



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES PROGRAMAS ACADÉMICOS
GUÍA DE LABORATORIO O PRÁCTICA ACADÉMICA



Título: Práctica de laboratorio instalación del sistema operativo Ubuntu e introducción a GNU RADIO	
Código: LAB1450401	Versión: 1
Tiempo estimado de desarrollo: 2 horas.	Fecha de aprobación: 26/05/2014
Lugar de desarrollo: Laboratorio	Número sugerido de participantes: 1
Presentado por: Coordinación de área de Telecomunicaciones.	

Asignatura: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES I	Núcleo: TELECOMUNICACIONES
Código: 14504	Semestre: 5º
Requisitos: SEÑALES DE Y SISTEMAS	Créditos: 3
Semanas: 16	Horas Semanales: 6
Total horas de trabajo presencial del estudiante: 96	Horas prácticas al semestre: 32
Horas teóricas al semestre: 64	Horas de trabajo independiente del Estudiante: 80

RESUMEN
La presente guía de laboratorio contiene la instalación de las herramientas que serán de utilidad para caracterizar los sistemas de telecomunicaciones.

CATEGORÍA	COMPETENCIAS A FORTALECER
<i>Cognitiva</i>	Analiza el funcionamiento de un sistema de telecomunicaciones con los elementos que lo componen.
<i>Aplicación cognitiva</i>	Analiza los modelos con diferentes herramientas que permitan caracterizar los sistemas de telecomunicaciones a nivel de procesamiento de señal, anchos de banda y capacidad del canal.
Las competencias axiológicas, investigativas y comunicativas expresadas en el Syllabus se tienen en cuenta en su totalidad.	

OBJETIVO GENERAL DE LA PRÁCTICA
Comprender y asimilar la herramienta GNU RADIO y sus características básicas con el fin de hacer uso de la misma para implementar diagramas de bloques.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalar el sistema operativo Ubuntu
- Comprender la interfaz gráfica de la aplicación GNU RADIO
- Comprender y poder hacer uso del Software GNU RADIO

CONTENIDO APLICADO DEL SYLLABUS

Introducción a los Sistemas de Comunicaciones

INDICADORES / ENTREGABLES

1. Documento con presentación de los resultados la instalación de GNU Radio.

Criterio de verificación

1. No cumple
2. Cumple de manera deficiente
3. Cumple de manera aceptable
4. Cumple de manera sobresaliente
5. Cumple con excelencia

MARCO TEÓRICO

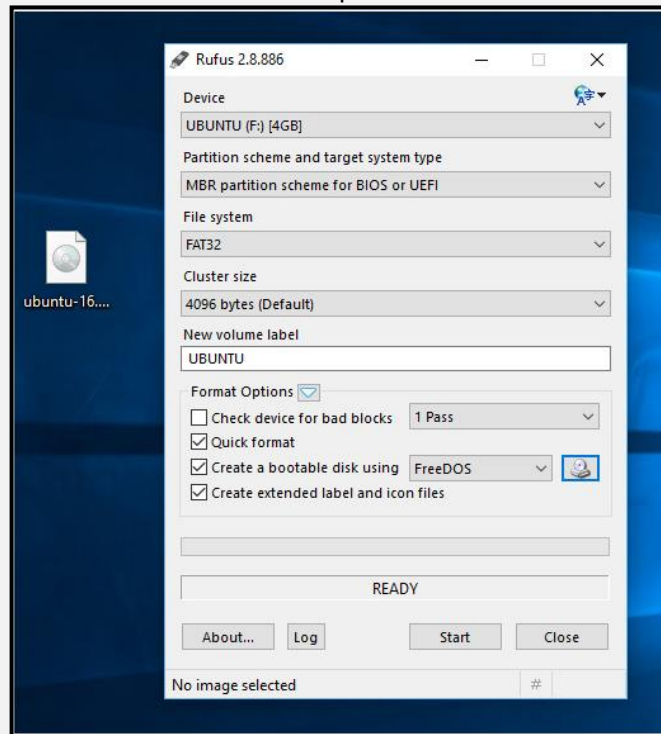
Instalación de Ubuntu (14.04 o 16.04)

Ubuntu es un sistema operativo (SO en adelante) de fuente abierta, lo cual quiere decir que no tiene costo descargarlo o utilizarlo y la gran mayoría de aplicaciones y software desarrollado para el mismo es de libre descarga y modificación. Ubuntu es una de las distribuciones más utilizadas de Linux debido que la interfaz de usuario (UI – User Interface) es amigable y no representa mayor dificultad para las personas que no han tenido experiencia sobre el uso del SO, además de ser uno de los más estables y con soporte de solución de problemas con personal certificado y usuarios alrededor del mundo. Cabe aclarar que la versión con la cual se desarrolló el proyecto fue la 16.04 LTS, por lo cual la guía y especificaciones están basadas sobre la versión mencionada. La versión 14.04 del SO Ubuntu también soporta el software que se requiere para implementar los laboratorios desarrollados en el documento y se deja a libre elección del usuario la instalación del mismo, lo cual dependerá de las preferencias personales y tipo de equipo (Hardware) sobre el cual se pretende instalar.

El primer paso para realizar la instalación del SO Ubuntu, es acceder a la página oficial (<http://www.ubuntu.com/>) y realizar la descarga de la versión seleccionada, en este caso la 16.04. La descarga tomara un tiempo considerable y dependerá de la conexión a internet que tenga el usuario en el momento del desarrollo de la actividad, una vez finalizada se obtiene un archivo .ISO en el cual contiene una versión live del SO y la información para realizar la instalación del mismo de forma permanente. La versión live es utilizada para iniciar el SO desde un pendrive como un archivo ejecutable y así, hacer uso del mismo sin necesidad de instalarlo de forma permanente en el equipo. Se debe aclarar que cualquier tipo de modificación o software instalado al utilizar la versión live será eliminado una vez se reinicie el dispositivo en el que se esté trabajando, lo anterior debido a que el equipo guarda la información en la memoria RAM al trabajar desde la versión live. Después de realizar pruebas y estar satisfecho con el SO se puede realizar la instalación permanente.

Continuando con la instalación del SO, se debe convertir el archivo .ISO en un ejecutable; Para ello se puede usar cualquier herramienta que convierta archivos .ISO en ejecutables. En la página oficial se recomienda realizar la actividad con el software rufus. En la Figura 1 se puede apreciar la interfaz gráfica del software en ejecución y el procedimiento para obtener el ejecutable en el dispositivo pendrive.

Para realizar el procedimiento se deben modificar únicamente dos espacios de la herramienta, el primero de ellos es la opción **DEVICE** en donde se selecciona el dispositivo extraíble en donde queremos generar el ejecutable y el segundo es el recuadro que esta resaltado con color azul en la Figura 1, en el cual hay que seleccionar el archivo .ISO que descargamos previamente. Los demás espacios se deben dejar como aparece en la Figura 1 y aceptar cualquier diálogo que aparezca en pantalla una vez se inicie el procedimiento al ejecutar la aplicación. Por último, se aclara que el dispositivo pendrive en el que se realice el proceso será formateado para poder instalar los archivos del SO, por lo cual se recomienda hacer un back up de la información o tener el dispositivo libre en el momento de realizar el proceso.



Fuente: Página web oficial de Ubuntu
Figura 1 Herramienta rufus en ejecución

Teniendo el ejecutable en el dispositivo extraíble se debe ejecutar para poder ingresar al nuevo SO. Para Windows 8.1 hay que seguir los siguientes pasos para iniciar el equipo desde una memoria extraíble:

1. Ingresar a las configuraciones del PC
2. Ingresar a la opción **Actualización y Recuperación**
3. Ingresar a la opción **Recuperación**
4. Seleccionar en la opción **Inicio Avanzado**
5. Seleccionar la opción para reiniciar desde un dispositivo USB.

Para completar este procedimiento el equipo de escritorio o portátil que se esté utilizando se reiniciará, pero esta vez no accederá directamente al kernel de Windows si no que ejecutara un grub (cargador de arranque) en el cual el usuario puede seleccionar desea iniciar.

Como se había mencionado anteriormente en el grub se puede encontrar la opción para utilizar la versión live del SO Ubuntu o para instalarlo permanentemente, queda a libre elección del usuario el procedimiento de prueba del SO para proceder con la instalación del mismo en su dispositivo. Una vez realizada la instalación de Ubuntu el usuario tiene la opción de fragmentar la unidad de disco duro en la cual pretende instalar el nuevo sistema o puede optar por que el SO asigne los espacios de memoria automáticamente. En este caso es recomendable que se asigne el espacio de memoria automáticamente debido a que los fines prácticos para los que se requiere la instalación del mismo no hacen necesaria la asignación de un espacio de memoria específico. Para complementar la instalación del sistema operativo solo se deben seguir las instrucciones del instalador y procurar estar conectado a una red inalámbrica o cableada de internet con el fin de adquirir los paquetes actualizados del SO.

Requerimientos del Sistema Recomendados

Ubuntu es un SO estable y liviano que permite la instalación en casi todos los equipos actuales de escritorio o laptop, sin embargo, se recomienda que el dispositivo de hardware en el cual se pretende instalar tenga como mínimo las siguientes características:

- Procesador de 2GHz doble núcleo o mejor
- 2GB de memoria del sistema
- 25GB de espacio libre en el disco duro [1]

Instalación GNU RADIO

GNU RADIO es un software de diseño que permite implementar diagramas de bloques con los cuales se pueden visualizar sistemas de comunicaciones, operaciones aritméticas, respuesta en frecuencia de una señal y demás. Es necesario comprender algunos aspectos básicos del SO para proceder con la instalación de la aplicación, por lo tanto, se pone a disposición del usuario una breve introducción a lo que es el SO Ubuntu y algunos comandos rápidos que van a permitir hacer un buen uso del mismo. El terminal en Ubuntu es algo similar a la consola o CMD (Command Prompt) de Windows, en este podemos realizar un sin número de actividades como por ejemplo crear una carpeta, gestionar directorios, abrir una aplicación, descargar e instalar paquetes, modificar archivos y demás. Después de entender ligeramente que es el terminal de Ubuntu hay que tener claros algunos comandos básicos, los cuales permiten realizar actividades específicas sobre archivos, directorios, aplicaciones y demás.

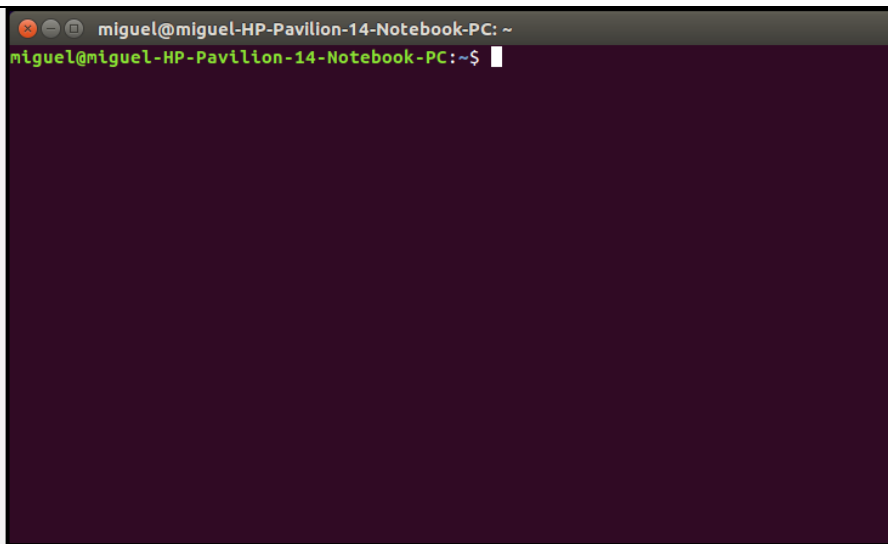


Figura 2 Terminal de Ubuntu

En la Figura 2 se puede observar el UI del terminal de Ubuntu. A continuación, se presentan los comandos básicos con una breve explicación del uso de los mismos:

- **mkdir:** Este comando permite crear una carpeta o directorio en la ruta que desee el usuario.
- **pwd:** Con este comando se puede verificar en que carpeta o directorio está ubicado el usuario y sus siglas responden a la frase en inglés 'Print Working Directory'.
- **cd:** Con el comando cd el usuario se puede desplazar entre carpetas. Es decir, permite ingresar a una carpeta o salir de la misma utilizando el comando. En la Figura 3 se puede observar un ejemplo en donde desde la carpeta Home se ingresa a la carpeta GRC utilizando el comando **cd GRC/**. El comando cd tiene tres variaciones que facilitaran el desplazamiento por los directorios del dispositivo, las cuales son:
 - o **cd directorio_destino/** con este comando el usuario puede ingresar al directorio o carpeta seleccionado, en este caso directorio_destino. En el caso de la Figura 3 a la carpeta GRC/.
 - o **cd ..** este comando permite regresar a la carpeta inmediatamente anterior.
 - o Si se ingresa el comando cd seguido de un espacio, el usuario será dirigido a la carpeta home o inicio del equipo.
- **ls:** El comando ls permite observar que información (carpetas, archivos, imágenes, etc) está ubicada en la carpeta en la cual se encuentra el usuario al momento de su ejecución. En la Figura 3 se observa que, al cambiar de directorio, la información de respuesta del comando ls cambia según los archivos que contenga la carpeta en la cual está ubicado el usuario.
- **sudo:** Este comando permite realizar procedimientos como súper usuario, algo similar al modo administrador de Windows. Procedimientos como instalar y actualizar paquetes, reiniciar el equipo o eliminar archivos del sistema deben estar precedidos por el comando sudo para poder ser ejecutados. Se debe aclarar que al ejecutar el comando el sistema solicitará la clave asignada al equipo para poder realizar el procedimiento. En la

Figura 4 se puede observar como al ejecutar el comando el sistema solicita la clave de usuario para poder proceder.

```
miguel@miguel-HP-Pavilion-14-Notebook-PC: ~/GRC
miguel@miguel-HP-Pavilion-14-Notebook-PC:~$ ls
Desktop  Downloads  examples.desktop  GRC  Pictures  Templates
Documents  Dropbox  Firefox_wallpaper.png  Music  Public  Videos
miguel@miguel-HP-Pavilion-14-Notebook-PC:~$ cd GRC/
miguel@miguel-HP-Pavilion-14-Notebook-PC:~/GRC$ ls
airspy  build-gnuradio  gr-iqbal  gr-tutorial  rtl-sdr
bladeRF  gnuradio  gr-osmosdr  hackrf  uhd
miguel@miguel-HP-Pavilion-14-Notebook-PC:~/GRC$
```

Figura 3 Ejemplo uso de comandos cd y ls

Estos comandos básicos van a permitir interactuar al usuario con el terminal, lo cual es necesario para generar la instalación del software GNU RADIO.

La instalación de GNU RADIO, según la página oficial, requiere únicamente de la ejecución de un comando sobre el terminal. Sin embargo, en ocasiones el directorio donde se pretende instalar el software puede presentar inconvenientes de dependencias “rotas” (broken dependencies), por lo cual la ejecución de los comandos no va a realizar la acción requerida. A continuación, se muestra una guía práctica de instalación para limpiar el directorio y reparar cualquier tipo de inconveniente que pueda presentar el mismo.

```
miguel@miguel-HP-Pavilion-14-Notebook-PC: ~
miguel@miguel-HP-Pavilion-14-Notebook-PC:~$ sudo apt-get update
[sudo] password for miguel:
```

Figura 4 solicitud de clave para ejecutar comando súper usuario

1. Abrir el terminal de Ubuntu. (Ctrl + Shift + t)

2. Ingresar a la carpeta o directorio en donde se quieren instalar los paquetes o el software.
3. Ejecutar el comando
`$sudo apt-get clean`
Este comando realizará la limpieza de la carpeta local en la cual se encuentra ubicado el usuario de los archivos empaquetados recuperados.
4. Ejecutar el comando
`$sudo apt-get install -f`
El cual corrige dependencias rotas. El parámetro -f representa "fix broken", traducido al español significa "reparar lo dañado."
5. Ejecutar el comando
`$sudo dpkg --configure -a`
Con el cual se realiza la configuración de todos los paquetes (-a) que no han sido configurados, los que presentan problemas con la actualización o que tienen pendiente alguna instalación.
6. Por último, ejecutar el comando
`$sudo apt-get update`
El cuál es el comando para realizar las actualizaciones de los paquetes.

