

CONESCAPANHONDURAS2025paper158.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477700610

Submission Date

Jul 31, 2025, 7:23 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 6:37 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper158.pdf

File Size

723.5 KB

6 Pages




3,310 Words

17,652 Characters

28% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 28%  Internet sources
- 3%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 28%  Internet sources
- 3%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	47143027ia.blogspot.com	3%
2	Internet	documentop.com	3%
3	Internet	www.transparencia.gob.sv	2%
4	Internet	www.comtelca.int	2%
5	Internet	doku.pub	2%
6	Internet	crecj.org	2%
7	Internet	pdfcookie.com	1%
8	Internet	hmong.es	1%
9	Internet	www.slideshare.net	1%
10	Internet	explainedy.com	1%
11	Internet	omarinio.blogspot.com	<1%

12	Publication	Ali Reyes, Osmin Larreynaga, Manuel Pleites, Alejandra Martinez, Gabriel Vasque...	<1%
13	Internet	oa.upm.es	<1%
14	Internet	dokumen.pub	<1%
15	Internet	dspace.ucacue.edu.ec	<1%
16	Internet	red.uao.edu.co	<1%
17	Internet	vsip.info	<1%
18	Internet	www.coursehero.com	<1%
19	Internet	www.ucbcba.edu.bo	<1%
20	Internet	cip.org.pe	<1%
21	Internet	www.goconqr.com	<1%
22	Internet	nanopdf.com	<1%
23	Internet	vdocuments.mx	<1%
24	Internet	actividad1012.blogspot.com	<1%
25	Internet	livrosdeamor.com.br	<1%

26	Publication	Ernesto Alonso Arias-Argueta, David Isaí Orozco-Mejía, Werner David Meléndez-V...	<1%
27	Internet	inba.info	<1%
28	Internet	openaccess.uoc.edu	<1%
29	Internet	ri.ues.edu.sv	<1%
30	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
31	Internet	prezi.com	<1%
32	Internet	qdoc.tips	<1%
33	Internet	slidetodoc.com	<1%

Sistemas de Radio Definido por Software (SDR)

Abstract— The following document is presented as a practical academic approach to the telecommunication systems that are implemented via software by using a personal computer, systems which they go as Software Defined Radio by applying knowledge about three commonly used modulation techniques.

Keywords— GNU Radio, SDR, AM Modulation, FM Modulation, ASK Modulation

I. INTRODUCCIÓN

Se entrega este documento con el fin de aplicar conocimientos adquiridos mediante el currículo de Ingeniería Eléctrica, en el campo de las telecomunicaciones. Con esto en cuenta, sumado a las condiciones que actualmente rodean a la Universidad de El Salvador y las condiciones mundiales de la nueva normalidad, se aprovecha a buscar una implementación de conocimientos que tenga la flexibilidad de aplicación, razón por la cual se abordan los sistemas de radio definido por software o por sus siglas, SDR.

II. CONSIDERACIONES INICIALES

Se toma como punto de inicio y como base de nuestro trabajo la idea de tener a disposición una manera de poder realizar prácticas sobre sistemas de transmisión/recepción por radio tomando en cuenta las condiciones globales y académicas actuales, para lo cual se decide el uso de software especializado para este tipo de aplicaciones.

Debido a su disponibilidad tanto para diferentes sistemas operativos y cero costos de licencias debido a que es software de código abierto, se decide usar GNU Radio para las implementaciones a realizar, las cuales serán basadas en este programa y consistirán en simulaciones de sistemas de transmisión/recepción utilizando 3 tipos de modulación ampliamente conocidos, entre ellos 2 modulaciones analógicas como lo son la modulación por frecuencia (FM), modulación por amplitud (AM) y un método de modulación digital, como lo es la modulación por desplazamiento de amplitud (ASK).

Habiendo realizado la selección del software a utilizar, se puede profundizar en las características del mismo, empezando por como se ha mencionado anteriormente, que es un software de código abierto sin costo monetario alguno que provee bloques de procesamiento de señal para implementar radios por software [1]. Este software puede ser utilizado ya sea con hardware especializado para la implementación práctica de sistemas de radio o también sin uso de hardware como un ambiente de simulación lo cual provee una interfaz ampliamente utilizada en ambientes académicos, en la industria, investigaciones y aficionados para poder realizar investigaciones e implementaciones de sistemas reales de radio.

