



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:

INGENIERO/A EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

**TEMA: APLICACIÓN DE UN SISTEMA SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE)
PARA PRÁCTICAS MULTIDISCIPLINARIAS EN LA CARRERA DE
TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ISRAEL**

AUTOR/ A: BYRON KLEVER LISINTUÑA CUCHIPARTE

TUTOR/ A: Mg René Ernesto Cortijo Leyva

QUITO- ECUADOR

AÑO: 2019

DECLARACIÓN

Yo, Byron Klever Lisintuña Cuchiparte, con CI. 1723388490 declaro bajo juramento que el proyecto integrador de carrera denominado APLICACIÓN DE UN SISTEMA SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE) PARA PRÁCTICAS MULTIDISCIPLINARIAS EN LA CARRERA DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ISRAEL, aquí descrito se ha desarrollado de manera íntegra y es de mi total autoría; la investigación se ha realizado respetando los derechos intelectuales de las personas que han desarrollado conceptos mediante las citas en las cuales indican la autoría y cuyos datos se detallan en la Bibliografía.

A través de esta declaración, me responsabilizo del contenido autenticidad y alcance del proyecto, así mismo cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Tecnológica Israel, de acuerdo a lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Lisintuña Cuchiparte Byron Klever

CC No. 1723388490

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**APLICACIÓN DE UN SISTEMA SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE) PARA PRÁCTICAS MULTIDISCIPLINARIAS EN LA CARRERA DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ISRAEL.**”, presentado por el Sr. Byron Klever Lisintuña Cuhicparte, estudiante de la carrera de electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. 18 de septiembre del 2018

TUTOR

..... Ing. René Ernesto Cortijo Leyva, Mg.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme empezar y culminar cada etapa en esta universidad con éxito, gracias a mi universidad y a cada uno de los profesores por todos los conocimientos impartidos y convertirme en un profesional que es apasionado ejerciendo su profesión.

Agradezco al Ing. René Cortijo Leyva Mg., quien estuvo aportando de su experiencia y conocimientos en todo el transcurso de mi tesis desde el inicio, desarrollo y culminación del proyecto, por su generosidad y su motivación constante estaré eternamente agradecido.

Agradezco a mi papá César Humberto Lisintuña Toaquiza por mostrarme su apoyo en todo momento, por enseñarme el valor y la importancia de luchar por un sueño y cumplir las metas, por estar en las etapas difíciles y compartir cada momento de alegría en toda mi vida estudiantil por todo eso y más muchas gracias.

A mi madre María Josefina Cuchiparte Gavilanes, gracias por ser la persona que estuvo dándome aliento en cada momento para poder cumplir mi sueño de terminar mi carrera universitaria, sobre todo gracias por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa, y por estar en todo momento mostrándome su apoyo incondicional muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi vida, por permitirme experimentar momentos difíciles y momentos agradables, mismos que me han permitido crecer como persona y valorar cada instante que ha transcurrido durante mi etapa de estudiante.

A mi madre por ser la persona que me acompañó en cada momento desde que inicié mi proyecto estudiantil hasta ahora de manera incondicional, por todas sus palabras y enseñanzas para no darme por vencido y velar cada día por mí. A mi padre por enseñarme a ser perseverante, por cada uno de sus consejos para poder ser mejor persona cada día y sobre todo por todo su apoyo para poder culminar mi carrera profesional.

A mis familiares por mostrarme su aprecio y su apoyo total para poder seguir adelante en mis estudios y culminarlos. A todos mis profesores por compartir conmigo todos sus conocimientos y sobre todo por formarnos como profesionales, gracias por su tiempo y por su paciencia

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	4
DEDICATORIA	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
TABLA DE IMÁGENES	8
LISTA DE TABLAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	20
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
Espectro electromagnético.....	20
1.1. Modo de transmisión:.....	22
1.1.1. Simplex:.....	22
1.1.2. Semi Duplex (HALF DUPLEX):	22
1.1.3. Duplex (FULL DUPLEX):.....	22
1.1.4. Duplex total (FULL- FULL DUPLEX):	22
1.2. Modulación y demodulación de la señal.....	23
1.2.1. Modulación AM (Amplitud Modulada)	23
1.2.2. Doble banda lateral con portadora suprimida en AM.....	27
1.3. Radio Definida por Software	28
1.3.1. Introducción	28
1.3.2. Historia de SDR	30
1.3.3. Concepto SDR	32
1.3.4. Niveles de SDR.....	34
1.3.5. Arquitectura de un SDR.....	36
1.4. Hardware	38
1.4.1. RTL-SDR.....	38
1.4.2. Arquitectura del RTL-SDR.....	40
1.4.3. Elementos internos de un RTL-SDR	42
1.5. Software	44
1.5.1. MATLAB SIMULINK	44
1.5.2. LIBRERÍA SIMULINK	47