Una vez finalizado este procedimiento, se puede realizar la instalación del programa GNU RADIO mediante la ejecución del siguiente comando en el terminal:

```
$sudo apt-get install gnuradio
```

Al ejecutar este comando, el sistema iniciará con la descarga e instalación de la aplicación solicitada y al finalizar, se habrá instalado la versión 3.7.2. Con la versión mencionada se pueden realizar las actividades desarrolladas en el documento sin inconvenientes; sin embargo, el usuario puede instalar la versión 3.7.9.2 con la cual se pueden implementar más aplicaciones y cuenta con una amplia variedad de bloques de DSP. La instalación de esta versión se realiza mediante el comando que se muestra a continuación, se recomienda disponer de tiempo para la instalación ya que toma entre 2-3 horas dependiendo de la conexión a internet y las características del equipo en donde se instala.

```
$sudo wget http://www.sbrac.org/files/build-gnuradio && chmod a+x ./build-gnuradio && ./build-gnuradio
```

Se debe tener paciencia para realizar la instalación ya que el procedimiento toma tiempo. Finalizado el proceso, podemos ingresar al programa e iniciar el desarrollo de las actividades prácticas, las cuales son el objetivo final del proyecto.

A. Introducción a GNU Radio

Una vez instalado el software en el equipo se deben revisar varios aspectos básicos de la herramienta, esto con el fin de facilitar su uso y comprender la interfaz que se presenta al usuario. Para ejecutar la aplicación se debe abrir un terminal y ejecutar el comando:

```
$ `gnuradio-companion`
```

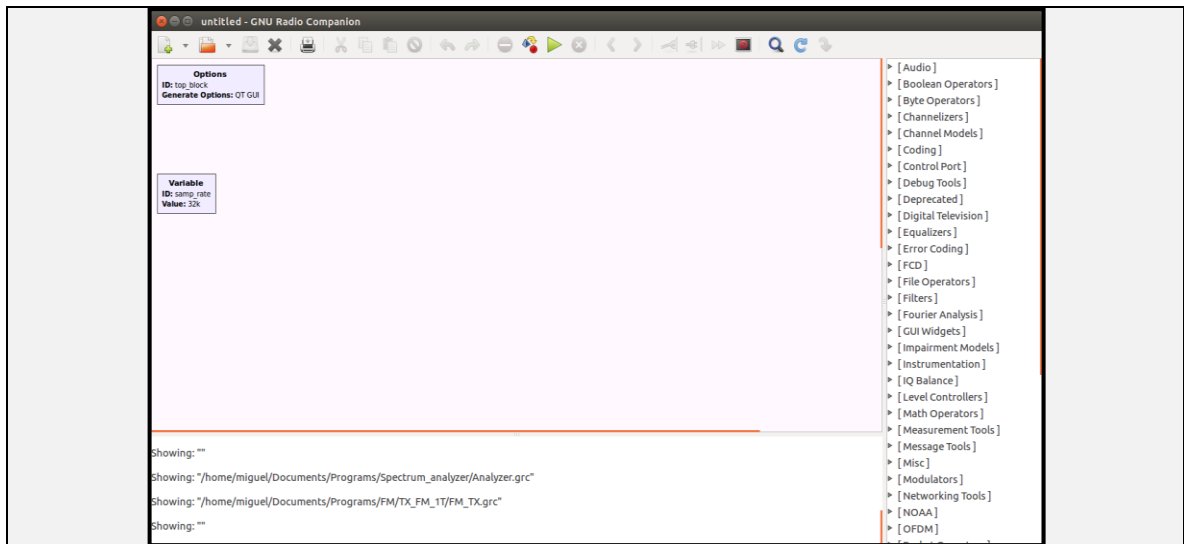


Figura 5 UI (User Interface) de la aplicación GNU RADIO

Al realizar este procedimiento la aplicación iniciará como se puede ver en la Figura 5 la cual tiene una interfaz de diseño bastante similar a la herramienta simulink de Matlab. El sistema de trabajo sobre la herramienta es con el diseño de diagramas de bloques de DSP que permiten visualizar la respuesta de los mismos en los planos de frecuencia, tiempo y demás, según sea requerido por el usuario. A continuación, se informan detalladamente los elementos que hacen parte de la interfaz de usuario de la herramienta y la función que cumplen sobre la misma.

1. **Canvas:** El canvas es el área de construcción del diagrama de bloques.
2. **Lista de Bloques:** Sobre la parte derecha de la pantalla se encuentra la lista de bloques en la cual se pueden encontrar los elementos de DSP para generar los diseños sobre él Canvas. Para buscar un bloque por nombre, se debe presionar CTRL + F.
3. **Ventana de registro:** Se encuentra en la parte inferior de la pantalla y es recomendable prestar atención a esta, ya que en ella se llevan los registros de las actividades realizadas (ejecución, detección de errores y demás).

Estos tres elementos componen la UI de la aplicación en la cual el usuario generará el desarrollo de proyectos y aplicaciones.

Continuando, se pueden identificar dos bloques que por defecto se encuentran en el canvas al iniciar cualquier proyecto. La función que cumplen y las opciones que se desprenden de los mismos se describen a continuación.

- **Bloque de opciones:** Es utilizado para establecer los parámetros globales del programa que se está ejecutando. En la Figura 6 se puede apreciar el bloque de opciones el cual presenta al usuario varias alternativas las cuales cumplen las siguientes funciones sobre el programa.

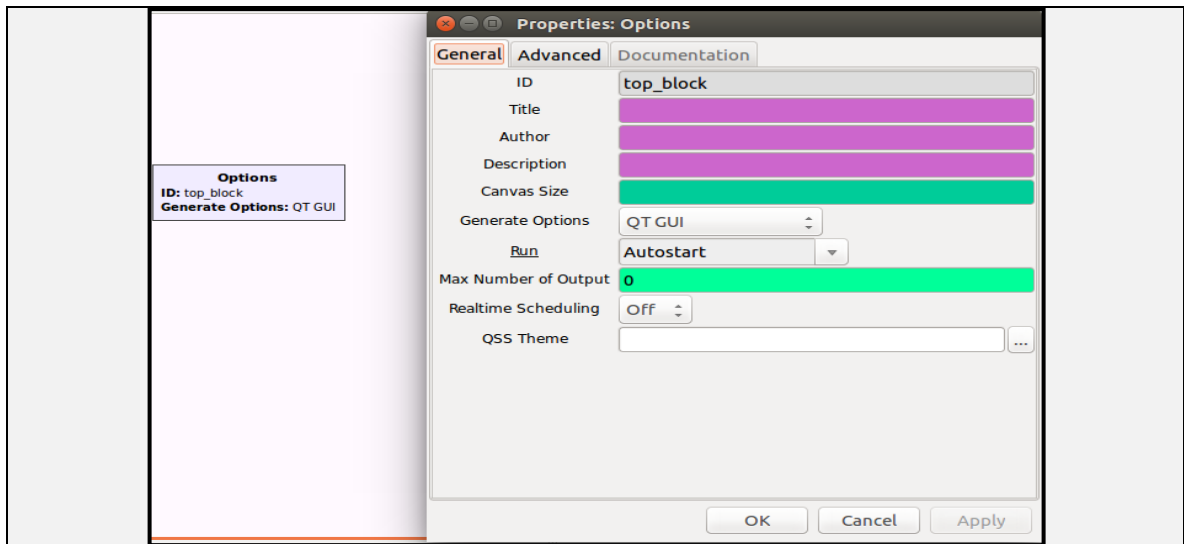


Figura 6 Ventana de configuración bloque de opciones

- **ID:** Este espacio determina el nombre del archivo Python generado, él cual es de libre modificación según la necesidad del usuario.
- **Title:** Corresponde al título del proyecto a realizar.
- **Author:** En este espacio se asignan los datos del autor o autores que desarrollaron el proyecto.
- **Description:** En esta opción se realiza una breve descripción del proyecto realizado.
- **Canvas Size:** En este punto se define el tamaño del canvas según el espacio necesario para implementar el diagrama de bloques.
- **Generate Options:** En este espacio se realiza una descripción más detallada de las opciones debido a que la selección influye en el tipo de código a generar. A continuación, se presentan las opciones y una breve descripción de cada una.
 - **WX GUI:** Utiliza la aplicación GUI (Graphical User Interface) con el conjunto de herramientas WX (Utiliza los bloques GUI WX)
 - **QT GUI:** Utiliza la aplicación GUI con el conjunto de herramientas QT (Utiliza los bloques GUI QT)
 - **No GUI:** Utiliza la aplicación de línea de comandos sin GUI (basada en texto, ejecución en consola)
 - **Hier Block:** Genera un bloque jerárquico el cual aparecerá en la lista de bloques (un componente reusable, no es una aplicación)
- **RUN:** Hace referencia a como iniciar y detener el diagrama de bloques.
- **Max Number of Output:** Limita el número de muestras a la salida por cada iteración de la función de trabajo de los bloques.
- **Realtime Scheduling:** Si el código se ejecuta como 'súper usuario' (utilizando el comando sudo) se genera un requerimiento al núcleo del SO para dar prioridad al proceso.
- **Bloque Variable:** Es un bloque que contiene una expresión arbitraria en Python. Cada vez que se inicie un nuevo proyecto se generará un bloque con la variable 'samp_rate' la cual define el tiempo de muestreo del proyecto.

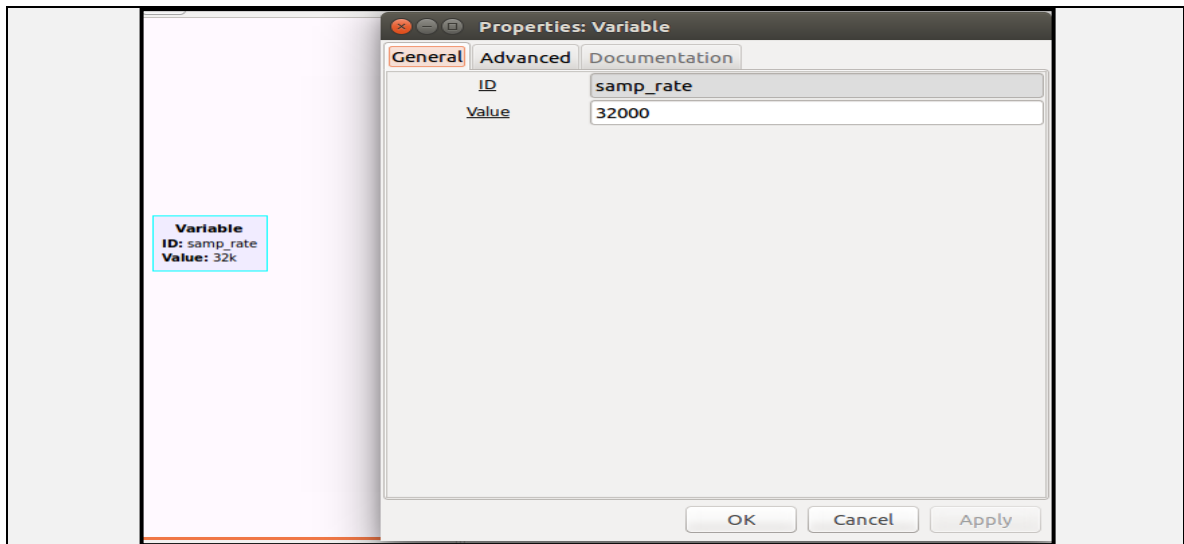


Figura 7 Ventana de configuración bloque Variable

En la Figura 7 podemos ver el bloque Variable y al detallar las propiedades del mismo encontramos:

-ID: Este espacio responde al nombre de la variable Python que se genera. El valor a introducir en este espacio es de libre elección del usuario. Se puede hacer referencia a esta variable en otro bloque mediante su ID, hacer esto genera que en el espacio en que se referencia a la variable (samp_rate en este caso) sea asignado el valor de la misma en el bloque.

-Value: En este espacio se debe introducir el valor de la variable, el cual es arbitrario según la necesidad del usuario. Como se puede apreciar en la Figura 7, por defecto la variable 'samp_rate' tiene el valor entero de '32000', lo cual también se puede expresar como un número de coma flotante '32e3' (32000.0) o se puede representar como la parte entera de un número de coma flotante 'int(32e3)'. También se puede ingresar en este espacio resultados de operaciones aritméticas como sumas, restas, multiplicaciones y divisiones (ej 10+ 15). Cabe recordar que como se mencionó anteriormente el valor asignado a la variable es arbitrario.

Para lograr un correcto desarrollo de la práctica se debe comprender cómo funciona la herramienta y el proceso mediante el cual se ejecutan los proyectos implementados, para esto se genera el programa 'Hola Mundo' de GRC el cual nos permite comprender el proceso de desarrollo y ejecución de un proyecto simple utilizando señales en banda base.

ACTIVIDADES RECOMENDADAS

1. Instalar sistema operativo Linux-Ubuntu
2. Instalar GNU Radio

REFERENCIAS

- [1] Página Oficial Ubuntu, "<http://www.ubuntu.com/>".



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES PROGRAMAS ACADÉMICOS
GUÍA DE LABORATORIO O PRÁCTICA ACADÉMICA



Título: Práctica de laboratorio desarrollo de modulación PSK mediante GNU RADIO	
Código: LAB1450401	Versión: 1
Tiempo estimado de desarrollo: 2 horas.	Fecha de aprobación: 26/05/2014
Lugar de desarrollo: Laboratorio	Número sugerido de participantes: 1
Presentado por: Coordinación de área de Telecomunicaciones.	

Asignatura: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES I	Núcleo: TELECOMUNICACIONES
Código: 14504	Semestre: 5º
Requisitos: SEÑALES DE Y SISTEMAS	Créditos: 3
Semanas: 16	Horas Semanales: 6
Total horas de trabajo presencial del estudiante: 96	Horas prácticas al semestre: 32
Horas teóricas al semestre: 64	Horas de trabajo independiente del Estudiante: 80

RESUMEN
La presente guía de laboratorio contiene el desarrollo de un modulador B-PSK, Q-PSK y 8-PSK

CATEGORÍA	COMPETENCIAS A FORTALECER
<i>Cognitiva</i>	Analiza el funcionamiento de un sistema de telecomunicaciones con los elementos que lo componen.
<i>Aplicación cognitiva</i>	Analiza los modelos con diferentes herramientas que permitan caracterizar los sistemas de telecomunicaciones a nivel de procesamiento de señal, anchos de banda y capacidad del canal.
Las competencias axiológicas, investigativas y comunicativas expresadas en el Syllabus se tienen en cuenta en su totalidad.	

OBJETIVO GENERAL DE LA PRÁCTICA
Realizar la implementación de los sistemas de modulación PSK sobre la herramienta GNU RADIO.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Comprender el desarrollo de los sistemas PSK. • Implementar la modulación PSK sobre la herramienta GNU RADIO. • Validar los resultados según el análisis realizado del sistema.

CONTENIDO APLICADO DEL SYLLABUS
Introducción a los Sistemas de Comunicaciones
INDICADORES / ENTREGABLES
1. Documento con presentación de los resultados la instalación de GNU Radio.
Criterio de verificación
<ol style="list-style-type: none"> 1. No cumple 2. Cumple de manera deficiente 3. Cumple de manera aceptable 4. Cumple de manera sobresaliente 5. Cumple con excelencia

MARCO TEÓRICO

Compete aclarar que, al tratarse de una modulación digital, el número de estados de la señal moduladora es limitado; a diferencia de modulaciones de carácter análogo como la modulación PM, en la cual la fase de la portadora varía según el cambio continuo de la señal moduladora análoga.

Los beneficios del sistema PSK en cuanto a la capacidad de transmisión sobre el sistema, comienzan a notarse al tratar el sistema M-ario (M-ario). El sistema se deriva de la palabra binario y hace referencia al dígito M, el cual indica la cantidad de combinaciones posibles para determinada cantidad de variables binarias [1]. La cantidad de condiciones de salida se calcula sobre la *Ecuación 1*.

$$N = \log_2 M$$

Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Ecuación 1 Ecuación de cantidad de bits codificados

Donde:

$N =$ Cantidad de bits codificados

$M =$ Cantidad de condiciones posibles de salida con N bits

Despejando M de la *Ecuación 1* se obtiene:

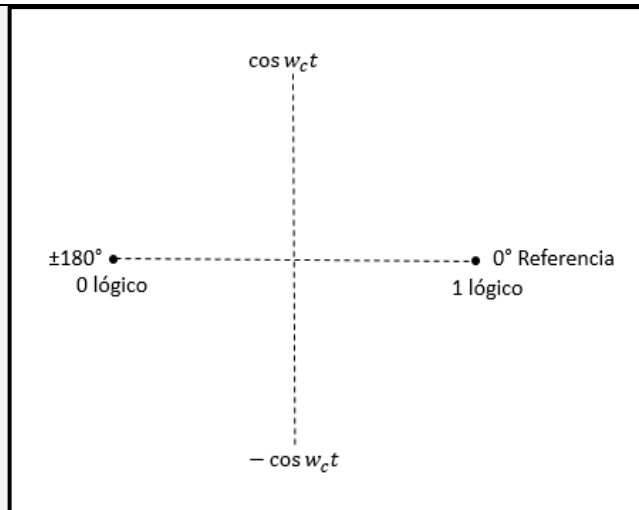
$$M = 2^N$$

Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Ecuación 2 Ecuación de cantidad de condiciones posibles de salida con N bits.

Modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying)

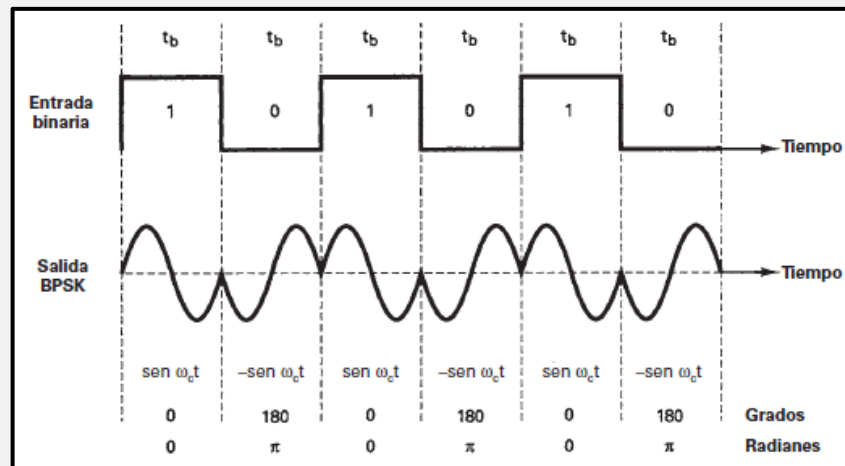
El primer sistema de modulación PSK se hace evidente al desarrollar el valor mínimo de N , el cual es de 1 bit. A este sistema se le llamará BPSK (Binary Phase Shift Keying), lo anterior debido a que los valores que puede tomar el sistema se reducen a un 0 y 1 lógico. Por tanto, la respuesta en la constelación sobre el plano de cuadratura y en fase (Quadrature & In phase) será información sobre el punto a 0° al recibir un 1 lógico y, por el contrario, al obtener un 0 lógico se obtendrá el punto 180° desfasado sobre el plano. Lo anterior se puede observar en la *Figura 1*.



Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Figura 1 Diagrama de constelación BPSK

Así, la respuesta de la señal modulada BPSK en el tiempo, será el cambio de fase cada vez que el símbolo N (0,1) cambie en señal de información como se puede observar en la Figura 2.



Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Figura 2 Relación de fase de salida en función del tiempo para un modulador BPSK.

Modulación QPSK (PSK M-ario con M=4)

Al igual que en el caso de la modulación BPSK, se parte de la premisa de que el valor asignado a M, en este caso, será igual a cuatro. Lo anterior permite que el desarrollo del modulador despliegue sobre la constelación cuatro posibles niveles los cuales serán asignados según el valor instantáneo de la señal digital de modulación. Sobre la *Tabla 1* se observan los valores de M según varia el número de bits N.

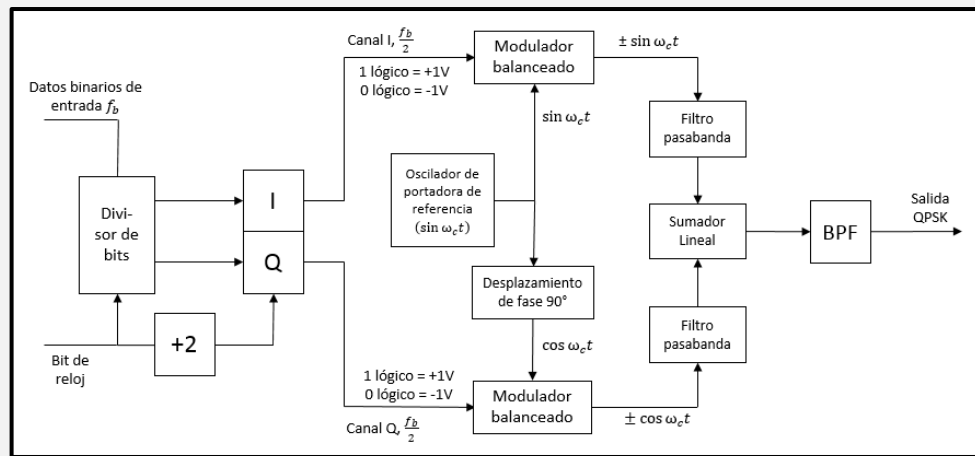
N	M
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32

Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Tabla 1 Cantidad de condiciones de salida M según la cantidad de bits codificados N.

La modulación QPSK o modulación cuaternaria por desplazamiento de fase, se compone de cuatro respuestas de fase, las cuales están dadas por los díbits 00, 01, 10 y 11. Sin embargo, para que sea posible que a la salida del sistema de modulación se obtengan las cuatro fases de constelación sobre el plano I vs Q, es necesario que a la entrada ingresen dos bits, lo que en últimas produce los díbits mencionados anteriormente. De esta forma, para cada díbit de dos bits sincronizados en el modulador, se obtiene un solo cambio a la salida. Y así la rapidez de cambio en la salida (baudios) es la mitad de la rapidez de entrada de bits [1].

El diagrama mediante el cual se implementa la modulación QPSK se muestra en la Figura 3.



Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Figura 3 Diagrama modulador QPSK.

Haciendo el análisis del diagrama mediante el cual se implementa la modulación QPSK se obtienen cuatro fasores posibles, los cuales son:

- $+sen(\omega_c t) + cos(\omega_c t)$
- $+sen(\omega_c t) - cos(\omega_c t)$
- $-sen(\omega_c t) + cos(\omega_c t)$

- $-\text{sen}(\omega_c t) - \cos(\omega_c t)$

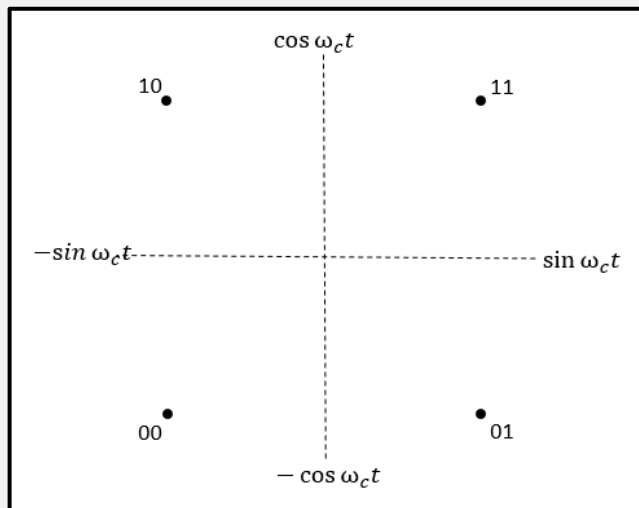
Por lo cual una señal QPSK el mayor desplazamiento en fase que puede realizar es de $\pm 45^\circ$ durante la transmisión. En la Tabla 2 se muestran los valores de entrada binaria y sus resultados correspondientes en fase a la salida del modulador QPSK.

Una de las ventajas de la modulación QPSK, es que debido a que las amplitudes sobre los planos están determinadas por dos valores discretos (0 y 1); por lo tanto, la magnitud de los cuatro fasores resultantes es $\sqrt{2}$. Por tanto, se puede observar sobre la Figura 4 el diagrama de constelación de la modulación QPSK cuatro puntos ubicados a una distancia $\sqrt{2}$ del punto (0,0) separados por un desfase de $\pm 45^\circ$ sobre los planos (I,Q).

Entrada Binaria		Fase de salida QPSK
Q	I	
0	0	-135°
0	1	-45°
1	0	+135°
1	1	+45°

Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Tabla 2 Tabla de verdad modulación QPSK



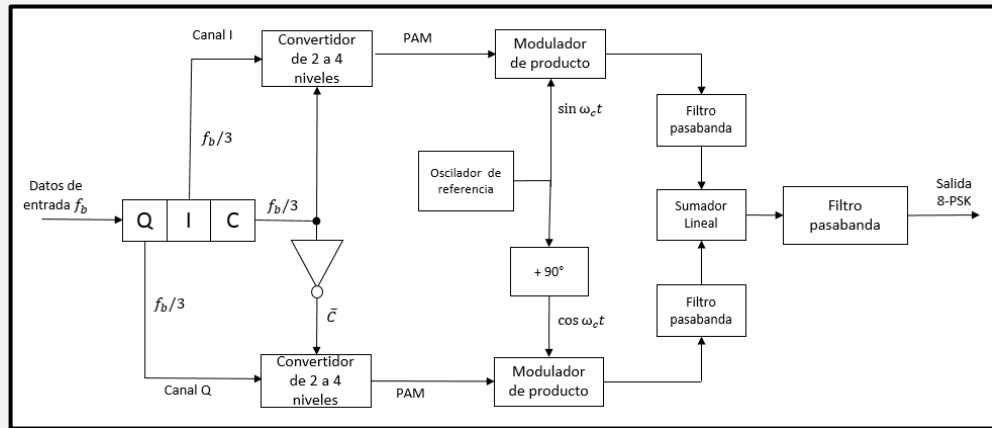
Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Figura 4 Diagrama de constelación QPSK

Modulación 8PSK (PSK M-ario con M=8)

El modulador 8-PSK permite la salida de ocho fases posibles de salida, las cuales requieren la agrupación de tres bits, los cuales son llamados tribits ($2^3 = 8$).

En el desarrollo de este método de modulación M-ario se trata además del canal enfasado (I) y en cuadratura (Q), el canal de control C. Por lo cual, la rapidez de bits en cada uno de los canales es de $f_b/3$. En la Figura 5 se aprecia, que tanto los canales I y C como los Q y \bar{C} ingresan al convertor de 2 a 4 niveles de su respectivo canal. Los convertidores de 2 a 4 niveles, son esencialmente DAC (digital-to-analog converter) de entrada en paralelo. Al ingresar dos bits es posible generar 4 niveles de salida por cada uno de los convertidores. Entonces, los bits I o Q definen la polaridad de salida de la señal analógica (1 lógico = +V, y 0 lógico = -V), en tanto el bit C y \bar{C} define la magnitud de los fasores (1 lógico = 1.307 V, y 0 lógico = 0.541 V). De esta manera, con dos polaridades y dos magnitudes son posibles cuatro condiciones de salida diferentes por cada uno de los convertidores de 2 a 4 niveles.



Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Figura 5 Diagrama modulador 8-PSK

Los fasores obtenidos en el análisis, según las consideraciones de los convertidores de nivel tanto en el canal I como en el Q responden a la forma descrita en la Ecuación 3.

$$C I \text{ sen}(\omega t) + \bar{C} Q \text{ cos}(\omega t)$$

Fuente: Avalo Miguel

Ecuación 3 Ecuación fasorial general 8-PSK

Por tanto, al desarrollar cada uno de los fasores, teniendo en cuenta los valores de salida de los canales sobre la *Tabla 3*, se obtienen los resultados descritos en la *Tabla 4*, representados gráficamente en la *Figura 6*.

Canal IC			CANAL $Q\bar{C}$		
I	C	Salida	Q	\bar{C}	Salida
0	0	-0.541V	0	0	-1.307V
0	1	-1.307V	0	1	-0.541V
1	0	+0.541V	1	0	+1.307V
1	1	+1.307V	1	1	+0.541V

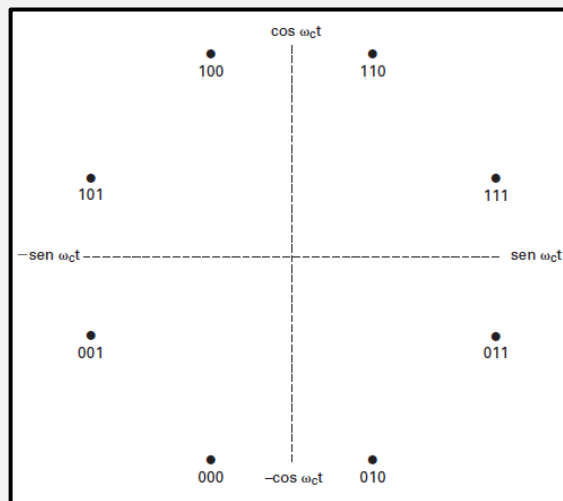
Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Tabla 3 Tablas de verdad canales IC y $Q\bar{C}$.

Q	I	C	Forma fasorial	Fase de salida 8-PSK
0	0	0	$-0.541 \text{ sen}(\omega t) - 1.307 \text{ cos}(\omega t)$	-112.5°
0	0	1	$-1.307 \text{ sen}(\omega t) - 0.541 \text{ cos}(\omega t)$	-157.5°
0	1	0	$+0.541 \text{ sen}(\omega t) - 1.307 \text{ cos}(\omega t)$	-67.5°
0	1	1	$+1.307 \text{ sen}(\omega t) - 0.541 \text{ cos}(\omega t)$	-22.5°
1	0	0	$-0.541 \text{ sen}(\omega t) + 1.307 \text{ cos}(\omega t)$	$+112.5^\circ$
1	0	1	$-1.307 \text{ sen}(\omega t) + 0.541 \text{ cos}(\omega t)$	$+157.5^\circ$
1	1	0	$+0.541 \text{ sen}(\omega t) + 1.307 \text{ cos}(\omega t)$	$+67.5^\circ$
1	1	1	$+1.307 \text{ sen}(\omega t) + 0.541 \text{ cos}(\omega t)$	$+22.5^\circ$

Fuente: Avalo Miguel

Tabla 4 Tabla de verdad modulación 8-PSK



Fuente: Wayne, Tomasi [1]

Figura 6 Diagrama de constelación 8-PSK

Para la implementación del modelo PSK sobre la plataforma de software GNURADIO se utilizó la guía para ejecutar la modulación digital desarrollada en la página web gnuradio.org.

El diagrama de bloques sobre la herramienta se encuentra en la Figura 8.

Los bloques utilizados en el desarrollo de este laboratorio están incluidos en la librería básica del programa, por lo cual no es necesario realizar o implementar algún bloque adicional. El desarrollo de la práctica permite implementar un sistema de modulación para apreciar los símbolos sobre el plano IQ. Cabe resaltar que la práctica utiliza la simulación de un canal, el cual permite simular los principales inconvenientes que tiene un sistema de telecomunicaciones real, como lo son el ruido y la sincronización entre radios.

En primera instancia, se genera un tren de pulsos aleatorio en el bloque Random Source. Al tener la información que el sistema va a modular, está ingresa en el bloque Constellation Modulator, el cual realiza la asignación de la información en los niveles definidos según sea un modulador BPSK, QPSK o 8PSK. Es importante que el usuario defina de forma apropiada los espacios del bloque para que se obtengan los resultados esperados al finalizar el sistema.

Una vez se modula la señal, esta ingresa en un canal de transmisión que simula el ruido AWGN (Ruido Aditivo Blanco Gaussiano) y los principales problemas que presenta un sistema de telecomunicaciones. En este punto de la práctica se puede observar que la información se encuentra dispersa sobre el espacio como se puede observar en la Figura 7.

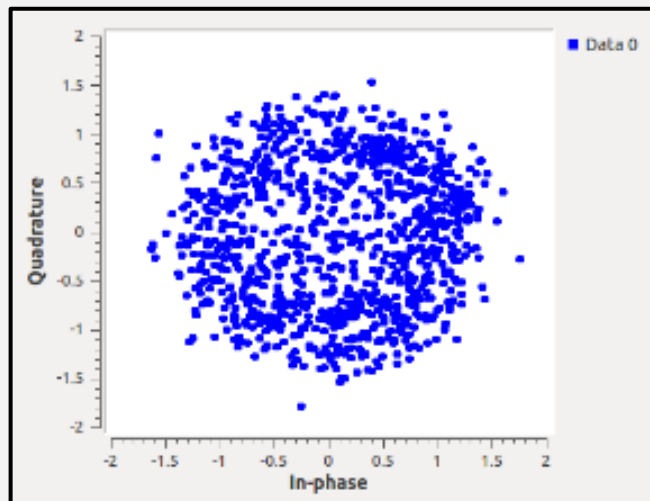


Figura 7 Información modulada sobre un modelo de canal simulado

Para corregir y definir la modulación como se espera, se llevan a cabo tres procesos que permiten recuperar la señal. En primer lugar, se implementa un bloque de sincronismo que permite recuperar la señal de reloj entre los dispositivos (tanto el transmisor como el receptor), adicionalmente el bloque remueve la interferencia inter símbolo (ISI) y reduce la tasa de muestreo a 1 sps (Samples Per Symbol). Al recuperar el sincronismo, se procede a ecualizar la señal mediante un ecualizador CMA (Constant Modulus Algorithm), el cual funciona únicamente para señales de amplitud constante. Cabe recordar que la señal de salida PSK es una circunferencia de magnitud constante. Por último, se implementa un bloque Costas Loop que realiza la sincronización de la modulación según corresponda, cabe aclarar que dependiendo de la

modulación que se implemente, el valor del bloque cambia como sigue BPSK = 2, QPSK =4 y 8PSK =8.