Todas estas características anteriormente descritas son la descripción de un SDR (Radio Definido por Software), que esencialmente es un sistema de radio que realiza el procesamiento de señal requerido por medio de software en vez de requerir circuitos físicos dedicados a ello; lo cual es una importante ventaja en diversos

ambientes debido a la versatilidad que se presenta al no tener la necesidad de adquirir componentes necesarios para aplicaciones físicas, mientras elimina también los riesgos y costos asociados a las fallas de estos equipos físicos especializados, ya sea por defectos propios de los componentes o por fallas inducidas por errores humanos en sus conexiones que deriva en que estos dispositivos se vuelvan inoperables.

Una consideración clave para el desarrollo de este documento y de nuestro trabajo es que no estaremos utilizando ningún componente físico en nuestra implementación, sino que todo será realizado por medio de software, utilizando GNU Radio como un entorno de simulación para la implementación de los sistemas de transmisión por radio y los métodos de modulación propuestos.

III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Las técnicas de modulación a usar serán fundamentalmente basadas en modulación analógica, usando la modulación en amplitud, o comúnmente conocida como AM; junto a la modulación por frecuencia, o comúnmente conocida como FM. Así mismo, se abordará una técnica de modulación digital la cual es la modulación por desplazamiento de amplitud, o conocida como ASK.

Empezaremos el fundamento teórico de las técnicas analógicas con las técnicas de modulación de amplitud. Para nuestra aplicación se utilizarán las siguientes técnicas:

- Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida
- Doble Banda Lateral con Portadora Total (AM Comercial)
- Banda Lateral Única Superior
- Banda Lateral Única Inferior

En el orden presentado, se presentan los diagramas de bloques pertenecientes a cada tipo de modulación.

Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida (DSB-SC): es una transmisión en la que las frecuencias producidas por la

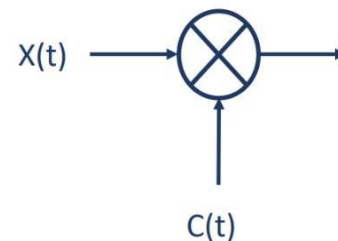


Figura 1. Punto de multiplicación entre fuente de entrada y portadora.

por completo. [2] Así mismo, presenta la característica de modulación de amplitud (AM) están espaciadas simétricamente por encima y por debajo de la frecuencia de la portadora y el nivel de la portadora se reduce al nivel práctico más bajo, idealmente suprimido que la portadora de onda no se transmite; por lo tanto, gran parte de la potencia se distribuye entre las bandas laterales, lo que implica un aumento de la cobertura en DSB-SC, en comparación con AM, para el mismo uso de energía. Ya que es con portadora suprimida la fuente de entrada será multiplicada directamente por la portadora y enviada al receptor.

Esta técnica de modulación presenta el siguiente diagrama de bloques en su estructura transmisor – receptor:

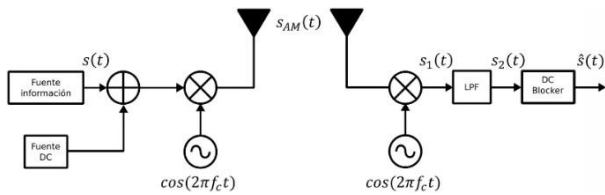


Figura 2. Sistema transmisor – receptor DSB-SC coherente.

Doble Banda Lateral con Portadora Total (AM Comercial) (DSB-FC): Este tipo de modulación es muy similar al anteriormente ilustrado, con la diferencia que, en este, la portadora sí se conserva en el proceso de modulación. Una diferencia fundamental se puede observar desde el inicio de la modulación ya que al ser con portadora total en el lado del receptor debemos agregar un bloque de suma después del primer multiplicador para cumplir la ecuación siguiente:

$$A_c \cos \omega_c t + A_c \mu x(t) \cos \omega_c t \quad (1)$$

Para ilustrar el siguiente punto de entrada en el diagrama de bloques:

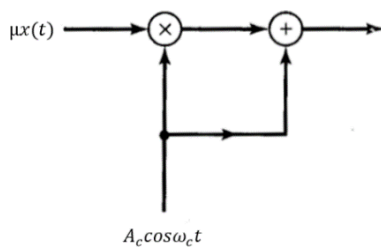


Figura 3. Punto de multiplicación y suma entre fuente de entrada y portadora.