1.6. Prácticas de laboratorio multidisciplinarias	47
CAPÍTULO II.....	49
MARCO METODOLÓGICO	49
2.1. El tipo de investigación	49
2.2. Diseño de la investigación	49
CAPÍTULO III.....	50
PROPUESTA.....	50
3.1. Diagrama de bloques del sistema.....	50
3.2. Componentes de un sistema SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE).....	51
3.2.1. RTL SDR.....	51
3.2.2. Demodulador RTL 2832U.....	52
3.2.3. EN300 744 (ETSI).....	52
3.2.4. R820 Tuner	54
3.2.5. Ordenador	55
3.2.6. Matlab-Simulink.....	56
3.3. Análisis de costos para desarrollar el proyecto	57
3.3.1. Presupuesto del proyecto	57
3.4. Análisis de tiempo.....	58
CAPÍTULO IV	59
IMPLEMENTACIÓN.....	59
4.1. Instalación del software Matlab Simulink.....	59
4.2. Configuración del RTL-SDR en Matlab-Simulink.....	61
4.3. Configuración de paquete de herramientas RTLSDR en Matlab-Simulink.....	71
4.4. Práctica 1.- Introducción al uso de un sistema SDR	75
4.5. Práctica 2.- Uso del sistema SDR (sintonizador GSM-FM-TV Digital)	75
4.6. Práctica 3.- Uso del Sistema SDR (Receptor FM).....	76
4.7. Pruebas de funcionamiento	82
4.7.1. Pruebas de funcionamiento con sintonizador (práctica 2).....	82
4.7.2. Pruebas de funcionamiento con receptor FM (práctica 2).....	87
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS.....	94

TABLA DE IMÁGENES

Figura. 1.1. Clasificación del espectro radioeléctrico	20
Figura. 1.2. Modulación AM	23
Figura. 1.3. Envolvente de Amplitud Modulada	24
Figura. 1.4. Modulación en amplitud AM clasificación.....	24
Figura. 1.5. Modulante Am	26
Figura. 1.6. Dominio de la frecuencia	26
Figura. 1.7. Envolvente de onda modulada	28
Figura. 1.8. Espectro DSB-SC.....	28
Figura. 1.9. Componentes de un sistema SDR	34
Figura. 1.10. Diagrama en bloques simplificado de un SDR nivel 3	36
Figura. 1.11. Bloques de un sistema de sistema de transmisión digital	37
Figura. 1.12. Dispositivo SDR-RTL.....	39
Figura. 1.13. Visualización de señales en ordenador	39
Figura. 1.14. Diagrama de bloques receptor SDR.....	40
Figura. 1.15. Frecuencias de operación de RTL-SDR.....	40
Figura. 1.16. Arquitectura SDR.....	41
Figura. 1.17. Arquitectura RTL-SDR 2838U	42
Figura. 1.18. Disposición interna del RTL-SDR	44
Figura. 1.19. Interfaz de Matlab-Simulink	45
Figura. 1.20. Interfaz Simulink.....	46
Figura. 1.21. Librería Simulink	47
Figura. 3.1. Diagrama de bloques del sistema.....	51
Figura. 3.2. Antena Dispositivo SDR Nooelec.....	51
Figura. 3.3. RTL 2832U	52
Figura. 3.4. Conector EN300 744.....	52
Figura. 3.5. Componentes internos de un receptor RTL-SDR	54
Figura. 3.6. Diagrama de bloques R820	54
Figura. 3.7. Ordenador.....	55
Figura. 4.1. Página de inicio de Mathworks.	61
Figura. 4.2. Configuración escenario Matlab-Simulink	62
Figura. 4.3. Página de descarga de paquetes para Matlab-Simulink	62
Figura. 4.4. Acceso a cuenta de Mathworks.....	63

