

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FINAL

ELECTRÓNICA APLICADA

CUARTO SEMESTRE

Anthony Rodríguez⁽¹⁾

anthony.rodriguez@unach.edu.ec

⁽¹⁾Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Chimborazo, Avda. Antonio José de Sucre Km 1 1/2 camino a Guano, Riobamba-Ecuador.

SDR y GNU radio:

Resumen—SDR (Software Defined Radio) o radio definida por software es una tecnología flexible compuesta por un par de hardware (radio frecuencia) y otra parte basada en software (procesado en banda base), y el GNU es una plataforma software de código abierto consistente en un conjunto de archivos (código base) y aplicaciones agrupadas en paquetes que permiten la creación, procesado y análisis de señales, por lo que constituye un software muy interesante para el desarrollo de radios definidas por software. El presente trabajo tiene como finalidad el realizar comparaciones y análisis entre el SDR y el GNU radio.

I. OBJETIVO:

A. Objetivo General

- Definir en que consiste cada uno de los tipos de radio y comprobar cada una de sus características mas importantes.

II. INTRODUCCIÓN:

GNU Radio, es una herramienta de desarrollo con licencia tipo GLP (General Public License), que permite, mediante bloques de procesamiento de señales, la construcción y simulación de sistemas de comunicaciones, lo anterior puede ser a nivel simulación o a nivel implementación con la ayuda de radios programables. La tarea de los radios es trabajar a nivel radio frecuencia, mientras el procesamiento en banda base de la señal se realiza mediante el software.

Esta combinación de elementos hardware y software permiten la creación de diferentes esquemas de comunicaciones a partir de un único dispositivo hardware (radio), abriendo la puerta para que en la actualidad, los usuarios de este tipo de tecnología sea muy extensa, desde radio aficionados hasta para realizar investigaciones de frontera en diversas áreas vinculadas a las comunicaciones inalámbricas en general, tales como codificación de canal (Giard, Sarkis, Leroux, et.al., 2018), redes programables (Macedo, Guedes, Vieira, Vieira, Nogueira, 2015; Foukas, Nikaein, Kassem, Mahesh, Kontovasilis, 2016), antenas (Abari, 2016), educación, por citar algunas áreas (Wyglinski, Orofino, Ettus, Rondeau, 2016).

Por otro lado, existen diversos radios SDR con diferentes características, entre los que destaca, por su relación calidad / precio, el dispositivo HackRF One, que junto al software GNU Radio permite realizar conversiones A/D (Analogico

- Digital) y D/A (Digital -Analogico), con una tasa de muestreo de hasta 20 millones de muestras por segundo, trabajar con señales en el rango de 1 MHz – 6 GHz además de capturar, analizar y transmitir frecuencias de radio (Leahy Center for Digital Investigation, 2017).

En conjunto, software (entorno GNU Radio) y hardware (equipo HackRF One), constituyen una herramienta sumamente atractiva, particularmente para fines de docencia dentro del área de sistemas de comunicaciones digitales, ya que permite la construcción y el modelado de elementos tales como conversores analógico-digital y digital analógico, filtros diversos, receptores y emisores completos, entre otros, facilitando enormemente la comprensión de dichos temas por parte de los alumnos.

FUNCIONAMIENTO DE UN SDR:

Una radio definida por software es una radio cuya modulación de las formas de onda del canal se define en el software. Es decir, las formas de onda se generan como señales digitales muestreadas, convertidas de digital a analógica mediante un convertidor analógico digital (DAC) de banda ancha, que captura todos los canales del nodo RDS. El receptor, a su vez, captura la señal, baja la frecuencia y demodula la forma de onda del canal utilizando un software que se ejecuta en un procesador de propósito general.

También se la considera una tecnología aplicable en un amplio rango de áreas dentro la industria inalámbrica, capaz de proveer soluciones eficientes y comparativamente baratas a muchos problemas inherentes a arquitecturas de radio más tradicionales. Además ofrece facilidades para una investigación menos costosa a través de simulación, permitiendo su experimentación y estudio a profundidad en entidades profesionales, comerciales y académicas.

NIVELES DE UN SDR:

Con el fin de establecer una clasificación de los equipos de radio, se han definido 5 niveles de utilización de software dentro del radio para controlar o realizar funciones de la capa física, determinando la frontera entre hardware y software en el equipo.