Esta técnica de modulación presenta el siguiente diagrama de bloques en su estructura transmisor – receptor:

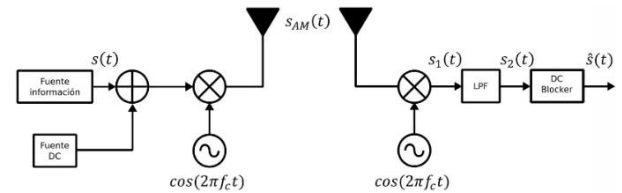


Figura 4. Sistema transmisor – receptor DSB-FC coherente.

Banda Lateral Única (SSB): La banda lateral única es una forma especial de modulación de amplitud (AM). Además de simplemente codificar información de voz con variaciones en la amplitud de la señal o potencia, SSB consume un poco menos de la mitad del ancho de banda de una señal AM de «doble banda» completa.[3] La diferencia entre la modulación de banda única superior y banda única inferior será la transmisión de la banda lateral, en la cual dependerá si se usa la banda lateral a la izquierda de la frecuencia central de la portadora (banda inferior) o la banda lateral a la derecha de la frecuencia central de la portadora (banda superior). Una ventaja de este tipo de modulación es que, al ser su ancho de banda más estrecho, permite una mejor operación que es menos susceptible a las interferencias ya que permite más señales de forma simultánea.

Se ilustra el diagrama de bloques de un sistema de modulación de banda lateral única, en la cual se definirá si se obtiene una banda lateral superior o inferior suprimida dependiendo del filtro de banda lateral usado, ya que este filtro toma la función de estrechar el ancho de banda suprimiendo una banda lateral.[4]

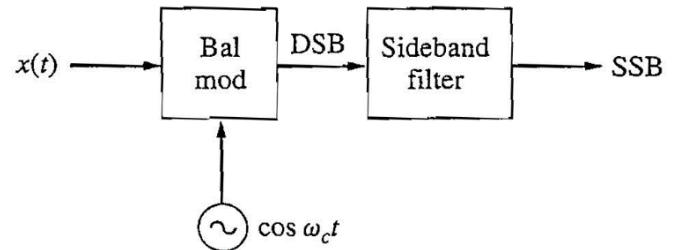


Figura 5. Diagrama de bloques para filtrado de banda lateral.

La similitud entre ambas técnicas de modulación se puede expresar también por medio de la ecuación de la señal, en la cual el signo positivo produce la banda superior y el signo negativo la banda inferior.

$$x_c(t) = \frac{1}{2} A_c A_m \cos (\omega_c \pm \omega_m) t \quad (2)$$

Continuando con la modulación en frecuencia (FM), tenemos como técnicas a estudiar:

Modulación en Frecuencia de Banda Ancha y de Banda Angosta: En este caso la señal modulada mantendrá fija su amplitud y el parámetro de la señal portadora que variará es la frecuencia, y lo hace de acuerdo a como varíe la amplitud de la señal moduladora. [5]

Es especialmente relevante definir la expresión de una señal modulada en frecuencia, por lo que se tiene la siguiente ecuación

para ello:

$$v(t) = V_p \sin \left(2\pi f_p t + \frac{\Delta f}{f_m} \cos(2\pi f_m t) \right) \quad (3)$$

De la cual, vamos a destacar un parámetro en especial llamado índice o coeficiente de modulación, que viene dado por m_f en la expresión mencionada arriba, y se le denomina como tal a la razón entre la desviación de frecuencia efectiva respecto de la desviación de frecuencia máxima permisible, con la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de modulación} = \frac{\Delta f_{\text{efectiva}}}{\Delta f_{\text{máxima}}} \cdot 100 \quad (4)$$

De igual manera que en AM ya a diferencia de lo que ocurre para FM con $m_f > \pi/2$, por cada frecuencia moduladora aparecen dos frecuencias laterales, una inferior y otra superior, a cada lado de la frecuencia de la señal portadora y separadas en FM de la frecuencia de la portadora. Dado lo limitado del ancho de banda cuando $m_f < \pi/2$, se la denomina FM de banda angosta, mientras que las señales de FM donde $m_f > \pi/2$, se las denomina FM de banda ancha.