Figura. 4.5. Instalación de paquete de herramientas RTL-SDR.....	64
Figura. 4.6. Descarga de paquetes de herramientas para RTL-SDR	64
Figura. 4.7. Términos y contratos de uso del paquete de herramientas.....	65
Figura. 4.8. Descarga completa del paquete de herramientas.	66
Figura. 4.9. Inicio de configuración de dispositivo RTL-SDR	66
Figura. 4.10. Búsqueda de dispositivo RTL-SDR.....	67
Figura. 4.11. Inicio de instalación de driver de RTL-SDR	67
Figura. 4.12. Ejecución automática del programa Zadig.....	68
Figura. 4.13. Ventana de instructivo de instalación de controlador.	68
Figura. 4.14. Reconocimiento de controlador en programa Zadig.....	69
Figura. 4.15. Búsqueda de controlador en programa Zadig.	69
Figura. 4.16. Ventana de aviso de culminación de controlador de manera correcta.	70
Figura. 4.17 . Prueba de conectividad de RTL-SDR.....	70
Figura. 4.18. Selección de ícono para agregar carpetas de ejecución.	71
Figura. 4.19. Selección de carpeta para agregar a software	72
Figura. 4.20. Selección de carpeta deseada	73
Figura. 4.21. Selección de subcarpetas insertadas al Matlab.....	73
Figura. 4.22. Verificación de carpetas instaladas.	74
Figura. 4.23. Ventana de modelos de Simulink.....	76
Figura. 4.24. Dispositivo RTL en paquete de herramientas.	77
Figura. 4.25. Configuración de parámetros del bloque RTL-SDR.....	78
Figura. 4.26. Bloques de frecuencia y ganancia	78
Figura. 4.27. Configuración de parámetros del filtro.	80
Figura. 4.28. Funciones matemáticas para el receptor FM.....	80
Figura. 4.29. Configuración de parámetros de De-emphasis Filter.....	81
Figura. 4.30. Diagrama final de receptor FM.....	81
Figura. 4.31. Simulación sintonizador de frecuencias FM a 100 Mhz.....	83
Figura. 4.32. Simulación Sintonizador de frecuencia a 104.5MHz.....	84
Figura. 4.33. Simulación de sintonizador en frecuencias para GSM	85
Figura. 4.34. Simulación de sintonizador en frecuencias de TV digital.....	86
Figura. 4.35. Simulación de receptor FM.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla. 1.1. División de frecuencias	21
Tabla. 3.1. Características de Matlab 2017b	57
Tabla. 3.2. Presupuesto total del proyecto.....	57
Tabla. 4.1. Parámetros del sintonizador para frecuencias FM a 100MHz.....	84
Tabla. 4.2. Parámetros del sintonizador para frecuencias GSM.....	86
Tabla. 4.3. Parámetros del sintonizador para frecuencias de TV digital	87
Tabla. 4.4. Parámetros del receptor FM	89

RESUMEN

El siguiente proyecto de titulación consiste en aplicar un sistema SDR (radio definido por software) en prácticas de laboratorio. Se va a utilizar un RTL-SDR 2832U como un sintonizador de frecuencias para captar las señales inalámbricas y la señal que ingrese al sintonizador por la antena del RTL-SDR será procesada mediante un software, el programa a utilizar es el Matlab-Simulink, en este se realizarán las configuraciones respectivas en el paquete de herramientas para poder visualizar los espectros en las prácticas de laboratorio.

Las prácticas de laboratorio servirán como refuerzo tanto para docentes como para el alumnado de la Universidad Israel, estas actividades permitirán, que todos los usuarios puedan ver como funcionan los sintonizadores y los sistemas SDR sin usar equipos costosos. Se realizarán tres simulaciones, la primera servirá como introducción para el usuario, dentro de esta actividad se podrá ver el uso básico de un sistema SDR y sus componentes. El segundo y tercer ejercicio serán los que se utilizarán para la visualización del espectro radioeléctrico tomando en cuenta las configuraciones que se realicen en el kit de herramientas.

Las actividades se realizarán mediante un formato de prácticas de laboratorio y una guía de usuario que facilitarán a los estudiantes a completar los ejercicios propuestos.

Palabras claves: SDR, espectro radioeléctrico, software, sintonizador, laboratorio.

