



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Implementación de un laboratorio de Radio Definida por Software para prácticas de aprendizaje basado en tarjetas de bajo costo.

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones.

AUTOR:

Claudio Juventino Banegas Valle

DIRECTOR:

Ing. Santiago Abraham Medina León. Mg. Sc.

Loja – Ecuador
2023

Loja, 17 de jul. de 2023

Ing. Santiago Abraham Medina Leon

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Implementación de un laboratorio de Radio Definida por Software para prácticas de aprendizaje basado en tarjetas de bajo costo**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Claudio Juventino Banegas Valle**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Santiago Abraham Medina Leon. Mg SC.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Claudio Juventino Banegas Valle**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cedula: 1104414865

Fecha: 17 de julio del 2023

Correo electrónico: cibanegasv@unl.edu.ec

Teléfono: 072722839 / 0981331301

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación.

Yo **Claudio Juventino Banegas Valle**, declaro ser autor Trabajo de Titulación denominado: **Implementación de un laboratorio de Radio Definida por Software para prácticas de aprendizaje basado en tarjetas de bajo costo.**, como requisito para optar el título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de julio de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Claudio Juventino Banegas Valle

Cédula: 1104414865

Dirección: Calle Huancavilca, sector Capuliloma.

Correo electrónico: cjbanegasv@unl.edu.ec.

Teléfono: 072722839 **Celular:** 0981331301.

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de tesis: Ing. Santiago Abraham Medina León. Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente Trabajo de Titulación está dedicado a todas las personas que de una u otra manera estuvieron apoyándome en todos los momentos que hicieron parte de mi formación profesional. Iniciando por mencionar a mi familia, mis padres que fueron quienes me han enseñado a ser la persona que he llegado a ser gracias al cariño, amor y sobre todo valores que he recibido por parte de ellos.

A mis hermanos, Byron y Mario quienes estuvieron apoyándome de tal manera que pueda caminar hacia una buena formación tanto personal y académica.

A mi esposa Lourdes y mis hijos Anderson, Steeven y María Fernanda que fueron una base fundamental y sobre todo emocional y contuvieron en los mejores momentos y en los que no fueron muy buenos, gracias por ayudarme a afrontar los problemas por más significativos que estos llegaran a ser y desafiar las dificultades sin perder la cabeza y sobre todo manteniéndola en alto.

También es importante mencionar a mis amigos y sobre todo a mis compañeros de aula que fueron una gran familia que llegué a obtener durante el desarrollo de la carrera, ellos con sus ocurrencias y locuras hicieron del estudio una forma de convivencia muy amena.

Claudio Juventino Banegas Valle

Agradecimiento

El agradecimiento lo realizo primeramente a Dios porque fue el quien puso en mi camino un sin número de elementos y eventos que facilitaron el realizar mis estudios superiores, agradecer a la institución como lo es la “Universidad Nacional de Loja” a sus directivos y a los docentes ya que ellos fueron quienes supieron despertar en uno varias capacidades necesarias para continuar en este camino de formación profesional, me siento en deuda con muchas personas que espero poder devolver en algo el apoyo ayudando a la sociedad como un profesional y dejando en alto el nombre de la Institución.

Quisiera expresar mi gratitud a mi tutor el Ing. Santiago Medina León Mgs. Sc. Quien con su paciencia dedicación y voluntad estuvo apoyándome tanto como docente y tutor de la presente investigación.

A mis compañeros y amigos cercanos que de manera incondicional en varias ocasiones fueron apoyo ya sea directa o indirectamente incluso en muchas ocasiones cuando uno cree que no puede continuar siempre hubo un amigo que estuvo presente para levantar el ánimo y regresar a perseverar en los estudios con el único afán de sentirse un ganador más y hacer sentir orgullosos a las personas que me rodean y aprecian.

Valoro tanto el estar junto mi familia y quiero expresar también mi gratitud hacia ellos, en vista que fueron ellos quienes con sus consejos y palabras de apoyo estuvieron todos los días siendo el sostén principal de mi vida, gracias por entender que mientras me encontraba en formación y desarrollo de la investigación fue necesario sacrificar algunos momentos y situaciones en nuestras vidas.

El que no agradece un pequeño favor no agradecerá uno grande - “Mahoma”

Claudio Juventino Banegas Valle

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	i
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	x
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Radio frecuencia	6
4.2. Radiocomunicación	7
4.2.1. Clasificación de las telecomunicaciones según el tipo de comunicación	8
4.2.1.1. Servicio fijo.....	8
4.2.1.2. Servicio móvil	9
4.2.1.3. Servicio de radiodifusión	9
4.2.2. Espectro radio eléctrico.....	9
4.2.3. Relación del espectro con las telecomunicaciones y las ondas electromagnéticas.....	10
4.2.4. Las bandas de operación.....	11
4.2.4.1. Banda para el servicio de radiodifusión por modulación de Amplitud (AM).	11
4.2.4.2. Banda de operación para frecuencia modulada.	12
4.2.4.3. Comunicaciones satelitales	12
4.2.4.4. Bandas de frecuencias satelitales	15
4.3. Tipos de Comunicaciones	16
4.3.1. Comunicaciones analógicas	16
4.3.1.1. Modulación de amplitud AM.....	16
4.3.1.2. Modulación de frecuencia FM.....	18
4.3.2. Comunicaciones digitales	19
4.3.2.1. Elementos necesarios para las comunicaciones digitales.....	20
4.3.3. Comparación de comunicaciones analógicas y digitales.	21
4.3.4. Comunicaciones móviles.	21
4.3.5. GSM	22
4.4. Comunicaciones satelitales	22
4.5. Polarización de la antena en satélites.	24
4.6. Tipos de Comunicaciones Satelitales.....	24

4.6.1.	Clasificación de los satélites según su misión	25
4.6.1.1.	Satélites de comunicaciones	25
4.6.1.2.	Satélites Meteorológicos	25
4.7.	La Radio Definida por Software	26
4.7.1.	Sección de radiofrecuencia	27
4.7.2.	Sección de frecuencia intermedia	27
4.7.3.	Sección de banda base	27
4.7.3.1.	DSPs	28
4.7.3.2.	FPGAs	29
4.7.4.	Niveles de SDR	29
4.7.4.1.	Nivel cero.	29
4.7.4.2.	Nivel uno.	29
4.7.4.3.	Nivel dos.	29
4.7.4.4.	Nivel tres.	29
4.7.4.5.	Nivel cuatro.	30
4.8.	GNU radio.	30
5.	Metodología	31
5.1.	Investigación bibliográfica	31
5.2.	Diseño del sistema basado en SDR	33
5.2.1.	Selección de hardware y software	33
5.2.1.1.	Selección de tarjetas SDR	33
5.2.1.2.	Selección de antena	35
5.2.1.3.	Selección de Software	35
5.3.	Estructuración de prácticas	36
5.4.	Desarrollo de prácticas	38
6.	Resultados	45
6.1.	Resultados de la práctica 1	45
6.2.	Resultados de la práctica 2	45
6.3.	Resultados de la práctica 3	46
6.4.	Resultados de la práctica 4	47
6.5.	Resultados de la práctica 5	47
6.6.	Resultados de la práctica 6	48
6.7.	Resultados de la práctica 7	49
7.	Discusión	50
8.	Conclusiones	51
9.	Recomendaciones	52
10.	Bibliografía	53
11.	Anexos	57

Índice de tablas:

Tabla 1. Distribución del espectro electromagnético	7
Tabla 2. Tabla de distribución de las bandas satelitales.....	15
Tabla 3. Tabla de constelaciones satelitales.....	23
Tabla 4. Distribución de prácticas de laboratorio para la asignatura de comunicaciones analógicas	31
Tabla 5. Selección de tarjetas SDR.....	33
Tabla 6. Resumen distributivo del desarrollo de prácticas.....	39
Tabla 7. Cuadro de objetivos y actividades a desarrollar por práctica	41

Índice de figuras:

Figura 1. Representación de las dimensiones de propagación de las ondas	10
Figura 2. Estructura de un sistema satelital	13
Figura 3. Diagrama de bloques para el proceso de modulación.....	17
Figura 4. Modulación AM y FM	18
Figura 5. Modulación FM y sus componentes.....	19
Figura 6. Elementos que conforman la comunicación digital.....	20
Figura 7. Representación por bloques de un SDR.....	27
Figura 8. Radio Definida por Software en arquitectura original	28
Figura 9. Metodología de desarrollo y evaluación de prácticas de laboratorio	32
Figura 10. Sistema basado en SDR.....	33
Figura 11. Esquema de guía de practica	37
Figura 12. Esquema de preparatorio	37
Figura 13. Esquema de informe de práctica.....	38
Figura 14. Resultados del laboratorio #1	45
Figura 15. Resultados del laboratorio #2	46
Figura 16. Resultados del laboratorio #3	46
Figura 17. Resultados del laboratorio #4	47
Figura 18. Resultados del laboratorio #5	48
Figura 19. Resultados del laboratorio #6	48
Figura 20. Resultados del laboratorio #7	49

Índice de anexos:

Anexo 1. Silabo de la asignatura de comunicaciones analógicas	57
Anexo 2. Datasheet Adalm-Pluto.....	65
Anexo 3. Datasheet LimeSDR mini	67
Anexo 4. Informe de práctica de laboratorio #1	68
Anexo 5. Informe de práctica de laboratorio #2	69
Anexo 6. Informe de práctica de laboratorio #3	101
Anexo 7. Informe de práctica de laboratorio #4	116
Anexo 8. Informe de práctica de laboratorio #5	131
Anexo 9. Informe de práctica de laboratorio #6	147
Anexo 10. Informe de práctica de laboratorio #7	164
Anexo 11. Certificación de traducción del resumen	180

Acrónimos.

SDR: Radio Definida por Software del Ingles Software Defined Radio.

USB: Bus Universal Serial.

AM: Amplitud Modulada

FM: Frecuencia Modulada

ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

UIT. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

CN: Radio Cognitiva

GSM: Global System for móvil Communication

RF: Radio Frecuencia.

DSB: Modulación en doble banda lateral (Del inglés Double Side Band)

BPSK: modulación por Desplazamiento de Fase Binaria (Phase Shift Keying Binary)

AGC: Control Automático de Ganancia.

TDMA: Acceso Múltiple por división de Tiempo.

DSSS: Espectro Extendido de Secuencia Directa. (Del inglés *Direct Sequence Spread Spectrum*)

FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia. (Frequency Division Multiple Access)

CMDA: Acceso Múltiple por división de Código (Code Division Multiple Access)

NOAA: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (del inglés National Oceanic and Atmospheric Administration)

LEO: Órbita Terrestre Baja (Low Earth Orbit)

AVHRR: Radiometro avanzado de alta resolución (Advanced Very High Resolution Radiometer)

APT: Transmisión Automática de Fotografías (Automatic Picture Transmission)

1. Título

Implementación de un laboratorio de Radio Definida por Software para prácticas de aprendizaje basado en tarjetas de bajo costo

2. Resumen

El presente proyecto es una investigación que está diseñada para realizar una guía de prácticas de laboratorio, las mismas que servirán para el aprendizaje de los estudiantes que se encuentran en proceso de formación profesional en la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja, con finalidad de utilizar herramientas que se encuentran accesibles en nuestro medio como los equipos SDR y programas de software libre como GNU radio.

Se ha implementado dichas prácticas utilizando la aplicación antes expuesta, la misma está compuesta por algunos bloques y librerías que se las debe instalar de acuerdo a la necesidad, quedando a disposición de quienes dispongan de este documento ya sea seguir la guía o en su defecto realizar el cambio o adaptación a un sistema diferente también se puede considerar un grupo de bloques distintos los cuales estarán disponibles en el programa GNU radio dependiendo de la versión. Se ha incluido conceptos básicos de los distintos sistemas de comunicación, iniciando por el espectro electromagnético, las comunicaciones analógicas luego pasando por las comunicaciones digitales y llegando a considerar las comunicaciones satelitales, de este modo al relacionar la teoría con la parte práctica se considera las diversas técnicas para el procesamiento de señales y facilita la comprensión por parte de los estudiantes corroborando la información en las transmisiones realizadas por los sistemas puestos en marcha con ayuda del software y hardware en la cual se basa la presente investigación.

Luego de haber presentado las definiciones de algunos términos temas que están ligados al tema de investigación SDR se realiza el diseño de las practicas basados en la teoría y basados en el programa de estudios de la carrera de telecomunicaciones, a continuación se lleva a cabo las pruebas de los diseños anteriormente propuestos tomando en consideración la documentación de la misma mediante la elaboración de manuales y de este modo terminar anexando como guía de prácticas para el desarrollo de acuerdo a la necesidad durante el desarrollo de la carrera.

Palabras clave: Telecomunicaciones, Radio Definido por Software, Comunicación Digital, Satelitales, Hardware.

2.1. Abstract

The present project is an investigation designed to make a guide of laboratory practices, the same ones that will serve for the learning of the students that I know that they are in the process of professional formation in the career of Telecommunications of the National University of Loja, with the purpose of using tools that are accessible in our means like the SDR equipment and programs of free software like GNU radio.

These practices have been implemented using the application described above, it is composed of some blocks and libraries that must be installed according to the need, being available to those who have this document either follow the guide or otherwise make the change or adaptation to a different system can also be considered a group of different blocks which will be available in the GNU radio program depending on the version. Basic concepts of the different communication systems have been included, starting with the electromagnetic spectrum, and analog communications, then going through digital communications and considering satellite communications, thus relating the theory with the practical part of the various techniques for signal processing and facilitating understanding by students corroborating the information in the transmissions made by the systems implemented with the help of software and hardware on which this research is based.

After having presented the definitions of some terms that are linked to the SDR research topic, the design of the practices based on the theory and based on the syllabus of the telecommunications career is carried out, then the testing of the previously proposed designs is carried out taking into consideration the documentation of the same through the development of manuals and thus end up annexing as a guide of practices for the development according to the need during the development of the career.

Keywords: Telecommunications, Software Defined Radio, Digital Communication, Satellite, Hardware.

3. Introducción

En la actualidad, todos los desarrollos tecnológicos afectan ya sea de manera directa o indirecta en nuestra vida diaria, en los últimos años ha sido muy evidente la necesidad de que los sistemas de telecomunicaciones se encuentren con la capacidad de brindar servicios básicos como al utilizar el control remoto y más avanzados y complejos como la necesidad de transmitir datos, textos, mensajes instantáneos e incluso video en vivo y con calidad de entretenimiento.

Para mejorar la capacidad en los canales de comunicación ha sido necesario que el desarrollo se vuelque a las diligencias en el uso del espectro electromagnético en vista que existe varias aplicaciones de transmisión o recepción que pueden estar utilizando el mismo espacio de frecuencia, por lo cual se ha desarrollado equipos que cuentan con algoritmos con la capacidad de modificar o mover la frecuencia en el caso de encontrarse ocupado dicho espacio, estos equipos son desarrollados gracias a la aparición de la radio definida por software (SDR), gracias a que gran parte del procesamiento de las señales se lo hace en software facilitando así un cambio rápido y automático sin la necesidad de configuraciones manuales, es decir que no se requiere que el personal técnico se acerque al equipo para modificar los parámetros del mismo.

El desarrollo tecnológico y las investigaciones que se han puesto en marcha hasta el momento han sido un ente clave para mejorar la calidad de servicios en el ámbito de las telecomunicaciones, es así que actualmente existen una serie de aplicaciones y equipos que pueden estar en la capacidad de relacionarse entre el software y el hardware para dar como resultado un elemento útil y a su vez con cierto grado de inteligencia, en esta investigación se procede a realizar ciertas aplicaciones básicas para que se pueda plantear la idea en el desarrollo y aplicación de los sistemas de Radio Defino Por Software, entre los más utilizados en el ámbito académico están en mostrar de manera practica el modo que se lleva a cabo las comunicaciones analógicas y digitales.

Los sistemas SDR presentaron sus primeros pasos gracias a un investigador llamado Joseph Mitola III en los años 90, a partir de aquello se define la capacidad de los equipos para ser reconfigurados por la funcionalidad de los componentes, por lo tanto la misma placa o equipo cumple distintos objetivos dependiendo de la aplicación, brindando la facilidad de implementar o diseñar distintos protocolos de comunicación inalámbrica y algo no menos importante es el ámbito económico que al permitir utilizar el mismo equipo para varias aplicaciones influye de manera positiva porque existe la facilidad utilizar el mismo equipo variando su configuración desde el *software*.

SDR ha evolucionado de tal forma que han ocupado un espacio importante en las comunicaciones por radio, debido a la alta flexibilidad de configuración a la que se encuentra

expuesto su software en conjunto con el hardware, existen investigaciones (Mario D, 2020) que incluso aseguran que nos encontramos en un ambiente en el ámbito tecnológico que todo está definido por software.

GNU-Radio es una de las herramientas también indispensables para realizar esta investigación puesto que en conjunto con algunas librerías y al contar con licencia de libre uso, es ventajoso como una herramienta poderosa en el tratamiento de señales y de este modo llegar a cumplir los objetivos planteados y brindar a la institución una guía optima y útil desde el punto de vista académico y practico.

4. Marco teórico

4.1. Radio frecuencia

El término “radiofrecuencia” en la actualidad es utilizado en muchos ámbitos, sin embargo, en nuestro medio y nuestro interés es en el aplicado en el entorno de las telecomunicaciones, para comprender aquello es preciso tomar en consideración que se debe estar al tanto de algunos términos como las ondas electromagnéticas, y la propagación electromagnética que están muy relacionadas entre sí y se los considera más adelante para su respectivo estudio.

Las telecomunicaciones fueron desarrollándose con el pasar del tiempo desde que dio sus primeros pasos en el que se llevaron a cabo comunicaciones con el teléfono morse en 1840 según lo menciona el investigador Ríos L. (2001), para luego utilizar el teléfono urbano en 1877 y de esta forma llegar a comunicarse por medio de los enlaces primitivos por telegrafía en el año de 1895, paralelo al avance del tiempo se presenta la necesidad de mejoras en los sistemas de comunicación permitiendo de este modo dar un uso más óptimo como por ejemplo en la primera guerra mundial que evoluciona la radiotelefonía, en razón que dependía mucho de la capacidad de comunicación entre sus ejércitos en el campo de batalla, estos nuevos inventos tecnológicos de la época contribuyeron a la popularidad de la radioafición, lo cual llevo a la consumación de la radio difusión después de la guerra (Bruton, 2014), así lo expone también García C. (1998), que la segunda guerra mundial fue motivo para hacer de la radio un instrumento, de este modo cada suceso podría ser informado pues la audiencia exige de alguna forma mejorar los equipos y sistemas de transmisión.

Hoy en día las telecomunicaciones utilizan campos electromagnéticos en un rango de frecuencia determinada, por tal razón las entidades encargadas de la distribución del espectro radioeléctrico realizan la asignación de frecuencias y bandas para cada servicio requerido (Rábano et al., 2013), consecuentemente se puede definir a la radiofrecuencia como una parte del espectro electromagnético el cual se determina por parte del autor Rábano et al. (2013), como *un recurso de la naturaleza aunque reutilizable, muy escaso*. Consiguientemente se ha realizado una clasificación por parte de algunos organismos de normalización de las frecuencias que comprenden parte del espectro electromagnético, de acuerdo con sus aplicaciones como se encuentra definida en Cardama (2002) esta se clasifica siguiendo la Tabla 1:

Tabla 1
Distribución del espectro electromagnético

Banda	Frecuencia	Longitud de onda	Denominación
ELF	< 3 KHz	>100Km	Extrema Baja Frecuencia
VLF	3 – 30 KHz	100 – 10 Km	Muy Baja Frecuencia
LF	30 – 300 KHz	10 – 1Km	Baja Frecuencia
MF	0.3 – 3 MHz	1000m – 100m	Frecuencia Media
HF	3 – 30 MHz	100m – 10m	Alta Frecuencia
VHF	30 – 300 MHz	10m – 1 m	Muy alta Frecuencia
UHF	0.3 – 3 GHz	100cm – 10cm	Ultra Alta Frecuencia
SHF	3 – 30 GHz	10cm – 1cm	Super Alta Frecuencia
EHF	30 – 300 GHz	1cm – 1mm	Extrema Alta Frecuencia

Nota: Modificado por el Autor.

Como se ha podido considerar en la tabla anterior la frecuencia está definida como unidad de medida el Hertzio, debido a los méritos obtenidos por Heinrich Hertz. Además se puede apreciar en la recomendación de la asamblea de radiocomunicaciones de la ITU-R, (2015) que cada valor de frecuencia maneja una longitud de onda, igualmente existe la recomendación de nomenclatura de las bandas de frecuencias para proveer diferentes servicios entre ellas, las transmisiones de radio tanto en Am (Amplitud Modulada), FM (Frecuencia Modulada) y llegando también a operar en comunicaciones satelitales este valor de frecuencia varía entre cero y llega a 10^9 Hz, están definidas para los servicios de radio y televisión. Se dice que las ondas de radiofrecuencia y las microondas son muy útiles debido a que en esta región del espectro las ondas o señales producidas pueden atravesar las nubes, niebla e incluso las paredes, las organizaciones encargadas de dictar los intervalos de cada actividad son las Organizaciones Internacionales y las instituciones gubernamentales en el caso del Ecuador es la ARCOTEL la encargada (CONATEL, 2012).

4.2. Radiocomunicación

El término “Radiocomunicación” según Rábano et al., (2013) la precisa como “*al servicio que implica la emisión y/o recepción de ondas radioeléctricas con fines de transmisión/recepción de información, para la cobertura de necesidades de telecomunicaciones o de tipo científico industrial*”. Por otra parte la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT por sus siglas en inglés) define a las ondas radioeléctricas como “*ondas electromagnéticas que se propagan por*

el espacio sin guía artificial, y su límite superior se fija, convencionalmente en 3000 GHz”, estas ondas pueden viajar a través del espacio que se considera como el canal de comunicación, y vista que la frecuencia está estrechamente relacionada con la longitud de onda, se ha designado para brindar un servicio en específico, las frecuencia utilizadas en estos casos al clasificarse según el tipo de radiocomunicación podrían pertenecer a 3 clases (Rábano et al., 2013).

La Radiodifusión es posible realizarla al cambiar la señal según un código preestablecido y este de también ser conocido por los integrantes del sistema de radiocomunicación, es decir entre emisor y receptor. Este proceso de traslación de frecuencias también se las denomina según Stremler (1993) como una conversión de frecuencias, mezcla de frecuencias y heterodinación que son llevadas a cabo por convertidores o mezcladores de frecuencias. Las primeras comunicaciones por radio se llevaron a cabo de modo que se encendía y apagaba el transmisor siguiendo un patrón, el más popular fue el desarrollado por Samuel Morse y Alfred Vail así lo reconoce Tomé L. (2015) para su uso en el telégrafo, lo cual fue una forma muy rentable de comunicación en su tiempo, hoy diríamos que el código Morse se suele utilizar aun para comunicaciones con la diferencia que se digitalizó. Subsiguientemente, se codificaron señales mediante variaciones continuas en la amplitud de la onda que se emitía, hoy en día esto lleva el nombre de modulación de amplitud (AM), posteriormente se dio un cambio en el traslado de la información y se llegó cambiar las variaciones en frecuencia de la onda emitida, lo que se conoce como frecuencia modulada (Tomé L, 2015).

La demodulación es el proceso inverso a la modulación y se realiza en el receptor, llevando de este modo la señal al sistema de recepción y posteriormente en el caso de la radio a un altavoz, teniendo el mensaje que sale del receptor en forma de sonido la misma forma que tenía a la hora de transmitir el mensaje. Las emisoras de radio anuncian regularmente su frecuencia de emisión, en mega Hertz (MHz) las de FM y en kilo Hertz (kHz) las de AM.(Tomé L, 2015).

4.2.1. Clasificación de las telecomunicaciones según el tipo de comunicación

4.2.1.1. Servicio fijo

Este tipo de comunicación hace referencia al sistema de comunicación en sentido punto a punto, así se lo puede observar en el enunciado del plan nacional de telecomunicaciones en el Ecuador expresa: *Servicio de Radiocomunicación entre puntos fijos determinados.*(Arcotel, 2017)

Este servicio también se puede aplicar para las comunicaciones satelitales, que pueden ser entre estaciones terrenas que suelen ser puntos fijos determinados o cualquier punto que se encuentre ubicado en cierta zona (Luque Ordóñez, 2014).

4.2.1.2. Servicio móvil

Definiendo el servicio de comunicación en este apartado la comunicación se la puede realizar entre distintas estaciones móviles, o en su defecto las móviles con una estación fija, como por ejemplo las comunicaciones a través de las líneas celulares que se comunican entre la estación móvil y la radio base.

En servicios móviles satelitales de radiocomunicación se la menciona como la comunicación entre estaciones terrenas móviles y una o varias estaciones espaciales o entre estaciones espaciales utilizadas por este servicio (Luque Ordóñez, 2014).

4.2.1.3. Servicio de radiodifusión

Este tipo de comunicación según Rábano et al., (2013) lo caracteriza porque sus emisiones se destinan a la recepción directa por el público en general, es decir existe un público masivo de receptores, pueden ser estaciones de emisión sonora, televisión o cualquier otro género, puesto que la radiodifusión está distribuida con características sonoras también conocida en UIT-R V.662-2 (1993) como *Sound Broadcasting*, la misma que se limita únicamente a programas radiofónicos, de igual forma la radiodifusión de televisión o *broadcasting* que se refiere a programas visuales asociadas con las señales de sonido y por último se encuentra la distribución por cable, conocido también como *cable distribution* y que lo determina en el mismo apartado UIT-R V.662-2 (1993) como una forma de telecomunicación para emitir programas de televisión o radiofónicos a ciertos usuarios por medio de alguna red de cableado.

4.2.2. Espectro radio eléctrico

Citando a Llanos, (2013) quien lo define al espectro electromagnético como un medio natural, limitado y medible que permite transportar energía a distancia, espacio en el cual se encuentran distribuidas el conjunto de longitudes de onda que van desde muy bajas frecuencias hasta llegar a los rayos X e incluso rayos Gamma, según el artículo realizado por Luque O, Javier (2012) manifiesta que el límite inferior se define en cero, en vista que no existen frecuencias negativas y el límite teórico superior tiende al infinito.

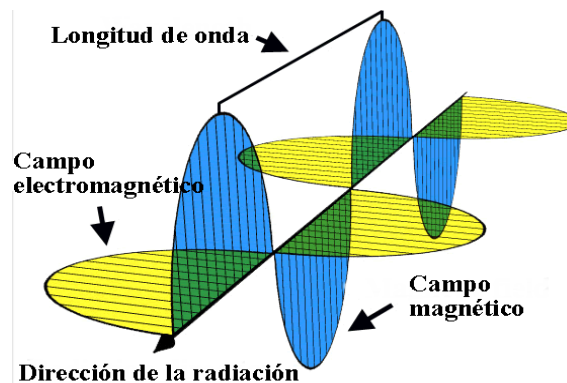
El constante crecimiento del uso de radios para la transmisión de datos en los últimos años hizo que estudiosos del tema de telecomunicaciones buscaran la forma de administrar y utilizar de forma óptima el espectro, por tal razón se ha dividido el espectro en bandas o segmentos de frecuencia, cabe destacar que tienen distinto comportamiento cada una de las frecuencias dependiendo del medio de comunicación.

4.2.3. Relación del espectro con las telecomunicaciones y las ondas electromagnéticas

Para poder transmitir las señales por un medio no guiado y el medio de propagación es el espacio, es importante tratarlas y modularlas, habitualmente estos procesos son realizados de manera controlada variando la amplitud, fase y/o frecuencia de la onda original, podemos incluir algunas características de las ondas y cabe destacar alguna de ellas como son: tridimensionales(Luque Ordóñez, 2014), es decir que se propagan en 3 direcciones del espacio, tal como se aprecia en la Figura 1, normalmente se dice que se dirigen en el plano x, y ,z, de igual forma podemos incluir que las ondas electromagnéticas son transversales, o que la perturbación se produce perpendicularmente a la dirección de propagación(Luque Ordóñez, 2014).

Figura 1

Representación de las dimensiones de propagación de las ondas



Nota: Modificado por el Autor.

El comportamiento de las ondas electromagnéticas permite brindar variedad de servicios de telecomunicaciones las mismas que cuentan con una importancia creciente en el desarrollo tecnológico e incluso económico de un país, sin embargo se ha mencionado que es un recurso limitado en razón por lo cual se ha examinado la necesidad de optimizar el medio de transmisión inalámbrico de las ondas generadas en algún punto, existen investigaciones como Aranzazu (2017), en las que se recomienda utilizar los “Espacios en blanco” del espectro radioeléctrico una de ellas es la Radio cognitiva (CR por sus siglas en ingles), la misma que de acuerdo al mismo autor (2017) es una tecnología de convergencia de múltiples equipos con acceso a redes locales e inalámbricas, cuyo principal beneficio es la capacidad de los equipos interactuar con el medio en el que se encuentre, y de este modo utiliza el conocimiento recolectado para mejorar la comunicación. También Castro Lechtaler et al. (2014) en su revista investigativa lo considera, *un sistema inteligente y eficaz para las comunicaciones de radio y el funcionamiento de los*

protocolos. De este modo se posee en las manos una tecnología inteligente basada en Radio Definida por Software para utilizar de manera óptima el espectro de frecuencias. Por otro lado existe otro sistema de radiodifusión digital que utiliza las denominadas redes de frecuencia única, llamada también Isofrecuencia que según Erazo Chulde, (2010) utiliza el mismo canal de radiofrecuencia para difundir un mismo programa en una misma zona, debido a la inserción de un intervalo de guarda en la información transmitida, durante el intervalo de guarda todas las señales recibidas por el receptor contribuyen positivamente y las señales que se reciben retrasadas tras la señal principal no causan interferencias.

4.2.4. Las bandas de operación

En el área de telecomunicaciones defínase como banda de operación a la porción del espectro en la que utiliza cierta frecuencia para operar y brindar ciertos servicios en este caso platicaremos de las bandas de operación comprendidos en Am, FM, comunicaciones Móviles y satelitales. En nuestro País la institución estatal encargada de administrar el plan Nacional de Frecuencias es la ARCOTEL (Arcotel, 2017)

Las bandas de operación para radio difusión sonora es considerada una tecnología que hace posible la transmisión de señales mediante la modulación de las ondas electromagnéticas, y según la investigación Sagbay & Sanchez, (2013) se ha expandido a prácticamente todos los países del mundo, también se revela que la ventaja más importante y que facilita la radiodifusión es su bajo costo, la facilidad de acceso al sistema y sobre todo la capacidad de comunicación en tiempo real.

4.2.4.1. Banda para el servicio de radiodifusión por modulación de Amplitud (AM).

Según el documento mostrado por la ARCOTEL(Resolución 12-09-Arcotel-2017) determinan que existen bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general, aunque sujetas al ordenamiento jurídico vigente, pero sin la necesidad de título habilitante, ni registro. Sin embargo, de acuerdo con el mismo documento esta institución le corresponde *Elaborar, aprobar, Modificar y Actualizar el Plan Nacional de Frecuencias* y las realiza de acuerdo a las recomendaciones, planes o reglamentos emitidos por la UIT.

Amplitud modulada es una manera de llevar a cabo una transmisión de señales radioeléctricas, en la cual se modifica la amplitud de la onda o se puede definir de acuerdo a Stremler, (1993) como un método para alterar señales senoidales continuas de alta frecuencia en respuesta a señales de baja frecuencia, constan de dos señales las mismas que reciben el nombre de portadora y señal moduladora, tomando en consideración que en este caso las señales suelen ser unidireccionales, y tienen la característica de ser de difusión, es decir que

existe un emisor y lo pueden receptor todos los sistemas que se encuentren sintonizados a la misma frecuencia de la transmisión y sin la posibilidad de enviar información en sentido contrario.

La radiodifusión AM fue en sus tiempos el medio de comunicación más indispensable y se llegan a clasificar de acuerdo con su banda atribuida en función de la frecuencia y se puede evidenciar en el documento de Erazo Chulde (2010) que lo hace de acuerdo al rango de frecuencias a la que se encuentre operando.

4.2.4.1.1. Onda media

Las estaciones que se sitúan en este grupo son sistemas que están comprendidas en la banda entre 535 y 1605 KHz es una de las más utilizadas por su capacidad de llegar a cubrir extensiones rurales debido al modo de propagación por onda de tierra(Erazo Chulde, 2010)

4.2.4.1.2. Onda corta.

Son estaciones que se utiliza en gran parte para radiodifusión de algunas emisoras locales, son las denominadas también de banda Tropical. De igual forma se encuentran las bandas internacionales que son aquellas que sus emisiones llegan a coberturas a nivel mundial con la característica que su modo de operación es por la propagación atmosférica, por lo cual depende mucho de las características de las capas atmosféricas para su transmisión.

4.2.4.2. Banda de operación para frecuencia modulada.

Las estaciones de Frecuencia Modulada (FM) operan en la banda entre 88 y 108 MHz, las mismas deben tener un ancho de banda para cada emisora de radio que en este caso está comprendida en 400 KHz, dentro de una misma zona geográfica y contienen un ancho de banda de 180KHz para estaciones denominadas monoaurales y con 200 KHz para emisiones estereofónicas.(Erazo Chulde, 2010), no obstante en Frecuencia Modulada el alcance de dichas señales es muy inferior a la señal de AM, debido a su frecuencia que es elevada y sus ondas pueden medir entre 1 metro las de 300 MHz y 10 metros las de 30 MHz(Significados, 2020).

4.2.4.3. Comunicaciones satelitales

Un sistema de comunicación básica puede estar comprendido entre un emisor, un canal, un mensaje y un receptor, sin embargo, en la práctica existen sistemas en el que pueden constar de varios emisores como receptores convirtiéndose en un proceso dinámico en el cual están involucrados varios elementos sin los cuales la comunicación no sería posible.

La comunicación actualmente es un elemento necesario para realizar ciertas actividades de nuestra vida cotidiana porque se encuentra presente en muchos equipos de nuestro hogar, como por ejemplo el control remoto, el wifi de nuestro domicilio etc. Y según(2012), la comunicación se subdivide en 5 categorías:

Comunicación Masiva.

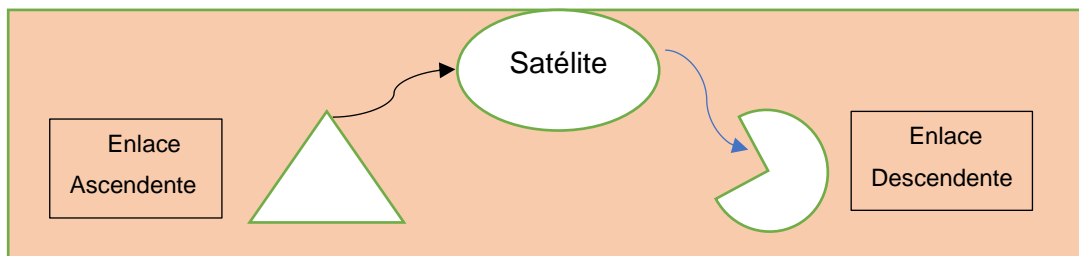
- Comunicación Pública.
- Comunicación en grupos pequeños.
- Comunicación interpersonal.
- Comunicación intrapersonal.

Los cuales dependen del número de comunicadores, el grado de proximidad física, los canales sensoriales y la rapidez de la retroalimentación, en el caso de las comunicaciones satelitales son de tipo muy amplio ya que se puede llegar a cubrir amplias áreas de cobertura y dependiendo de la aplicación o su misión a la que se pueden desempeñar, Andreula (2011) los ha clasificado en dos grandes grupos como son: por misión y por su órbita. Por misión se encuentran entre algunos los que se los utiliza como armas antisatélite en la que su objetivo primordial es detectar y destruir satélites enemigos, de igual forma se encuentran los satélites astronómicos que son utilizados para la observación del universo, además se encuentran en este grupo los biosatélites, los de comunicaciones, miniaturizados, están los utilizados en la navegación, y los de reconocimiento, otro grupo importante también son los de observación terrestre, y por su puesto las estaciones espaciales y los satélites con fines meteorológicos. En la siguiente clasificación por su órbita o por la altitud a la que se encuentran orbitando el planeta se puede mencionar a los de órbita baja terrestre (LEO), los de orbita media terrestre, y los de orbita alta terrestre.

4.2.4.3.1. Satélite

Un satélite de comunicaciones se la define en Sánchez R. et al. (2021), como una estación de radio que emite microondas en el espacio, es decir que es un equipo que se encuentra en órbita y está en la capacidad de recibir una señal en una banda determinada o previamente configurada, que también se lo conoce como canal ascendente, posterior a recibir la señal la amplifica y la retransmite en dirección a otra estación terrestre por otra banda denominada comúnmente como canal descendente, como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2
Estructura de un sistema satelital



Nota: Autor.

Este tipo de comunicación además de llevarse la señal por el espacio, es importante tomar en consideración que se requiere de algunos elementos adicionales e indispensables para la

comunicación como son las antenas o también conocidos como elemento radiante, de la misma manera que el satélite debe estar ubicado estratégicamente en el espacio en una órbita y mantener su posición con respecto a la tierra, y para lograr aquello se requiere una distancia aproximada de 35 863 Km desde el Ecuador(Sánchez R & Heredia C, 2021)

4.2.4.3.2. Antenas

Un elemento indispensable en la comunicación satelital son las antenas, la misma se la define en Tomasi(2003) como: un sistema conductor metálico capaz radiar y capturar ondas electromagnéticas, y son las encargadas de realizar la comunicación entre las denominadas líneas de transmisión y el espacio libre. Es decir, su principal trabajo es de irradiar energía que se propaga desde la antena en forma de ondas electromagnéticas transversales(Tomasi, 2003), sus principales características se detallan a continuación.

Resistencia de radiación. Todo elemento mantiene una resistencia al paso de energía y en este caso no toda la potencia suministrada es la que se irradia, porque parte de aquella se convierte en calor y se disipa, para determinar la resistencia de radiación se debe considerar la resistencia de la antena, la potencia radiada y la corriente en su punto de alimentación.

$$R_r = \frac{P_{rad}}{i^2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde:

R_r = Resistencia de radiación medida en Ohmios

P_{rad} = Potencia irradiada por la antena medida en Watts

i = Corriente en el punto de alimentación medida en Amperes

Otro factor para considerar es la eficiencia de la antena en vista que depende de aquello para emitir la mayor potencia al espacio, con la menor pérdida posible, la misma se relaciona con la potencia radiada por ella y la potencia disipada.

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{ent}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

En donde:

η = Eficiencia de la antena, se mide en porcentaje.

P_{rad} = Potencia irradiada medida en watts

P_{ent} = Potencia de entrada medida en watts.

De igual forma otro de los parámetros importantes es la directividad de la antena, la misma que se define en Cardama(2002) como la relación entre la densidad de potencia que está radiando la antena en una dirección y a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena, matemáticamente se la representa como:

$$D(\theta, \phi) = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_r / (4\pi r^2)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

4.2.4.4. **Bandas de frecuencias satelitales**

En la actualidad existen una infinidad de satélites que se encuentran orbitando la tierra según la investigación actualizada por Bastarrica(2021), el primero de enero del 2021 existen un total de 3772 satélites en el espacio cercanos a nuestro planeta, de los cuales 1918 se encuentran en órbita terrestre baja (LEO). Es importante considerar que cada uno de estos equipos se encuentran desempeñando una misión por la que fue puesto en órbita, siendo estos para propósitos generales y de acceso público, como también para propósitos específicos y en algunos casos de carácter privado de algunas empresas que brindan servicios satelitales como telecomunicaciones o televisión, pudiendo ofrecer diversas alternativas para satisfacer a los usuarios tanto en alcance a nivel nacional e incluso internacional.(Rosado, 1998) Por tal razón vale la pena detenerse a preguntar ¿a qué frecuencia se comunican estos satélites para trabajar de manera óptima? Para responder esta interrogante existe la recomendación UIT-R SA 1019-1(2018) en la cual recomienda las frecuencias a las que se someterán estas red de satélites y lograr de este modo un óptimo desempeño de los mismos, en este documento se detalla las frecuencias recomendadas tanto para enlace entre orbitas de ida y orbitas de retorno, la recomendación también menciona que para llevar a cabo la comunicación será necesario que transmitan en bandas distintas y que existirá una banda de guarda entre las señales tanto de transmisión y recepción del satélite.

La tecnología satelital ha sido un ente muy apropiado para el desarrollo tecnológico, y hoy es una de las más comunes, además son efectivas para lograr intercambio de datos entre dos puntos considerablemente distantes, esta operación consiste en enlazar una estación terrena llamada también maestra y una o varias estaciones esclavas (Ordóñez-Romero et al., 2004), estas conexiones pueden definirse como enlaces punto a punto o punto – multipunto aunque en ambos casos son redes bidireccionales, las bandas que son utilizadas para este propósito son: La banda C, la banda Ku, la banda Ka, entre otras, las mismas se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2

Tabla de distribución de las bandas satelitales.

Banda	Ejemplos de atribución (GHz)	Designación alternativa
L	1.525 – 1.71	Banda de 1.5 GHz
S	1.99 -2.20	Banda de 2GHz
C	2.5 – 2.69	Banda de 2.5GHz
X	2.4 – 4.2, 4.5 – 4.8	Banda de 4/6GHz

Banda	Ejemplos de atribución (GHz)	Designación alternativa
KU	10.7 – 13.25, 13.75 – 14.8	Banda de 11/14,-Banda de 12/14 GHz
KA	27.0 – 31.0	Banda de 30 GHz

Nota: Tomado de (Rosado, 1998)..

4.3. Tipos de Comunicaciones

Al hablar directamente de comunicación, es importante considerar que actualmente se puede dar de forma local o remota, sin embargo, al hablar de telecomunicaciones según la recomendación UIT-T(1993) se trata de llevar a cabo la comunicación por sistemas alámbricos, radioeléctricos, ópticos u otros sistemas electromagnéticos. Considerando el avance tecnológico de la época fue necesario llevar a cabo una transformación de las señales obtenidas de manera analógica a señales de pulsos o también conocidas como señales digitales.

4.3.1. Comunicaciones analógicas

Las señales analógicas son las obtenidas desde del mundo real y convertidas en señales eléctricas como por ejemplo la voz humana que logra ser captada por un micrófono, luego es convertida en señal eléctrica, estas señales pueden llegar a ser según Forouzan(2007) simples o compuestas, las mismas que difieren entre sí por su número de ondas senoidales o información que estas señales contengan.

Las señales analógicas obtenidas son aquellas que pueden tomar un número infinito de valores (Artés et al. 2012)ya que se presentan datos en forma de ondas electromagnéticas que varían constantemente en el tiempo, por tal motivo, para poder ser transmitidas es necesario utilizar técnicas de modulación de las señales continuas, cambiando de esta forma la señal original o también denominada señales en banda base, según Haykin(2002) término utilizado para designar a la banda de frecuencias que representa la señal entregada por la fuente, y de este modo lograr transmitir las, entre las técnicas consideradas están la modulación de amplitud, o la modulación de frecuencia, o se puede considerar digitalizar las señales y así optimizar tanto el medio de transmisión y los recursos del sistema de comunicación.

4.3.1.1. Modulación de amplitud AM

Modulación, término empleado para indicar que una señal está siendo adaptada a las características del medio para mejorar la propagación, proceso en el cual según Micolau et al. (2013) se utiliza una señal sinusoidal de alta frecuencia como portadora y otra señal que llega a ser el mensaje para transmitir quedando como una señal envolvente de la anterior, por lo tanto, el receptor será capaz de recuperar la forma de onda de la envolvente y poder obtener el mensaje

original. En otras palabras, la señal de alta frecuencia es utilizada únicamente como medio de transporte del mensaje, en razón que una vez haya cumplido su misión de llegar hacia el receptor es desechada por medio de filtros porque no contiene más información, este proceso se detalla en la Figura 3.

Según Stremler (1993), una señal senoidal se la puede representar matemáticamente como una ecuación general de la siguiente forma:

$$\phi(t) = a(t)\cos \theta(t) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$a(t)$ = La amplitud

$\theta(t)$ = El ángulo

Ambos elementos son variables en el tiempo, para comprender de mejor manera es conveniente descomponer a $\theta(t) = \omega_c t + \gamma(t)$ (Ecuación 5)

$$\phi(t) = a(t) \cos\{\omega_c(t) + \gamma(t)\} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Por lo tanto, $a(t)$ y $\gamma(t)$ varían lentamente en comparación con $\omega_c(t)$.

En donde:

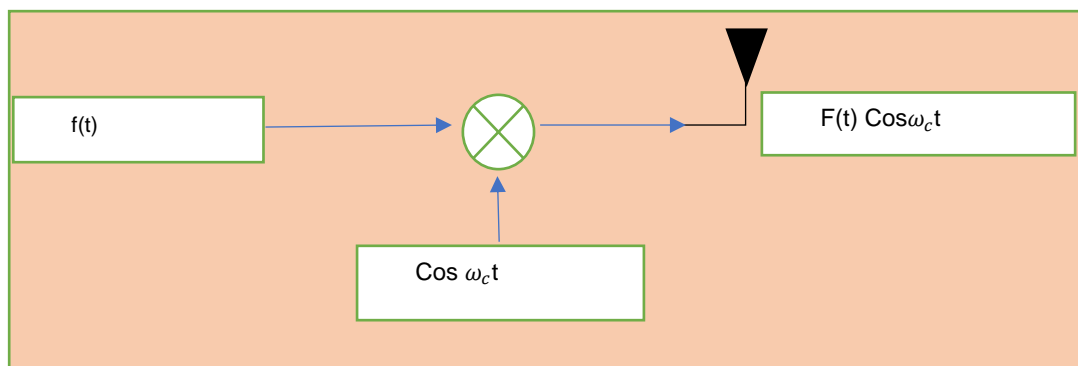
$a(t)$ llega a ser la envolvente de la señal $\phi(t)$.

$\omega_c(t)$ = Frecuencia portadora.

$\gamma(t)$ = Modulación de fase de $\phi(t)$.

Figura 3

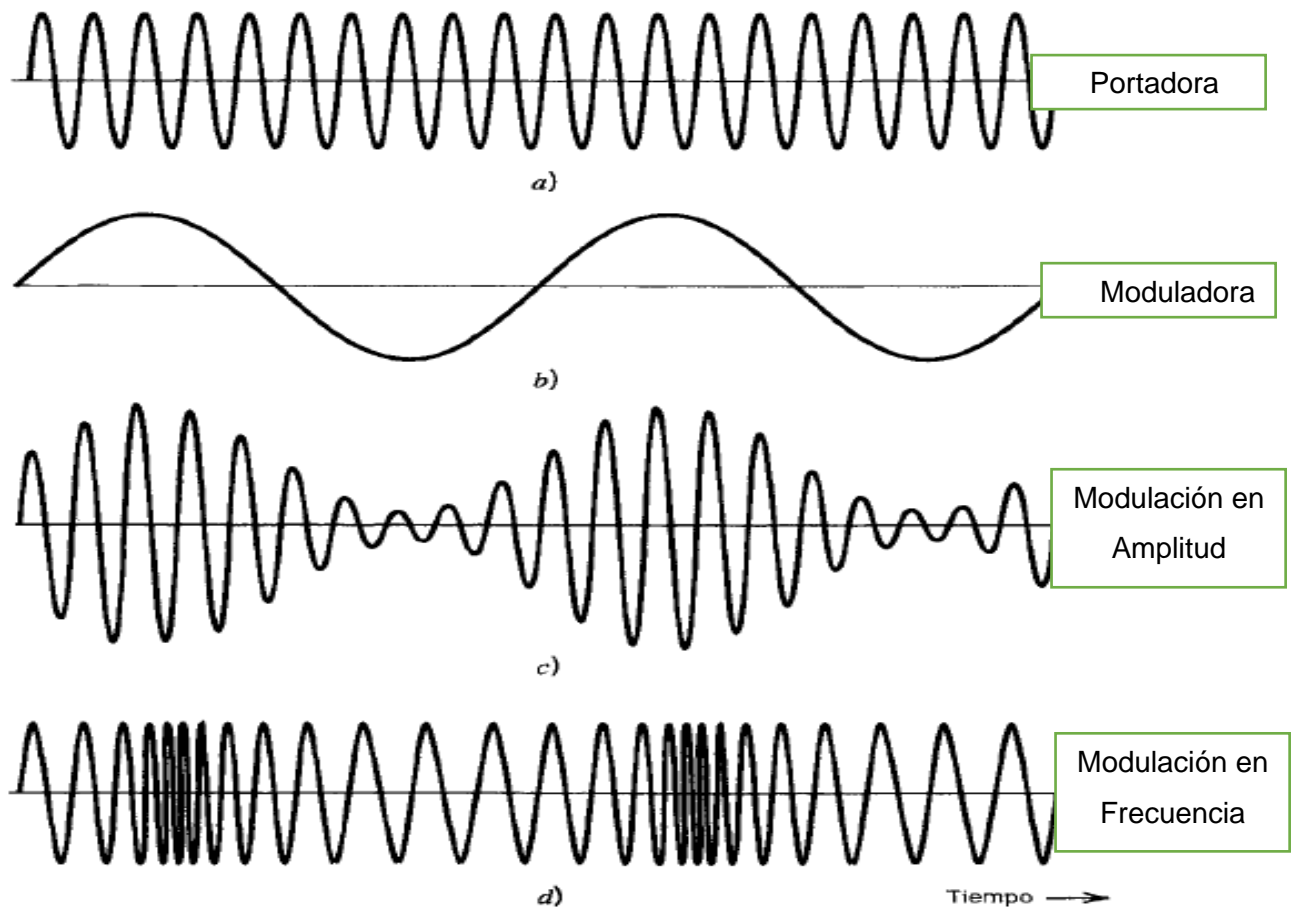
Diagrama de bloques para el proceso de modulación.



Nota: Autor.

El proceso de modulación es tan sencillo como se puede apreciar en la Figura 4, en él se muestra que en su proceso se multiplica dos señales y como resultado tendremos la señal modulada a una frecuencia determinada.

Figura 4
Modulación AM y FM



Nota: Tomado de Haykin (2002)

4.3.1.2. Modulación de frecuencia FM

La modulación de frecuencia es una técnica que se desarrolló como alternativa a la expuesta anteriormente, en este tipo de modulación también conocida como modulación no lineal por motivo que su función difiere de la señal moduladora, (Haykin, 2002) manteniendo constante la amplitud de la onda portadora, este proceso y componentes se visualiza en la Figura 5. Una de las razones para utilizar este tipo de modulación es que hay que dejar de preocuparse por la disipación de potencia y de igual forma es mucho más inmune al ruido porque evita la presencia de picos en la información, y en caso de presentarlos es posible utilizar circuitos recortadores porque no existe variaciones en la amplitud y de este modo se elimina cualquier momento.

