa, a un valor de frecuencia muy superior, variando uno de sus parámetros que en este caso es la amplitud de la portadora.

Francesc & Francesc (2019) enuncia las ventajas y algunas desventajas que presenta esta forma de modulación, las cuales se detallan a continuación.

Ventajas

- Fácil generación de la onda portadora, por el valor de la frecuencia que es del orden de Kilohertz.
- La señal fuente de audio o video, requiere poco nivel de amplificación para que pueda ingresar al modulador.
- Reduce considerablemente la longitud de la antena que irradia la señal.
- Requiere pocos componentes para su construcción.
- Se aplica a sistemas de radiodifusión comercial como la radio y TV, radioaficionados y comunicaciones aeronáuticas y marítimas.
- Por sus características técnicas, permite la fácil construcción del equipo receptor.

Desventajas

- El ancho asignado a la banda es muy reducido, por lo que puede ser considerado como insuficiente, ya que la cantidad de información debe ser limitada, afectando la calidad de la información recepcionada.
- La máxima eficiencia en la transmisión no supera el 33%, lo que demuestra que se producen pérdidas en la información procesada.
- La portadora siempre genera la onda correspondiente, aunque no se transmita ninguna información.
- Se introducen interferencias al sistema que puede ser ruido eléctrico, estático o atmosférico.

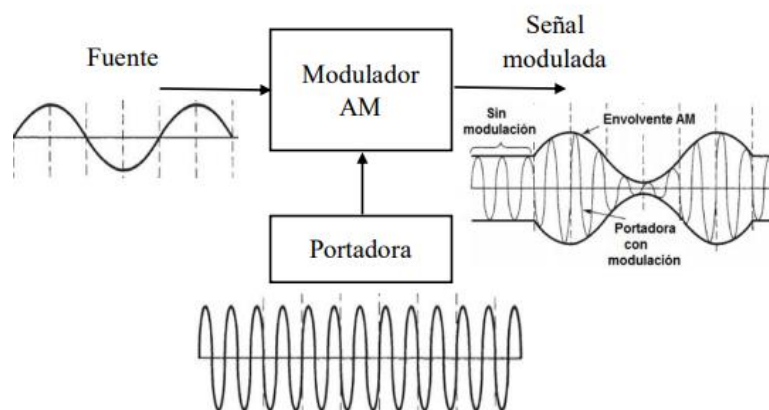
Señales que se procesan Modulación de amplitud (AM)

Para Garcia & Paba (2017) las señales básicas procesadas en el modulador (AM) son:

- a) La señal fuente que ingresa y que es de baja frecuencia, correspondiente a la información que se desea transportar a un lugar distante y que puede ser sonido audible o imagen en forma de video.
- b) La señal portadora de alta frecuencia que también ingresa, de amplitud constante obtenida mediante un circuito oscilador.
- c) La señal que sale y que es producto de la mezcla de las señales entrantes, la cual recibe el nombre de señal modulada y que contiene la señal fuente en la envolvente. La forma de representar las etapas con las señales procesadas en la modulación por amplitud, es la que se muestra a continuación.

Figura 6

Señales procesadas en la modulación AM.



Nota. El grafico muestra las señales procesadas en la modulación (AM) y como funciona mediante la variación de la amplitud de la señal transmitida en relación con la información que se envía. Contrastando esta con la modulación de frecuencia, en la que se varía la frecuencia, y la modulación de fase, en la que se varía la fase. Tomado de *Introducción a los sistemas de comunicaciones digitales* (p.37) por Francesc & Francesc, 2019, Universidad Oberta de Catalunya.

2.1.2.5.2. Modulación de frecuencia (FM)

Modulación

Perna (2010) La modulación abarca el conjunto de técnicas empleadas para transmitir información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Esta técnica permite un mejor aprovechamiento del canal de comunicación, lo que a su vez facilita el hecho transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos. (p.20)

Algunas de las técnicas de modulación más difundidas para Perna (2010) son:

- Modulación de amplitud [AM]
- Modulación de frecuencia [FM]
- Modulación de fase [PM]
- Modulación en doble banda lateral [DSB]

Demodulación

La demodulación es el proceso mediante el se recuperar la información transportada por una onda portadora; previamente modulada en el extremo transmisor. (Gutiérrez, 2019)

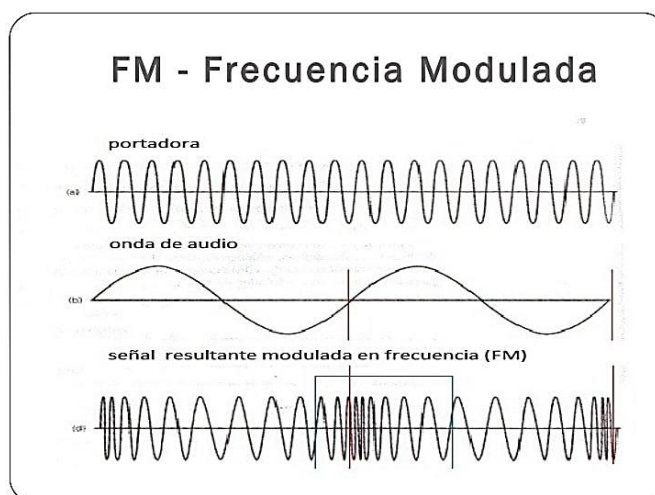
Frecuencia modulada (FM)

Para Salazar (2015) El proceso de modulación de frecuencia consiste en variar la frecuencia portadora con una amplitud constante proporcional a la amplitud de la señal modulada a una velocidad igual a la frecuencia de la señal moduladora. La frecuencia portadora oscila rápida o lentamente según la onda de modulación.

Por consiguiente, cuando se aplica un modulador de 100 Hz, la onda moduladora sube y baja 100 veces por segundo en relación con su frecuencia central f_c . Es una portadora, además el grado de esta variación depende de la masa con la que se modula la portadora, conocida como índice de modulación. El ruido y la interferencia cambian la amplitud de la onda, por lo que la información se extrae de las fluctuaciones de frecuencia en lugar de la amplitud constante y no tiene ningún efecto sobre la información transmitida por FM. (Salazar, 2015).

Figura 7

Frecuencia Modulada.



Nota. La modulación de frecuencia, o frecuencia modulada, es una técnica de modulación angular que permite transmitir información a través de una onda portadora variando su frecuencia. *Diseño e Implementación de un Generador de Radio Frecuencia en las Bandas de VHF y UHF* por D. Herrera & S. Montero, 2018, *Universidad Nueva Esparta*.

Transmisor FM

Espectro de una señal de frecuencia modulada, su forma en general y la dependencia del ancho de banda con el índice de modulación de la señal de FM. En el dominio temporal es posible observar la apariencia de una señal modulada en frecuencia. El alumno podrá llevar a cabo emisiones en FM y recibirlas a través de un receptor de FM definido por software o a través de una aplicación de radio FM en un celular. (Rodríguez, 2016)

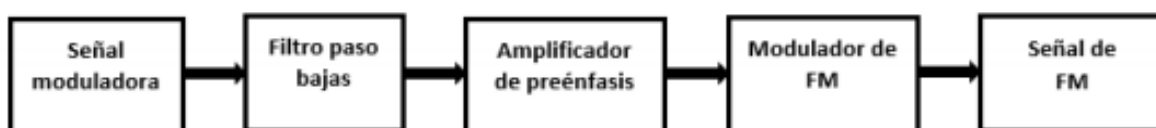
Diseño de Transmisor FM

Rodriguez (2016) da a conocer que La señal moduladora en el caso del transmisor de FM puede ser un archivo de audio o un tono. El filtro paso bajas limita la señal de audio a una frecuencia de 15 KHz para concordar con el rango de frecuencias establecido por la IFT.

Al demodular una señal de FM se tiene que el voltaje de ruido aumenta conforme aumenta la frecuencia de la señal demodulada” Esta distribución no uniforme de ruido es inherente a la modulación FM. El amplificador de preénfasis simplemente contrarresta este fenómeno amplificando más las frecuencias altas de la señal moduladora. El siguiente bloque es el encargado de realizar la modulación en frecuencia por lo que a la salida de éste se tiene una señal de frecuencia modulada. (p.68)

Figura 8

Diagrama del transmisor FM.



Nota. Este gráfico muestra el mismo diagrama del transmisor FM, pero con los nombres reales de los bloques. Tomado de *Transmisor Y Receptor De Frecuencia Modulada Didáctico Para Uso En Los Laboratorios De La F.I.S.E.I.* (p.43), por J. Salazar, 2015, Universidad Técnica de Ambato.

BANDA FM, EN EL ECUADOR

Sarango (2014) describe que está distribuida en 100 canales, dichos canales poseen un ancho de banda de 180 kHz para estaciones monoaurales y de 220 kHz para

las estereofónicas. Para la asignación de canales consecutivos (adyacentes), destinados a servir a una misma zona geográfica, deberá observarse una separación mínima de 400 kHz entre cada estación de la zona. (p.70)

2.1.2.5.3. Modulación de Fase (PM)

Castillo-rodríguez (2021) define como un proceso donde el parámetro de la señal portadora que variará de acuerdo a señal moduladora es la fase, manteniendo la frecuencia y la amplitud constante, es un tipo de modulación exponencial al igual que la modulación de frecuencia.

Asimismo, Se utiliza ampliamente en la radiodifusión comercial, transmisión de sonido de televisión, radio móvil de dos sentidos, radio celular y los sistemas de comunicaciones por microondas y satélite.

Ventajas de la Modulación de Fase

- Reducción de ruido
- Fidelidad mejorada del sistema
- Uso más eficiente de la potencia .

Desventaja

Este tipo de modulación requiere de un gran ancho de banda y circuitos más complejos, tanto en el transmisor, como en el receptor ya que puede presentar problemas de ambigüedad para determinar por ejemplo si una señal tiene una fase de 0° o 180° .

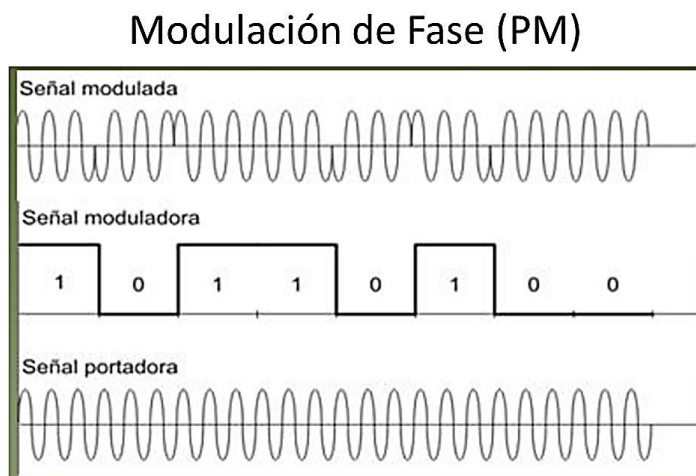
Ancho de Banda

El ancho de banda de una señal de PM, al igual que en frecuencia modulada, se extiende indefinidamente teniendo una amplitud estándar o de rango de transferencia

de 58kHz con 6 canales de transferencia, cancelándose solamente en ciertos valores de frecuencia discretos. Cuando la señal moduladora es una senoide el espectro de potencia que se tiene es discreto y simétrico respecto de la frecuencia de la portadora. (Tomasi, 2015)

Figura 9

Modulación de Fase.



Nota. Esta gráfica señala la banda base es la señal que contiene la información que se desea ser modulada para ser transmitida. Para este ejemplo la señal en banda base puede ser seleccionada entre un tono senoidal, una señal triangular, cuadrada, diente de sierra, aleatoria y una suma entre una señal senoidal y una aleatoria. Tomado de *Sistemas de Comunicaciones electronicas* (p.21) por J. Salazar, 2015, Pearson.

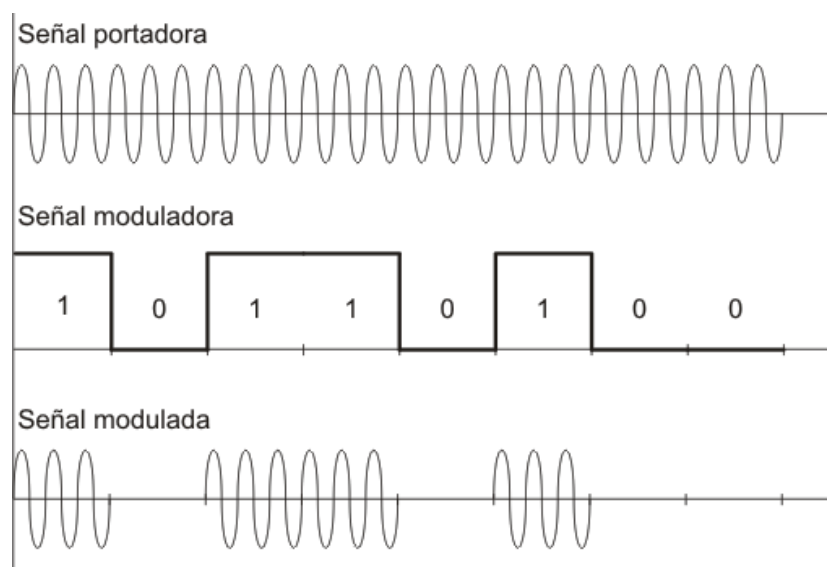
2.1.2.6 Modulación Digital

Según Veloz (2016) Los sistemas digitales de comunicación o sistemas de comunicaciones digitales incluyen a aquellos en los que hay portadoras analógicas de frecuencia relativamente alta, que se modulan mediante señales de información digital

de relativamente baja frecuencia, y a los sistemas que manejan la transmisión de pulsos. El termino comunicaciones digitales abarca una gran área de técnicas de comunicaciones, que incluyen la transmisión digital y el (o la) radio digital. Se aplica a la transmisión de pulsos digitales entre dos o más puntos en un sistema de comunicaciones. La radio digital es la transmisión de portadoras analógicas moduladas digitalmente entre dos o más puntos de un sistema de comunicaciones.