■ Nivel 0:

Radio construido utilizando hardware solamente, no puede cambiarse por software. En este nivel no hay software, ni en el control ni en la realización propia de las funciones de operación del radio.

- Nivel 1:
Radio controlado por software con limitaciones en cuanto a funciones controlables. Se controlan algunas como nivel de potencia, interconexiones, etc. pero nunca modo o frecuencia.
- Nivel 2:
En este nivel una parte significativa del radio es configurable por software. Usualmente se utiliza el término Radio Controlado por Software (SCR). Existe control de software de ciertos parámetros como frecuencia, modulación, generación/detección de forma de onda, seguridad, etc. La etapa de RF permanece en hardware y no puede ser reconfigurada. Es importante destacar que el software en este tipo de radios sólo controla funciones que están implementadas de modo físico dentro del radio, a hardware únicamente.
- Nivel 3:
Este nivel agrupa todos los radios en los que al menos una de sus funciones está definida por software, incluyendo lo que se conoce como Radio Definido por Software Ideal (ISR) donde la frontera entre la parte configurable y la no configurable se encuentra muy cercana a la antena, y la etapa final de RF es configurable. Se puede decir que el ISR es completamente programable.
- Nivel 4:
Los equipos pertenecientes a esta categoría reciben la denominación de Ultimate Software Radio (USR) y constituyen una etapa superior al ISR puesto que no solo son completamente programables sino que además son capaces de soportar un amplio rango de funciones y frecuencias simultáneamente. Dentro de este nivel se encuentran los teléfonos celulares con soporte para varios estándares.

CARACTERISTICAS DE UN SDR

Interoperabilidad: Una SDR puede operar como puente entre múltiples sistemas de radios incompatibles. Interoperabilidad es una de las principales razones por las cuales los militares estaban interesados en ellas. Diferentes ramas de los militares y los policías usan decenas de radios incompatibles. Durante comunicaciones en operaciones conjuntas una SDR multicanal puede actuar como intérprete de las diferentes radios. Un proyecto militar de los Estados Unidos que aplica esta característica es el SpeakEasy. Este utiliza una SDR para realizar comunicaciones entre 10 diferentes tipos de radio militares en un solo sistema.

Eficiencia en el uso de recursos ante condiciones variables: Una SDR puede adaptar la forma de onda para maximizar algún parámetro clave. Por ejemplo, una señal de baja potencia o una modulación más lenta puede ser seleccionada si la radio esta baja de batería. Una señal de alta tasa puede ser seleccionada si se requiere bajar un archivo rápido. Eligiendo la forma de onda más apropiada en cada escenario, las radios pueden proveer una mejor experiencia al usuario (por ejemplo, mayor durabilidad de la batería). Siempre y cuando haya una negociación posible entre las radios de la red.

ARQUITECTURA DE UNA SDR:

La figura 1. Muestra la arquitectura básica de un SDR que funciona como transmisor o receptor. En él, los

ADC (convertidores de analógico a digital), los DAC (convertidores de digital a analógico) y los filtros de frecuencia son componentes que deben implementarse en hardware (bloques blancos), mientras que todas las demás operaciones del transceptor podrían realizarse mediante unidades de procesamiento programables (bloque gris oscuro).

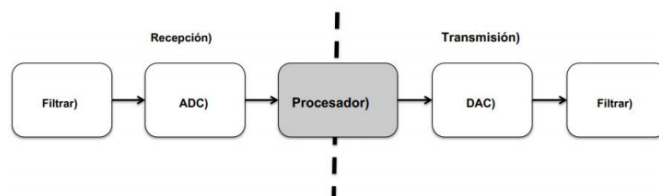


Fig. 1. Estructura de un SDR

La arquitectura de las SDR debe tener las siguientes propiedades:

- Permitir que el funcionamiento del sistema sea definido por software, esto significa, que una porción del sistema se implementara mediante programación y/o reconfiguración del hardware. Permitiendo que el hardware del sistema pueda reutilizarse para distintas aplicaciones sin la necesidad de modificaciones físicas del mismo.
- Tener la capacidad de captar y transmitir las señales de RF en el rango de operación de las mismas. Estas señales son transmitidas/recibidas en una frecuencia intermedia (por cuestiones de tamaño de antena, potencia etc.). Por lo tanto la arquitectura debe permitir bajar/subir esta frecuencia a una de operación/transmisión.
- Poder digitalizar las señales recibidas para su posterior procesamiento y almacenado.