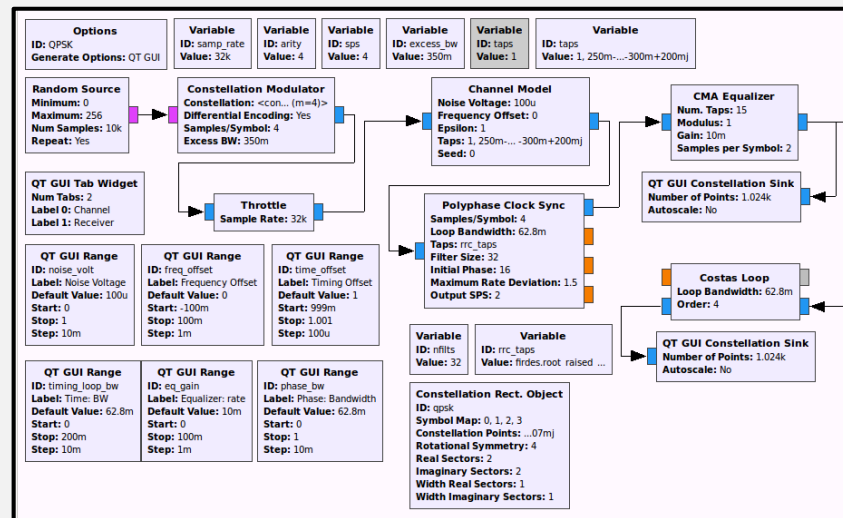


Figura 8 Diagrama de bloques modulación PSK

Al realizar las implementaciones mencionadas, se puede observar el resultado del QPSK y 8PSK en las Figura 9 y Figura 10 respectivamente.

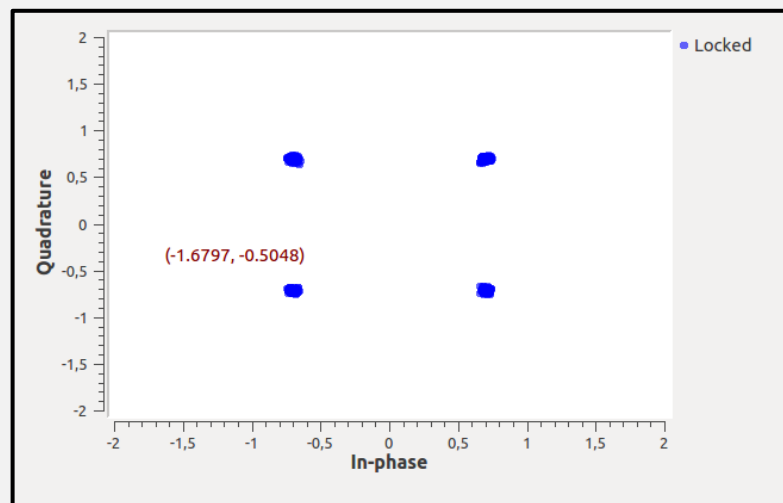


Figura 9 Diagrama de constelación Q-PSK práctico

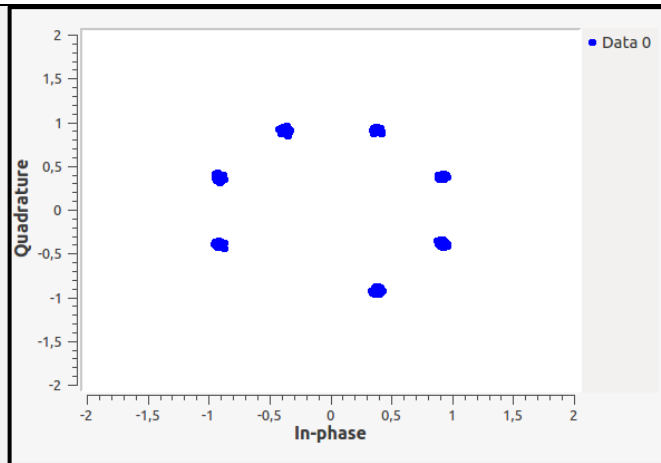


Figura 10 Diagrama de constelación 8-PSK práctico

Adicionalmente, se muestra debe tener en cuenta que la modificación del bloque Constellation Modulator corresponde al cambio en el bloque Constellation Rect. Object. Se muestra, la configuración básica del mismo para Q-PSK y 8-PSK en las imágenes Figura 11 y Figura 12.

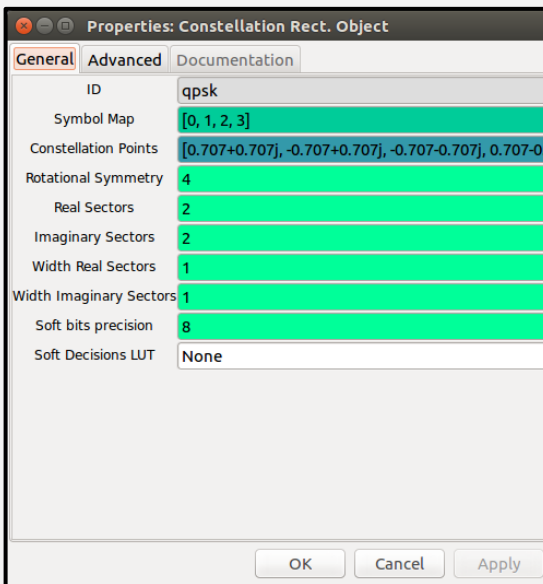


Figura 11 Configuración bloque para Q-PSK práctico

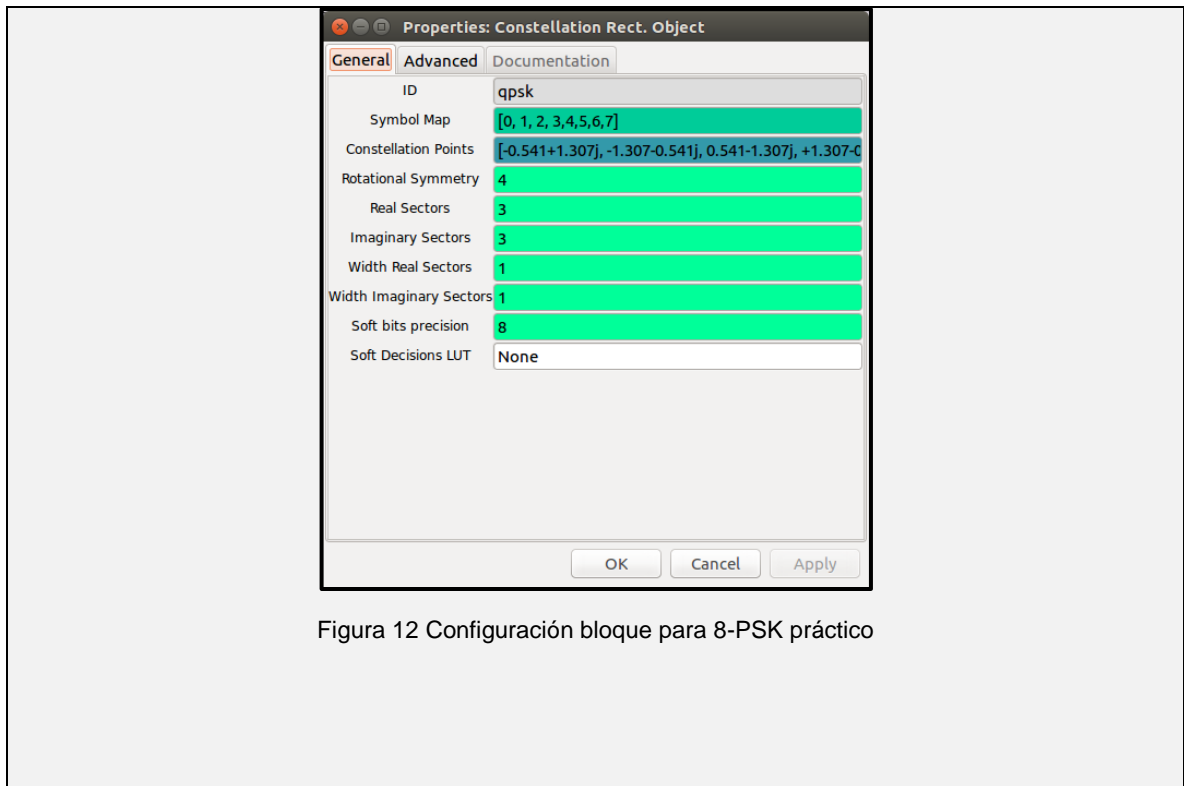


Figura 12 Configuración bloque para 8-PSK práctico

ACTIVIDADES RECOMENDADAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. Generar los bloques de modulación PSK en GNU Radio. 2. Realizar un análisis de un transmisor de PSK.

REFERENCIAS
<ol style="list-style-type: none"> [1] W. Tomasi, <i>Sistemas de comunicaciones electrónicas</i>. Pearson educación, 2003. [2] L. E. Frenzel and C. C. Gutiérrez, <i>Sistemas electrónicos de comunicaciones</i>. Alfaomega México, 2003. [3] L. W. Couch, R. N. Salas, and R. de J. B. de la Parra, <i>Sistemas de comunicación digitales y analógicos</i>. Prentice-Hall, 1998. [4] I. Glover and P. M. Grant, <i>Digital Communications</i>. Pearson/Prentice Hall, 2004. [5] Tom Rondeau, "PSK Symbol Recovery."



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES PROGRAMAS ACADÉMICOS
GUÍA DE LABORATORIO O PRÁCTICA ACADÉMICA



Título: Práctica de laboratorio desarrollo de modulador 16-QAM mediante GNU RADIO	
Código: LAB1450401	Versión: 1
Tiempo estimado de desarrollo: 2 horas.	Fecha de aprobación: 26/05/2014
Lugar de desarrollo: Laboratorio	Número sugerido de participantes: 1
Presentado por: Coordinación de área de Telecomunicaciones.	

Asignatura: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES I	Núcleo: TELECOMUNICACIONES
Código: 14504	Semestre: 5º
Requisitos: SEÑALES DE Y SISTEMAS	Créditos: 3
Semanas: 16	Horas Semanales: 6
Total horas de trabajo presencial del estudiante: 96	Horas prácticas al semestre: 32
Horas teóricas al semestre: 64	Horas de trabajo independiente del Estudiante: 80

RESUMEN
La presente guía de laboratorio contiene el desarrollo de un modulador 16-QAM

CATEGORÍA	COMPETENCIAS A FORTALECER
<i>Cognitiva</i>	Analiza el funcionamiento de un sistema de telecomunicaciones con los elementos que lo componen.
<i>Aplicación cognitiva</i>	Analiza los modelos con diferentes herramientas que permitan caracterizar los sistemas de telecomunicaciones a nivel de procesamiento de señal, anchos de banda y capacidad del canal.
Las competencias axiológicas, investigativas y comunicativas expresadas en el Syllabus se tienen en cuenta en su totalidad.	

OBJETIVO GENERAL DE LA PRÁCTICA
Realizar la implementación de un sistema 16-QAM sobre la herramienta GNU RADIO.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Comprender el modelo 16-QAM. • Implementar el sistema sobre la herramienta GNU RADIO. • Analizar los resultados según el análisis realizado.

CONTENIDO APLICADO DEL SYLLABUS
Introducción a los Sistemas de Comunicaciones
INDICADORES / ENTREGABLES
<p>1. Documento con presentación de los resultados la instalación de GNU Radio.</p> <p>Criterio de verificación</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No cumple 2. Cumple de manera deficiente 3. Cumple de manera aceptable 4. Cumple de manera sobresaliente 5. Cumple con excelencia

MARCO TEÓRICO

Para este sistema, los datos binarios de entrada son cuatro I, I', Q y Q' . La rapidez de los bits en cada canal se reduce a un cuarto de la rapidez de entrada de bits ($f_b/4$). Los bits I y Q determinan en el sistema la polaridad de la salida en los conversores de 2 a 4 niveles (1 lógico = positivo y 0 lógico = negativo), mientras que los bits I' y Q' determinan las magnitudes (1 lógico = 0.821 V y 0 lógico = 0.22 V). En la Tabla 1 se pueden encontrar las tablas de verdad de los convertidores de 2 a 4 niveles para el modulador 16-QAM. Por cada modulador de producto, son posibles cuatro salidas. Para el modulador de producto del canal I son $+0.821 \text{ sen}(\omega t), -0.821 \text{ sen}(\omega t), +0.22 \text{ sen}(\omega t)$ y $-0.22 \text{ sen}(\omega t)$. Mientras que para el modulador de producto del canal Q son $+0.821 \text{ cos}(\omega t), +0.22 \text{ cos}(\omega t), -0.821 \text{ cos}(\omega t)$ y $-0.22 \text{ cos}(\omega t)$. El sumador lineal, que podemos observar en la Figura 1, combina las salidas de los moduladores de producto de canal I y Q y produce las 16 condiciones de salida necesarias para el modulador 16-QAM, de la cual podemos apreciar los valores en la Tabla 2 y ver la constelación sobre el plano en la Figura 2.[1]

Canal I			CANAL Q		
I	I'	Salida	Q	Q'	Salida
0	0	-0.22V	0	0	-0.22V
0	1	-0.821V	0	1	-0.821V
1	0	+0.22V	1	0	+0.22V
1	1	+0.821V	1	1	+0.821V

Tabla 1 Tablas de verdad canales I y Q.

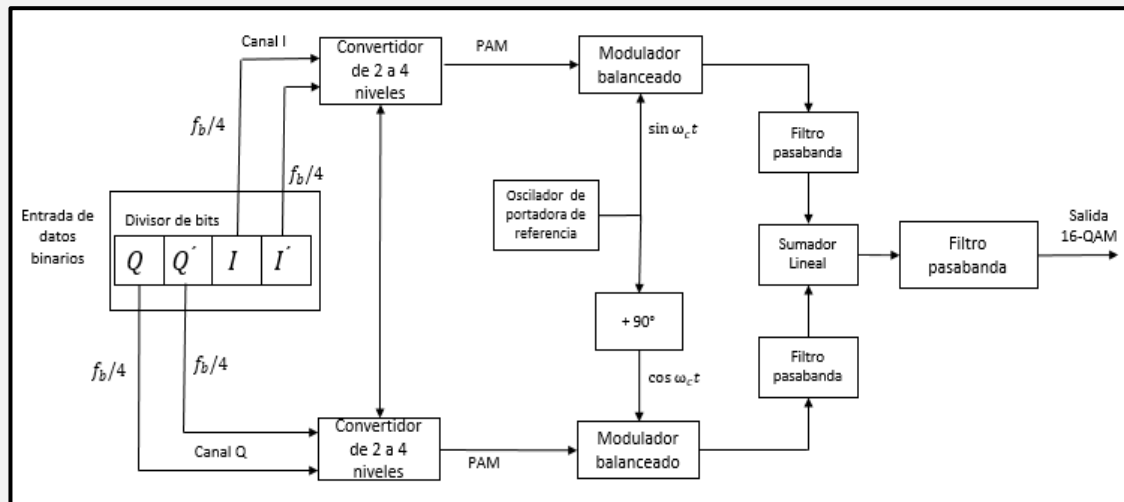


Figura 1 Diagrama modulador 16-QAM

Entrada binaria				Salida 8-QAM	
I	I'	Q	Q'	Amplitud	Fase
0	0	0	0	0.311V	-135°
0	0	0	1	0.850V	-165°
0	0	1	0	0.311V	-45°
0	0	1	1	0.850V	-15°
0	1	0	0	0.850V	-105°
0	1	0	1	1.161V	-135°
0	1	1	0	0.850V	-75°
0	1	1	1	1.161V	-45°
1	0	0	0	0.311V	+135°
1	0	0	1	0.850V	+165°
1	0	1	0	0.311V	+45°
1	0	1	1	0.850V	+15°
1	1	0	0	0.850V	+105°
1	1	0	1	1.161V	+135°
1	1	1	0	0.850V	+75°
1	1	1	1	1.161V	+45°

Tabla 2 Tabla de verdad modulación 16-QAM

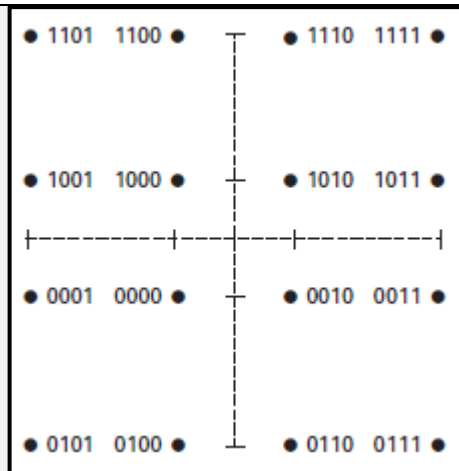


Figura 2 Diagrama constelación 16-QAM

Para la modulación QAM se presentó un inconveniente con el bloque de modulación incluido en la herramienta, debido a que está programado para calcular la modulación de sistemas QAM con base 4^n . Por tanto, se realizó la implementación del sistema 16-QAM. Se muestra el diagrama práctico del sistema en la Figura 3.