2.1.2.6.1. Modulación ASK

La técnica de modulación digital más sencilla es la modulación digital de amplitud (ASK, Amplitudes-shift keying), es una modulación de amplitud donde la señal moduladora (datos) es digital. Los dos valores binarios se representan con dos amplitudes diferentes y es usual que una de las dos amplitudes sea cero; es decir uno de los dígitos binarios se representa mediante la presencia de portadora a amplitud constante, y el otro dígito se representa mediante la ausencia de la señal portadora.(Veloz, 2016, p.80)

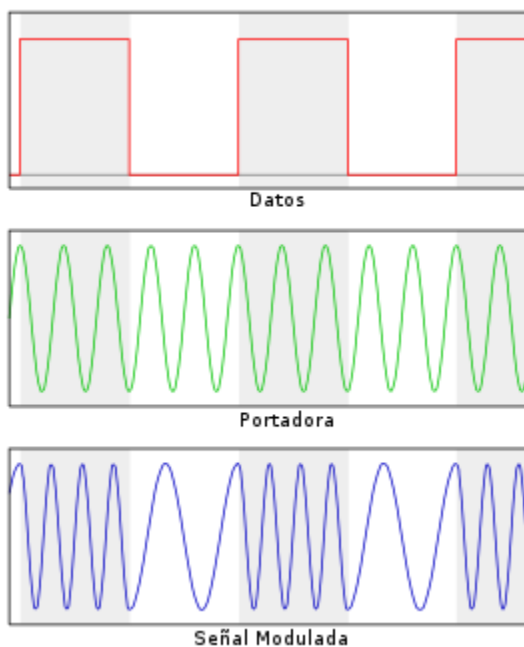
Figura 10*Modulación ASK*

Nota. Debido a que la señal moduladora es una secuencia periódica de pulsos, su espectro de frecuencias obtenido por medio del desarrollo en serie compleja. Tomado de *Transmisor Y Receptor De Frecuencia Modulada Didáctico Para Uso En Los Laboratorios De La F.I.S.E.I.* (p.57), por J. Salazar, 2015, Universidad Técnica de Ambato.

2.1.2.6.2. Modulación FSK

Para Veloz (2016) La manipulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, de frequency-shift keying) es otro tipo relativamente sencillo y de baja eficiencia de modulación digital.

La FSK es una forma de modulación de ángulo, de amplitud constante, parecido a la modulación convencional de frecuencia (FM), pero la señal moduladora es una señal binaria que varía entre dos valores discretos de voltaje, y no es una forma de onda analógica que cambie continuamente. (p.81)

Figura 11*Modulación FSK*

Nota. EL Grafico señala que el FSK (Frequency-shift keying) es un tipo de modulación de frecuencia cuya señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados. Tomado de *Modulación FSK* por F. Moreno, (mayo,2016)

2.1.2.6.3. Modulación M-PSK

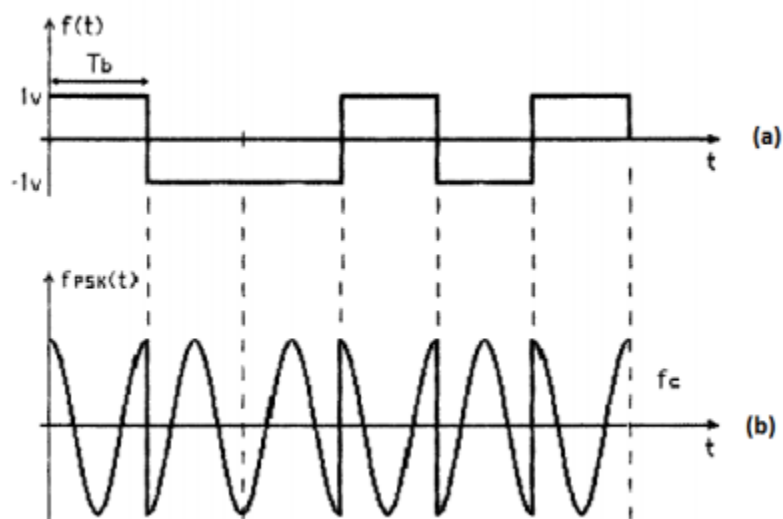
Para Veloz (2016) La manipulación por desplazamiento de fase (PSK, por phase-shift keying) es otra forma de modulación digital angular de amplitud constante.

Se parece a la modulación convencional de fase, excepto que en la PSK la señal de entrada es una señal digital binaria, y es posible tener una cantidad limitada de fases de salida. PSK o también llamada modulación por desplazamiento binario de fase (BPSK, Binary phase shift keying), es una técnica de modulación digital en la que la información se va a modular en fase,

es decir, dependiendo de los valores de la entrada digital, la señal analógica modulación va a tener una u otra fase de salida. (p.84)

Figura 12

Modulación M-PSK.



Nota. Señales de la modulación PSK: (a) Señal binaria de información; (b) Señal modulada PSK. Tomado de *Modulación FSK* por F. Moreno, (mayo,2016)

2.1.2.7. Comunicaciones Digitales

Francesc & Francesc (2019) los define como el término comunicaciones digitales abarca una gran área de técnicas de comunicaciones, que incluyen la transmisión digital y el (o la) radio digital. Se aplica a la transmisión de pulsos digitales entre dos o más puntos en un sistema de comunicaciones. La radio digital es la transmisión de portadoras analógicas moduladas digitalmente entre dos o más puntos de un sistema de comunicaciones. (p. 65)

2.1.2.8. Radio Digital

Astudillo (2019) distingue a un sistema de radio digital (o sistema de radio digital) de un sistema de radio tradicional AM, FM o PM es la naturaleza de la señal modulada. Tanto los sistemas inalámbricos analógicos como los digitales utilizan operadores. Sin embargo, en la modulación analógica, la señal modulada es analógica y en la modulación digital, la señal modulada es digital. Sin embargo, tenga en cuenta que, para la modulación analógica y digital, la fuente original puede ser analógica o digital. (p.170)

2.1.2.8.1. Compresiones de audio codificaciones

Audio comprimido

Los datos de audio, al igual que todos los datos, se suelen comprimir para facilitar el almacenamiento y el transporte. La compresión de la codificación de audio puede ser sin pérdida o con pérdida. La compresión sin pérdida se puede desempaquetar para restablecer los datos digitales a su forma original. La compresión con pérdida elimina necesariamente cierta información de este tipo durante la compresión y descompresión, y se parametriza para indicar cuánta tolerancia se debe dar a la técnica de compresión a fin de quitar datos. (Mallarino & Solis, 2018)

Codificaciones del audio

La codificación de audio se utiliza para disminuir la tasa de bits conservando la calidad del audio con el fin de comprimir la señal y ahorrar espacio de almacenamiento. Las ventajas más destacadas de la codificación del audio es que en el transmisor se disminuye el ancho de banda, gracias a esto se puede aumentar la velocidad de transmisión. (Mallarino & Solis, 2018, p.11)

Waveform Audio File Format.

WAV (formato de audio de forma de onda). Extensiones: wav

Desarrollado por Microsoft e IBM, apareció por primera vez en el entorno Windows en 1995. Almacena muestras de audio digital de 8 o 16 bits, procesa datos en mono o estéreo y admite tres frecuencias de muestreo: 11.025.kHz, 22,05 kHz. Los archivos WAV pueden ocupar una gran cantidad de espacio en disco. El tamaño requerido para esta calidad es, que es demasiado grande (especialmente para usuarios de Internet). canciones convertidas a WAV pueden ocupar fácilmente entre 20 y 30 MB. (Hidalgo, 2015)

“En el transcurso se convirtió en el estándar para grabar música en CD. Su soporte de reproducción es uno de los más importantes porque funciona en computadoras domésticas comunes con aplicaciones y reproductores de CD de Windows”(Hidalgo, 2015, p.44)

WAV son las siglas de Waveform Audio File Format. WAV es un archivo sin comprimir que transmite archivos de CD de música de buena calidad. Sin comprimir significa que son copias exactas de la fuente de audio original. Tiene la misma calidad, pero se almacena de forma un poco diferente. (Castillo & Remache, 2021)

El formato de archivo de audio WAV es mucho más universal. Como no están comprimidos, ocupan mucho espacio innecesario. Si uno necesita editar el archivo nuevamente, entonces no debe guardar el archivo en este formato. Los archivos WAV se pueden manipular y editar más fácilmente; es más preferible para profesionales o empresarios por una mayor calidad. No es un formato de archivo popular para transferir archivos a través de Internet, pero debido a su simplicidad y calidad, también es popular. (Castillo & Remache, 2021)

2.1.2.9. FM Estéreo

La radio FM no es más que transmitir una estación que funciona sintonizando. La banda de FM comercial utiliza frecuencias de 87,5 MHz a 108 MHz. Desde allí, retransmiten la mayoría de las estaciones de radio en Europa, Estados Unidos y otras partes del mundo. (Romero et al., 2016)

Para Barón & Núñez (2020) sobre FM estéreo señalan que las transmisiones en la banda de FM inicialmente en "mono" (modulación con un solo canal de audio), no tienen la calidad espacial de los eventos reales, siendo necesaria la codificación estéreo.

La señal de FM estéreo tiene codificado el audio dividido en 2 canales, derecho e izquierdo, portados ambos en un rango de frecuencia comprendido entre 15 Hz y 50 KHz. Así el altavoz derecho del receptor reproduciría la señal modulada en el derecho y el altavoz izquierdo la modulada en el canal izquierdo. (De la Cruz & Moreira, 2018)

Por ultimo Barón & Núñez (2020) En la emisión de un canal FM en estéreo se debe mantener la compatibilidad con receptores "mono", sensibles a una única señal. Si este tipo de aparatos recibiesen el canal derecho o el canal izquierdo perderían información sobre la señal total de audio, por lo que en la estructura de las emisiones FM, y puesto que existe un excedente de banda en cada canal, se añade una tercera modulación suma de las modulaciones derecha (R, Right) e izquierda (L, Left).

2.1.2.9.1. Limitaciones de la radiodifusión sonora en FM

La calidad y accesibilidad son dos características de las señales de transmisión de audio FM. La recepción de estas señales se puede realizar con el uso de un pequeño dispositivo de mano, lo que permite a los usuarios oyentes realizar sus actividades diarias mientras utilizan estos servicios. Los inconvenientes de estas

transmisiones surgen de problemas con la tecnología de modulación analógica utilizada. (Romero et al., 2016)

Para Barón & Núñez (2020) sobre las limitaciones de la radiodifusión sonora en FM se resume de la siguiente manera:

- No es demasiado robusta a la cancelación selectiva de frecuencia, es decir, a la recepción multiproyecto.
- Necesita relaciones portadora-ruido medias.
- Necesita de un nivel medio de señal, para asegurar buena recepción.
- Se puede contaminar con algunos tipos de ruido procedentes de actividades humanas (motores, etc.).
- Los receptores se saturan con gran facilidad, haciendo que la recepción de muchos de los programas se distorsione.
- Existe saturación del espectro, hay demasiadas emisoras y, además, con una diferencia de niveles enorme.
- Este sistema tiene muy limitada su capacidad para transmitir datos (RDS).
- El sistema está definido sin capacidad interactiva

2.1.2.9.2. La señal múltiplex (MPX)

Según Tamayo (2020) sobre la señal multiplex nos plantea que: La señal MPX o señal estéreo múltiplex es la señal de la que se alimenta el emisor y, por consiguiente, es la señal que se emite y la que se obtiene en el receptor. La señal MPX es una señal que tiene las señales de audio Suma y Resta, además de otros servicios como tienen la posibilidad de ser los SCA o el Radio Data System (RDS). Con esta señal compuesta es modulada la exclusiva frecuencia portadora.

La señal MPX tiene un ancho de banda de 100kHz. Es fundamental además que el audio se recorte a 15kHz tanto en la Señal Suma como en la Resta, para no interferir con servicios contiguos.(Kim & Parikh, 2017)

Tamayo (2020) refiere que el espectro típico de la señal multiplex está compuesto de las próximas señales:

- 30Hz a 15kHz: Señal suma de los canales de audio L+R.
- 19 kHz: Piloto estéreo
- 57kHz: Servicio de datos RDS
- 67kHz a 94kHz: Servicios de Autorización de Comunicaciones Subsidiarias (SCA)

2.1.2.9.3. Señal Suma

Beltran (2007, citado en Tamayo, 2020) indica que la señal de suma se transmite a la banda en el rango de frecuencia de 30 Hz a 15 kHz. Esta parte del MPX (hasta 15 kHz) es la única parte que decodifica el receptor mono.