Matemáticamente se puede expresar a la modulación de frecuencia como:

Considerando la señal moduladora definida por

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (\text{Ecuación 7})$$

La frecuencia instantánea de la señal FM que se produce es igual a:

$$f_i(t) = f_c + k_f A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (\text{Ecuación 8})$$

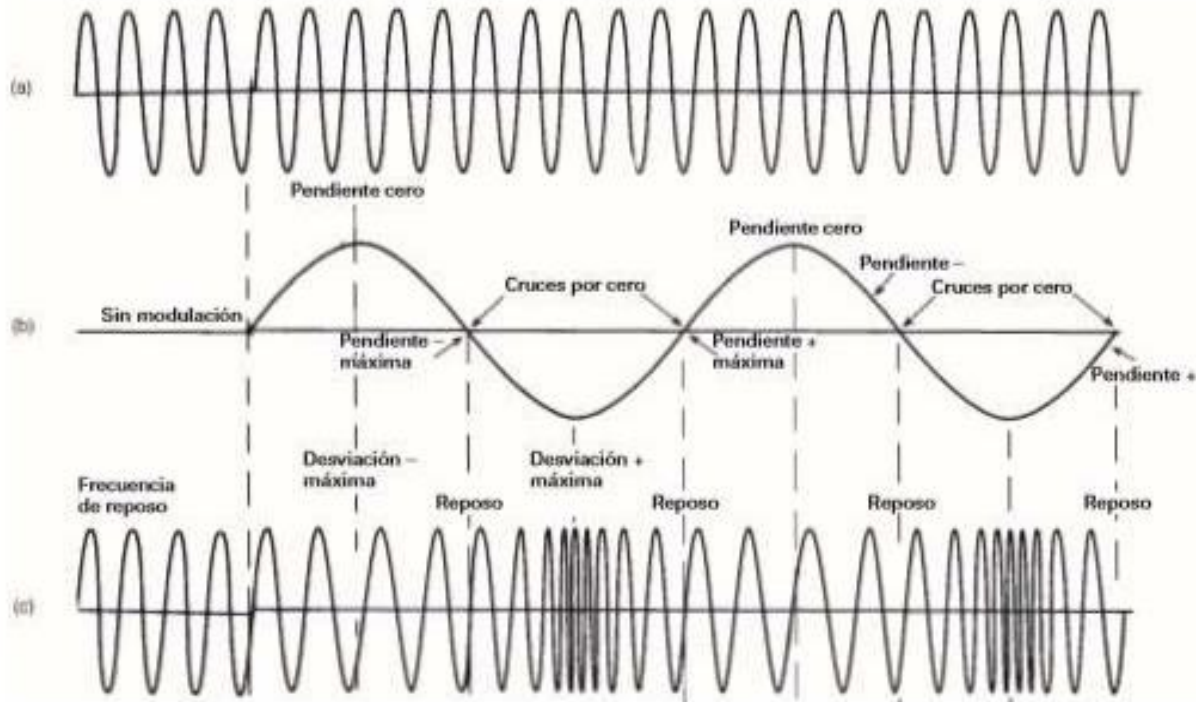
$$= f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t) \quad (\text{Ecuación 9})$$

En donde:

$$\Delta f = k_f A_m \quad (\text{Ecuación 10})$$

Δf se denomina a la desviación de frecuencia y representa la máxima desviación de la frecuencia instantánea de la señal de FM respecto a la frecuencia de la portadora f_c . Considerar además una característica fundamental de una señal de FM es que la desviación de frecuencia Δf es proporcional a la amplitud de la señal moduladora, e independiente de la frecuencia de modulación. (Haykin, 2002)

Figura 5
Modulación FM y sus componentes



Nota: Tomado de Peñafiel & Moreira (2018)

4.3.2. Comunicaciones digitales

El desarrollo de las telecomunicaciones y la aparición del internet ha hecho necesario cambiar la forma de transmitir datos desde un punto hacia su receptor, dado el caso se obtiene la información que puede ser de forma analógica o digital, puede ser en el caso analógico de un micrófono o una cámara y en el caso de ser una fuente digital podría definirse un servidor web, para realizar dicho proceso en las señales obtenidas es necesario que esta experimente una

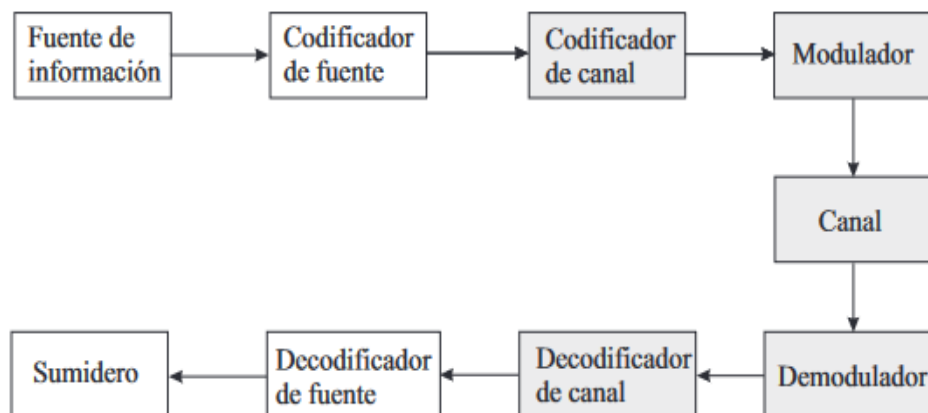
cadena de procesos que según Haykin (2002) sería muestreo, cuantificación, codificación para luego ser transmitida, ahora la señal ha pasado de ser una señal continua en el tiempo a una señal definida en un número finito y discreta en el tiempo.

4.3.2.1. Elementos necesarios para las comunicaciones digitales.

Las comunicaciones en la actualidad están determinadas por desarrollos tecnológicos, los mismos que han desarrollado nuevas maneras de interpretar los mensajes emitidos, nuevas dinámicas para su transmisión, distribución y exhibición de dichos mensajes, de igual forma existen nuevos medios de transmisión y lo más importante sus consumidores han crecido en número de usuarios y el tipo de información que se requiere para llegar a estos usuarios. La comunicación digital según varios autores y entre ellos (Briceño M, 2005) la define como una expresión que puede cubrir cualquier intercambio de información codificada, o como la transmisión de datos entre dispositivos terminales. Por tales motivos y para su correcto funcionamiento requiere de elementos indispensables o mínimos para que este proceso se complete de manera óptima, los mismos se detallan en la representación gráfica de la Figura 6.

Figura 6

Elementos que conforman la comunicación digital



Nota: Tomado de Artés Rodríguez & Pérez González (2012)

Todos los elementos que se detallan en la ilustración anterior cumplen una función en específico para completar la transmisión de datos, de esta forma el bloque de fuente de información se lo puede determinar fácilmente como un elemento que tomará del mundo real la información, pudiendo ser analógico o digital, en el caso analógico fácilmente se puede llegar a comprender que será un micrófono, una cinta de video, etc. O si esta fuente llegara ser digital se podría determinar un servidor, web. Luego el bloque denominado codificador de fuente es el que se tratará de representar los bits obtenidos en la menor cantidad de bits posible para aquello lo

hace eliminando la redundancia en la señal de entrada. En el bloque de codificador de canal es fácilmente comprensible que se hará lo necesario para proteger los bits producidos por los bloques anteriores en vista que la información que ha llegado a este bloque es únicamente una parte de la misma en bits, en este punto para proteger y garantizar que los bits lleguen de manera correcta al receptor se utiliza ciertos métodos para detectar que se ha introducido error en alguna parte, alguno de estos métodos es la paridad. En esta etapa ya contamos con la información lista para ser enviada, sin embargo, ahora depende del canal por el que se desea enviar dicha señal, esto dependerá de la capacidad del canal como potencia que soporta o incluso ancho de banda, por lo cual es necesario que el modulador haga dicho trabajo y lo ejecuta mediante la agrupación de bits (Artés Rodríguez & Pérez González, 2012) por ejemplo se pueden enviar en grupos de 8 niveles (2^3) y dependerá de aquello la optimización del canal. El canal se lo denomina simplemente al medio físico por el cual se va a transmitir la señal que proviene del modulador, pudiendo ser el espacio libre o un cable de par trenzado, o simplemente un cable de cobre, se debe considerar que todo medio físico deteriora la señal llegando en algunos casos incluso a perderse los bits.

De este medio hacia adelante los bloques que se muestran a continuación corresponden al receptor, por tal motivo realizan el proceso inverso al expuesto anteriormente, con la diferencia del bloque denominado en la imagen como sumidero, este implica la vuelta al mundo analógico convirtiendo la señal de salida lo más parecida a la ingresada en el momento de obtenerla, en el caso de un audio en este bloque se convertirá en audible.

4.3.3. Comparación de comunicaciones analógicas y digitales.

Las comunicaciones digitales son más inmunes a las interferencias e imperfecciones que estarán presentes en la transmisión y recepción, en comparación con las comunicaciones analógicas garantizando una mejor calidad de datos.

4.3.4. Comunicaciones móviles.

Las telecomunicaciones en los últimos años desempeñaron un papel importante en la inclusión digital, a pesar de imponerse el distanciamiento social fue necesario valerse de redes de telecomunicación para sostener empleos de manera remota, desarrollar y fortalecer la educación e incluso se llegó a fortalecer el comercio electrónico utilizando pagos móviles.

Las comunicaciones móviles son un sistema muy completo mismo que en Lafebre Valle (2016) menciona que dicha tecnología fue desarrollada en Estados Unidos y Europa y se comercializó en 1983 por temas de la adjudicación de frecuencias, esta fue la primera generación. Luego se creó GSM (Global System for Mobile Communication por sus siglas en Ingles) para el desarrollo de telefonía celular encargado de llevar a cabo la comunicación como servicios finales en una

zona denominada área de cobertura permitiendo a los usuarios la comunicación en dicho espacio mediante voz, mensajes de texto o videollamada y en muchos casos también internet todo aquello de manera inalámbrica, para lo cual se utiliza la red de telecomunicaciones la misma es reconocida en el boletín de la ARCOTEL (2020) y consiste llevar a cabo la transmisión de datos entre estaciones transmisoras – receptoras también denominadas estaciones base o radio base y centrales telefónicas mismas que hacen posible la comunicación móvil.

4.3.5. GSM

Con la aparición de nuevos dispositivos y en base a la evolución de la tecnología permitió el progreso de las generaciones principalmente en el área móvil, iniciando con redes de segunda generación (2G) las mismas utilizaron GSM y llegó a ser uno de los elementos principales en las redes móviles conforme ha pasado el tiempo se ha reemplazado por nuevas versiones hasta llegar en la actualidad a la 5G

La principal causa del desarrollo de estándares de GSM fue las incompatibilidades entre el desarrollo tecnológico entre países, para ello se formó en 1982 la organización GSM que en principio lo menciona Lizón González (2013) se llamó Group Special Mobile y el objetivo fue el de desarrollar una tecnología para el sistema celular estandarizado y debía cumplir algunos parámetros como: eficiencia espectral, se incluye el roaming, considerando además los costos de las estaciones móviles y radiobases, también debería brindar una calidad de voz y garantizar la compatibilidad con otros servicios, de igual manera tener la capacidad de soportar nuevos servicios.

4.4. Comunicaciones satelitales

Un satélite en la actualidad es un término muy conocido y utilizado en nuestro medio e incluso se estaría utilizando de aquellos equipos sin darnos cuenta gracias al avance tecnológico de nuestra época, sin embargo, para dar una definición del satélite existen dos tipos de satélites, los naturales y los artificiales y en algunos artículos como por ejemplo (González B, 2012a) lo definen a los satélites artificiales como un objeto que orbita alrededor de otro objeto de mayor tamaño, estos equipos están programados para que reciban y envíen señales de ondas de radio desde el espacio, y en la dirección que se encuentren programados, estos equipos de acuerdo a la investigación de (Luque Ordóñez, 2014) se pueden listar dos grupos de componentes, el primero se define la plataforma, los cuales constan como los elementos destinados a mantener el satélite operativo, y la segunda tiene como objetivo la prestación de algún servicio de radiocomunicación. Por lo general cubren grandes superficies geográficas y esto hace posible una serie de aplicaciones, ya que un satélite geoestacionario puede llegar a cubrir más de un tercio de la superficie terrestre, (Rosado, 1998) por tal razón en algunas aplicaciones que son necesarios

cubrir todo el planeta utilizan al menos una red compuesta por 3 satélites en la órbita geostacionaria que según (Rosado, 1998) representa un círculo virtual a los 36000 kilómetros sobre la superficie de la tierra y para lograr que dichos equipos permanezcan a cierta distancia y sincronía con el planeta se utilizan las fuerzas de corrección si bien de magnitudes pequeñas son aplicadas en intervalos determinados de tiempo, la importancia de que estos se encuentren en una posición fija con respecto a la tierra, es que dentro de su Zona de cobertura puede comunicarse con estaciones terrenas de apuntamiento fijo, no obstante también existen satélites que se encuentran en constante movimiento alrededor de la tierra denominadas constelaciones de satélites las mismas están destinadas para la geolocalización GPS y como para establecer el clima del globo terrestre; en la tabla que se encuentra a continuación se puede apreciar algunos de estos ejemplos con sus respectivas orbitas a las que operan.

Tabla 3
Tabla de constelaciones satelitales.

Orbita	Nombre	Numero	Altitud (Km)	Inclinación (°)
LEO	ISS	1	360 - 400	51 – 64
	Orbcomm	29	785	45
	Globalstar	48	1414	52
	Iridium	66	765	86
MEO	GPS	24	20200	55
	Glonass	24	19132	64.8
HEO	Molniya	4	504 - 39863	63.4
GEO	Astra	16	35788	0
	Hispasat	7	35788	0
	Goes	4	35788	0
	Meteosat	3	35788	0
	Intelsat	63	35788	0
	Inmarsat	12	35788	0
	Thuraya	3	35788	0

Nota: Modificado por el Autor.

Como se había mencionado anteriormente, los satélites juegan un papel importante en la vida diaria, y una de las aplicaciones es para predecir o conocer el clima para lo cual es indispensable un acercamiento de bajo coste para realizar la recepción de datos desde el satélite tomando en consideración que algunos eventos son muy importantes como el calentamiento global y

sabiendo que depende mucho del clima en nuestro planeta la vida del ser humano, tomando además en consideración que la ciencia, las matemáticas y la tecnología van de la mano para brindar un impacto en nuestras vidas ya que nos permite comprender los fenómenos del mundo real.

Según se menciona en la tesis doctoral de (Bava, 2004) que todos los elementos en la superficie terrestre reflejan y a su vez emiten radiación electromagnética dependiendo de las características del área que se encuentre reflejando la radiación electromagnética, de esta forma se logra descifrar la información que en ello transmiten, de igual forma al existir cambios en las superficies generan modificaciones en las intensidades de radiación, esto es aprovechado por los sensores que son quienes detectan el cambio y el satélite es el encargado de transportar la información hacia otro lugar en el espacio, pudiendo ser una estación terrena en el que se almacena o difunde los datos obtenidos.

4.5. Polarización de la antena en satélites.

En base a la necesidad de transmitir datos de manera inalámbrica se ha desarrollado equipos con dicha capacidad, sin embargo, al existir una gran cantidad de elementos, aplicaciones de radio móvil, GPS, celulares estaciones base, Wi-Fi, etc. operando a cierta frecuencia y como se ha definido con anterioridad existe cierta restricción para utilizar el espectro electromagnético por tal razón se encuentran varios servicios de pronto trabajando en el mismo espectro y de este modo se produce ruido, para contrarrestar dicha acción se utiliza una propiedad en las antenas de modo que cuente con la capacidad de enviar una señal y a su vez ésta viaje sin tener mayor impacto sobre otras.

La polarización en las antenas de acuerdo a la recomendación (UIT-R S.736-3, 1997) en referencia a la onda electromagnética se refiere como el vector del campo eléctrico situado en un plano ortogonal a la dirección de propagación. Así mismo existen tipos de polarización que se pueden describir como polarización circular o polarización lineal, en el caso de ser una polarización circular pueden existir rotaciones ya sea hacia la izquierda o hacia la derecha, y en el caso de encontrarse con una polarización lineal esta puede contener dos planos de polarización manteniendo la dirección de propagación de la onda y el vector de polarización.

4.6. Tipos de Comunicaciones Satelitales.

Desde la aparición de los satélites en 1957 (González B, 2012b) ha existido un avance constante y a pasos agigantados iniciando por los sistemas de comunicaciones con estaciones terrenas fijas, luego los sistemas de comunicaciones satelitales de carácter móvil y para llegar a los sistemas de comunicación de sistemas personales móviles de comunicación satelital, los

mismos que difieren entre si entre algunas de sus características por el tamaño de sus antenas y de igual forma el tamaño de los satélites.

Las transmisiones satelitales se llevan a cabo desde la superficie terrestre hacia el satélite y luego hacia la tierra actuando este último como un espejo en el espacio, el proceso para hacerlo más simple (González B, 2012b) lo explica como el segmento terreno y el segmento usuario, el segmento terreno dígase de los elementos requeridos en la tierra para llevar a cabo la comunicación hacia el satélite, aquí se encuentran una serie de tecnologías de modulación e incluso multiplexación, la función que desempeña la estación terrena esta entre otras cosas las de calcular y planificar las actividades que debe realizar el satélite, convertir esta planificación en una serie de comandos que sea entendido por el satélite, transmitir dichos comandos por las antenas cuando este pase por sobre la antena, recibir los datos que haya reunido el satélite desde el anterior contacto con la tierra y los envía, pudiendo ser por ejemplo imágenes, recibir datos del estado actual del satélite en y el caso de encontrar algún inconveniente buscar alternativas para corregir la salud del satélite, por ultimo procesar dichos datos para posteriormente almacenarlos o distribuir a los usuarios. El segmento usuario en cambio se determina al área de consumidores de la información en algunos casos el usuario será quien inicie una actividad del satélite como por ejemplo solicitar una observación de cierta superficie terrestre, y en otros casos el usuario espera únicamente de los datos del satélite en este caso se puede mencionar los servicios de navegación.

4.6.1. Clasificación de los satélites según su misión

4.6.1.1. Satélites de comunicaciones

Este tipo de satélites están destinados a brindar servicios fundamentales para el desarrollo tecnológico porque se menciona que son destinados específicamente para la difusión, contribución y distribución de señales de tv y para llamadas (Sacristán R, 2005) actualmente también son utilizados para brindar comunicación móvil, para brindar servicios de localización a usuarios que cambian constantemente su localización como barcos, aviones o automóviles, de igual forma para brindar servicios de radiodifusión que puede ser fija y de banda ancha son las que proporcionan servicios de televisión, telefonía y radio, permitiendo una amplia cobertura y de forma independiente del terreno, también ahora en el ámbito de datos brinda el servicio de internet satelital, este servicio es muy utilizado en la actualidad para áreas muy remotas.

4.6.1.2. Satélites Meteorológicos.

Este ámbito también es un área muy utilizada en la actualidad el mismo estudia el estado del tiempo permitiendo conocer los datos en la actualidad y gracias a ello se puede predecir fenómenos a futuro llevándose de esta forma las predicciones del tiempo. Los satélites

meteorológicos se encuentran en una posición privilegiada (González B, 2012b) porque se puede observar la situación meteorológica del globo terrestre sin embargo los datos que brindan son de acuerdo a la radiación que le llega al sensor situado en el satélite

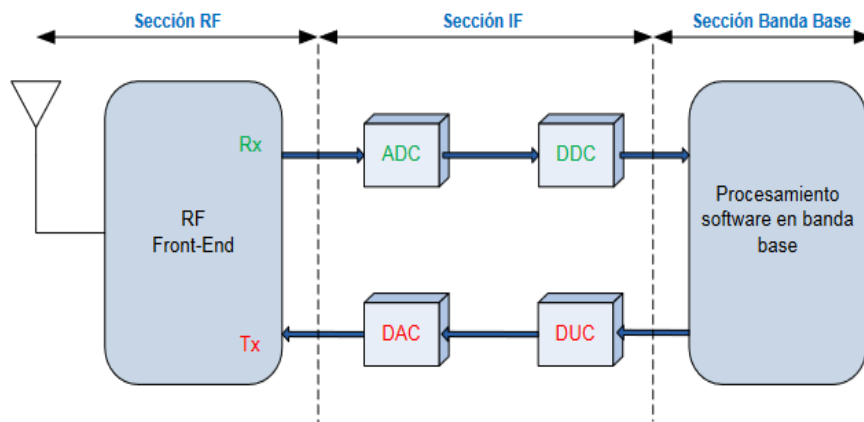
4.7. La Radio Definida por Software

El constante avance de las telecomunicaciones ha exigido la evolución de la manera de transmitir o recibir señales, admitiendo así el desarrollo de la radio definida por software, tecnología que actualmente se presenta en un sistema en la que la mayoría de sus componentes están implementados en software, estos sistemas según (Pinar D & Murillo F, 2011) son reconfigurables, permitiendo que mediante un ordenador se pueda modificar parámetros de los componentes utilizados en el sistema de comunicación, y de este modo tiene la habilidad de modificar un radio para cambiar su modo de actuar y mejorar su comportamiento permitiendo ser utilizado para más de un propósito, se puede diseñar componentes como filtros, mezcladores, amplificadores, transceptores, osciloscopios, moduladores/demoduladores, de igual forma configurar sistemas más complejos como analizadores de espectros o analizadores vectoriales de redes, citando a (Rocha, 2020) en su artículo indica que gracias al surgimiento de los radios basados en procesadores digitales de señales estos emplean técnicas digitales de filtrado y supresión de ruido, se ha logrado conseguir una mejor calidad de trasmisión y recepción de señales en comparación con los circuitos analógicos.

Al experimentar la enorme evolución de los sistemas de comunicación, se presentaron algunos inconvenientes a la hora de actualizar la tecnología como por ejemplo la incompatibilidad de sus sistemas, porque cada vez sus requisitos son más exigentes, por lo tanto, han ocasionado un problema a la hora de reutilizar sus equipos en las telecomunicaciones. Las SDR está en la capacidad de solucionar dichos inconvenientes, ya que realiza un conjunto de procedimientos y técnicas orientadas a realizar dicho procesamiento de las señales digitales en un dispositivo de propósito general, citando a (Cerezo T, 2018) que menciona una de las características muy importantes de SDR es la posibilidad de reconfigurar el transceptor, el mismo permitirá adaptarse a diferentes interfaces de comunicación, del mismo modo ofrece la capacidad de incluir nuevas aplicaciones y servicios.

Para llegar a comprender la estructura y funcionamiento del sistema SDR se encuentra la imagen tomada de (Pinar D & Murillo F, 2011) que asegura que se puede precisar en 3 principales bloques, estos se detallan en la **Figura 7** tomando como un esquema básico: la sección de radiofrecuencia, sección de frecuencia intermedia y sección banda base.

Figura 7
Representación por bloques de un SDR



Nota: Tomado de (Pinar D & Murillo F, 2011)

4.7.1. Sección de radiofrecuencia

Como se ha indicado anteriormente radiofrecuencia se define como el hecho de transportar señales a través del espacio, esta sección está encargada de transmitir y recibir señales de radio (antena), para llevar a su siguiente nivel de procesamiento. En el caso de la recepción de señales en este módulo prepara y las convierte en frecuencia intermedia, mientras que en el caso de transmisión amplifica y modula la señal de IF.

4.7.2. Sección de frecuencia intermedia.

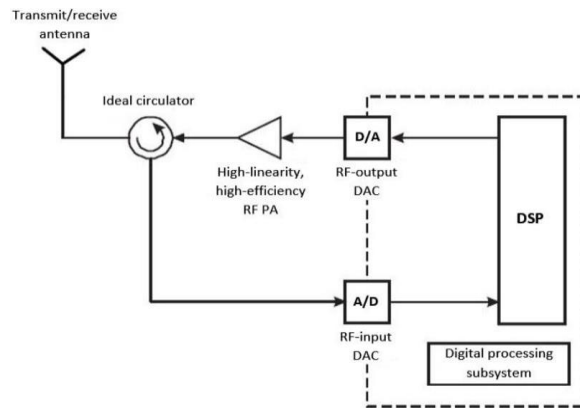
Al analizar este bloque se puede analizar desde el punto de vista de la recepción, el proceso a realizar es el encargado de la digitalización de señales, pasarla a banda base con la intervención de un módulo Digital Down Converter, luego pasara a diezmarla para disminuir la tasa de muestreo con el objetivo de adaptarla a la capacidad de transmisión de datos de la guía o bus que lleva a la sección de procesado. En el caso de la transmisión de datos sería la inversa es decir pasar las señales de banda base a Frecuencia Intermedia mediante un módulo denominado Digital Up Converter se realiza una interpolación y se realiza la conversión Analógica-Digital para que pueda transmitirse (Cerezo T, 2018).

4.7.3. Sección de banda base.

De acuerdo a algunas investigaciones como la de (Cerezo T, 2018) en la que menciona que estaría ocupando el lugar de los bloques más importantes o punto clave de la SDR, es el bloque encargado del procesamiento en software de la señal en este caso se lleva a cabo los procesos como la modulación, demodulación, el análisis espectral, filtrado de señal etc. (Rocha, 2020), todo esto a velocidades muy elevadas la cual está determinada por la frecuencia de muestreo, un esquema de la arquitectura original SDR puede notarse en la **Figura 8**.

Ahora es importante también realizar un análisis desde el punto de vista de un SDR de manera más profunda y analizar el modelo ideal de una radio definida por software, tomando en consideración que los convertidores analógico-digital y el convertidor digital-analógico cuentan incorporados sus respectivos filtros anti-aliasing y de reconstrucción respectivamente.

Figura 8
Radio Definida por Software en arquitectura original



Nota: Tomado de (Gutiérrez R, 2021)

En primera instancia se encuentra la antena, misma que está conectada al circulator ideal, esta representación lo explica (Gutiérrez R, 2021) que se usa para “separar los caminos de las señales” es decir que en este elemento realiza el paso de señales tanto de transmisión como de recepción y se basa en una coincidencia entre él y las impedancias de la antena y el amplificador, además debe ser de banda ancha para funcionar de acuerdo a las frecuencias que se requiera trabajar.

El amplificador de potencia es el encargado de una transferencia ideal de la modulación de radiofrecuencia que se dirige desde el convertidor digital-analógico hasta llegar a una señal adecuada para su transmisión.

Los procesos de modulación, la canalización y los protocolos se determinan en el software dentro de un subsistema de procesamiento digital los mismos que tienen sus propias características y desarrolladas para desempeñarse en un área de aplicación, algunos de ellos se describen a continuación:

4.7.3.1. DSPs.

Llámesese DSP a cualquier elemento o chip que trabaje con señales representadas de forma digital, es decir son microprocesadores que se encargan de los cálculos matemáticos que son necesarios para el procesamiento de señal en tiempo real (Salazar, 2021) por este trabajo que realizan son indispensables en los sistemas actuales y que lo menciona (Gutiérrez R, 2021) fueron la base tecnológica del cual se originó SDR, presentan flexibilidad y varias aplicaciones,

llegando a ser imprescindible para las comunicaciones, por el hecho de contar en su circuitería con arquitecturas de memoria y permitir acceso múltiple facilitando realizar varios operandos a la vez.

4.7.3.2. FPGAs.

Se reconocen en la electrónica y comunicaciones como matrices de puertas programables, porque están formados por una matriz de bloques lógicos configurables y a su vez cada bloque está formado por Slices, y cada Slice está formado por celdas lógicas estas llegan a estar en la base porque son la unidad más pequeña de los FPGA (Espejo B, 2016) manifiesta que son cada vez más utilizados en aplicaciones que requieren un alto grado de paralelismo y alta velocidad de procesamiento como en este caso las señales que ofrecen mucha flexibilidad que la que se podría construir de manera rentable en un ASIC por esta razón se ajusta perfectamente a los requisitos de SDR.

4.7.4. Niveles de SDR.

De acuerdo a la necesidad de poder identificar en que ámbito se desempeña o hasta que alcance tiene un equipo SDR, el Wireless Innovation Forum las ha distribuido o definido en 5 niveles de utilización de software dentro del radio para poder controlar las actividades que se desarrollan en la capa física, para lo cual se basa en la frontera entre hardware y software en el equipo.

4.7.4.1. Nivel cero.

Se trata únicamente de un radio construido en hardware según (Garcia A, 2011) en este nivel no se puede cambiar su configuración por software, en este nivel no existe software en ningún evento del funcionamiento del radio.

4.7.4.2. Nivel uno.

En este nivel se puede identificar a los radios controlado por software, pero tiene limitaciones en lo que refiere a funciones controlables, solamente se controla ciertas funciones como el nivel de potencia, interconexiones entre otras, pero no se puede llegar a controlar modo o frecuencia.

4.7.4.3. Nivel dos.

En este nivel ya cuenta con software configurable una gran parte del radio en (Garcia A, 2011) los define con el término de "Radio Controlado por Software" ya que controla ciertos parámetros como por ejemplo Frecuencia, modulación, generación, detección de forma de onda, etc. Sin embargo, la etapa de radiofrecuencia se mantiene en hardware y no se lo puede reconfigurar.

4.7.4.4. Nivel tres.

En esta etapa de la clasificación de los equipos SDR en que al menos una de sus funciones está definida por software, a partir de este nivel se lo puede considerar como radio definido por

software ideal, en esta etapa la frontera entre la capacidad para cambiar las configuraciones y la no configurable se encuentra más cerca de la antena.

4.7.4.5. Nivel cuatro.

Los equipos que se encuentran en esta categoría se los denomina como Ultimate Software Radio (USR), y se ubican en una etapa arriba de ISR en función que son equipos completamente configurables y además soportan un rango muy amplio de funciones, y frecuencias simultáneamente.

4.8. GNU radio.

En su página de desarrollo (GNURadio, 2021) lo definen como una herramienta de desarrollo de software, se encuentra dentro del grupo de programas de código abierto y gratuito, su estructura está basada en bloques de procesamiento de señales los mismos que al ser arrastrados hacia la ventana principal crean el código necesario para llevar a cabo los procesos requeridos para crear radios definidos por software, estos pueden funcionar con equipos externos o también conocidos como Hardware de RF externo de bajo costo, o también crear un entorno de simulación de procesamiento de señales, por esta razón y en esta ocasión será utilizado en el ámbito de la academia para la investigación de las comunicaciones inalámbricas como también de los sistemas de radio que se encuentren disponibles en el mundo real.

De igual forma otros autores como (Pinar D & Murillo F, 2011) lo definen como el conjunto de archivos y aplicaciones agrupadas en librerías de modo que permite al usuario la manipulación de señales a través del procesamiento digital, facilitando de este modo el diseño de algunos sistemas con el hecho de conectar el ordenador a un SDR, la base para funcionar está inventada en Python, que se lo define en (Pinar D & Murillo F, 2011) como un lenguaje orientado a objetos interpretado, *no se compila sino que el sistema operativo lo ejecuta directamente.*

5. Metodología

El presente trabajo de titulación como proyección, pretende la implementación de un laboratorio de radio definida por software para desarrollo de prácticas de laboratorio, basado en un sistema de tarjetas de bajo costo, dentro de este contexto se planteó un modelo de investigación cualitativo, dividido en tres fases, mismas que permiten satisfacer el cumplimiento de los objetivos, así como desarrollar de manera estructurada un proceso de investigación eficiente.

5.1. Investigación bibliográfica

El inicio de la investigación partió desde la recopilación bibliográfica obtenida directamente desde el docente técnico encargado del laboratorio de antenas, mismo que brindo acceso al silabo de la asignatura de:

- *Comunicaciones Analógicas (CIEYT- 7mo CICLO)*

Esta asignatura establece un sumario de prácticas complementarias al contenido teórico, con el fin de que el estudiante desarrolle habilidades técnicas, a continuación, se presenta un resumen de los temas que abordan, los detalles están dispuestos en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Distribución de prácticas de laboratorio para la asignatura de comunicaciones analógicas

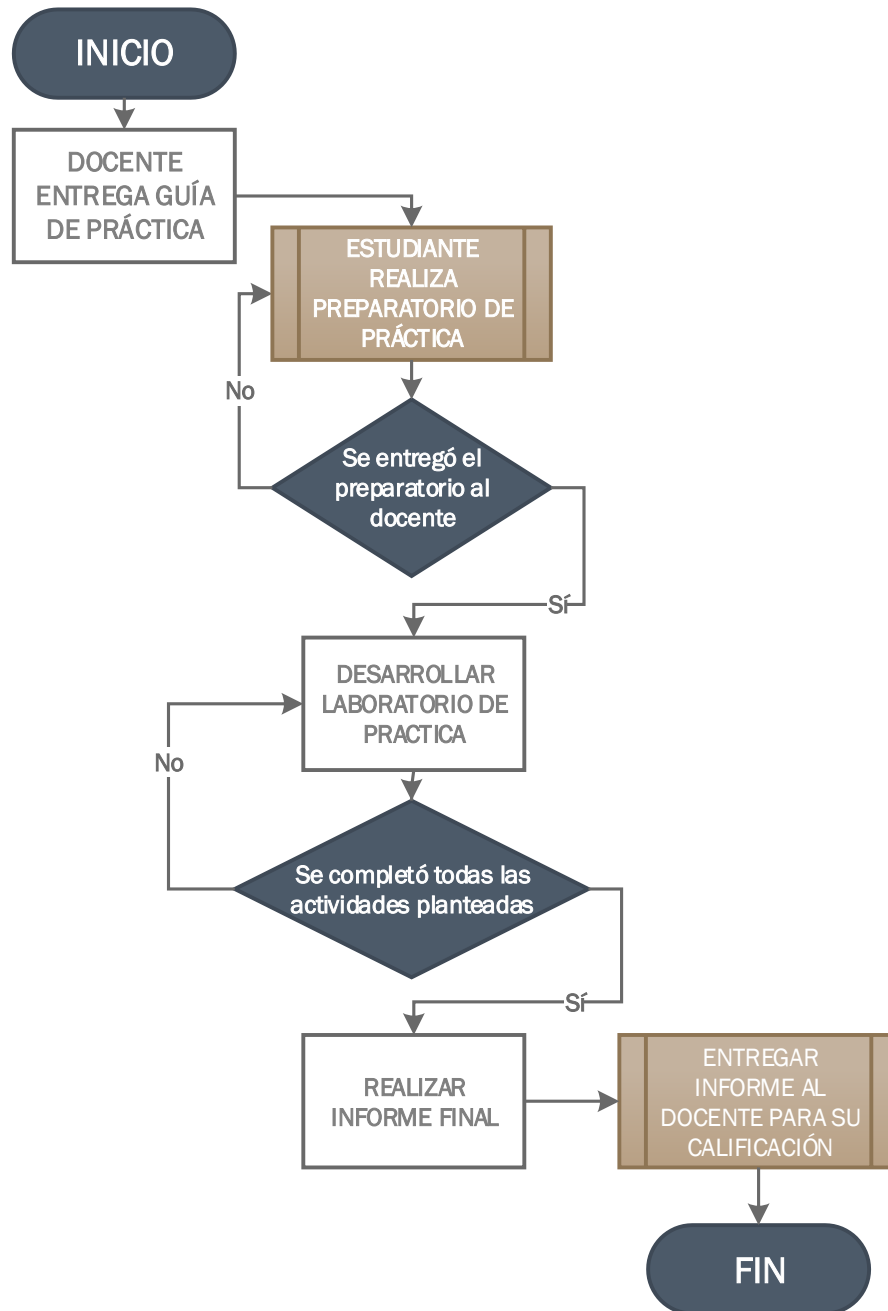
Estructura de prácticas conforme a la asignatura de Comunicaciones Analógicas			
# Practica	Tema	Tema Global	# Horas
Practica 1	INTRODUCCIÓN A MATLAB Y SIMULINK	Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones	4
Práctica 2	ANÁLISIS DE SEÑALES CON EL USO DE MATLAB	Capítulo 2: Señales Eléctricas en Comunicaciones	8
Práctica 3	ANÁLISIS ESPECTRAL EN MATLAB Y SIMULINK	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	4
Practica 4	ANÁLISIS DE SEÑALES TIEMPO Y FRECUENCIA EN MATLAB	Análisis de Señales Periódicas	4
Practica 5	ALTERACIONES EN LAS SEÑALES RUIDO	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	4
Práctica 6	ALTERACIONES EN LAS SEÑALES RUIDO	Mezclado de señales	4
Práctica 7	MODULACIÓN ANALÓGICA DE AMPLITUD	Capítulo 5: Modulación Analógica	2
Practica 8	DEMODULACIÓN EN FM	Modulación Analógica	2
Practica 9	MODULACIÓN ANALÓGICA ANGULAR (FM y PM)	Modulación Analógica	2
TOTAL DE HORAS			34

Nota: Autor.

A su vez el silabo determina la metodología de desarrollo y evaluación de las prácticas de acuerdo al siguiente diagrama de flujo de la **Figura 9**.

Figura 9

Metodología de desarrollo y evaluación de prácticas de laboratorio



Nota: Autor.

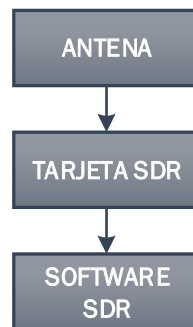
Una vez obtenido el compendio de temáticas abordadas en las diferentes asignaturas ya estructuradas en las asignaturas de comunicaciones analógicas y digitales de la carrera de CIEYT se pretende acoplarla.

5.2. Diseño del sistema basado en SDR

El sistema SDR planteado en la investigación se visualiza en la **Figura 10** y está compuesto de los componentes: Antena, Tarjeta de desarrollo SDR, Software SDR.

Figura 10

Sistema basado en SDR



Nota: Autor.



5.2.1. Selección de hardware y software

5.2.1.1. Selección de tarjetas SDR

El criterio de selección para las tarjetas SDR se realizó conforme a costo, frecuencia de muestreo y operación, así como los modos de transmisión disponibles, los detalles de las tarjetas a evaluar se pueden observar en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Selección de tarjetas SDR

	ADALM-PLUTO	LimeSDR Mini
Tarjeta		
Frecuencia de Operación	Cobertura RF desde 325 MHz a 3,8 GHz	Cobertura RF desde 10 MHz a 3,5 GHz
Ancho de banda en RF	20 MHz	40 MHz

Frecuencia muestreo	de	61.44 MSPS	30.72 MSPS
Resolución ADC y DAC		12 bits	12 bits
Modo		Transmisor, receptor, semidúplex o dúplex completo	Transmisor, receptor, semidúplex o dúplex completo
Conector		SMA	SMA
USB		2.0	3.0
Potencia transmisión	de	7dBm	10dBm
Precio		\$230.62	\$159

HackRF One

RTL-SDR BLOG V.3.

Tarjeta



Frecuencia Operación	de	Cobertura RF desde 1 MHz a 6 GHz	Cobertura RF desde 500 kHz a 1,776 GHz
Ancho de banda RF	en	20 MHz	2.4 MHz
Frecuencia muestreo	de	20 MSPS	3.2 MSPS
Resolución ADC y DAC		8 bits	8 bits
Modo		Transmisor, receptor, semidúplex	*
Conector		SMA	SMA
USB		2.0	3.0
Potencia transmisión	de	15 dBm a 2.4 GHz	*
Precio		\$299	\$29.95

Nota: Autor.

De tal forma bajo estos parámetros de selección las tarjetas de desarrollo SDR seleccionadas fueron:

- ✓ ADALM-PLUTO
- ✓ LIMESDR Mini

5.2.1.2. Selección de antena

El criterio de selección de la antena se da de acuerdo a su frecuencia de operación, ancho de banda y su impedancia característica, por consiguiente, la antena a seleccionar debe cumplir con los requisitos de las tarjetas SDR seleccionadas.

Las tarjetas Adalm-pluto y LimeSDR mini funcionan con una impedancia de 50 Ω y conector SMA, por ende, la antena a seleccionarse debe cumplir con el parámetro de poseer una impedancia característica de 50 Ω y su medio de conexión debe cumplir con un correcto acople de impedancias para un funcionamiento efectivo.

De tal forma la antena a utilizarse fue:

- ✓ Antena Dipolo Desplegable (50 Ω - Conector SMA)

5.2.1.3. Selección de Software

El criterio de selección del software se da de acuerdo a su compatibilidad con el hardware seleccionado, su usabilidad conforme a las practicas a diseñar, su distribución open source y su facilidad de instalación, de tal forma se utilizó los siguientes softwares.

- ✓ GNU RADIO: es una herramienta de desarrollo libre y abierta que provee bloques de procesamiento de señal para implementar sistemas de radio definida por software. Puede utilizarse con hardware de RF de bajo costo para crear radios definidas por software, o sin hardware en un ambiente de simulación.
- ✓ WXTOIMG: es un decodificador de satélite meteorológico APT y WEFAX (WXsat) totalmente automatizado, sirve para interpretar contenido obtenido mediante comunicaciones satelitales.
- ✓ GPREDICT: es una aplicación de seguimiento de satélites y predicción de órbitas en tiempo real. Puede rastrear una gran cantidad de satélites y mostrar su posición y otros datos en listas, tablas, mapas y diagramas polares (vista de radar).
- ✓ SDRSHARP: es un popular programa de radio definido por software que es compatible con RTL-SDR, Airspy y varios otros dispositivos SDR. Su principal característica es la posibilidad de que terceros desarrollen complementos para el software.

5.3. Estructuración de prácticas

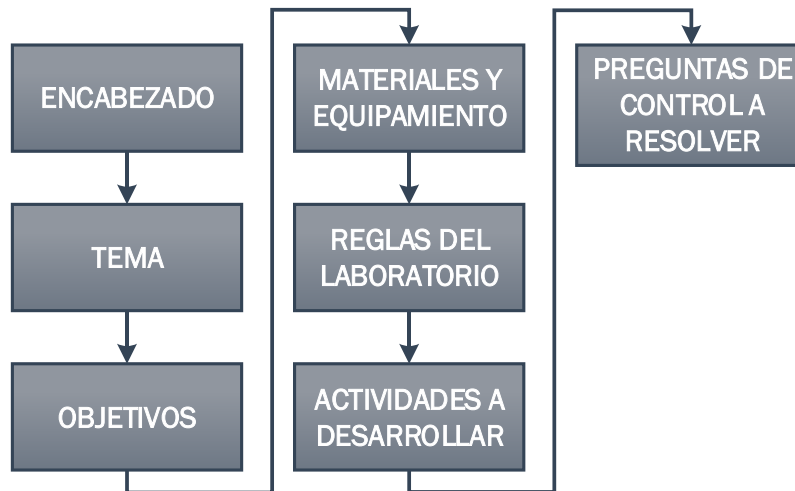
La estructura del informe de práctica presenta los siguientes componentes:

- Encabezado: Contiene información en cuanto al número de práctica, la temática, el tiempo planificado para su desarrollo, número de integrantes del grupo y las estaciones de trabajo asignadas.
- Tema: nombre de la práctica.
- Objetivos: representan las metas que se pretende cumplir al desarrollar la práctica
 - Objetivo general
 - Objetivos específicos
- Materiales y equipamiento: notifica y prepara al estudiante para que adquiera materiales adicionales o consiga herramientas necesarias en caso de que sean requeridos
- Reglas del laboratorio: advierte al estudiante las normas a seguir dentro del laboratorio y las indicaciones para el correcto desarrollo de la práctica
 - Reglas
 - Instrucciones
- Marco teórico: requiere al estudiante desarrollar una investigación de aprendizaje autónomo con el fin de comprender los conceptos teóricos a utilizar en la práctica.
- Actividades a desarrollar: se trata de las tareas a ejecutar por el estudiante durante la práctica de laboratorio.
- Resultados obtenidos: se refiere a la recopilación de evidencia sobre la resolución de las actividades a desarrollar.
- Discusión: es la interpretación del estudiante de las implicaciones y limitaciones en los resultados obtenidos, así como su comparación respecto a los objetivos de la práctica.
- Conclusiones: detalla y resume los puntos más relevantes de la práctica añadiendo el aporte de la experiencia durante el desarrollo de la misma.
- Recomendaciones: especifica los pormenores, sugerencias y problemas que surgen durante el desarrollo del practica
- Preguntas de control: se trata de un breve cuestionario para realizar un diagnóstico del conocimiento del estudiante sobre la práctica de laboratorio.
- Bibliografía: recopilación bibliográfica del contenido citado en el marco teórico.

Al definir los componentes del informe de práctica, también se establece quienes de estos conforman la guía, el preparatorio y el informe final. La **Figura 11** especifica los componentes

que integran la guía, misma que será entregada por parte del docente al estudiante con un adecuado tiempo de antelación previo a la práctica de laboratorio.

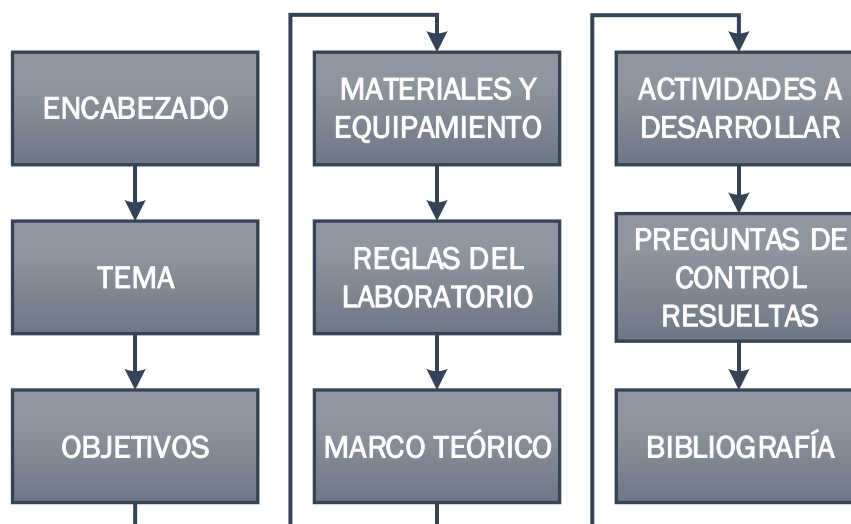
Figura 11
Esquema de guía de práctica



Nota: Autor.

El preparatorio, debe ser desarrollado por el estudiante como requisito para realizar la práctica de laboratorio e incluye los componentes previamente integrados en la guía y añade las secciones de marco teórico, las preguntas de control resueltas y la bibliografía tal como se muestra en la **Figura 12**.

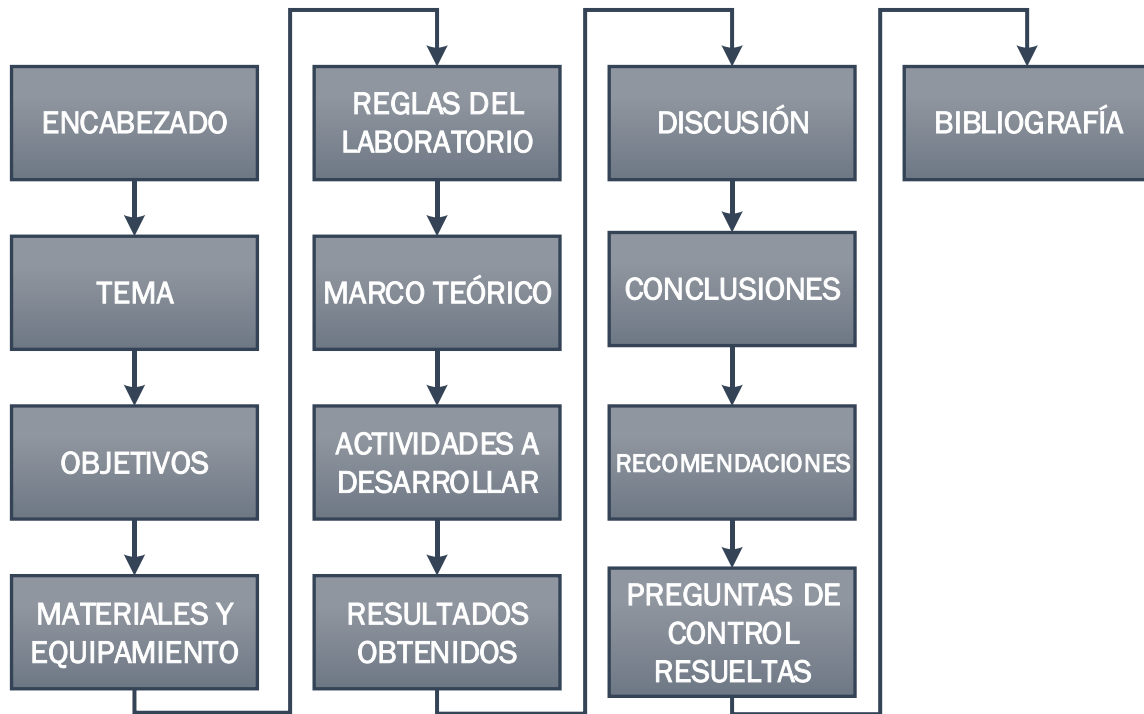
Figura 12
Esquema de preparatorio



Nota: Autor.

Una vez desarrollada la práctica, el estudiante debe redactar el informe final en donde recopilará todos los componentes debidamente resueltos y organizados tal como se muestra en el esquema de la **Figura 13**.

Figura 13
Esquema de informe de práctica



Nota: Autor.

5.4. Desarrollo de prácticas

En base a los capítulos previos se establece la siguiente distribución de temas, tema global y específicos que se interpreta en cada práctica y su identificación, esta distribución se puede apreciar en la **Tabla 6**.

Mientras que la **Tabla 7**, recopila los objetivos generales y específicos, así como las actividades a desarrollar de cada práctica.

Tabla 6*Resumen distributivo del desarrollo de prácticas*

# Practica	Tema Global	Temas específicos	Título de la práctica	Duración
1		Introducción a SDR. Instalación de drivers y equipos necesarios.	Introducción a los sistemas de comunicación, e instalación de los complementos necesarios para el desarrollo de prácticas con SDR	2 horas
2	Introducción a los Sistemas de comunicación	Construir un analizador de espectro usando SDR, tanto para la banda de FM, comunicaciones móviles como también satelitales. Identificar e investigar señales de radiofrecuencia del mundo real con los dispositivos.	Analizador de espectro y recepción de señales en las bandas comerciales de AM y FM.	2 horas
3	Modulación de amplitud	Observación de formas de ondas moduladas en amplitud usando SDR. Transmisión y recepción de portadora DSB usando SDR.	Modulación y demodulación de señales de doble banda lateral (DSB)	4 horas
4	Modulación de Frecuencia	Sistema de comunicaciones Fm de banda base. Modulación y demodulación en frecuencia.	Modulación en frecuencia y sus respectivas bandas de comunicación, modulación y demodulación de mensajes utilizando la modulación FM	6 horas

# Practica	Tema Global	Temas específicos	Título de la práctica	Duración
5	Comunicaciones Digitales	Observación de formas de onda moduladas por portadora Digital usando SDR. Simulación de tasa de error. Receptores BSPK. Comunicación DBPSK usando SDR.	Comunicaciones digitales, forma de ondas, tasa de error de bit, y comunicaciones BPSK y DBPSK	6 horas
6	Comunicaciones de espectro ensanchado	Simulación de sistemas de comunicación de espectro ensanchado de secuencia directa. Comunicaciones DSSS BPSK con el uso de SDR	Análisis de técnicas de comunicación de espectro ensanchado, utilizados por GPS, 3G CDMA.	6 horas
7	Comunicaciones Satelitales	Conexión satelital utilizando el receptor de transmisión automática de imágenes mediante SDR de la red de satélites NOAA	Comunicación satelital creación de elementos radiantes para la obtención de imágenes de la red de satélites NOAA	6 horas.
Total de horas programadas				32 horas

Nota: Autor.