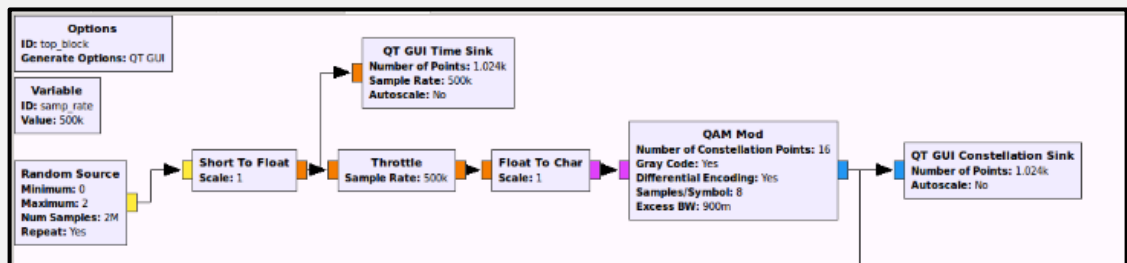


Figura 3 Diagrama de bloques modulación 16-QAM

Para esta modulación, se realiza la inserción de información mediante una fuente aleatoria. Una vez generados los datos que se quieren transmitir sobre el sistema. Estos ingresan al modulador QAM, el cual permite la asignación de los datos sobre la constelación QAM para realizar la transmisión. En modelo solo se efectúa la modulación de la información, debido a que solo se tenía planteado como fin del proyecto verificar las modulaciones digitales sobre la herramienta para contrastar los conocimientos teóricos del estudiante frente a una respuesta práctica que permita variar los parámetros de ingreso del sistema para alterar sus resultados en tiempo real.

El resultado de la práctica se puede observar en la Figura 4.

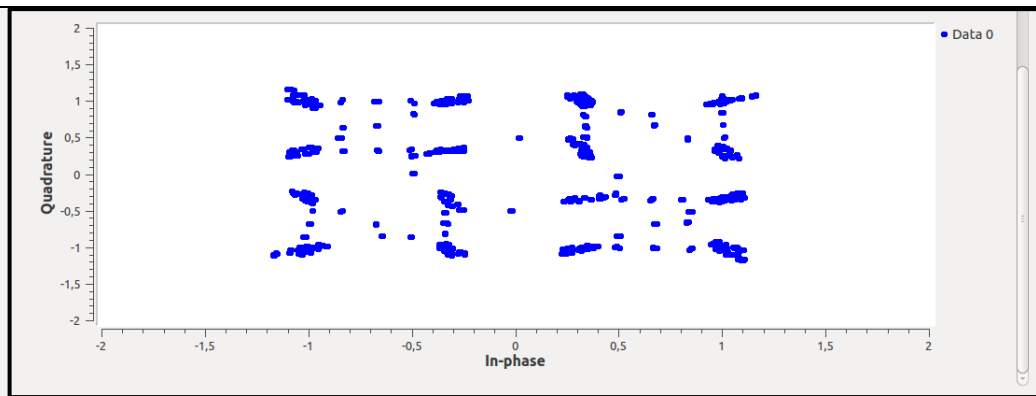


Figura 4 Diagrama de constelación 16-QAM práctico

ACTIVIDADES RECOMENDADAS

1. Generar los bloques de modulación 16-QAM en GNU Radio.
2. Realizar un análisis de un transmisor de 16-QAM.

REFERENCIAS

- [1] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson educación, 2003.
- [2] Stremmler Ferrel G., *Introducción a los sistemas de comunicación*. Addison-Wesley Oberamericana, S.A., 1993.
- [3] L. E. Frenzel and C. C. Gutiérrez, *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. Alfaomega México, 2003.
- [4] L. W. Couch, R. N. Salas, and R. de J. B. de la Parra, *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. Prentice-Hall, 1998.
- [5] I. Glover and P. M. Grant, *Digital Communications*. Pearson/Prentice Hall, 2004.



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES PROGRAMAS ACADÉMICOS
GUÍA DE LABORATORIO O PRÁCTICA ACADÉMICA



Título: Práctica de laboratorio desarrollo de un sistema de telecomunicaciones AM en GNU RADIO	
Código: LAB1450401	Versión: 1
Tiempo estimado de desarrollo: 2 horas.	Fecha de aprobación: 26/05/2014
Lugar de desarrollo: Laboratorio	Número sugerido de participantes: 1
Presentado por: Coordinación de área de Telecomunicaciones.	

Asignatura: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES I	Núcleo: TELECOMUNICACIONES
Código: 14504	Semestre: 5º
Requisitos: SEÑALES DE Y SISTEMAS	Créditos: 3
Semanas: 16	Horas Semanales: 6
Total horas de trabajo presencial del estudiante: 96	Horas prácticas al semestre: 32
Horas teóricas al semestre: 64	Horas de trabajo independiente del Estudiante: 80

RESUMEN
La presente guía de laboratorio contiene la implementación de un sistema de telecomunicaciones haciendo uso de la modulación AM.

CATEGORÍA	COMPETENCIAS A FORTALECER
<i>Cognitiva</i>	Analiza el funcionamiento de un sistema de telecomunicaciones con los elementos que lo componen.
<i>Aplicación cognitiva</i>	Analiza los modelos con diferentes herramientas que permitan caracterizar los sistemas de telecomunicaciones a nivel de procesamiento de señal, anchos de banda y capacidad del canal.
Las competencias axiológicas, investigativas y comunicativas expresadas en el Syllabus se tienen en cuenta en su totalidad.	

OBJETIVO GENERAL DE LA PRÁCTICA
Analizar los modelos de los sistemas de telecomunicaciones AM con diferentes herramientas que permitan caracterizar el espectro de frecuencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el modelo de las señales AM.
- Analizar el comportamiento del cambio del índice de modulación para las señales AM.

CONTENIDO APLICADO DEL SYLLABUS

Introducción a los Sistemas de Comunicaciones

INDICADORES / ENTREGABLES

1. Documento con presentación de los resultados la instalación de GNU Radio.

Criterio de verificación

1. No cumple
2. Cumple de manera deficiente
3. Cumple de manera aceptable
4. Cumple de manera sobresaliente
5. Cumple con excelencia

MARCO TEÓRICO

Las modulaciones análogas se desarrollan haciendo uso de dos señales principales, la de información y la portadora. Por consiguiente, la modulación AM produce el cambio en amplitud de la señal portadora con respecto a la señal de información. Teniendo en cuenta lo anterior, se muestra el proceso matemático mediante el cual se genera la ecuación de una señal AM para todo tiempo t . Se considera la fase $\theta = 0$, debido a que la modulación altera los valores de amplitud de las expresiones y el cambio de la fase es indiferente para el desarrollo del procedimiento de modulación por amplitud. Entonces, siendo:

$$v_c(t) = V_c \sin(2\pi f_c t)$$

Ecuación 1 Ecuación senoidal de una señal portadora

La ecuación para la señal portadora y:

$$v_m(t) = V_m \sin(2\pi f_m t)$$

Ecuación 2 Ecuación senoidal de una señal de información

La ecuación para la señal de información; la señal modulada en amplitud será el resultado del valor pico de la señal portadora en adición al valor instantáneo de la señal de información. Entonces se tiene:

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) &= (V_c + v_m(t)) \sin(2\pi f_c t) \\ v_{AM}(t) &= (V_c + V_m \sin(2\pi f_m t)) \sin(2\pi f_c t) \\ v_{AM}(t) &= V_c \left(1 + \frac{V_m}{V_c} \sin(2\pi f_m t) \right) \sin(2\pi f_c t) \end{aligned}$$

Ecuación 3 Ecuación inicial para una señal AM

De la Ecuación 3 se puede determinar el índice de modulación, el cual se denota como sigue:

$$m = \frac{V_m}{V_c}$$

Ecuación 4 Ecuación de índice de modulación AM

La respuesta de la modulación AM depende directamente del índice de modulación m el cual puede tomar valores de 0 hasta 1 para tener una respuesta coherente que permita transmitir la información, sin embargo a continuación se muestran los posibles casos que se pueden presentar al transmitir una señal a través de un sistema de modulación por amplitud:

- $m = 0$ Ausencia de modulación.
- $m \leq 1$ Modulación coherente AM, con máximo valor de una unidad (100%),
- $m > 1$ Sobre modulación AM.

Teniendo en cuenta lo anterior y reemplazando m en la Ecuación 3:

$$v_{AM}(t) = V_c(1 + m \sin(2\pi f_m t)) \sin(2\pi f_c t)$$

$$v_{AM}(t) = (V_c + V_c m \sin(2\pi f_m t)) \sin(2\pi f_c t)$$

$$v_{AM}(t) = V_c \sin(2\pi f_c t) + V_c m \sin(2\pi f_m t) \sin(2\pi f_c t)$$

$$v_{AM}(t) = V_c \sin(2\pi f_c t) + \frac{V_c m}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t] - \frac{V_c m}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t]$$

Fuente: Tomasi, Wayne [1]

Ecuación 5 Ecuación para una señal AM en todo tiempo t

El diagrama de bloques construido para la modulación AM se observa en la Figura 1.

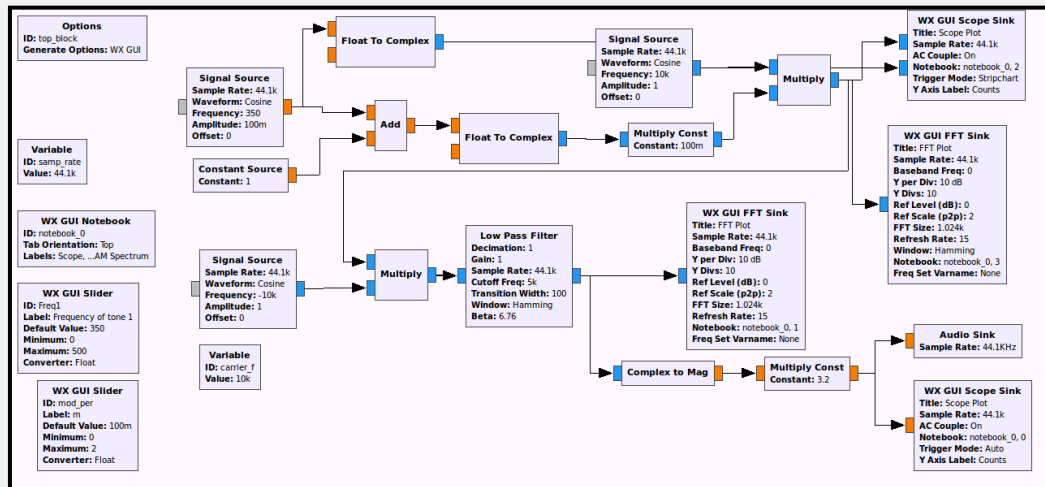


Figura 1 Diagrama de bloques modulación AM

Para realizar el análisis práctico se hace una breve recopilación de los elementos más relevantes implementados en el diagrama, como sigue:

- **Dos Signal Source:** Una señal para simular el mensaje (v_m) y una para simular la portadora (v_c).
- **Un Slider:** Para verificar en tiempo real el índice de modulación AM.
- **Un Slider:** Para modificar la frecuencia de la señal v_m .

En primera medida se debe verificar el mensaje que se pretende transmitir a través del sistema, por tanto, en la Figura 2 se muestra la señal obtenida de un tono con frecuencia de $f = 350 \text{ KHz}$.

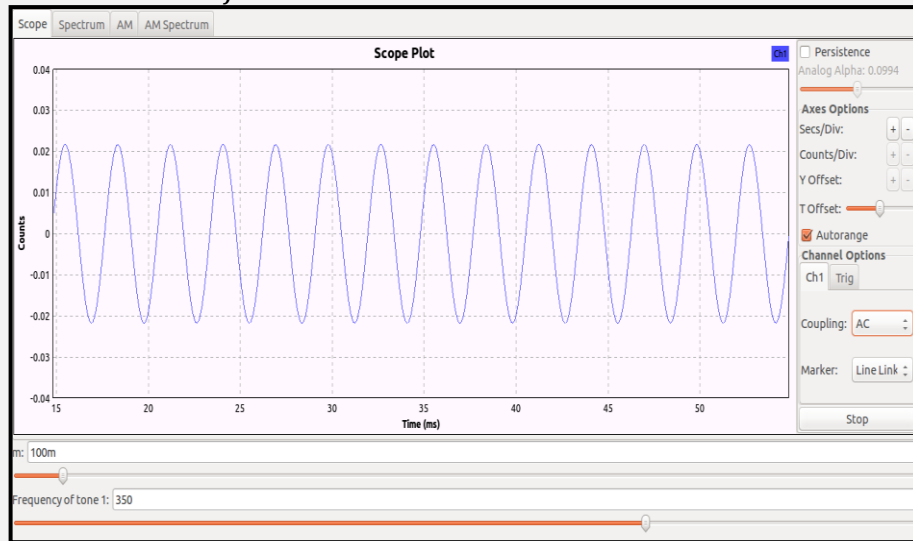


Figura 2 Señal de información v_m en GNU RADIO

Al tener claros los parámetros de la señal que se quiere transmitir, se realiza un análisis de la modulación AM teniendo en cuenta las características de amplitud determinadas para la señal de información y portadora. A continuación, se relacionan en la Tabla 1 los valores trabajados en el análisis práctico sobre la herramienta con el propósito de verificar la respuesta del sistema según la variación del parámetro m .

Se puede evidenciar que se tratan valores para m los cuales se encuentran entre los rangos, que permiten identificar los posibles resultados del sistema en cuanto a la señal AM generada. Las señales obtenidas se pueden observar en la Figura 4, Figura 5 y Figura 6

$v_m(V)$	$v_c(V)$	$m \left(\frac{v_m}{v_c} \right)$	% modulación
0	1	0	0
0.7	1	0.7	70
1	1	1	100
1.3	1	1.3	130

Tabla 1 Valores para el índice de modulación AM



Figura 3 Ausencia de modulación AM

Se puede apreciar en las imágenes dos señales, una de color azul (AM) y una de color rojo (señal de información). Es notable que la respuesta de la modulación se encuentra desfasada según la respuesta esperada del sistema en la que, al alcanzar la señal de información a su máxima amplitud negativa ($-V_m$) se esperaría que la amplitud de la señal AM tuviera su pico mínimo, lo anterior se ocasiona debido a que los bloques implementados en el diagrama adicionan un retraso en la señal (delay).

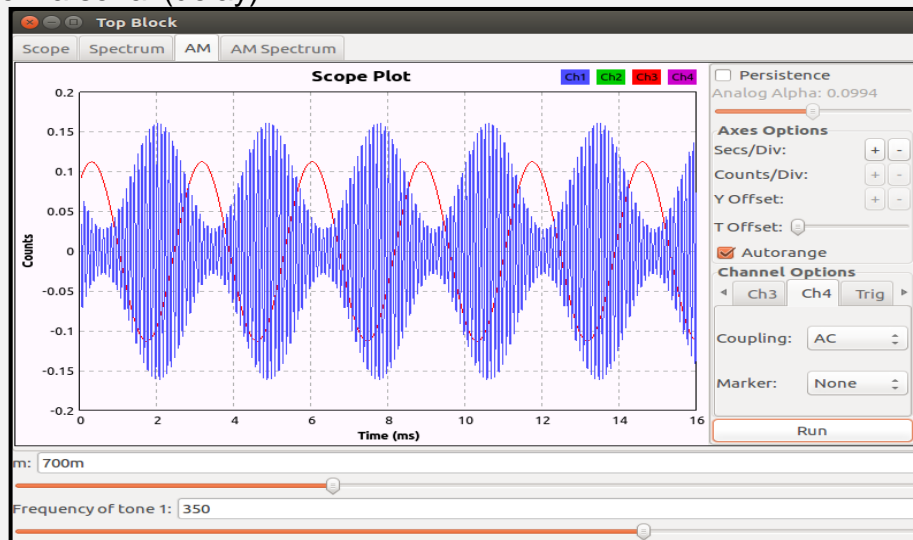


Figura 4 Modulación coherente AM

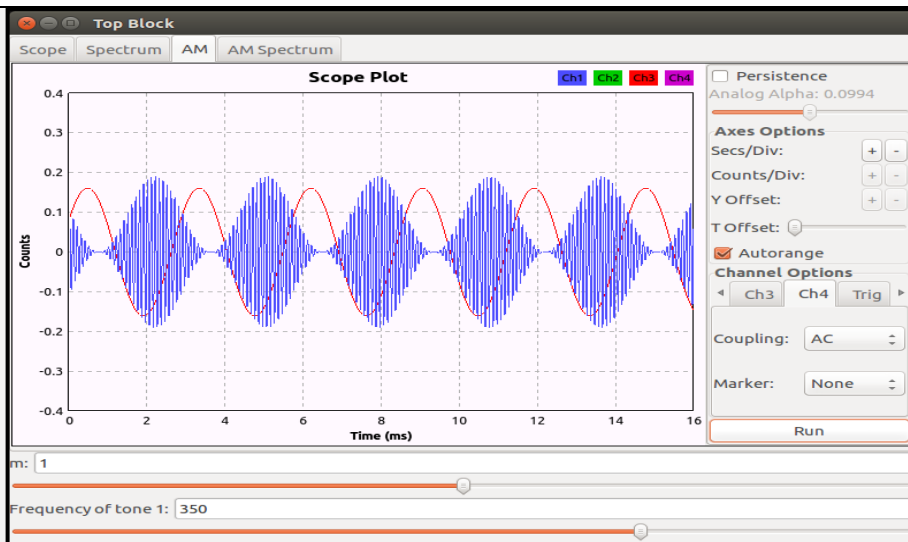


Figura 5 Máximo nivel de modulación AM

El sistema implementado muestra como resultado el mensaje de información enviado v_m en un plano de amplitud Vs tiempo y adicionalmente se puede percibir la respuesta a nivel auditivo mediante el hardware del equipo en el cual se implementa el sistema.