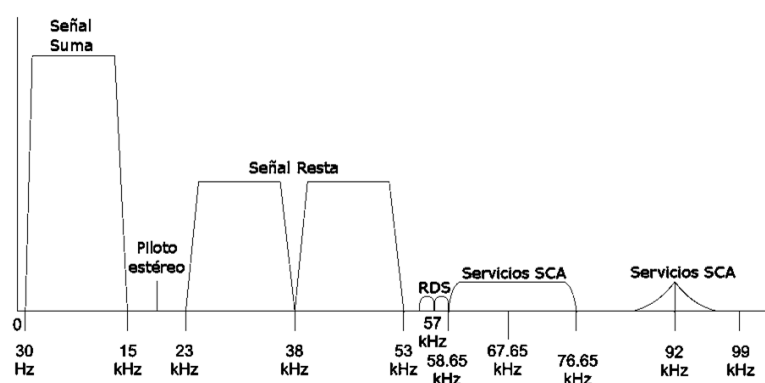
2.1.2.9.4. Señal Resta

La señal Resta se transmite centralmente a 38 kHz en el rango de 23 kHz a 53 kHz y se modula usando la señal portadora suprimida de doble banda (DSBSC). La razón de la modulación con DSBSC es que esta modulación no necesita la radiación de la señal portadora, lo cual ahorra la potencia de salida y usa más potencia activa del transmisor. Si la señal Resta se irradia individualmente, la onda portadora AM modulada puede transmitir la señal en la onda, sin embargo, la onda portadora se debería al producido de que solo es necesario AM para modular la onda portadora y producir la señal de banda lateral que va a ser cancelado. Beltran (2007, citado en Tamayo, 2020)

Para eliminar la portadora de la señal de resta, es necesario diseñar un mecanismo que facilite la sincronización y transferencia de tonos piloto a 19 kHz. Por lo tanto, el receptor puede multiplicar el tono por 2 y sincronizar con la señal de resta (centrada en 38 kHz). $19 \times 2 = 38$ Esto le permite reproducir un portador que evita la emisión. (Kim & Parikh, 2017)

Figura 13

Espectro de Frecuencia de la señal MPX.



Nota. La señal MPX o señal estéreo múltiplex es la señal de la que se alimenta el emisor y, por lo tanto, es la señal que se emite y la que se recibe en el receptor. La señal MPX es una señal que contiene las señales de audio Suma y Resta. Tomado *Interoperabilidad de señales FM multiplexadas compuestas*, (p.61) por Kim, J., & Parikh, K., 2017, Gatesair.

2.2. SDR

Para Gomez (2012) El concepto de SDR surgió para ofrecer un mejor control al software de un sistema de comunicación que a su contraparte de hardware. Los sistemas SDR combinan tanto tecnologías de Software como de Hardware y de Radiofrecuencia (RF), gracias a la integración se puedan transmitir, recibir y procesar

señales de radio con mayor flexibilidad y eficiencia, comparado con un sistema enfocado solamente en la parte de hardware.

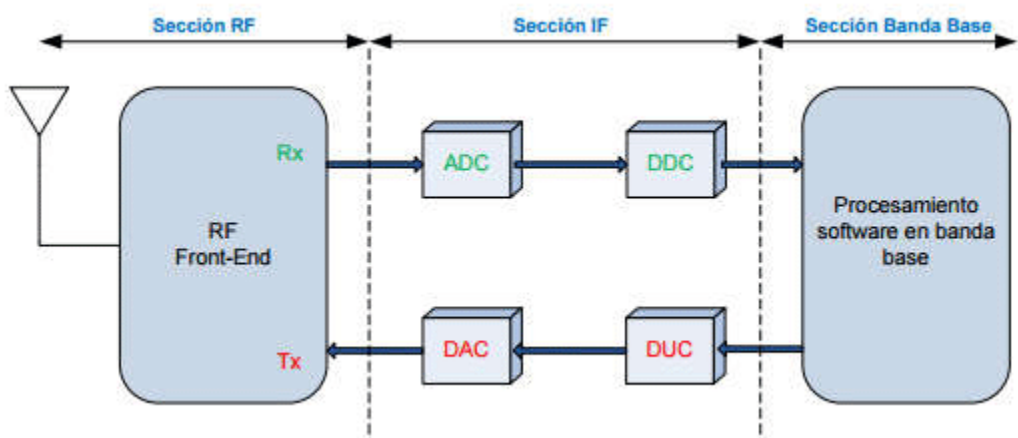
Un sistema SDR intenta que la mayor parte de los componentes del sistema se lo implemente en software y de esta forma gracias a un dispositivo reprogramable, estos componentes pueden ser reconfigurados con facilidad cuando sea necesario, y los problemas que anteriormente se relacionaban a la parte de hardware, sean ahora problemas de software es decir de código o programación. (p.1)

2.2.1. Estructura SDR

Aunque el concepto de SDR ha ido evolucionando con los años se siguen basando en un esquema básico que se compone de tres bloques funcionales: sección de RF, sección de IF y sección Banda Base. De donde la parte de RF e IF se implementan en hardware mientras que la sección de Banda Base en software como se muestra en la Figura.(García & Paba, 2017)

Figura 14

Diagrama de bloques funcionales de SDR.



Nota. Esta figura muestra la representación gráfica de los diferentes procesos de un sistema y el flujo de señales donde cada proceso tiene un bloque asignado y éstos se unen por flechas que representan el flujo de señales que interaccionan entre los diferentes procesos. Tomado de *Aplicación De Un Sistema SDR (Radio Definida Por Software) Para Prácticas Multidisciplinarias En La Carrera De Telecomunicaciones De La Universidad Israel*, por B. Lisintuña, 2019, Universidad Tecnológica Israel.

Pinar & Murillo (2011) señala que la sección de RF también llamada RF Front-End es la responsable de transmitir/recibir las señales de radio frecuencia para adecuarlas y convertirlas en frecuencias intermedias en el caso de la recepción o amplificar y modular las señales de IF adecuándolas para la transmisión en el aire en el caso de la transmisión.

Además, que la sección de IF es la encargada de pasar la señal de IF a banda base y digitalizarla en el caso de la recepción o pasar la señal de banda base a IF y hacer la conversión digital analógica de la señal en el caso de la transmisión.

Asimismo, las encargadas de la conversión analógica-digital o digital-analógica de la señal son los módulos ADC/DAC. Los módulos DDC/DUC son los encargados de bajar digitalmente la señal de IF a Banda Base o subir de banda base a IF respectivamente. La sección de Banda Base es la encargada de todo el procesamiento en banda base de la señal como frequency hopping, establecimiento de sesión, ecualización, manejo de tiempos de bit, entre otros y en algunos casos de la implementación de protocolos del nivel de enlace del modelo OSI. (p.13)

2.2.2. Radio definida por software

La radio definida por software (SDR) se define como que recibe información de control y tráfico compatible con totalmente programable en múltiples frecuencias, modos

de acceso y software de aplicación que permite al usuario cambiar de interfaz. (Salinas, 2020)

La radio definida por software tiene una definición controvertida debido a la falta de consenso que detalla el nivel de reconfiguración requerido para certificar la radio como radio definida por software. Esto se debe a que la radio contiene un microprocesador. Cumple con los requisitos del software de radio, pero la estación de radio determina el procedimiento de modulación, error de respuesta, respuesta, codificación a través del software, tiene cierto control sobre el hardware de RF y explícitamente como el software de radio definido. (Salinas, 2020, p.17)

2.2.3. Características de los dispositivos SDR

Para Torres & Vaca (2014) la naturaleza programable de las plataformas SDR, sus bloques funcionales pueden ser cambiados en tiempo real y sus parámetros de operación pueden ser ajustados bien por un operador humano o por un proceso automatizado. (p.28)

De forma general si se hace referencia a una plataforma SDR deben tenerse siempre presentes las siguientes características:

- **Multifuncionalidad:** Debe ser capaz de soportar múltiples tipos de radio funciones mediante el uso de la misma plataforma digital de comunicaciones.
- **Movilidad Global:** Capaz de operar con las diferentes redes de comunicaciones que se localizan en distintas partes del mundo.
- **Eficiencia de potencia y tamaño:** Una sola plataforma SDR es capaz de soportar diversos estándares de comunicaciones.

- **Fácil de fabricar:** Las funciones de banda base ahora son problema de software y no de hardware.
- **Fácil de actualizar:** Los Firmware pueden ser actualizados y de esta forma facilitar la operación de la plataforma SDR con los estándares de comunicación más recientes.

2.2.4. Tipo de SDR

Se puede determinar una clasificación de las plataformas SDR de acuerdo a su configuración y aplicación. (Torres & Vaca, 2014)

Tipo I: Son en general implementaciones que emplean una tarjeta de audio convencional de una PC como digitalizador y software convencional de PC como elemento de procesamiento. Posiblemente es el tipo que es más accesible para radioaficionados. De este tipo de dispositivos se desglosa una subcategoría que los clasifica en función al manejo de la tarjeta de audio.

- **Tipo Ia: El SDR** se implementa alimentando a la tarjeta de sonido la salida de audio de un receptor convencional de comunicaciones.
- **Tipo Ib:** El SDR realiza el procesamiento introduciendo a la tarjeta de sonido una señal mona que representa una frecuencia intermedia de aproximadamente 12 kHz.
- **Tipo Ic:** El SDR procesa introduciendo a la tarjeta de audio una señal I+Q que representa una frecuencia intermedia en el rango de frecuencias que la tarjeta de audio puede manejar. Este es el tipo quizás más potente, con mejor relación costo-prestación y de mayor atractivo para los aficionados.
- **Tipo Id:** El SDR se procesa introduciendo una señal I+Q en un digitalizador y procesador de señales especializado (no en una tarjeta de audio).

- **Tipo II:** El SDR se implementa con un dispositivo especial que se encarga de capturar la señal desde la antena y la procesa a partir de allí.
- **Tipo III:** El SDR se implementa con un dispositivo especial que captura la señal desde una IF analógica y la procesa a partir de ahí.
- **Tipo IV:** El SDR es implementado por receptores especiales que toman la señal directamente desde su fuente en la frecuencia de trabajo y la procesan en toda la cadena.
- **Tipo V:** Este grupo representa la categoría de SDRs online, son radios software que están implementados en un servidor capaz de proveer parcial o totalmente la capacidad de procesamiento digital de señales, tienen cierta utilidad práctica para radio aficionados puesto que no se requiere de la compra de un equipo para el procesamiento de la señal.

2.3. Software

2.3.1. GNU RADIO

Para Collazos (2017) Es un conjunto de herramientas de desarrollo de software libre y de código abierto que proporciona los bloques de procesamientos de señales para poner en práctica el software de radio. Permite el diseño de radios definidos por software mediante el uso de librerías dedicadas que realizan tareas de procesamiento digital de señales, estas librerías son llamadas en forma de módulos integrados en Python, y se conectan entre sí para formar un diagrama lógico a través del cual pasara la información adquirida por el hardware SDR, cada uno de los módulos se orienta a tareas específicas. (p.38)

GNU radio se divide en varios componentes autónomos:

- **GNURADIO-CORE.** Provee las principales librerías que componen GNU radio.

- **GNURADIO-EXAMPLES.** Contiene código de ejemplo para distintas aplicaciones de GNU-radio.
- **GR-HOWTO-WRITE-A-BLOCK.** Tutorial para crear bloques para procesamiento de señales.
- **PMT.** Nos entrega facilidad de polimorfismo en funciones y datos.
- **MBLOCK.** Implementación que permite el manejo de mensajes basados en paquetes.
- **GR-COMEDI.** Interfaz en Linux para dispositivos de control y medición.
- **GR-AUDIO-OSS.** Interfaz para el driver de sonido Open Sound System Audio.
- **GR-AUDIO-PORTAUDIO.** Interfaz para el desarrollo de aplicaciones de audio multiplataforma.

Este es el argumento de Collazos (2017, p.39)

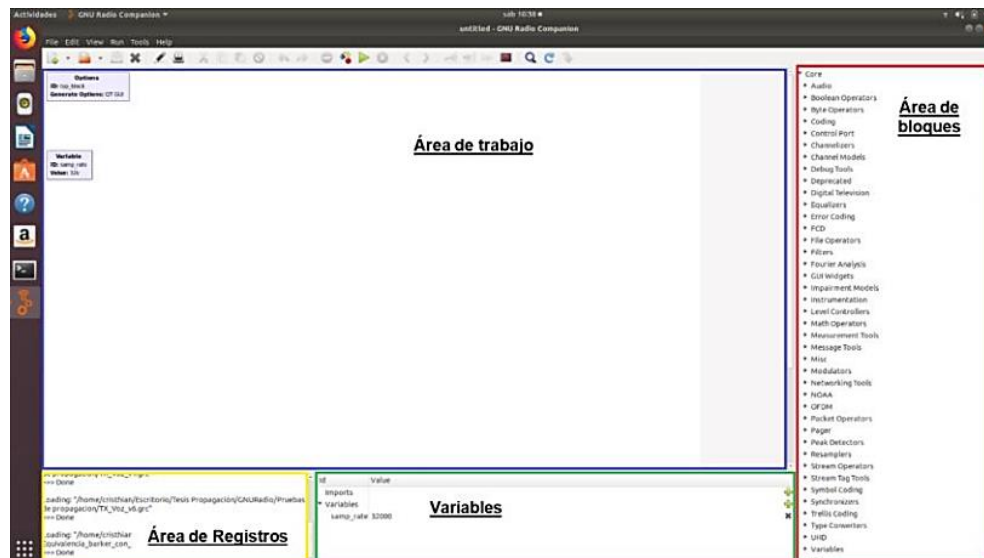
2.3.1.1. Entorno GNU RADIO

GNU radio se divide en 4 áreas que son: área de trabajo, área de bloques, área de registro y un área para las de variables. El área de trabajo corresponde al espacio donde diseñaremos los diagramas de flujo de señal, todos 53 los bloques de procesamiento de señal disponibles en GNU Radio los encontraremos en el área de bloques y para una búsqueda rápida de un bloque en específico se presiona las teclas CTRL+F. En el área de las variables se muestran las variables utilizadas en los diagramas de flujo diseñados y en el área de registro se muestra los mensajes de las actividades realizadas como ejecución de diagramas, mensajes de errores etc.