SDR IMPLEMENTADOS

Desde hace unos años se han venido desarrollando algunos radios basados en SDR por parte de aficionados, empresas privadas y desarrolladores libres. Ejemplo de esta afirmación son:

- **FUNcube Dongle:** Receptor de radio, o segmento de tierra, desarrollado por AMSATUK como parte de un proyecto educativo de colaboración global que sirve como receptor de señales de satélites FUNcube alrededor del mundo. Se le puede variar la frecuencia entre 64 y 1,700 MHz.



Fig. 2. SDR FUNcube Dongle de AMSAT-UK.

- **PM-SDR:** Desarrollado por Martin Pernter, utiliza el software libre WinRad de Jeffrey Pawlan, así como

otros programas para funcionar en Linux. Se conecta por USB y puede configurarse en el rango de 100kHz - 50MHz.

- **Finningley 80m:** Creado por Microwave Roundtable y reproducido por Kanga Products, es un kit para la familiarización con SDR.
- **EXCALIBUR:** Creado por WiNRADiO, es un receptor de onda corta entre 9KHz y 50 MHz. Incluye un analizador de espectro de tiempo real de 50MHz de ancho de banda y su sensibilidad ronda los $0.35 \mu V$. Su interfaz de software es una de las más completas creadas para SDR.

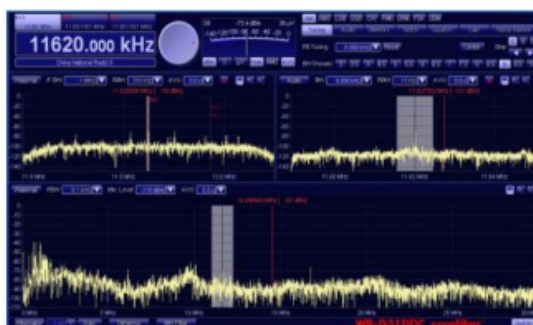


Fig. 3. Analizador de espectro de tiempo real de EXCALIBUR.

- **Universal Software Radio Peripheral (USRP):** Tarjeta Madre desarrollada por GNU Radio a la que se le pueden incorporar otras tarjetas para darle funcionalidad. Es uno de los SDR más potentes que se pueden encontrar en la actualidad y emplea software libre.

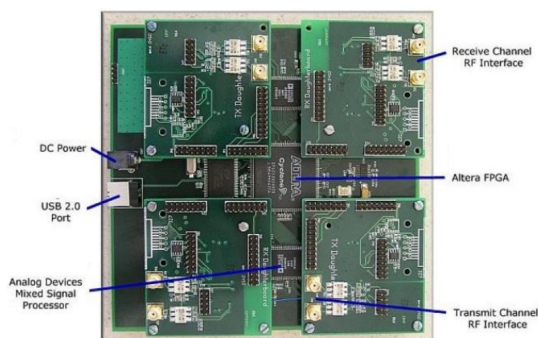


Fig. 4. USRP fabricado por GNURadio

- **QS1R:** Creado por QuickSilver, es el receptor SDR más completo que se puede encontrar en el mercado. Abundante en opciones y posibilidades de configuración, utiliza el rango de frecuencias de 10 KHz a 62.5 MHz, que puede ser ampliado hasta 500 MHz con el empleo de sobremuestreo.



Fig. 5. Receptor QSIR de QuickSilver. Vista frontal y trasera

GNU Radio

Como se dijo anteriormente, GNU Radio es una plataforma software de código abierto consistente en un conjunto de archivos (código base) y aplicaciones agrupadas en paquetes que permiten la creación, procesamiento y análisis de señales, por lo que constituye un software muy interesante para el desarrollo de radios definidas por software, de hecho, es el entorno software más popular para el uso del USRP. A las aplicaciones se les suele llamar módulos y son programas realizados en Python para desempeñar una función específica es analizar espectros.

Es importante conocer que GNU Radio se encarga de realizar el procesamiento digital de la señal cuando la señal está en banda base.

GNU Radio funciona sobre plataformas GNU/Linux, Mac y Windows y al tratarse de código abierto, existe una gran comunidad de usuarios que proporcionan un sinnúmero de aplicaciones prácticas.