ABSTRACT

The following titration project consists of applying an SDR system (radio defined by software) in laboratory practices. An RTL-SDR 2832U will be used as a frequency tuner to capture the wireless signals and the signal that enters the tuner by the RTL-SDR antenna will be processed by software, the program to be used is the Matlab-Simulink, in this will make the respective configurations in the toolkit to be able to visualize the spectra in the laboratory practices.

The laboratory practices will serve as a reinforcement for both teachers and students of the University of Israel, these activities will allow all users to see how the tuners and SDR systems work without using expensive equipment. There will be three simulations, the first will serve as an introduction for the user, within this activity you can see the basic use of an SDR system and its components. The second and third exercises will be those that will be used for the visualization of the radio spectrum, taking into account the configurations that are made in the toolkit.

The activities will be carried out through a format of laboratory practices and a user guide that will facilitate students to complete the proposed exercises.

Keywords: SDR, radioelectric spectrum, software, tuner, laboratory.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes de la situación del objeto

La tecnología SDR (Radio Definida por software) a sido objeto de estudio desde los años 70, no obstante, esas investigaciones iban desapareciendo poco a poco, hasta volver a tomar fuerza a partir del 2010, esto debido a que con el cambio de tecnología continuas en las comunicaciones los costos de migración eran realmente altos, gracias a estos inconvenientes las grandes empresas como Mathworks, Nooelec empezaron a realizar estudios de cambiar el hardware por el software.

En conjunto con las grandes empresas, las universidades de grado y postgrado de los países de primer mundo se unieron para empezar a implementar laboratorios de investigación sobre tecnología SDR, los principales proyectos encontrados como objeto de estudio están: la implementación Radio Definida por Software en dispositivos de bajo coste de David Carralero de la Universidad La Laguna. Otro de las principales fuentes encontradas están los desarrollos de las prácticas de laboratorio de comunicaciones utilizando SDR de Iván Pinar Dominguez y colaboradores.

En ambos casos utilizan como principal componente el software GNU Radio para realizar las implementaciones y el estudio de la Radio Definida por software, para el hardware han utilizado los USRP y los RTL SDR, este último se utilizará para el proyecto. El principal inconveniente con el software que han usado estos dos autores es la limitante de funciones que tiene la misma en la lectura del espectro radio electromagnético y la poca posibilidad de modificación de funciones que tiene esta.

En Ecuador estas tecnologías son objeto de estudio en muy pocos centros educativos, lo que conlleva a tener grandes ventajas a futuros profesionales si se realiza investigaciones sobre estos sistemas.

En la Universidad Israel a pesar de adquirir conocimientos básicos sobre la materia en sí, al no tener un instrumento donde se pueda ver de forma práctica lo expresado de manera teórica el aprendizaje no es óptimo, para lo cual se aplicará prácticas de laboratorio con un sistema SDR.

Planteamiento del problema

Dentro de la universidad en una carrera enfocada a la tecnología como es la Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones es muy importante para los estudiantes tener conocimientos teóricos como prácticos, sin embargo, por el elevado costo que tienen los equipos de laboratorio es muy complicado tener laboratorios de última tecnología que complementen lo visto de manera teórica mediante prácticas.

El no poder visualizar y manipular un equipo o un software que permita simular los equipos utilizados en el ámbito de las comunicaciones, genera un vacío en los futuros profesionales debido a que solo si obtiene conocimientos teóricos impartidos por los docentes de la universidad.

El proyecto permitirá la aplicación de un sistema SDR (Radio definida por software) en varias prácticas de laboratorio de la carrera de Telecomunicaciones complementando el aprendizaje teórico de los estudiantes de la Universidad Israel.

Este dispositivo será utilizado por el docente que imparta materias en los cuales se encuentren inmersos temas como: señales FM, telefonía móvil, televisión digital.

Las prácticas se realizarán en base a la malla curricular vigente en la carrera de Telecomunicaciones.

Para cumplir con los objetivos que se plantea, se trabajará en torno a tres puntos esenciales que son: la parte teórica, diseño o diagramación y finalmente la parte de implementación del sistema, los mismos serán expuestos en el orden que se menciona.

Justificación

El proyecto permitirá la aplicación de un sistema SDR (Radio definida por software) en varias prácticas de laboratorio de la carrera de Telecomunicaciones complementando el aprendizaje teórico de los estudiantes de la Universidad Israel.

Este dispositivo será utilizado por el docente que imparta materias como PDS, comunicaciones I y Comunicaciones II, en los cuales se encuentren inmersos temas como: señales FM, telefonía móvil, televisión digital. Las prácticas se realizarán en base a la malla curricular vigente en la carrera de Telecomunicaciones.