(Collazos, 2017, p.59)

Figura 15

Entorno GNU Radio.



Nota. Es un conjunto de herramientas de desarrollo de software libre y de código abierto que proporciona bloques de procesamiento de señales para implementar radios de software. Tomado de *Implementación de un Sistema basado en USRP para la medición de radiaciones no ionizantes de radiodifusión FM comercial.* (p.59) Por V. Collazos, Universidad San Martín De Porres.

Capítulo III

3. Desarrollo del Proyecto

3.1. Selección del dispositivo de Hardware

Un elemento clave en el desarrollo de esta propuesta es el hardware a utilizar para la ejecución del presente proyecto, por ende, es necesario contar con un dispositivo que permita trabajar en la banda de frecuencias de 88 a 108 MHz, que es la banda de frecuencias utilizadas para radiodifusión FM. Si bien es cierto se ofrecen varias alternativas, sin embargo, fue necesario determinar que opción presenta la mejor relación calidad/precio/funcionalidad para la implementación.

Por lo tanto, se consideraron las siguientes alternativas: hardware SDR: la placa BLadeRF x40 de Nuand, la placa HackRf One de Great Scott Gadgets y el USRP 2900 de National Instruments. A continuación, se muestran las principales características de los elementos de los posibles hardware que se escogió para implementar el prototipo.

USRP 2900

Dispositivo de Radio Definido por Software, 70 MHz a 6 GHz—El USRP-2900 es un transceptor de RF ajustable con operación dúplex completa. Ofrece conectividad energizada por bus con USB 3.0 o USB 2.0.

El NI USRP-2900 también se puede usar para las siguientes aplicaciones de comunicaciones: espacio en blanco; emisión FM; seguridad pública; dispositivos móviles terrestres, sin licencia de baja potencia en bandas industriales, científicas y médicas (ISM); redes de sensores; radioaficionado o GPS

Figura 16

USRP 2900



Nota. El gráfico representa el Dispositivo de Radio Definido por Software, 70 MHz a 6 GHz—El USRP-2900 es un transceptor de RF ajustable con operación dúplex completa. Ofrece conectividad energizada por bus con USB 3.0 o USB 2.0. Se puede usar para aplicaciones de comunicaciones de emisión FM; dispositivos móviles terrestres, redes de sensores; radioaficionado o GPS. Tomado de *USRP-2900 Software Defined Radio Device Contents* (p.3) por National Instruments, 2017.

Tabla 3

Parámetros USRP-2900

PARAMETROS	USRP-2900
Frecuencia de Funcionamiento	70 MHz - 6 GHz
Tasa de Muestreo	61.4 Msps
Resolución	12 bits
Interfaz	USB 3.0 (5 Gigabit)
Modo de transmisión	Full Duplex
Soporte	Gnu RADIO, LabView, SDR Angel, SDRSharp, otros
Precio	\$1.475

*Nota.*Esta tabla muestra los parámetros de USRP-2900, tomado de National Instruments (2017)

HackRF One de Great Scott Gadgets

El HackRF One es una plataforma de hardware 'open source', se trata de un periférico de radio definida por software, desarrollado a partir de un proyecto de crowdfunding en el año 2009. Es un periférico conectado a un ordenador a través de USB, es capaz de transmitir señales de radio en el rango desde 1MHz hasta 6GHz y está orientado al desarrollo y prueba de las diferentes tecnologías de radio ya sea en el ámbito educativo, así como científico y comercial. Representa una alternativa potente y de bajo costo para generar nuevos sistemas en tecnologías de radio.

Figura 17

HackRF One de Great Scott Gadgets.



*Nota.*Esta grafica muestra el HackRF One, MHz a 6 GHz transceptor frecuencia de operación half duplex. alimentado por USB hasta 20 millones de muestras por segundo.

A juego macho SMA Antena ant500 & Cable USB incluido. Compatible con la radio GNU, SDR #, y más software-configurable RX y Tx, ganancia y filtro de baseband controlada antenna port de potencia (50 mA a 3.3 V) SMA hembra y de conector de

antena SMA hembra del reloj de entrada y salida para la sincronización. Tomado de Análisis software y hardware del SDR HackRF One (p.24) por A. M. Roldán, 2017, Universidad de Granada.

El tipo de transmisión que realiza es Half-dúplex, para ejecutar ciertas aplicaciones puede ser programado también como un dispositivo independiente de un computador, aunque por lo general necesita de éste para que ahí sean realizadas las funciones de procesamiento digital de señales. En la siguiente tabla se muestran las principales características de este dispositivo.

Tabla 4

Parametros de HACK RF.

PARAMETROS	HACK RF
Frecuencia de Funcionamiento	30 MHz - 6 GHz
Tasa de Muestreo	2 Msps
Resolución	8 bits
Interfaz	USB 2.0
Modo de transmisión	Half Duplex
Soporte	Gnu RADIO, LabView, SDR Angel, SDRSharp, otros
Precio	\$300

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de *HACK RF*, tomado de Roldán (2017)

BLADE RF X40

El Bladerf X40 es un radio definido por software (SDR) USB 3.0 asequible diseñado para permitir a los estudiantes y entusiastas de la RF explorar la comunicación inalámbrica y proporcionar a los profesionales una plataforma de desarrollo de formas de onda COTS versátil. El Bladerf x40 es un gran siguiente paso después de usar un SDR como el HackRF One, especialmente con la FPGA incorporada que le brinda más opciones definidas por el usuario.

Fuera de la caja, el BladeRF puede sintonizar desde 300MHz a 3.8GHz sin la necesidad de placas adicionales. A través de software de código abierto como GNU Radio (imagen en vivo), el BladeRF se puede poner en uso inmediato. Con su hardware y software flexible, el BladeRF puede configurarse para funcionar como un módem de RF personalizado, un pico celda GSM y LTE, un receptor GPS, un transmisor ATSC o una combinación de cliente Bluetooth / Wifi, sin necesidad de tarjetas de expansión.

Figura 18

BladeRF USB 3.0 Software Defined Radio.



Nota. Esta tabla muestra los parámetros de *BLADE RF x40* tomado de Nuand (2018)

Se selecciono el hardware Hack Rf One ya que este cumple con los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto como son la frecuencia de

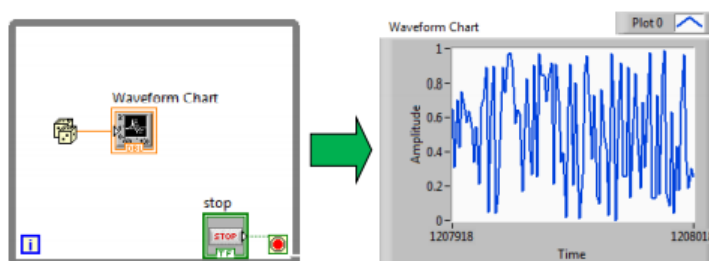
funcionamiento de 1 MHz a 6 GHz, modo de transmisión Half Dúplex, soporte de licencia libre y además de ser económicamente accesible.

3.2. Selección de Software

En el análisis de software para este proyecto se encontraron diferentes plataformas compatibles con la tecnología SDR, desde aplicativos para radioaficionados como son: SDRSharp, SDRAngel y HDSDR, capaces de recibir y modular varios tipos de señales como se muestra en la figura 20 así como también plataformas de desarrollo de sistemas de comunicaciones con características más robustas, es decir, con herramientas para crear diagramas de flujo de tratamiento de señal, como se muestra en la figura 19. A continuación, se recopiló y comparó los principales parámetros de 5 aplicativos como se muestra en tabla 5.

Figura 19

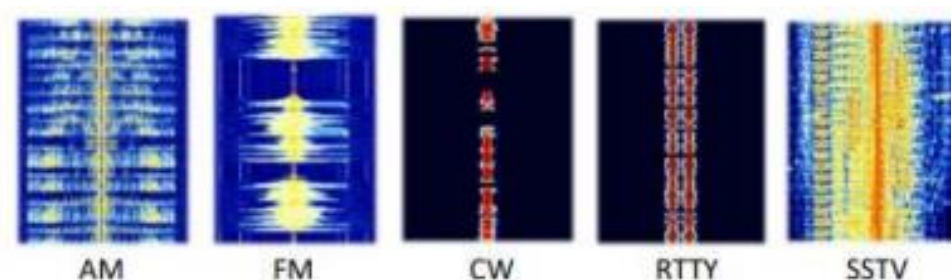
Módulo de Ejercicio: Análisis y Procesamiento de Señales, realizado en software en LabVIEW.



Nota. Este gráfico representa el análisis y procesamiento de Señales, realizado en software en LabVIEW Tomada de Manual de programación LabVIEW 9.0 (p.46), por J. Laime, 2018, Zenodo.

Figura 20

Representación gráfica en tiempo real de la intensidad de señales, realizadas en software SDRSharp, software popular para radioaficionados.



Nota. Este gráfico representa las diferentes señales que son capaces de receptarse en SDRSharp, software gratuito creado principalmente para todos los dongles RTL-SDR Y dispositivos AIRSPY. Tomada de SDRSharp guía de Uso (p.19), por P. Romani, 2021, Airspy.

Tabla 5

Tabla Comparativa de posibles softwares que fueron probables a usarse en este proyecto.

Parámetros	GNU Radio	Matlab	LabVIEW	SDRSharp	SDRAngel
Genero	Diseño de gráficos de flujo de señal y código fuente.	Software Matemático	Entorno de desarrollo gráfico	General SDR	General SDR

Parámetros	GNU Radio	Matlab	LabVIEW	SDRSharp	SDRAngel
Sistema Operativo	Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/ Linux	Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/Linux	Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/ Linux	Microsoft Windows, GNU/Linux	Microsoft Windows, GNU/Linux
Licencia	Libre	Propietario	Propietario	Libre	Libre
Lenguaje	Ingles	Ingles	Ingles	Ingles	Ingles
Herramientas	Fuentes, bloques de procesamiento de señal, sumideros.	Diseñar curvas clasificar datos, analizar señales, ajustar sistemas de control.	Herramientas gráficas y textuales para el procesamiento digital de señales. Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.	Decodificadores Integrados, grabadoras, complementos	Decodificadores Integrados, grabadoras, complementos
Intuitivo	NO	NO	NO	SI	SI
Programación en Bloques	SI	SI	SI	NO	NO
Interfaz Manipulable	SI	SI	SI	NO	NO
Requiere Nivel de conocimientos	SI	SI	SI	NO	NO

Nota. Adaptado de Hacking ético AL IOT mediante SDR (p.57) por A. Valencia, 2018, Universidad Técnica de Ambato.

Conforme el análisis de parámetros, se optó por el software Libre de GNU Radio ya que su conjunto de programas y bibliotecas permiten crear sistemas de radio arbitrarios con sus herramientas como son: Fuentes, bloques de procesamiento de señal, moduladores y sumideros. Estos elementos se pueden usar como ladrillos para el diseño del sistema, cumpliendo con los requisitos de necesarios de nuestro proyecto.

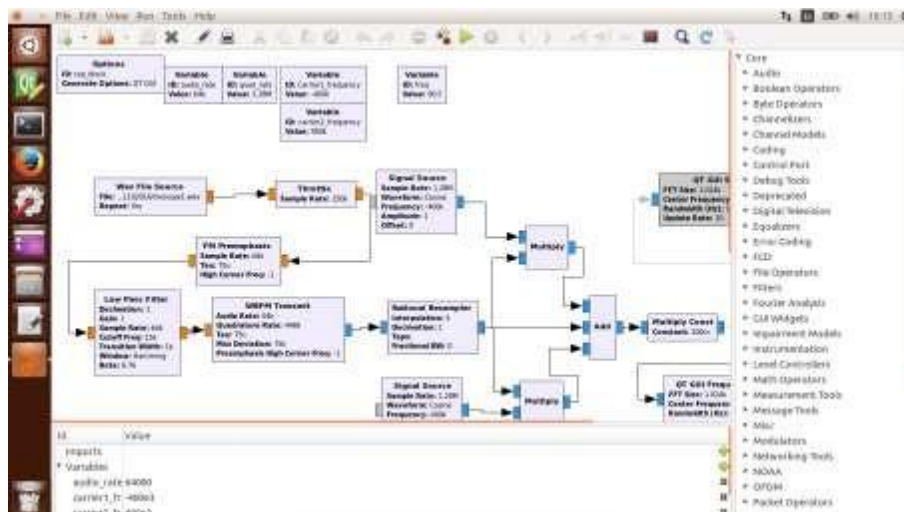
GNU Radio

GNU Radio es una herramienta de desarrollo de software o SDK que provee bloques de procesamiento de señal para implementar sistemas de radio definida por software para lo cual puede ser usado con hardware de RF externo de bajo costo, o sin hardware en un ambiente de simulación. Es utilizado en el ambiente académico, de hobbies y comercial en investigación de sistemas de comunicaciones y sistemas de radio reales. Para De la Cruz & Moreira (2018) GNU Radio se encarga de realizar todo el procesamiento de señales.