Es interesante indicar que se puede experimentar con GNU radio sin la necesidad de disponer de hardware de RF externo tipo USRP mediante el uso de datos pre-grabados ó generados, lo que convierte a este programa en una herramienta muy interesante para la docencia, sobre todo si se quieren tratar temas relacionados con los sistemas de comunicación, como por ejemplo, el análisis de formas de onda en el dominio temporal y/o frecuencial, conversión en frecuencia, filtros, modulaciones,...etc.

PROGRAMACIÓN CON GNU RADIO

Las aplicaciones en GNU radio se pueden entender como un grafo (en inglés flow graph), donde los nodos simbolizan bloques de procesamiento de señal y la interconexión entre ellos determina el camino que sigue la señal, empezando en una fuente (en inglés source) y acabando en un sumidero (en inglés sink).

En la figura 2, vemos una aplicación de GNU Radio en la que existe una fuente de datos, dos bloques de procesamiento y un sumidero donde irán a parar los datos de la fuente una vez procesados por los dos bloques:

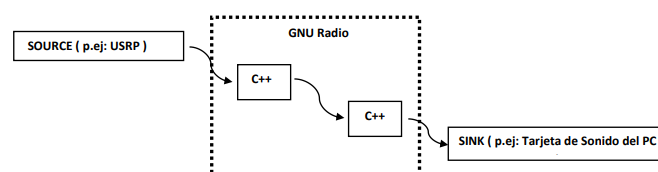


Fig. 6. Grafo de un aplicación de GNU Radio

Las aplicaciones en GNU Radio se desarrollan con los lenguajes de programación Python y C++. Por un lado, el procesamiento de señal (bloques) y en general todo el trabajo a bajo nivel se implementa en C++ y por otro lado, Python se utiliza para escribir la aplicación, es decir, para interconectar los bloques a usar. Se puede decir que los grafos en GNU Radio corren y son construidos en Python. En la figura 3, podemos ver la arquitectura software de GNU Radio. En la capa superior encontramos la interfaz de usuario donde se realiza el desarrollo de las formas de onda.

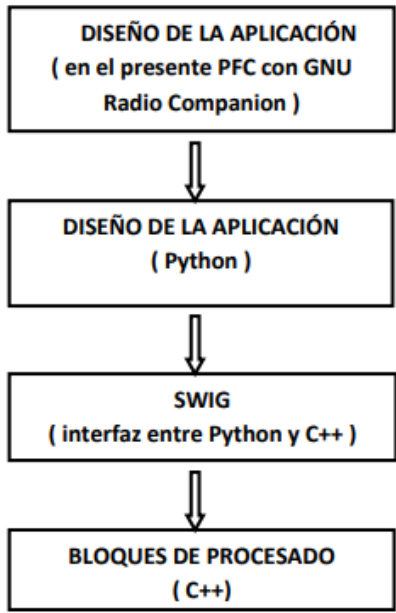


Fig. 7. Arquitectura software de GNU Radio.

Se puede programar directamente aplicaciones en Python, pero esto puede resultar complicado si no se sabe programar en Python y C++, sin embargo, resulta muy sencillo y cómodo programar mediante el GNU Radio Companion (GRC), un sistema de diseño mediante interfaz gráfico de usuario (en inglés, Graphical User Interface (GUI)) basado en la utilización de ventanas y bloques incluidos en librerías libres ya existentes o creados por el usuario.

A. Actividades

Una vez conocidos los conceptos básicos, se procede a elaboración de un transmisor y receptor en AM, para esto usaremos **GNU Radio**, puesto que es un software libre y además es de fácil entendimiento. Para esta ocasión usaremos una canción para realizar las pruebas de funcionamiento con sonido incluido y ver como van cambiando las formas de onda de cada señal. En la Fig. 8 se puede observar el transmisor de AM:

Cabe recalcar que el formato que acepta GNU Radio para la compilación de los proyectos debe ser de sonido **.wav**, caso contrario no se ejecutará el programa. Para este caso los bloques que se usaron fueron los siguientes:

- Wav file Source

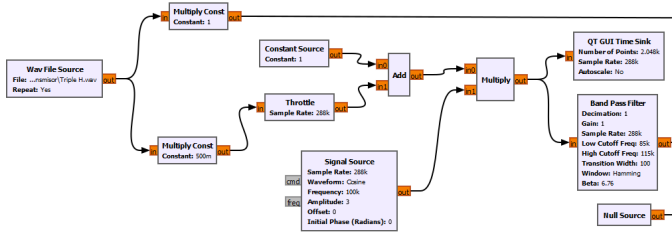


Fig. 8. Transmisor en AM

- Multiply Const
- Constant Source
- Throttle
- Add
- Signal Source
- Multiply
- QT GUI Time Sink

Y también, se usó unos dos cuadros de interfaz que es lo que el usuario de el probaba va a observar estos son:

- Options
- Variable
- QT GUI Range

En esta etapa lo que se hace es el siguiente procedimiento, cada uno de los bloques estan configurados de a cuerdo al valor que se usa en el bloque de variable, la cual para este caso fue de 288K. Como se muestra en la Fig. 9.

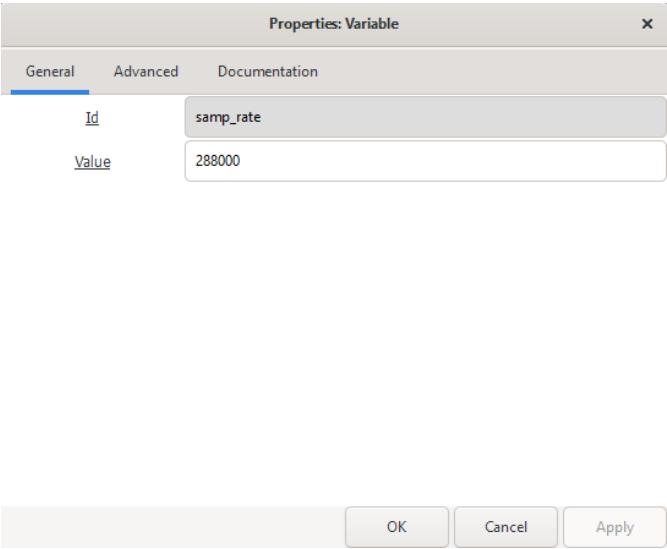


Fig. 9. Propiedades del recuadro variable

En este caso la señal portadora se la representa con un bloque de Signal Source, el cual se puede apreciar su configuración en la Fig. 10

De lo demás solo queda explicar que: En los bloques de Multiply Const, el primero se so usará a 1 y el segundo a 500m, el valor del bloque Constant Source será igual a 1,el Throttle tendrá en la parte del Sample Rate igual a 288K