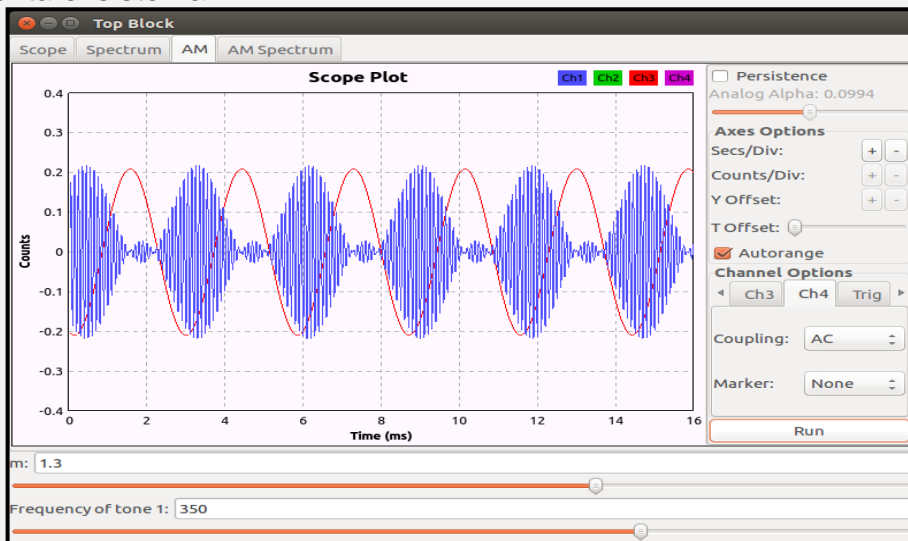


Figura 6 Sobremodulación AM

Se debe informar adicionalmente que debido a las frecuencias soportadas en los equipos USRP N210 no es posible realizar una implementación que permita la transmisión real sobre el ERE de la señal de información.

ACTIVIDADES RECOMENDADAS

1. Generar los bloques de modulación AM en GNU Radio
2. Realizar un análisis de los cambios de los índices de modulación y sus efectos en la señal AM

REFERENCIAS

- [1] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson educación, 2003.
- [2] S. S. Haykin and G. N. Cázares, *Sistemas de comunicación*. Interamericana, 1985.
- [3] Stremmler Ferrel G., *Introducción a los sistemas de comunicación*. Addison-Wesley Oberamericana, S.A., 1993.
- [4] L. E. Frenzel and C. C. Gutiérrez, *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. Alfaomega México, 2003.
- [5] L. W. Couch, R. N. Salas, and R. de J. B. de la Parra, *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. Prentice-Hall, 1998.



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES PROGRAMAS ACADÉMICOS
GUÍA DE LABORATORIO O PRÁCTICA ACADÉMICA



Título: Práctica de laboratorio desarrollo de un sistema de telecomunicaciones FM en GNU RADIO haciendo uso de los dispositivos ETTUS USRP N210	
Código: LAB1450401	Versión: 1
Tiempo estimado de desarrollo: 2 horas.	Fecha de aprobación: 26/05/2014
Lugar de desarrollo: Laboratorio	Número sugerido de participantes: 1
Presentado por: Coordinación de área de Telecomunicaciones.	

Asignatura: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES I	Núcleo: TELECOMUNICACIONES
Código: 14504	Semestre: 5º
Requisitos: SEÑALES DE Y SISTEMAS	Créditos: 3
Semanas: 16	Horas Semanales: 6
Total horas de trabajo presencial del estudiante: 96	Horas prácticas al semestre: 32
Horas teóricas al semestre: 64	Horas de trabajo independiente del Estudiante: 80

RESUMEN
La presente guía de laboratorio contiene el desarrollo de transmisor y receptor de FM

CATEGORÍA	COMPETENCIAS A FORTALECER
<i>Cognitiva</i>	Analiza el funcionamiento de un sistema de telecomunicaciones con los elementos que lo componen.
<i>Aplicación cognitiva</i>	Analiza los modelos con diferentes herramientas que permitan caracterizar los sistemas de telecomunicaciones a nivel de procesamiento de señal, anchos de banda y capacidad del canal.
Las competencias axiológicas, investigativas y comunicativas expresadas en el Syllabus se tienen en cuenta en su totalidad.	

OBJETIVO GENERAL DE LA PRÁCTICA
Hacer uso de la herramienta GNU RADIO y su aplicación en los dispositivos ETTUS USRP N210 para implementar un sistema de comunicación haciendo uso de la modulación FM.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el modelo de representación en frecuencia para señales continuas
- Analizar las bandas de un espectro en frecuencia.
- Comprobar el modelo con el analizador de espectros.

CONTENIDO APLICADO DEL SYLLABUS

Introducción a los Sistemas de Comunicaciones

INDICADORES / ENTREGABLES

1. Documento con presentación de los resultados la instalación de GNU Radio.

Criterio de verificación

1. No cumple
2. Cumple de manera deficiente
3. Cumple de manera aceptable
4. Cumple de manera sobresaliente
5. Cumple con excelencia

MARCO TEÓRICO

El modelo matemático de la modulación por frecuencia se describe a continuación:

$$v_{FM}(t) = V_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin 2\pi f_m t]$$
$$v_{FM}(t) = V_c \cos[\omega_c t + \beta \sin \omega_m t]$$

Al expandir el coseno de la ecuación, se obtiene:

$$v_{FM}(t) = V_c \cos(\omega_c t) \cos(\beta \sin \omega_m t) - V_c \sin(\omega_c t) \sin(\beta \sin \omega_m t)$$

Ecuación 1 Consideración inicial para una onda senoidal modulada en FM

En donde:

$$\cos(\beta \sin \omega_m t) = J_0(\beta) + \sum_{2n}^{\infty} 2J_{2n}(\beta) \cos(n\omega_m t) \text{ para } n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

Ecuación 2 Coeficientes de Bessel para la sumatoria coseno

$$\sin(\beta \cos \omega_m t) = \sum_{2n-1}^{\infty} 2J_{2n-1}(\beta) \sin(n\omega_m t) \text{ para } n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

Ecuación 3 Coeficientes de Bessel para la sumatoria seno

Se determinan los coeficientes de Bessel de primer orden como $J_n(\beta)$, con argumento β , el cual corresponde al índice de modulación de frecuencia.

Reemplazando los elementos descritos en la Ecuación 2 y Ecuación 3 en la Ecuación 1, se obtiene:

$$v_{FM}(t) = V_c \cos(\omega_c t) \left[J_0(\beta) + \sum_{2n}^{\infty} 2J_{2n}(\beta) \cos(n\omega_m t) \right] - V_c \sin(\omega_c t) \left[\sum_{2n-1}^{\infty} 2J_{2n-1}(\beta) \sin(n\omega_m t) \right]$$

Ecuación 4 Ecuación para una señal modulada en FM teniendo en cuenta los coeficientes de Bessel

Considerando las siguientes propiedades trigonométricas:

$$\begin{aligned} \cos(\alpha) \cos(\beta) &= \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) \\ \sin(\alpha) \sin(\beta) &= \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) \end{aligned}$$

Ecuación 5 Identidades trigonométricas de producto para seno y coseno

Desarrollando la Ecuación 4 teniendo en cuenta las identidades de la Ecuación 5,

$$\begin{aligned} v_{FM}(t) &= V_c J_0(\beta) \cos(\omega_c t) + \sum_{2n}^{\infty} J_{2n}(\beta) \cos(n\omega_c t) \\ &\quad + \sum_{2n-1}^{\infty} V_c J_{2n-1}(\beta) \cos(\omega_c - (2n-1)\omega_m)t \\ &\quad - V_c J_{2n-1}(\beta) \cos(\omega_c + (2n-1)\omega_m)t \end{aligned}$$

Ecuación 6 Ecuación para una señal modulada en FM desarrollando las identidades trigonométricas de producto

Solucionando la sumatoria en algunos de sus componentes, se tiene:

$$\begin{aligned} v_{FM}(t) &= V_c J_0(\beta) \cos(\omega_c t) + V_c J_2(\beta) \cos(\omega_c - 2\omega_m)t + V_c J_2 \cos(\omega_c + 2\omega_m)t \\ &\quad + V_c J_4(\beta) \cos(\omega_c - 4\omega_m)t + V_c J_4(\beta) \cos(\omega_c + 4\omega_m)t + \dots \\ &\quad - V_c J_1 \cos(\omega_c - \omega_m)t - V_c J_1(\beta) \cos(\omega_c + \omega_m)t + V_c J_3(\beta) \cos(\omega_c - 3\omega_m)t \\ &\quad - V_c J_3(\beta) \cos(\omega_c + 3\omega_m)t - \dots \end{aligned}$$

Ecuación 7 Ecuación para una señal modulada en FM evaluando algunos componentes de la sumatoria

Organizando la expresión.

$$\begin{aligned} v_{FM}(t) &= V_c J_0(\beta) \cos(\omega_c t) + V_c J_1 \cos(\omega_c + \omega_m)t + V_c J_2 \cos(\omega_c + 2\omega_m)t \\ &\quad + V_c J_3(\beta) \cos(\omega_c + 3\omega_m)t + \dots - V_c J_1 \cos(\omega_c - \omega_m)t \\ &\quad - (-1)V_c J_2(\beta) \cos(\omega_c - 2\omega_m)t - V_c J_3(\beta) \cos(\omega_c - 3\omega_m)t \\ &\quad - (-1)V_c J_4(\beta) \cos(\omega_c - 4\omega_m)t + \dots \end{aligned}$$

Ecuación 8 Ecuación para una señal modulada en FM organizando los elementos obtenidos

Finalmente se obtiene una expresión general para todo tiempo t, en FM:

$$v_{FM} = V_c J_0(\beta) \cos(\omega_c t) + \sum_{n=1}^{\infty} V_c(\beta) \cos(\omega_c + n\omega_m)t + (-1)^n \sum_{n=1}^{\infty} V_c J(\beta) \cos(\omega_c - n\omega_m)t$$

Fuente: Espinosa, Díaz [1]

Ecuación 9 Ecuación final para una señal modulada en FM en todo tiempo t

El desarrollo del modelo de modulación de frecuencia sobre la herramienta GNU RADIO permite realizar la transmisión en tiempo real de la señal de información, señales de audio en este caso particular, logrando la recepción desde cualquier equipo demodulador FM.

El diagrama de bloques de la práctica realizada para la modulación en FM se divide en dos partes principales, las cuales son, el diagrama de transmisión (modulador) y diagrama de recepción (demodulador). A continuación, se tratan los diseños de transmisión y recepción sobre señal modulada en frecuencia.

El transmisor FM, permite tomar en tiempo real una señal de audio mediante el hardware del equipo en el cual se está implementando la práctica y transmitirla sobre el ERE en la frecuencia seleccionada por el usuario; siempre y cuando la frecuencia este comprendida en el rango de frecuencia soportado por los equipos Ettus. El esquema implementado se observa a continuación:

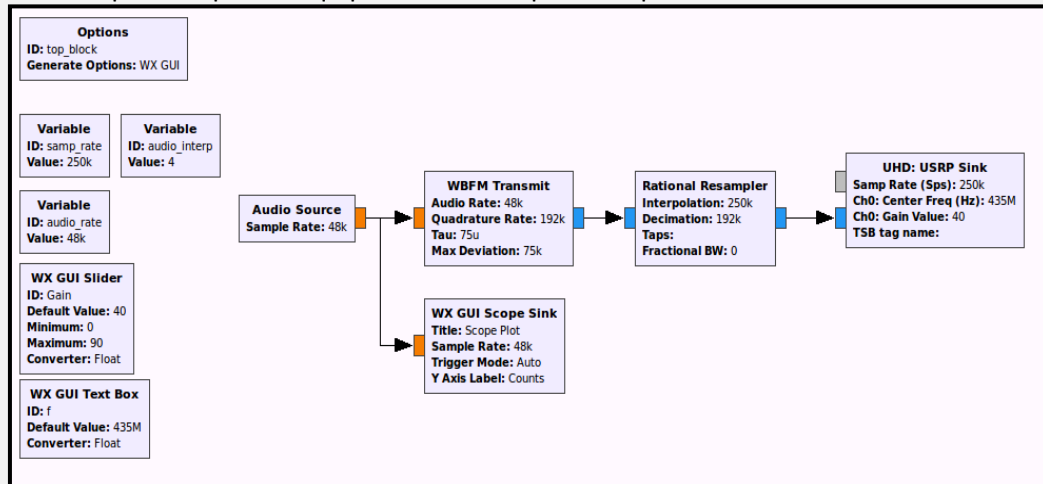


Figura 1 Diagrama de bloques TX FM

En este punto se hace uso de los equipos USRP N210 mediante la integración del bloque **UHD: USRP Sink**, el cual se encarga de tomar la información generada en el diagrama de bloques y emitirla sobre el ERE. Hay que tener en cuenta que, para poder hacer uso de los dispositivos de radio definido por software es necesario que estos estén conectados al equipo en el cual se está realizando la practica mediante conexión Gigaethernet y además se debe modificar la dirección ip del mismo para lograr una conexión punto a punto. El paso a paso de la configuración de los equipos USRP desde Ubuntu, también se puede apreciar la configuración detallada del diagrama expuesto en la Figura 1.

La respuesta del sistema, permite observar en tiempo real la señal captada por el dispositivo de hardware (micrófono) la cual será en la practica la señal v_m o señal de información. A continuación, se relacionan las respuestas obtenidas una vez se ejecuta el sistema.