Puede ser usado para desarrollar aplicaciones para recibir datos desde fuentes reales o enviar datos en ráfagas digitales, las cuales son luego transmitidas a través del hardware. GNU Radio posee filtros, códigos de canal, elementos de sincronización, ecualizadores, demoduladores, vocoders, decodificadores y muchos otros elementos conocidos como bloques, además, incluye también el método para conectar estos bloques y controlar cómo la información pasa entre éstos. También es posible crear bloques según la necesidad del usuario. (p.64)

Figura 21

Interfaz gráfica de GNU Radio



Nota. Esta gráfica representa el software GNU radio tomado de Vulnerabilidades Usando SDR (p.22) por Ledesma & Agudo, 2020, Universidad de Málaga.

3.3. Preparación

Dado que el aplicativo de GNU Radio fue desarrollado principalmente para sistemas operativos de GNU/Linux es recomendable usar cualquier distribución, ya que, a pesar de que GNU Radio también sea compatible con Windows, se torna más complejo instalar los drivers del hardware y librerías del aplicativo, es por eso que en este proyecto se instaló el Ubuntu versión 20.4 por su soporte, bajo consumo de recursos, bajos requisitos y fácil instalación.

Para iniciar con el desarrollo del proyecto primeramente fue necesario la instalación del sistema operativo Ubuntu el cual fue instalado en un ordenador Hp ProBook, con 8 GB de RAM, un procesador Intel i7 de cuarta generación el que se muestra en la figura 22. Para posterior a esto instalar el software GNU Radio, este se realizó mediante la tienda de soporte Ubuntu como se muestra en la figura 23.

Figura 22

Ordenador utilizado en este proyecto.

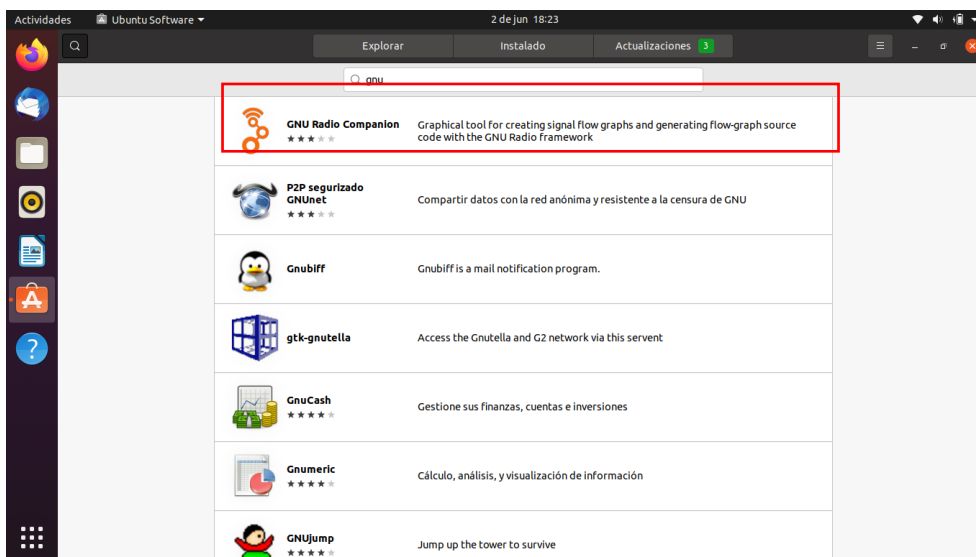


9

Nota. El sistema operativo Ubuntu fue instalado en la una partición del disco duro junto a Windows 10.

Figura 23

Búsqueda de software GNU Radio en la tienda de aplicaciones de Ubuntu.



Seguidamente, fue necesario preparar las librerías que se usaran en el desarrollo del sistema, en este caso, fue necesaria la librería OsmocomSDR, la cual se desarrolló principalmente para el uso de hardware de marca OsmoSDR, actualmente también admite una variedad de fabricantes entre ellos Great Scott Gadgets (fabricante del Hack Rf One), como se muestra en la figura 24, esta librería posee el bloque Osmocom Sink de GNU Radio que se encarga de representar al equipo físico dentro del sistema.

Figura 24

Fabricantes de Hardware SDR compatibles para la librería OsmocomSDR en GNU Radio.

- [FunCube Dongle](#) through [libgnuradio-fcd](#)
- [FUNcube Dongle Pro+](#) through [gr-fcdproplus](#)
- [systocom OsmoSDR Devices](#) through [libosmosdr](#)
- [Nuand LLC bladeRF](#) through [libbladeRF](#) library
- [Great Scott Gadgets HackRF](#) through [libhackrf](#)
- [Ettus USRP Devices](#) through [Ettus UHD](#) library
- Fairwaves UmTRX through [Fairwaves' fork of Ettus' UHD](#) library
- RFSPACE [SDR-IQ](#), [SDR-IP](#), [NetSDR](#) [\(incl. X2 option\)](#)
- RTL2832U based DVB-T dongles through [librtlsdr](#)
- RTL-TCP spectrum server (see [librtlsdr](#) project)
- MSI2500 based DVB-T dongles through [libmirisdr](#)
- [SDRplay RSP](#) through [SDRplay API](#) library
- [AirSpy R820t](#) dongles through [libairspy](#)
- [gnuradio .cfile](#) input through [libgnuradio-blocks](#)

Nota. Se muestra una lista de fabricantes de hardware SDR. Tomada de Osmocom GNU Radio Blocks, por D. Stolnikov, 2020, OsmoSDR,

Para la instalación de esta librería es necesario cerrar el programa GNU Radio, abrir un terminal y escribir el comando `sudo apt-get install gr-osmosdr` que se muestra en la figura 25.

Figura 25

Instalación de librería OsmocomSDR para GNU Radio, realizado con tan solo un comando en el terminal del sistema operativo.

```
root@andres:/home/andres/Escritorio# sudo apt-get install gr-osmosdr
```

Nota. En esta instalación se usó el comando `sudo apt-get install gr-osmosdr`, pero es recomendable actualizar todos los ficheros antes con el comando `sudo apt-get update`.

Para terminar con la preparación del software se instaló los drivers para usar el hardware HackRf One en el ordenador, la instalación se realizó con un solo comando en el terminal de nuestro sistema operativo, como se muestra en la figura 26.

Figura 26

Instalación de los drivers del Hack Rf.

```
root@andres:/home/andres/Escritorio# sudo apt-get install HackRf
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias
Leyendo la información de estado... Hecho
E: No se ha podido localizar el paquete HackRf
root@andres:/home/andres/Escritorio# sudo apt-get update -y
Des:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease [114 kB]
Obj:2 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease
Obj:3 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease
Des:4 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports InRelease [101 kB]
Descargados 214 kB en 21s (9.978 B/s)
Leyendo lista de paquetes... Hecho
```

Nota. En esta instalación se usó el comando `sudo apt-get install Hack Rf`.

Para comprobar que los drivers del Hack Rf esten instalados y funcionales, conectamos el Hack Rf al ordenador por USB, abrimos otro terminal y escribimos `hackrf_info`, obteniendo los detalles del hardware como se detalla en la figura 27.

Figura 27

Comprobación de instalación de drivers con hardware conectado.

```
johanna@johanna:~$ hackrf_info
hackrf_info version: unknown
libhackrf version: unknown (0.5)
Found HackRF
Index: 0
Serial number: 000000000000000057b068dc22396663
Board ID Number: 2 (HackRF One)
Firmware Version: 2018.01.1 (API:1.02)
Part ID Number: 0xa000cb3c 0x006d4349
johanna@johanna:~$
```

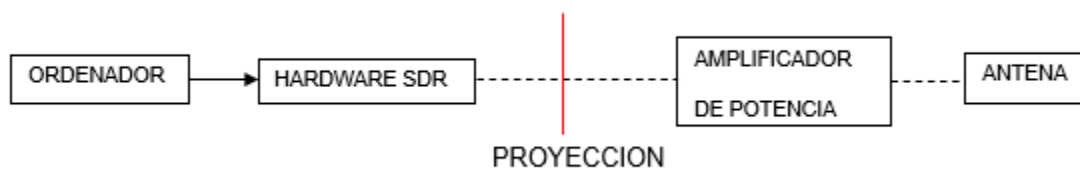
Nota. En esta instalación se usó el comando `hackrf_info`.

3.4. Estructura del Flujograma

El sistema de transmisión FM posee un esquema general bastante simple, sin embargo, su funcionalidad presenta una alta escalabilidad para proyectarse a transmitir a mayores distancias de las limitadas por el hardware, mediante amplificadores de potencia y antenas.

Figura 28

Diagrama de bloques general del sistema.



Nota. Este diagrama presenta las etapas del sistema y sus bloques funcionales.

Figura 29

Hardware y software listo para desarrollo del sistema.



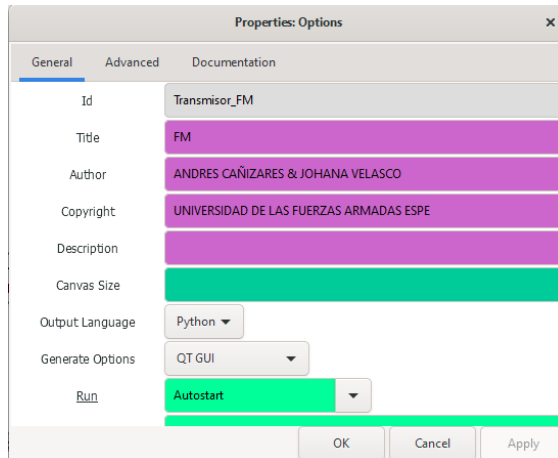
Nota. A continuación se muestra el hardware Hack Rf One conectado al ordenador y a una antena telescópica válida para transmisiones de 75 MHz a 1 GHz, el Hack Rf se encuentra listo para comenzar con el desarrollo y pruebas del sistema, claro esta, luego de la instalación y comprobación de compatibilidad descritas anteriormente.

El sistema se realizó en GNU Radio acorde al análisis realizado anteriormente, se comenzó configurando los parámetros de título, autor, lenguaje de salida y opción de generación de herramientas de análisis todo esto en el bloque "Options" como se muestra a continuación.

Figura 30

Parámetros iniciales del programa.

Options
Title: FM
Author: ANDRES ...ANA VELASCO
Copyright: UNIVER...ADAS ESPE
Output Language: Python
Generate Options: QT GUI



Nota. Configuración de los parámetros de título, autor, lenguaje de salida y opción de generación de herramientas de análisis todo esto en el bloque “Options”. Tomado del programa GNU Radio.

El programa genera una variable automáticamente llamada “Sample Rate”, su funcionalidad es determinar la frecuencia de muestreo con la que el ordenador procesara el programa, por defecto GNU Radio asigna el valor de 32KHz, sin embargo, se tuvo en cuenta que a esta frecuencia, la señal de audio se vería comprometida, ya que está es muy baja para el procesamiento de audio en base al criterio de Nyquist ($f_{\text{muestreo}} \geq 2(f_{\text{maximaseñal}})$), por lo tanto, el valor que se le asigno fue de 480KHz (10 veces más la frecuencia de nuestro archivo de audio).

Figura 31

Frecuencia de muestreo general

Variable
Id: samp_rate
Value: 480k

Nota. Valor que se le asigno a la Frecuencia de muestreo con la que el ordenador procesara el programa. Tomado del programa GNU radio.

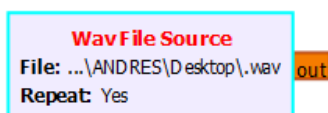
3.5. Desarrollo del Sistema de transmisión en FM banda ancha

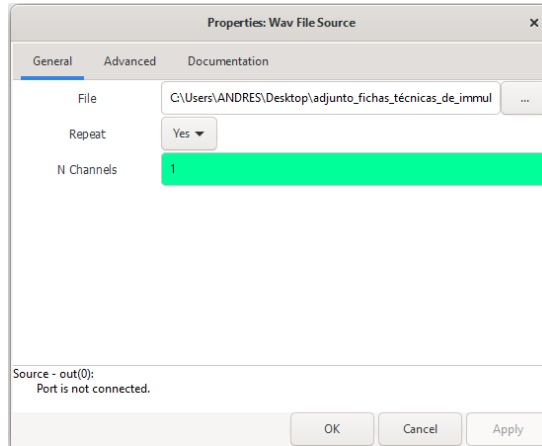
Para empezar, se instaló el bloque llamado “WAV File Source”, encargado de crear una fuente de datos desde un archivo de audio con extensión WAV, el que se consiguió convirtiendo un archivo de audio MP3 en un aplicativo sobre nuestro ordenador, la conversión se realizó mediante el programa WonderShare UniConverter, considerando el parámetro más influyente para la calidad de audio, que es la frecuencia de muestreo, a la que se le asigno un valor de 48KHZ.

Una vez listo el archivo WAV se eligió la ruta de ubicación del archivo en nuestro ordenador, adicionalmente este bloque cuenta con la opción de repetir el archivo de audio y tener más de una salida a diferencia de otras fuentes, como se muestra en la figura 32.

Figura 32

Bloque “Wav File Source” configurado con un solo canal de salida





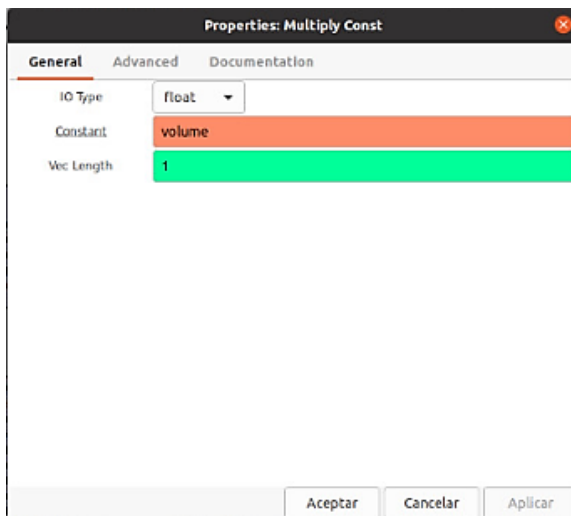
Nota. Configuración con un solo canal de salida en “WAV File Source” para elegir la ruta de ubicación del archivo en el ordenador, además este bloque cuenta con la opción de repetir el archivo de audio y tener más de una salida.