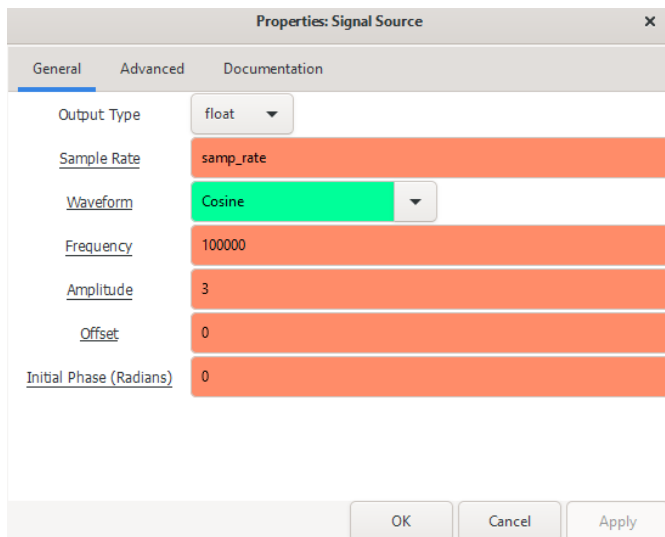


Fig. 10. Propiedades del recuadro Signal Source

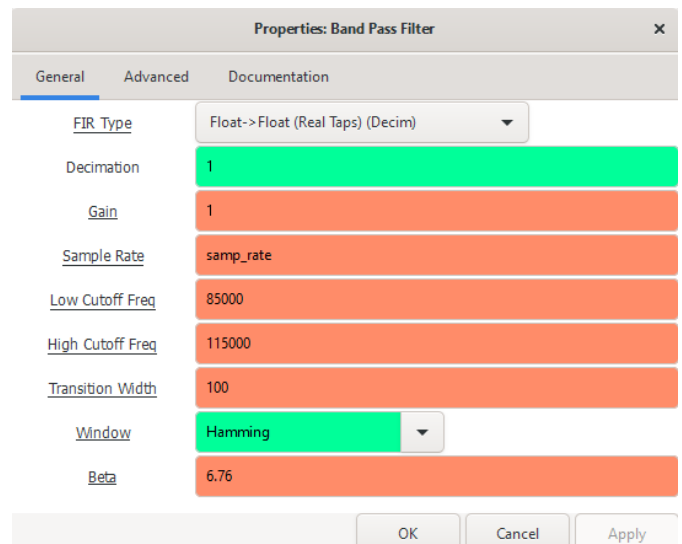


Fig. 12. Configuración de el bloque Band Pass Filter

y al final del proceso se encuentra el QT GUI Time Sink que es para visualizar la señal este estará configurado de la siguiente manera: Number of Points: 2048K, Sample Rate: 288K, Autoscale: No.

Un punto adicional a recalcar es que todos los cuadros deben estar como variables flotantes, esto para que las simulaciones se realicen de manera adecuada.

En la parte del receptor se puede apreciar lo que se tiene en la Figura 11.

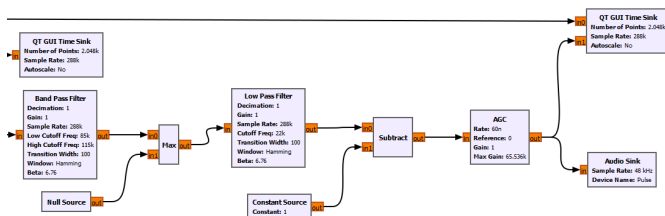


Fig. 11. Receptor de AM

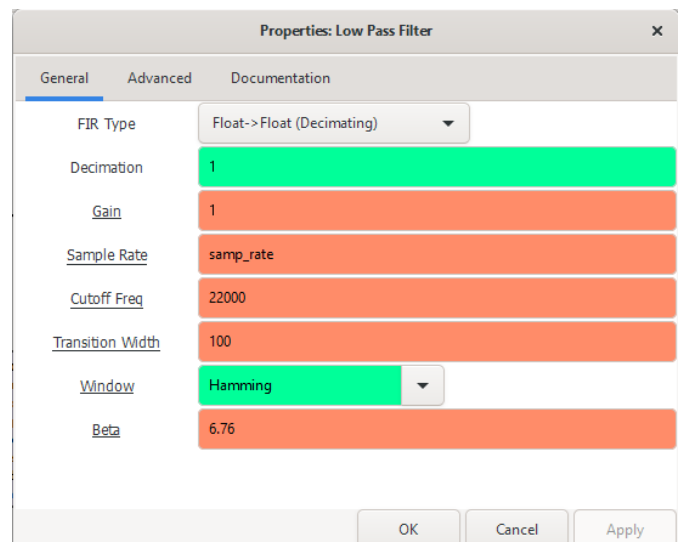


Fig. 13. Configuración de el bloque Low Pass Filter

Para esta parte los bloques que se usan son los siguientes:

- Band Pass Filter
- Null Source.
- Max
- Low Pass Filter
- Constant Source
- Subtract
- AGC
- Audio Sink
- QT GUI Time Sink

Las configuraciones de cada uno de estos bloques se muestran a continuación:

En el bloque de Band Pass Filter su configuración es la que se muestra en la Fig. 12.

También se tiene el bloque del Low Pass Filter el cual su configuración se la presenta en la Fig. 13.