Habiendo definido ambas técnicas de modulación analógicas, se procede a abordar la técnica digital objetivo; la cual es la modulación por variación de amplitud, o por sus siglas en inglés ASK. Esta técnica Es una modulación de amplitud donde la señal moduladora es digital. Los dos valores binarios (0 y 1) se representan con dos amplitudes diferentes y es usual que una de las dos amplitudes sea cero; es decir uno de los dígitos binarios se representa mediante la presencia de la portadora a amplitud constante, y el otro dígito se representa mediante la ausencia de la señal portadora, en este caso la frecuencia y la fase se mantiene constante.

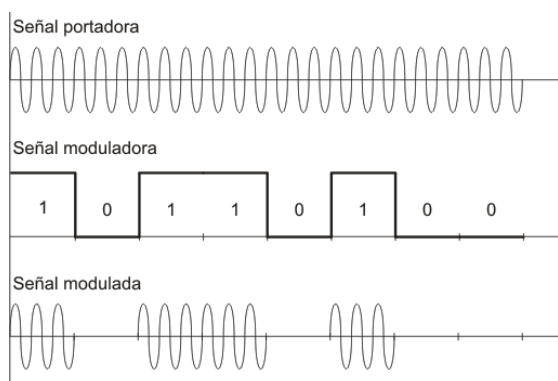


Figura 6. Modulación ASK con portadora digital.

La modulación en ASK no es otra cosa que una variante de la modulación en AM que se adapta perfectamente a las condiciones de los sistemas digitales, además de que les permite trabajar sobre una sola frecuencia de transmisión en vez de tener que lidiar con pulsos cuadrados que contienen componentes en todas las frecuencias del espectro. Aunque también, se consideran sus inconvenientes, dentro de los

cuales se encuentra inconvenientes que los múltiplos de una frecuencia fundamental son inutilizables y que este tipo de sistemas son susceptibles al ruido. Esta técnica de modulación se ilustra en la figura 6.

IV. IMPLEMENTACIÓN

Para esta etapa de implementación de las técnicas de modulación, se procede a realizar el armado de los diagramas de bloque por facilidad dentro de GNU Radio. Esto debido a que a pesar de que el software soporta también entrada por código escrito en Python, nos resulta más conveniente el uso de la interfaz gráfica para la configuración de los sistemas buscados dentro de la interfaz gráfica del software. Esto facilita en gran medida la implementación no solo por la practicidad de la metodología sino también por la forma de comunicar errores de conexión, tipos de datos o configuración de los bloques que el software presenta.

Las implementaciones se muestran con los gráficos de bloque y las gráficas generadas por cada simulación al tener bloques configurados para poder observar los comportamientos de cada sistema en el dominio del tiempo (por medio de gráficas simples en el tiempo) y en el dominio de la frecuencia (por medio del uso de la FFT), para los cuales se muestran instancias de la onda sin modular y de la onda modulada.

a) Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida (DSB-SC). Basados en las Figuras 1 y 2 se procede a armar un diagrama de bloques para la simulación del sistema completo de receptor y emisor. Por fines ilustrativos se separan el bloque emisor y receptor de la siguiente manera:

Del lado del emisor, se tiene la señal de entrada que será multiplicada por la señal portadora:

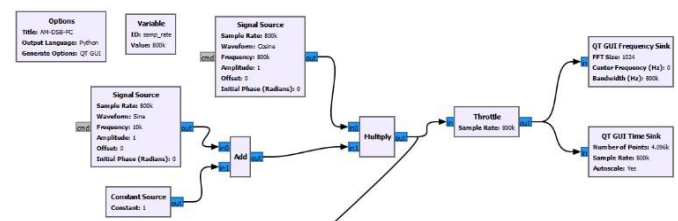


Figura 7. Sistema modulador AM DSBSC.

En el lado receptor tendremos el demodulador, que se encargará de llevar la señal transmitida modulada por un filtro pasa banda para poder recuperar el mensaje:

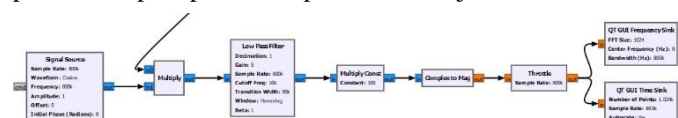


Figura 8. Lado receptor (demodulador) DSBSC.