Tabla 7*Cuadro de objetivos y actividades a desarrollar por práctica*

#	Objetivo General	Objetivos específicos	Actividades a desarrollar
Prac tica			
1	Investigar, conocer y desarrollar el funcionamiento de aplicaciones del sistema de comunicación con SDR, además preparar los elementos necesarios como antenas, conectores, etc. para el desarrollo de las prácticas subsiguientes.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reconocer y describir los conceptos básicos de SDR, y comprender la diferencia entre dicho sistema y un sistema de radio tradicional. ➤ Introducir al estudiante los principios básicos para configurar y verificar la comunicación entre el equipo y la PC. ➤ Conectar de manera práctica al SDR con periféricos como extensión de USB, antenas etc. y verificar las funciones básicas de los equipos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Como parte del preparatorio previamente se debe realizar la parte técnica en el cableado y acople a la antena para utilizar el SDR. 2. Una vez que se tenga listo los elementos antes descritos pasar a realizar las siguientes actividades y llevar a continuar la presente practica: Instalar las aplicaciones requeridas de acuerdo al Sistema Operativo sobre el que se esté trabajando. 3. Verificar y configurar el/los equipos SDR se encuentren en línea con el ordenador
2	Introducir a los estudiantes al ámbito de las telecomunicaciones mediante el uso y la verificación de señales en el espectro electromagnético y sobre todo las señales que se	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verificar que su dispositivo SDR se encuentre comunicando con las aplicaciones que se utilizaran en este proyecto. ➤ Identificar y analizar señales que se encuentren en el espacio, además verificar la frecuencia a la que está receptando dicha señal 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conectar el equipo SDR al ordenador, de preferencia utilizar una extensión USB para facilitar su manipulación y evitar posibles daños del equipo. 2. Utilizar la aplicación de GNU radio y sus respectivos bloques para construir un analizador de espectro de acuerdo a la frecuencia que se desea analizar. 3. Iniciar la búsqueda o verificar las señales en las distintas bandas y frecuencias que enseñe el equipo y

#	Objetivo General	Objetivos específicos	Actividades a desarrollar
Prac tica			
	encuentran en la banda comercial de AM y FM.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Documentar cada uno de los procesos mantenidos para el análisis de dichas señales mediante el uso de imágenes o capturas. 	<p>comparar con las frecuencias comerciales que existen en el medio.</p> <p>4. Documentar los resultados obtenidos en forma de imágenes y texto.</p>
3	Investigar, comprender e implementar la modulación y demodulación de señales de Doble Banda Lateral (DSB) a través de los equipos SDR.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Observar y comprender el funcionamiento y uso de formas de onda moduladas en amplitud a través de SDR. ➤ Ejecutar en software un circuito que permita la modulación y demodulación para señales en AM. ➤ Representar la transmisión y recepción de portadoras de Doble Banda Lateral (DSB) utilizando el transceptor simulado. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Describir y caracterizar la forma de onda de una señal basándose en el dominio del tiempo y la frecuencia. 2. Simular la transmisión de dos mensajes independientes utilizando los dispositivos SDR. 3. Construir un transmisor en tiempo real. 4. Construir un receptor DSB-LC en tiempo real utilizando SDR
4	Investigar, conocer y desarrollar un sistema de comunicaciones en modulación FM de banda base, además analizar la modulación y demodulación en frecuencia.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reconocer y describir los conceptos básicos de la modulación en frecuencia FM ➤ Conocer las bandas, canalización y grupos de frecuencia definidas por el Arcotel ➤ Conectar de manera práctica un sistema de comunicación utilizando los equipos SDR para transmitir la modulación FM. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Crear un sistema de comunicación en el programa GNU radio, y simular un sistema de transmisión en Banda base. 2. Crear un sistema de comunicación utilizando SDR en complemento con GNU radio para lograr transmitir por el medio inalámbrico y tratar de demostrar que el sistema funciona a través de un receptor FM. 3. Documentar el proceso y resultados del proceso que se ha llevado a cabo, además de mostrar los mismos

#	Objetivo General	Objetivos específicos	Actividades a desarrollar
Prac tica			mediante capturas de pantalla y anexos que puedan demostrar de manera clara el proceso seguido y de este modo se convierta en guía para los estudiantes.
5	Investigar sobre la comunicación digital BPSK y QPSK con la finalidad de conocer y analizar la forma de onda, y su tasa de error de bit.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reconocer y diferenciar los conceptos básicos de la comunicación digital BPSK, y la QPSK. ➤ Analizar y simular la forma de onda y la tasa de error de bits que se produce en las comunicaciones digitales, BPSK, y la QPSK. ➤ Realizar la simulación de la Comunicación QPSK usando SDR. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigar los procesos para que se pueda llevar a cabo una modulación digital basada en el cambio de fase. 2. Crear y llamar las diferentes variables que se utilizaran en el sistema de modulación BPSK o QPSK 3. Crear un sistema y realizar los arreglos necesarios para demostrar el proceso a seguir en el software GNU radio, del mismo modo documentar los pasos requeridos hasta su transmisión.
6	Investigar y analizar las técnicas de la comunicación de espectro ensanchado, y sus aplicaciones.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conocer los conceptos básicos de GPS, y la técnica de acceso múltiple 3G CDMA, mediante investigación. ➤ Reconocer y describir los conceptos básicos de la comunicación de espectro ensanchado de secuencia directa. ➤ Desarrollar la simulación de la comunicación DSSS BPSK, con el uso de un SDR. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instalar el software requerido para obtener la información 2. Conectar los equipos y sintonizar en las bandas de trabajo para poder detectar y verificar la portadora de señal GSM. 3. Documentar el proceso realizado y evidenciar los resultados obtenidos.

#	Objetivo General	Objetivos específicos	Actividades a desarrollar
Prac tica			
7	Realizar la conexión satelital utilizando el receptor de transmisión automática de imágenes mediante el SDR de la red de satélites NOAA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Describir los conceptos básicos de la comunicación satelital, mediante la investigación ➤ Conocer sobre tecnología con la que trabajan los satélites NOAA. ➤ Conocer el proceso de la transmisión automática de imágenes, mediante el SDR, de la red de satélites NOAA. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construir o adquirir una antena y escoger el SDR que esten en la capacidad de trabajar mutuamente y en la frecuencia del satélite. 2. Se iniciará con buscar un programa para predecir el paso del satélite por nuestro territorio 3. Montar el sistema y esperar el paso del satélite de acuerdo a la predicción del programa antes mencionado. 4. Tomar o descargar los datos durante el paso del satélite en nuestro territorio en el tiempo necesario para dicha acción

Nota: Autor.

6. Resultados

6.1. Resultados de la práctica 1

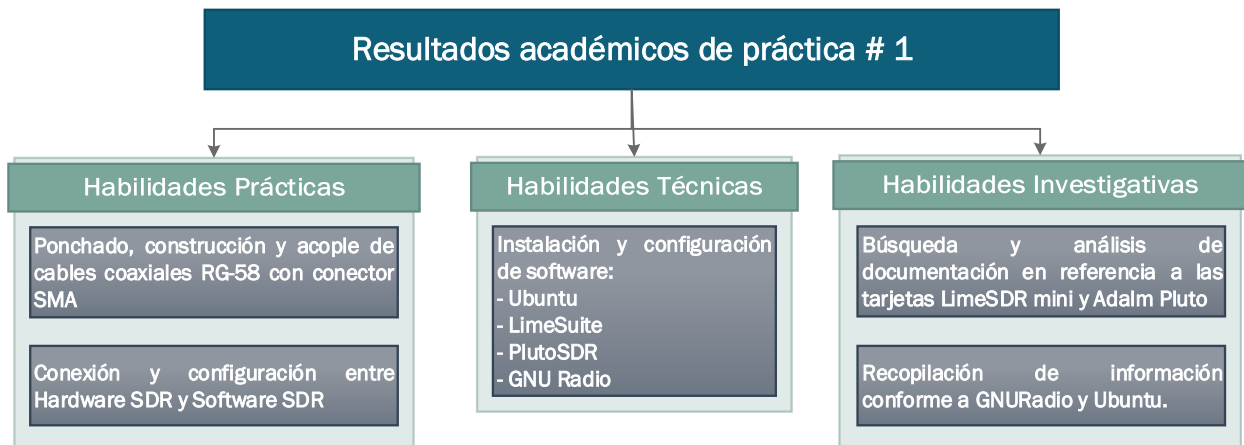
La primera práctica fue implementada satisfactoriamente, recopilando los resultados que se observan dentro del esquema de la Figura 14, siendo que los estudiantes logran recopilar un conjunto de tres habilidades destinadas en la práctica, desarrollo e investigación, bajo esta perspectiva el estudiante se introduce en el proceso de manipulación y uso de hardware SDR, así como de la configuración necesaria para el despliegue y virtualización de software SDR.

Tema:

- Introducción a sistemas de comunicación e investigación de los complementos necesarios para el desarrollo de prácticas con SDR.

Figura 14

Resultados del laboratorio #1



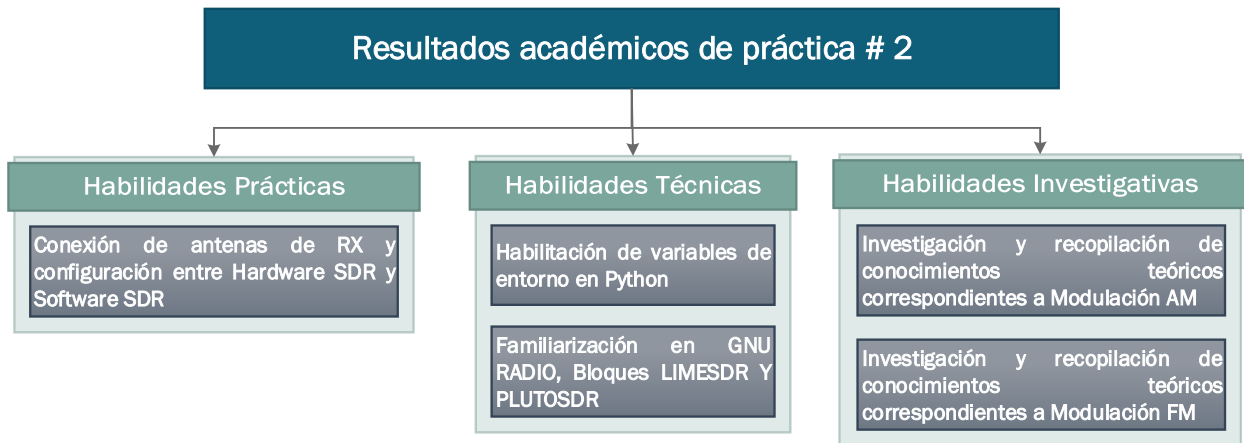
Nota: Autor.

6.2. Resultados de la práctica 2

En cuanto a la segunda práctica, esta se ejecutó favorablemente, recopilando el conjunto de habilidades que se observan dentro del esquema de la Figura 15, el estudiante obtendrá un desarrollo complementario y visual a los contenidos teóricos dentro de la modulación AM Y FM, esto obteniendo mediante las tarjetas SDR, emisoras de radio disponibles en su localidad.

Tema: Analizador de espectro y recepción de señales en las bandas comerciales de AM y FM.

Figura 15
Resultados del laboratorio #2



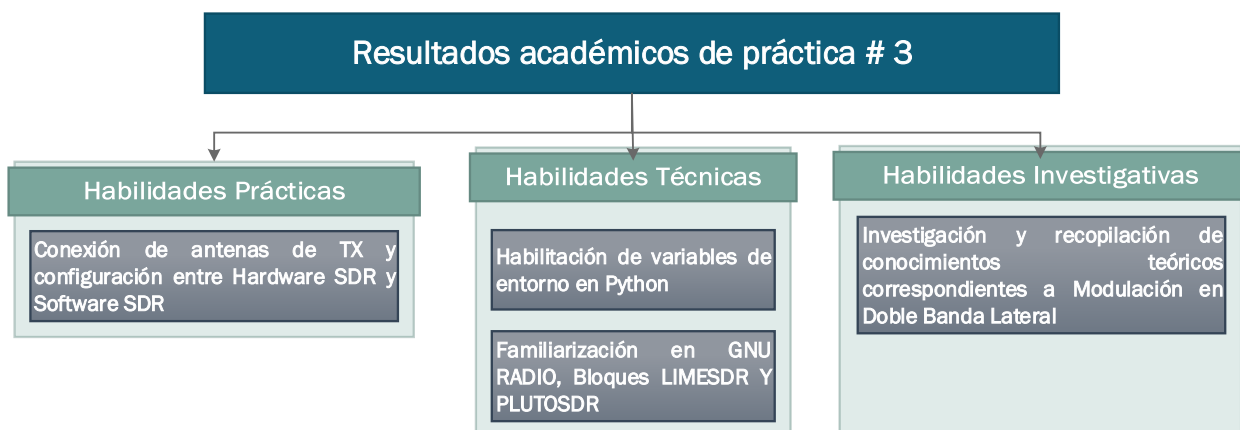
Nota: Autor.

6.3. Resultados de la práctica 3

La tercera práctica se desarrolló exitosamente, obteniendo las habilidades que se muestran dentro de la Figura 16, siendo que este laboratorio trata de complementar las capacidades practicas previamente obtenidas en la práctica anterior, utilizando las tarjetas SDR en modo de transmisión y a su vez se fortalece los conocimientos teóricos añadiendo la investigación de la modulación en doble banda lateral.

Tema: Modulación y demodulación de señales de doble banda lateral (DSB).

Figura 16
Resultados del laboratorio #3



Nota: Autor.

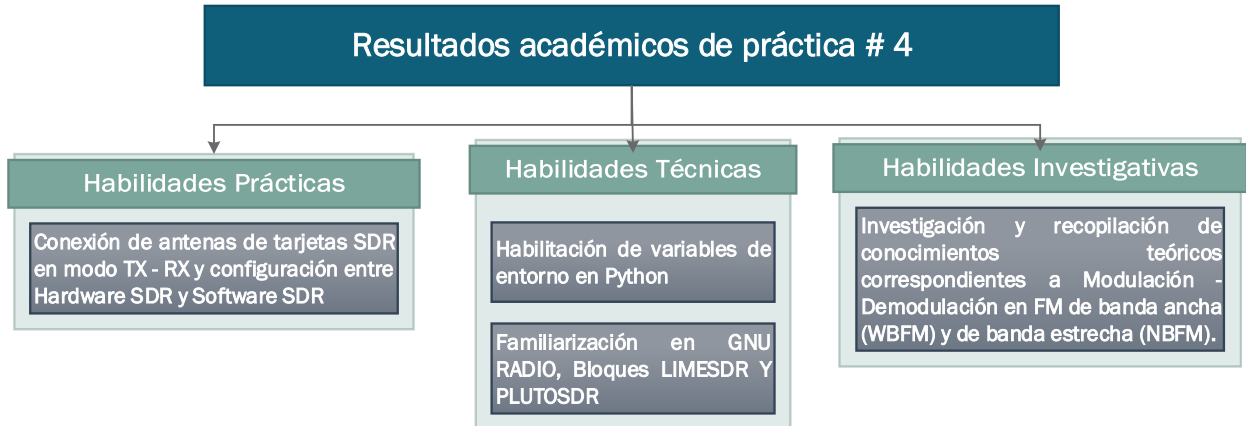
6.4. Resultados de la práctica 4

La práctica cuatro fue exitosamente implementada, consiguiendo las habilidades visualizadas en la Figura 17, este laboratorio exige al estudiante un total dominio en aprendizaje teórico de la modulación y demodulación de señales en FM de banda ancha (WBFM) y de banda estrecha (NBFM), el nivel de complejidad de esta práctica respecto a sus anteriores versiones es considerable puesto que se trata de la integración de un sistema modulador/demodulador capaz de transmitir datos, a la vez que utiliza el hardware SDR en modo de transmisión/recepción y viceversa.

Tema: Modulación en frecuencia y sus respectivas bandas de comunicación, modulación y demodulación de mensajes utilizando la modulación FM.

Figura 17

Resultados del laboratorio #4



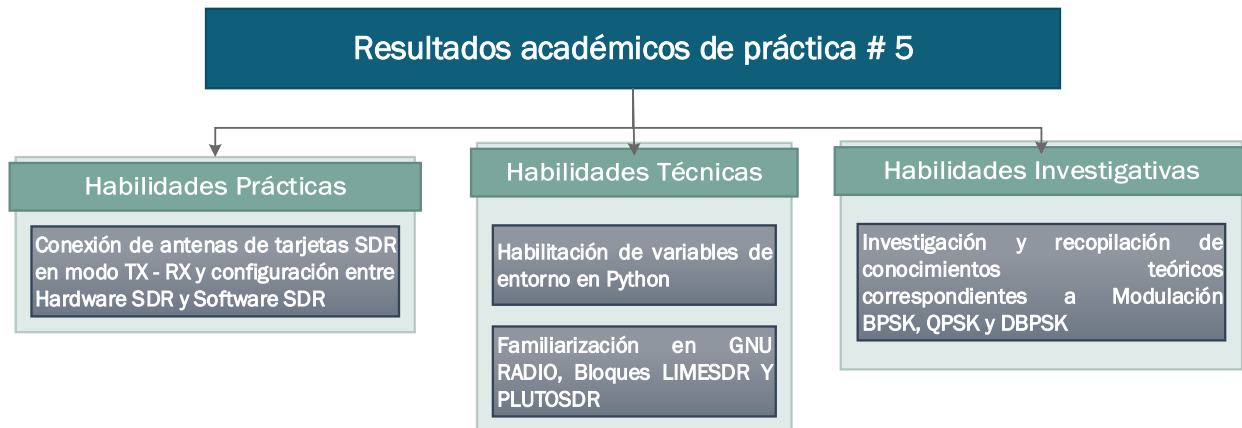
Nota: Autor.

6.5. Resultados de la práctica 5

La práctica cinco consistió en obtener una simulación precisa sobre sistemas de modulación PSK en su fase de BPSK, QPSK y DBPSK, los resultados académicos obtenidos por el estudiante se observan en el esquema de la Figura 18.

Tema: Comunicaciones digitales, forma de ondas, tasa de error de bit, y comunicaciones BPSK y QPSK

Figura 18
Resultados del laboratorio #5



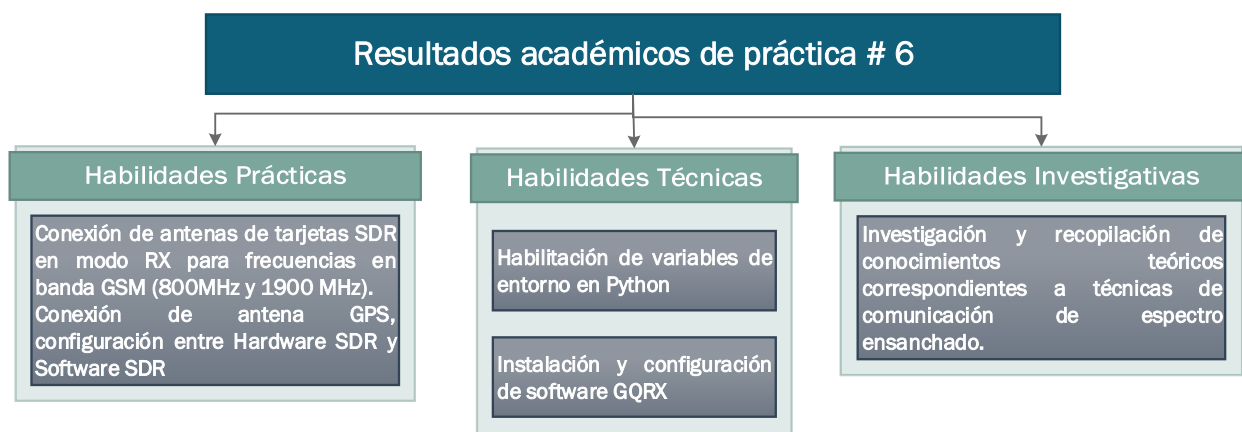
Nota: Autor.

6.6. Resultados de la práctica 6

La sexta práctica permite al estudiante complementar los conocimientos obtenidos con respecto a comunicaciones móviles, se enfoca principalmente en simular y analizar el funcionamiento de las técnicas de comunicación de espectro ensanchado ampliamente utilizadas en las tecnologías de 3G, GPS Y CDMA, la Figura 19 especifica las habilidades obtenidas por la estudiante una vez finalizada la práctica.

Tema: Análisis de técnicas de comunicación de espectro ensanchado, utilizados por GPS, 3G CDMA

Figura 19
Resultados del laboratorio #6



Nota: Autor.

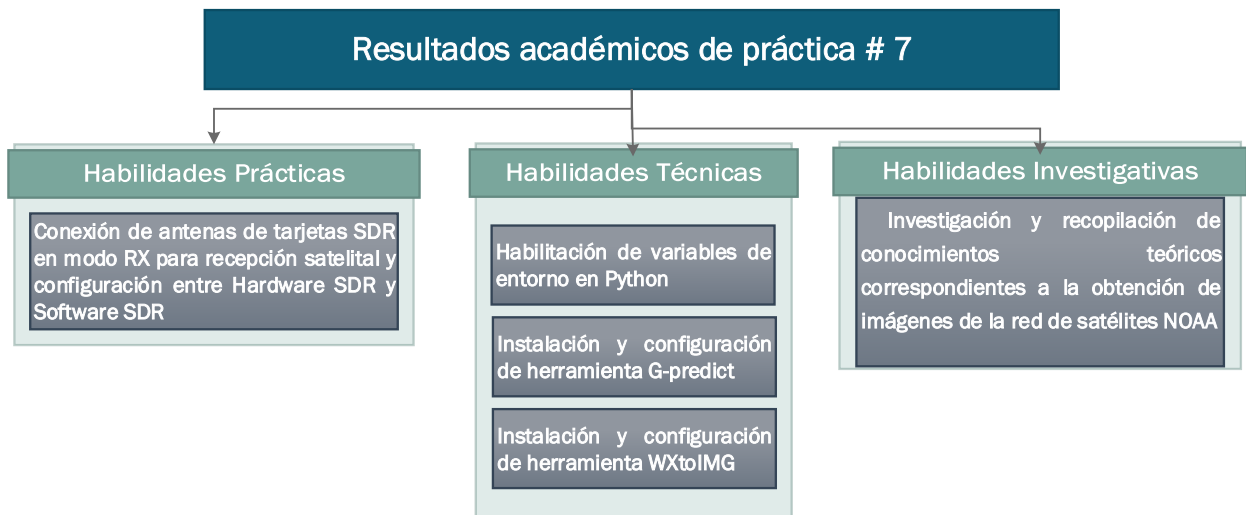
6.7. Resultados de la práctica 7

La séptima práctica permite al estudiante introducir al estudiante a obtener imágenes y data mediante recepción satelital, los conocimientos teóricos se complementan con resultados visuales, la Figura 20 especifica las habilidades conseguidas por la estudiante una vez finalizada la práctica.

Tema: Comunicación satelital, creación de elementos radiantes para la obtención de imágenes de la red de satélites NOAA

Figura 20

Resultados del laboratorio #7



Nota: Autor.

7. Discusión

En el presente trabajo de titulación se analizaron aspectos generales de la tecnología de radio definida por software aplicados a un sistema capaz de repotenciar y actualizar el laboratorio de antenas de la Facultad de la Energía Las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, cuya metodología, tradicionalmente ha consistido en utilizar scripts de MATLAB para desarrollar prácticas de laboratorios en complemento a los contenidos teóricos de la asignatura de comunicaciones analógicas.

Cabe recalcar que se diseña el contenido de acuerdo a la metodología ya utilizada de guía, preparación e informe, establecida dentro de la carrera, a su vez se aborda las temáticas de Introducción a los Sistemas de comunicación, Modulación de amplitud y Modulación de Frecuencia en las practicas 1, 2, 3 y 4, mientras que las practicas 5 y 6 indagan los temas de Comunicaciones Digitales y Comunicaciones de espectro ensanchado, a su vez se plantea la práctica final con el tema global de comunicaciones satelitales.

Los resultados conseguidos a través de este proyecto de tesis, han sido renovar y establecer un conjunto de 7 prácticas con sus respectivas guías, preparatorios y solución, utilizando hardware de bajo coste y amplias características, como lo son, las tarjetas Adalm Pluto y LimeSDR mini, que añaden nuevas funcionalidades, como la disposición de un entorno más interactivo con el estudiante, la posibilidad de realizar configuraciones más complejas así como la capacidad de transmitir y recibir señales mediante SDR.

La convergencia e integración de las tarjetas Adalm Pluto y LimeSDR mini con un entorno de desarrollo de código abierto como lo es GNU Radio, provoca como resultado una excelente combinación, capaz de proporcionar un complemento a los temas asociados a comunicaciones analógicas, digitales y a la nueva especialización en redes de telecomunicaciones que oferta la carrera de ingeniería en telecomunicaciones, en específico para la asignatura de Radio definido por software misma que hasta la actualidad no poseía un sumario de prácticas de laboratorio en su planificación.

El docente no se encuentra limitado al diseño de las prácticas, debido a que las tarjetas poseen funcionalidades y características programables en C, C++, C#, y la API de Python, beneficiando al tutor, para que este pueda adaptar las prácticas de laboratorio conforme a su metodología de enseñanza, además que los fabricantes ofrecen compatibilidad con múltiples softwares SDR, como Matlab, Simulink, entre otros.

8. Conclusiones

- El sistema SDR diseñado fue implementado satisfactoriamente para el laboratorio de antenas y telecomunicaciones de UNL, mediante el uso de las tarjetas Adalm-pluto y LimeSDR mini, a través de la integración del hardware y software SDR se estructuraron satisfactoriamente un total de siete prácticas de laboratorio, con su consecuente flujo de presentación, elaboración y evaluación, mismas que se especializan en complementar los esquemas de planificación (Sílabos) que abordan las temáticas de comunicaciones analógicas, digitales y satelitales.
- Los beneficios obtenidos por el estudiante, al finalizar cada práctica de laboratorio, se simplifican en un conjunto de habilidades esquematizadas en tres aspectos, como lo son habilidades prácticas en referencia a la manipulación directa y conexión del hardware, mientras que las habilidades técnicas se conforman por el conocimiento obtenido al configurar librerías, bloques y entornos que involucran al software SDR, adicionalmente las habilidades de investigación suman las capacidades de recopilar, estructurar y documentar un adecuado informe que contenga los conocimientos a utilizar en cada práctica.
- La concentración de temáticas aplicadas a prácticas de laboratorio para el desarrollo de habilidades técnicas en los estudiantes usuarios del laboratorio de antenas, fue satisfactoriamente ejecutada debido a la utilización de las tarjetas de desarrollo SDR, ya que su constitución reconfigurable mediante programación por software ofrece adaptabilidad y un tiempo de implementación acelerado omitiendo incrementar costos por inversión en nuevo hardware o licencias de software.
- Los resultados obtenidos a través de las practicas, evidencian una visualización de señales y procesamiento de datos de fácil interpretación, a la vez que detallan contenidos interactivos para una mejor comprensión de los temas que engloban, cabe recalcar que las prácticas se desarrollan en un nivel de dificultad subsecuente.

9. Recomendaciones

- Se debe utilizar medios, herramientas, periféricos y componentes de buena calidad con el fin de garantizar un correcto desempeño del hardware y software en el sistema SDR, por ende, favoreciendo a obtener los resultados de todas las actividades a desarrollar en cada práctica.
- Se recomienda manipular los equipos u elementos con cautela, evitando el mal uso de las tarjetas SDR y considerando las directrices plasmadas en las guías de acuerdo al criterio del docente/tutor.
- La tarjeta SDR adalm-pluto está diseñada bajo el proveedor ANALOG DEVICES, mismo que posee un amplio repositorio con manuales de usuario, datos técnicos y configuraciones disponibles, se recomienda al estudiante informarse adecuadamente en el canal oficial del proveedor sobre este dispositivo.
- La tarjeta LimeSDR mini no posee un gran distribuidor a diferencia de la tarjeta adalm-pluto, sin embargo, posee una amplia comunidad de desarrolladores que mantienen actualizado una base de aplicaciones, fichas técnicas y configuraciones, se recomienda al estudiante analizar los diferentes repositorios disponibles con el fin de familiarizarse con el dispositivo.
- Es necesario recomendar al estudiante que, durante el proceso de desarrollo de las actividades de cada práctica de laboratorio, es necesario documentar cada aspecto de paquetes, bloques, librerías, versiones y comandos, esto debido a que algunas librerías disponibles resultan obsoletas, así como ciertos comandos y paquetes pueden llegar a ser incompatibles tanto con la versión de sistema operativo como con el entorno de programación Python.

10. Bibliografía

- Andreula, L. (2011). *Red de Comunicaciones Satelitales*. 53.
- Aranzazu, J. (2017). Recomendaciones para la optimización del espectro radioeléctrico colombiano mediante un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en bandas UHF contempladas entre los 698 a los 806 Mega Hertz (MHz) producto de la transición d. *Universidad Santo Tomás*, 165. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9261/AranzazuJulian2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Resolución 12-09-Arcotel-2017, (2017). [moz-extension://0b52d8c7-5c53-4393-af50-dedeaaaf96781/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.arcotel.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F01%2FResoluci%25c3%25b3n-12-09-ARCOTEL-2017_completa_con-firmas-11.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Resoluci%25c3%25b3n-12-09-ARCOTEL-2017_completa_con-firmas-11.pdf)
- Arcotel. (2020). Servicio Móvil Avanzado. *Agencia de Regulacion y Control de Las Telecomunicaciones, 02*, 1–14.
- Arcotel, E. (2017). *agencia de regulacion y control de las telecomunicaciones*.
- Artés Rodríguez, A., & Pérez González, F. (2012). *Comunicaciones digitales*. www.tsc.uc3m.es/~antonio/libro_comunicaciones
- Bastarrica, D. (2021). *¿Cuántos satélites están orbitando la Tierra?* Digital Trends En español. <https://es.digitaltrends.com/espacio/cuantos-satelites-estan-orbitando-tierra/>
- Bava, J. (2004). *Metodologías de procesamiento de imágenes NOAA-AVHRR y su utilización en aplicaciones oceanográficas y biológico-pesqueras en el Atlántico Sudoccidental*. Universidad de Buenos Aires.
- Briceño M, J. E. (2005). Transmisión de Datos. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Tercera).
- Bruton, E. (2014, December 9). *Communication Technology | International Encyclopedia of the First World War (WW1)*. Tecnología de La Comunicación. https://encyclopedia.1914-1918-online.net/article/communication_technology
- Cardama, Angel. . . (2002). *Miguel Ferrando Bataller*.
- Castro Lechtaler, A., Foti, A., Arzubi, A. A., Guibout, J. G., Carmona, F., Fusario, R., & Oliveros, A. (2014). *Utilización de los Espacios Blancos: Una solución al problema de la saturación del espectro de frecuencias*. 20. <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>
- Cerezo T, J. (2018). *Cabecera Radio Remota utilizando LimeSDR y Odroid-XU4*. Universidad Politécnica de Cataluña.

- CONATEL. (2012). *Plan Nacional de Frecuencias de Ecuador [En línea]*. 13, 30. http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
- Dionne, V., & Santos, G. (2012). *Fundamentos de la comunicación* (Duran Valdiviezo Eduardo, Ed.; Primera Ed). Red Tercer Milenio S. C. .
- Erazo Chulde, hector J. (2010). *ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (ISOFRECUENCIA), Y SU APLICACIÓN EN LA RADIODIFUSIÓN EN LAS BANDAS DE AM Y FM PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA CIUDAD DE QUITO*. Escuela Politecnica Nacional .
- Espejo B, E. M. (2016). [PDF] *FPGA (CAMPO DE MATRIZ DE PUERTAS PROGRAMABLES)*. - Free Download PDF. <https://silo.tips/download/fpga-campo-de-matriz-de-puertas-programables>
- Forouzan, B. (2007). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones* (Cuarta edición).
- Garcia A, C. M. (2011). *Radio Definido por Software usando MATLAB* . Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- García C, J. (1998). *EL MUNDO RADIO* . CIESPAL.
- GNURadio. (2021). *GNU Radio - The Free & Open Source Radio Ecosystem* · GNU Radio. <https://www.gnuradio.org/>
- González B, M. J. (2012a). *Los Satelites y su utilidad en nuestro día a día*.
- González B, M. J. (2012b). *Los Satelites y su utilidad en nuestro día a día*.
- Gutiérrez R, Á. (2021). *Implementación de Software Defined Radio en sistemas de comunicaciones actuales | Enhanced Reader*. Escuela Tecnica Superior de Ingeniería.
- Haykin, S. (2002). *Sistemas de Comunicación*. In *Sistemas De Comunicación*.
- ITU-R. (2015). *Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones*. <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>
- Lafebre Valle, D. I. (2016). *Análisis del Rol del Estado y las empresas de telefonía móvil en la evolución de los procesos de implementación de tecnología Long Term Evolution LTE 4G: impactos económicos en el Ecuador*.
- Lizón González, R. (2013). *Guía para el desarrollo de aplicaciones GSM basadas en el Sistema de Señalización N°7*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/19023>
- Llanos, A. (2013). *Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador*. In *Universidad Andina Simón Bolívar*.
- Luque O, J. (2012). *Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico*. 17–19.

- Luque Ordóñez, J. (2014). *Servicios de radiocomunicaciones*. moz-extension://95f0e7d0-c6a6-4480-99ba-2f4b78f65382/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.acta.es%2Fmedios%2Farticulos%2Fcomunicacion_e_informacion%2F023001.pdf
- Mario D, C. S. (2020). *Implementación de prácticas de laboratorio para la materia de comunicación digital utilizando radio definida por software y GNU radio*. Escuela Politécnica Nacional.
- Micolau, R., & Ruiz, T. (2013). *Comunicaciones analógicas: modulaciones AM y FM Una perspectiva histórica*.
- Ordóñez-Romero, C. L., Neri-Vela, R., Landeros-Ayala, S., Altamirano-Guerrero, V., & Malpica-Maury, A. (2004). *Optimización técnico-económica de redes VSAT en las bandas Ku y Ka*. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2004.05n1.001>
- Peñafiel, A. de la C., & 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 GNUradio*.
- Pinar D, I., & Murillo F, Juan Jose. (2011). *Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software* (Primera Edición).
- Rábano, H. J. M., Luis Mendo, T., & Riera Salis, M. (2013). *Transmisión por radio* (Editorial Universitaria & A. Ramon, Eds.; Séptima Ed). Centro de Estudios Ramón Areces. S.A. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=eHCnDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=libro+de+transmision+por+radio+jose+hernando+rabano&ots=gOSzV-xO_k&sig=Q80uUtSTF9_S4winW91wecdYxsw#v=onepage&q&f=false
- Ríos, L. H. A. (2001). Importancia de las telecomunicaciones en el desarrollo universal. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 11, 13–15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101103>
- Rocha, A. (2020). Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. *Apropiación, Generación y Uso Edificador Del Conocimiento En Las Ciencias de La Ingeniería*, 1646–9895.
- Rosado, C. (1998). *Comunicación por satélite*. <http://www.itu.int/publications>
- Sacristán R, F. (2005). Satélites de Comunicación. *Chasqui. Revista Latinoamericana de Comunicación*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=16057422010>
- Sagbay, S., & Sanchez, S. carlos. (2013). *Estudio y análisis de la estandarización y regulación para la migración sistema de radio analógico al digital en el Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Salazar, J. (2021). *Procesadores digitales de señales (DSP)*.

- Sánchez R, X. A., & Heredia C, G. A. (2021). *Diseño e implementación de un banco de pruebas satelitales de la banda C utilizando radios definidas por software*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Significados. (2020). *Significado de AM y FM*. <https://www.significados.com/am-y-fm/>
- Stremmer, F. G. (1993). *http://www.freelibros.com* (Tercera Ed).
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4ta Edición | Enhanced Reader* (G. Trujano M & F. Castro P, Eds.; Cuarta Edición).
- Tomé L. (2015). *Ondas de radio — Cuaderno de Cultura Científica*. <https://culturacientifica.com/2016/08/23/ondas-de-radio/>
- UIT-R S.736-3. (1997). *Estimación de la discriminación por polarización en los cálculos de interferencia entre redes satelitales geoestacionarios en el servicio fijo por satélite*.
- UIT-R SA 1019-1. (2018). *UIT-R SA.1019-1 (2017)*. moz-extension://0b52d8c7-5c53-4393-af50-dedeaaaf96781/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Fdms_pubrec%2Fitu-r%2Frec%2Fsa%2FR-REC-SA.1019-1-201707-!!!PDF-S.pdf
- UIT-R V.662-2, . (1993). *V.662-2 Términos y definiciones*.
- UIT-T, B. (1993). *UIT-T Rec. B.13 (11_88) Términos y definiciones - T-REC-B.13-198811-W!!!PDF-S.pdf*.

11. Anexos

Anexo 1. Silabo de la asignatura de comunicaciones analógicas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

UNL

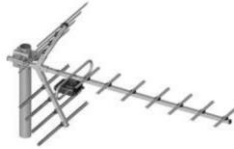
FACULTAD DE ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y DE LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA: INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Módulo / Ciclo: SÉPTIMO "A"

PERÍODO ACADÉMICO: MAYO 2020 –SEPTIEMBRE 2020

SÍLABO: COMUNICACIONES ANALÓGICAS



Responsable: Ing. Andy Vega León
 Correo electrónico: andy.vega@unl.edu.ec
 Dependencia para tutoría: Z10.S02.MD.B10.OFD101

2020

¹ Formato de silabo actualizado para incorporar los requerimientos del modelo genérico de evaluación del entorno de aprendizaje de carreras presenciales y semipresenciales de las Universidades y Escuelas Politécnicas del Ecuador, versión 2.0. Indicador B3.1 (Programa de las asignaturas). CEIACES, marzo, 2015.

1. DATOS GENERALES DE LA ASIGNATURA

1.1 DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA: COMUNICACIONES ANALÓGICAS			
1.2 CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	1.2.1 INSTITUCIONAL: E4,C7,A3	1.2.2 UNESCO: 3325(99) CA	
1.3 EJE DE FORMACIÓN	PROFESIONALIZANTE		
1.4 TIPO DE ASIGNATURA	1.4.1 OBLIGATORIA: <input checked="" type="checkbox"/>	1.4.2 COMPLEMENTARIA: <input type="checkbox"/>	1.4.3 OPTATIVA: <input type="checkbox"/>
			1.4.4 OTRA: <input type="checkbox"/>
1.5 NÚMERO DE CRÉDITOS	1.5.1 TOTAL: 10	1.5.2 TEÓRICOS: 6	1.5.3 PRÁCTICOS: 4
1.6 NÚMERO DE HORAS DE LA ASIGNATURA	1.6.1 SEMANALES: 8	1.6.2 EN EL PERÍODO: 160	
1.7 PRERREQUISITOS	CÓDIGO		ASIGNATURA
	INSTITUCIONAL	UNESCO	
1.8 CORREQUISITOS:	CÓDIGO		ASIGNATURA
	INSTITUCIONAL	UNESCO	

2. DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

2.1. CONTRIBUCIÓN DE LA ASIGNATURA A LA FORMACIÓN PROFESIONAL (PERFIL DE EGRESO)

LA ASIGNATURA DE COMUNICACIÓN ANALÓGICA ESTABLECE LA FUNDAMENTACIÓN DE LAS COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS USADAS EN VARIOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN PARA TRANSMITIR INFORMACIÓN ADECUADA A GRANDES DISTANCIAS. LOS ESTUDIANTES ABORDARÁN TEMAS ORIENTADOS AL APRENDIZAJE QUE TODO INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES DEBE POSEER, DESDE EL ANÁLISIS BÁSICO DE LAS SEÑALES ELÉCTRICAS UTILIZADAS EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN, COMO LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE MODULACIÓN ANALÓGICA O MAPEO DE ESAS SEÑALES A FIN DE ADECUARLAS A LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN

2.2. OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA

- Conocer los fundamentos básicos de las señales electromagnéticas que interacción en los sistemas de comunicaciones alámbricos o inalámbricos
- Analizar matemáticamente y establecer operaciones requeridas por las señales electromagnéticas periódicas para su intervención en una telecomunicación
- Analizar y aplicar los métodos de modulación analógica en amplitud, frecuencia y fase
- Conocer y evaluar los circuitos electrónicos que se usan la modulación de las señales
- Emplear los procesos de demodulación requeridos en los receptores para la recuperación de una señal en banda base

2.3. RESULTADOS DE APRENDIZAJE (POR CADA UNIDAD)

CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA	RESULTADOS DE APRENDIZAJE
Los sistemas de Telecomunicaciones	Utiliza los conocimientos matemáticos para el análisis de procesos y sistemas aplicados a comunicaciones analógicas.
Señales Eléctricas en Comunicaciones	Utiliza los conocimientos matemáticos para el análisis de procesos y sistemas aplicados a comunicaciones analógicas.
Análisis de Señales Periódicas	Utiliza los conocimientos matemáticos para el análisis de procesos y sistemas aplicados a comunicaciones analógicas.
Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	Utiliza los conocimientos matemáticos para el análisis de procesos y sistemas aplicados a comunicaciones analógicas.
Modulación Analógica	Utiliza los conocimientos matemáticos para el análisis de procesos y sistemas aplicados a comunicaciones analógicas. Analiza los conceptos más importantes de la modulación analógica, sus características en el dominio de tiempo y de frecuencia. Utiliza software especializado para el modelamiento y simulación de comunicaciones analógicas, posteriormente presentar un informe detallado del proceso y resultados adquiridos de manera crítica y puntual.

Pág. 3

Utiliza correctamente los equipos especializados para la transmisión de comunicaciones analógicas de manera responsable y precisa.
Coopera en el intercambio de ideas en grupo de problemas con énfasis en el análisis de señales moduladas y la transmisión analógica, empleando los valores éticos para el bienestar de la sociedad.

3. ESTRUCTURA DE LA ASIGNATURA

UNIDAD/TEMA	NRO. HORAS	CONTENIDOS TEÓRICOS (SUBTEMAS/CONTENIDOS)	NRO. HORAS	ACTIVIDADES PRÁCTICAS (HABILIDADES A DESARROLLAR EN LA ASIGNATURA)	NRO. HORAS	ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE AUTÓNOMO	NRO. HORAS	ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN
Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones	20	Historia Fuentes y Sistemas Formas de Onda Sistemas de Comunicaciones El Espectro Radioeléctrico Limitaciones en los Sistemas de Comunicación Modos de Transmisión y Arreglo de circuitos	16	Practica 1: INTRODUCCIÓN A MATLAB Y SIMULINK	4	Lectura 1: Historia y evolución de las Telecomunicaciones Preparación de práctica 1 Lectura 2: Plan Nacional de Frecuencias	20	Diagnóstico de Lectura 1 Diagnóstico de Lectura 2 Revisión de Práctica 1
Capítulo 2: Señales Eléctricas en Comunicaciones	20	Análisis Matemático Fasores y Espectros de Línea para señales Periódicas Potencia	12	Práctica 2: ANÁLISIS DE SEÑALES CON EL USO DE MATLAB	8	Preparación de práctica 2	20	Revisión de Práctica de Laboratorio 2
Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	40	Series de Fourier Expresiones Matemáticas para el análisis de Fourier Análisis de Señales	32	Práctica 3: ANÁLISIS ESPECTRAL EN MATLAB Y SIMULINK Practica 4: ANÁLISIS DE SEÑALES TIEMPO Y FRECUENCIA EN MATLAB	8	Lectura 3: Series de Fourier Preparación de práctica 3 Preparación de práctica 4 Preparación Examen 1	40	Revisión de Prácticas de Laboratorio 3 y 4 Diagnóstico de Lectura 3 Examen 1

Pág. 4

Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	40	Definiciones Generales Ruido No Correlacionado Ruido Correlacionado Relación Señal a Ruido Factor de Ruido Mezclado	32	Práctica 5: ALTERACIONES EN LAS SEÑALES RUIDO Práctica 6: ALTERACIONES EN LAS SEÑALES RUIDO	8	Lectura 4: Mezclado de señales Preparación de práctica 5 Preparación de práctica 6	40	Diagnóstico de Lectura 4 Revisión de Prácticas de Laboratorio 5 y 6
Capítulo 5: Modulación Analógica	40	Introducción Modulación en Amplitud Demodulación en AM Modulación en Frecuencia Multiplexación por División de Frecuencia.	32	Práctica 7: MODULACIÓN ANALÓGICA DE AMPLITUD Práctica 8: DEMODULACIÓN EN FM Práctica 9: MODULACIÓN ANALÓGICA ANGULAR (FM y PM)	8	Lectura 5: Receptores y Sistemas de Modulación de Ángulo Preparación de práctica 7 Preparación de práctica 8 Preparación de práctica 9 Preparación Examen 2	40	Diagnóstico de Lectura 5 Revisión de Práctica de Laboratorio 7, 8 y 9 Evaluación Examen 2
TOTAL DE HORAS	160		124		36		160	

ACTITUDES Y VALORES A DESARROLLAR EN LA ASIGNATURA

- APLICAR LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES PARA SU APLICACIÓN EN REDES DE TELECOMUNICACIONES
- UTILIZAR HERRAMIENTAS DE SOFTWARE Y HARDWARE PARA LA INTERPRETACIÓN Y MANEJO DE LOS ESQUEMAS DE MODULACIÓN
- IDENTIFICAR DIFERENTES CIRCUITOS ELECTRÓNICOS USADOS PARA LA MODULACIÓN ANALÓGICA
- APLICAR ADECUADAMENTE TÉCNICAS DE TRABAJO GRUPAL, NORMAS DE REDACCIÓN, NORMAS DE PRESENTACIÓN Y DEFENSA DE PROYECTOS E INFORMES TÉCNICOS.

ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

- CLASES MAGISTRALES
- RESOLUCIÓN DE EJERCICIOS APLICADOS A UN ENTORNO REAL

Pág. 5

- LECTURAS DIRIGIDAS, DE TEMAS ACTUALES Y RELEVANTES
- FOROS DE DISCUSIÓN EN EL AULA SOBRE TEMAS CONSULTADOS

RECURSOS/MATERIALES DIDÁCTICOS

- PROYECTOR DE VIDEO
- COMPUTADOR PORTÁTIL
- SOFTWARE MATLAB

TIPO DE APRENDIZAJE					
COLABORATIVO	X	PRÁCTICO DE APLICACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN	X	AUTÓNOMO	X

4. HORARIO DE CLASE

DÍA	PARALELO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
HORA	"A"		19h00 – 21h00	17H00 – 19H00	15H00 – 17H00	17H00 – 19H00

5. DESARROLLO DE LA ASIGNATURA

SEMANA 1: DEL 04 AL 08 DE MAYO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Encuadre de asignatura			AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones		Preparación de Lectura 1 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones		Preparación de Lectura 1 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones		Preparación de Lectura 1 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL

Pág. 6

SEMANA 2: DEL 11 AL 15 DE MAYO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones		Preparación de Lectura 1 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones		Preparación de Lectura 1 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 1: Los sistemas de Telecomunicaciones		Preparación de Lectura 1 Preparación de Práctica 1 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	(Diagnóstico Lectura 1)		Preparación de Práctica 1 Preparación Lectura 2 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL

SEMANA 3: DEL 18 AL 22 DE MAYO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	(Diagnóstico Lectura 2)		Preparación Examen 1 Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 2: Señales Eléctricas	Desarrollo de Práctica 1 (Grupos)	Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 2: Señales Eléctricas	Desarrollo de Práctica 1 (Grupos)	Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 2: Señales Eléctricas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 2	AULA VIRTUAL

SEMANA 4: DEL 25 AL 29 DE MAYO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 2: Señales Eléctricas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 2	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 2: Señales Eléctricas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 2	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 2: Señales Eléctricas	Desarrollo Práctica 2 (Grupos)		AULA VIRTUAL

Pág. 7

2 horas	Capítulo 2: Señales Eléctricas	Desarrollo Práctica 2 (Grupos)		AULA VIRTUAL
---------	--------------------------------	--------------------------------	--	--------------

SEMANA 5: DEL 01 AL 05 DE JUNIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 y Preparación de Contenidos de capítulo 3	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 y Preparación de Contenidos de capítulo 3	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 y Preparación de Contenidos de capítulo 3	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 y Preparación de Contenidos de capítulo 3	AULA VIRTUAL

SEMANA 6: DEL 08 AL 12 DE JUNIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 3	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 3	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 3	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 3	AULA VIRTUAL

Pág. 8

SEMANA 7: DEL 15 AL 19 DE JUNIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	Desarrollo Práctica 3 (Grupos)	Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	Desarrollo Práctica 3 (Grupos)	Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	Desarrollo Práctica 3 (Grupos)	Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	Desarrollo Práctica 3 (Grupos)	Preparación Examen 1	AULA VIRTUAL

SEMANA 8: DEL 22 AL 26 DE JUNIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 4 Preparación Lectura 3	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas (Diagnóstico Lectura 3)		Preparación Examen 1 Preparación Práctica 4	AULA CLASE
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	Desarrollo Práctica 4 (Grupos)		AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 3: Análisis de Señales Periódicas	Desarrollo Práctica 4 (Grupos)		AULA VIRTUAL

SEMANA 9: DEL 29 DE JUNIO AL 03 DE JULIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	(DESARROLLO DE EXAMEN 1)	----	----	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2	AULA VIRTUAL

Pág. 9

2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2	AULA VIRTUAL
---------	---	--	----------------------	--------------

SEMANA 10: DEL 06 AL 10 DE JULIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2 Preparación Lectura 4 Preparación Práctica 5	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2 Preparación Lectura 4 Preparación Práctica 5	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2 Preparación Lectura 4 Preparación Práctica 5	AULA VIRTUAL
2 horas	(Diagnóstico de Lectura 4)		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 5	AULA VIRTUAL

SEMANA 11: DEL 13 AL 17 DE JULIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	Desarrollo Práctica 5 (Grupos)		AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	Desarrollo Práctica 5 (Grupos)		AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	Desarrollo Práctica 5 (Grupos)		AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	Desarrollo Práctica 5 (Grupos)		AULA VIRTUAL

Pág. 10

SEMANA 12: DEL 20 AL 24 DE JULIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 6	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 6	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 6	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 6	AULA VIRTUAL

SEMANA 13: DEL 27 AL 31 DE JULIO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	Desarrollo Práctica 6 (Grupos)		AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 4: Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	Desarrollo Práctica 6 (Grupos)		AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 7	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 7	AULA VIRTUAL

SEMANA 14: DEL 03 AL 07 DE AGOSTO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 7	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 7	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 7 (Grupos)	Preparación Examen 2 Preparación Práctica 8	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 7 (Grupos)	Preparación Examen 2 Preparación Práctica 8	AULA VIRTUAL

Pág. 11

SEMANA 15: DEL 10 AL 14 DE AGOSTO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 7 (Grupos)	Preparación Examen 2 Preparación Práctica 8	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica		Preparación Examen 2 Preparación Lectura 5 Preparación Práctica 8	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 8 (Grupos)	Preparación Examen 2 Preparación Lectura 5 Preparación Práctica 9	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 8 (Grupos)	Preparación Examen 2 Preparación Lectura 5 Preparación Práctica 9	AULA VIRTUAL

SEMANA 16: DEL 17 AL 21 DE AGOSTO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica (Diagnóstico Lectura 5)		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 9	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica		Preparación Examen 2 Preparación Práctica 9	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 9	Preparación Examen 2	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 9	Preparación Examen 2	AULA VIRTUAL

SEMANA 17: DEL 24 AL 28 DE AGOSTO DE 2020

DURACIÓN DE CADA SESIÓN	CONTENIDOS Y ACTIVIDADES DE ESTUDIO TEÓRICO	ACTIVIDADES PRÁCTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO AUTÓNOMO	ESCENARIO DE APRENDIZAJE
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 9	Preparación Examen 2	AULA VIRTUAL
2 horas	Capítulo 5: Modulación Analógica	Desarrollo Práctica 9	Preparación Examen 2	AULA VIRTUAL
2 horas	(Desarrollo Examen 2)			AULA VIRTUAL

Pág. 12

6. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA ASIGNATURA

PARÁMETROS (INSTRUMENTOS) DE EVALUACIÓN	
EXÁMENES/LECCIONES (ORALES/ESCRITAS; TEÓRICAS/PRÁCTICAS)	EXÁMENES 1 Y 2 60 %
ACTIVIDADES PRÁCTICAS	Prácticas 20 %
	Control de Lectura (Oral, escrita, exposición individual, grupal) 20%
TRABAJOS AUTÓNOMOS (Individual y/o grupal)	20%
TOTAL	100%

⁴ Se deberá agregar el número de tablas en correspondencia con el número de semanas planificadas para la unidad, curso, seminario, taller, módulo o asignatura.

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1. BÁSICA

7.1.1. **Física:** (BIBLIOTECA DEL ÁREA DE ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y DE LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES)

AUTOR	TÍTULO DEL LIBRO	CIUDAD, PAÍS DE PUBLICACIÓN	EDICIÓN	AÑO DE PUBLICACIÓN	EDITORIAL	ISBN
León Couch, II	Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos	México	Séptima	2008	Pearson – Prentice Hall	978-970-26-1216-2
Wayne Tomasi	Sistemas de Comunicación Electrónicas	México	Cuarta	2003	Pearson – Prentice Hall	968-880-674-9
A. Bruce Carlson, Paul	Sistemas de Comunicación	México	Cuarta	2007	Mc Graw Hill	9789701061053

Pág. 13

B. Crilly, Rutledge						
------------------------	--	--	--	--	--	--

7.2. COMPLEMENTARIA

7.2.1. **Digital**

AUTOR	TÍTULO DEL LIBRO	CIUDAD, PAÍS DE PUBLICACIÓN	EDICIÓN	AÑO DE PUBLICACIÓN	EDITORIAL	ISBN
José Briceño Márquez	Transmisión de Datos	Merida	Tercera	2005	Merida Venezuela	http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/trasmisiondedatos/pdf/librocompleto.pdf

8. PERFIL DE (LA) PROFESOR (A) DE LA ASIGNATURA

8.1. TÍTULO (S) DE TERCER NIVEL

📌 Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

8.2. TÍTULO (S) DE CUARTO NIVEL

📌 Magister en Redes de Información y Conectividad

8.3. HABILIDADES QUE POSEE

📌 Montaje de Sistemas y Redes de Telecomunicaciones
📌 Manejo de estándares y redes de cableado estructurado

Pág. 14

<ul style="list-style-type: none"> 🔧 Montaje y manejo de sistemas electrónicos de seguridad 🔧 Manejo de estándares para la implementación de redes electrónicas contra robo e incendio
--

8.4. ACTITUDES

<ul style="list-style-type: none"> 👤 Manejo relación interpersonales 👤 Motivación y emprendimiento 👤 Trabajo en equipo

9. RELACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA CON LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA	CONTRIBUCIÓN	RESULTADOS DE APRENDIZAJE
Los sistemas de Telecomunicaciones	ALTA	Examinar de manera detallada los conceptos introductorios que rigen los sistemas de comunicaciones en general, ondas, espectro, circuitos.
Señales Eléctricas en Comunicaciones	ALTA	Aplicar la fundamentación matemática para el establecimiento de variables eléctricas fasores y espectros de línea de señales periódicas
Análisis de Señales Periódicas	ALTA	Emplear de forma adecuada los conceptos matemáticos para el análisis de las señales electromagnéticas que intervienen en los procesos de comunicación analógica
Ruido Eléctrico y Mezclado de señales	ALTA	Reconocer las fuentes generadoras de anomalías en una comunicación, como ruido e interferencia; simplificando sus acciones y emplear soluciones de mitigación o pérdidas de señal
Modulación Analógica	ALTA	Distinguir y aplicar los diferentes esquemas de modulación analógica tanto en amplitud como en fase y frecuencia.