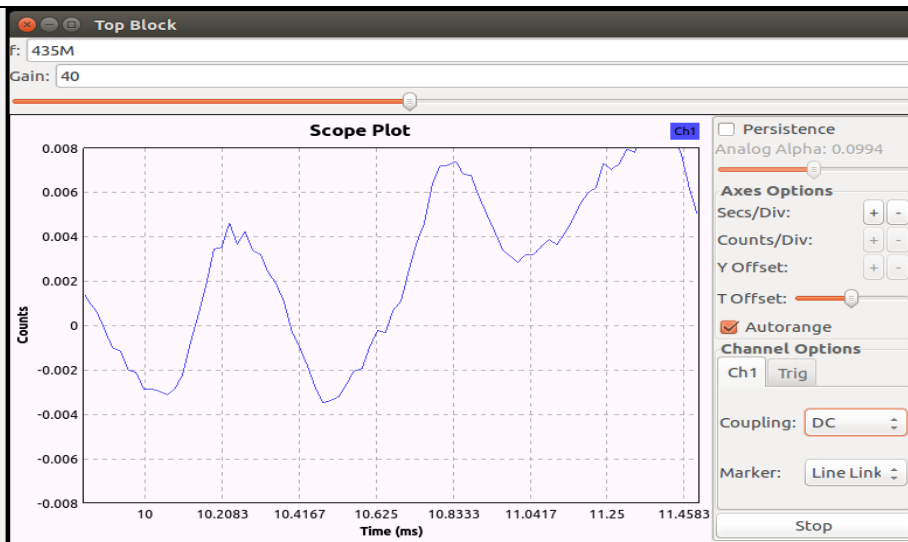


Figura 2 Señal de ruido transmitida en FM sobre la frecuencia $f = 435\text{MHz}$

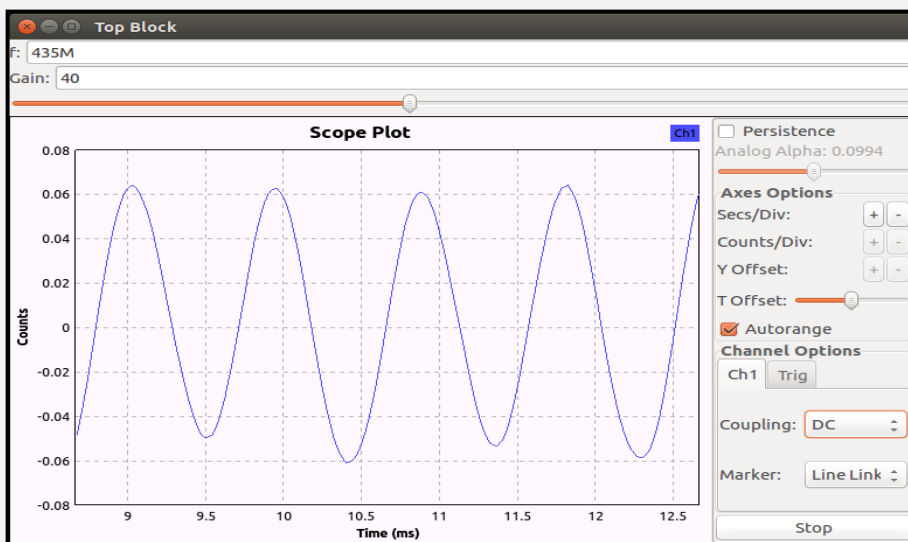


Figura 3 Señal de información (tono) transmitida en FM sobre la frecuencia $f = 435\text{MHz}$

El diagrama de bloques implementado para el desarrollo de la demodulación FM, permite recibir las señales de FM que se perciban mediante el equipo USRP N210. El objetivo de la práctica es, realizar la implementación de los módulos trasmisor y receptor y evidenciar la interferencia generada al variar la frecuencia de la señal portadora v_c . En la Figura 4 se puede observar el diagrama de bloques implementado para la recepción y demodulación de la señal FM para recibir una señal en banda base la cual se pueda detectar mediante el equipo de audio del dispositivo en el cual se está desarrollando la práctica.

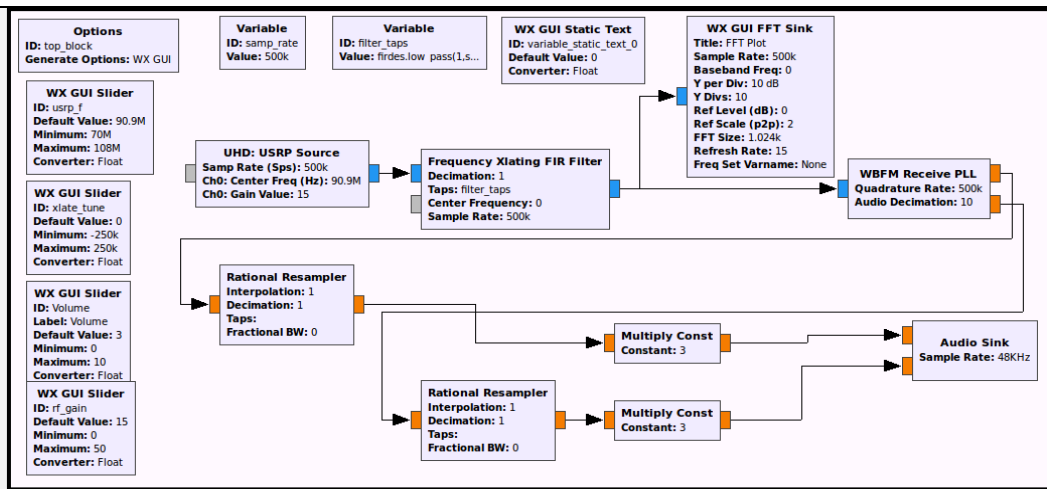


Figura 4 Diagrama de bloques RX FM

La respuesta del sistema se evidencia como sigue, se realizaron mediciones sin interferencia sobre una emisora comercial en frecuencia de $f = 90.9 \text{ MHz}$ y se realiza la interferencia haciendo uso del transmisor FM sobre la misma frecuencia en la cual se transmite un tono (silbido). Adicionalmente se muestra el espectro en frecuencia de la recepción de la emisora comercial y de la señal transmitida mediante la implementación de la modulación por frecuencia en la herramienta GNU RADIO. Seguidamente, se pueden observar las respuestas obtenidas en el ejercicio práctico:



Figura 5 Señal recibida emisora comercial en frecuencia $f = 90.9 \text{ MHz}$

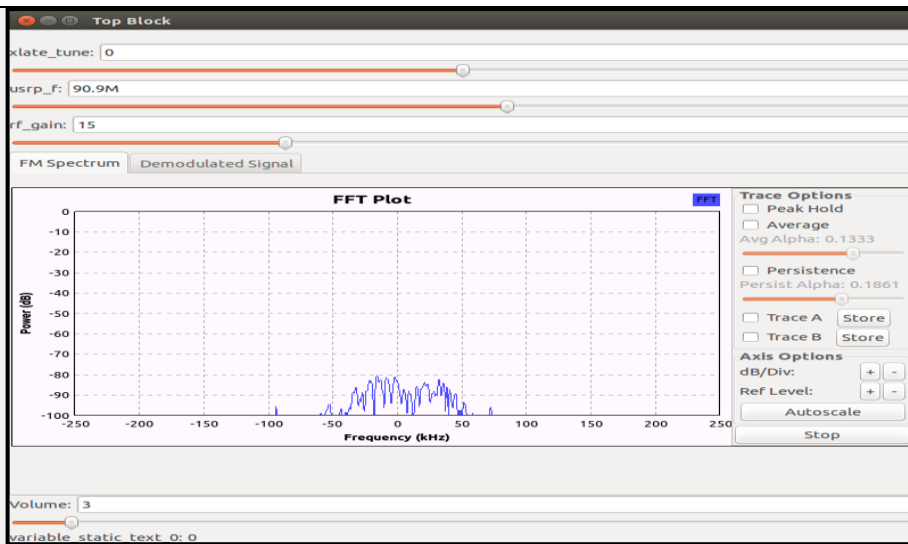


Figura 6 Espectro en frecuencia recibido emisora comercial en frecuencia $f = 90.9\text{MHz}$

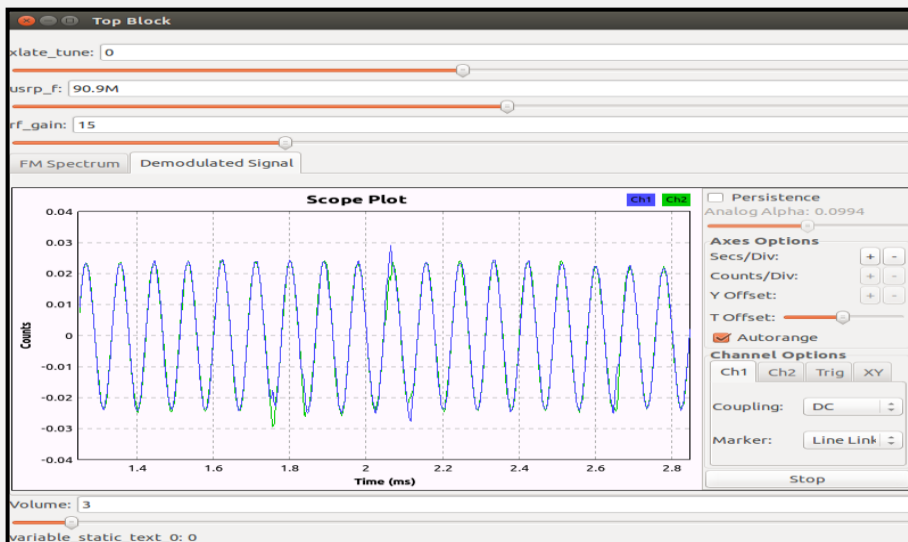
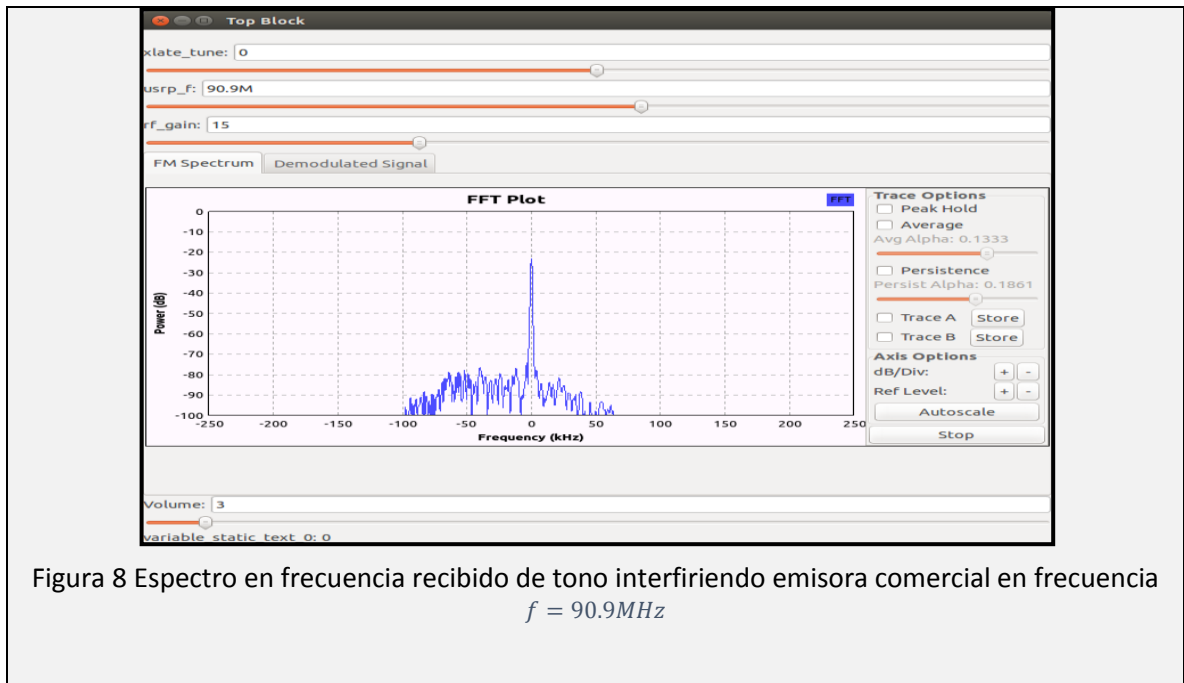


Figura 7 Señal recibida de tono interfiriendo emisora comercial en frecuencia $f = 90.9\text{MHz}$



ACTIVIDADES RECOMENDADAS

1. Generar los bloques de modulación FM en GNU Radio.
2. Realizar un análisis de un transmisor de FM en frecuencia.

REFERENCIAS

- [1] M.Sc. Ing. Mónica Espinosa Buitrago and M.Sc. Iván Díaz Pardo, "Informe final convocatoria FODEIN 2014 Diseño y desarrollo de un Radio Definido por Software." Jun-2015.
- [2] S. S. Haykin and G. N. Cázares, *Sistemas de comunicación*. Interamericana, 1985.
- [3] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson educación, 2003.
- [4] L. W. Couch, R. N. Salas, and R. de J. B. de la Parra, *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. Prentice-Hall, 1998.



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES PROGRAMAS ACADÉMICOS
GUÍA DE LABORATORIO O PRÁCTICA ACADÉMICA



Título: Práctica de laboratorio validación de señales banda base haciendo uso de la herramienta de software GNU RADIO	
Código: LAB1450401	Versión: 1
Tiempo estimado de desarrollo: 2 horas.	Fecha de aprobación: 26/05/2014
Lugar de desarrollo: Laboratorio	Número sugerido de participantes: 1
Presentado por: Coordinación de área de Telecomunicaciones.	

Asignatura: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES I	Núcleo: TELECOMUNICACIONES
Código: 14504	Semestre: 5º
Requisitos: SEÑALES DE Y SISTEMAS	Créditos: 3
Semanas: 16	Horas Semanales: 6
Total horas de trabajo presencial del estudiante: 96	Horas prácticas al semestre: 32
Horas teóricas al semestre: 64	Horas de trabajo independiente del Estudiante: 80

RESUMEN
La presente guía de laboratorio contiene la validación de señales en banda base generadas en una interfaz práctica sobre el software GNU RADIO.

CATEGORÍA	COMPETENCIAS A FORTALECER
<i>Cognitiva</i>	Analiza el funcionamiento de un sistema de telecomunicaciones con los elementos que lo componen.
<i>Aplicación cognitiva</i>	Analiza los modelos con diferentes herramientas que permitan caracterizar los sistemas de telecomunicaciones a nivel de procesamiento de señal, anchos de banda y capacidad del canal.
Las competencias axiológicas, investigativas y comunicativas expresadas en el Syllabus se tienen en cuenta en su totalidad.	

OBJETIVO GENERAL DE LA PRÁCTICA
Verificar y comprobar las señales en banda base sobre la herramienta en un ambiente práctico haciendo uso de la herramienta de software GNU RADIO.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar señales en banda base en la herramienta GNU RADIO.
- Analizarlas gráfica y auditivamente.
- Variar las características básicas de las señales para verificar su cambio.

CONTENIDO APLICADO DEL SYLLABUS

Introducción a los Sistemas de Comunicaciones

INDICADORES / ENTREGABLES

1. Documento con presentación de los resultados la instalación de GNU Radio.

Criterio de verificación

1. No cumple
2. Cumple de manera deficiente
3. Cumple de manera aceptable
4. Cumple de manera sobresaliente
5. Cumple con excelencia

MARCO TEÓRICO

Una señal banda base es aquella que ocupa el rango en frecuencia desde 0 Hz hasta determinado punto de corte, se les llama señales en banda base debido a que ocupan la base o el rango más bajo del espectro. Teniendo en cuenta lo anterior, una señal en banda base es toda aquella que se genera desde cualquier elemento que no modifica su frecuencia original (micrófono, generador de señales, audio y demás). Como ejemplo podemos decir que el espectro audible o los sonidos que puede escuchar el ser humano, se encuentran en el rango de 0 Hz a 20 Khz. [1]

Para realizar la revisión del programa 'Hola Mundo' se tendrán en cuenta conceptos necesarios para la comprensión del uso apropiado de la herramienta y el procedimiento mediante el cual se genera la simulación sobre la misma. Lo primero que hay que tener claro, es que GRC hace uso de dos lenguajes de programación (C++ y Phyton), por medio de los cuales se realiza la ejecución de los diagramas de bloques implementados sobre el UI.

La implementación del proyecto 'Hola Mundo' consiste en un tono de marcación generado por la suma de dos señales en banda base, el cual podremos evidenciar sobre los dispositivos de audio del equipo utilizado y gráficamente sobre un plano de frecuencia. El primer paso para el desarrollo del proyecto es ingresar a la herramienta GRC, para ello se puede hacer doble click sobre el icono de la aplicación o digitar sobre el terminal el siguiente comando:

\$gnuradio-companion

Al haber ingresado en la herramienta se pueden encontrar los tres elementos que componen el UI. Para implementar un bloque el usuario se debe dirigir a la lista de bloques y ubicar el bloque que requiera o bien digitar el comando CTRL + F e ingresar el

nombre del mismo. Para el desarrollo de la práctica se utilizarán los bloques relacionados a continuación.

- Signal Source
- Noise Source
- Add
- Audio Sink
- WX GUI FFT Sink
- WX GUI Slider

Los bloques que se utilizaran se deben ubicar como se muestra en la Figura 1.

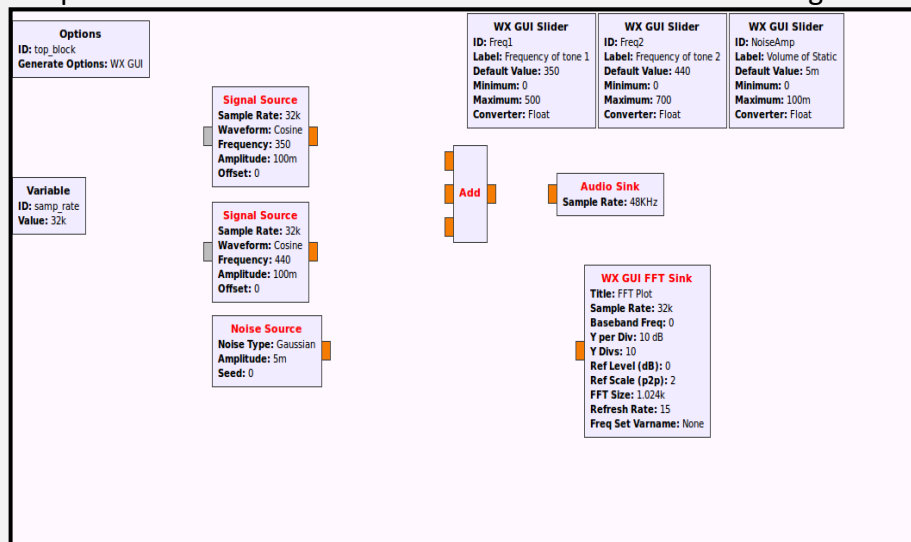


Figura 1 Diagrama de bloques programa 'Hola Mundo'

En este punto se deben revisar varios conceptos que facilitaran el trabajo sobre la aplicación. Uno de ellos es la conexión entre bloques, para lo cual se debe seleccionar el puerto de salida del bloque 'fuente' y de igual forma en el puerto de entrada del bloque 'receptor'. Una vez conectado el diagrama se debe ver como la Figura 2.