En el aspecto tecnológico del proyecto, se busca desarrollar un sistema completo con la utilización de tecnologías que se están utilizando en la actualidad sobre todo en los países más desarrollados, de esta manera el enfoque no solo es en el presente sino también en el futuro de los estudiantes de la universidad.

El proyecto permitirá la utilización de implementos que son difíciles de encontrar a nivel nacional debido a la escases de proveedores del producto en este caso el RTL-SDR, por ello se utilizará un dispositivo importado para el desarrollo de las practicas correspondientes.

En la implementación del sistema completo se utilizará un dispositivo que requiere un poder adquisitivo sumamente bajo, además de un ordenador con ciertas características mínimas que este debe tener para que la ejecución de las prácticas se desarrolle con toda normalidad sin interrupciones.

Objetivos

Objetivo General:

- Aplicar un sistema SDR (Radio definida por software) para prácticas multidisciplinarias en la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Israel.

Objetivos Específicos:

- Definir el funcionamiento, y códigos de programación que se requiere para la aplicación de un sistema SDR en prácticas de laboratorio.
- Realizar la programación para la emulación del sistema SDR.
- Ensamblar todo el sistema en uno de los laboratorios que cuenta la Universidad Israel en la carrera de Telecomunicaciones.
- Efectuar las pruebas de funcionamiento de todo el sistema.
- Realizar las prácticas de: sintonizador FM, sintonizador GSM y sintonizador de televisión digital.
- Elaborar el manual para las prácticas de: sintonizador FM, sintonizador GSM y sintonizador de televisión digital.

Alcance

Para el proyecto se utilizará una parte de software y hardware, la señal será captada a través de un sintonizador especial que opera en el rango de frecuencias desde 25 Mhz hasta 1700 Mhz utilizado para sistemas SDR. Se realizará el procesamiento de las señales inalámbricas a través de Matlab en tiempo real.

El software Matlab-Simulink deberá estar instalado en un ordenador, este se utilizará como un procesador de señal, además de funcionar como adaptador para el sintonizador, para la configuración del proyecto se utilizará específicamente el software Simulink, aprovechando el conjunto de herramientas que este provee, se realizará la diagramación mediante el paquete de herramientas que viene incluido en el programa sin la necesidad de realizar programaciones adicionales. Para la visualización de las señales se puede utilizar un monitor de una computadora o en su defecto un proyector.

El proyecto será implementado en uno de los laboratorios de la Universidad Israel con su respectivo software totalmente licenciado y configurado, adicional se realizará la entrega del proyecto al coordinador de área para su respectiva asignación.

Para la verificación del funcionamiento se realizarán las siguientes prácticas de laboratorio propuestas de acuerdo a la malla vigente en la carrera de Telecomunicaciones son las siguientes:

- Introducción al uso de un sistema SDR
- Receptor FM
- Sintonizador GSM
- Sintonizador de TV digital

Mediante estas prácticas se podrá visualizar el funcionamiento general de un sistema SDR y algunas otras opciones como visualización en tiempo real de los espectros y uso de ancho de banda de tecnologías como FM, GSM y TV digital.

Descripción de los capítulos

La estructura del documento escrito de la tesis está compuesta por cuatro capítulos, en los cuales se explica a detalle el desarrollo completo del proyecto de titulación. En el primer capítulo se presentan los fundamentos teóricos, el cual tiene todos los estudios, análisis del proyecto, las características, modo de uso, funcionamiento y demás parámetros que se requieren conocer antes de comenzar cualquier etapa de implementación al utilizar un sistema SDR.

En el capítulo dos se describe el marco metodológico, es decir, cuales son las distintas fases del proyecto de investigación, así como los métodos y técnicas empleadas en cada uno de ellos.

En el capítulo tres se desarrolla la propuesta del proyecto de titulación, en ella se encuentran gráficos, esquemas, que representen la idea principal del proyecto, los componentes que se utilizarán en el proyecto, los aspectos técnicos, análisis de costos y las ventajas del producto.