10. RELACIÓN DE LA ASIGNATURA CON LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE DEL PERFIL DE EGRESO DE LA CARRERA

RESULTADOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA	CONTRIBUCIÓN	PERFIL DE EGRESO DE LA CARRERA
Utiliza los conocimientos matemáticos para el análisis de procesos y sistemas	ALTA	

Pág. 15

aplicados a comunicaciones analógicas. Utiliza correctamente los equipos especializados para la transmisión de comunicaciones analógicas de manera responsable y precisa.		
Analiza los conceptos más importantes de la modulación analógica, sus características en el dominio de tiempo y de frecuencia.	ALTA	Diseñar e implementar sistemas de comunicaciones móviles, aplicando para ello una adecuada gestión del espectro radioeléctrico y las nuevas técnicas en multiplexación y acceso múltiple.
Utiliza software especializado para el modelamiento y simulación de comunicaciones analógicas, posteriormente presentar un informe detallado del proceso y resultados adquiridos de manera crítica y puntual.	ALTA	
Coopera en el intercambio de ideas en grupo de problemas con énfasis en el análisis de señales moduladas y la transmisión analógica, empleando los valores éticos para el bienestar de la sociedad.	ALTA	
	ALTA	

11. ELABORACIÓN Y APROBACIÓN

11.1 DOCENTE (S) RESPONSABLE (S) DE LA ELABORACIÓN DEL SÍLABO: Ing. Andy Vega León
--

11.2 FECHA DE ELABORACIÓN: SEPTIEMBRE 2015	VERSIÓN:	DOCENTE RESPONSABLE: ING. JUAN OCHOA
FECHA DE ACTUALIZACIÓN: ABRIL 2020	VERSIÓN:	DOCENTE RESPONSABLE: ING. ANDY VEGA

FECHA DE APROBACIÓN DEL SÍLABO POR LA COMISIÓN ACADÉMICA DE LA CARRERA:

f) Director de Carrera

f) Docente Responsable

Pág. 16

Anexo 2. Datasheet Adalm-Pluto



Product Overview

The easy to use ADALM-PLUTO active learning module (PlutoSDR) helps introduce electrical engineering students to the fundamentals of software-defined radio (SDR), radio frequency (RF), and wireless communications. Designed for students at all levels and from all backgrounds, the module can be used for both instructor-led and self-directed learning to help students develop a foundation in real-world RF and communications that they can build on as they pursue science, technology, or engineering degrees.

Connecting RF Theory with RF Practice

The PlutoSDR works as a portable lab that, when used with a host, can augment classroom learning. MATLAB® and Simulink® are two of the many software packages supported by PlutoSDR, and it provides an intuitive graphical user interface (GUI) so students can learn faster, work smarter, and explore more.

Made for Teachers, Students, and Self-Learners

The PlutoSDR features independent receive and transmit channels that can be operated in full duplex. The active learning module can generate or acquire RF analog signals from 325 MHz to 3800 MHz at up to 61.44 megasamples per second (MSPS). Small enough to fit in a shirt pocket, the PlutoSDR is completely self-contained and entirely USB powered with the default firmware. Because PlutoSDR is enabled by libio drivers, it supports OS X®, Windows®, and Linux®, which allows students to learn and explore on a variety of devices.

With dozens of available online tutorials for SDR-based projects, PlutoSDR boasts labs and teaching material covering topics such as ADS-B aircraft position, receiving NOAA and Meteor-M2 weather satellite imagery, GSM analysis, listening to TETRA signals, pager decoding, and many more!

Features

- ▶ Portable self-contained RF learning module
- ▶ Cost-effective experimentation platform
- ▶ RF coverage from 325 MHz to 3.8 GHz
- ▶ Flexible rate, 12-bit ADC and DAC
- ▶ One transmitter and one receiver (female SMA, 50 Ω)
- ▶ Half or full duplex
- ▶ MATLAB, Simulink support
- ▶ GNU Radio sink and source blocks
- ▶ Libio, a C, C++, C#, and Python API
- ▶ USB 2.0 interface
- ▶ Plastic enclosure
- ▶ USB powered
- ▶ Up to 20 MHz of instantaneous bandwidth (complex I/Q)



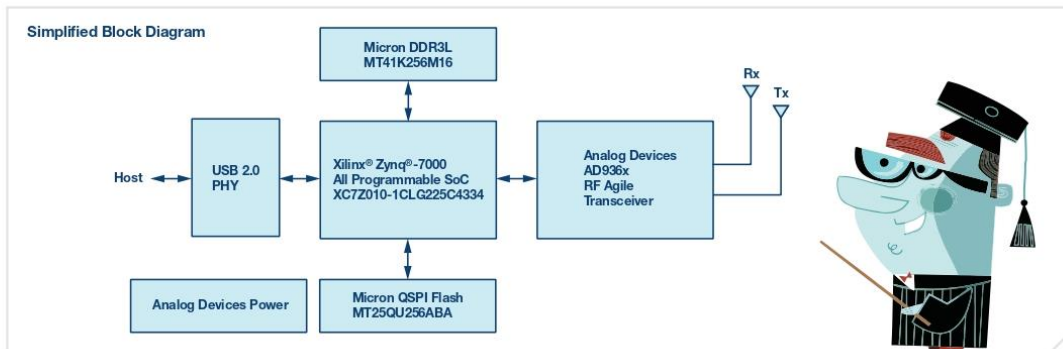
Kit Includes

- ▶ Analog Devices PlutoSDR active learning module
- ▶ Two antennas (824 MHz to ~894 MHz/1710 MHz to ~2170 MHz)
- ▶ One 15 cm SMA cable
- ▶ One USB cable

To purchase this active learning module, visit analog.com/plutosdr.



    Visit analog.com



PlutoSDR Host Interface

The PlutoSDR supports the following USB device classes:

- ▶ Mass storage (for easy firmware updates)
- ▶ Serial (for interacting with the Linux kernel/userspace on PlutoSDR)
- ▶ Networking/RNDIS (for loading and controlling custom ARM® applications)
- ▶ Libio (bulk USB for SDR data transfer and control)
- ▶ Device firmware upgrade (for backup firmware upgrades)

Open Source

The PlutoSDR open source firmware is built from Das U-Boot, the Linux kernel, and Buildroot. As part of the class materials, the firmware is able to be run, copied, distributed, studied, changed, and improved with Vivado® HL WebPACK™ Edition (license free). Supporting USB 2.0 On-the-Go, the PlutoSDR can attach to a variety of USB peripherals (wired networking, Wi-Fi dongles, audio, etc.), which extends functionality. All documentation is open and available at wiki.analog.com/plutosdr.

University and Active Learning Program

ADI's many learning activities provide faculty and students with the opportunity to further develop the theory, understanding, and practice to interpret the world around them by intelligently bridging the physical and digital realms with unmatched ADI technologies that sense, measure, and connect. From select sponsored faculty research to samples program, ADI provides faculty and student access to ADI products, information, teaching materials, and mentoring for use in research, thesis, and undergraduate projects. ADI offers co-ops and internships, and hires many new college graduates worldwide. More information can be found at analog.com/university.

Specifications	Typical
Power	
DC Input (USB)	4.5 V to 5.5 V
Conversion Performance and Clocks	
ADC and DAC Sample Rate	65.2 kSPS to 61.44 MSPS
ADC and DAC Resolution	12 bits
Frequency Accuracy	±25 ppm
RF Performance	
Tuning Range	325 MHz to 3800 MHz
Tx Power Output	7 dBm
Rx Noise Figure	<3.5 dB
Rx and Tx Modulation Accuracy (EVM)	-34 dB (2%)
RF Shielding	None
Digital	
USB	2.0 On-the-Go
Core	Single ARM Cortex®-A9 @ 667 MHz
FPGA Logic Cells	28k
DSP Slices	80
DDR3L	4 Gb (512 MB)
QSPI Flash	256 Mb (32 MB)
Physical	
Dimensions	117 mm × 79 mm × 24 mm 4.62" × 3.11" × 0.95"
Weight	114 g
Temperature	10°C to 40°C

EngineerZone® Online Support Community

Engage with the PlutoSDR developers in the virtual classroom, as well as ADI's technology experts in our online support community.

Visit ez.analog.com/community/university-program



Analog Devices, Inc.
Worldwide Headquarters

Analog Devices, Inc.
One Technology Way
P.O. Box 9106
Norwood, MA 02062-9106
U.S.A.
Tel: 781.329.4700
800.262.5643, U.S.A. only
Fax: 781.461.3113

Analog Devices, Inc.
Europe Headquarters

Analog Devices GmbH
Otto-Aicher-Str. 60-64
80807 München
Germany
Tel: 49.89.76903.0
Fax: 49.89.76903.157

Analog Devices, Inc.
Japan Headquarters

Analog Devices, KK
New Pier Takeshiba
South Tower Building
1-16-1 Kaigan, Minato-ku,
Tokyo, 105-6891
Japan
Tel: 813.5402.8200
Fax: 813.5402.1064

Analog Devices, Inc.
Asia Pacific Headquarters

Analog Devices
5F, Sandhill Plaza
2290 Zuchongzhi Road
Zhangjiang Hi-Tech Park
Pudong New District
Shanghai, China 201203
Tel: 86.21.2320.8000
Fax: 86.21.2320.8222

©2017 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. BR15418-1-2/17

analog.com



Anexo 3. Datasheet LimeSDR mini



LimeSDR-Mini v1.1 hardware description

1 LimeSDR-Mini Board Key Features

The LimeSDR-Mini is low-cost software defined radio board. LimeSDR-Mini development board provides a hardware platform for developing and prototyping high-performance and logic-intensive digital and RF designs using Intel's MAX 10 FPGA and Lime Microsystems transceiver.

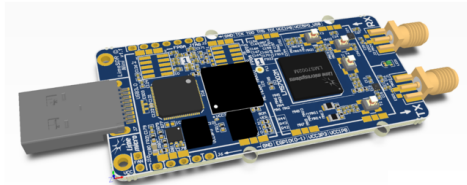


Figure 1. LimeSDR-Mini v1.1

LimeSDR-Mini board features:

- **USB 3.0 controller:** FTDI FT601
- **FPGA:** Intel MAX 10 (10M16SAU169C8G 169-UBGA)
 - 169-pin FBGA package
 - 16 K LE
 - 549 Kb M9K Memory
 - 2368 Kb User Flash Memory
 - 1x fractional phase locked loops (PLLs)
 - 45x 18x18-bit multipliers
 - 130x general purpose input/output (GPIO)
 - Single supply
 - Flash feature
 - FPGA configuration via JTAG
- **RF transceiver:** Lime Microsystems LMS7002M
- **EEPROM Memory:** 2x 128Kb EEPROMs for LMS MCU firmware and FPGA data
- **FLASH Memory:** 4Mb Flash memory for FPGA data
- **Temperature sensor (unpopulated)**
- **General user inputs/outputs:**
 - 1x Dual colour (RG) LED
 - 8x + 2x FPGA GPIO pinheader (3.3V)
- **Connections:**
 - USB3.0 (type A) plug
 - Coaxial RF (SMA female) connectors
 - FPGA GPIO headers (unpopulated)
 - FPGA JTAG connector (unpopulated)
 - FAN (5V or 3.3V) connector
- **Clock system:**
 - 40.00MHz onboard VCTCXO
 - Possibility to tune VCTCXO by onboard DAC
 - Reference clock input and output connectors (U.FL)
- **Board size: 69mm x 31.4mm**

For more information on the following topics, refer to the respective documents:

- **FTDI FT601 USB 3.0 to FIFO Bridge datasheet** [link]
- **MAX 10 FPGA device family, refer to MAX 10 Device Handbook** [link]
- **LMS7002M transceiver resources** [link]

Contents

[hide]

- 1 LimeSDR-Mini Board Key Features
- 2 Board Overview
- 3 RF Frequency Range
- 4 LimeSDR-Mini Board Architecture
 - 4.1 LMS7002M Based Connectivity
 - 4.2 USB 3.0 controller
 - 4.3 Indication LEDs
 - 4.4 Low speed interfaces
 - 4.5 Board Temperature Control
 - 4.6 Clock Distribution
 - 4.7 Power Distribution

2 Board Overview

This section contains component location description on the board. LimeSDR-Mini board picture with highlighted connectors and main components is presented in Figure 2 and Figure 3.

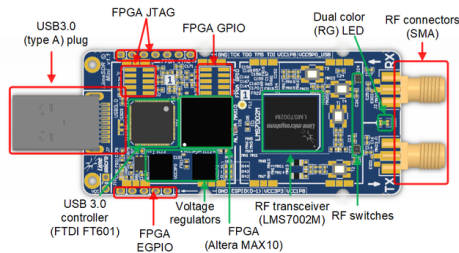


Figure 2. LimeSDR-Mini v1.1 board top connectors and main components

Anexo 4 Informe de práctica de laboratorio #1

GUÍA DE PRÁCTICA # 1

ASIGNATURA: RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE

RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA: (VER SÍLABO)

TIEMPO PLANIFICADO EN EL SÍLABO: 4 HORAS

TIEMPO DE LA PRÁCTICA POR GRUPO: 4 HORAS

NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO: 2 ESTUDIANTES

NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO: 1

1. **TEMA:** Introducción al manejo de equipos y sistemas basados en Radio Definido por Software (SDR)
2. **OBJETIVOS:**
 - Comprender los sistemas básicos de un sistema SDR y las diferencias con respecto a un sistema de radio tradicional.
 - Investigar el funcionamiento de aplicaciones relacionadas con sistemas SDR.
 - Instalar los programas y drivers necesarios para establecer la comunicación entre los dispositivos SDR y el computador.
 - Construir elementos que permitan la ejecución de prácticas con dispositivos SDR; como, por ejemplo: antenas, conectores, entre otros.

3. Materiales y Reactivos – Por Grupo	4. Equipos y herramientas – Por Grupo
<ul style="list-style-type: none">• Cable Rg58• Conector SMA• Antena Dipolo• Conector SMA hembra• Adaptador de impedancias• Adaptador USB 3.0	<ul style="list-style-type: none">• Computador con conexión a internet y SO Ubuntu 18.04• LimeSDR• Adalm-pluto SDR• Driver controlador de SDR• GNU Radio Companion 3.8• Python 3.6.9• Drivers o bloques instalados en GNU (Lime SDR Source TX y RX)

5. **INSTRUCCIONES:**
 - Colocar las mochilas en los casilleros.
 - Prohibido consumo de alimentos.
 - Prohibido equipo de diversión, celulares etc.

- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil.

6. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

6.1. Realizar el cableado y acople a la antena para utilizar el LimeSDR Mini.

Para facilitar la manipulación de la antena y/o mejorar la recepción de la señal se realiza un acople a 50 Ω con el adaptador SMA hembra hacia un cable RG58 de 4 metros.

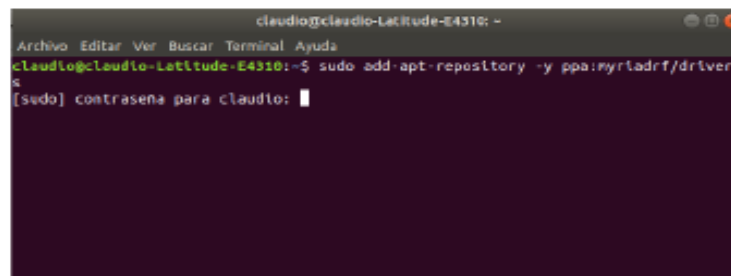
6.2. Instalar las aplicaciones requeridas de acuerdo al Sistema Operativo utilizado (Ubuntu 18.04)

- **Instalación de Lime-Suite**

Es un software compatible con el SDR Lime que permite la conexión entre el dispositivo y el computador. Para la instalación en Ubuntu se abre una terminal (CTRL + ALT + T) y se coloca los siguientes comandos:

```
sudo add-apt-repository -y ppa:myriadrf/drivers
```

Ingresar la contraseña de administrador, según lo solicitado por el sistema.



```
claudio@claudio-Latitude-E4310: ~$ sudo add-apt-repository -y ppa:myriadrf/drivers
[sudo] contraseña para claudio:
```

Fig. 1: Instalación de lime-suite

Actualizar el sistema:

```
sudo apt-get update
```



```
cloud@cloud0-Latitude-E4310 ~
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
sudo sudeplay sun
cloud@cloud0-Latitude-E4310:~$ sudo apt-get update
[sudo] contraseña para cloud:
Des:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security InRelease [89,7 kB]
Obj:2 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic InRelease
Obj:3 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases-1.8/ubuntu bionic InRelease
Des:4 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates InRelease [89,7 kB]
Obj:5 https://dl.google.com/linux/chrome/deb stable InRelease
Obj:6 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases/ubuntu bionic InRelease
Des:7 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-backports InRelease [74,6 kB]
Des:8 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security/main amd64 DEP-11 Metadata [55,1 kB]
Des:9 http://ppa.launchpad.net/myriadrf/drivers/ubuntu bionic InRelease [15,9 kB]
Des:10 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security/universe amd64 DEP-11 Metadata [0,6 kB]
Des:11 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security/multiverse amd64 DEP-11 Metadata [2,464 B]
Obj:12 http://ppa.launchpad.net/myriadrf/gnuradio/ubuntu bionic InRelease
Descargados 387 kB en 3s (153 kB/s)
Leyendo lista de paquetes... hecho
```

Fig. 2: Actualizando el SO.

Instalar el programa Lime Suite con los siguientes comandos:

```
sudo apt-get install limesuite liblimesuite-dev limesuite-udev
limesuite-images
```

Crear el árbol de dependencias:

```
sudo apt-get install soapysdr-tools soapysdr-
module-lms7
```

```
soapysdr-tools use to be called just soapysdr
on older packages
```

Realizar la instalación ejecutando el siguiente comando:

```
sudo apt-get install soapysdr soapysdr-module-lms7
```

Nota: Este proceso de instalación aplica para las versiones de Ubuntu 16.04, 18.04 y 18.10.

- **Instalación de GNU Radio v3.8**

Iniciar con la instalación del programa:

```
sudo add-apt-repository ppa:gnuradio/gnuradio-releases
```

En el caso de requerir instalar otra versión de GNU radio se lo puede realizar con el siguiente comando:

```
sudo add-apt-repository ppa:gnuradio/gnuradio-releases-3.8
```

O para la versión 3.7:

```
sudo add-apt-repository ppa:gnuradio/gnuradio-releases-3.7
```

Actualizar la fuente e instalar el programa:

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt install gnuradio
```

En algunos casos también es necesario instalar el paquete de Python:

```
sudo apt install python3-
```

```
pip install packaging
```

En la página del proyecto se detalla lo siguiente: *“En las compilaciones publicadas para Ubuntu 18.04 (bionic), hay un problema al usar gr_modtool después de que GNU Radio se haya instalado desde el PPA. Esto se debe al código compilado por bytes que permanece en las plantillas de modtool después de la instalación”*; para solucionar dicho problema se aplica el siguiente comando:

```
cd /usr/share/gnuradio/modtool/templates/gr-newmod
```

```
sudo py3clean
```

En el caso de requerir instalar desde la fuente se procede con los siguientes comandos:

```
cd  
git clone https://github.com/gnuradio/gnuradio.git  
cd gnuradio  
git checkout maint-3.8
```

De ser necesario, se puede cambiar la versión por “maint-3.7” y se continúa con la instalación:

```
git submodule update --init --recursive  
mkdir build  
cd build  
cmake -DCMAKE_BUILD_TYPE=Release DPYTHON_EXECUTABLE=/usr/bin/python3 ../  
make -j3
```

En este paso se puede escoger la cantidad de núcleos con la que se desea trabajar; por ejemplo, si desea usar 3 núcleos de CPU durante la compilación. Para usar 8, hacer `-j8`, para usar 1, omitir el indicador `-j`

```
make test
sudo make install
```

```
sudo ldconfig
```

- Construcción de GR-LimeSDR

Es necesario construir el bloque que se requiere en GNU Radio para contar con los controladores de los equipos, pero antes se debe instalar las dependencias Boost y SWIG:

```
sudo apt-get install libboost-all-dev swig
sudo apt-get install gnuradio-dev
```

Se descarga el paquete que se encuentra disponible en:

```
git clone https://github.com/myriadrf/gr-limesdr
```

Se continúa con el proceso de instalación:

```
cd gr-limesdr
git checkout gr-3.8
mkdir build
cd build
cmake ..
make
sudo make install
```

Finalmente, se sugiere reiniciar GNU Radio para mostrar todas las aplicaciones instaladas.

- Verificación y configuración del bloque LimeSuit

En el entorno de trabajo de GNU Radio se debe verificar la existencia de los bloques de LimeSDR TX y LimeSDR RX. Para obtener el serial del dispositivo SDR, se debe colocar el siguiente comando:

```
LimeUtil --find
```

- Configuración de Adalm Pluto SDR

Conectar el dispositivo SDR al computador, verificar que aparezca en los dispositivos conectados, abrir un terminal y colocar los siguientes comandos:

```
sudo apt install libxml2 libxml2-dev bison flex cmake git
libaio-dev libboost-all-dev

sudo apt install doxygen

sudo apt install libusb-1.0-0-dev

sudo apt install libavahi-common-dev libavahi-client-dev
```

Instalar la librería *libiio*:

```
sudo git clone https://github.com/analogdevicesinc/libiio.git

cd libiio

sudo mkdir build

cd build

cmake .. -DPYTHON_BINDINGS=ON

make

sudo make install

cd ../..
```

Mediante PIP se instala la librería *sphinx_rtd_theme*:

```
sudo pip install sphinx_rtd_theme
```

Luego, se instala la librería *libad9361-iio*:

```
sudo git clone https://github.com/analogdevicesinc/libad9361-
iio.git

cd libad9361-iio

sudo mkdir build

cd build

sudo cmake -DCMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr ..

make

sudo make install

cd ../..
```

Se instalan las librerías para GNU Radio v3.8:

```
sudo apt install bison flex cmake git libgmp-dev

sudo apt install swig

sudo apt install liborc-dev

sudo git clone -b upgrade-3.8
https://github.com/analogdevicesinc/gr-iio.git

cd gr-iio

sudo cmake .

sudo make

sudo make install

cd ..
sudo ldconfig
```

Ingresar por SSH al SDR mediante la dirección IP 192.168.2.1 como usuario root:

```
sudo ssh root@192.168.2.1
```

En el caso de que solicite permiso se debe ingresar el comando “yes” para aprobar el proceso:

```
la contraseña por defecto es: analog
```

Con el objetivo de incrementar el rango de frecuencia de operación del equipo, ingresar los siguientes comandos (aplica para la versión de firmware de Adalm Pluto v0.31):

```
fw_setenv attr_name compatible

fw_setenv attr_val ad9364
reboot
```

Finalmente, acceder a GNU Radio:

```
export PYTHONPATH=/usr/local/lib/python3/dist-
packages/:$PYTHONPATH

gnuradio-companion
```

7. MARCO TEÓRICO:

- RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE:

Las comunicaciones en la actualidad han evolucionado y en varias circunstancias ha dejado obsoletos a los equipos de radio tradicionales, apareciendo en su reemplazo un sistema reprogramable y de este modo es posible volver a utilizar el mismo equipo de radiocomunicación, con solo reconfigurar los parámetros necesarios, al momento existen

varias formas de definir un sistema de radio definida por software, como por ejemplo el artículo investigativo que pertenece a (Amador F, 2013) quien afirma que dicho termino de SDR fue acuñado en los años 90, y su nombre fue dado de acuerdo a la funcionalidad de sus equipos, estos equipos son multibanda y a su vez son reprogramables lo cual facilita al momento de dar un servicio, tomando en consideración además que estos sistemas gran parte del proceso se lo realiza en software, utilizando el hardware de manera mucho más eficiente además de optimizar el factor económico ya que no será necesario el reemplazo de todo el sistema.

- LIME-SDR MINI

Un equipo desarrollado y actualmente utilizado en varias aplicaciones, para el ámbito académico por el simple hecho que utiliza una plataforma de código abierto, (Programerclic, n.d.) por tal razón se puede utilizar para admitir cualquier tipo de estándar de comunicación inalámbrica, es decir puede funcionar para enviar y recibir información por LTE, GSM, LoRa; etc. Este equipo tiene un transceptor de radio LMS7002M que es un circuito integrado con un gran ancho de banda según la página (Lime Microsystems, 2020) que se encuentra en la capacidad de trabajar entre 100Khz hasta los 3,8Ghz, y además su ancho de banda puede ser de hasta 120MHz, esta tecnología ha sido comprobada en una amplia gama de aplicaciones ya sean de consumo por empresas privadas organizaciones gubernamentales y militares, entre algunas aplicaciones se lista:

- Equipos para comunicación de células pequeñas.
- Redes IoT.
- Aplicaciones satelitales.
- Radio de código abierto.
- Radio cognitiva etc.

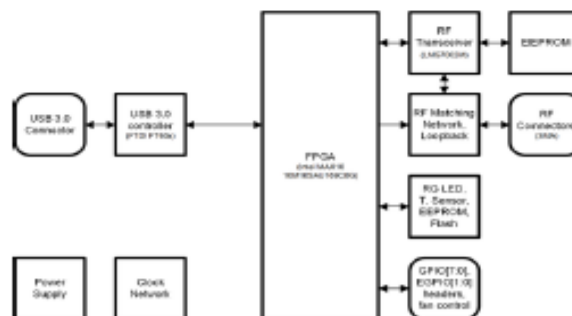


Fig. 3: Diagrama de bloques de la placa de desarrollo (Myraid-RF, 2020)

- ADALM-PLUTO SDR

Adalm es un equipo pensado para el aprendizaje, además de ser fácil de usar, según la descripción de sus creadores (Analog Devices, 2019), es muy práctica para introducir los fundamentos de las comunicaciones por radiofrecuencia al estudiante, así como comunicaciones inalámbricas y principalmente a lo que es SDR, permitiendo desarrollar en base a las tecnologías inalámbricas y digitales varios proyectos aplicables al mundo real, llegando a tomar la posición de un laboratorio portátil.

Lo más importante de este equipo es las características con las que cuenta el equipo permitiendo sacar provecho al máximo, entre las principales características están, que cuenta con canales de transmisión y recepción a la vez y que puede operar en modo dúplex, además puede generar y adquirir señales analógicas de RF comprendidas en el espectro de 325 MHz hasta los 3800 MHz, la velocidad de muestreo puede tomar hasta 61.44 Mbps, al mismo tiempo se acopla a diferentes sistemas operativos.

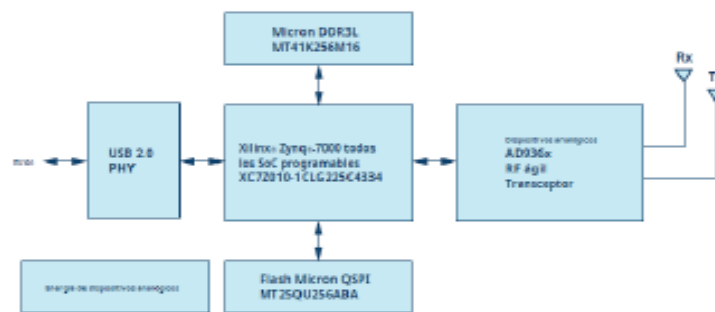


Fig. 4: Diagrama de bloques simplificado de Adalm-Pluto

- GNU RADIO

GNU se trata de una de las herramientas de software necesarios para realizar proyectos de sistemas SDR para utilizar con hardware de radiofrecuencia externo o se puede utilizar también como un entorno de parecido a una simulación, y por tal razón es muy utilizado en el ámbito de la investigación, la academia y aficionados al tema. En la página del proyecto (Proyecto GNU radio, 2022) indica que se ocupa de varias aplicaciones y tiene la principal responsabilidad de realizar el procesamiento de señal en el software y luego enviar al hardware.

Está basada en lenguaje de programación de Python que es el más común, y en C++, pudiendo por parte del usuario desarrollar herramientas y objetos propios según se requiera en la investigación. (Prieto, 2017) También existe un entorno de ventanas y bloques, es decir un modo grafico que facilitan mucho el trabajo, llegando a ser intuitivo

para quienes deseen utilizarlo y su funcionamiento es muy simple y se basa en unir con líneas los bloques que están preconfigurados para realizar una función y un comportamiento de acuerdo a la necesidad.

Los elementos a utilizar en la presente práctica se puede mencionar la pantalla principal en la cual se colocan los bloques para construir el sistema en hardware, de igual forma se requiere también utilizar el entorno de variables en el cual cambian o tienen que ir adquiriendo distintos valores, los bloques son los que se encuentran ya preconstruídos o instalados, en nuestro caso se utilizara el bloque de recepción que se ha instalado para mini-lime y adalm-pluto SDR.

- ANTENA DE RECEPCIÓN

Las antenas son un elemento clave en el desarrollo de las telecomunicaciones y están diseñadas para recibir o emitir señales radioeléctricas del espacio. Existen varios modelos o tipos que se utilizan de acuerdo a su necesidad, por ejemplo: potencia, frecuencia, ancho de banda, tipo de señal, etc. En esta práctica se utilizará una antena dipolo que es una de las más sencillas.

8. RESULTADOS OBTENIDOS:

8.1. Acople de antena



Fig. 5: Preparación y acople del conector SMA con el cable RG58.



Fig. 6: Colocación de cinta termo retráctil para evitar daños a futuro.



Fig. 7: Colocación de conectores adecuados para evitar pérdidas desde la antena al SDR.



Fig. 8: Antena a utilizar acoplada con el adaptador de impedancias.



Fig. 9: Cableado y equipos listos.

8.2. Verificación de instalación de bloques LimeSDR en GNU Radio

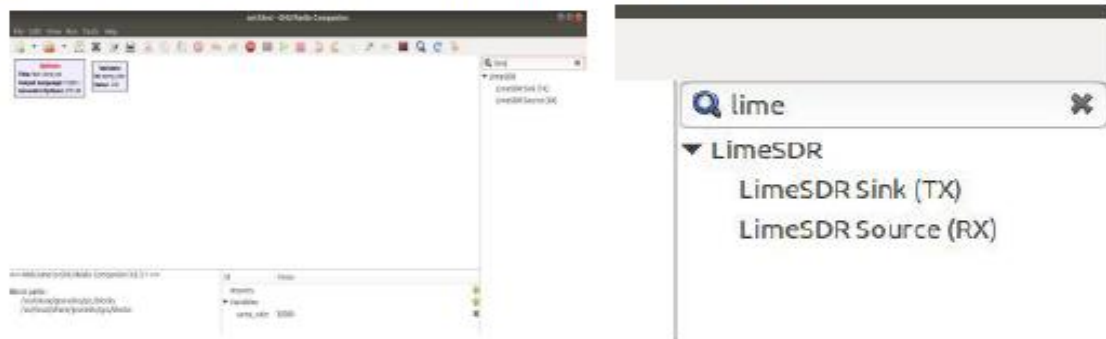


Fig. 10: Aplicación instalada para lime SDR

8.3. Conexión de dispositivo SDR al computador

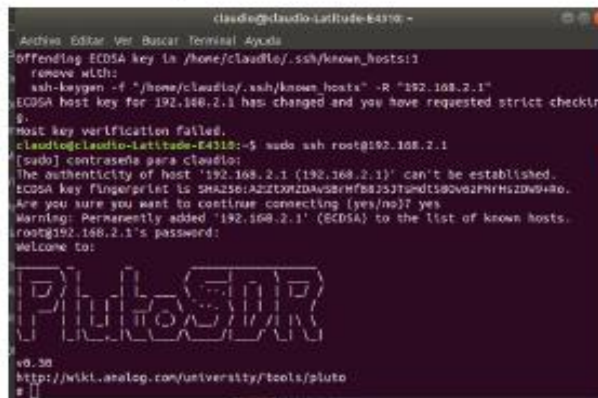


Fig. 11: Ingreso por SSH a Adalm-pluto

9. DISCUSIÓN:

La correcta instalación de los drivers y programas es vital para la conexión de los equipos SDR al computador. Es necesario considerar también las características técnicas de los equipos y las antenas; en el caso de construirlas, se debe considerar la frecuencia a la que se requiere operar y en este caso realizar los cálculos matemáticos para obtener el elemento adecuado. Del mismo modo se debe realizar los acopladores de acuerdo a la impedancia entre el cable y el material de la antena para evitar incluir ruido en el sistema. Es importante también considerar la frecuencia a la que se va a operar tanto el elemento radiante y los equipos incluso el ancho de banda, la potencia y las aplicaciones que se les dará a los mismos, en este caso su uso será de manera académica e investigativa.

10. CONCLUSIONES:

- Es indispensable tomar en consideración la frecuencia que operan los equipos y de este modo elegir de manera correcta el elemento radiante.
- Las antenas pueden usarse tanto en la etapa de transmisión como en la de recepción.
- Es trascendental contar con los controladores indicados para cada equipo, en vista que pueden existir drivers que únicamente lo reconocen al dispositivo, sin embargo, no están en la capacidad de hacerlos funcionar.

11. RECOMENDACIONES:

- Elegir los drivers adecuados para que el computador pueda reconocer el dispositivo.
- Revisar el Datasheet y por ende las características de los equipos como el circuito que realiza la conexión entre el USB y el computador, se debe buscar el driver apropiado para su instalación o se puede ocupar paquetes pre-elaborados.

12. PREGUNTAS DE CONTROL:

- 1) Indique la importancia de la tecnología SDR en la actualidad.
SDR desde su aparición y desarrollo ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de las telecomunicaciones porque actualmente está presente en muchos ámbitos como por ejemplo las radiocomunicaciones de redes celulares, industrias e incluso para aplicaciones militares.

- 2) ¿Cuál es la principal función de las antenas en el desarrollo de las telecomunicaciones?

Las antenas de igual forma ocupan cierta importancia en las telecomunicaciones, puesto que son las encargadas de llevar la información de manera inalámbrica a otro punto en el espacio, todo esto a un bajo costo porque la señal que es llevada no requiere de un conductor físico, únicamente el espacio

- 3) ¿Qué incidencia tiene el ruido en los sistemas de telecomunicaciones y como evitarlo?

El ruido si no es tratado puede echar a perder cualquier tipo de datos, ya sean estos señales analógicas o digitales, la mejor forma de evitarlos es utilizar filtros de acuerdo a la frecuencia que se requiere trabajar, de este modo se adicionara poco ruido en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA:

Amador F, J. A. (2013). Rds (Radio Definido Por Software). Consideraciones Para Su Implementación De Hardware. *Telemática*, 12(2), 56–68.

Analog Devices. (2019). *Adalm-Pluto*. 15–17.

Lime Microsystems, L. (2020). *LimeSDR Mini - Lime Microsystems*.
<https://limemicro.com/products/boards/limesdr-mini/>

Myraid-RF. (2020). *LimeSDR-Mini v1.1 hardware description - Myriad-RF Wiki*.
https://wiki.myriadrf.org/LimeSDR-Mini_v1.1_hardware_description

Prieto, R. M. (2017). *ManualGnuRadio*.

Programerclíc. (n.d.). *Tutorial para principiantes de LimeSDR (1) - programador clic*. Retrieved February 28, 2022, from <https://programmerclick.com/article/82051529939/>

Proyecto GNU radio. (2022). *About GNU Radio*. <https://www.gnuradio.org/about/>

Anexo 5. Informe de práctica de laboratorio #2

GUÍA DE PRÁCTICA # 2

ASIGNATURA: RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE

RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA: (VER SÍLABO)

TIEMPO PLANIFICADO EN EL SÍLABO: 4 HORAS

TIEMPO DE LA PRÁCTICA POR GRUPO: 4 HORAS

NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO: 2 ESTUDIANTES

NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO: 1

1. **TEMA:** Analizador de espectro y recepción de señales en las bandas comerciales de AM y FM.
2. **OBJETIVOS:**
 - Examinar las distintas señales que se encuentran en el espectro radioeléctrico; en específico, las señales de las bandas comerciales de AM y FM.
 - Utilizar dispositivos de Radio Definido por Software (SDR) para la visualización gráfica de las señales del espectro radioeléctrico.
 - Documentar las actividades realizadas para una ejecución eficiente de la práctica.

3. Materiales y reactivos – Por Grupo	4. Equipos y herramientas – Por Grupo
<ul style="list-style-type: none">• Extensión de cable Rg58• Antenas propias del SDR• Antena dipolo• Adaptador de impedancias• Cable USB (extensión)	<ul style="list-style-type: none">• Computador con conexión a internet y SO Ubuntu 18.04• Mini <u>LimeSDR</u> o <u>Adalm Pluto</u>• GNU Radio <u>Companion</u> 3.8 con los controladores para <u>Mini-lime</u> y <u>Adalm-Pluto</u> instalados (Práctica 1)

5. INSTRUCCIONES

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibido equipo de diversión, celulares etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.

- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las practicas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil.

6. ACTIVIDADES A DESARROLLAR:

6.1. Verificar la comunicación entre el computador y los SDR e iniciar el programa GNU-radio.

Conectar el equipo SDR al computador y verificar que exista conexión con el software.



Fig. 1: Conexión del SDR al computador

Iniciar el programa GNU radio y exporta Python utilizando el siguiente comando:

```
export PYTHONPATH=/usr/local/lib/python3/dist-packages/:$PYTHONPATH
```

Iniciar el software GNU radio desde la terminal con el comando:

```
gnuradio-companion
```

```

claudio@claudio-Latitude-E4310:~$ export PYTHONPATH=/usr/local/lib/python3/dist-
packages/:$PYTHONPATH
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$ gnuradio-companion
<<< Welcome to GNU Radio Companion 3.8.3.1 >>>