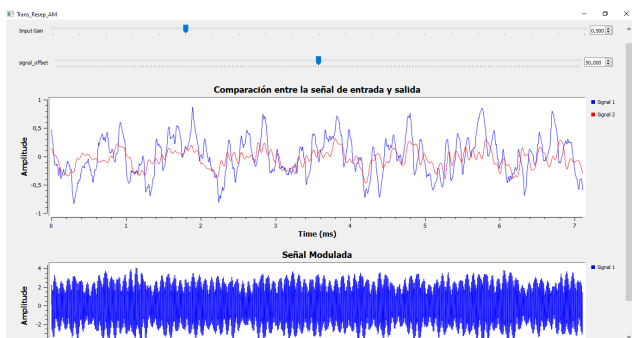
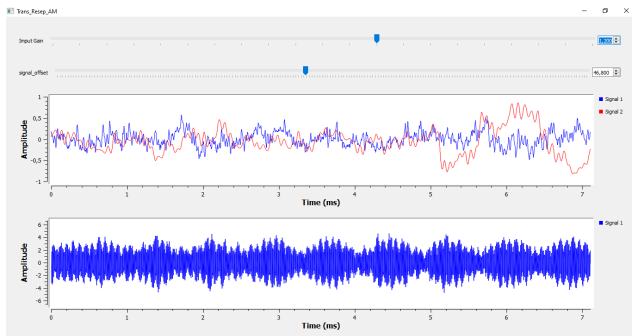
En los demás bloques se puede tener las siguientes configuraciones:

- Constant Source: Constant = 1
- AGC: Rate = 60n, Reference=0, Gain=1, Max Gain=65536K.
- Audio Sink: Sample Rate= 48KHz, Device Name = Pulse.
- QT GUI Sink: Number of points = 2048K, Sample Rate = 288K, Autoscale = No.

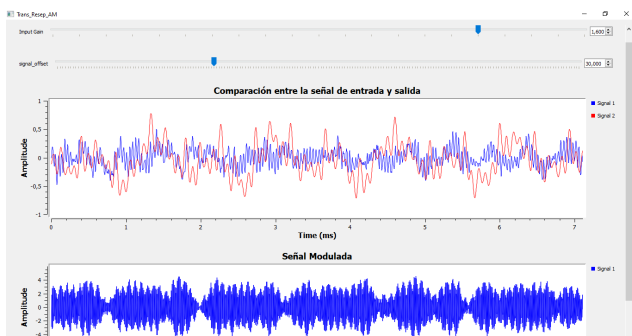
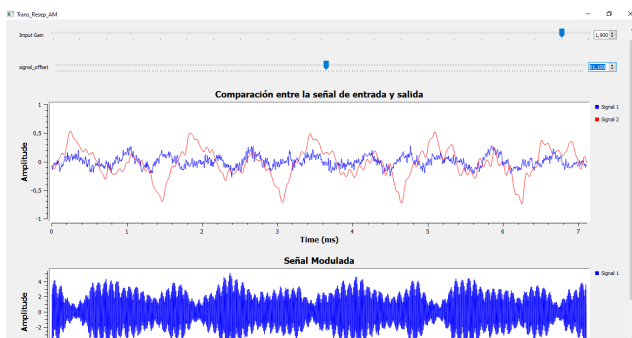
Una vez que se encuentre realizado todas las conexiones de acuerdo como se muestra en las Fig. 8 y Fig. 11. lo que resta es realizar las pruebas de funcionamiento y realizar algunas correcciones de ser el caso.

B. Resultados

Los resultados obtenidos se los puede observar en las siguientes Figuras:



Al cambiar la fuente de sonido tenemos el siguiente resultado:



III. CONCLUSIONES

- Se logró transmitir y recibir una señal de AM usando como señal de origen una señal sonora.
- Se observó el cambio que tenía cada señal al momento de realizar las configuraciones en los parámetros indicados anteriormente.
- Se demostró que en ciertos casos puede existir la sobremodulación de la onda llegando a obtener resultados nada agradables al usuario.

REFERENCIAS

- 1 Alexix de la Cruz Peñafiel, R. M. (2018). Diseño e implementación de un prototipo de transmisión de mensajes de alerta en FM sobre cinco grupos de tres frecuencias portadoras para su uso en vehículos de emergencia utilizando USRP y GNU Radio. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15475/1/UPS-GT002096.pdf>
- 2 Computación e Informática. (02 de Septiembre de 2019). DR y GNU Radio como plataforma para un laboratorio de comunicaciones digitales. Obtenido de DR y GNU Radio como plataforma para un laboratorio de comunicaciones digitales: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5122/512261374007/html/index.html>
- 3 SANCHEZ LAKEHAL, A. (. (2015). LA RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE: RECEPCIÓN DE LAS. Universitat Politècnica de Catalunya. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/41827343.pdf>
- 4 SASE. (2018). SDR: conceptos y aplicaciones. Obtenido de SDR: conceptos y aplicaciones: https://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/gintea/trabajos/SASE2018_RDSrev1.pdf