Obteniendo los siguientes resultados con los bloques graficadores:

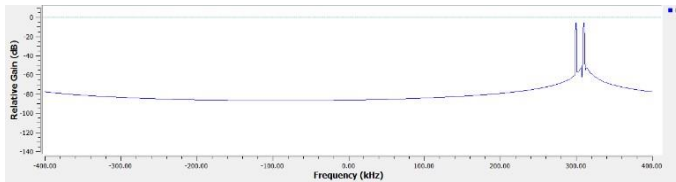


Figura 9. Señal modulada en el dominio de la frecuencia.

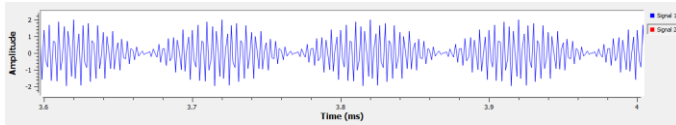


Figura 10 Señal modulada en el dominio del tiempo.

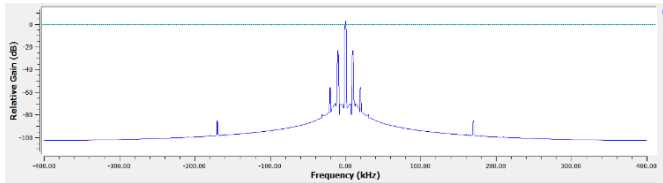


Figura 11. Señal demodulada en el dominio de la frecuencia

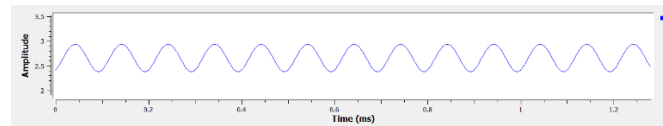


Figura 12. Señal demodulada en el dominio del tiempo.

b) Doble Banda Lateral con Portadora Completa (DSB-FC). Basados en las Figuras 3 y 4 se procede a armar un diagrama de bloques para la simulación del sistema completo de receptor y emisor. Nuestro lado receptor será el lado modulador donde definimos una frecuencia modulante de 5 kHz, una fuente constante de DC y multiplicamos por una fuente que lleva la frecuencia de la portadora de 1.5 MHz, la cual sumaremos nuevamente. Por fines ilustrativos se separan el bloque emisor y receptor de la siguiente manera:

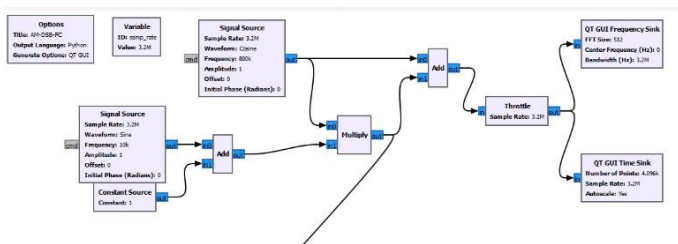


Figura 13. Sistema modulador AM Comercial

En el lado receptor, entonces, será puesto el demodulador el cual también posee la señal con la frecuencia de la portadora de 1.5 MHz que ahora pasará por un filtro pasa bandas y mostrará la señal mensaje resultante.

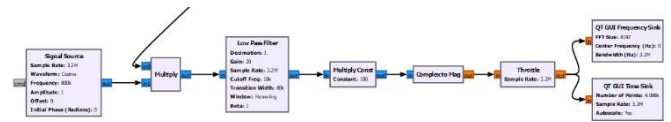


Figura 14. Sistema demodulador AM comercial.

En la etapa receptora ya no necesitamos agregar el bloque de suma porque el filtro pasa bandas se encarga de suprimir el segundo término de la portadora de la señal, mostrándonos solamente el mensaje enviado.

Los resultados obtenidos en el transmisor (modulador) son los siguientes:

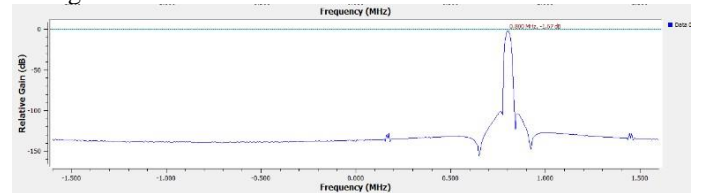


Figura 15. Señal modulada en el dominio de la frecuencia.