Block paths:
/usr/share/gnuradio/grc/blocks
/usr/local/share/gnuradio/grc/blocks

```

Fig. 2: GNU radio desde la terminal

Una vez iniciado el programa GNU Radio, seleccionar el bloque LimeSDR Source dar clic en la pestaña General y en el parámetro Device serial colocar el serial del SDR, el cual se lo puede obtener desde la terminal con el equipo conectado mediante el siguiente comando:

`LimeUtil --find`

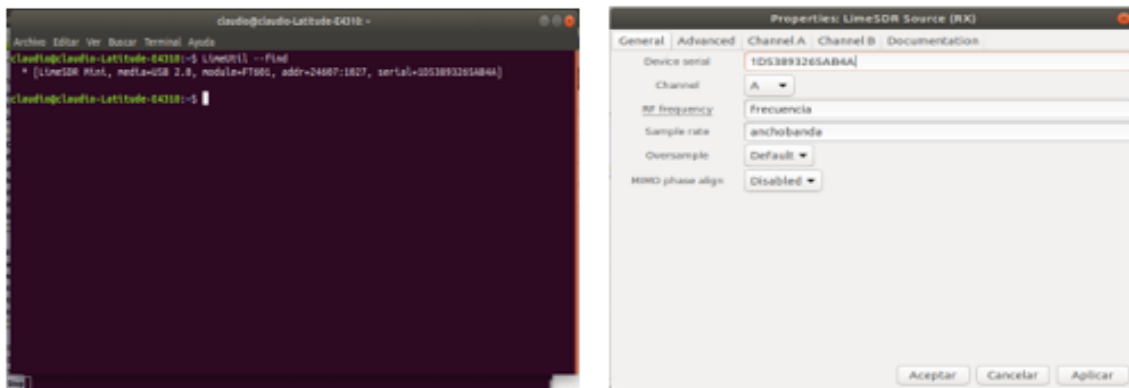


Fig. 3: Parámetros de comunicación del Lime SDR en GNU Radio

6.2. Construir el diagrama de bloques del analizador de espectros en GNU Radio.

Crear un archivo nuevo y colocar el nombre del autor.

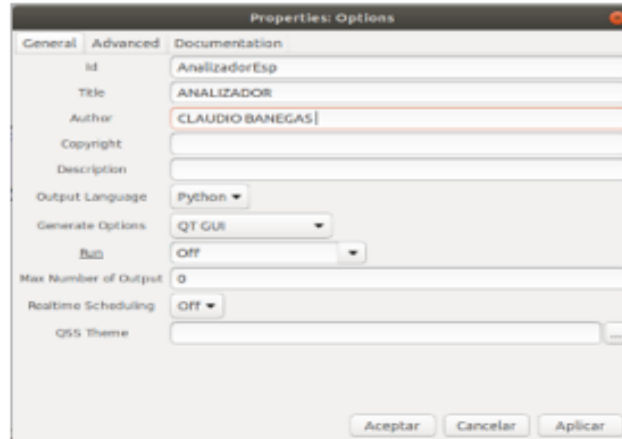


Fig. 4: Bloque principal que brinda información del proyecto.

Seleccionar el bloque *QT GUI Range* y colocar el nombre de la primera variable, en este caso *gananciaRF* (se le puede dar cualquier nombre). Luego, se colocan los valores en los que trabajará la variable y se determina el valor que cambia por cada paso o pulso que detecte en el programa.

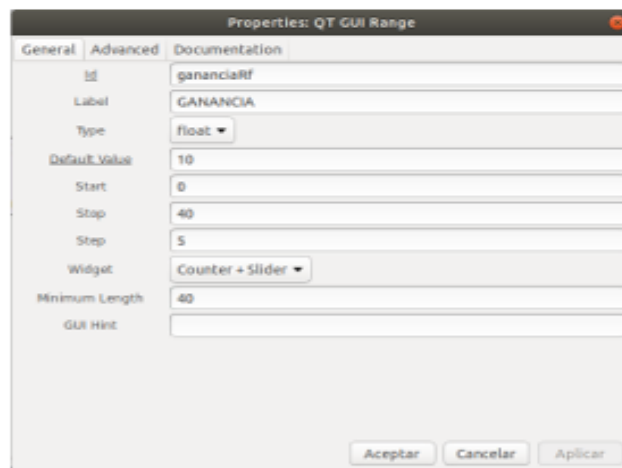


Fig. 5: Bloque *QT GUI range*. Ganancia de RF.

Crear la variable denominada "Frecuencia" con los valores indicados en la Figura 6.

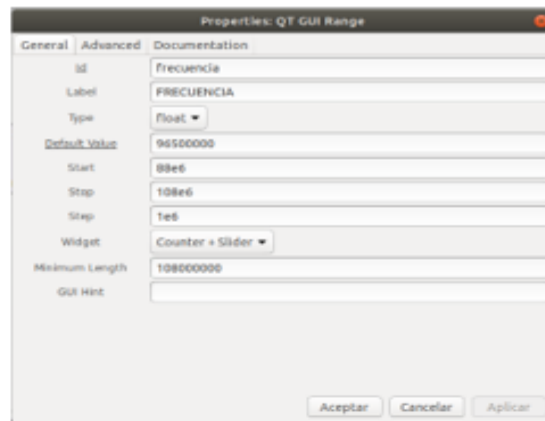


Fig. 6: Bloque QT GUI range - Frecuencia.

Determinar la variable “anchobanda” según lo indicado en la Figura 7.

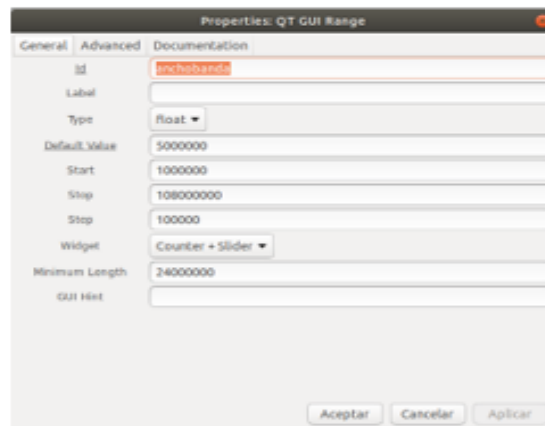


Fig. 7: QT GUI range - Ancho de Banda

Seleccionar el bloque LimeSDR Source (RX) e insertar los parámetros de configuración en el canal A, según lo indicado en la Figura 8.

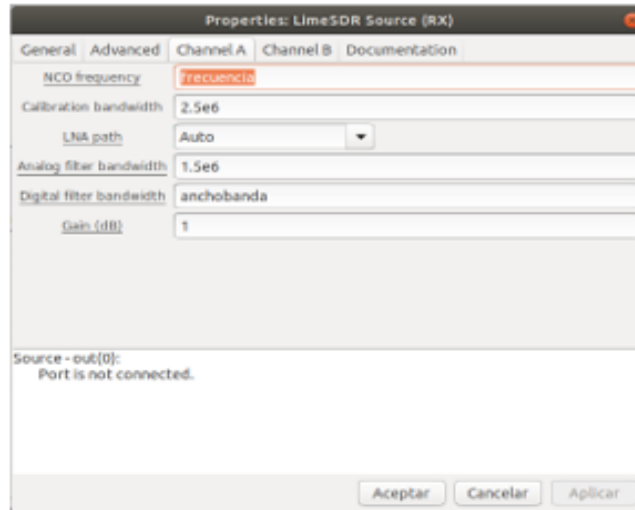


Fig. 8: *Bloque LimeSDR Source (RX).*

Utilizar el bloque multiplicador *Multiply Const* para elevar en amplitud la señal obtenida, según lo indicado en la Figura 9.

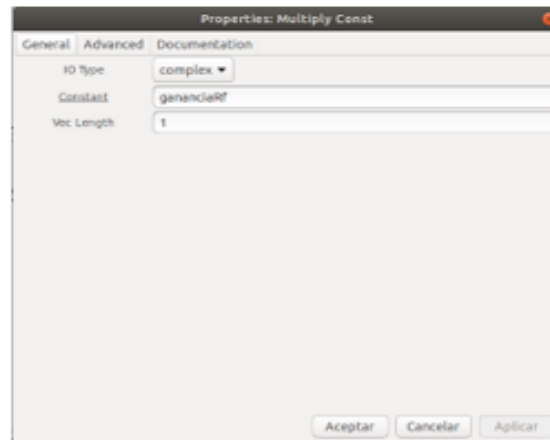


Fig. 9: *Bloque Multiply const.*

Insertar un bloque *Throttle* para evitar la carga de datos excesiva al procesador.

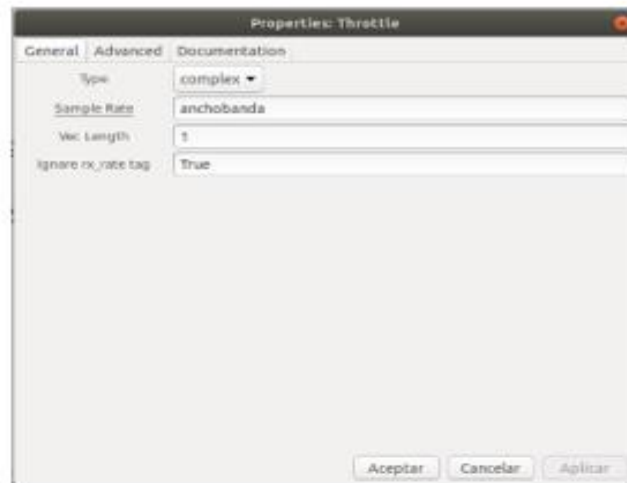


Fig. 10: Configuración de Throttle.

Colocar un bloque *QT GUI Waterfall Sink* para observar las señales en un diagrama de cascada y configurar los valores de frecuencia y ancho de banda.

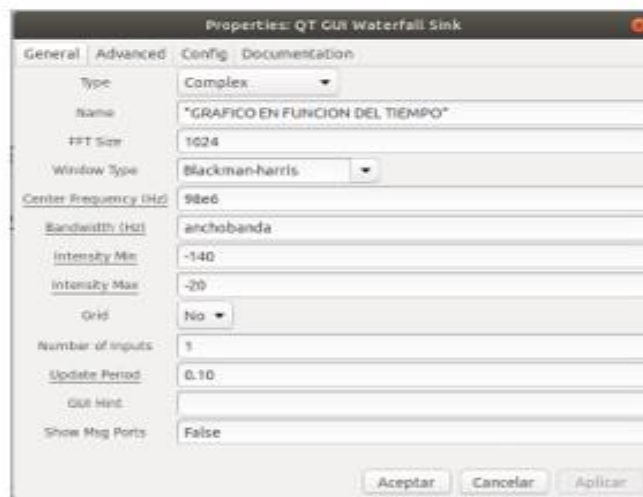


Fig. 11: Bloque Waterfall Sink.

Finalmente, colocar un bloque *QT GUI Frequency Sink* para visualizar las señales en función de la frecuencia y configurar el ancho de banda y frecuencia de operación.

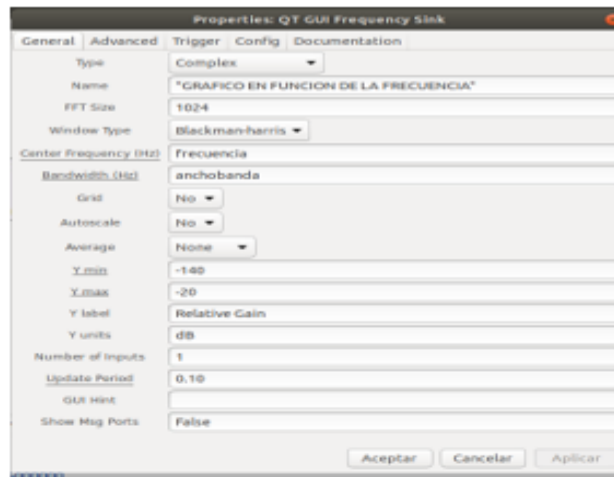


Fig. 12: Bloque QT GUI Frequency Sink.

En la figura 13 se observan los bloques previamente configurados y en la Figura 14 su conexión final.

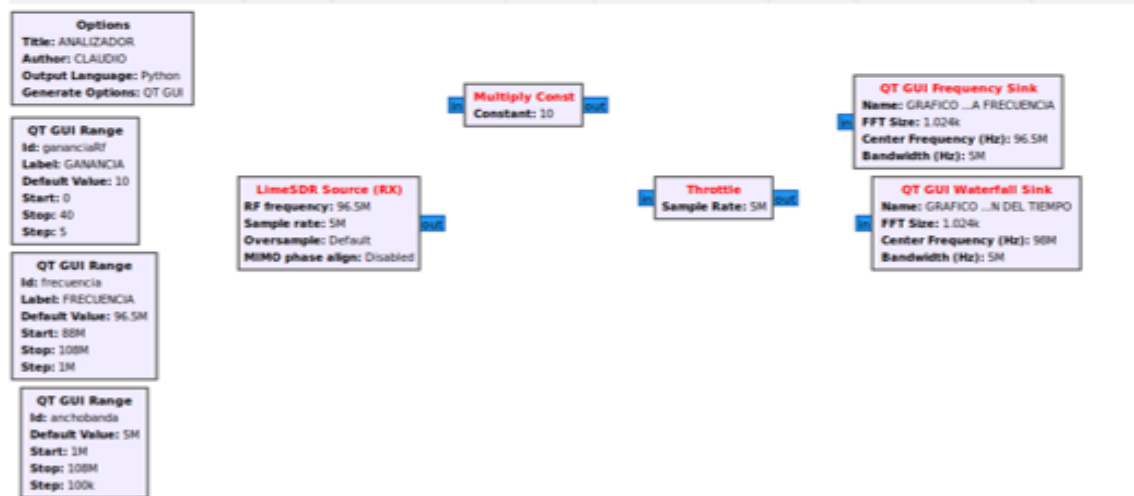


Fig. 13: Pantalla completa con todos sus bloques.

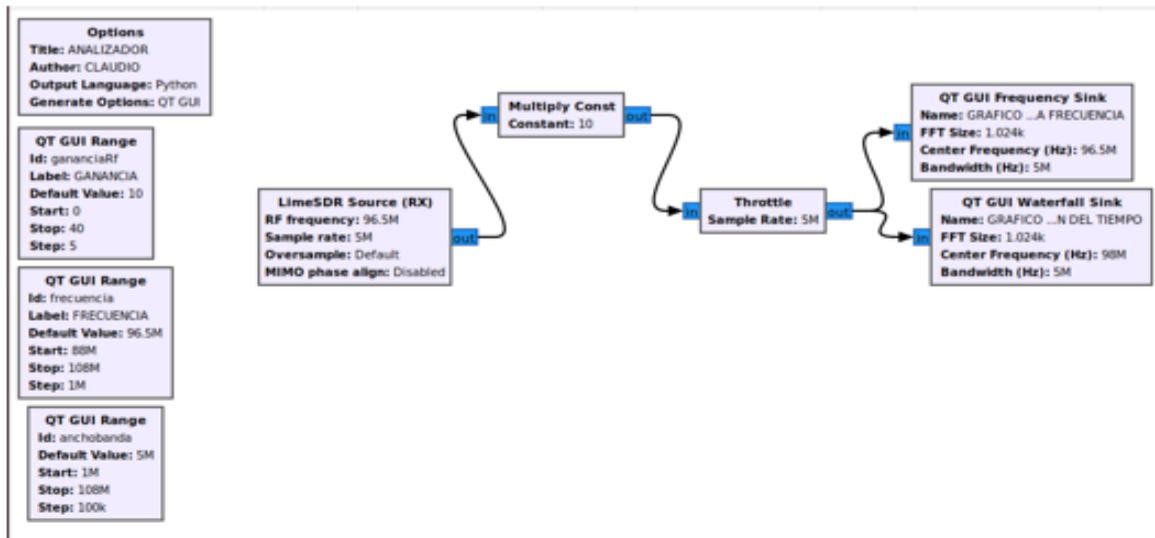


Fig. 14: Conexión de los bloques en GNU radio.

Para finalizar, ejecutar el programa y verificar que no existan errores.

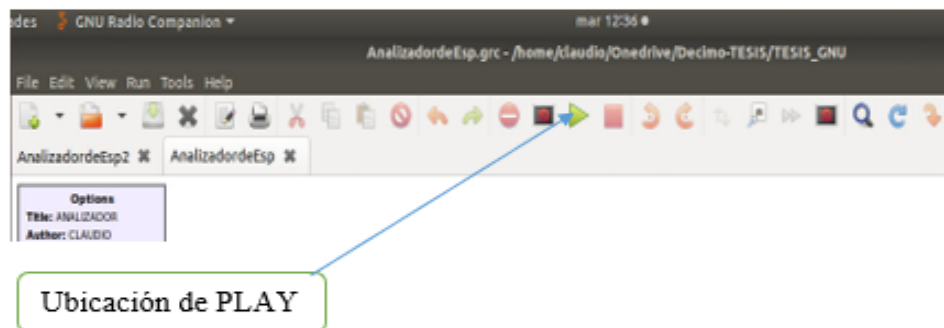


Fig. 15: Ubicación del botón para ejecutar el programa.

7. MARCO TEÓRICO:

- ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO:

Se puede mencionar que es la cantidad del espacio en el que se encuentran distribuidas cierto rango de frecuencias, Aranzazu(2017) en su investigación lo define como el conjunto de todas las frecuencias posibles de las ondas electromagnéticas, mientras que el punto de vista de la Arcotel (2017) el espectro radioelectrico se expone que es un bien público y que será administrado y distribuido por el estado ecuatoriano, además de ser un bien inenajenable e imperceptible, en la misma investigación se puede apreciar que el inicio del espectro sería en cero, en vista que no pueden existir frecuencias negativas, pero decir que se puede llegar al punto superior teóricamente no existe el rango superior porque éste se extiende hacia el infinito.

En la actualidad se ha considerado el espectro desde los 30Hz y la banda superior, llega a $2,9 \times 10^{27}$ y se detallan en la siguiente tabla tomada de Cardama (2002). De igual forma se puede apreciar de manera gráfica la distribución del espectro electromagnético.

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA	DENOMINACIÓN
ELF	<3 kHz	>100 km	Extremely Low Frequency
VLF	3-30 kHz	100-10 km	Very Low Frequency
LF	30-300 kHz	10-1 km	Low Frequency
MF	0,3 -3 MHz	1.000-100 m	Medium Frequency
HF	3-30 MHz	100-10 m	High Frequency
VHF	30-300 MHz	10-1 m	Very High Frequency
UHF	0,3 -3 GHz	100-10 cm	Ultra High Frequency
SHF	3-30 GHz	10-1 cm	Super High Frequency
EHF	30-300 GHz	10-1 mm	Extremely High Frequency

Tabla 1. Distribución del espectro en función a la frecuencia.

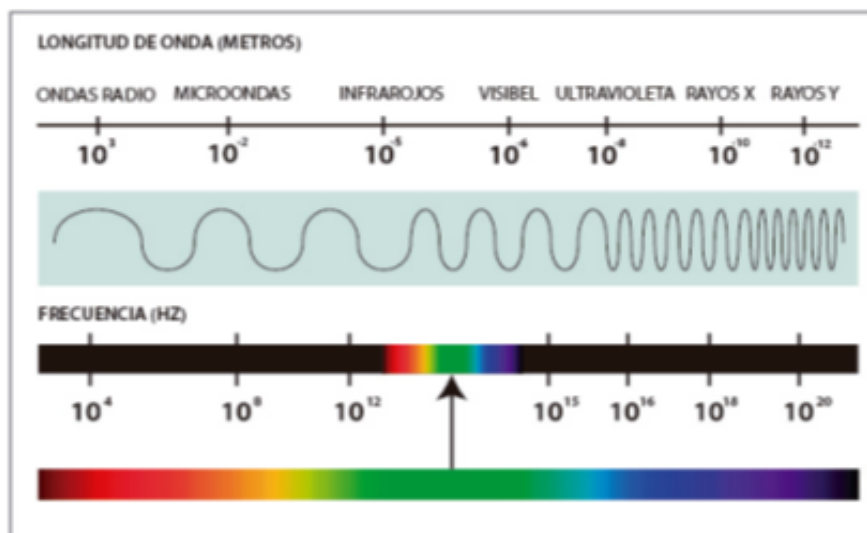


Fig. 16: Vista gráfica de la longitud de onda en la distribución del espectro.

- BANDA COMERCIAL AM:

La banda de AM se encuentra atribuida para radiodifusión con modulación de amplitud, y se encuentra en un rango de entre 535 – 1605 KHz. (CONATEL, 2012) a pesar que en la actualidad es poco utilizada en sus tiempos fue uno de los factores más utilizados para radiocomunicación incluso sus ondas llegaban a viajar continentes de acuerdo al modo de transmisión y la potencia que se le venía aplicando. Se menciona que la canalización o el ancho del canal está determinado de 10KHz, siendo necesario este

ancho para lograr transmitir una señal que sea confiable y al momento de demodular se pueda reconstruir la misma lo más parecida a la original.

La modulación de amplitud es el proceso de modificar la señal de una portadora con una frecuencia alta de acuerdo con la amplitud de una señal modulante que llega a ser la información. Concordando con Santa cruz, (2010) la información se imprime sobre la portadora, de tal modo que se adapta a su forma de onda. Actualmente el uso que se le da a esta clase de comunicación es la de comunicaciones de radio móvil de dos sentidos, como la radio de banda civil.

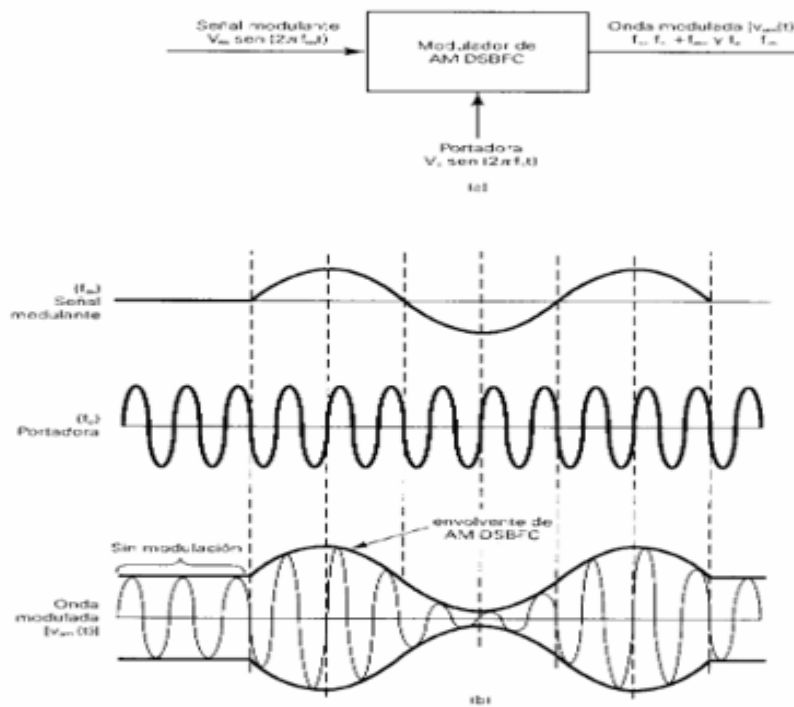


Fig. 17: Modulación de am a) entrada de la envolvente, portadora y señal modulada. b) señales modulantes, señal a modular y señal modulada.

- MODULACIÓN DE FM:

La modulación de frecuencia como su nombre lo indica la variación se lo realiza en frecuencia, y tiene una ventaja sobre la de Am en términos de relación señal ruido, el intervalo para la banda comercial de FM se mantiene en el rango de 88 MHz a 108 MHz.

De igual forma Santa Cruz (2010) indica que sus principales usos están enfocados a la radiodifusión comercial, transmisión de sonido en la televisión, también en la radio móvil en dos sentidos, radio celular y los sistemas para comunicación por microondas y

satélite, una de las ventajas de FM sobre la de AM es que se mejora la relación señal ruido, puesto que la señal modulada en FM no se debe a las variaciones de amplitud, por lo tanto ignora el ruido que se haya adherido a la señal hasta cierto punto.

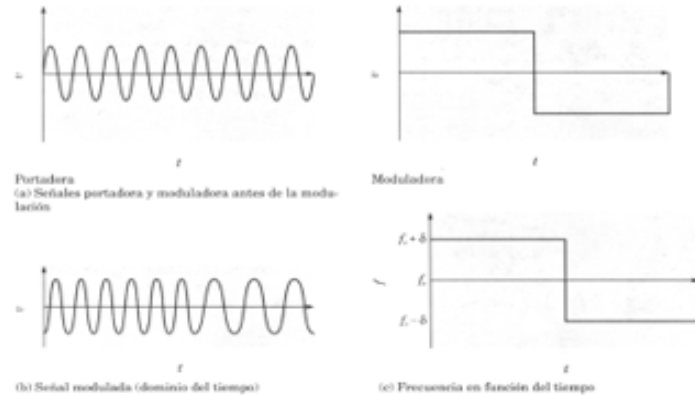


Fig. 18: Modulación de frecuencia en función a una onda cuadrada

- GNU RADIO:

Es un entorno cuyos bloques se encuentran desarrollados en Python o C++ y se enfoca en desempeñarse como una herramienta de apoyo para trabajar con SDR. (Abari et al., 2016)

El programa se encuentra en la capacidad de realizar transformaciones entre una señal eléctrica analógica en un valor digital con su convertidor Analógico Digital y viceversa, sin embargo, para dicho proceso es importante que se lleve a discusión un término que es muy escuchado en telecomunicaciones y es el teorema de Nyquist.

- TEOREMA DE NYQUIST:

Es claro que estamos ante el tratamiento de señales continuas en el tiempo y que está relacionada con la amplitud, ciclo, periodo de una señal analógica, es decir se encuentra ante el tratamiento de una señal continua y se procede a convertirla en pulsos eléctricos de modo que se la puede conocer como señal digital, para lo cual es necesario un proceso que según algunos libros y artículos como el de Castilla Guardo, (n.d.) va desde la obtención de la señal, posteriormente se procede al muestreo, cuantificación y finalmente la codificación. Del mismo modo o paralelo a lo anterior en Miyara (2004) en el cual se considera una elección primordial la tasa de muestreo, la misma que debe cumplir la condición de Nyquist, esta debe ser mínimo el doble de la frecuencia angular $\omega_m > 2\omega_{max}$. Al estar limitada entre $-\omega_{Max}$ y $+\omega_{Max}$

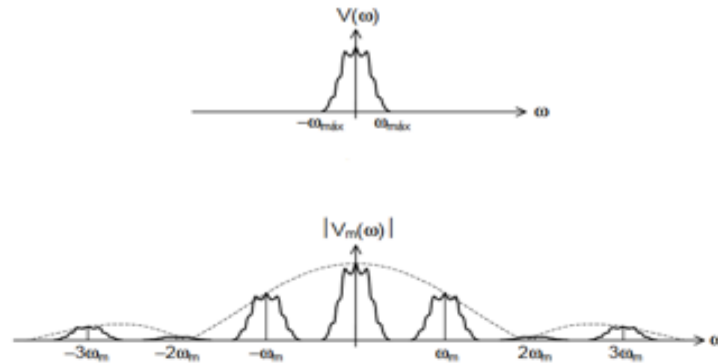


Fig. 19: Espectro de una señal entre $-\omega_{max}$ y $+\omega_{max}$ y de una señal muestreada con frecuencia $\omega_m > 2\omega_{max}$

- ENTORNO DE GNU RADIO:

Se puede diferenciar dos principales formas de trabajar con GNU las mismas se listan en el manual de instalación y uso, (Prieto M, n.d.) que puede ser mediante lenguaje de programación que se desempeña tanto en C++ y Python y mediante modo gráfico que es un proceso intuitivo y simple ya que se basa únicamente en escoger el bloque adecuado y unirlos entre ellos.

Los bloques que se utilizaran en este proyecto se pueden clasificar según Pinar D & Murillo F, (2011) en 3 clases:

Sources, se desempeñan como cualquier tipo de fuente ya sean un generador de señal, un archivo de audio un micrófono o el mismo equipo SDR en función de recibir señales del medio.

Bloque de procesamiento de señales, en este grupo se clasifican todos aquellos que realizan un tratamiento de la señal que atraviesa por los mismos, esto puede ser: un filtro, muestreos, multiplicadores, etc., considerando que este procedimiento se lo realiza en **software**.

Sinks, traducido al español como sumideros, es en donde la señal termina su proceso y muestra el resultado, es decir en este grupo ingresan los bloques de visualización y que sirven de interface al mundo real y el usuario, estos pueden ser la tarjeta de sonido del ordenador, bloques de visualización como osciloscopios etc.

Una vez instalado el programa y posteriormente de abrir la aplicación nos muestra una pantalla, la cual Prieto M (n.d.) la denomina CANVAS que es la pantalla principal donde

se desarrolla el proyecto, también consta de la consola que es donde se muestra los procesos al momento de ejecutar el software, así mismo existe el entorno de variables estos bloques irán tomando los valores que su utilizan en el desarrollo del proyecto, también el entorno de bloques y es aquí donde se encuentran los bloques y se aplicarán para construir el sistema de telecomunicaciones, solo basta con arrastrar el bloque hacia el canvas, de igual forma se evidencia la barra de herramientas que es donde permite realizar una serie de modificaciones al proyecto y los bloques.

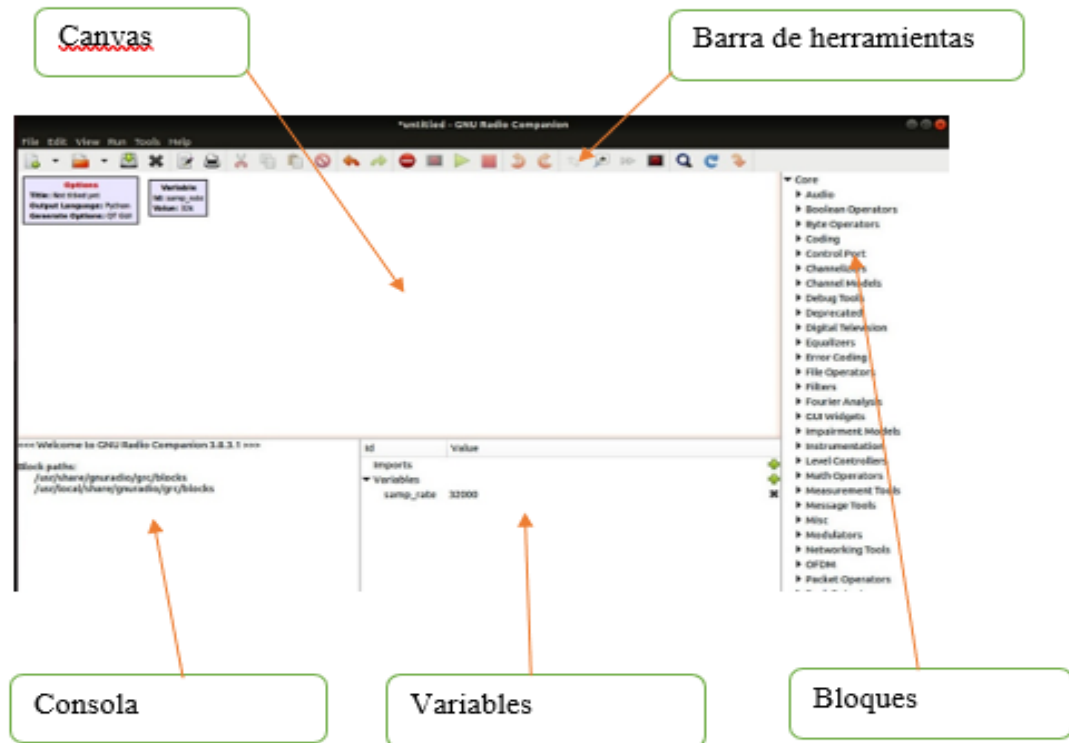


Fig. 20: Vista general del entorno de gnu radio.

- BLOQUES UTILIZADOS EN LA PRÁCTICA:

LimeSDR Source (Rx) es el bloque que consta con los controladores para trabajar de manera externa con Lime SDR, se utilizara el bloque de recepción de lime para dicho proceso.

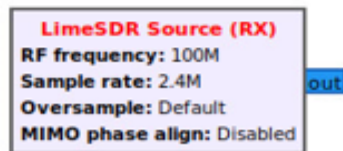


Fig. 21: Bloque de gnu a utilizar en la práctica.

Throttle, este bloque lo definen ([GNU Radio Manual and C++ API Reference: Gr::Blocks::Throttle Class Reference](#), n.d.) como un bloque de limitación de velocidad el mismo que se conecta en serie con el flujo de señal y de este modo limitara la velocidad a la que se consumen las muestras de este modo regula la carga que GNU-radio impone al procesador de la máquina.



Fig. 22: Bloque de gnu radio a utilizar en la práctica.

QT GUI frequency Sink, es un bloque de salida en el mismo es una interfaz gráfica de usuario el mismo se clasifica como un bloque de salida y mostrara las frecuencias captadas en el medio por la antena del SDR.



Fig. 23: Bloque de Interfaz Grafica de Usuario en función de la frecuencia.

QT GUI Waterfall Sink, de igual forma se trata de una interfaz gráfica de usuario en este caso se observa la forma de onda en función del tiempo.



Fig. 24: Bloque de interfaz Grafica de Usuario en función del tiempo.

8. RESULTADOS OBTENIDOS

En la Figura 25 se observan los resultados obtenidos al ejecutar el programa. En la parte superior de la gráfica se muestran los parámetros que se pueden variar: ganancia, frecuencia y ancho de banda.

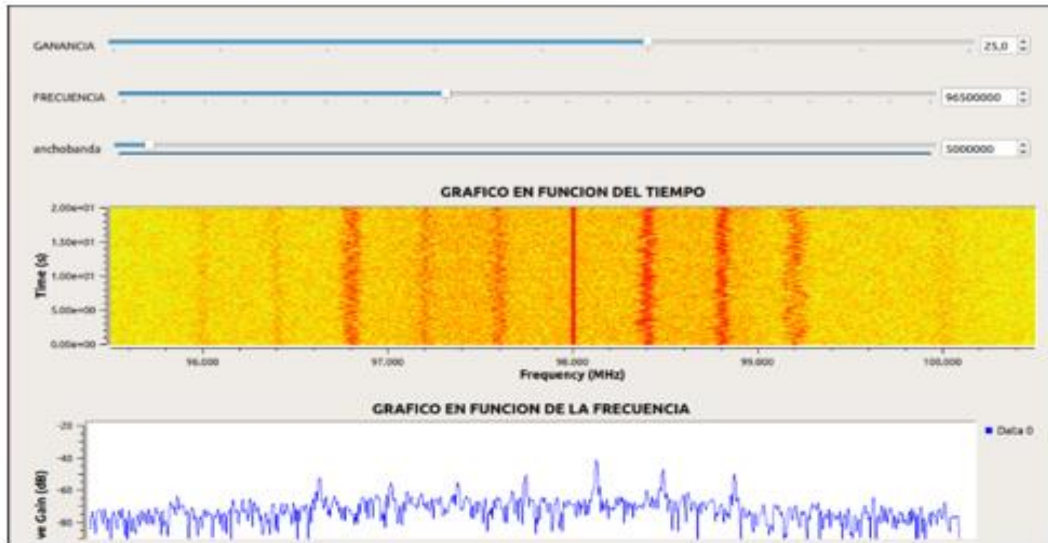


Fig. 25: Pantalla en la que muestra el espectro electromagnético

En la Figura 26 se observan distintas portadoras de radio comercial de FM para la ciudad de Loja.

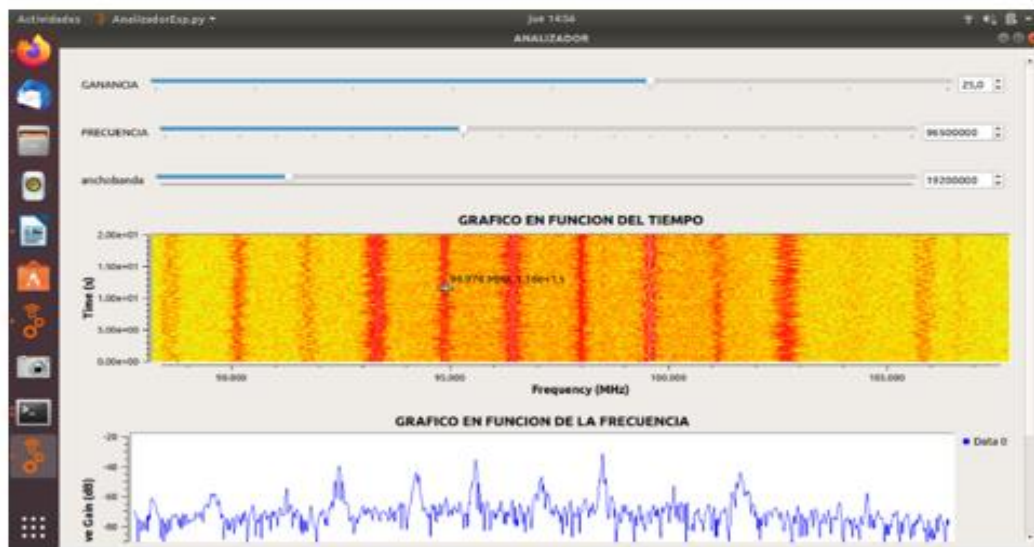


Fig. 26: Vista de la transmisión de radio en las distintas frecuencias en función del tiempo.

De igual manera se observa en función de la frecuencia en cada una de las transmisiones de la estación de radio, nótese que los picos más elevados representan una señal recibida.



Fig. 27: Vista y reconocimiento de las estaciones de radio.

9. DISCUSIÓN:

El analizador de espectros es una herramienta muy útil en Telecomunicaciones ya que permite examinar las señales de comunicación que se encuentran presentes en el espectro radioeléctrico, como, por ejemplo, en este caso se realizó el análisis de señales de radio FM. Otro factor a considerar, es el tipo de antena que se utiliza con el SDR ya que existen diversas antenas que operan en distintas frecuencias. Es importante verificar que exista comunicación entre el dispositivo SDR y el programa GNU Radio y de este modo el programa diseñado se ejecute con normalidad. Es indispensable considerar la frecuencia central y colocarla en el programa para que al momento de ejecutarlo se muestre la señal que se está buscando. La variable “*ancho de banda*” facilita la modificación del ancho de banda de la señal, permitiendo su mejor visualización.

10. CONCLUSIONES.

- Los equipos SDR son muy útiles ya que se puede cambiar los parámetros de trabajo de una manera muy rápida y sencilla, siempre y cuando esté bien elaborado el diseño del programa.
- Se logró identificar las portadoras de las distintas estaciones FM que se encuentran operando en la ciudad de Loja.
- Se comprobó que entre cada una de las estaciones de radio existe un “espacio libre” con la finalidad de evitar que se sobrepongan las señales portadoras entre ellas.

11. RECOMENDACIONES.

- Considerar una antena adecuada según la aplicación que se pretenda realizar.
- Al inicializar el programa GNU Radio, considerar iniciarlo desde la terminal, caso contrario no funciona correctamente y no muestra la imagen final.
- Revisar con anticipación el funcionamiento y parámetros de configuración de cada uno de los bloques usados en el programa.

12. PREGUNTAS DE CONTROL.

1). Defina el término banda base en la modulación.

Modular en banda base es un término poco utilizado o poco se lo realiza debido a que al utilizar el método de banda base, la señal viaja o es enviada tal y como se ha obtenido, es decir no ha sufrido ningún proceso de modificación de la señal.

2). ¿Cuál es la finalidad de realizar una modulación de una señal antes de ser transmitida?

La modulación es un proceso en el cual la señal se adapta a ciertos parámetros que facilitan su transporte, así por ejemplo se modula para transmitir a una frecuencia que este la estación de radio, y lo más importante que se puede optimizar las propiedades del medio por el cual se desea transmitir.

3). ¿En qué comprende la distribución de canales en la banda comercial de FM y en cuántos canales se subdivide?

La distribución de canales de la banda comercial de FM trata de la cantidad de estaciones que pueden ubicarse en el rango de 88,1 a 108,1 MHz. Y cada una tiene una separación de 200KHz, y se considera una frecuencia de guarda para evitar interacción con las bandas adyacentes, por lo tanto, es preciso mencionar que caben alrededor de 100 estaciones de FM comercial.

13. BIBLIOGRAFÍA:

- Abari, O., Hassanieh, H., Rodreguiz, M., & Katabi, D. (2016). SDR y GNU Radio como plataforma para un laboratorio de comunicaciones digitales. *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*, 0(1), 419–420. <https://doi.org/10.1145/2973750.2985258>
- Aranzazu, J. (2017). Recomendaciones para la optimización del espectro radioeléctrico colombiano mediante un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en bandas UHF contempladas entre los 698 a los 806 Mega Hertz (MHz) producto de la transición d. *Universidad Santo Tomás*, 165. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9261/AranzazuJulian2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Arcotel, E. (2017). *agencia de regulación y control de las telecomunicaciones.*
- Cardama, Angel . . (2002). *Miguel Ferrando Bataller.*
- Castilla Guardo, E. (n.d.). *Muestreo Digital.*
- CONATEL. (2012). *Plan Nacional de Frecuencias de Ecuador [En línea]*. 13, 30. http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
- GNU Radio Manual and C++ API Reference: [gr::blocks::throttle Class Reference](#).* (n.d.). Retrieved August 7, 2022, from https://www.gnuradio.org/doc/doxygen/classgr_1_1blocks_1_1throttle.html
- Miyara, F. (2004). *CONVERSORES D/A Y A/D / D*. <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>
- Pinar D, I., & Murillo F, Juan José. (2011). *Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software (Primera Edición)*.
- Prieto M, R. (n.d.). *Manual de instalación y uso de [GNUradio](#)*. 1–26.
- Santa cruz, O. M. (2010). *Transmisión de Modulación de Amplitud.*

Anexo 6. Informe de práctica de laboratorio #3

GUÍA DE PRÁCTICA # 3

ASIGNATURA: RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE

RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA: (VER SÍLABO)

TIEMPO PLANIFICADO EN EL SÍLABO: 6 HORAS

TIEMPO DE LA PRÁCTICA POR GRUPO: 6 HORAS

NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO: 2 ESTUDIANTES

NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO: 1

1. TEMA: Modulación y demodulación de señales de doble banda lateral (DSB).

2. OBJETIVOS:

- Implementar la modulación y demodulación de señales de Doble Banda Lateral (DSB) a través de los equipos SDR.
- Comprender el funcionamiento y uso de formas de onda moduladas en amplitud a través de SDR.
- Ejecutar en software un sistema que permita la modulación y demodulación para señales.

3. Materiales y reactivos – Por Grupo	4. Equipos y herramientas – Por Grupo
<ul style="list-style-type: none">• Cable Rg58.• Antenas precisas del SDR.• Extensión de USB	<ul style="list-style-type: none">• Computador con SO Linux• Mini LimeSDR• Adalm-pluto SDR• Driver controlador de los SDR• GNU radio

5. INSTRUCCIONES

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibido equipo de diversión, celulares etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las practicas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil.

6. ACTIVIDADES A DESARROLLAR.

- 6.1. Ejecutar GNU-radio siguiendo el proceso indicado en las practicas anteriores, con los comandos que sigue:

```
export PYTHONPATH=/usr/local/lib/python3/dist-  
packages/:$PYTHONPATH  
  
gnuradio-companion
```

- 6.2. Seleccionar los bloques necesarios para construir un sistema que sea capaz de enviar mensajes utilizando los equipos SDR.



Fig 1. Selección de bloques a utilizar.

- 6.3. Crear las variables necesarias para manipular el programa y facilitar su uso a la hora de ejecutar el programa.

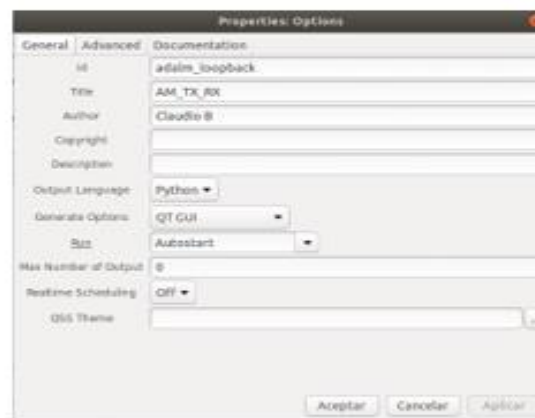


Fig 2. Creación de variables.

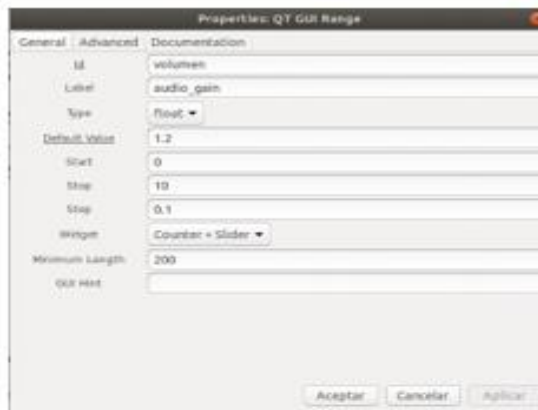


Fig 3. Creación de variable para controlar volumen.

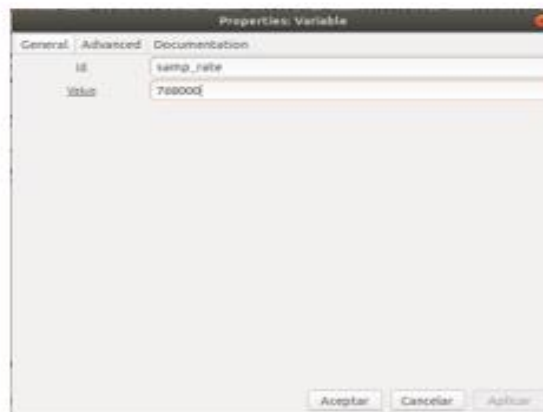


Fig 4. Creando variable de muestreo.

6.4. Construir el sistema utilizando los bloques seleccionados mediante forma gráfica con la unión de los bloques de acuerdo a la siguiente imagen.

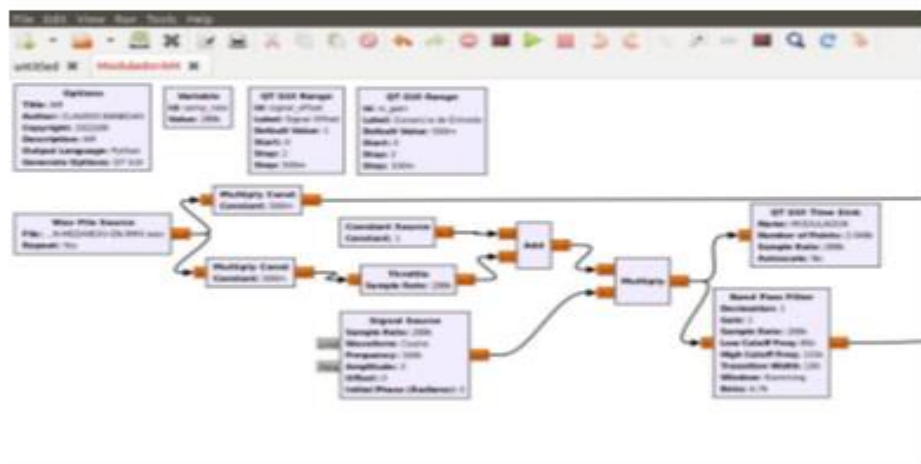


Fig 5. Creación del sistema completo.

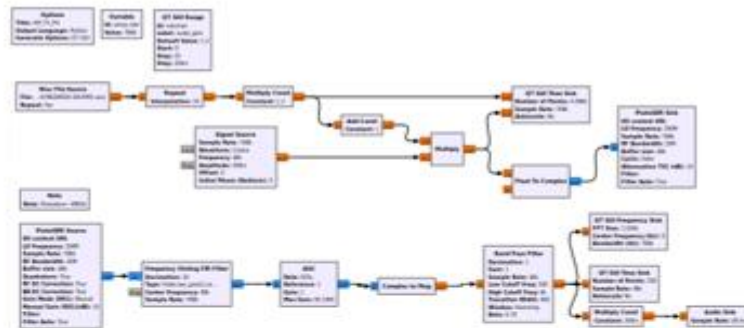


Fig 6. Vista del sistema completo modulador-demodulador

6.5. Seleccionar un archivo mismo que será enviado por modulación y al mismo tiempo realizar la demodulación del audio.

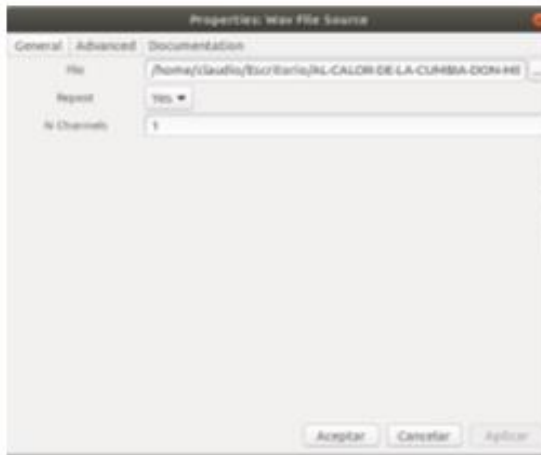


Fig 7. Ubicación del archivo de audio.

Se llama la variable que se ha creado para insertar el offset esto con la finalidad de sacar del cero a la señal y evitar errores.



Fig 8. Llamando a la variable de offset

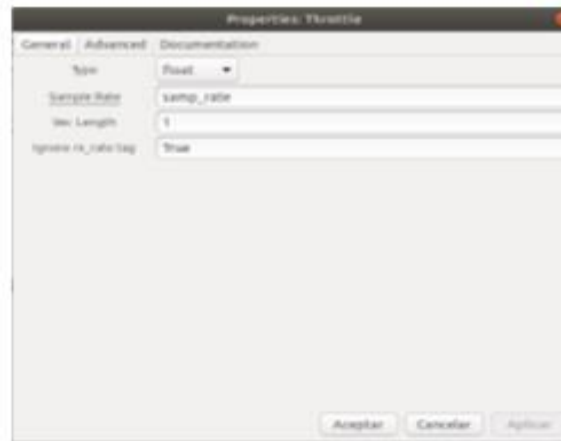


Fig 9. Colocación de variable de muestreo.

Se procede a llamar la variable de muestreo y así mismo se procede a seleccionar el tipo de señal sobre la que se trabajara en este sistema.



Fig 10. Configuración del bloque Signal Source y su frecuencia.



Fig 11. Configuración del bloque con la señal modulante.

6.6. Siguiendo el mismo proceso se realiza la etapa de demodulación considerando el ancho de banda y del mismo modo configurar los filtros utilizados en el sistema.

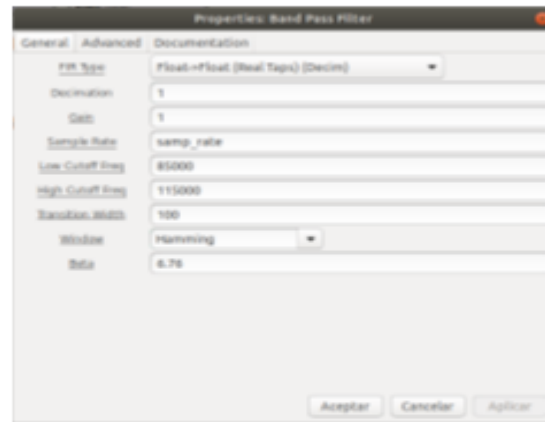


Fig 12. Configuración del filtro.



Fig 13. Configuración del Control Automático de Ganancia.

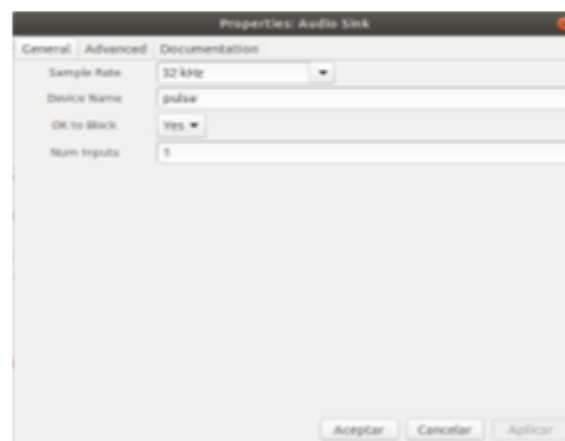


Fig 14. Configuración de la etapa de muestreo en la salida de audio.

7. MARCO TEÓRICO.

- MODULACIÓN.

Las Señales de información son transportadas entre dispositivos, un transmisor y un receptor sobre un medio de transmisión específico. Pero cada señal puede poseer distintas formas en su estado natural o en banda base por lo cual se vuelve necesario encontrar una forma adecuada en la que estas señales puedan ser transmitidas, el proceso de convertir estas señales de su forma original a una forma adecuada para la transmisión se conoce como modulación.

La modulación es un proceso que nos permite cambiar las propiedades de una forma de onda o también conocida como señal portadora con una señal moduladora que contiene la información. Existen una clasificación de los tipos de modulación dependiendo de la propiedad que sea modificada:

- Modulación por Amplitud
- Modulación por Frecuencia
- Modulación por Ancho de Pulsos

También, de manera general existen investigaciones como las de Fernández (2013) en las que se menciona que el primer paso es llevar a cabo el muestro de la señal y es ahí donde la señal continua empieza a convertirse en una secuencia numérica, por lo general está separada en intervalos iguales de tiempo, también es denominada frecuencia de muestreo la cual debe cumplir el teorema de Nyquist.

- MODULACIÓN POR AMPLITUD

La modulación por amplitud es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal moduladora (información). Con la modulación por amplitud, la información es impresa sobre una portadora en la forma de cambios de amplitud.(Picado Rojas, 2010) en fin la modulación se ha verificado que es el producto de la multiplicación de la señal modulante y la señal portadora. (Montalvo Galárraga, 1998)

La modulación por amplitud es relativamente barata lo menciona Santa Cruz (2010) y de baja calidad por lo cual es usualmente utilizada en la radiodifusión comercial de televisión. También puede ser usada para comunicaciones de radio móvil de dos sentidos como una radio de banda civil.

- SEÑALES DE DOBLE BANDA LATERAL (DSB)

La amplitud de la señal portadora varía de acuerdo con el nivel instantáneo de la señal de información. Al realizar la modulación en amplitud, la señal portadora desplaza la información a la banda de radiofrecuencia, situando la información modulada a ambos lados de la señal portadora. Si modulamos en amplitud una señal con espectro continuo, el espectro resultante tiene dos bandas la superior y la inferior a esta modulación se le denomina modulación en doble banda lateral.

La potencia contenida en una señal de doble banda lateral es la suma de las potencias contenidas en la portadora y en las dos bandas laterales. (Carrillo & Lopez, 2020) Debido a que la portadora no contiene información, gran parte de la potencia utilizada se malgasta, siendo su rendimiento muy bajo, es muy vulnerable a cualquier interferencia producida por señales parásitas, el ancho de banda de la señal de radiofrecuencia es el doble de la señal en banda base. Al no tener la portadora información se suprime durante el proceso de modulación, a este tipo de modulación se le denomina modulación AM doble banda lateral con portadora suprimida.

En la modulación DSB la onda transmitida consiste de únicamente las bandas laterales superior e inferior. Se ahorra potencia transmitida a mediante la eliminación de la onda portadora, pero el requerimiento de ancho de banda del canal es el mismo que antes (el doble del ancho de banda del mensaje) por tal razón se manifiesta que su uso está dirigido a enlaces punto a punto o para definir canal izquierdo y derecho en FM estéreo.

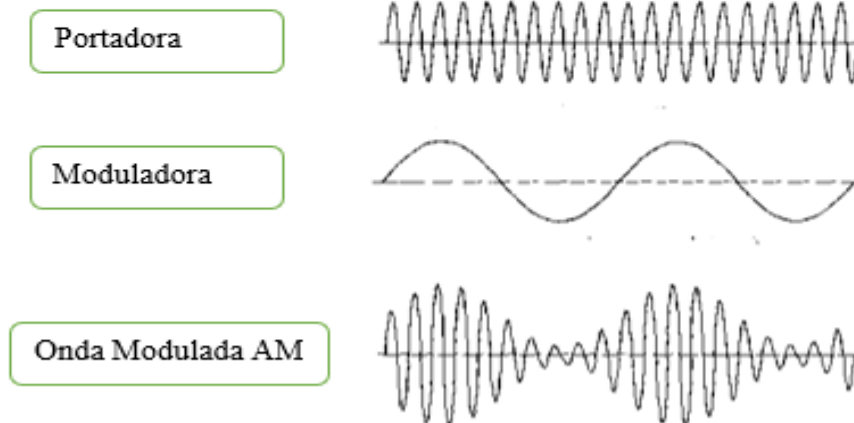


Fig 15. Representación de la modulación en amplitud, imagen tomada de (Modulación - Desarrollo de Sistemas, 2011)

- **ÍNDICE DE MODULACION.**

Defínase como índice de modulación como el valor máximo en el que se puede modificar la señal, también existen investigaciones como las de Fernando Higita (2010) en la que explica de una forma más clara el termino de índice de modulación, el mismo lo define como la relación máxima de desviación de frecuencia instantánea de la portadora y la frecuencia moduladora.

Para evitar sobrepasar este valor es calculado en un circuito mediante dispositivos electrónicos y dispositivos semiconductores con características no lineales y el proceso matemático que desarrolla es el que se describe a continuación:

$$S_{(t)} = A \text{ sen } (\omega T + \phi)$$

En donde:

A: Se define como la amplitud de la portadora en voltios.

ω : Es la frecuencia angular de la portadora estará definida en rad/seg.

ϕ : Angulo de fase de la portadora en rad.

- **BLOQUES DE GNU RADIO.**

A continuación, se listan los bloques nuevos requeridos para realizar la presente práctica.

Wav File source: es un bloque definido como fuente en este caso es una fuente digital, y es en aquel donde se ingresa el archivo (de audio en formato Wav) que se dispone a transmitir.



Fig 16. Vista de bloque de entrada de datos.

Multiply Const: es un bloque que realiza el trabajo de multiplicar por un valor en este caso lo utilizaremos con un QT GUI range lo que nos servirá para variar las ganancias de entrada al sistema.



Fig 17. Bloque auxiliar.

Constant Source: la función que cumple en este caso es de corregir valores de entrada como elevar o mover un pequeño espacio la señal, y poder facilitar el trabajo o manipulación de la misma



Fig 18. Bloque auxiliar.

Add: es una función que se utiliza con la intención de sumar dos o más señales.



Fig 19. Bloque auxiliar.

Signal Source: en el bloque que a continuación se expone es el encargado de generar la señal portadora a la frecuencia que se desea transmitir el mensaje.

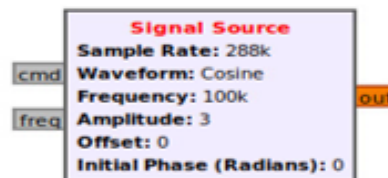


Fig 20. Bloque encargado de generar la señal portadora.

Multiply: En este bloque se encarga de la modulación o multiplicación de la señal portadora y moduladora, a partir de este bloque se puede enviar la información al equipo SDR y el siguiente paso es enviar por el medio la información.



Fig 21. Bloque de modulación.

Low Pass Filter: En este caso se utiliza un filtro pasa banda ubicado en la entrada de acuerdo a la frecuencia y ancho de banda de la señal, y luego un filtro pasa bajas para eliminar la portadora que es de alta frecuencia y de este modo se obtiene únicamente la información que se desea recuperar.

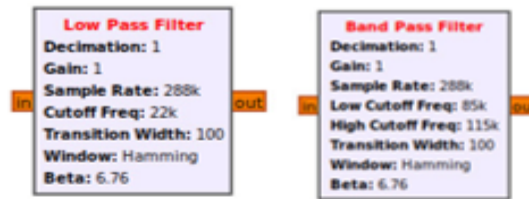


Fig 22. Bloques de filtro pasa baja y pasa banda.

Bloque Max y bloque de fuente nula: El bloque Max es el que realiza el proceso de obtención de señal únicamente de los semiciclos positivos con la ayuda de Null Source que se convierte en un diodo o un detector de envolvente.



Fig 23. Sistema detector de envolvente.

Constant Source y Subtract: Este pequeño sistema es el encargado de quitar el offset que se utilizó al inicio y nos estará quedando únicamente la señal mensaje.

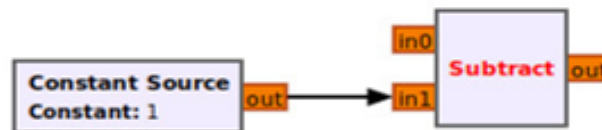


Fig 24. Circuito que elimina el offset.

AGC: Del inglés Automatic Gain Control, que traducido se denomina el control automático de ganancia, es el encargado de controlar y de este modo evitar que se sature o disminuya demasiado la amplitud de la señal.



Fig 25. Control automático de ganancia

Time Sink y Audio Sink: Estos bloques son denominados de salida, es decir son los encargados de mostrar los datos obtenidos en el un caso muestra en imagen y en el caso de audio Sink lo envía los datos obtenidos a la tarjeta de sonido del ordenador.

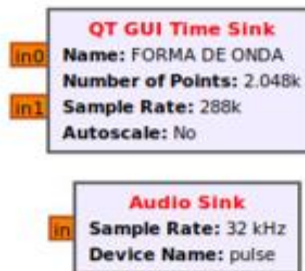


Fig 26. Bloques como interfaz de salida hacia el usuario.

8. RESULTADOS OBTENIDOS.

En el momento de ejecutar el programa se puede observar en la interfaz de salida el misma muestra la señal de entrada como también la señal demodulada.

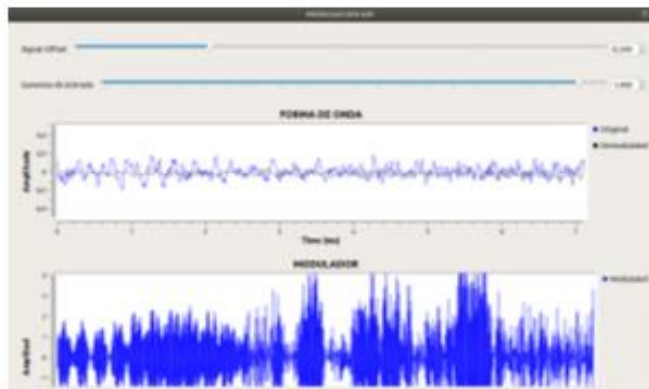


Fig 27. Vista de las señales modulada y demodulada.

A continuación, se procede modificar las variables que han sido previamente configurados con el objeto de verificar los cambios que se producen en las señales.

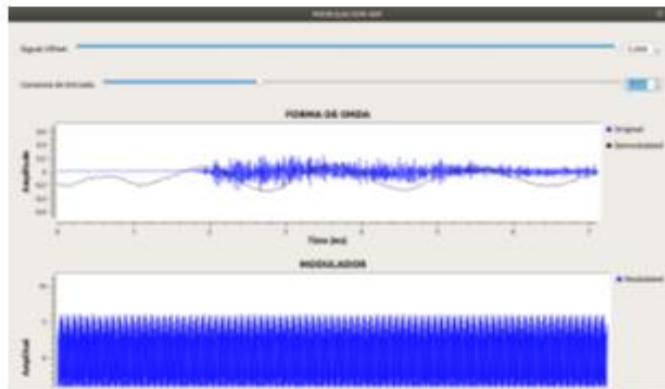


Fig 28. Vista de la forma de onda en las señales.

9. DISCUSIÓN.

En esta práctica se considera que al existir un proceso de modulación ya gana espacio, tanto en complejidad como importancia con respecto a las practicas anteriormente ejecutadas para empezar el número de bloques ya existe un valor considerable de aquellos, aunque el funcionamiento llega a ser bien sencillo gracias a la ayuda de programación predeterminada de cada uno de los bloques, lo que sí, es indispensable considerar en cada uno de los bloques la función que desempeñan.

Consta de una frecuencia de portadora la cual esta multiplicada con la señal que se desea transmitir, en esta ocasión se agrega una señal que eleve un poco la amplitud de la señal modulante con el objetivo de facilitar el trabajo dentro del proceso, es evidente que se pasa a multiplicar con la portadora definase el concepto de portadora como la frecuencia a la cual se desea elevar la señal para transmitir a través del medio. En este caso hemos utilizado un coseno con una frecuencia de 100 KHz, luego queda únicamente realizar la multiplicación y transmitir la señal, en este punto se coloca un "Time Sink", el mismo nos sirve para verificar la señal que ha sido enviada, considerar también el ancho de banda en el que se encuentra desempeñando.

A partir de este momento es necesario enfocarse en la obtención de la señal, tomamos la señal del medio y considerar el centro de la frecuencia de portadora que se encuentra entre 85KHz y 115KHz, además se considera utilizar un filtro pasa banda con el ancho de banda necesario para que se pueda obtener la señal completa. Resta obtener la envolvente que corresponde al mensaje tenemos con el detector de envolvente, luego es necesario colocar un AGC (Control Automático de Ganancia) y la función que cumple es: como su nombre lo indica llevar un control y dejar pasar de manera moderada las señales que se obtienen hacia la fuente de audio que en esta ocasión será la tarjeta de audio del computador, evitando que se sature y se pierda la señal original. También se encuentra colocado una interfaz de usuario que nos sirve para poder visualizar la señal obtenida.

10. CONCLUSIONES.

- Los SDR, y el software GNU radio desde su desarrollo se han convertido en herramientas útiles para este tipo de proyectos, en este caso se ha evidenciado que es capaz de modificar y tratar señales a la necesidad del usuario.

- Al ejecutar el sistema se realiza la modulación y demodulación de señales y con la ayuda de los equipos SDR no se necesita de muchos elementos para completar y funcionar el sistema.
- La modulación en AM es por lo general un tratamiento de señales con portadoras de doble banda lateral, sin embargo, para utilizar el sistema eficazmente se utiliza al momento de la demodulación una sola banda y de este modo optimizar el sistema, aunque cabe señalar que lo aquí ejecutado es únicamente educativo y no está enfocado en el ámbito empresarial o comercial.

11. RECOMENDACIONES.

- Verificar y tomar en cuenta la frecuencia de operación de los equipos y la configuración en cada uno de los bloques dentro del desarrollo del sistema.
- Considerar bloques auxiliares y los nombres colocados al momento de llamar desde los bloques que se encuentran operando en el sistema, caso contrario no podrá operar el sistema.
- De preferencia etiquetar las salidas que muestran la interfaz de usuario para poder diferenciar las diferentes señales en la imagen.

12. PREGUNTAS DE CONTROL

- 1) ¿Cuál es la importancia de los filtros pasa banda y pasa bajas en el tratamiento de señales?

Un filtro pasa banda es un circuito que permite el paso de ciertas frecuencias en cualquier parte del espectro de acuerdo a su configuración, de igual forma un filtro pasa bajas permite el paso únicamente de frecuencias que estén por debajo de las que se encuentre configurado, estos son indispensables en el tratamiento de señales en vista que existe la necesidad de eliminar ciertos valores de frecuencia.

- 2) ¿Porque se la denomina a una señal de doble banda lateral??

Una señal es denominada doble banda lateral porque la misma tiene la característica que se encuentra por encima y por debajo de la portadora a la hora de ser enviada.

- 3) Explique de que se trata la señal de doble banda lateral de portadora suprimida.

Al modular una señal se producen frecuencias de manera simétrica tanto por encima como por debajo de la portadora, en este caso se reduce el nivel de portadora al nivel práctico más bajo o idealmente suprimido.

13. BIBLIOGRAFÍA:

- Carrillo, A., & Lopez, O. (2020). *Modulador y demodulador en amplitud y cuadratura QAM para la radio definida por software SDR*.
- Fernández, M. M. (2013). *Modulación Analógica y Digital de Pulsos*. 1–7.
- Fernando Higita, G. E. (2010). *Modulación AM y FM*.
- Modulación - Desarrollo de Sistemas*. (2011).
<https://sites.google.com/site/systemvan55/modulacion>
- Montalvo Galárraga, A. O. (1998). *Diseño y construcción de un equipo didáctico de modulación en amplitud*. Escuela Politécnica Nacional.
- Picado Rojas, P. C. (2010). *Modulación y Demodulación AM*.
- Santa Cruz, O. M. (2010). *Transmisión de Modulacion de Amplitud*.

Anexo 7
Informe de práctica de laboratorio #4

GUÍA DE PRÁCTICA # 4

ASIGNATURA: RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE

RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA: (VER SÍLABO)

TIEMPO PLANIFICADO EN EL SÍLABO: 6 HORAS

TIEMPO DE LA PRÁCTICA POR GRUPO: 6 HORAS

NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO: 2 ESTUDIANTES

NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO: 1

1. **TEMA:** Modulación en frecuencia y sus bandas de comunicación, modulación y demodulación de mensajes utilizando FM.
2. **OBJETIVOS:**
 - Desarrollar un sistema de comunicaciones en modulación FM de banda base, con la finalidad de estudiar la modulación y demodulación en frecuencia.
 - Considerar los conceptos básicos sobre la modulación y demodulación de frecuencia aplicándolos dentro de las distintas bandas, y grupos de frecuencia que en la actualidad están definidas por la Arcotel.
 - Realizar un sistema en GNU-radio, que tenga la capacidad de modular y demodular una señal modificada en frecuencia con el objetivo de verificar dicho proceso en tiempo real.

3. Materiales y Reactivos – Por Grupo	4. Equipos y herramientas – Por Grupo
<ul style="list-style-type: none"> • Cable Rg58 • Conector SMA • Antena Dipolo • Conector SMA hembra • Adaptador de impedancias • Adaptador USB 3.0 	<ul style="list-style-type: none"> • Computador con conexión a internet y SO Ubuntu 18.04 • <u>LimeSDR</u> • <u>Adalm-pluto</u> SDR • Driver controlador de SDR • GNU Radio <u>Companion</u> 3.8 • Python 3.6.9 • Drivers o bloques instalados en GNU (Lime SDR <u>Source</u> TX y RX)

5. INSTRUCCIONES:

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibido equipo de diversión, celulares etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil.

6. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

6.1. Crear un sistema de comunicación en el programa GNU radio, y simular un sistema de transmisión en Banda base.

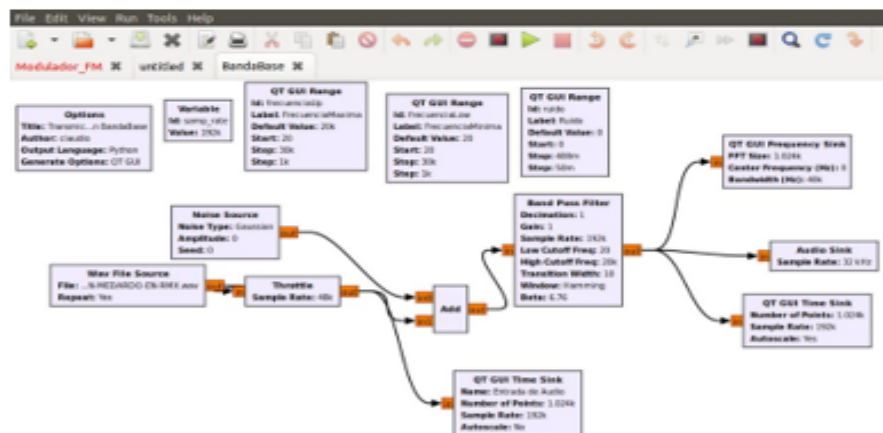


Fig. 1: Sistema de transmisión en banda base.

6.2. utilizando el circuito simulado crear un sistema que se encuentre en la capacidad de transmitir de manera inalámbrica y al mismo tiempo se podrá realizar la recepción y demodulación utilizando los equipos SDR Adalm-pluto.

6.3. Realizar la llamada a los diferentes bloques y seleccionar los archivos, de igual forma las variables para controlar el volumen del sistema y bloques auxiliares para reducir el uso de recursos de la maquina al realizar esta práctica.



Fig. 2: Bloques de entrada, variable y auxiliar del sistema.

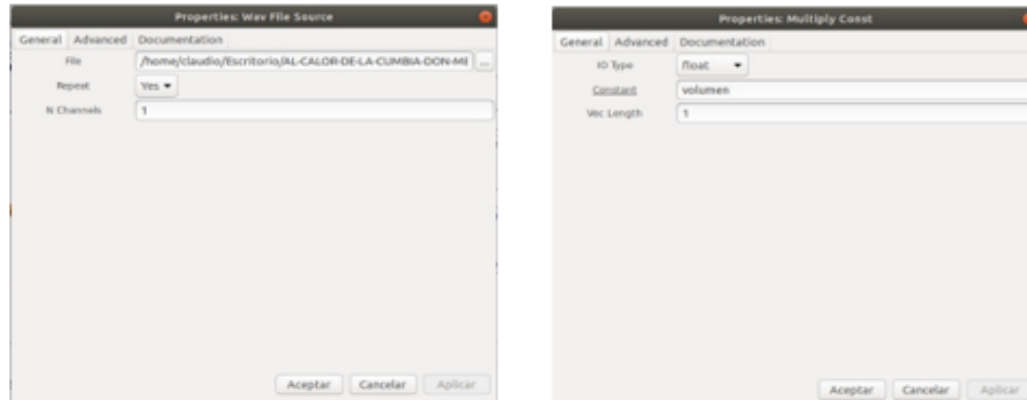


Fig. 3: Configuración de los bloques iniciales.

A continuación, es importante configurar el bloque de transmisión de FM, mismo que brinda el software con sus respectivos parámetros y variables.

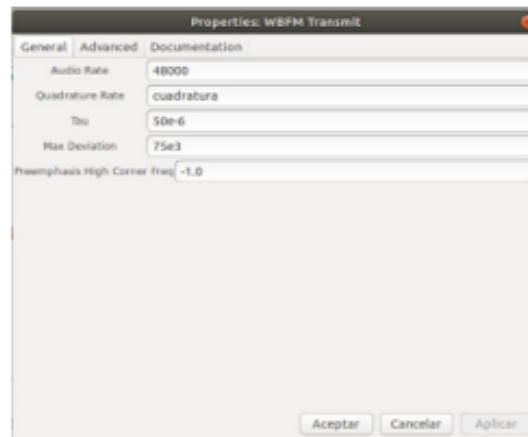


Fig. 4: Configuración del bloque FM de tx.

A partir de este momento nos resta únicamente colocar un resampler que será quien eleve el número de muestras para enviar por el software.

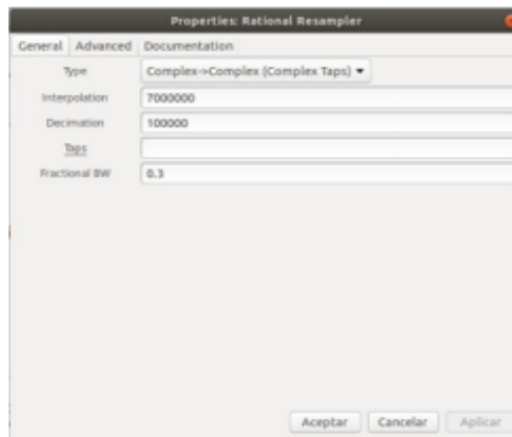


Fig. 5: Configuración del bloque resampler.

Ahora únicamente resta colocar un equipo o interfaz de usuario mismo que nos permitirá ver los resultados y la señal que ha sido enviada.

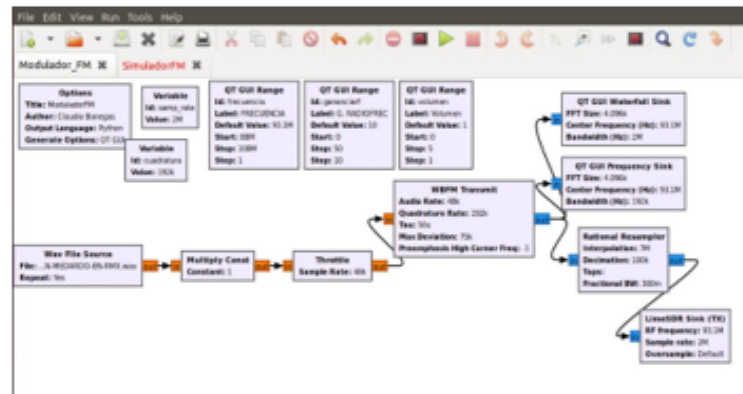


Fig. 6: Sistema de Modulación y transmisión FM.

Para construir el sistema de recepción de señales FM viene a ser lo contrario al de envío para lo cual se inicia colocando el bloque y la información para SDR. La serie del equipo y de acuerdo a las Qt-rangue creados con anterioridad para su uso.

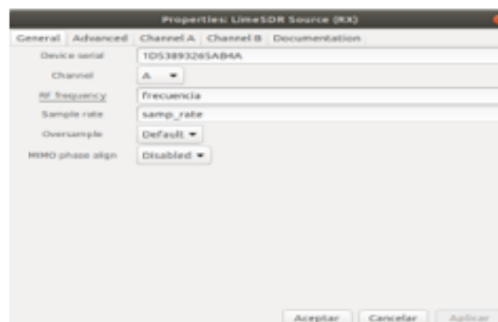


Fig. 7: Bloque lime sdr source (Rx)

Del mismo modo se procede a dar valores al bloque `multiply const`, que es el que brinda en ayuda de un QT range la ganancia de frecuencia.

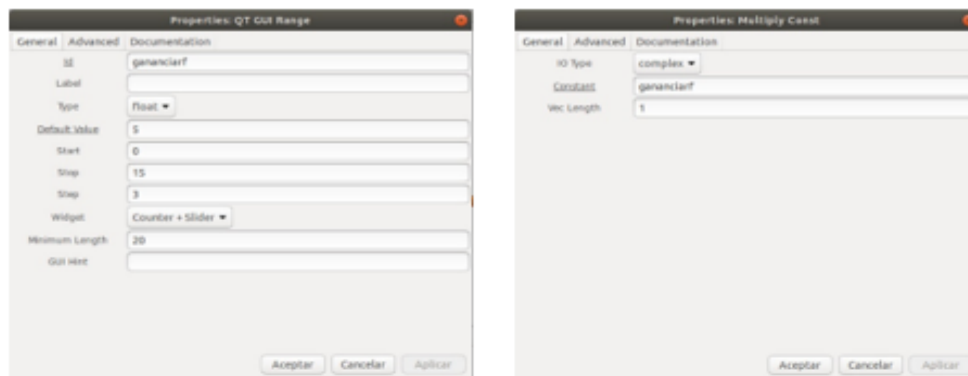


Fig. 8: Configuración de QT-range y Multiply-const.

A continuación, se configura los valores para realizar el `resampler` que en este caso se dividido por 4 la señal obtenida de este modo se nos facilita el trabajo por el hecho de que el equipo ocupara menos recursos para su tratamiento.

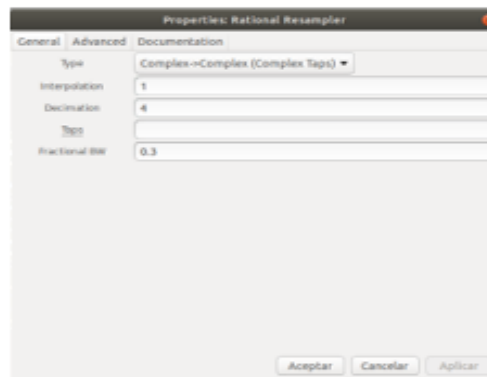


Fig. 9: Configuración del bloque rational resampler.

De igual manera, aunque no hay mucho que configurar en el filtro se considera la frecuencia de corte.

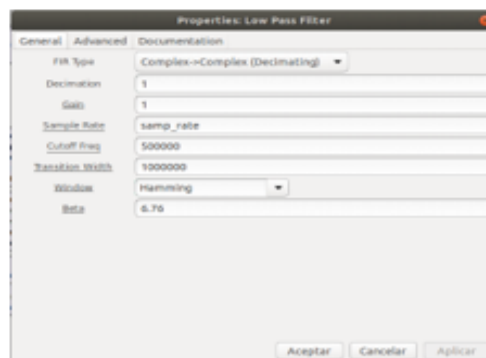


Fig. 10: Configuración de filtro pasa bajas.

Configuración del bloque Simple Squelch. En este caso se considera que el bloque trabaja minimizando la señal en el caso de no detectar una potencia adecuada en la entrada, de este modo evitamos tener interferencias o ruidos en la salida de audio. Considerar que se debe colocar en db que es el valor que utilizara el bloque para este proceso.

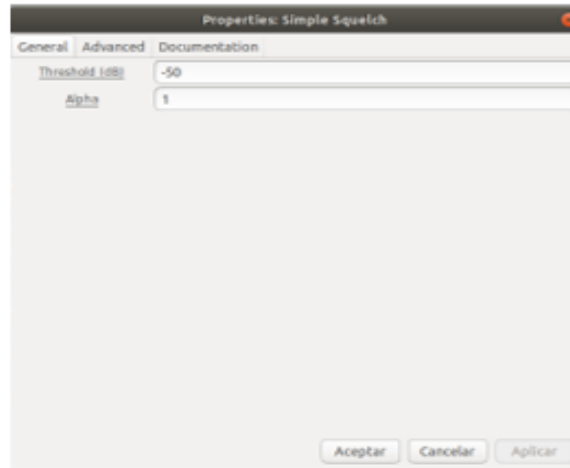


Fig. 11: Configuración de simple squelch.

A continuación, se procede a configurar el bloque de demodulación de Fm que nos brinda el software.

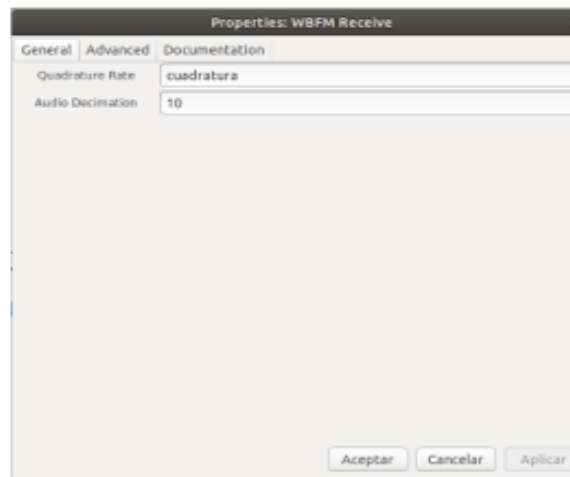


Fig. 12: Configuración del bloque demodulador.

En el siguiente paso se ha colocado nuevamente un resampler con el objetivo de bajar aún más el muestreo y poder trabajar con la frecuencia que se encuentra capaz la salida de audio del computador, de igual forma se coloca los valores para controlar el volumen y se lo configura con su respectivo bloque auxiliar.

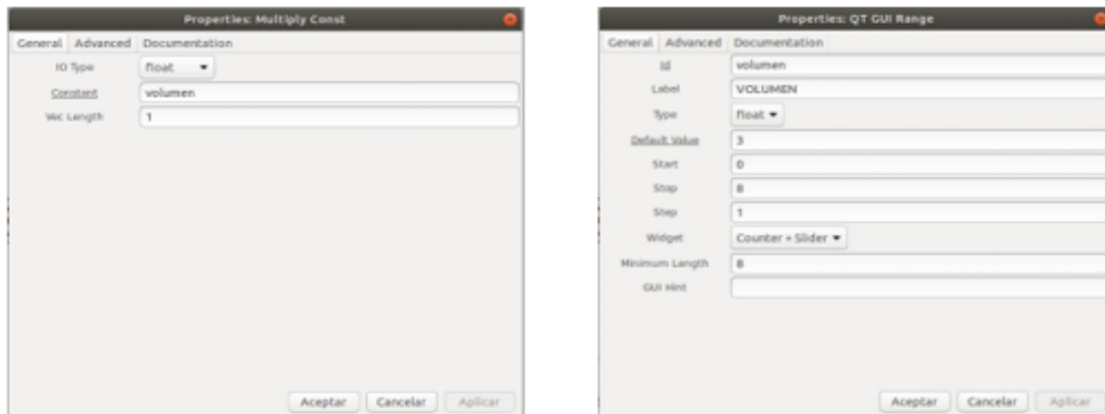


Fig. 13: Configuración de bloques para control del sistema.

Por último, se debe colocar el bloque necesario para que el equipo pueda enviar al usuario la señal audible y el sistema de recepción queda terminado en su totalidad.

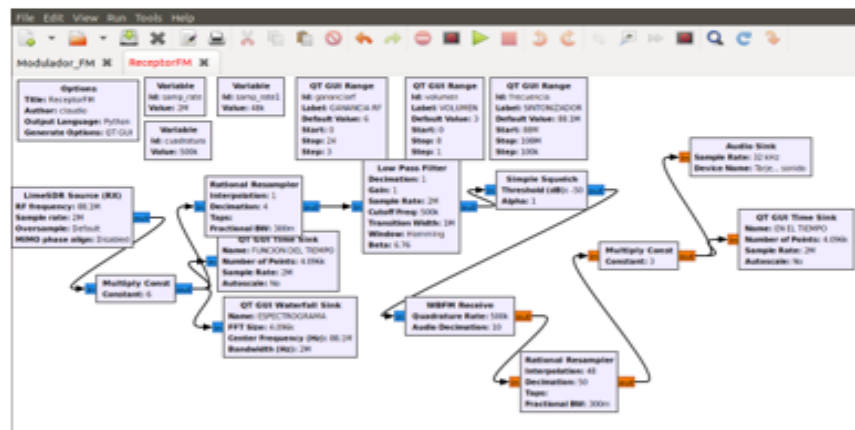


Fig. 14: Sistema de recepción de FM.

7. MARCO TEÓRICO:

- SISTEMA DE COMUNICACIÓN.

De acuerdo a (Sons, 1994) mediante el sistema de comunicación se puede transmitir señales portadoras de información o también conocidas como banda base, esta transmisión se lleva a cabo a través de un canal de comunicación que separa el transmisor del receptor, este puede ser un medio físico que se podrá definir como un cableado de cobre o un medio inalámbrico que normalmente es el espacio.

- **MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN**

Se ha venido estudiando anteriormente que la modulación es un proceso en el cual se interviene a una señal que se encuentra en banda base y modifica algunos parámetros para que nos facilite su transmisión, esto se lleva a efecto en el extremo del transmisor del sistema de comunicación, mientras que, en el extremo del receptor del sistema, generalmente es necesario que la señal original en banda base sea restaurada, este proceso de restauración se conoce como demodulación, la demodulación en resumen es el proceso inverso de la modulación. (Sons, 1994)

- **CONCEPTO DE MODULACIÓN DE FRECUENCIA**

Como se puede apreciar en la fig. 1, la modulación en frecuencia o FM (por sus siglas en inglés, Frequency Modulation) se caracteriza por variar la frecuencia de la onda portadora, de acuerdo a la intensidad de la señal a transmitir.

Por otra parte, en este tipo de modulación la amplitud de la onda moduladora y la onda portadora son constantes, como se puede apreciar en la fig. 2.

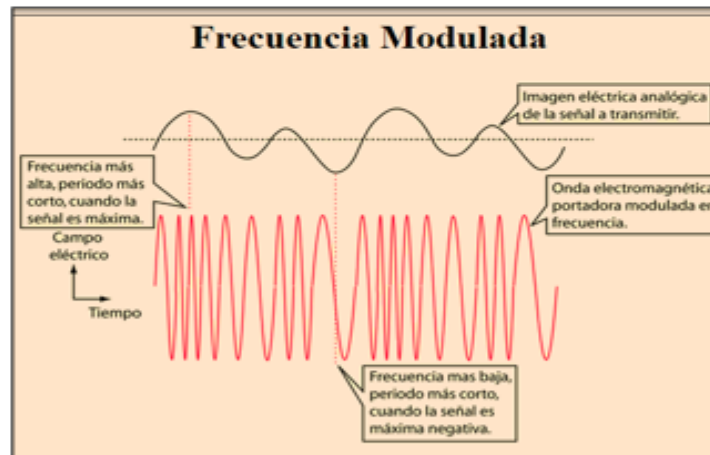


Fig. 15: Modulación en frecuencia. Fuente (Nave, 2017)

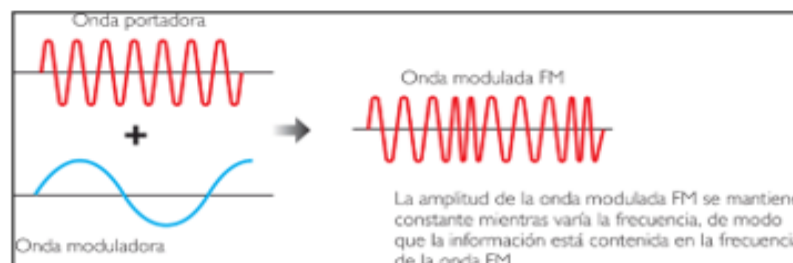


Fig. 16: La amplitud de la onda portadora y la onda moduladora son constantes. Fuente (Roa, 2016)

- BANDAS DE FRECUENCIAS

El servicio de radiodifusión sonora FM, ARCOTEL estableció las siguientes bandas de frecuencias:

Frecuencias principales: Estas frecuencias se usan para el servicio de radiodifusión sonora FM, se establece la banda de frecuencias de 88 a 108 MHz aprobada en el Plan Nacional de Frecuencias.

Frecuencias auxiliares: Estas frecuencias se usan para los enlaces auxiliares radioeléctricos, estos enlaces se encuentran adjudicadas en el Plan Nacional de Frecuencias.

Según estableció (Arcotel, 2015) los enlaces auxiliares se pueden prestar a través de su propia infraestructura sin prestar servicios a terceros o a través de operadores de servicios de telecomunicaciones, legalmente autorizados.

La norma técnica de (Arcotel, 2015) indica textualmente que, “Los enlaces auxiliares son los enlaces físicos o radioeléctricos necesarios para la operación y funcionamiento de las estaciones y sistemas de radiodifusión sonora FM; estos enlaces sirven para la conectividad entre el control máster y transmisor, con las estaciones repetidoras y entre los estudios de producción y control máster de una misma estación, para la conformación de redes eventuales y permanentes, así como para los sistemas de operación remota y para conexión ascendente y descendente satelital”.

- CANALIZACION DE LA BANDA DE FM.

La banda de radio FM va desde 88 a 108 MHz. Arcotel establece 100 frecuencias con una separación de 200 KHz, numeradas del 1 al 100, iniciando la primera frecuencia en 88.1 MHz (Anexo 1)

- GRUPOS DE FRECUENCIAS

Existen seis grupos para distribución y asignación de frecuencias en el territorio nacional, Grupos: G1, G2, G3 y G4 con 17 frecuencias cada uno, y los grupos G5 y G6 con 16 frecuencias cada uno (Anexo 2).

- VENTAJA DE LA MODULACIÓN FM, A LA MODULACIÓN AM

La modulación FM, permite transmitir una señal RF (Radio Frecuencia) sin variar su amplitud, sino más bien, transmitir la información variando la frecuencia, lo cual es posible eliminar la mayor parte de los ruidos, dado que la mayor parte de las

perturbaciones radioeléctricas se suman o restan en amplitud, por lo tanto, se obtiene una mayor resistencia a interferencias de cualquier origen y una ilimitada fidelidad de tono. (www.j-rpm.com, 2016).

- BLOQUES NUEVOS EN GNU RADIO A UTILIZAR.

NBFm Transmit; WBFm Transmit. Estos bloques están previamente diseñados en el software con el objeto de utilizar de manera rápida para realizar la modulación en FM. Lincango Oña (2018) en su informe de tesis manifiesta que tiene la principal propiedad de ingresar valores del tipo Flotante y al salir entregar información con valores complejos. Por otro lado, el siguiente bloque cumple con la misma función con la única diferencia que se puede transmitir Banda Ancha.

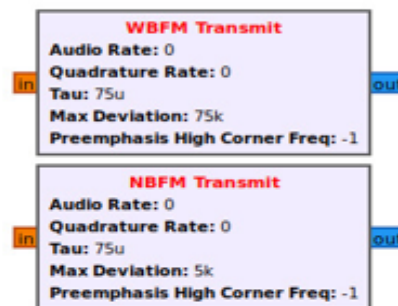


Fig. 17: Moduladores de FM.

Rational Resampler: su trabajo es convertir una frecuencia de muestreo o una frecuencia de entrada en otra que este acorde a los equipos a utilizar, en este caso estamos bajando decimacion en 4 veces.

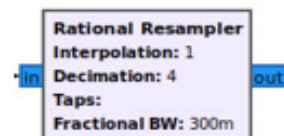


Fig. 18: Bloque para bajar el muestreo.

Simple squelch: De acuerdo a la página de información de GNUradio indica que se trata de un bloque de anulación de audio basado en la potencia de señal y se basa en dB permitiendo configurar cierto umbral, la forma de trabajo en nuestro sistema que al momento de no receptor señal de entrada silencia su salida para evitar ruidos innecesarios.

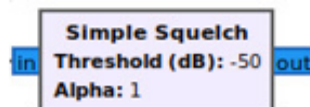


Fig. 19: Bloque de mute ante la ausencia de señal.

8. RESULTADOS OBTENIDOS:

En La transmisión en banda base se ha definido también una señal de ruido para simular que la calidad de transmisión depende del medio por el cual se lleva la señal. A continuación, se muestra la señal combinada con ruido y se puede notar que la señal de salida difiere de la entrada por el efecto de la señal adicional ingresada.

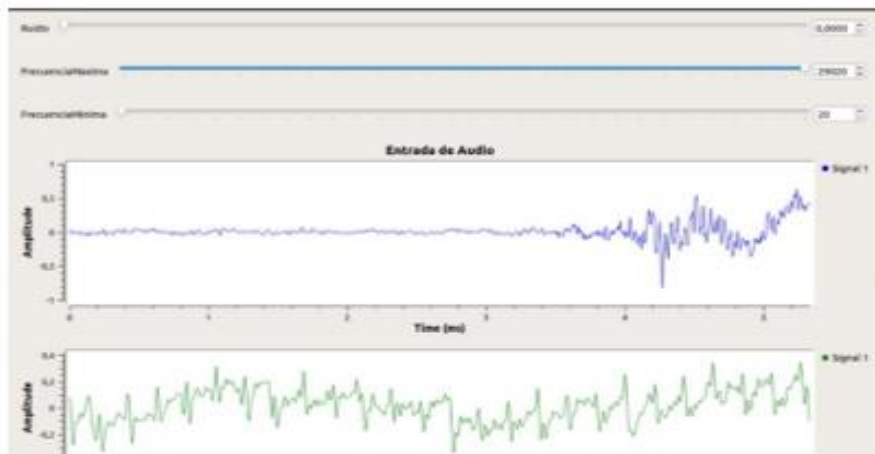


Fig. 20: Señal transmitida en FM

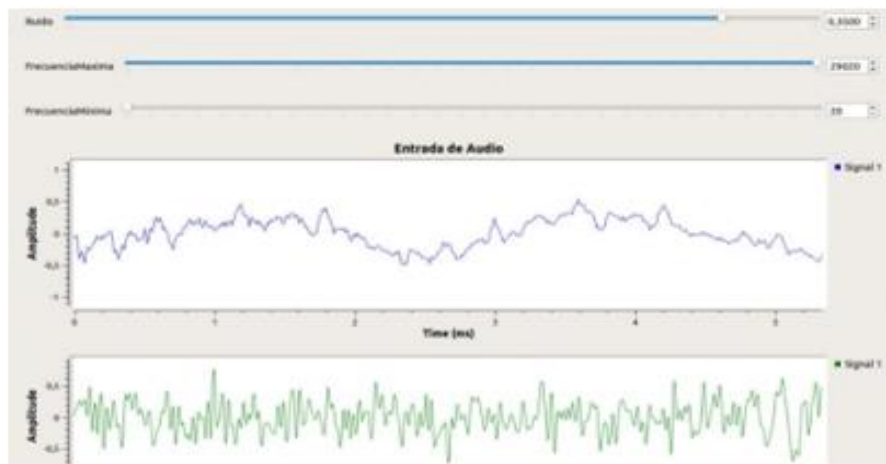


Fig. 21: Señal transmitida al incrementar ruido desde el mismo sistema.

De igual forma en el sistema de Modulación una vez realizada la transmisión se puede evidenciar la señal que es enviada hacia el equipo SDR y por tal razón al espacio enviada en la frecuencia deseada.

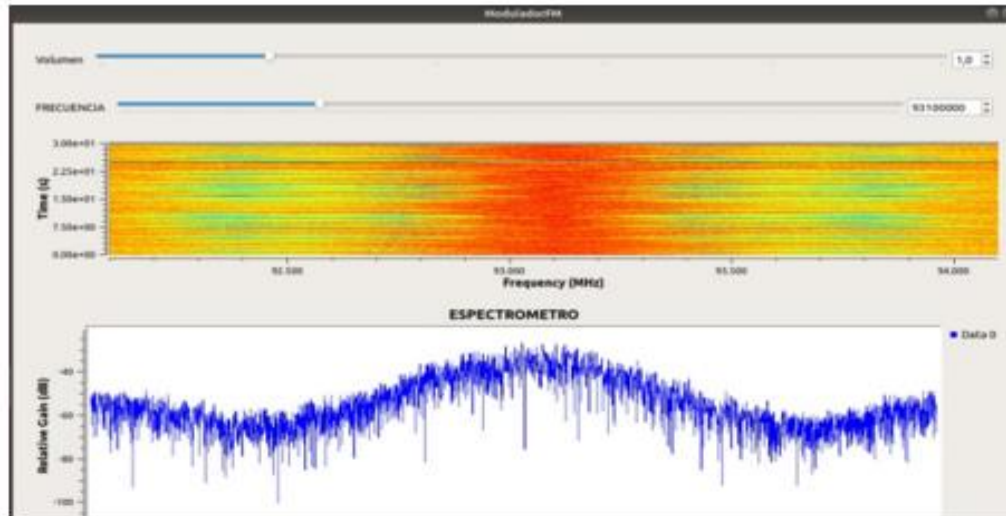


Fig. 22: Transmisión de señales en la frecuencia 93.1 MHz.

El sistema de demodulación también se ha llevado a cabo con el sistema y se puede sintonizar cualquier frecuencia misma que este en capacidad de soportar los equipos, considerando el ancho de banda.

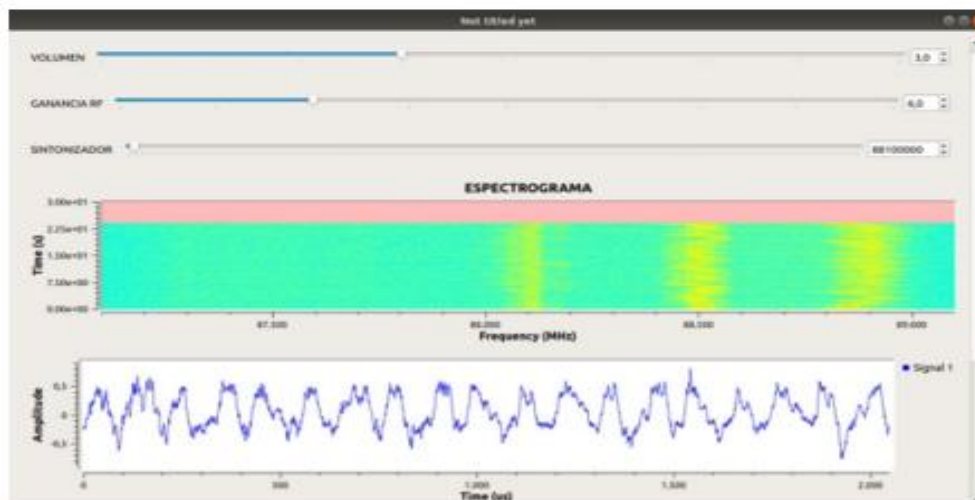


Fig. 23: Recepción de FM con ganancia muy baja.

Es importante considerar que de acuerdo al lugar que nos encontremos tendremos distinto valor de recepción de señales por lo cual es necesario utilizar el control de ganancia de radiofrecuencia.

9. DISCUSIÓN:

El objetivo de mostrar primero una transmisión en banda base es para notar la diferencia entre este tipo de transmisión y cuando se envié una señal modulada ya sea en amplitud o frecuencia.

De igual manera que las practicas que anteceden existe una forma muy fácil de realizarla en razón que el software GNU radio nos brinda los bloques facilitando de este modo al usuario el trabajo, como inicio se debe definir los bloques que se los ocupara para mover los parámetros del sistema así por ejemplo volumen y las variables de frecuencia necesarios para este sistema en software.

Se inicia por indicar al bloque Wave File Source el audio sobre el cual se va a trabajar en esta práctica, luego pasamos a colocar un filtro pasa banda y seleccionando la frecuencia para asegurarnos que estaremos trabajando sobre dicha frecuencia (Audio), pasmos a multiplicar por una constante el mismo está vinculado con una variable denominada <<volumen>> el mismo nos servirá para variar el parámetro de amplitud de la señal, en el siguiente paso nos queda por indicar la señal moduladora que en este caso se utiliza una señal senoidal, este proceso se lleva a cabo a través del bloque <<Add>> y tendremos una salida para enviar por el bloque de transmisión denominado NBFM Transmit, cabe recalcar que en este paso en el caso de requerir enviar un ancho de banda superior se puede utilizar el bloque WBFM Transmit, luego el filtro pasa bajas, por último se pasa por un bloque que evita el sonido de interferencia y se procede a enviar la información, por lo tanto al ser la última etapa del circuito se pasa a colocar una interfaz de usuario que mostrara la señal en tiempo real.

La etapa de recepción de FM es el proceso contrario a la demodulación, se inicia por colocar el bloque receptor de SDR, a continuación se ha colocado un bloque para poder controlar la ganancia de radiofrecuencia y nos muestre en la interfaz de usuario y de este modo controlar de acuerdo a la necesidad, en esta etapa es claro que se requiere bajar significativamente la frecuencia de muestreo, por tal razón se ha colocado este bloque y se lo decima unas 10 veces, de este modo al colocar el bloque que sigue se puede colocar la frecuencia de corte en el filtro pasa bajas, también se ha colocado el bloque Simple Squelch mismo que ofrece el servicio de eliminar ruido en el caso de no existir en su entrada, se lo configura considerando que su unidad es en dB, de este modo ya podemos colocar el demodulador de FM mismo que se encuentra en el software y brinda

la utilidad que requerimos en este momento, aunque también requiere decimación para poder llegar a la frecuencia de muestreo final que soporta la tarjeta de sonido, continuando con el sistema se ha colocado un Multiply Const en el cual se ha considerado colocar un control de volumen y de este modo proteger la tarjeta de sonido del computador, importante considerar que se ha colocado una interfaz de usuario misma que servirá para poder visualizar la señal obtenida.

10. CONCLUSIONES:

- La modulación y demodulación proceso en el cual utiliza ciertas técnicas y con la ayuda de herramientas ya sean estas basadas en software y hardware, o únicamente hardware, es posible trasladar una señal desde una frecuencia constituida en banda base a una más apta para su transporte a través del medio.
- Para llegar a transmitir señales existen ciertas bandas a utilizar de acuerdo a la aplicación, mismas que están definidas en nuestro país por la ARCOTEL, de acuerdo a las necesidades o aplicaciones.
- Al utilizar los sistemas de modulación y demodulación es más fácil entender dichos procesos por el cual debe pasar un tratamiento de señales y el software permite realizarlo hasta cierto punto para luego enviar la información por el SDR, de igual forma el SDR puede trabajar como receptor y el resto del proceso lo realiza el software.

11. RECOMENDACIONES:

- Considerar que de acuerdo al sistema sobre el cual se encuentra trabajando conectar las antenas, así por ejemplo en el caso de trabajar como transmisor el SDR, conectar en la salida de antena que está prediseñada para dicha aplicación.
- Tomar muy en cuenta que las unidades se encuentren bien definidas en los bloques que se utilizaran como variables, caso contrario puede presentar algún error por encontrarse en otra frecuencia o por último en un valor indeterminado por no encontrarse con las unidades adecuadas.
- Considerar los recursos con los que cuenta el equipo sobre el cual se encuentra trabajando ya sea este físico o virtual, en especial la frecuencia de muestreo diseñada en la salida de audio del equipo.

12. PREGUNTAS DE CONTROL:

- 1) ¿Qué pasa con la amplitud de la onda portadora en la modulación FM?

La amplitud permanece constante en razón que la variación se da en la frecuencia de acuerdo al mensaje enviado o modulado.

- 2) ¿Cuál es la ventaja de la modulación FM, respecto a la AM?

La principal ventaja al estar modulando en frecuencia con respecto a modular en amplitud es que la señal llega con más nitidez al receptor, porque no es propensa a recolectar mucho ruido.

- 3) ¿Qué rango de frecuencias la Arcotel estableció para la radiodifusión FM?

El rango está definido entre 88MHz y 108 MHz.

13. BIBLIOGRAFÍA:

Arcotel. (2015). *www.arcotel.gob.ec*. Retrieved from <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/NORMA-TECN>

GNU Radio Manual and C++ API Reference: [gr::blocks::throttle Class Reference](#). (s/f). Recuperado el 7 de agosto de 2022, a partir de https://www.gnuradio.org/doc/doxygen/classgr_1_1blocks_1_1throttle.html

[Lincango Oña](#), F. V. (2018). *Implementación de un Prototipo de Sistema de Comunicación Inalámbrico OFDM en SDR* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://1library.co/document/y9629gvy-implementacion-de-prototipo-sistema-comunicacion-inalambrico-ofdm-sdr.html>

ICA.pdf

Nave, C. R. (2017). *HyperPhysics*. Retrieved from <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Audio/bcast.html>

Roa, N. (2016, 05 09). Retrieved from https://prezi.com/mjbyc1k_itmp/modulacion-de-frecuencia-fm/

Sons, W. &. (1994). *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*. Retrieved from <https://www.fceia.unr.edu.ar/tesys/html/modulacion.pdf>

www.j-rpm.com. (2016). Retrieved from <http://j-rpm.com/2016/01/1-fundamentos-de-la-transmision-en-f-m-presentacion-3/>

Anexo 8
Informe de práctica de laboratorio #5

GUÍA DE PRÁCTICA # 5
ASIGNATURA: RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE
RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA: (VER SÍLABO)
TIEMPO PLANIFICADO EN EL SÍLABO: 6 HORAS
TIEMPO DE LA PRÁCTICA POR GRUPO: 6 HORAS
NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO: 2 ESTUDIANTES
NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO: 1

1. **TEMA:** Comunicaciones digitales, forma de ondas, tasa de error de bit, y comunicaciones BPSK y DQPSK.

2. **OBJETIVOS:**

- Diferenciar los conceptos básicos de la comunicación digital BPSK, y la QPSK para reconocer cada una de las señales en un ámbito práctico.
- Manejar las aplicaciones capaces de simular la forma de onda y la tasa de error de bits que se produce en las comunicaciones digitales, BPSK, y la QPSK.
- Comprender la importancia de cada uno de los sistemas y su desempeño al momento de proceder a visualizar la forma de onda en cada uno de los sistemas construidos a base de SDR.

3. Materiales y Reactivos – Por Grupo	4. Equipos y Herramientas – Por Grupo
<ul style="list-style-type: none"> • Cable Rg58 • Conector SMA • Antena Dipolo • Conector SMA hembra • Adaptador de impedancias • Adaptador USB 3.0 	<ul style="list-style-type: none"> • Computador con conexión a internet y SO Ubuntu 18.04 • LimeSDR • Adalm-plate SDR • Driver controlador de SDR • GNU Radio Companion 3.8 • Python 3.6.9 • Drivers o bloques instalados en GNU (Lime SDR Source TX y RX)

5. **INSTRUCCIONES:**

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibido equipo de diversión, celulares etc.
- Prohibido jugar.

- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil.

6. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

6.1. Crear un sistema de comunicación en el programa GNU radio, capaz de representar un sistema de transmisión utilizando BPSK o DBPSK. Utilizando los bloques en GNUradio.

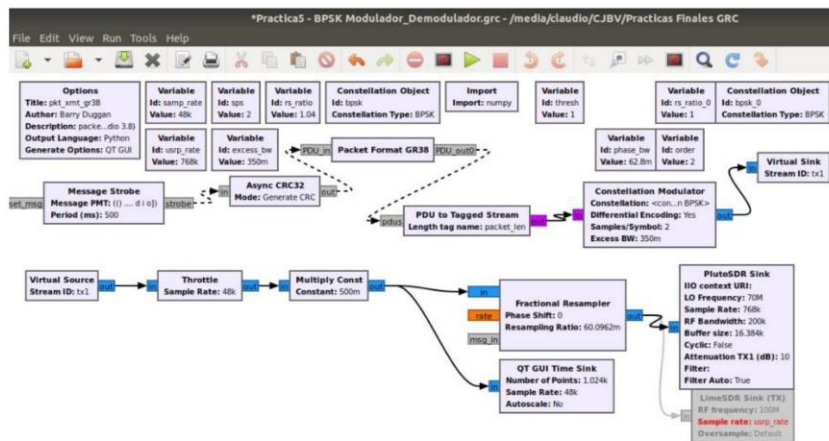


Fig. 1: Construcción del sistema transmisor

6.2. Crear un sistema de comunicación en el programa GNU radio, capaz de representar un sistema de recepción utilizando BPSK o DBPSK. Utilizando los bloques en GNUradio

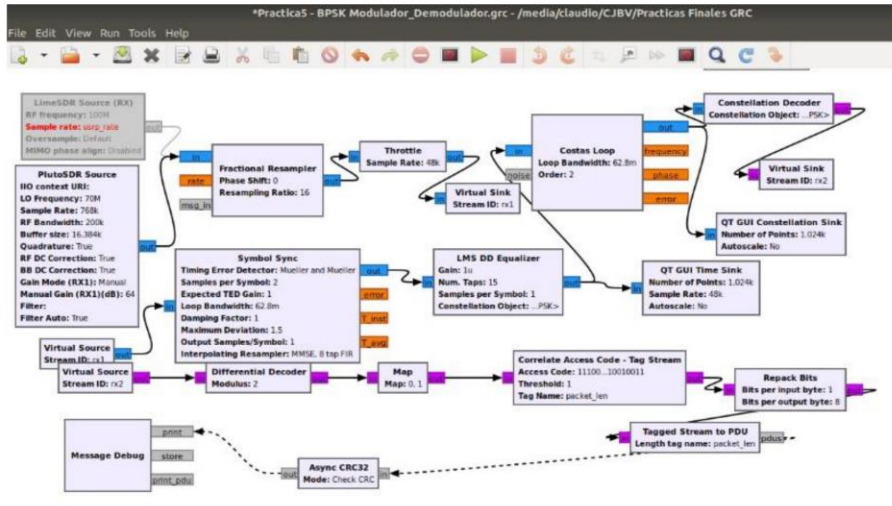


Fig. 2: Sistema receptor

6.3. Para obtener una transmisión de este tipo (Digital) es necesario inicialmente crear varias variables las mismas se vincularán posteriormente al sistema y de este modo se pueda enviar y obtener las señales deseadas.

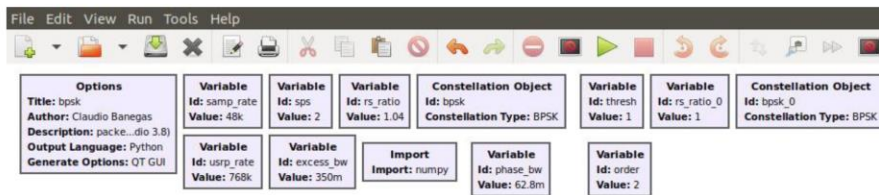


Fig. 3: Creación de variables

Se crea la constelación en el cual se va a trabajar con la señal. En este caso para Bpsk.

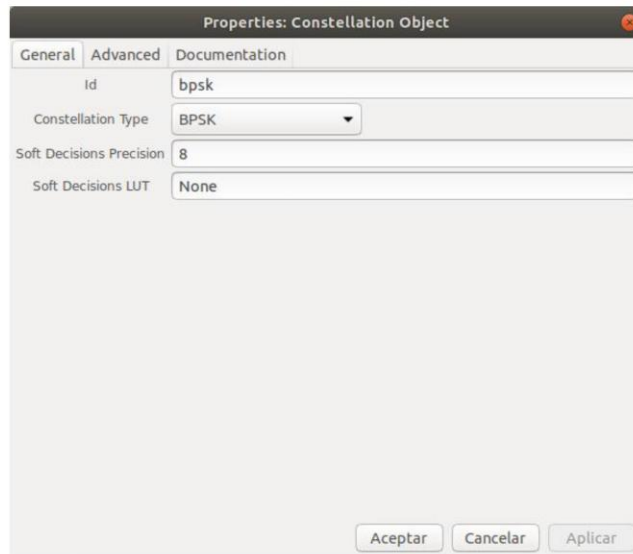


Fig. 4: Creación de constelación

En este punto es importante considerar que requiere de la librería math y se lo llama mediante el bloque de importación.

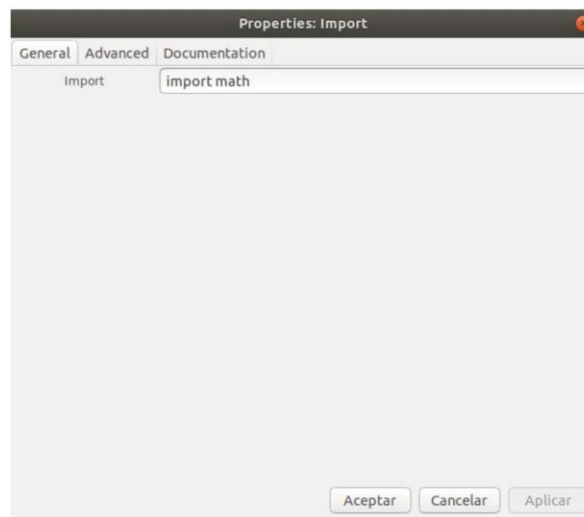


Fig. 5: Llamando la librería Math.

También se crea la variable de tasa de bits (R_b) la misma que debe ser superior a los bps. Por lo cual se configura en esta variable.

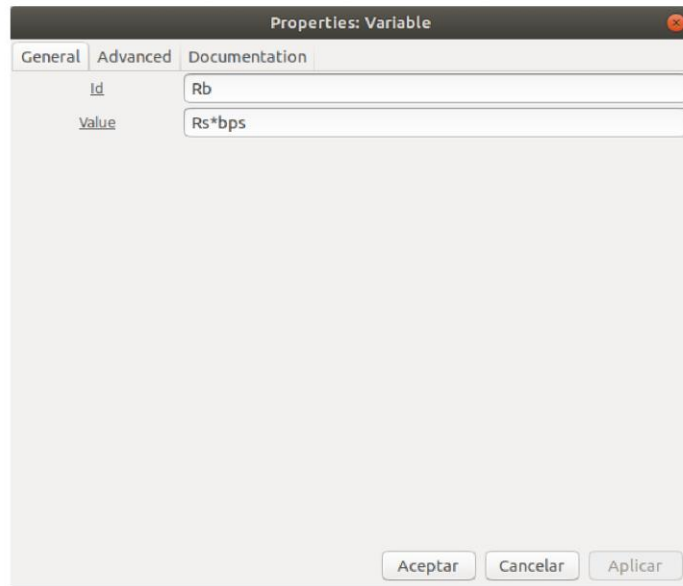


Fig. 6: Creación de la variable Rb (rate de bits)

En este punto procedemos a llamar al bloque que nos genere señal aleatoria binaria, denominado Random Source y se configura el número de pulsos que debe generar.

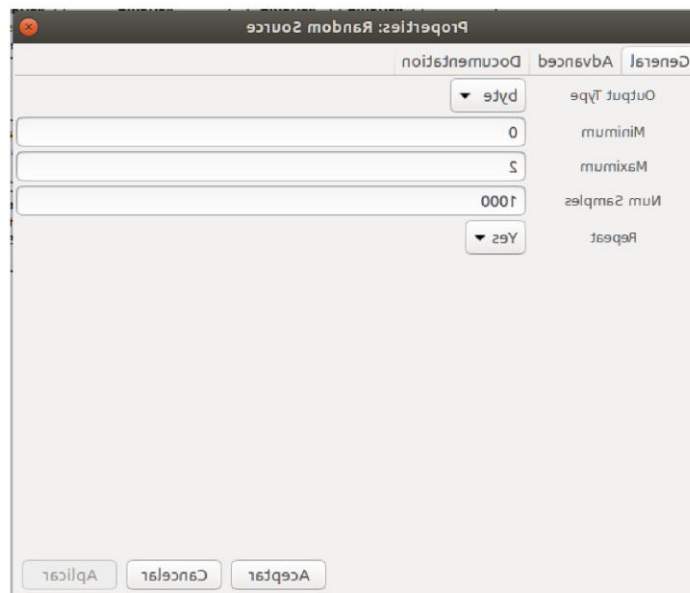


Fig. 7: Colocación del bloque de señal aleatoria.

Estos bits es necesario colocarlos en Bytes por lo cual es necesario utilizar otro bloque que se detalla en la siguiente figura, se le da el valor del número de bits a empaquetar.

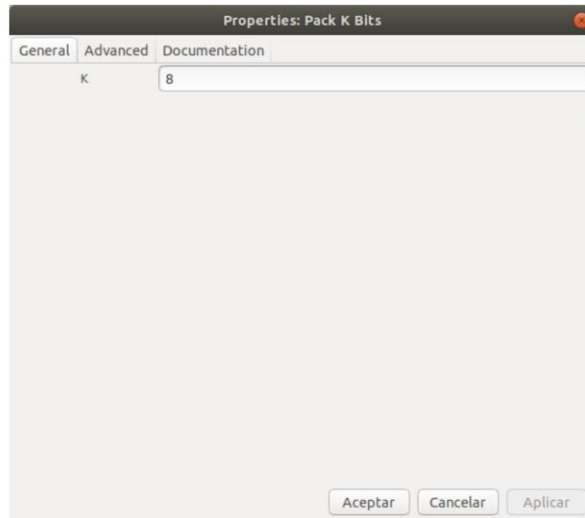


Fig. 8: Transformando a bytes.

El siguiente bloque transforma los bits en valores enteros y estos oscilan entre cero y 3.

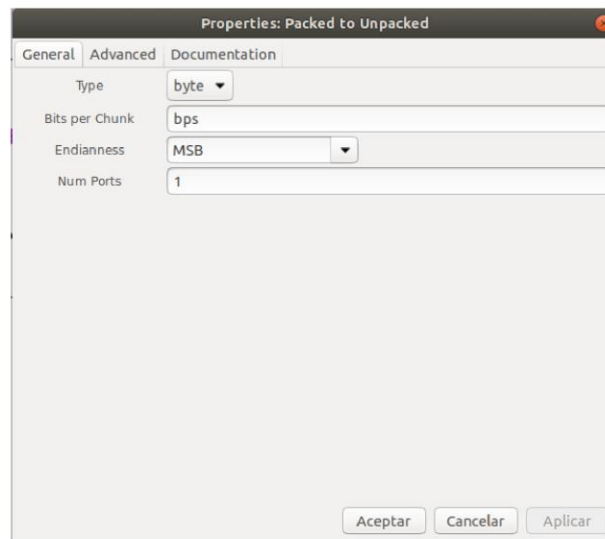


Fig. 9: Transformando a valores enteros.

Luego se procede a colocar el bloque que realiza el trabajo, y se indica la constelación sobre el cual va a trabajar, al haber creado la variable de constelación con anterioridad se procede únicamente al llamado desde este bloque.

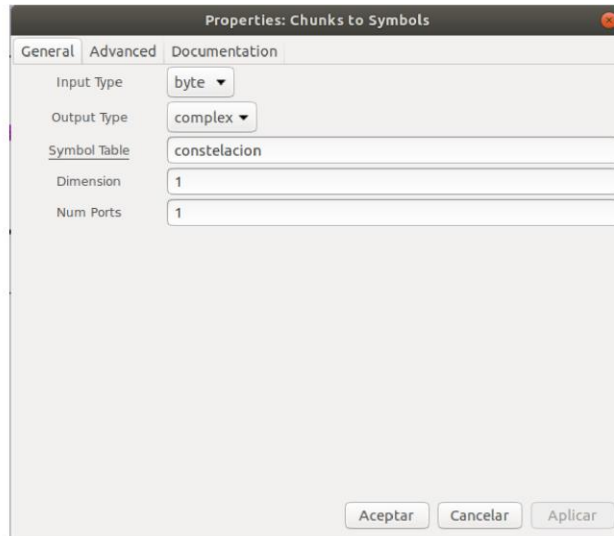


Fig. 10: Configuración del bloque y llamado a las variables.

Lo único que falta es dar forma a los símbolos del sistema, con los siguientes bloques. Este trabaja como respuesta al impulso y se considera crear las variables sps y h.

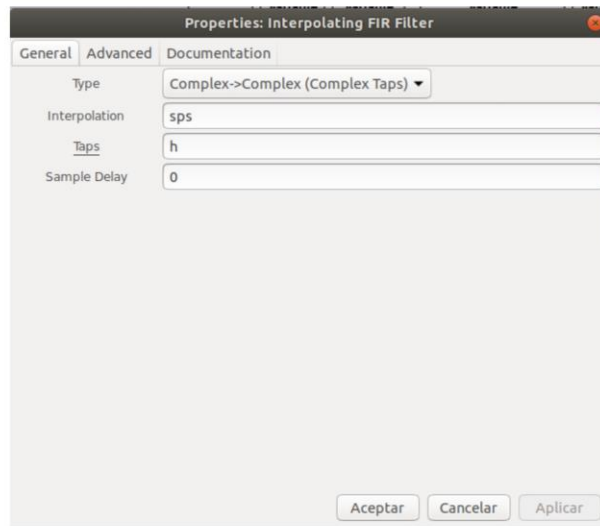


Fig. 11: Creando la variable h.

Se crea la variable `sps` la misma está definida como la cantidad de muestras que hay en el símbolo.

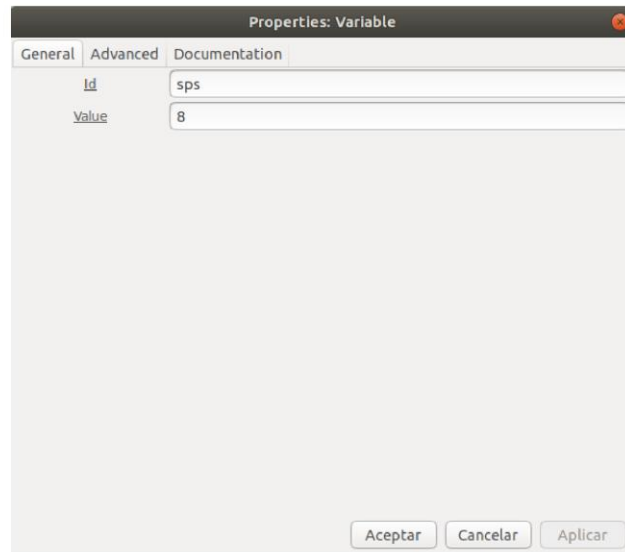


Fig. 12: Creando la variable `sps`.

Y la variable `h` está definida como la ventana rectangular discreta en el tiempo.

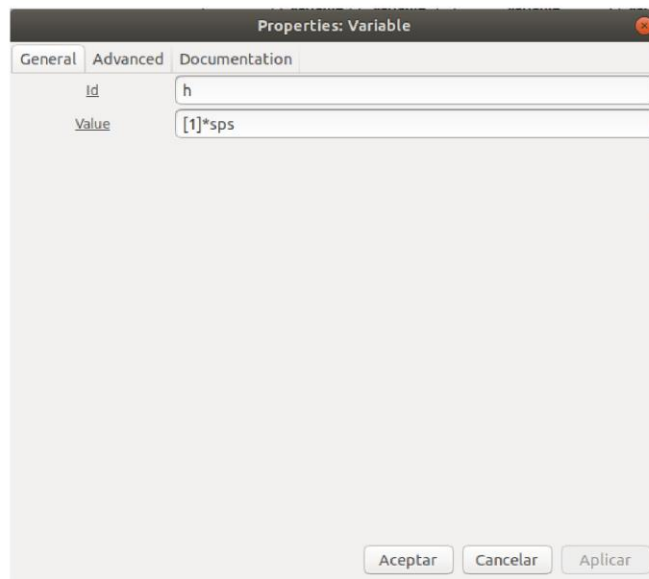


Fig. 13: Definiendo el tipo de variable.

Al igual que en todas las prácticas se procede a colocar las interfaces de salida para facilitar la vista de la señal de salida que es la envolvente y de igual forma se puede observar la constelación.

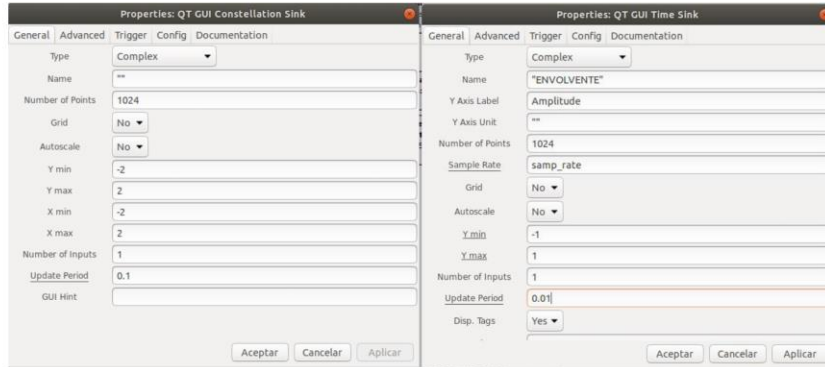


Fig. 14: Colocación y configuración de interfaces de usuario.

7. MARCO TEÓRICO:

- COMUNICACIÓN DIGITAL

(Briceño, 2015) define la comunicación digital como la estructura que se usa para transmitir la información codificada desde un punto a otro punto, estos puntos de transmisión pueden estar separados en el tiempo o en la distancia. La comunicación digital consiste en tres categorías funcionales, transmisión, conversión y procesamiento.

- TRANSMISIÓN

La función de transmisión se define como una tubería por donde fluye la información e incluye procesos de modulación y demodulación, en caso sea necesario.

- CONVERSIÓN

La función de conversión trata de la transformación de las señales eléctricas usadas para transmitir información en formas de que puedan ser usadas y entendibles por los humanos o computadoras.

- PROCESAMIENTO

La función de procesamiento según (Briceño, 2015) opera sobre la información misma o sobre caracteres de control sin cambiar su contenido.

El procesamiento digital de señales o DSP (por sus siglas en inglés, digital signal processing) se define como la manipulación matemática de una señal de información para modificarla o mejorarla en algún sentido. (Carrizo, 2014)

- MODULACIÓN BPSK

La modulación Binaria de Fase o BPSK (por sus siglas en inglés, Binary Phase-shift keying) permite usar dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora, una fase de salida representa una "1" lógico, y la otra un "0" lógico, conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están separadas convenientemente 180°, con lo que se presenta mayor inmunidad al ruido. (Briceño, 2015)

Por otra parte, dado que en esta modulación solo se puede modular a 1bit/símbolo, no es apto para aplicaciones que tengan alta velocidad de datos.

- FORMA DE ONDA

La señal BPSK tiene la forma

$$x_{PSK}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos(2\pi f_c t - \phi_i) \cdot \pi \left(\frac{t - nT_b}{T_b} \right)$$

Donde

$$\phi_i = \begin{cases} 0 & \text{si se transmite 1} \\ \pi & \text{si se transmite 0} \end{cases}$$

A, Amplitud de la portadora

f_c , frecuencia de la portadora

T_b , intervalo de señalización

En la figura 1 se muestra una representación gráfica de la señal modulada mediante BPSK, se puede apreciar el empleo de los dos símbolos, donde un valor de salto de fase de 0° para el 1 y 180° para el 0.

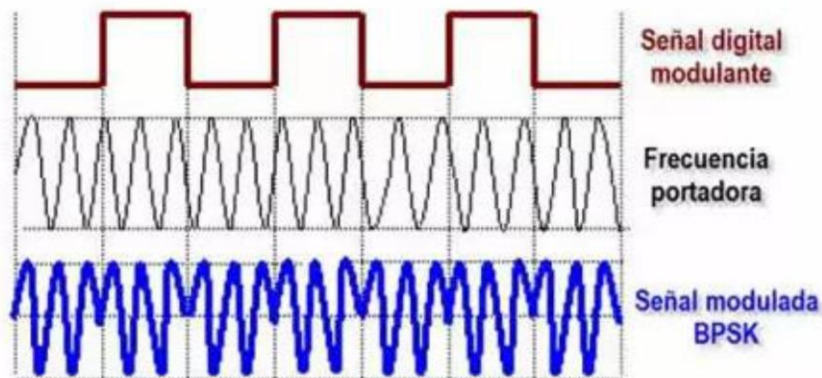


Fig. 15: Señal modulada en BPSK. Fuente: (ikastaroak.ulhi.net, s.f.)

- DEMODULACIÓN BPSK

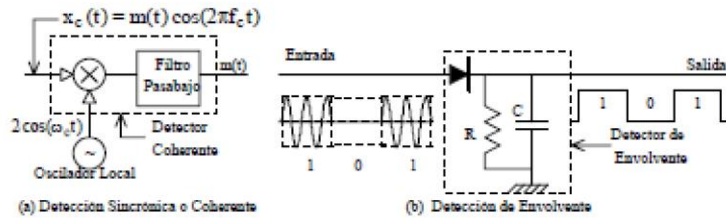


Fig. 16: Métodos de demodulación o detección de señales moduladas (Briceño, 2015)

La demodulación es esencialmente coherente, la cual consiste en multiplicar la señal modulada recibida por la portadora, generada localmente, y mediante filtrado pasabajo se obtiene la señal original portadora de información. Este proceso se muestra en la figura 2

Es importante que la frecuencia y la fase de la portadora local en el receptor sean idénticas a las de la portadora en el transmisor. Si la frecuencia y la fase son diferentes, se produce una fuerte atenuación que puede hacer desaparecer el mensaje. (Briceño, 2015)

- DIAGRAMA DE BLOQUES

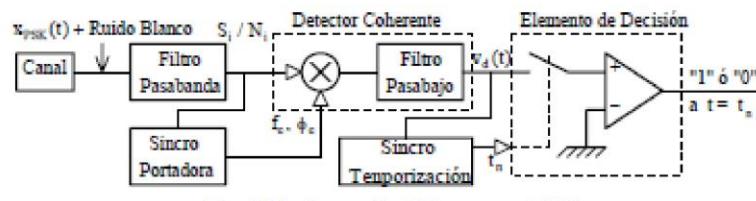


Fig. 17: Recepción coherente en PSK (Briceño, 2015)

En la figura 3, se muestra el diagrama de bloques de un receptor PSK, donde el elemento de decisión es mucho más sencillo pues se trata de determinar la polaridad (positiva o negativa) de $v_d(t)$ en el instante de decisión t_n

El criterio de decisión adoptado es

$$\text{Si en el instante } t = t_n, \begin{cases} v_d(t_n) \geq 0 \Rightarrow \text{Un1hasidotransmitido} \\ v_d(t_n) < 0 \Rightarrow \text{Un0hasidotransmitido} \end{cases}$$

Caso contrario, habrá error.

- TASA DE ERROR DE BITS (BER)

(ikastaroak.ulhi.net, s.f.) define la tasa de error como el parámetro fundamental que determina la calidad de la señal demodulada de los sistemas de transmisión digital.

La probabilidad de error es

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$$

Donde

$\frac{E_b}{N_0}$, Relación señal/ruido

Erfc, función error complementaria

El BER es también la tasa de error por símbolo, ya que hay un bit por símbolo.

- MODULACIÓN DBPSK

La modulación Binaria diferencial de fase o DBPSK (por sus siglas en inglés, Differential binary phase-shift keying) es la combinación de un codificador diferencial y un modulador PSK, en la figura 4, se puede apreciar el diagrama de bloques, donde el modulador está representado por una compuerta XOR.

La forma de la señal BPSK es igual a la señal BPSK

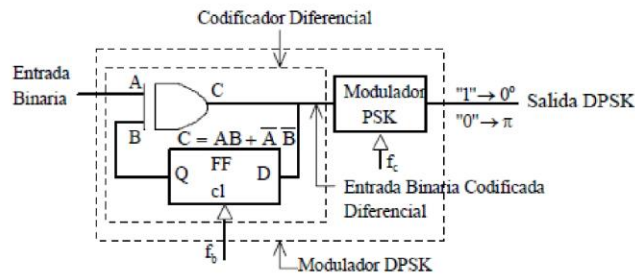


Fig. 18: Modulación DPSK. Fuente: (Briceño, 2015)

Forma de onda

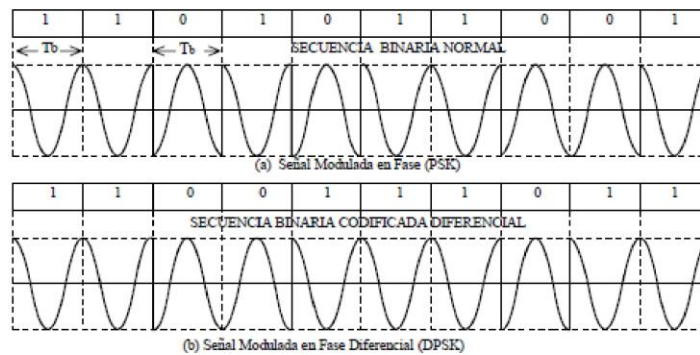


Fig. 19: Formas de las señales moduladas PSK y DPSK. a) Señal Modulada en fase, b) Señal Modulada en fase diferencial. Fuente: (Briceño, 2015)

Como se puede apreciar en la figura 5, que en una secuencia de 10 dígitos binarios la señal PSK tiene 6 transiciones y al codificarla diferencialmente el número de transiciones disminuye a 4. El número de transiciones producen transientes indeseables que pueden perjudicar la sincronización de temporización, por lo que su disminución es muy deseable. (Briceño, 2015)

- MODULACION QPSK.

Se ha encontrado investigaciones como las de (Luque Rodríguez & Clavijo Suero. Sebastián., 1995) que lo explica que este tipo de modulación puede contener 4 fases, en vista que está definida por el valor de $M = 4$, por lo cual si deducimos de la formula $M=2^k$, por lo cual $K=2$, entonces la señal de entrada estará compuesta por 2 bits denominados dibits y producen 4 combinaciones posibles.

La separación angular entre fases de modulación y al estar constituida por 4 señales están separadas en 90 grados y se debe considerar que entre dibit es diferente de los demás únicamente en un solo bit, el sistema de codificación empleada es el denominado código gray.

La demodulación de QPSK según el artículo (Lupera Morillo & Solano, 2019) se recupera un canal a la vez, es decir en primera instancia se multiplica la señal obtenida por la portadora en fase para obtener la señal y se obtiene las componentes de la misma, igual procedimiento se realiza para obtener la señal Q.

8. RESULTADOS OBTENIDOS:

En la siguiente imagen se puede demostrar la señal que se ha transmitido, sin embargo, al ser un sistema ideal se muestra la constelación únicamente como un punto en el espacio, no así al transmitir por el medio que se incrementa ruido.

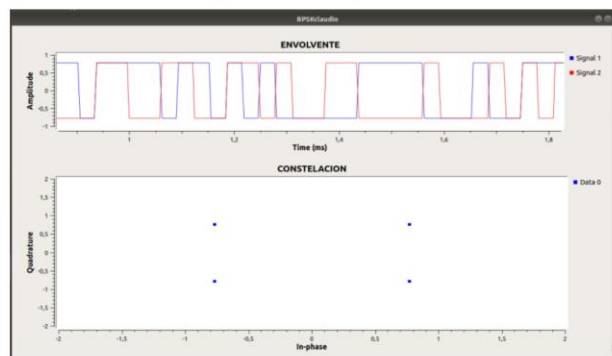


Fig. 20: Transmisión de un sistema ideal sin ruido.

Al transmitir señales por el medio lo que se suma es el ruido y se lo puede evidenciar en el siguiente gráfico, se puede observar que entre más lejos se encuentre la fuente más ruido se incrementa.

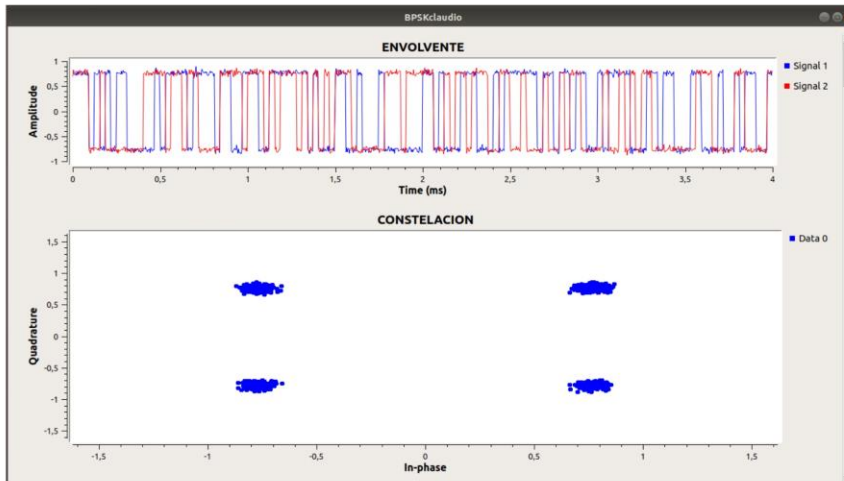


Fig. 21: Señal transmitida con un poco de ruido.

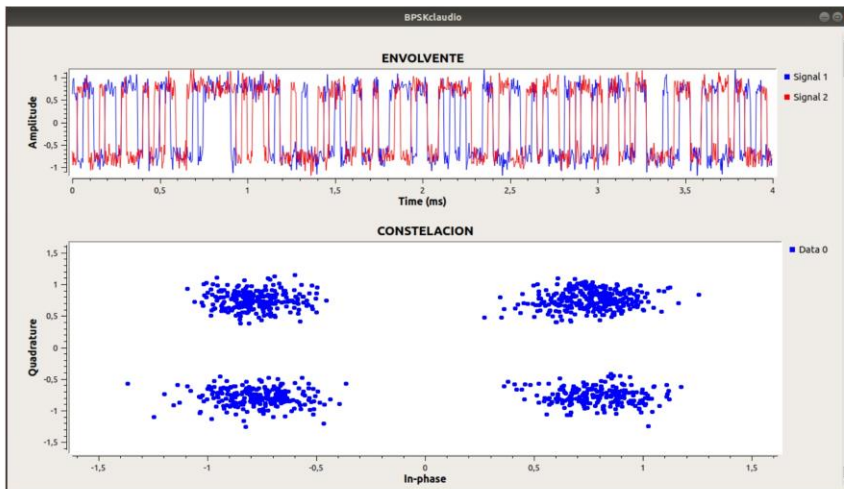


Fig. 22: Señal transmitida con mucho ruido.

9. DISCUSIÓN:

Una vez escogida la pantalla principal iniciamos a trabajar en nuestro sistema y se procede a crear las diferentes variables que se utilizaran en el modulador QPSK, la variable R_s determina la cantidad de símbolos en baudios, de igual forma se utilizara la variable para crear y mostrar la constelación que genera al cambiar la fase en el sistema,

por lo cual se indica las coordenadas en el que se deba mostrar esta información, también se crea la variable para calcular en el sistema el número de constelaciones que vamos a dibujar, para este proceso se crea la variable denominado M y se le indica con la fórmula para que pueda determinar dicho valor este proceso está documentado en la figuras como capturas de pantalla. A continuación, se calcula el número de bits por símbolo en otra variable (Bps) y la formula obedece al logaritmo en base 2 de M por lo cual se ingresa dicha información a la variable, y para que el programa encuentre la librería denominada Math se realiza el llamado mediante el proceso mostrado en la figura 17, y por último se lo configura al bloque que producirá la envolvente de la señal y se le ingresa las variables que requiere.

A partir de este paso nos queda únicamente conectar equipos de visualización para usuario y de este modo nos muestre la señal de salida, es importante considerar los bloques que se requiere para agrupar los bits y paquetes.

Una vez que el sistema esté funcionando se pasa a ejecutar el programa y se desarrolla de acuerdo al desarrollo como se puede ver en las figuras 27 que se puede ver tanto la señal y los puntos de constelación, sin embargo, es importante tomar en consideración que se trata de un sistema ideal por lo cual no existe ninguna distribución de ruido, al pasar a enviar a través del medio se puede evidenciar en la figura 21 y 22 que se presentan más puntos mismos que están obediendo al ruido que se genera por el proceso.

10. CONCLUSIONES:

- En el ámbito de telecomunicaciones existen varios sistemas de modulación, en este caso se ha puesto a estudio la modulación digital PSK misma que está definida por el cambio de fase, es decir ya no depende ni de frecuencia ni de amplitud.
- Es claro que mediante el desarrollo de la práctica se pueden sumar varios tipos de ruido al sistema, esto dependerá en algunos casos del canal mientras que en otros casos de los equipos o incluso del programa de simulación que se encuentre ocupando al momento de realizar la transmisión de señales o datos.
- El sistema QPSK es un sistema que se lo realiza mediante la inserción de 4 símbolos mismos que se muestran en el mapa de constelación y es evidente también que al trabajar con un canal físico se puede subir la probabilidad de que existan errores.

11. RECOMENDACIONES:

- Investigar previamente los bloques a utilizar en vista que se debe tener muy en cuenta la capacidad y el objetivo para el cual estuvieron diseñados o creados.
- Conectar los bloques de manera correcta y en el orden correcto de modo que cumplan su función, de igual forma considerar sus entradas y salidas estas pueden variar para interconexión de los mismos entre compleja, flotante etc.

12. PREGUNTAS DE CONTROL:

Defina la modulación BPSK

Es un tipo de modulación que se ocupa para dos símbolos y se la realiza por desplazamiento de fase, esta se desplaza entre 0 y 180 grados.

Defina la modulación DBPSK.

Este tipo de modulación se define de esta forma porque es un tipo de tratamiento de manera diferencial, o la combinación de un codificador diferencial y la modulación PSK.

¿Qué pasa con el mensaje, si en la demodulación coherente, la frecuencia y la fase son diferentes?

Al estar ligadas a un proceso matemático, y en caso de no llegar a obtener la información deseada existe la probabilidad de atenuar la señal incluso a tal punto de hacerla desaparecer y por ende desaparece el mensaje.

13. BIBLIOGRAFÍA:

Briceño, J. (2015). *Transmisión de datos*. Venezuela: Tercera edición. .

Carrizo, M. (06 de 2014). *lcr.uns.edu.ar*. Obtenido de <http://lcr.uns.edu.ar/fvc/NotasDeAplicacion/FVC-Martin%20Carrizo.pdf>

ikastaroak.ulhi.net. (s.f.). Obtenido de https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV02/es_IEA_ICTV02_Contenidos/web site_552_modulacin_digital_qpsk.html

telefoniamovilautomaticatma.wordpress.com. (29 de 01 de 2017). Obtenido de <https://telefoniamovilautomaticatma.wordpress.com/2017/01/29/contenido-destacado-3/>

Anexo 9. Informe de práctica de laboratorio #6

GUÍA DE PRÁCTICA # 6
ASIGNATURA: RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE
RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA: (VER SÍLABO)
TIEMPO PLANIFICADO EN EL SÍLABO: 6 HORAS
TIEMPO DE LA PRÁCTICA POR GRUPO: 6 HORAS
NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO: 2 ESTUDIANTES
NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO: 1

1. **TEMA:** Análisis de técnicas de comunicación de espectro ensanchado, utilizados por gps, 3g cdma.
2. **OBJETIVOS:**
 - Investigar y analizar las técnicas de la comunicación de espectro ensanchado, y sus aplicaciones.
 - Reconocer y describir los conceptos básicos de la comunicación de espectro ensanchado de secuencia directa.
 - Desarrollar la simulación de la comunicación DSSS BPSK, con el uso de un SDR.

3. Materiales y Reactivos – Por Grupo	4. Equipos y herramientas – Por Grupo
<ul style="list-style-type: none">• Cable Rg58• Conector SMA• Antena Dipolo• Conector SMA hembra• Adaptador de impedancias• Adaptador USB 3.0	<ul style="list-style-type: none">• Computador con conexión a internet y SO Ubuntu 18.04• LimeSDR• Adalm-pluto SDR• Driver controlador de SDR• GNU Radio Companion 3.8• Python 3.6.9• Drivers o bloques instalados en GNU (Lime SDR Source TX y RX)

5. **INSTRUCCIONES:**
 - Colocar las mochilas en los casilleros.
 - Prohibido consumo de alimentos.

- Prohibido equipo de diversión, celulares etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil.

6. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

6.1. En esta práctica se utiliza un software que pueda analizar de manera fácil y rápida. Para lo cual se procede a instalar la aplicación GQRX. Mediante el siguiente la secuencia de comandos que a continuación se detallan.