El siguiente bloque “Multiply Const” “Multiplica el flujo de entrada por una constante escalar o vectorial” (Rojas, 2014,p.30) este bloque multiplica la amplitud de nuestra señal por una constante funcionando como un control de volumen para la señal de datos del archivo de audio, el bloque debe ser configurado para que sea capaz de procesar datos flotantes. En la figura 34 se muestra un ejemplo de una señal cosenoidal siendo alterada por dos multiplicadores reduciendo y aumentando su amplitud.

Figura 33

Bloque “Multiply Const” encargado de multilicar una variable por amplitude de la señal entrante

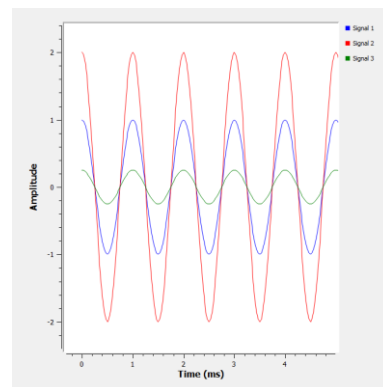
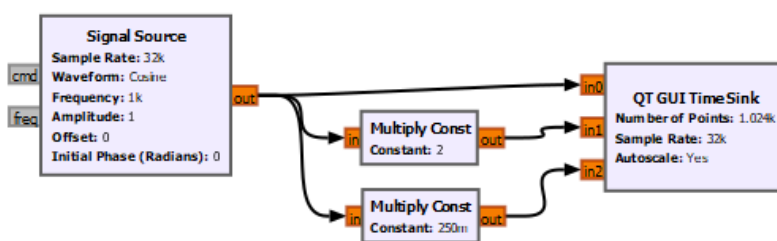




Nota. Bloque “Multiply Const” encargado de multiplicar una variable por amplitud de la señal entrante.

Figura 34

Uso de bloque con 2 variables diferentes (2 y 0.25)

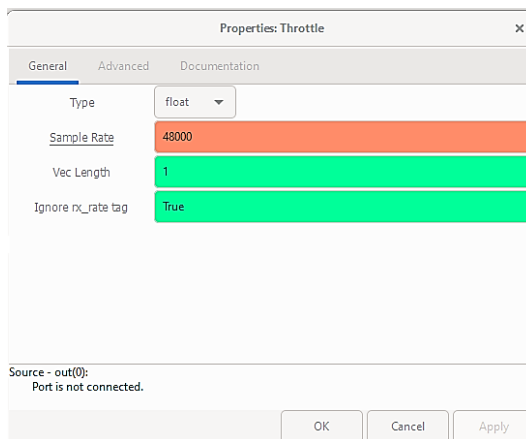


Nota. Este grafico muestra como el bloque “Multiply Const” trabaja cuando una señal cosenoidal siendo alterada por dos multiplicadores reduciendo y aumentando su amplitud. Tomado del programa GNU radio.

El siguiente bloque llamado “Throttle”, tiene la función de restringir o acelerar la salida de los datos generados por el bloque anterior, a una tasa de muestreo específica, este bloque se usa para evitar que el programa consuma demasiados recursos de procesamiento, haciendo más lento el ordenador, poniendo en riesgo la calidad de transmisión. Se realizó un experimento evidenciando la importancia del bloque el cual se muestra en las figuras 36 y 37. El bloque fue configurado con valores de tipo flotante y con una frecuencia de muestreo de 48 KHz.

Figura 35

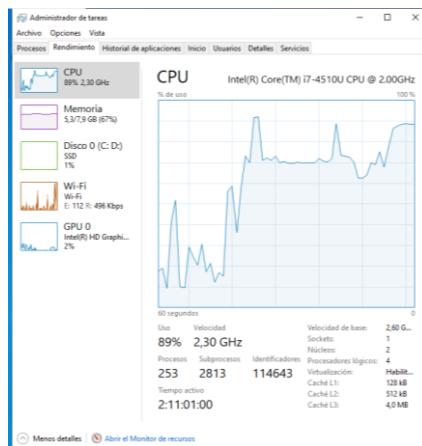
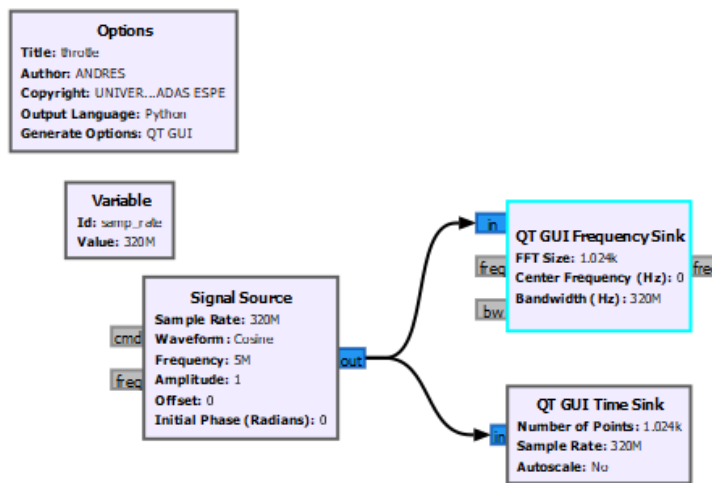
Bloque “Throttle” configurado para usarse con valores flotantes



Nota. Configuración del Bloque “Throttle” configurado para usarse con valores flotantes

Figura 36

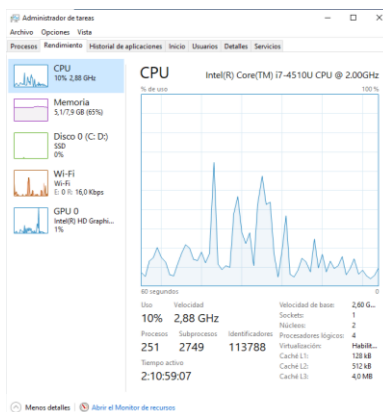
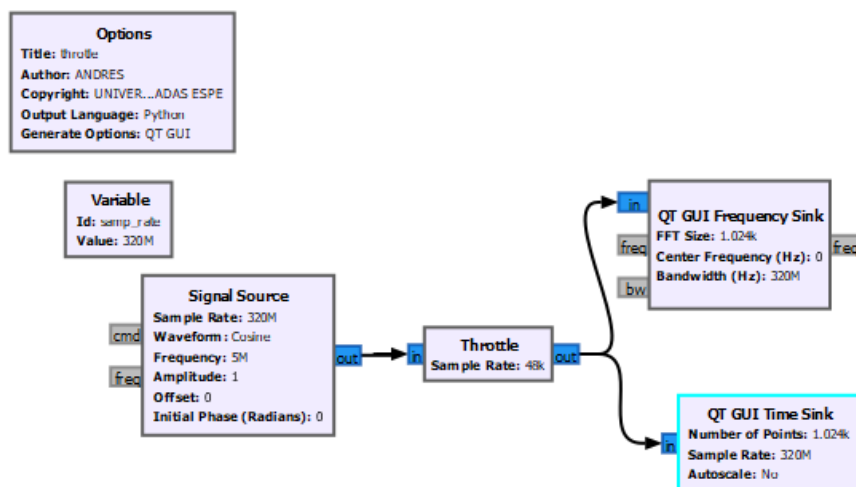
Demostración de importancia de bloque “Throttle” en el sistema.



Nota. Demostración de importancia del bloque “Throttle” en el sistema, el bloque fue configurado con valores de tipo flotante y con una frecuencia de muestreo de 48 KHz. Tomado del programa GNU radio.

Figura 37

Demostración de importancia de bloque “Throttle” en el sistema.

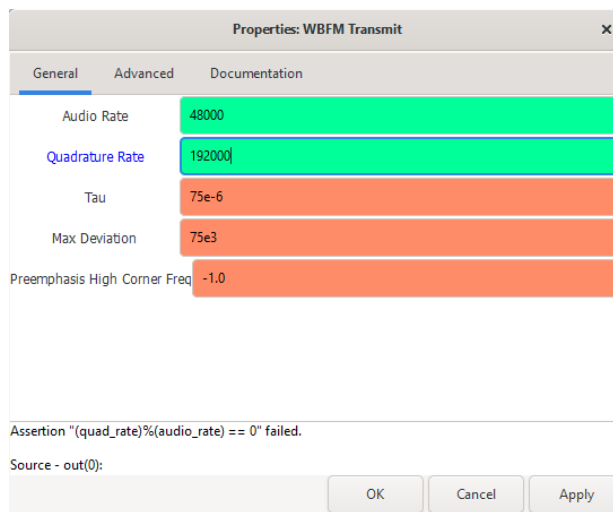
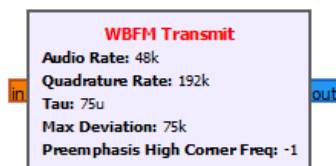


Nota. Demostración de importancia del bloque “Throttle” en el sistema, el bloque fue configurado con valores de tipo flotante y con una frecuencia de muestreo de 48 KHz. Tomado del programa GNU radio.

El siguiente bloque es el de preparación de señal de audio para modulación de banda ancha FM “WBFM Transmit”, este bloque toma una señal y entrega la misma señal modulada en frecuencia, se configuro sus parámetros, las tasas de muestreo de entrada “Audio Rate” y de salida “Quadrature Rate” las cuales deberán ser divisibles. Este programa usó una frecuencia de salida de cuatro veces la entrada, es decir, 192KHz, y una desviación de frecuencia de 75KHz, determinada para la transmisión FM en banda comercial.

Figura 38

Bloque para modulación FM en banda ancha.

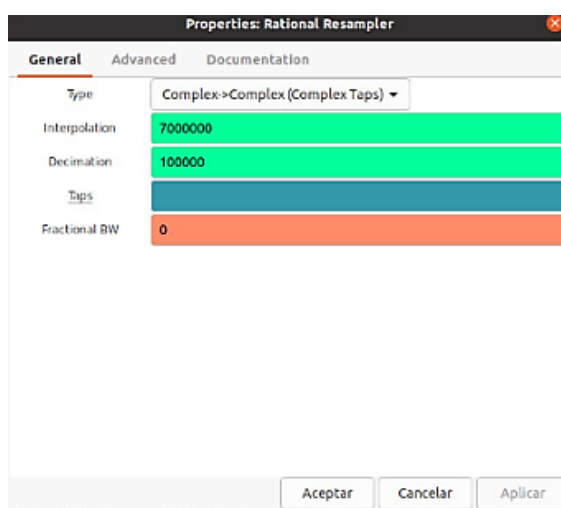
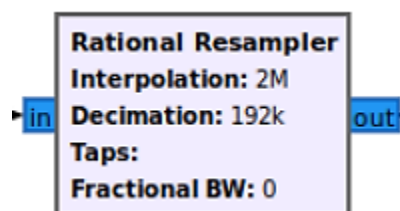


Nota. Configuración del tercer bloque WBFM Transmit. Tomado del programa GNU radio.

El siguiente bloque “Rational Resampler” ajustará la frecuencia de muestreo multiplicándola por el factor de interpolación y dividiéndola por el factor de decimación.

Figura 39

Bloque “Rational Resampler”

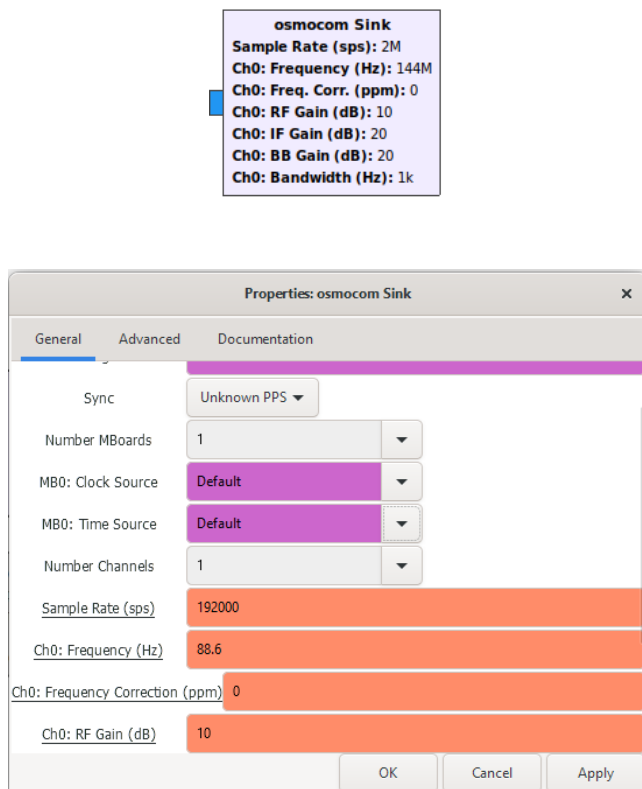


Nota. Configuración del cuarto bloque “Rational Resampler” Tomado del programa GNU radio.

Para terminar, se utilizó el bloque que es parte de la librería OsmoSDR instalada anteriormente, el bloque “osmocom Sink” cumplió con la función de comunicarse con el hardware de radio definido por software, este bloque tiene varios parámetros de configuración, pero en este caso solo se configuro los más relevantes como: ganancia de la antena, frecuencia de transmisión y frecuencia de muestreo como se muestra en la figura 40.