En el capítulo cuatro esta finalmente la implementación del producto, es decir, el proceso de configuración tanto en hardware como en software de una forma detallada, pruebas de funcionamiento y el análisis de los resultados.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Espectro electromagnético

Se define al espectro electromagnético como el conjunto o rango de frecuencias posibles de todas las radiaciones electromagnéticas, mientras que la frecuencia es la cantidad de períodos o ciclos en una unidad de tiempo por una magnitud o fenómeno periódico, se lo mide en Hercios (Hz) **Ver Figura 1.1**

La información realizada entre dos o más lugares denominados comúnmente estaciones requiere básicamente de tres componentes que son: el emisor, medio, y el receptor. Esta información para poder ser transmitida por un medio ya sea guiado o no guiado requiere un proceso de conversión de la información.

La energía se puede transmitir a través de un medio guiado en forma de corriente, como luz a través de la fibra óptica, o también como ondas las cuales se emiten por el espacio hasta llegar a su destino.

Esta energía que viaja a través del medio es distribuida entre varias frecuencias dependiendo de algunos factores como son: el tipo de tecnología, cantidad de usuarios y las distancias entre el emisor y el receptor. (Tomasi, 2003)



Figura. 1.1. Clasificación del espectro radioeléctrico

Fuente: (Sonora, 2006)

De acuerdo a las frecuencias definidas, el espectro electromagnético se subdivide en bandas, estas van desde frecuencias extremadamente bajas hasta frecuencias sumamente altas, cada sección tiene un diferente uso.

La asignación de frecuencias estadounidenses se la realiza mediante la organización FCC (Federal Communications Commission), entidad encargada de regular de manera estatal e interestatal las telecomunicaciones, dentro de ellos están inmersos todos los sistemas satelitales, teléfonos, televisión, radio y redes inalámbricas. **ver Tabla 1.1.**

Tabla. 1.1. División de frecuencias

Frecuencia Aproximada	Nombre	Aplicación
30 Hz – 300 Hz	ELF (Frecuencias extremadamente bajas)	Señales de distribución eléctricas y telemetría de baja frecuencia.
0.3 KHz -3 KHz	VF (Frecuencias de voz)	Voz humana. Canales telefónicos
3 KHz -30 KHz	VLF (Frecuencias muy bajas)	Sistemas especiales de los gobiernos, militares.
30 KHz – 300 KHz	LF (Bajas frecuencias)	Navegación marítima y aeronáutica.
0.3 MHz – 3MHz	MF (Frecuencias intermedias)	Emisiones comerciales de radio AM.
3 MHz -30 MHz	HF (Frecuencias altas)	Banda civil, radiocomunicaciones
30 MHz – 300 MHz	VHF (Frecuencias demasiado altas)	Comunicaiones marinas, radios móviles, marinas, emisión comercial FM y TV.
300 MHz – 3 GHz	UHF (Frecuencias ultra altas)	Emisión comercial de televisión, sistemas de radar, navegación, comunicaciones terrestres, sistemas satelitales y microondas.
3 GHz – 30 GHz	SHF (Frecuencias super altas)	Sistemas de comunicaciones que se transmiten por microonda y sistemas satelitales.
30 GHz – 300 GHz	EHF (Frecuencias extremadamente altas)	Sistemas de radiocomunicaciones especializadas.
0.3 THz – 3 THz	Luz infrarroja	-----
3 THz – 30 THz	Luz infrarroja	-----
30 THz – 300 THz	Luz infrarroja	-----
0.3 PHz – 3 PHz	Luz visible	Sistemas de fibra óptica
3 PHz – 30 PHz	Luz ultravioleta	-----
30 PHz – 300 PHz	Rayos X	-----
0.3 EHz -3 EHz	Rayos Gamma	-----
3 EHz -30 EHz	Rayos cósmicos	-----

1.1. Modo de transmisión:

Dentro del mundo de las comunicaciones los sistemas electrónicos de comunicaciones a medida que la tecnología avanza se han diseñado para que éstos puedan realizar el envío y recepción de información de múltiples maneras, pueden ser en un solo sentido, en ambos sentidos en diferentes tiempos o de manera simultánea, se detalla a continuación los cuatro métodos existentes.

1.1.1. Simplex:

En este modo de transmisión un equipo puede comportarse ya sea como un emisor o receptor, pero nunca como ambos al mismo instante, estas transmisiones se realizan en un solo sentido, como claros ejemplos tenemos las comunicaciones que se realizan en la emisión comercial de radio y televisión.