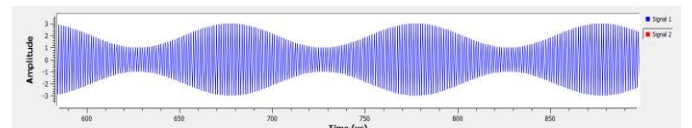


Figura 16. Señal modulada en el dominio del tiempo.

Vemos la señal modulada en el tiempo de frecuencia, en teoría, ya que la amplitud de la frecuencia moduladora y portadora son iguales a uno debería estar al 100% de modulación.

Los resultados obtenidos en el receptor (demodulador) son los siguientes:

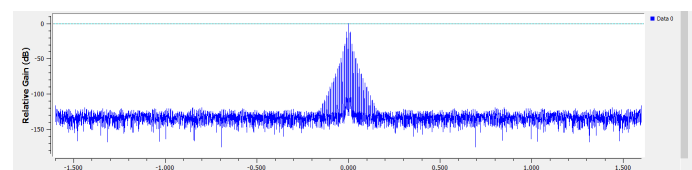


Figura 17. Señal demodulada en el dominio de la frecuencia.

Si observamos de cerca, vemos que la frecuencia central, de mayor amplitud, es la portadora y a sus extremos se encuentran las componentes iniciando en ± 10 kHz.

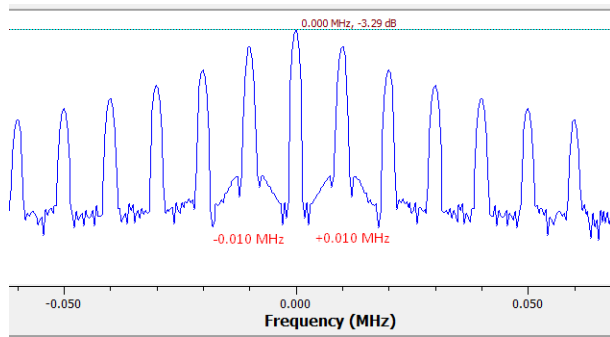


Figura 18. Espectro de la señal

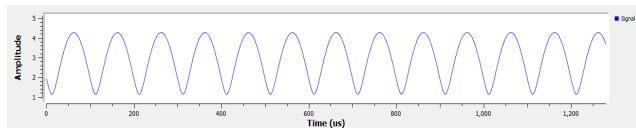


Figura 19. Señal demodulada en el dominio del tiempo.

f) Modulación en Frecuencia de Banda Ancha (WBFM). Por medio de los conceptos ilustrados en la concepción teórica del FM y con la ayuda de los bloques ya pre establecidos en GNU Radio, procedemos a armar nuestro sistema de la siguiente forma, el cual igualmente se separa en transmisor y receptor por facilidad de visualización. Así mismo, para estas transmisiones no se usan señales senoidales sino se realiza la transmisión de un archivo .wav.

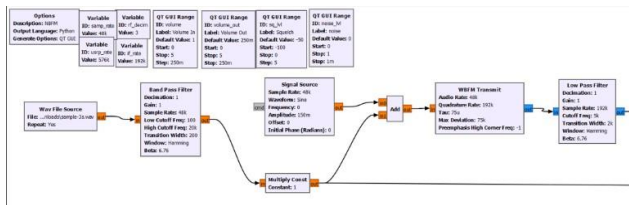


Figura 20. Modulador + Transmisor WBFM.

Así mismo, se muestra de igual manera el bloque receptor de nuestro sistema, este presenta una particularidad ya que se ha añadido un bloque de modelo de canal para poder simular el canal de transmisión, al cual se le ha configurado un control deslizante para regular el ruido presente en el canal.

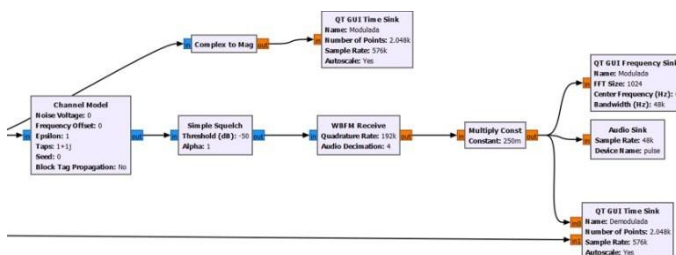


Figura 21. Demodulador + Receptor WBFM.