Figura 40

Configuración del bloque “Osmocom Sink”.

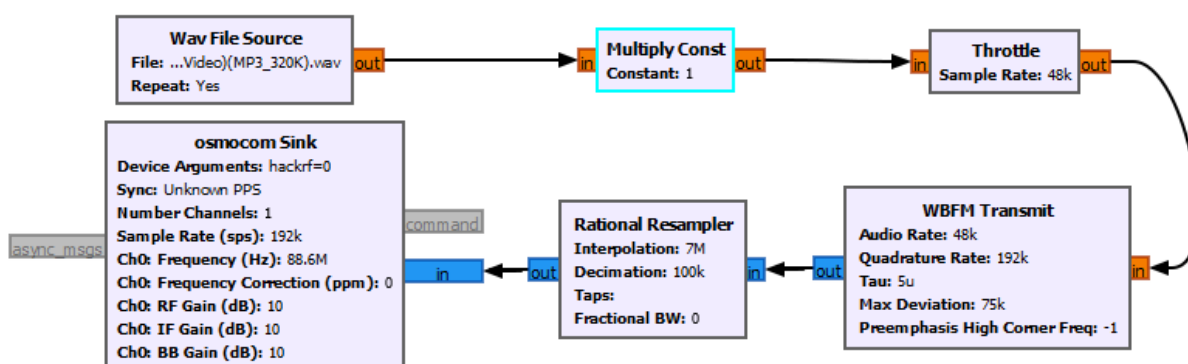


Nota. Configuración del bloque “Osmocom Sink” con: ganancia de la antena, frecuencia de transmisión y frecuencia de muestreo.

En la siguiente figura se muestra todos los bloques vinculados y configurados en el orden como se describió, Multiply Const, Throtle, Rational Resampler y Osmocom Sink, por último, se compilo y se ejecutó el sistema.

Figura 41

Diagrama completo de sistema de transmisión en FM banda ancha.



Nota. Se muestra todos los bloques vinculados y configurados en el orden como se describió, Multiply Const, Throtle, Rational Resampler y Osmocom Sink. Tomado del programa GNUradio.

A pesar de que este sistema no desplego ninguna nueva ventana, ya que no tenía activo ningún bloque de herramienta de análisis o variable, su funcionalidad no fue afectada, al contrario, al aumentar más bloques de procesamiento se pudo sobrecargar el ordenador haciendo que todos los bloques trabajen a menor capacidad por ejemplo reduciendo a la frecuencia de muestreo y afectando la calidad de la transmisión. Sin embargo, para la manipulación y estudio del sistema se agregó más bloques los que se trata a continuación.

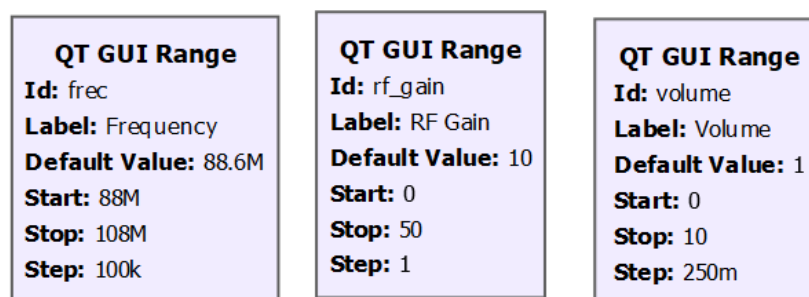
En GNU radio se encuentran herramientas que permiten manipular y analizar los valores de las constantes de los diferentes bloques descritos anteriormente, por ejemplo, darle un valor de otra frecuencia de transmisión o cambiar la ganancia de la antena variando los valores del bloque “Osmocom Sink”

Se coloco 3 variables para la manipulación del sistema de es, con tres bloques “QT GUI Range”, el primero con “Id” o identificador “frec” el que fue el encargado de dar el valor de frecuencia de transmisión por medio de un deslizador por lo que su rango de

valores fue de 88000000 a 108000000, el segundo denominado 'rf_gain' el que está ligado a la ganancia de la antena y por último el llamado 'volume' el que se encargara de alterar la señal multiplicando la amplitud por un valor en el rango de 0 a 10 como se muestra a continuación.

Figura 42

Variables de bloque.



Nota. Se muestra las 3 variables colocadas para la manipulación del sistema de sistema de transmisión en FM banda ancha, con tres bloques "QT GUI Range", el primero con "Id" o identificador freq, rf_gain y volume. Tomado del sistema.

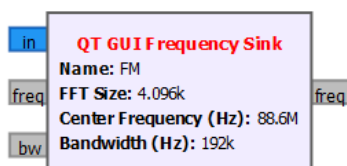
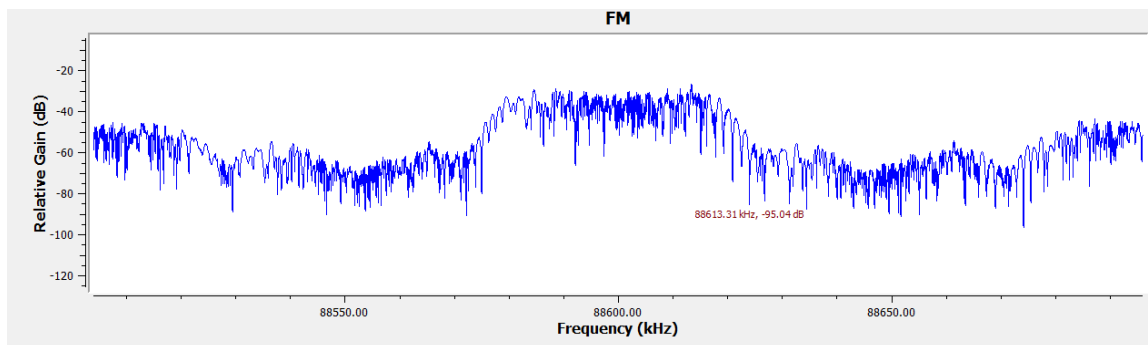
Igualmente, se usó dos herramientas de análisis representadas en los bloques QT GUI Frequency Sink y QT GUI Waterfall Sink.:

QT GUI Frequency Sink: "Esta herramienta permite observar el dominio de la frecuencia de las señales, se observa el espectro de frecuencia de la o las señales que se analicen" (Lincango, 2018, p36)

QT GUI Waterfall Sink: también llamado diagrama de cascada, esta herramienta permite ver el comportamiento de la señal entregando una gráfica similar a un mapa de calor, muestra los picos de potencia en el espectro de frecuencias. (Lincango, 2018)

Figura 43

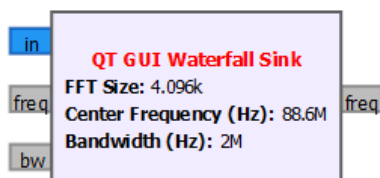
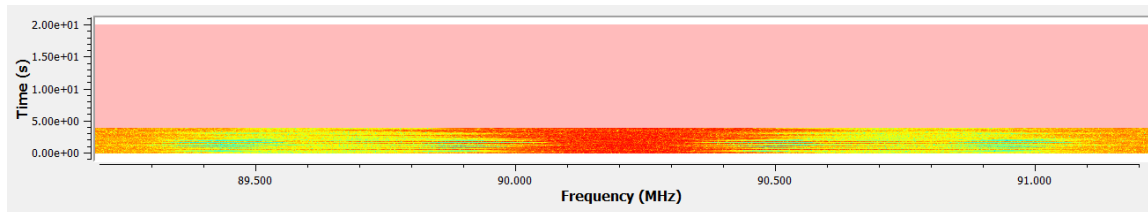
Grafica generada por el bloque "QT GUI Frequency Sink".



Nota. Este grafico representa la ejecución del bloque QT GUI Frequency Sink al colocar las 3 variables descritas. Tomado del sistema.

Figura 44

Grafica generada por el bloque "QT GUI Waterfall Sink".

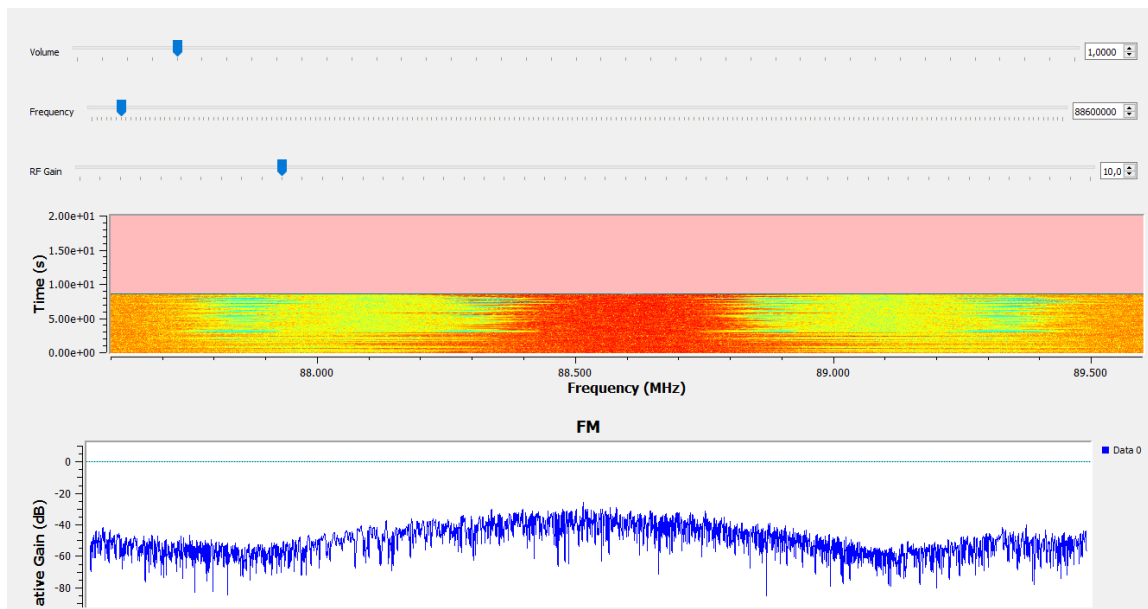


Nota. Este grafico representa la ejecución del bloque *QT GUI Waterfall Sink* al colocar las 3 variables descritas. Tomado del sistema.

Finalmente, por medio de la colocación de las tres variables se observó que se puede manipular la frecuencia, volumen y ganancia en tiempo real sin embargo al utilizar estos nuevos bloques se ve afectada la calidad de transmisión ya que el ordenador no logra procesarlos y se llega a escuchar ruidos en el receptor. La interfaz de nuestro sistema con todas las herramientas de análisis se muestra en la figura 45.

Figura 45

Sistema de Transmisión FM con herramientas de análisis QT GUI.



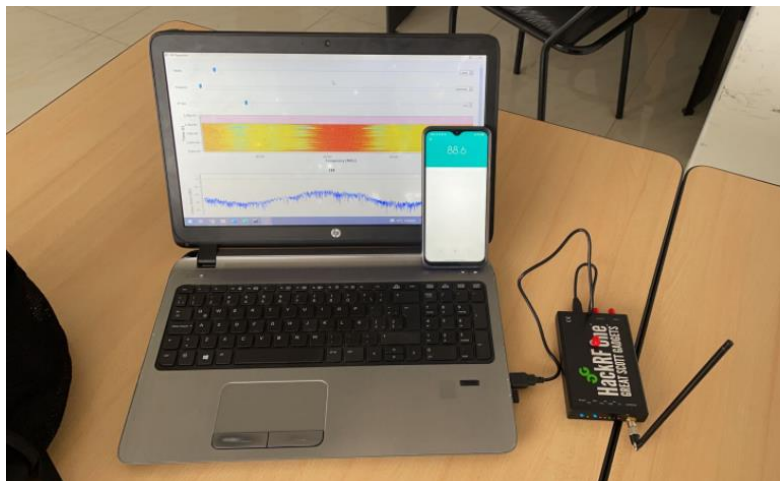
Nota. La gráfica muestra el sistema puesto en marcha desde el ordenador utilizado para el presente proyecto y un teléfono celular, usado como receptor de FM de banda comercial. Tomado del sistema.

EL sistema puesto en marcha sintonizo la frecuencia 88.7, la cual no se encontró ninguna otra señal transmitida en la ciudad de Manta, es decir, el canal se encontraba vacío. Los canales de transmisión vacíos varían según la Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica en el artículo 13 inciso a) “Las Áreas de Operación Zonales están sujetas a modificaciones en función de la optimización del uso del espectro radioeléctrico, y/o de la división político-administrativo de la República del Ecuador” (Arcotel, 2020,p.13)

EL presente trabajo desarrollo una guía técnica (Anexo 3) que establece la conceptualización y propósito, la base legal y el proceso para transmitir o recibir señales de radio de 1 MHz a 6 GHz, experimentar con la variación de señal, modificar el hardware para diferentes usos, como Enlaces de Comunicaciones Inalámbricas, Sistemas operativos, redes LAN y Sistemas de comunicación.

Figura 46

sistema puesto en marcha en nuestro ordenador y un teléfono celular usado como receptor.