```
sudo add-apt-repository -y
```

```

claudio@claudio-Latitude-E4310: ~
└─$ sudo add-apt-repository -y ppa:bladerf/bladerf
[sudo] contraseña para claudio:
Obj:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security InRelease
Obj:2 http://ppa.launchpad.net/bladerf/bladerf/ubuntu bionic InRelease
Obj:3 https://dl.google.com/linux/chrome/deb stable InRelease
Obj:4 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic InRelease
Obj:5 http://ppa.launchpad.net/ettusresearch/uhd/ubuntu bionic InRelease
Des:6 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates InRelease [88,7 kB]
Obj:7 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases-3.8/ubuntu bionic InRelease
Obj:8 https://deb.nodesource.com/node_8.x bionic InRelease
Obj:9 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases/ubuntu bionic InRelease
Des:10 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-backports InRelease [74,6 kB]
Obj:11 http://ppa.launchpad.net/gqrx/gqrx-sdr/ubuntu bionic InRelease
Obj:12 http://ppa.launchpad.net/myriadrf/drivers/ubuntu bionic InRelease
Obj:13 http://ppa.launchpad.net/myriadrf/gnuradio/ubuntu bionic InRelease
Obj:14 http://ppa.launchpad.net/teejoe2000/ppa/ubuntu bionic InRelease
Descargados 163 kB en 3s (52,8 kB/s)
Leyendo lista de paquetes... Hecho
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$

```

Fig. 1: Instalando librería bladerf/bladerf.

A continuación, se instala la siguiente librería para su uso posterior utilizando el siguiente comando.

```
sudo add-apt-repository -y ppa:myriadrf/drivers
```

```
claudio@claudio-Latitude-E4310 ~  
Archivo Editor Ver Búscar Terminal Ayuda  
Obj:14 http://ppa.launchpad.net/teejee2008/ppa/ubuntu bionic InRelease  
Descargados 163 kB en 3s (52,8 kB/s)  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$ sudo add-apt-repository -y ppa:nyriadrf/drivers  
Obj:1 https://deb.nodesource.com/node_8.x bionic InRelease  
Obj:2 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security InRelease  
Obj:3 http://ppa.launchpad.net/bladerf/bladerf/ubuntu bionic InRelease  
Obj:4 https://dl.google.com/linux/chrome/deb stable InRelease  
Obj:5 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic InRelease  
Obj:6 http://ppa.launchpad.net/ettusresearch/uhd/ubuntu bionic InRelease  
Des:7 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates InRelease [88,7 kB]  
Obj:8 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases-3.8/ubuntu bionic InRe  
lease  
Obj:9 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases/ubuntu bionic InReleas  
e  
Des:10 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-backports InRelease [74,6 kB]  
Obj:11 http://ppa.launchpad.net/gqrx/gqrx-sdr/ubuntu bionic InRelease  
Obj:12 http://ppa.launchpad.net/nyriadrf/drivers/ubuntu bionic InRelease  
Obj:13 http://ppa.launchpad.net/nyriadrf/gnuradio/ubuntu bionic InRelease  
Obj:14 http://ppa.launchpad.net/teejee2008/ppa/ubuntu bionic InRelease  
Descargados 163 kB en 3s (52,8 kB/s)  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$
```

Fig. 2: Instalación de siguiente librería.

Luego se procede a instalar o crear el repositorio con el siguiente comando.

```
sudo add-apt-repository -y
```

```
claudio@claudio-Latitude-E4310 ~  
Archivo Editor Ver Búscar Terminal Ayuda  
Obj:14 http://ppa.launchpad.net/teejee2008/ppa/ubuntu bionic InRelease  
Descargados 163 kB en 3s (52,8 kB/s)  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$ sudo add-apt-repository -y ppa:nyriadrf/gnura  
dio  
Obj:1 https://deb.nodesource.com/node_8.x bionic InRelease  
Obj:2 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security InRelease  
Obj:3 https://dl.google.com/linux/chrome/deb stable InRelease  
Obj:4 http://ppa.launchpad.net/bladerf/bladerf/ubuntu bionic InRelease  
Obj:5 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic InRelease  
Des:6 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates InRelease [88,7 kB]  
Obj:7 http://ppa.launchpad.net/ettusresearch/uhd/ubuntu bionic InRelease  
Obj:8 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases-3.8/ubuntu bionic InRe  
lease  
Obj:9 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-backports InRelease [74,6 kB]  
Obj:10 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases/ubuntu bionic InReleas  
e  
Obj:11 http://ppa.launchpad.net/gqrx/gqrx-sdr/ubuntu bionic InRelease  
Obj:12 http://ppa.launchpad.net/nyriadrf/drivers/ubuntu bionic InRelease  
Obj:13 http://ppa.launchpad.net/nyriadrf/gnuradio/ubuntu bionic InRelease  
Obj:14 http://ppa.launchpad.net/teejee2008/ppa/ubuntu bionic InRelease  
Descargados 163 kB en 3s (52,8 kB/s)  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$
```

Fig. 3: Instalación del repositorio.

```
sudo add-apt-repository -y ppa:gqrx/gqrx-sdr
```

```
claudio@claudio-Latitude-E4310 ~  
Archivo Editor Ver Búscar Terminal Ayuda  
Obj:13 http://ppa.launchpad.net/nyriadrf/gnuradio/ubuntu bionic InRelease  
Obj:14 http://ppa.launchpad.net/teejee2008/ppa/ubuntu bionic InRelease  
Descargados 163 kB en 3s (52,8 kB/s)  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$ sudo add-apt-repository -y ppa:gqrx/gqrx-sdr  
Obj:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu bionic-security InRelease  
Obj:2 http://ppa.launchpad.net/bladerf/bladerf/ubuntu bionic InRelease  
Obj:3 https://dl.google.com/linux/chrome/deb stable InRelease  
Obj:4 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic InRelease  
Des:5 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates InRelease [88,7 kB]  
Obj:6 http://ppa.launchpad.net/ettusresearch/uhd/ubuntu bionic InRelease  
Obj:7 https://deb.nodesource.com/node_8.x bionic InRelease  
Obj:8 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases-3.8/ubuntu bionic InRe  
lease  
Obj:9 http://ppa.launchpad.net/gnuradio/gnuradio-releases/ubuntu bionic InReleas  
e  
Des:10 http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-backports InRelease [74,6 kB]  
Obj:11 http://ppa.launchpad.net/gqrx/gqrx-sdr/ubuntu bionic InRelease  
Obj:12 http://ppa.launchpad.net/nyriadrf/drivers/ubuntu bionic InRelease  
Obj:13 http://ppa.launchpad.net/nyriadrf/gnuradio/ubuntu bionic InRelease  
Obj:14 http://ppa.launchpad.net/teejee2008/ppa/ubuntu bionic InRelease  
Descargados 163 kB en 3s (52,8 kB/s)  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$
```

Fig. 4: Instalación de la siguiente librería.

Una vez realizado los pasos anteriores e instalado las librerías requeridas se procede a actualizar la base del sistema con el siguiente comando.

```
sudo apt-get update
```

En este paso nos queda instalar la aplicación GQRX siguiendo el proceso que se detalla a continuación.

```
sudo apt-get install gqrx-sdr
```

```
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$ sudo apt-get install gqrx-sdr
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias
Leyendo la información de estado... Hecho
gqrx-sdr ya está en su versión más reciente (2.11.5-gqrx1-bionic).
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 8 no actualizados.
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$
```

Fig. 5: Instalación de la aplicación GPRX.

NOTA: En esta imagen muestra que no se realiza la instalación porque el programa ya se encuentra instalado.

Una vez instalado los drivers y librerías se procede a ejecutar el programa y pedirá que se configure el equipo a utilizar, también se considera poder realizar el cambio de equipo en el futuro, de igual manera se puede realizar cambios en los parámetros a utilizar, en este caso se utiliza la tarjeta Adalm Pluto

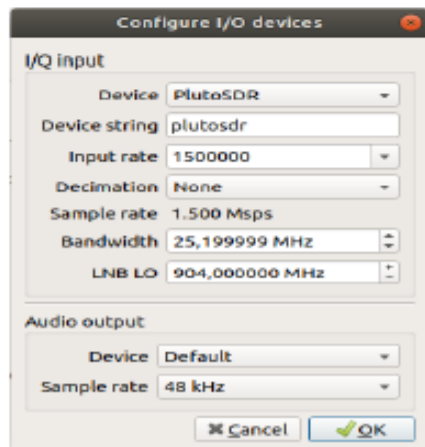


Fig. 6: Configuración inicial del SDR

Luego de este paso resta únicamente en sintonizar la frecuencia correcta que en este caso de acuerdo a la distribución de GSM dentro del espectro se encuentra entre 850 MHz y 1900MHz, por esta razón se ha puesto a esnifear en este rango.

7. MARCO TEÓRICO:

MODULACIÓN DSSS

La modulación por espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS, por sus siglas en inglés, *Direct Sequence Spread Spectrum*) permite establecer múltiples enlaces multi-portadora, alta seguridad por el gran ancho de banda usado, y sobre todo la operación con baja densidad espectral de potencia, dando lugar así que la señal siempre se encuentre por debajo del índice de ruido que existe en el canal. (Agudelo & Bernal, 2011)

De acuerdo a (Tecnológico Nacional de Mexico) la modulación DSSS consiste en desplazar la fase de una portadora a través de una secuencia de bits rápida, de manera que haya el mismo número de ceros y unos,. En la figura 1 se muestra un patrón redundante o código chip de n-bit (n-bit chipping code), el mismo que interactúa con cada bit de datos, para cada bit, enviar un XOR de ese bit y el n-esimo bit aleatorio.

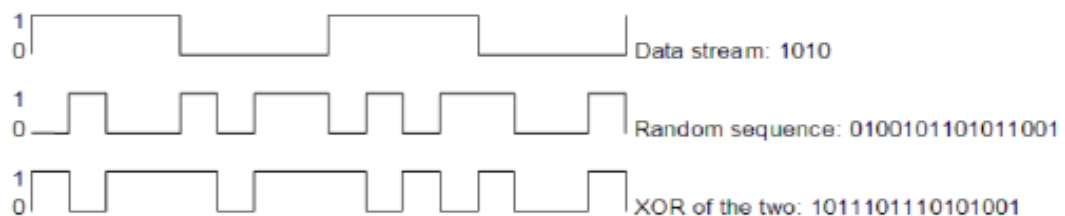


Fig. 7: Patrón redundante o Código chipping de 4 bits. Fuente: (Tecnológico Nacional de Mexico)

En la figura 7, se muestra el transmisor y el receptor los mismos que conocen la secuencia pseudo-aleatoria, ya que solo los receptores a los que el transmisor envíe dicho código podrán recomponer la señal original, filtrando señales indeseables, previa sincronización, en aquellos, receptores que no sepan el código recibirán la señal como ruido. (Tecnológico Nacional de Mexico)

Por otra parte, es importante conocer que mientras mayor sea el patrón redundante de bits, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda usar un tamaño de 11 bits, pero lo óptimo es de 100, en la recepción es

importante realizar el proceso inverso para obtener la señal original. (Colorado & Ramirez, 2011)

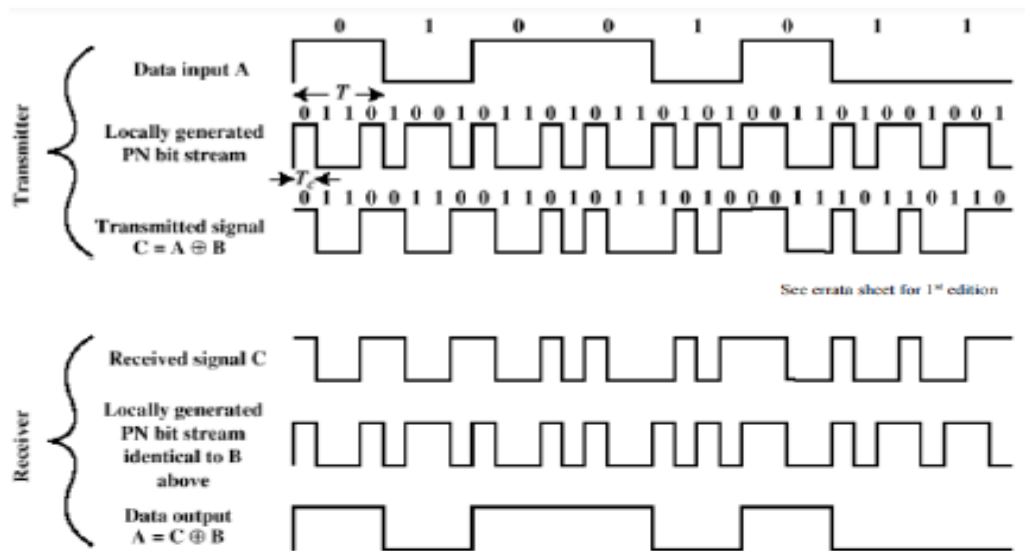


Fig. 8: Ejemplo de DSSS. Fuente: (Edfors, Molisch, & Tufvesson)

- TRANSMISOR DSSS

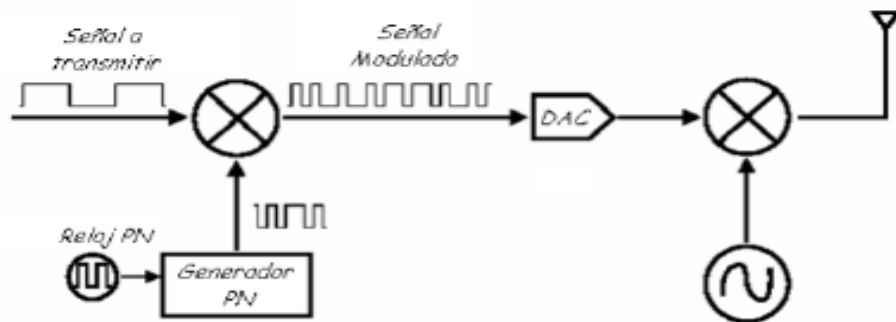


Fig. 9: Transmisor DSSS básico. Fuente: (Colorado & Ramirez, 2011)

En la figura 9 se muestra el bloque del transmisor DSSS básico, donde el dato a transmitirse es multiplicado con la secuencia Pseudo-aleatoria (PN) para generar el dato "ensanchado". Luego la señal es convertida a señal analógica y son transmitidos después de la modulación. (Colorado & Ramirez, 2011)

La multiplicación de la señal con PN, produce un incremento del ancho de banda, por un factor denominado ganancia de procesamiento (PG, el cual se expresa en dB, y se obtiene a través de la razón de cambio de periodo del dato, para el periodo del circuito de la secuencia PN, por lo tanto, se tiene que

$$PG = 10 \log_{10} \frac{T_s}{T_c}$$

donde,

PG, es la ganancia de procesamiento

T_s , es el periodo del dato

T_c , es el periodo del circuito de la secuencia PN

$T_s \gg T_c$, dando como resultado la disminución de la potencia de pico densidad espectral de PG, como se muestra en la figura 4

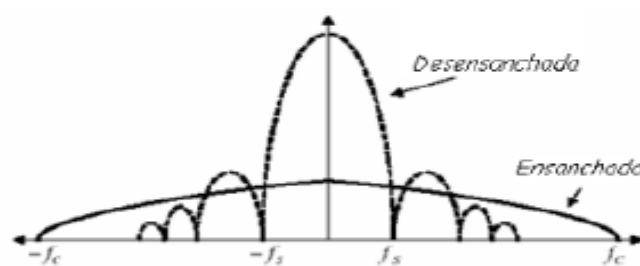


Fig. 10: Densidad espectral de potencia de la señal transmitida. Fuente: (Colorado & Ramirez, 2011)

Por otra parte, la señal transmitida mediante DSSS es de banda amplia, por lo cual, con dificultad se logra diferenciar del ruido del canal, esto si PG es lo suficientemente alta.

La degradación que presenta la señal en el canal de transmisión depende de las características de las fuentes de interferencias que se encuentren presentes en el canal, si bien, una de las ventajas del DSSS es su resistencia al ruido de banda estrecha. En la figura 5, se puede apreciar como el espectro de la señal es mucho más amplio que el dispositivo de interferencia de banda estrecha, por lo que la mayoría de la potencia de la señal aún se puede recibir. (Colorado & Ramirez, 2011)

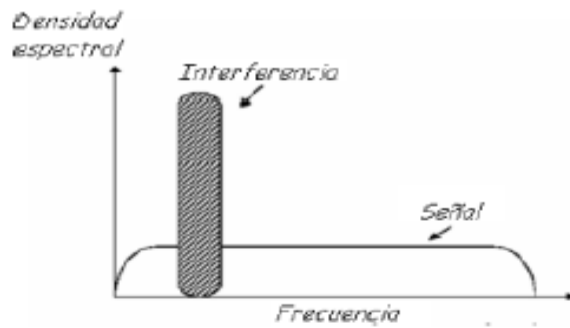


Fig. 11: Interferencia de banda estrecha en la transmisión de la señal. (Colorado & Ramirez, 2011)

- RECEPTOR DSSS

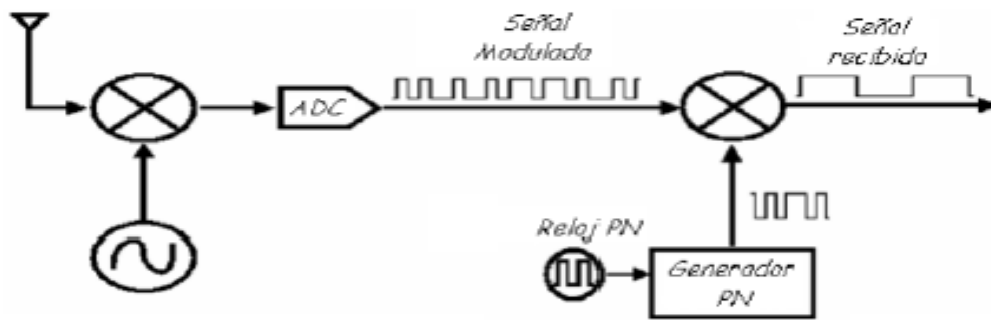


Fig. 12: Receptor DSSS básico. Fuente: (Colorado & Ramirez, 2011)

En la figura 12 se puede apreciar el diagrama de bloque básico del receptor DSSS, donde la señal recibida se multiplica por una réplica local de la secuencia PN del transmisor para “desensanchar” la señal original, en este proceso, el oscilador local en el receptor deberá estar sincronizado con el oscilador del transmisor. (Colorado & Ramirez, 2011)

El espectro ensanchado de los datos recuperados en la recepción se puede apreciar en la figura 7, donde la señal de interferencia es ensanchada por el receptor mientras que los datos están siendo desensanchados,

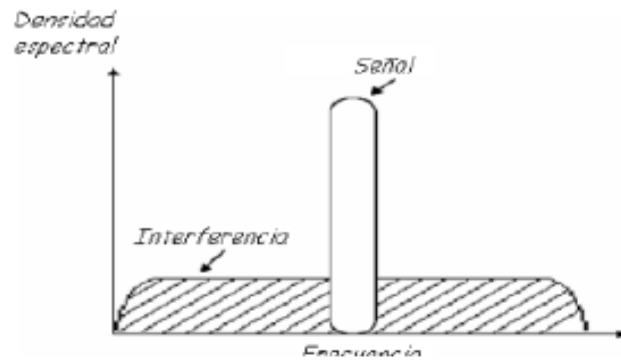


Fig. 13: Densidad espectral de potencia en la señal recibida. Fuente: (Colorado & Ramirez, 2011)

- DIAGRAMA DE TIEMPOS DEL PROCESO DSSS

En la figura 14, se muestra el diagrama de tiempos del proceso DSSS.

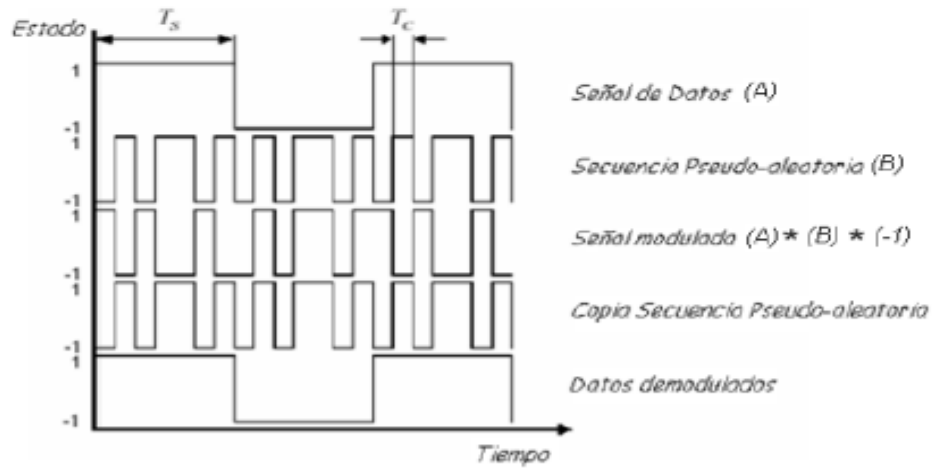


Fig. 14: Secuencia de tiempos de la señal codificada y decodificada. Fuente: (Colorado & Ramirez, 2011)

- MODULACIÓN DSSS USANDO BPSK

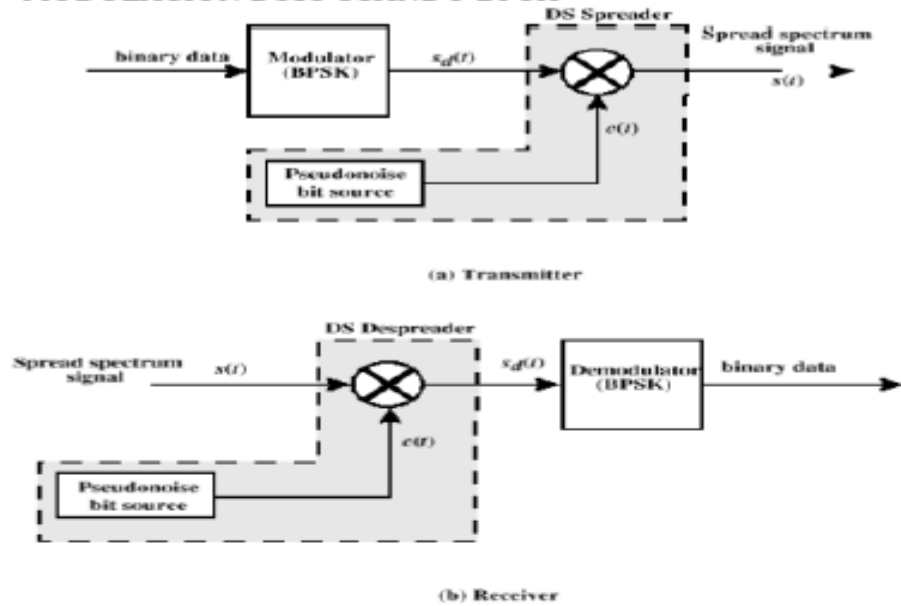


Fig. 15: Diagrama de bloque a) Transmisor b) Receptor usando BPSK. Fuente: (Edfors, Molisch, & Tufvesson)

En la figura 15 a, se aprecia el bloque de la transmisión de la señal, la misma que consiste en multiplicar la señal BPSK,

$$s_d(t) = Ad(t)\cos(2\pi f_c t)$$

Por $c(t)$, tomando valores $+1, -1$, para obtener

$$s(t) = Ad(t)c(t)\cos(2\pi f_c t)$$

donde,

A , es la amplitud de la señal

$d(t)$, es la función discreta $[+1, -1]$ usando para representar binario 1 & 0]

f_c , es la frecuencia de portadora

$c(t)$, es el patrón redundante o código chip de n -bit (n -bit chipping code)

En el receptor la señal entrante multiplicada por $c(t)$, dado que,

$c(t) * c(t) = 1$, la señal entrante se recupera

- TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

Tdma o acceso múltiple por división de tiempo

Según (Tecnológico Nacional de Mexico) la técnica TDMA (por sus siglas en inglés, Time División Múltiple Access) como se muestra en la figura 16, consiste en que cada enlace tendrá un determinado tiempo para comunicarse y deberá esperar su turno para intercambiar información. La desventaja principal del TDMA es, cuando el resto de enlaces pierden tiempo, mientras esperan que el canal de comunicación se desocupe con otro enlace.

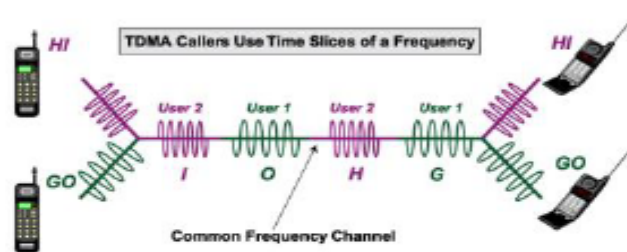


Fig. 16: Multiplexado TDMA. Fuente: (Tecnológico Nacional de Mexico)

Fdma o acceso múltiple por división de frecuencia

En la figura 16, se muestra la técnica FDMA de acuerdo a (Tecnológico Nacional de Mexico) la cual se caracteriza por que cada enlace/usuario usa una frecuencia diferente, la ventaja de esta técnica en comparación a la TDMA, es que no se tiene que esperar turnos para enviar información, pero en cambio debe saber operar en diferentes frecuencias.

La desventaja del FDMA es, cuando se incrementa la cantidad de usuarios, se produce una interferencia con canales adyacente, dado a los límites en el uso del espectro.

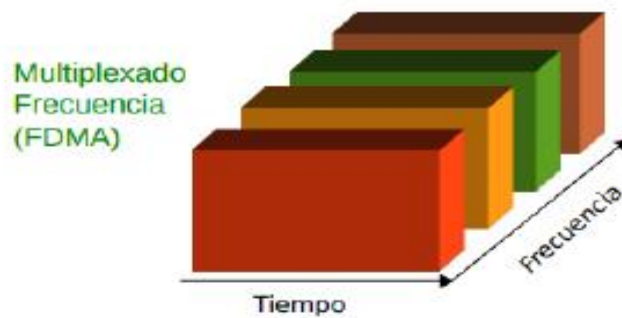


Fig. 17: Multiplexado TDMA. Fuente: (Tecnológico Nacional de México)

CDMA o acceso múltiple por división de código

En la técnica CDMA (por sus siglas en inglés, Code Division Multiple Access) cada enlace establece comunicación usando un código único para ampliar el espectro (DSSS), por lo cual, es posible establecer comunicaciones simultáneas en la banda de frecuencias. (Tecnológico Nacional de México)

En la figura 18 se puede apreciar un ejemplo de la técnica CDMA; donde varios dispositivos móviles pueden establecer simultáneamente comunicación en la banda de frecuencias.

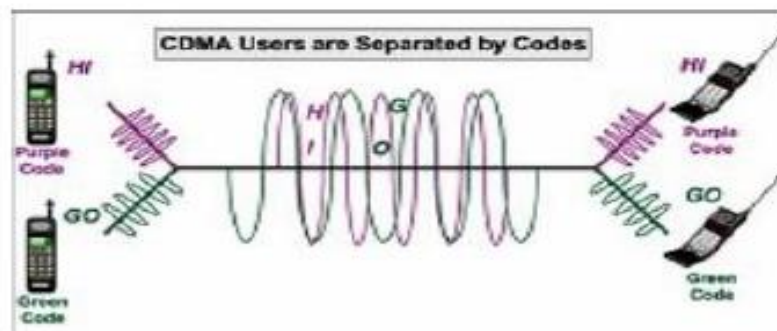


Fig. 18: Proceso del CDMA. Fuente: (Tecnológico Nacional de México)

- PROGRAMA GQRX.

En su página oficial (Csete, n.d.) manifiesta que se trata de una aplicación de código abierto, creada para utilizar con SDR y está basada en GNU radio y el kit de herramientas de QT, es decir es una aplicación que contiene interfaz de usuario.

Además, nos revela que está en la capacidad de trabajar con varios de los equipos que se encuentran actualmente en el mercado, y sobre todo a nuestro alcance y en el medio incluyendo dispositivos como Airspy, Funcube Dongles, rtl-sdr, HackRF y USRP.

La lista de aplicaciones y opciones para realizar proyectos es muy amplia entre las que se encuentran listadas en la misma página y existen varios usuarios que aportan en el desarrollo de la aplicación son:

Analizar los equipos conectados directamente a la computadora.

Procesar datos I/Q de dispositivos que sean compatibles con el mismo

Demoduladores AM, SSB, CW, FM-N y FM-W (mono y estéreo)

Modo FM especial para NOAA APT.

Gráfica FFT y cascada.

Graba y reproduce audio desde / hacia un archivo WAV.

Entre otras aplicaciones.

El programa cuenta de manera grafica con varias herramientas y es bastante intuitivo su interfaz de usuario entre las cuales se puede variar la frecuencia, el modo de operación y todos los parámetros que facilita la aplicación.

Nota: Tener en cuenta que se muestra una segunda frecuencia en el marco derecho de la pestaña "Opciones del receptor". Muestra el desplazamiento de la frecuencia real desde la línea central de la frecuencia de visualización principal. Manténgalo en 0.000 hasta que esté familiarizado con todas las funcionalidades de GQRX.

8. RESULTADOS OBTENIDOS:

Una vez instalado las librerías adecuadas, de igual forma la aplicación y haber sintonizado en el rango de frecuencias requerido, se puede observar que se encuentra la portadora al realizar una llamada o comunicación desde un equipo GSM. En la siguiente imagen se muestra la portadora que registra el equipo al momento de realizar una llamada desde un equipo móvil utilizando este espectro.

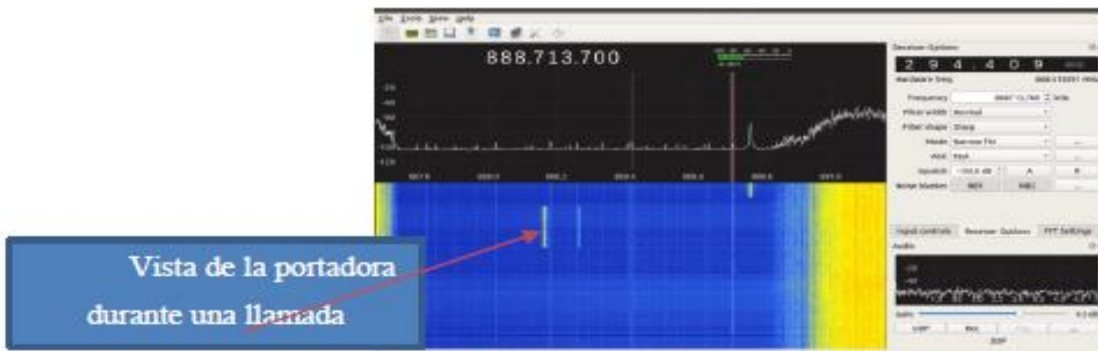


Fig. 19: Captura de portadora en GSM.

Para poder observar de mejor manera la portadora en esta práctica se procede a cambiar de elemento radiante o antena la cual está diseñada propiamente para esta frecuencia y se muestra en la siguiente imagen.



Fig. 20: Antena para la frecuencia GSM.

Luego de realizar las pruebas y buscar en varios espacios del espectro para la banda de GSM se obtiene los siguientes resultados.

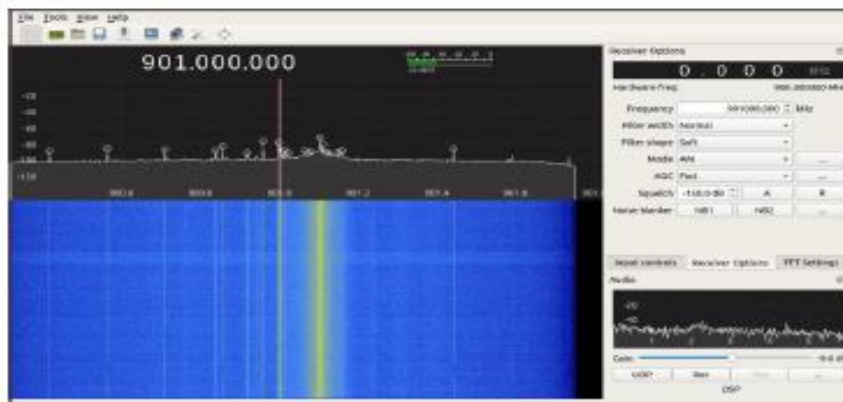


Fig. 21: Vista de las frecuencias en un lugar de población considerable (UNL)

9. DISCUSIÓN:

La presente practica se la realiza con el objetivo de poder evidenciar la portadora de la señal GSM en sus banda de operación misma que se la realiza en distintos ámbitos, una vez instaladas las librerías y haber instalada correctamente el programa se procede a iniciar el mismo considerando que está utilizando sobre el sistema operativo de Ubuntu, por tal motivo se lo realizo la instalación mediante la ejecución de comandos desde la ventana de TERMINAL, el proceso se detalla a partir de la figura 13 hasta la figura 17.

Inicialmente se considera buscar señales que se encuentren en el medio en un ambiente en el que no existan muchos equipos móviles o terminales, y dicho resultado se muestra en la figura 19, es ahí cuando se realiza una llamada hacia otro número y se muestra en la imagen que se procede a capturar la señal que está emitiendo la dicha llamada, luego para corroborar dichos resultados se ha dirigido a un espacio en el cual existan varios equipos terminales que en este caso es muy accesible en razón que se toma la muestra en el aula de la Universidad Nacional de Loja la misma se encuentra con aproximadamente 12 estudiantes, por tal motivo se puede observar en la figura 21 que existen varias señales en dicho espectro, también es importante mencionar que al utilizar el elemento radiante adecuado para dicha frecuencia se puede notar que existe menos interferencia y la señal portadora es mucho tan fina y existen varias en el espectro analizado.

10. CONCLUSIONES:

- Los distintos tipos de comunicación en esta banda están distribuidos con tecnologías de tal modo que se pueda utilizar el espectro de mejor manera y sobre todo optimizado por parte de las empresas que brindan el servicio.
- Al hablar de espectro ensanchado lo relacionamos directamente con las técnicas de modulación que actualmente son utilizadas en telecomunicaciones para facilitar la transmisión de datos digitales a través del medio mediante el uso de la radiofrecuencia.
- La práctica muestra las distintas frecuencias en las que puede estar operando una terminal móvil de acuerdo al canal asignado para su comunicación con la radiobase.

11. RECOMENDACIONES:

- Considerar los pasos necesarios y el orden requerido durante la instalación de la aplicación.
- Realizar la actualización en la terminal para que las librerías se puedan utilizar al momento de realizar la instalación y no presente ningún error.
- En el caso de dar errores y no se realice la instalación se puede ejecutar los siguientes comandos y luego volver a realizar el proceso.