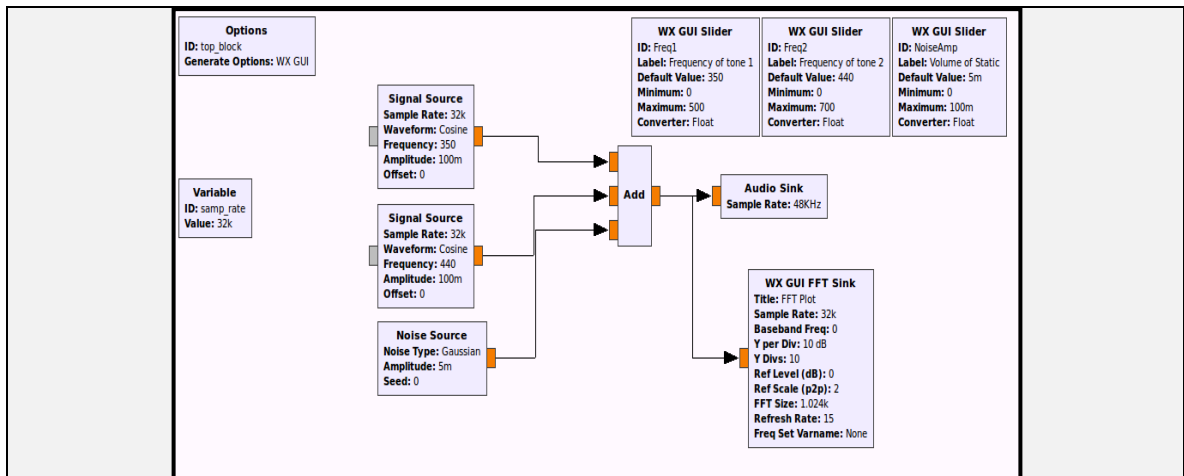


Figura 2 Diagrama de bloques programa 'Hola Mundo' conectado

Teniendo este diagrama, se pueden analizar nuevos conceptos de la herramienta. Por ejemplo, es posible observar que los puertos en todos los bloques son de color naranja, lo cual hace referencia a que los datos de salida y de entrada de los mismos son números de coma flotante. La herramienta maneja datos de tipo entero, coma flotante, complejos y demás, como se puede evidenciar en la Figura 3.

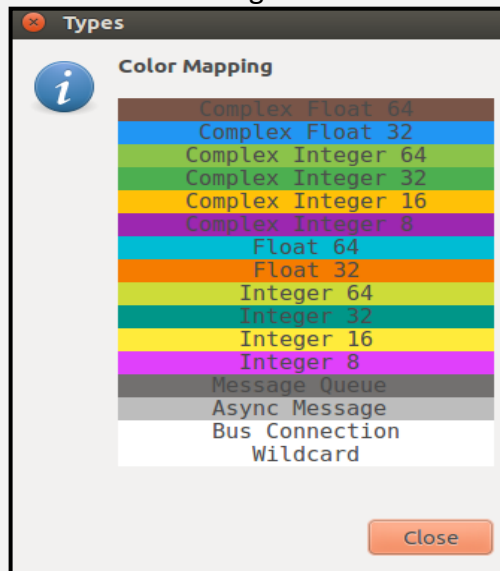


Figura 3 Tipos de datos usados en GNU-Radio

Dentro del software es posible ingresar a esta ventana dirigiéndose a la pestaña Help y seleccionando la opción Types. Se debe tener claro que dependiendo del bloque y el programa que se pretenda implementar, se hace necesario modificar el tipo de dato de salida o entrada de los bloques del diseño. A continuación, se realizará una introducción a la configuración y función de cada uno de los bloques implementados en el proyecto 'Hola_Mundo'.

Signal Source:

Con este bloque es posible generar señales senosoidales, cuadradas, triangulares, diente de sierra y constantes. Es posible ajustar arbitrariamente los parámetros de la señal generada como la frecuencia y la amplitud. En la Figura 4 se puede observar la ventana de opciones del bloque.

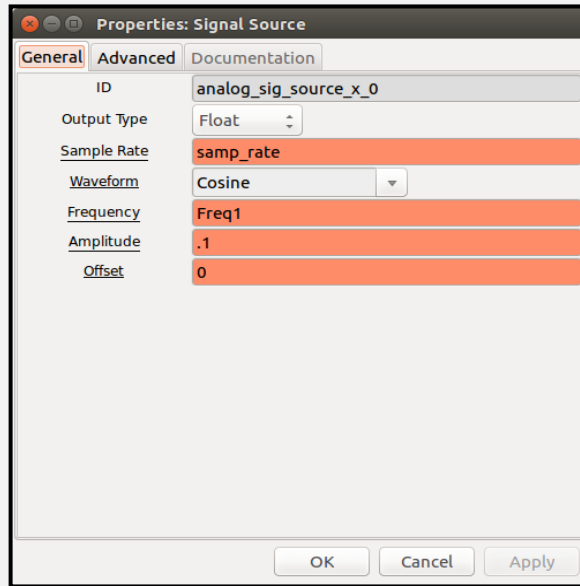


Figura 4 Ventana de configuración bloque Signal Source

Noise Source:

Como su nombre lo indica es un generador de ruido en el cual se varia el tipo de ruido (Gaussiano, laplaciano, constante y demas) y la amplitud del mismo. En la Figura 5 se observa la ventana de opciones de modificación del bloque.

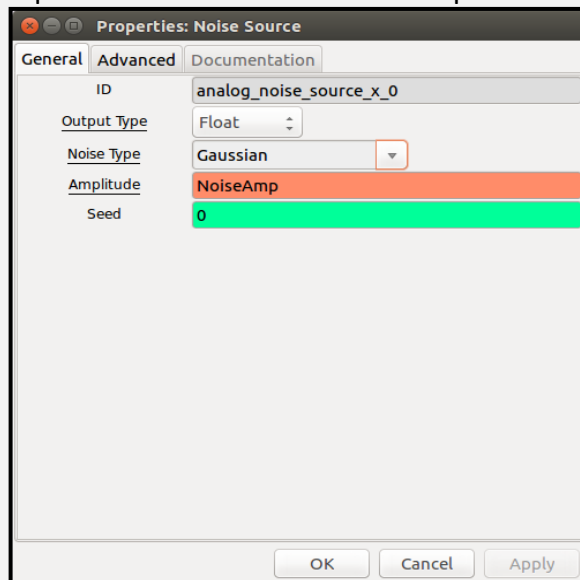


Figura 5 Ventana de configuración bloque Noise Source

Add:

Este bloque corresponde a la operación aritmética suma, en la cual varía el número de entradas que se quieren sumar.

Audio Sink:

Corresponde al bloque que asigna la salida del sistema a la tarjeta de audio del equipo, en el bloque es posible variar el número de entradas y la frecuencia de muestreo. La mayoría de tarjeta de sonidos funciona a 48 Khz por lo cual se debe modificar el valor por defecto de bloque al valor mencionado.

WX GUI FFT Sink:

Este bloque pertenece al conjunto de herramientas WX GUI por lo cual para poder ejecutar la simulación es necesario seleccionar la opción WX GUI en el bloque de Opciones. Cumple la función de mostrar gráficamente la respuesta en frecuencia mediante la transformada rápida de Fourier (FFT). En el bloque se pueden variar características como la frecuencia de muestreo, el tamaño de la ventana que se quiere analizar, frecuencia de banda base y demás. Por el momento no es necesario modificar el bloque y solo se debe asignar el tipo de dato de ingreso al bloque como de coma flotante. En la Figura 6 se puede observar la ventana de configuración del bloque.

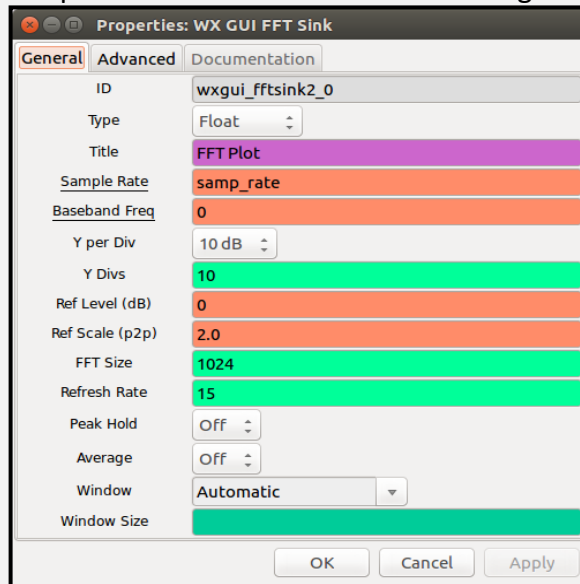


Figura 6 Ventana de configuración bloque WX GUI FFT SINK

WX GUI Slider:

Este bloque permite generar una variable que varía en tiempo real sobre la simulación del sistema implementado. En la Figura 7 se pueden observar las opciones de configuración del bloque. El ID corresponde al nombre de la variable que se asignará al bloque, el cual se debe insertar en el espacio del bloque que hará uso de la variable

generada; es posible modificar también el valor inicial de la variable, valor máximo, valor mínimo y el número de datos que se quieren en el intervalo.

A continuación, se hará un breve resumen de los bloques y datos que se deben implementar en la herramienta para generar el programa 'Hola Mundo'.

- **Signal Source 1:** Frecuencia central Freq1 (Variable Slider ID) y amplitud 0.1.
- **Signal Source 2:** Frecuencia central Freq2 (Variable Slider ID) y amplitud 0.1.
- **Noise Source:** Tipo Gaussiano y amplitud NoiseAmp (Variable Slider ID).
- **Audio Sink:** Frecuencia de muestreo de 48 Khz.
- **WX GUI SLIDER 1:** ID Freq1, Default Value 350, Valor Mínimo 0, Valor Máximo 500.
- **WX GUI SLIDER 2:** ID Freq2, Default Value 440, Valor Mínimo 0, Valor Máximo 700.
- **WX GUI SLIDER 3:** ID NoiseAmp, Default Value 0.005, Valor Mínimo 0, Valor Máximo 0.1.

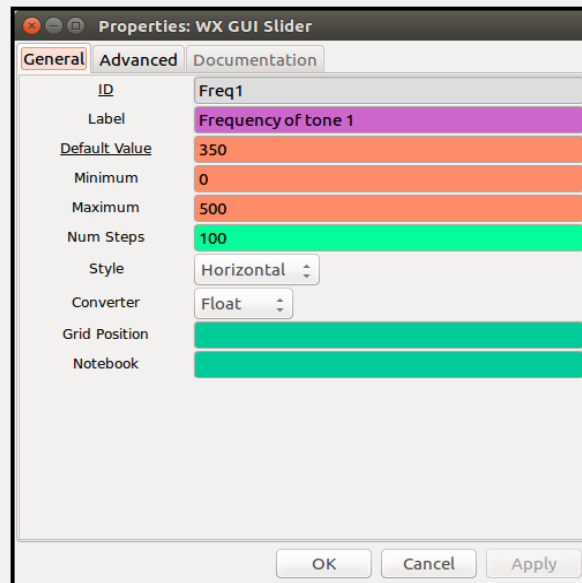


Figura 7 Ventana de configuración bloque WC GUI SLIDER

Al finalizar la implementación del programa se debe ejecutar el mismo para lo cual se solicitará una carpeta en la cual la información del proyecto será guardada. Al finalizar el procedimiento de ejecución del programa se obtienen los siguientes resultados en la carpeta destino donde se decidió guardar el proyecto:

- El nombre del archivo ejecutable en gnuradio o diagrama de bloques (archivo.grc)
- Archivo de python (top_block.py). El nombre del archivo puede variar según la configuración del usuario.

Para ejecutar el programa existen dos opciones, la primera es la forma convencional en donde es diseñado el diagrama de bloques y generado el archivo python por medio de la ejecución del mismo y, la segunda es ejecutar el programa por medio del terminal mediante la herramienta phyton. Para ello es necesario tener el archivo python (.py) generado y el usuario debe estar ubicado en la carpeta en la cual se encuentra el mismo; Después de lo cual se debe ejecutar el siguiente comando en la terminal:

`$ python archivo.py`

Al ingresar el comando se inicia la ejecución del proyecto desde phyton, pero respuesta se genera tal y como si se estuviera realizando desde la interfaz gráfica de la herramienta GNU-RADIO.

Al analizar el resultado de la implementación realizada (Figura 8) se encuentran tres barras horizontales sobre la ventana, estas son el resultado de la implementación de una variable de carácter slider la cual variará según la configuración realizada en el bloque. También es posible observar una gráfica, la cual es la respuesta en el dominio de la frecuencia del diagrama implementado la cual es generada mediante el bloque WX GUI FFT SINK. En la parte derecha de la pantalla se observan los mecanismos de escala y análisis que permiten modificar la gráfica o el segmento a analizar sobre la gráfica.

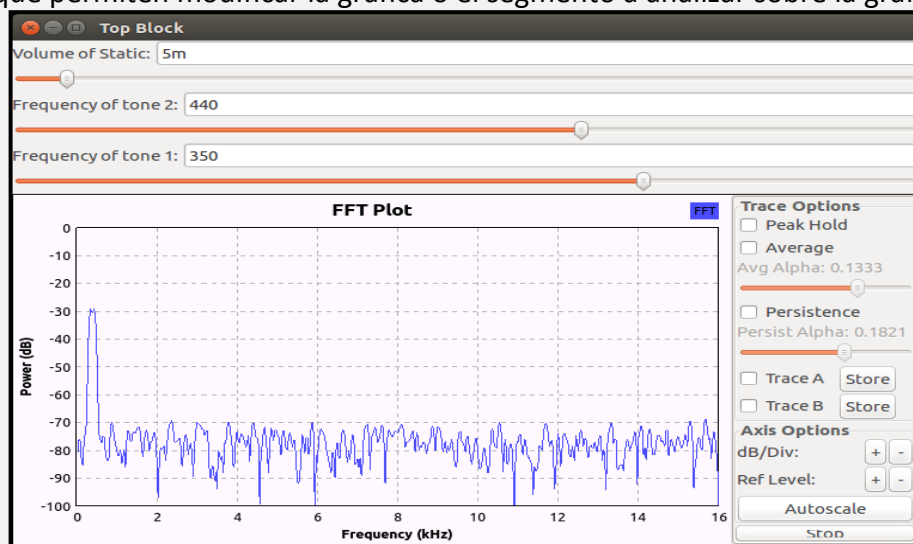


Figura 8 Respuesta en frecuencia del programa 'Hola Mundo'

Al realizar la ejecución del programa el usuario debe apreciar que además de obtener las respuestas analizadas en la Figura 8 también se podrá escuchar un tono de marcación que responde a la suma de las frecuencias de las señales, el cual tiene un piso de ruido que varía según la amplitud seleccionada por el usuario. El resultado gráfico de la práctica es el diagrama FFT en el cual se encuentra un pico que corresponde a la suma de las señales realizada. Las variaciones realizadas sobre el esquema se pueden apreciar en tiempo real, por lo cual al modificar las frecuencias de las señales varía la respuesta gráfica de la implementación.

ACTIVIDADES RECOMENDADAS

1. Instalar sistema operativo Linux-Ubuntu
2. Instalar GNU Radio

REFERENCIAS

- [1] Huidobro, José Manuel and Luque, Javier, *Comunicaciones por radio - tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones. el espectro electromagnético*. Alfaomega, Ra-Ma, 2014.
- [2] L. W. Couch, R. N. Salas, and R. de J. B. de la Parra, *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. Prentice-Hall, 1998.
- [3] Iván Pinar Domínguez and Juan José Murillo Fuentes, *Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software*. Universidad de Sevilla, 2011.
- [4] I. Mitola J., "Software radios-survey, critical evaluation and future directions," in *Telesystems Conference, 1992. NTC-92., National, 1992*, pp. 13/15–13/23.