4. Conclusiones recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Se estableció información actualizada sobre lo que es el uso de nuevas tecnologías para la transmisión de señales inalámbricas con los dispositivos SDR, dejando atrás los dispositivos de un solo modo de operación. Por lo tanto, se ha encontrado un amplio listado de software compatible con esta tecnología SDR como son: SDRharp, SDRAngel y HDSDR, capaces de receptor y modular señales.
- Asimismo, se estableció que existe una amplia gama de plataformas en el desarrollo de sistemas de comunicaciones con características más robustas, es decir, con herramientas para crear diagramas de flujo de tratamiento de señal. De esta manera, se optó por el software GNU Radio ya que este cumple con los requisitos de este trabajo de investigación con un conjunto de programas y bibliotecas para crear sistemas de radio arbitrario con sus herramientas como son: fuentes, bloques de procesamiento de señal, moduladores y sumideros.
- Se implementó un diseño básico de transmisor de radio FM utilizando un dispositivo SDR (radio definido por software) en el laboratorio de telecomunicaciones en la ESPE-L de acuerdo a los equipos disponibles para el mismo, teniendo como base el conocimiento sobre instalaciones eléctricas.
- Se logró analizar la utilización del transmisor FM sobre un SDR con gran acogida en el laboratorio de telecomunicaciones en la ESPE-L debido a las facilidades en la manipulación y funcionamiento, garantizando un aprendizaje óptimo. Entonces, para su manejo solo es necesario un sistema computarizado para su respectivo control, además brinda la ventaja de reconfiguración mediante software, abriendo la posibilidad de modificar, corregir, transformar y actualizar las veces que sea necesario, a fin de que su uso sea didáctico, práctico, desarrollado y moderno.

- Se desarrollo una guía para laboratorio que facilita al docente como al estudiante de la carrera de tecnología en redes y telecomunicaciones la instalación y configuración de un SDR para realizar prácticas, a fin de adquirir habilidades y destrezas para un mejor desarrollo profesional.

4.2 Recomendaciones

- Para futuros proyectos basados en tecnología SDR se recomienda realizar un análisis profundo sobre los hardware SDR, después de tener claro el alcance y objetivo del proyecto ya que el proyecto puede verse comprometido por la impremeditación del mismo, tener en cuenta que la gran parte de información para temas de radio definida por software existente, no se encuentra disponible en idioma castellano.
- Al crear la simulación es necesario tener en claro los conceptos del sistema a implementarse, dado que estos conceptos serán cruciales para la configuración precisa de los bloques más relevantes del sistema, además de investigar todas las características del hardware antes de comenzar a manipularlo, ya que se podría averiar, por ejemplo: si se le configura a frecuencias de muestreo no soportadas
- Para la realización de futuros proyectos más extensos, con numerosos bloques de herramientas de análisis, se recomienda usar un ordenador de gama alta, mejor al expuesto en este proyecto, ya que la calidad de transmisión puede verse afectada por el rendimiento del ordenador.
- Se recomienda compilar el programa en GNU Radio, después de configurar cada nuevo bloque en el diagrama de flujo, para poder filtrar posibles errores en la transmisión, esto se puede realizar conectando bloques sumideros al final de cada progreso, como los bloques "Audio Sink" o "QT Time sink" bloques que te ayudaran a escuchar y ver los cambios sufridos por la señal en cada etapa

5. Glosario

AM: Modulación de amplitud

ASK: Amplitudes-shift keying

DSBSC: Double-sideband suppressed-carrier transmisión (Transmisión de portadora suprimida de doble banda lateral)

DVD: Disco Versátil Digital

DONGLE: adaptador o llaves

FM: Frecuencia Modulada

FSK: Frequency Shift Keying

GNU: Sistema operativo de software libre

IEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

IFT: Instituto Federal de Telecomunicaciones

MPX: Señal estéreo múltiplex

OTAN:

SDR: Radio Definido por Software

SHF: Super alta frecuencia

SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

UHF: Frecuencia ultra alta

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

VHF: Very High Frequency (Muy alta frecuencia)

WAV: Waveform audio file format (Formato de archivo de audio de forma de onda)

6. Bibliografía

- Astudillo, D. (2019). *Implementación de la Tecnología VHF digital en ilumbisi para la Empresa Tevíasa*.
- Arcotel. (2020). RESOLUCIÓN Nro. ARCOTEL-2020. *La Agencia De Regulación Y Control De Las Telecomunicaciones*, 68(1), 1–12. Recuperado el 17 de Junio de 2021,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001><https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003><http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.024>
- Avilés, C. (2017). Problemáticas de la Transición a la Tecnología de la Televisión Digital Terrestre en México. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 21(2), 1689–1699. Recuperado el 31 de mayo 2021, [https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance Notebook 2.6 Smoke.pdf](https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance%20Notebook%202.6%20Smoke.pdf)
- Barón, E. B., & Núñez, H. (2020). Sistema Portátil para la transmisión y Recepción de Mensajes de Emergencia Empleando Radio FM. *Universidad Autónoma de Occidente*.
- Barreto, J., & Mora, K. (2018). Ventajas Del Cambio De La Señal Analógica A Señal Digital Terrestre En La Televisión Ecuatoriana. *Universidad Estatal de Milagro*, 21, 1–9.
- Blanco, F. (2019). *Estudio del bus de comunicaciones CAN*.
- Calero, I., & Pilco, M. (2019). Diseño e Implementación de un Sistema de Transmisión Inalámbrico Utilizado Procesamiento Digital Aplicado al Uso de TIC. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 57. Recuperado el 7 junio del 2021, <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/677><http://dspace.unach.edu.ec>

/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf

- Castillo-rodríguez, R. (2021). Tecnología de modulación en el espacio de tiempo-frecuencia ortogonal Orthogonal time frequency space modulation technology. *Tecnología En Marcha*, 34, 16–24.
- Castillo, J., & Remache, G. (2021). Diseño De Una Interfaz Gráfica Para El Procesamiento De Señales De Audio. *Universidad de Guayaquil*, 6.
- Collazos, V. R. (2017). Implementación de un Sistema basado en USRP para la medición de radiaciones no ionizantes de radiodifusión FM comercial. *Universidad San Martín De Porres*. Recuperado 14 de junio de 2021, https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/3565/collazos_vill%0Aavencio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cortés, M., Veloso, B., & Alfaro, A. (2020). Impacto de la actividad física en el desarrollo cerebral y el aprendizaje durante la infancia y la adolescencia. *Infancia, Educación y Aprendizaje (IEYA)*, 7(1), 39–52.
<https://revistas.uv.cl/index.php/IEYA/article/view/1461/2371%0Ahttps://revistas.uv.cl/index.php/IEYA/article/view/1461>
- De la Cruz, A., & Moreira, R. (2018). Diseño e Implementación de un Prototipo de Transmisión de mensajes de alerta en FM sobre cinco Grupos de Tres Frecuencias portadoras para su uso en vehículos de emergencia utilizando USRP y GNU Radio. *Revista EIA, ISSN 1794-1237*, 1–10. Recuperado el 21 del junio de 2021, <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10070>
- Escabosa, E. M. (2017). Introducción a la codificación de canal. *Buran*, 9, 33–35.
- Flores, C. A. (2018). Modulación de Amplitud Vectorial Fuera de Fase. *Benemérita*

Universidad Autónoma de Puebla.

Francesc, R., & Francesc, M. (2019). Introducción a los sistemas de comunicaciones digitales. *Universitat Oberta de Catalunya.*

Galeano, E. (2019). Modelos de comunicación. *Lecciones Del Portal*, 33.
http://portalcomunicacion.com/lecciones_det.asp?lng=esp&id=20

Garcia, J. D., & Paba, F. A. (2017). *Analisis De Modulacion Y Demodulacion En Telecomunicaciones Por Medio Del Software Vissim/Comm, Dirigido Hacia Metodos De Deteccion De Errores.* 1–106.
<http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0053971.pdf>

Gomez, G. (2012). Implementacion y configuracion de un receptor de radio definido por software (SDR) para estudio de propagacon. *Universidad Politécnica de Madrid.*

Gutierrez, F. (2019). Modulación y demodulación de AM Examen de Suficiencia Profesional Resolución N° 0848–2018–D-FATEC. *Universidad Nacional de Educación.*

Hidalgo, I. (2015). Compresión de audio en base a la aplicación de técnicas. Universidad técnica de Ambato. *Universidad Técnica de Ambato, Electrónica y Comunicaciones.*

Kim, J., & Parikh, K. (2017). Interoperabilidad de señales FM multiplexadas compuestas Ohio. *Gatesair.*

Larrea, S., Valverde, F., Salazar, D., Saavedra, J., Intriago, J., Ruilova, J., & Sarmiento, F. (2010). Estudio Del Estándar Home Rf Lite Con Normalizaciones Para Comunicaciones Via Radio, Diseño e Implementación De Un Cuarto De Telecomunicaciones Con Conexiones De Equipos Para Voz Y Datos En La Finca

Limoncito. *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*.

Ledesma, C., & Agudo, I. (2020). Vulnerabilidades Usando SDR. *Universidad de Málaga*, 634. Recuperado el 28 de Junio de 2021, <https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-hareketli-hayat-db/Yayinlar/kitaplar/diger-kitaplar/TBSA-Beslenme-Yayini.pdf>

Lincango, F. (2018). Esta herramienta permite observar el dominio de la frecuencia de las señales, se observa el espectro de frecuencia de la o las señales que se analicen. *Escuela Politécnica Nacional*.

Lisintuña, B. (2019). Aplicación De Un Sistema SDR (Radio Definida Por Software) Para Prácticas Multidisciplinarias En La Carrera De Telecomunicaciones De La Universidad Israel. *Universidad Tecnológica Israel*.

Llanos, S. (2019). Implementación de botón de ayuda como apoyo para la gestión del personal administrativo y estudiantil, caso de estudio: Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*.

Maldonado, J. F. (2019). La filosofía frente a la tecnología computacional digital o la invención de la digitalidad. *Revista Filosofía UIS*, 19(1), 11–20. <https://doi.org/10.18273/revfil.v19n1-2020014>

Mallarino, E., & Solis, G. (2018). Comprensiones De Audio Codificaciones Audio Comprimido. *Universidad Politécnica Salesiana*, 21, 1–9.

Mora, A. (2014). Implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink. *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*.

- Morejón, Y. (2010). Influencia de los parámetros constructivos de la antena reflector plano en su desempeño en la banda de UHF. *Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*.
- Murillo, F. J. (2015). *Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación* (2° ed.).
- National Instruments. (2017). *USRP-2900 Software Defined Radio Device Contents*. 1–6. <http://www.ni.com/pdf/manuals/374924c.pdf>
- Ojeda, M. A. (2013). *Implementación de Experiencias Para la Medición de Parámetros de Calidad en Equipos de Radiocomunicaciones en las Bandas de HF Y VHF*. 1–204. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmficio.39i/doc/bmficio.39i.pdf>
- Perna, A. (2010). Modulación y demodulación en frecuencia Diseño Y Construcción De Módulos De Entrenamiento Para FM. *Universidad Católica de Bolívar*.
- Pinar, I., & Murillo, J. (2011). Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software [en línea]. Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones Universidad de Sevilla. *Universidad de Sevilla*.
- Rivas, W. B. (2015). *Interconexión de radios de VHF con plantas telefónicas IP*. Recuperado el 29 de Junio de 2021, <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8086/>
- Rodriguez, V. M. (2016). Diseño e implementación de un transmisor AM, FM y ATSC en Radio Definida por Software para docencia. *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Rojas, W. (2014). Laboratorio para medir pérdidas de potencia en una transmisión RF por medio de equipos SDR. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Roldán, A. M. (2017). Análisis software y hardware del SDR HackRF One. *Universidad*

de Granada, 13–17.

Romaní, P. (2021). SDRSharp guía de Uso. *Airspy*.

Romero, S., Tipantuña, C., Estrada, J., & Carvajal, J. (2016). Desarrollo de sistemas receptores de AM, FM y ADS-B utilizando radio definida por software, hardware y software libre. *Maskana*, 6(Supl.), 147–156.

Salazar, J. D. (2015). Transmisor Y Receptor De Frecuencia Modulada Didáctico Para Uso En Los Laboratorios De La F.I.S.E.I. *Universidad Técnica de Ambato, Electrónica y Comunicaciones*.

Salinas, E. (2020). *Desarrollo De Prácticas De Laboratorio Para La Implementación De La Segunda Fase De Una Estación Base De Redes De Cuarta Generación Utilizando Radio Definido Por Software*.

Santamaría, J. R. (2014). Sistemas de Multiplexación CWDM : actualidad , ventajas y desventajas frente a otros sistemas de multiplexación y tendencias. *Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica*.

Sarango, N. D. (2014). Diseño del sistema de Radio difusión Sonora Digital Bajo el Estandar Radio Digital Mundial (DRM) Para la Radio Universitaria 98.5 FM. *Universidad Nacional de Loja*.

SIGET. (2020). Diseño, análisis, simulación y construcción de una red de antenas Vivaldi impresa para la banda de frecuencias de VHF - UHF. *Universidad de Las Fuerzas Armadas*, 68(1), 69.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001><https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003><http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.024>

Tamayo, F. (2020). Análisis Espectral de señales FM Utilizando SDR para una Sociedad

Informatizada. *Telemática*, 2(19), 11–22.

Tomasi, W. (2015). *Sistemas de Comunicaciones electronicas* (Pearson (ed.); Cuarta).

Torres, M., & Vaca, C. (2014). Sistema embebido de comunicación digital de voz utilizando periféricos de radio universal USRP-E110 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. *Escuela Superior Politecnica Del Ejército*.

Veloz, G. R. (2016). Analisis e Implementación de Sistemas de Modulación Digital ASK, FSK, M-QAM Mediante La programación de código VHDL la Tecnología FPGA. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.

7. Anexos