Cuya simulación, nos arroja los siguientes resultados en forma de gráfica:

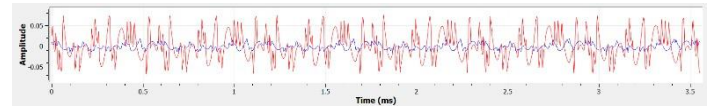


Figura 22. Señal mensaje (azul) + señal modulada (rojo) en canal.

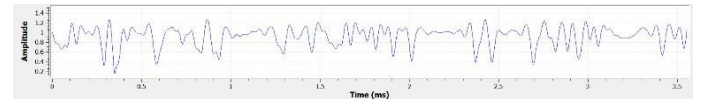


Figura 23. Señal demodulada en receptor en dominio del tiempo.

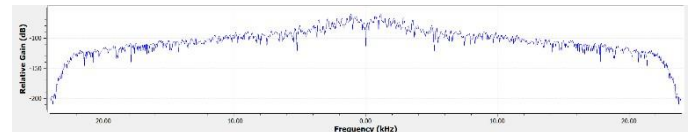


Figura 24. Señal demodulada en dominio de frecuencia

Modulación en Frecuencia de Banda Angosta (NBFM). De forma similar a la implementación de WBFM y con la ayuda de los bloques ya pre establecidos en GNU Radio, procedemos a armar nuestro sistema de la siguiente forma, el cual igualmente se separa en transmisor y receptor por facilidad de visualización. Así mismo, para estas transmisiones no se usan señales senoidales sino se realiza la transmisión de un archivo .wav y también se usa un modelo de canal para simular la entrada de ruido a la transmisión.

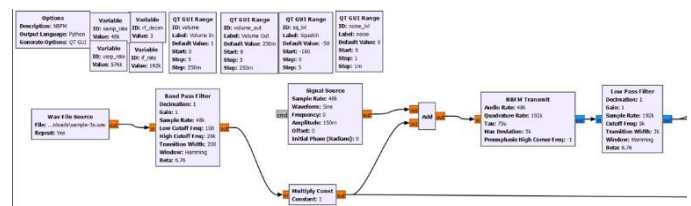


Figura 25. Modulador + Transmisor NBFM

Y se muestra en la siguiente figura el modelo demodulador + receptor de nuestro sistema WBFM

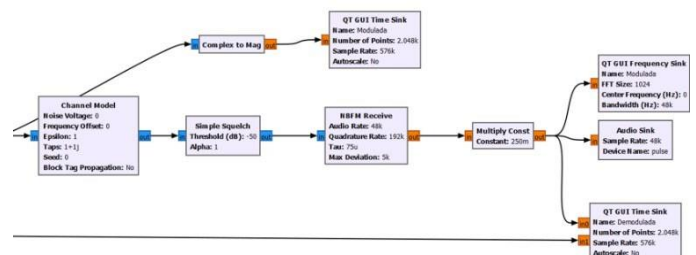


Figura 26. Demodulador + Receptor NBFM

Es evidente que ambos sistemas son prácticamente idénticos y la única diferencia que les separa es en los bloques de recepción/transmisión, que es en los cuales se incluyen las características mencionadas anteriormente que dan lugar a las diferencias entre los sistemas NBFM y WBFM.

La simulación de nuestro sistema NBFM da como resultado las siguientes gráficas:

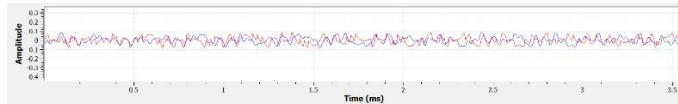


Figura 28. Señal mensaje (azul) + señal modulada (rojo) en canal.

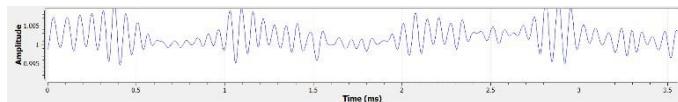


Figura 29. Señal demodulada en receptor en dominio del tiempo.