```
sudo apt-get purge --auto-remove gqrx
```

```
sudo apt-get purge --auto-remove gqrx-sdr
```

```
sudo apt-get purge --auto-remove
```

- Importante también considerar si es posible trabajar con las antenas requeridas de acuerdo a la aplicación o frecuencia deseada.

12. PREGUNTAS DE CONTROL:

- **¿Cuáles son las principales características de la modulación DSSS?**

Las principales características del DSSS es que permite establecer múltiples enlaces multi-portadora, alta seguridad por el gran ancho de banda usado, y sobre todo la operación con baja densidad espectral de potencia, dando lugar así que la señal siempre se encuentre por debajo del índice de ruido que existe en el canal.

- **¿Qué ventaja tienen la multiplexación CDMA, en comparación a TDMA, y FDMA?**

La multiplexación CDMA permite establecer comunicación simultáneamente, a diferencia de la TDMA, que permite establecer comunicación por lapsos de tiempo, y la FDMA, se tiene interferencia de canal adyacente.

13. BIBLIOGRAFÍA:

Agudelo, A., & Bernal, P. (04 de 2011). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84921327002.pdf>

Colorado, J., & Ramirez, A. (2011). <https://core.ac.uk>. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71398104.pdf>

Edfors, Molisch, & Tufvesson. (s.f.). <https://scweb.sce.uhcl.edu>. Obtenido de https://scweb.sce.uhcl.edu/goodwin/Ceng5332/downloads/Chapter_18.pdf
ikastaroak.ulhi.net. (s.f.). Obtenido de

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV02/es_IEA_ICTV02_Contenidos/web site_552_modulacin_digital_qpsk.html

Tecnológico Nacional de Mexico. (s.f.). <https://queretaro.tecnm.mx/>. Obtenido de http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos_contenido/Apuntes%20de%20materias/CDF1202_Comm_Digitales/6_Modulacion_PasaBanda.pdf

Anexo 10. Informe de práctica de laboratorio #7

GUÍA DE PRÁCTICA # 7

ASIGNATURA: RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE

RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA: (VER SÍLABO)

TIEMPO PLANIFICADO EN EL SÍLABO: 4 HORAS

TIEMPO DE LA PRÁCTICA POR GRUPO: 4 HORAS

NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO: 2 ESTUDIANTES

NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO: 1

1. **TEMA:** Comunicación satelital, creación de elementos radiantes para la obtención de imágenes de la red de satélites NOAA.
2. **OBJETIVOS:**
 - Realizar la conexión satelital utilizando el receptor de transmisión automática de imágenes mediante el SDR de la red de satélites NOAA
 - Describir los conceptos básicos de la comunicación satelital, mediante la investigación
 - Conocer el proceso de la transmisión automática de imágenes, mediante el SDR, de la red de satélites NOAA.

3. Materiales y Reactivos – Por Grupo	4. Equipos y herramientas – Por Grupo
<ul style="list-style-type: none">• Cable Rg58• Conector SMA• Antena Dipolo• Conector SMA hembra• Adaptador de impedancias• Adaptador USB 3.0	<ul style="list-style-type: none">• Computador con conexión a internet y SO Ubuntu 18.04• LimeSDR• Adalm-pluto SDR• Driver controlador de SDR• GNU Radio Companion 3.8• Python 3.6.9• Drivers o bloques instalados en GNU (Lime SDR Source TX y RX)

5. **INSTRUCCIONES:**
 - Colocar las mochilas en los casilleros.
 - Prohibido consumo de alimentos.
 - Prohibido equipo de diversión, celulares etc.

- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil.

6. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Construir o adquirir una antena y escoger el SDR que se encuentre en la capacidad de trabajar mutuamente y en la frecuencia del satélite.

Se iniciará con buscar un programa para predecir el paso del satélite por nuestro territorio

Montar el sistema y esperar el paso del satélite de acuerdo a la predicción del programa antes mencionado.

Tomar o descargar los datos durante el paso del satélite en nuestro territorio en el tiempo necesario para dicha acción.

El programa para predecir los pasos de satélite por nuestro medio se determina el denominado Gpredict, mismo que es instalado en el sistema operativo de Ubuntu siguiendo la secuencia de los comandos que a continuación se detallan.

```
sudo apt update.
```

Este paso es únicamente para actualizar el SO y en el siguiente comando se procede a instalar la aplicación requerida.

```
sudo apt install gpredict
```



```

claudio@claudio-Latitude-E4310: ~
Archivo editar Ver Buscar Terminal Ayuda
claudio@claudio-Latitude-E4310:~$ sudo apt install gpredict
[sudo] contraseña para claudio:
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias
Leyendo la información de estado... Hecho
gpredict ya está en su versión más reciente (2.0-4).
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 3 no actualizados.
0 no instalados del todo o eliminados.
Se utilizarán 0 B de espacio de disco adicional después de esta operación.
¿Desea continuar? [5/n] 5
Configurando gpsd (3.27-5) ...
creating/updating gpsd user account...
Job for gpsd.service failed because the control process exited with error code.
see "systemctl status gpsd.service" and "journalctl -xe" for details.
invoke-rc.d: initscript gpsd, action "start" failed.
● gpsd.service - GPS (Global Positioning System) Daemon
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/gpsd.service; indirect; vendor preset: en
   Active: failed (Result: exit-code) since Thu 2022-09-08 22:43:15 -05; 11ms ago

```

Fig. 1: Instalación de Gpredict en linux.

Luego de instalar y ejecutar el programa se procede a realizar la configuración para el lugar en donde nos encontramos y el mismo nos ayude a advertir el momento en el que pasara el satélite en esta ocasión nos concentramos únicamente en elegir el NOAA 15, NOAA 18 y NOAA 19, además es importante verificar las actualizaciones tanto de ubicación como de la hora mismos que deberán estar sincronizados para que puedan funcionar de manera colectiva.

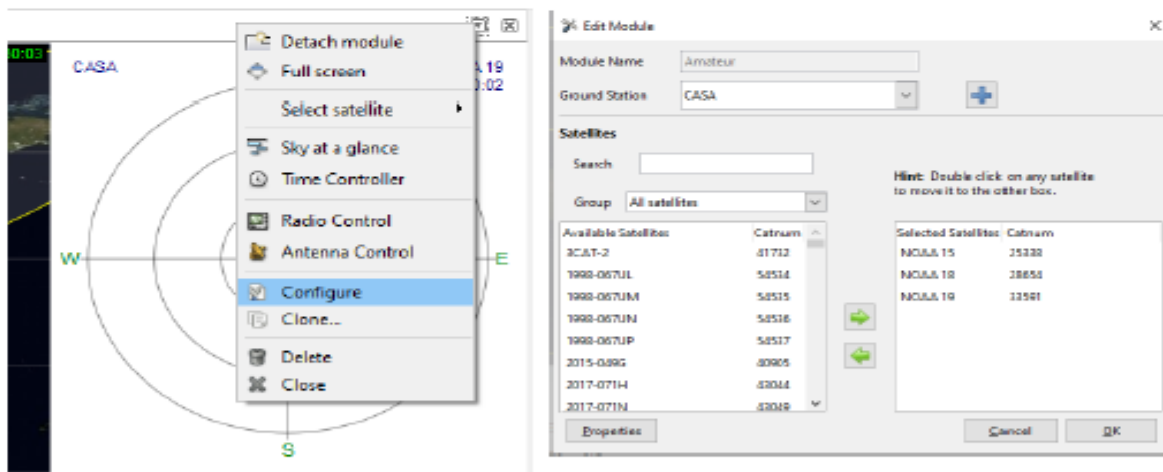


Fig. 2: Configuración de la ubicación y selección de los satélites.

Del mismo modo podremos cambiar las configuraciones en “Preferences” mismo que se encuentra en el menú de “File” y a continuación, nos muestra la siguiente pantalla en la misma indica información del lugar en el mundo en el cual se encuentra el/los satélites que han sido previamente escogidos para monitorización en tiempo real, en este caso nos enfocamos en la red NOAA como son los satélites NOAA 15, NOAA18 y NOAA 19. Del mismo modo se puede obtener la información de los próximos pasos que realizara el

satélite por nuestro domicilio, en este caso es necesario ingresar a la información que detalla en cada uno de los casilleros para lo cual se debe dar un clic derecho en el satélite y posteriormente seleccionar ver siguientes pasos en este caso se abrirá un cuadro de dialogo y al seleccionar en polar nos muestra la calidad de señal que obtendremos de acuerdo al lugar de recorrido del satélite.

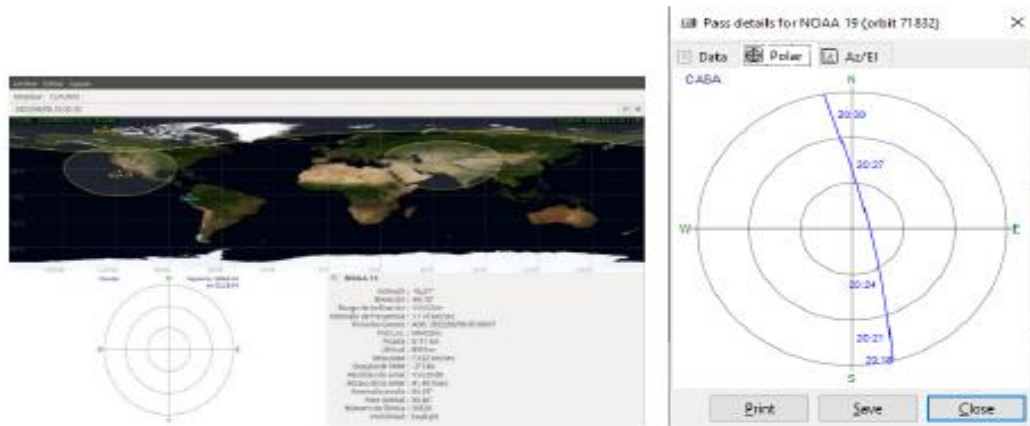


Fig. 3: Pantalla de información de G-predict y de paso del satélite

También se procede a instalar las aplicaciones complementarias para poder grabar los datos descargados de la red satelital y es el denominado WXtoImg, el mismo se encuentra en su página oficial, luego de descargarlo ubicando para el sistema operativo y la versión se procede a instalar.

La página de información del programa nos brinda la asistencia para poder realizar la instalación del programa, luego de seguir los pasos necesarios se procede a configurar y de primera se ubica las coordenadas en las que nos encontramos, en este caso la ciudad de Loja en el menú de opciones y sub menú locación de la estación terrestre, sin embargo el programa trabaja de modo que reconocerá la ciudad en base un número de habitantes por lo cual es necesario colocar las ciudades más grandes del Ecuador, las mismas que se encuentren lo más próximas a la provincia de Loja, obteniendo de este modo mayor precisión al momento de descargar los datos, colocando la ciudad de Cuenca y Ecuador para luego dar clic en el botón inferior automáticamente colocara los valores de latitud y longitud y de ser necesario se puede ingresar el valor sobre el nivel del mar que en nuestro caso estará sobre los 2100 m.s.n.m.

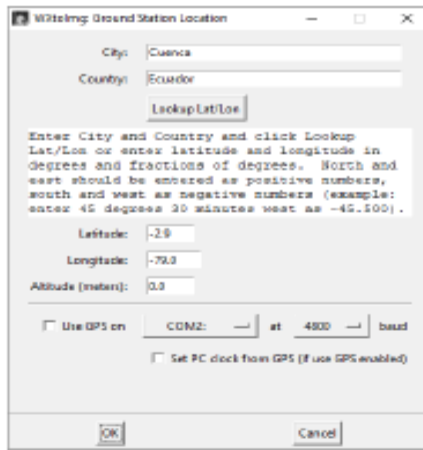


Fig. 4: Configuración de WXtoImg

A continuación, se procede a configurar los satélites que se encuentran disponible para nuestro trabajo en la configuración active APT satélites se procede a colocar la frecuencia de operación y se selecciona los satélites que de momento se encuentran en órbita.

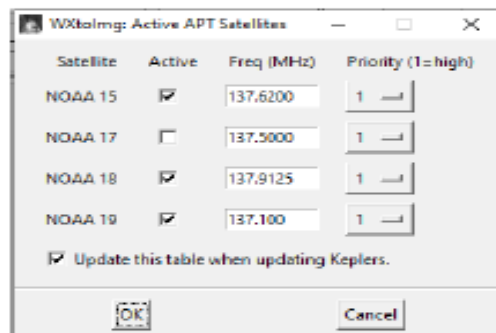


Fig. 5: Configuración de los satélites que están en órbita.

Luego es importante actualizar los Kepler del programa mismo que se debe realizar manualmente

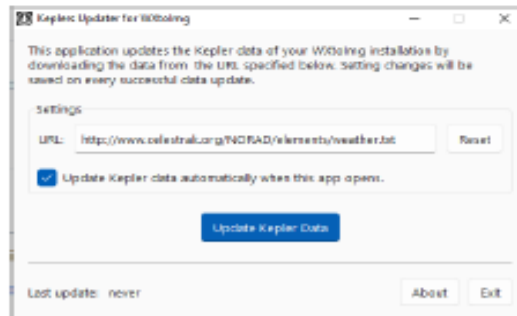


Fig. 6: Actualización de Keplers.

A continuación se procede a instalar también la aplicación denominada SDR-Sharp o también conocida como AIRSPY, aquí tomamos en consideración el equipo con el cual

trabajaremos para realizar la escucha del satélite, tomar en cuenta el ancho de banda y la frecuencia de operación de cada uno de los satélites y la hora en la que se encuentra sobre nuestra ubicación, el ancho de banda de descarga se procede a configurar como 32 KHz puesto que la señal que se desea escuchar no cuenta con un ancho de banda superior.

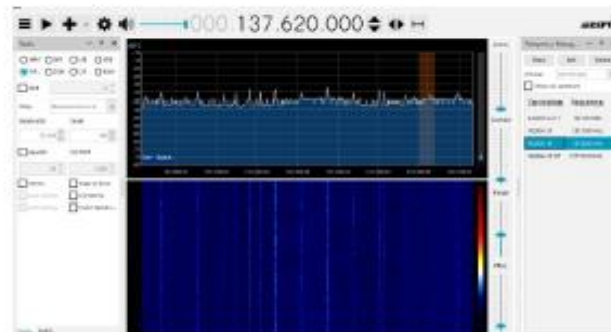


Fig. 7: SDR Sharp pantalla principal.

La configuración de audio se la realiza de modo que se este programa se comunique con el programa de decodificación a través de "Virtual Cable"



Fig. 8: Configuración de audio en SDR Sharp.

Procedimiento para configurar la entrada de audio en WXtoImg.

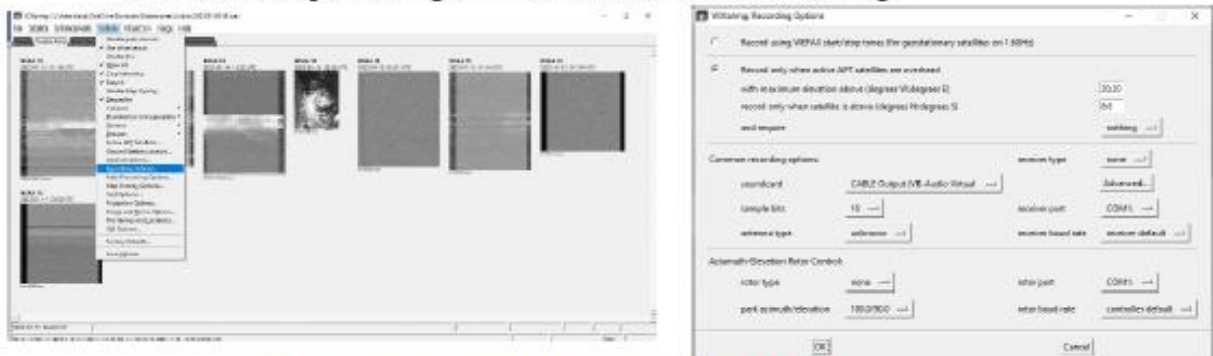


Fig. 9: Configuración de la entrada de audio en WXtoImg

A partir de este momento se procede a verificar la configuración de audio y se puede verificar los próximos pasos del satélite, y el programa brinda la posibilidad de verificar hasta cierto número de días y de este modo esperar el mejor paso para proceder a obtener una imagen de buena calidad.

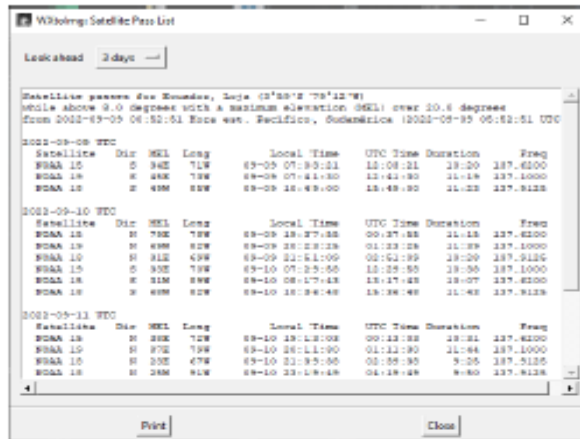


Fig. 10: Vista de los pases del satélite por el lugar preconfigurado.

Es necesario considerar la configuración de los programas y la necesidad de utilizar aplicaciones con el denominado “Virtual Cable” el mismo se desempeña y toma la función como si se tratara de un cable físico el mismo que se puentea entre el programa que se sintoniza en la frecuencia que emite el satélite (SDR Sharp) y el programa que se encuentra en la capacidad de escuchar dicho audio y convertirlo a imagen (WxToImag).

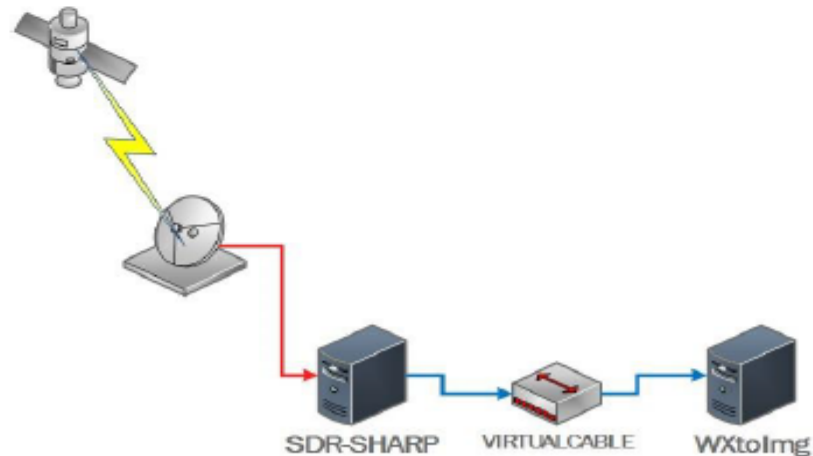


Fig. 11: Diagrama de conexión entre SDR-Sharp-Virtual Cable-WxToImag.

Ahora resta únicamente esperar el paso del satélite para poder obtener los datos del mismo.

7. MARCO TEÓRICO:

- **Comunicación satelital.**

Si bien tenemos claro que el concepto de comunicación se trata de trasladar un mensaje que se origina en una fuente y este se transmite a un destinatario por medio de una serie de bits o de forma analógica y a través de un canal de comunicación y que por lo general entre el transmisor y el receptor están a cierta distancia que puede variar entre centímetros y llegando ahora incluso a cientos de kilómetros como en este caso se trata de las comunicaciones satelitales o en algunos casos también se suele llamar comunicaciones espaciales, esto en razón que se ha alcanzado un nivel tecnológico a tal punto de colocar un satélite en el espacio y una vez puesto en órbita utilizarlo para las distintas aplicaciones como es el caso de la red de Satélites NOAA por ejemplo.

- **Satélites NOAA**

Los satélites NOAA son de órbita polar, de órbita baja (LEO, por sus siglas en inglés, Low Earth Orbit) y giran en torno a la Tierra unas 14 veces al día y la altura orbital es de 830 a 890 Kilómetros de altura, cubriendo un ancho aproximado de 3000 kilómetros. (Uranito & Cornejo, s.f.)

- **Historia**

Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés, *National Oceanographic and Atmospheric Administration*), en 1970 puso en órbita el primero de una serie de satélites. Los satélites NOAA siguen orbitas heliosincrónicas a unos 850km sobre la Tierra y escanean todo el planeta en 24h. (esa, s.f.)

De acuerdo a (esa, s.f.) los satélites modernos constan de radiómetros avanzados de resolución muy elevada (AVHRR, por sus siglas en inglés, *Advanced Very High Resolution Radiometer*), este sensor escanea en 5 bandas espectrales diferentes, además de permitir confeccionar mapas de vegetación, la formación de nubes, medir la temperatura y la humedad de la atmósfera y de la Tierra.

Por otra parte, el sensor AVHRR además de determinar parámetros atmosféricos y climáticos, también se suele utilizar para estudios geológicos, estudios geográficos, detección de incendios forestales y muchos otros. (Ciafardini, s.f.)

Según (Ciafardini, s.f.) el 6 de febrero de 2009, fue lanzado el satélite NOAA N Prime, que llegó a denominarse NOAA19, una vez que alcanzó su órbita, su vida útil fue prevista hasta el año 2013. En la actualidad además del NOAA19, se encuentran activos y enviando información en formato APT (por sus siglas en inglés, *Automatic Picture Transmission*) los satélites NOAA15, NOAA17 y NOAA18.

- **VHRR**

El radiómetro VHRR tiene como finalidad explorar la superficie de la tierra línea por línea; cada línea consiste en una serie de elementos de imagen o de píxeles. Para cada píxel, el radiómetro mide la energía radiada de las diversas gamas espectrales. Esta medida, se cifra y se transmite a la estación de tierra, para ser procesada. (es.allmetsat.com, s.f.)

- **Último cohete lanzado 2022**

En Florida el 1 de marzo de 2022, a las 4:38 pm, hora del este, a bordo de un cohete Atlas V541 de United Launch Alliance, desde la estación de la Fuerza Espacial en Cabo Cañaveral, la NASA lanzó exitosamente el Satélite Geoestacionario Operacional de Estudio del Medio Ambiente T (GOES-T) de NOAA. (NASA, 2022)

Cuando el satélite GOES T esté posicionado en una órbita geoestacionaria a unos 35.900 kilómetros (22.300 millas) sobre la Tierra, pasará a llamarse GOES 18. De acuerdo a (NASA, 2022) el satélite tiene como objetivo, ofrecer una cobertura continua de las condiciones meteorológicas y ambientales peligrosas en el hemisferio occidental, además también predice las condiciones meteorológicas en el espacio cerca de la Tierra que pueden interferir con la electrónica satelital, los sistemas de GPS y las comunicaciones de radio.

Estación receptora, y Proceso de escaneo de las imágenes

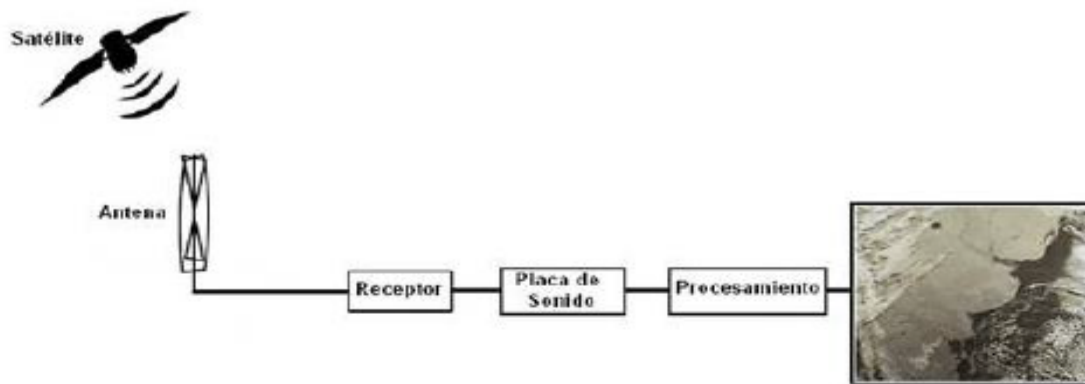


Fig. 12: Estación Recepción. Fuente: (Ciafardini, s.f.)

De acuerdo a la investigación de (Ciafardini, s.f.), mientras el satélite avanza sobre un determinado lugar, el sensor AVHRR para proveer las imágenes va realizando el escaneo del terreno en las distintas bandas espectrales, en una franja de 3000km de ancho, en ángulo recto con la trayectoria de la órbita, el comienzo y fin de la imagen están dados por la adquisición de señal y la pérdida de señal.

El satélite no almacena la información, sino que la envía directamente a la Tierra, en la banda de 137MHz, con modulación en frecuencia y con polarización circular derecha. La señal de RF es captada por la antena de la estación receptora (fig 1), mientras conforme pase el satélite (15 min, aprox.), luego de que la señal sea captada por la antena, esta es amplificada y demodulada por el receptor, el cual opera entre 137MHz y 138MHz, permitiendo así, sintonizar un satélite en particular. El receptor demodula la portadora de FM y entrega una sub-portadora en AM, la cual contiene la información a ser procesada para obtener la imagen. (Ciafardini, s.f.)

(Ciafardini, s.f.) de acuerdo a su investigación indica textualmente, que “La sub-portadora es un tono de 2400 Hz que aumenta su amplitud para transmitir el blanco y la disminuye para transmitir el negro, con una variación total del 4% del máximo. Esta señal se encuentra el rango de las señales de audio que pueden ser procesadas por la placa de sonido de cualquier computadora personal, por lo tanto, se utiliza dicha placa para realizar la conversión Analógico a Digital e ingresar los datos a una PC. La señal ingresada a la

placa de sonido se graba en un archivo .wav. Luego este archivo es decodificado por un software que genera la imagen. Existe software de distribución gratuita que permiten realizar esta decodificación.”

8. RESULTADOS OBTENIDOS:

Una vez que se cuenta con los programas configurados de acuerdo al sistema que se desea sintonizar es indispensable considerar o reconocer la señal del satélite, dado el caso que existen muchas señales en el medio y que se encuentran en frecuencias cercanas a la requerida.

Es importante verificar en el programa de predicción de paso de tal modo que concuerde con el momento en el cual se recibe la señal en la figura que se muestra a continuación se puede evidenciar y corroborar que la señal recibida es la adecuada puesto que el satélite se encuentra en el curso de nuestro alcance.

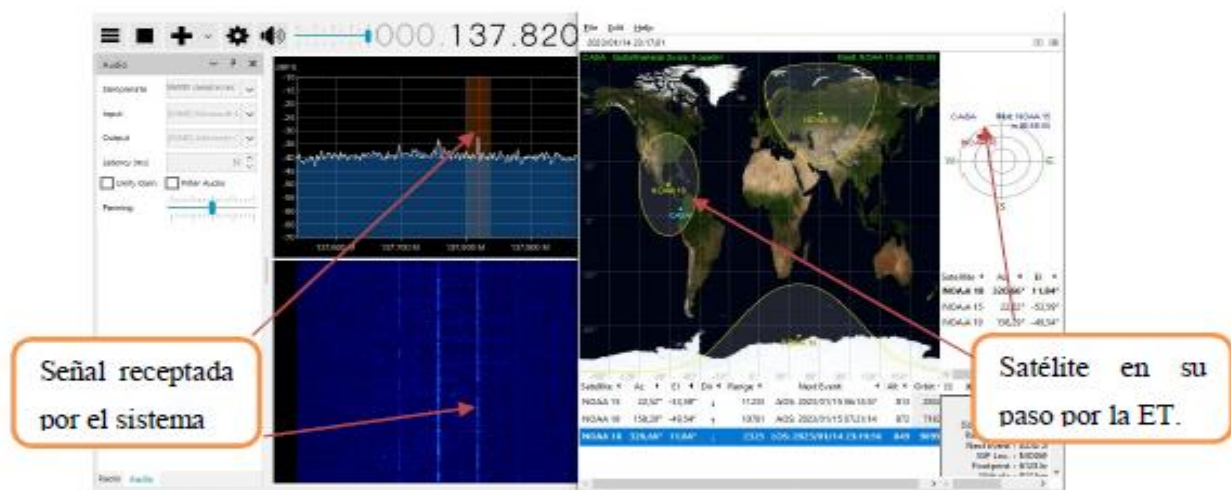


Fig. 13: Recepción de la señal en la estación terrestre.

Como se mencionó anteriormente es importante reconocer las señales que el sistema se encuentre detectando, en vista que existen muchas señales en el medio que se encuentran cumpliendo otra misión como pueden ser de carácter comercial o radio móvil, en la siguiente ilustración se muestra el espectro de una señal ajena a nuestro interés en este caso es una señal de radio móvil (radio taxi), sin embargo es claro que únicamente se puede observar al momento que realiza la comunicación, es decir no es constante por lo cual se puede concluir que no es la señal de nuestro interés pese a estar cercano a la frecuencia de operación de nuestro sistema.

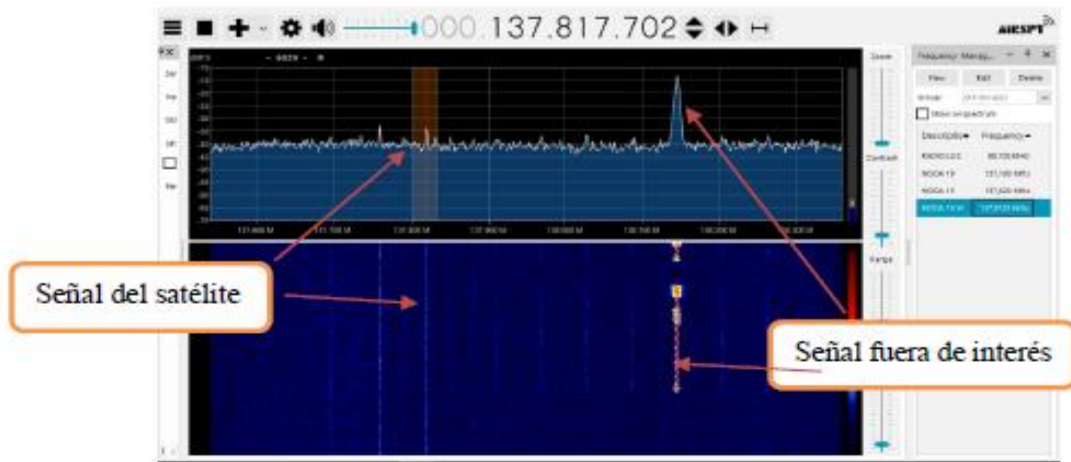


Fig. 14: Reconocimiento señales.

Una vez que las aplicaciones nos muestren el paso del satélite es importante empezar a tomar los datos desde el momento que se encuentre a nuestro alcance para obtener las imágenes. En este caso con el paso del Satélite NOAA 19, sin embargo, existen investigaciones que aconsejan realizar las tomas durante el paso del día para obtener mejores resultados y de manera exitosa.

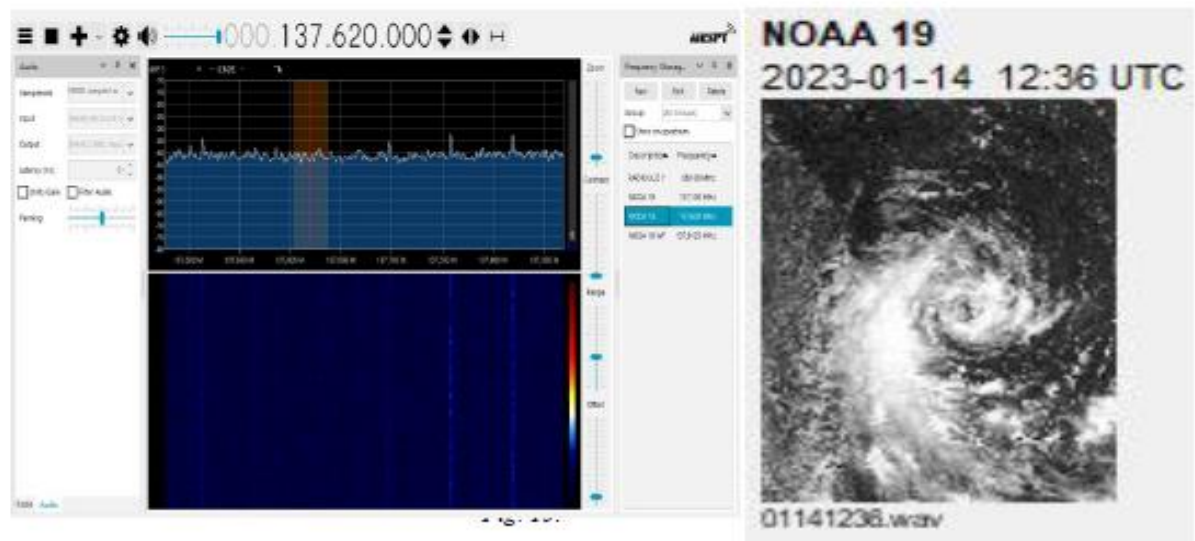


Fig. 16: Imagen obtenida del satélite.

A continuación, se procede a obtener la imagen desde el próximo satélite a pasar en este caso el NOAA 18

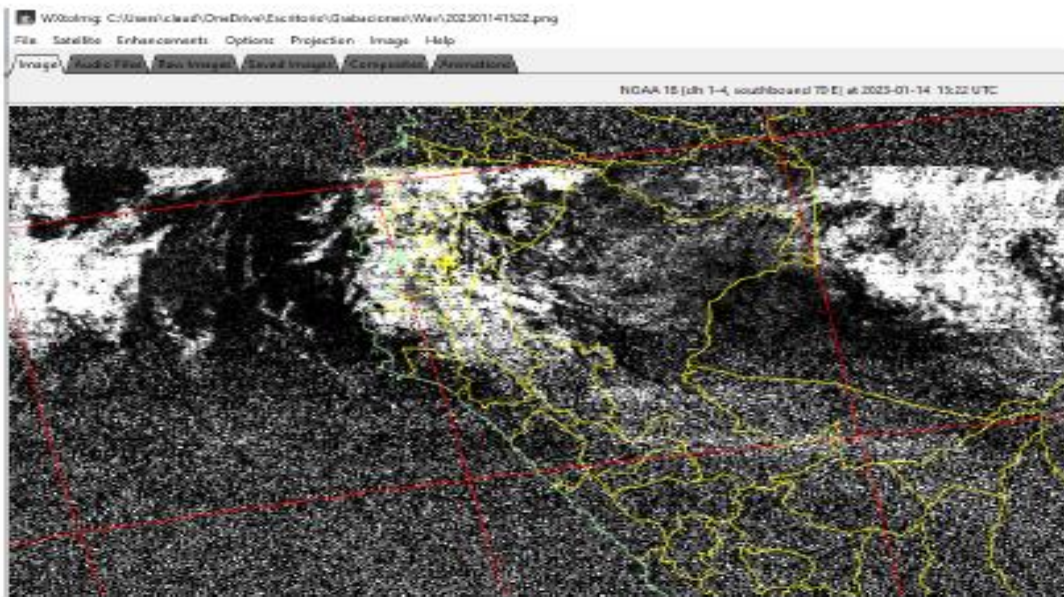


Fig. 17: Obtención de imagen del NOAA 18.

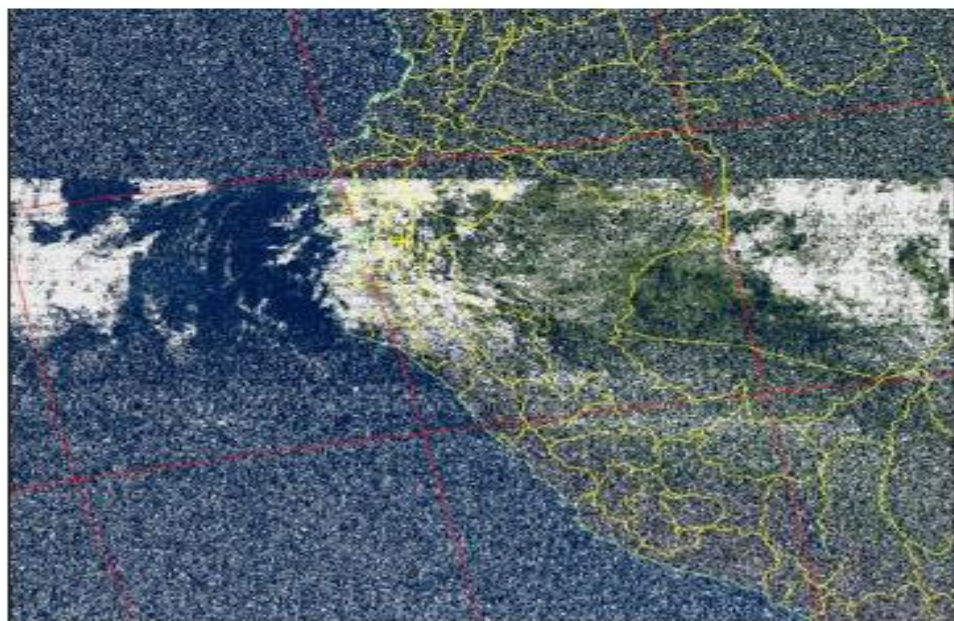


Fig. 18: Imagen obtenida y filtrada.

9. DISCUSIÓN:

La presente practica se lo realiza en base a varios conocimientos tanto de carácter técnico y teórico, en vista que se requiere la configuración e instalación de programas avanzados y los mismos deben estar sincronizados ya sea entre ellos de manera local o en el ordenador ya este físico o virtual y también se debe considerar que se debe sincronizar en algunos casos con servidores externos como, para actualizar los keplers del programa de decodificación o en Gpredict que se conecta a un servidor para realizar la actualización.

Es importante tomar en cuenta el momento adecuado para iniciar a grabar, para lo cual en este caso se ha realizado muchos intentos de tal modo que se logre afinar al programa de sintonía en su ancho de banda y se define que se puede obtener buenos resultados con un ancho de banda si se quiere decir muy pequeño en relación a otras aplicaciones (como por ejemplo sintonización de radio de que por sobre los 100 a 150Khz), por lo tanto se ha ido calibrando o mejorando la calidad de recepción de la señal.

La duración del paso del satélite por la estación terrestre va a depender mucho del momento que se realizará el paso, de tal modo que sea perceptible para nuestro sistema, en algunos casos dependerá de la inclinación de paso, así por ejemplo en la siguiente imagen se muestra dos tipos de pasos del satélite, en el mismo es muy fácil decidir en cual se puede obtener un resultado mas adecuado a nuestra necesidad.

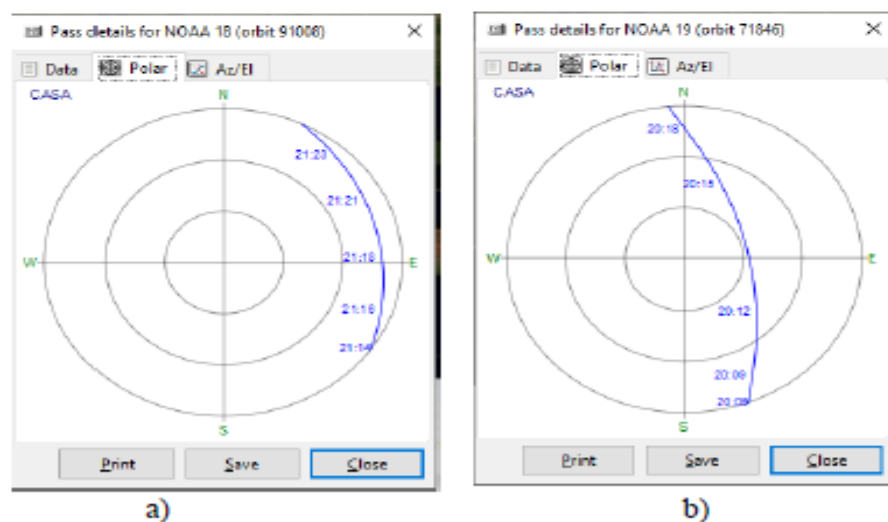


Fig. 19: Pasos de satélite por distintos ángulos en referencia a la estación terrestre.

10. CONCLUSIONES:

- Se concluye que es posible realizar la escucha de la red de satélites NOAA con un sistema en el que se puede utilizar equipos de muy bajo costo en relación a una estación terrestre de análisis avanzado, en vista que lo más difícil de acceder llegaría a ser la obtención del equipo, una vez que se cuente con el SDR es solo cuestión de manejar correctamente las configuraciones en el computador y se completa el sistema sin necesidad de equipos muy avanzados.
- La comunicación satelital ha avanzado tecnológicamente a tal punto que se ha vuelto indispensable en nuestro diario vivir existen comunicaciones para traslado de datos, audio e incluso existen satélites que brindan servicios de telefonía y televisión, haciendo posible que se pueda llegar hasta puntos dentro que en algún momento se creía inalcanzable del globo terrestre, también considerar que existen un sin número de aplicaciones como geolocalización, predicción del clima etc. Etc.
- La tecnología de la red NOAA para el procesamiento de datos está basada en la obtención de imágenes del planeta a través de un radiómetro avanzado de alta definición con procesamiento a bordo y envió hacia la estación terrestre por APT.

11. RECOMENDACIONES:

- Verificar en todos los programas a utilizar las configuraciones tanto de la ubicación y hora de los mismos que deben estar sincronizados.
- Utilizar una antena adecuada y optimizar la transmisión de la señal por el canal que se comunica entre la antena y el equipo SDR, realizar de mejor manera el acople de impedancias.
 - Se debe tomar en cuenta el tipo de señal que estamos intentando obtener en vista que en el espectro se encuentran varias señales y si por error se llega a sintonizar una señal que no cuenta con la información no se obtendrá ningún resultado para nuestra práctica.

12. PREGUNTAS DE CONTROL:

- **Cuantos satélites actualmente tiene activos NOAA**
Actualmente están activos los satélites NOAA19, NOAA15, NOAA17 y NOAA18, siendo el NOAA19 el primero en lanzarse, con un pronóstico de vida útil, hasta el 2013

- **En que banda envía la información el satélite NOAA**

El satélite envía la información directamente a la Tierra, en la banda de 137MHz.

- **Durante cuánto tiempo la antena de la estación receptora capta la señal**

La señal de RF es captada por la antena de la estación receptora, mientras el satélite se encuentre al alcance y conforme pase el mismo (8,8 minutos aproximadamente)

13. BIBLIOGRAFÍA:

Ciafardini, J. P. (s.f.). *catedra.ing.unlp.edu.ar*. Obtenido de

<https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sistcom/Imagenes%20satelite/index.htm>

es.allmetsat.com. (s.f.). Obtenido de <https://es.allmetsat.com/satelite-noaa.phpesa>. (s.f).

www.esa.int. Obtenido de

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMEX4E3GXF_0.html#:~:text=Los%20sat%C3%A9lites%20NOAA%20m%C3%A1s%20modernos,atm%C3%B3sfera%20y%20de%20la%20Tierra.

NASA. (02 de 03 de 2022). *ciencia.nasa.gov*. Obtenido de <https://ciencia.nasa.gov/la-nasa-y-united-launch-alliance-lanzan-goest-de-la-noaa>

Uranito, A., & Cornejo, G. (s.f.). *luldz.com.ar*. Obtenido de

<http://www.luldz.com.ar/satelites-meteorologicos-noaa>

Anexo 11. Certificación de traducción del resumen

Loja, 17 de julio de 2023

Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS

CERTIFICO:

Yo, Karina Yajaira Martínez Luzuriaga con cédula de identidad Nro. 1104902679, Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Inglés por la Universidad Técnica Particular de Loja, con número de registro 1031-2022-2574017 en la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, he traducido al idioma inglés el resumen del trabajo de titulación denominado "Implementación de un laboratorio de Radio Definida por Software para prácticas de aprendizaje basado en tarjetas de bajo costo" elaborado por el Sr. Claudio Juventino Banegas Valle, egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones con 1104414865.



Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

C.I. 1104902679

REGISTRO SENESCYT N°: 1031-2022-2574017