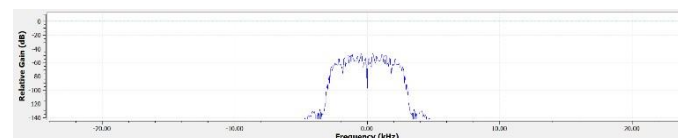


Figura 30. Señal demodulada en dominio de frecuencia

V. CONSIDERACIONES ADICIONALES.

El uso del HackRF una vez ha sido correctamente conectado y detectado por la computadora, es relativamente sencillo ya que bloques específicos dentro de GNU Radio nos permiten realizar la conexión directa para la transmisión/recepción de señales. Siendo esto usualmente hecho con bloques de la librería osqcom, sin embargo, ya que esta librería no se encuentra instalada por defecto en las versiones de GNU Radio 3.10+ es posible también usar otras alternativas como las librerías soapy; o si se desea es incluso posible generar las librerías propias de cada usuario tomando ventaja del proyecto de código abierto y de que el código del HackRF está escrito en Python.

En base a esto, si se deseara realizar alguna aplicación concreta para las técnicas presentadas, existen algunas regulaciones que se deben de respetar:

Para el AM comercial, el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) dicta que entre las frecuencias de 535kHz y 1,605kHz se permite la radiodifusión. Además, que con el objeto de evitar problemas de interferencia perjudicial, la separación mínima, (en la misma localidad), entre canales adyacentes deberá ser de 30kHz (art. 118 de la Ley de Telecomunicaciones). Por lo que la primera asignación será la frecuencia de 530 kHz, cuando el área de cobertura de una radiodifusora lo permita, se podrá reutilizar la frecuencia, en otra diferente área geográfica del País (artículo 118 Ley de Telecomunicaciones) [8].

Para el FM comercial se dicta de forma parecida en el NAF que se permitirá dentro de las frecuencias de los 88MHz a los 108MHz. De igual manera, con el objeto de evitar problemas de interferencia perjudicial, la separación mínima entre canales adyacentes deberá ser de 400 kHz, en la banda de 88-108 MHz, el área de

servicio de las estaciones de radiodifusión sonora de libre recepción está delimitada por el contorno de intensidad de campo de 54 dbu igual a 500 micro-volt/metro. USLV / Ley de Telecomunicaciones Artículos 116, 117 y 118 [9]

VI. CONCLUSIONES FINALES

Por medio de las implementaciones presentadas en el inciso IV de este documento, y las consideraciones del inciso V, es posible concluir que la utilidad de los SDR en el ambiente académico es invaluable, sobre todo en los tiempos actuales que debido a las condiciones sanitarias es posible tener la oportunidad de aplicar conocimientos de forma práctica a aplicaciones de la vida real, ya que los SDR pueden ir más allá de ser un simple entorno gráfico con capacidades de transmisión. Esto, sumado a que no representan costo alguno si se usan alternativas como GNU Radio los hace opciones aún más robustas y accesibles a cualquier individuo que desee ya sea aplicar sus conocimientos a medida de hobby, a cualquier estudiante que desee plasmar su pasión por los sistemas de telecomunicaciones o incluso a profesionales que deseen explorar nuevas rutas o procesos en su vida profesional cotidiana. Todas estas ventajas, sumadas a que es posible usarlo sin incurrir en costos de equipos (incluyendo mantenimiento o dispositivos que deben ser desechados en un futuro debido a una mala manipulación) o también con artefactos especializados de bajo costo, le vuelven una herramienta invaluable para cualquier persona que tenga un acercamiento con el mundo de las transmisiones por radio.

VII. REFERENCIAS

- [1] Desconocido [online]. About GNU Radio. Disponible: <https://www.gnuradio.org/about/>
- [2] Desconocido [online]. Transmisión de portadora suprimida de doble banda lateral. Disponible: https://hmong.es/wiki/Double-sideband_suppressed-carrier_transmission
- [3] Desconocido [online]. Modulación de doble banda lateral. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_doble_banda_lateral
- [4] Carlson, A. Bruce, *Communication Systems* 4th ed. New York: McGraw Hill, 2002.
- [5] Desconocido [online]. MODULACIÓN DE FRECUENCIA - FM. Disponible: <https://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/frecuencia>
- [6] EcuRed [online]. Modulación ASK. Disponible: https://www.ecured.cu/Modulaci%C3%B3n_ASK
- [7] HackRF [online]. Software Defined Radio. Disponible: <https://www.sdr-radio.com/hackrf>
- [8] Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) [online]. CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS - CNAF. Febrero de 2017. Disponible: <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/siget/documents/314524/download>. pp 31.
- [9] Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) [online]. CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS - CNAF. Febrero de 2017. Disponible: <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/siget/documents/314524/download>. pp 48.