1.1.2. Semi Duplex (HALF DUPLEX):

Las comunicaciones semidúplex se caracterizan por su comunicación en ambos sentidos, pero no de manera simultánea, es decir que el mismo equipo puede enviar y recibir información, pero en diferentes tiempos, un ejemplo muy común que utiliza este tipo de comunicaciones son los Walkie-Talkie.

1.1.3. Duplex (FULL DUPLEX):

El funcionamiento de los equipos con comunicación dúplex es mucho más completa que las comunicaciones HALF DUPLEX y FULL DUPLEX, en este tipo de comunicaciones el envío de información se realiza en ambos sentidos de manera simultánea, la estación transmisora puede ser también la receptora, un ejemplo de comunicación duplex puede ser un sistema telefónico convencional.

1.1.4. Duplex total (FULL- FULL DUPLEX):

En las comunicaciones Full-Full Duplex la transmisión de datos se realizan en ambos sentidos y de manera simultánea, pero a diferencia de las comunicaciones Duplex, el envío de información no necesariamente se realiza entre las mismas estaciones, esto significa que un dispositivo A puede enviar información a un dispositivo B, y al mismo tiempo recibiendo información de otro dispositivo C. Como ejemplo podríamos describir el Servicio Postal en EEUU.

1.2. Modulación y demodulación de la señal.

Para realizar el envío y recepción de señal de un dispositivo hacia otro equipo se necesita que la información se encuentre de una forma adecuada para la transmisión, debido a que esto no es posible sin un procesamiento de la señal, se utilizan procesos de modulación y demodulación.

La modulación es el proceso en donde una señal o información cambia su forma original hacia uno más adecuado y de esta manera pueda ser transmitida. La modulación viene a ser el proceso inverso, para realizar estos dos procesos se utilizan circuitos llamados moduladores y demoduladores.

1.2.1. Modulación AM (Amplitud Modulada)

Se basa en realizar el cambio de amplitud de una portadora con una frecuencia muy alta en comparación con la amplitud de la modulante que viene a ser la información. Ver figura 1.2.

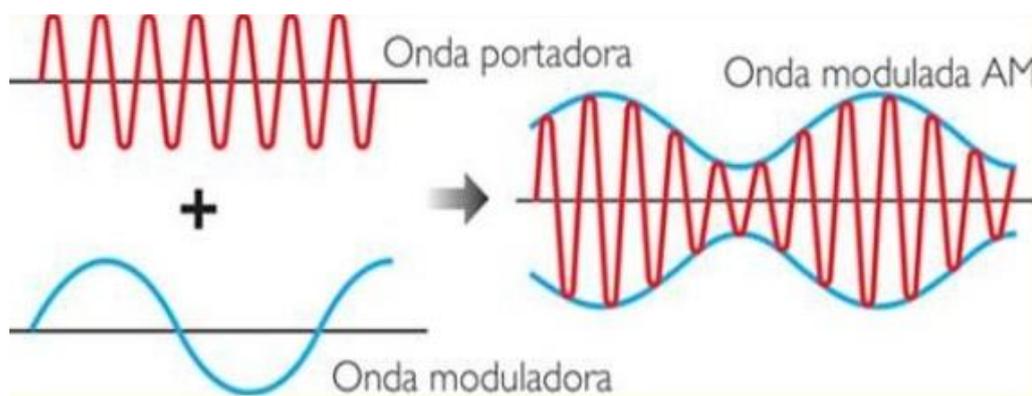


Figura. 1.2. Modulación AM

Fuente: (Ceballos, 2016)

Se utiliza la siguiente expresión matemática para representar a una señal modulada en amplitud:

$$v(t) = V_p \sin(2\pi f_p t) + \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p - f_m)t] - \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p + f_m)t] \quad (1)$$

La modulación AM se caracteriza por su bajo costo y también su baja calidad generalmente se usa en transmisiones o para emisiones comerciales de audio, video, de igual manera se utiliza para transmitir y recibir información de los radios de Banda Civil.

Estos moduladores son no lineales, por lo que tiene una salida y dos entradas. La

primera señal entrante tiene amplitud constante y alta frecuencia, la segunda señal contiene información a ser transmitida, esta señal suele ser frecuencia bastante baja pero lo suficientemente fuerte para que puedan ser transmitidas, a estas señales se las denomina RF.

En la salida se produce una señal modulada esta se denomina Envolvente de Amplitud Modulada (AM) **Ver Figura 1.3.**

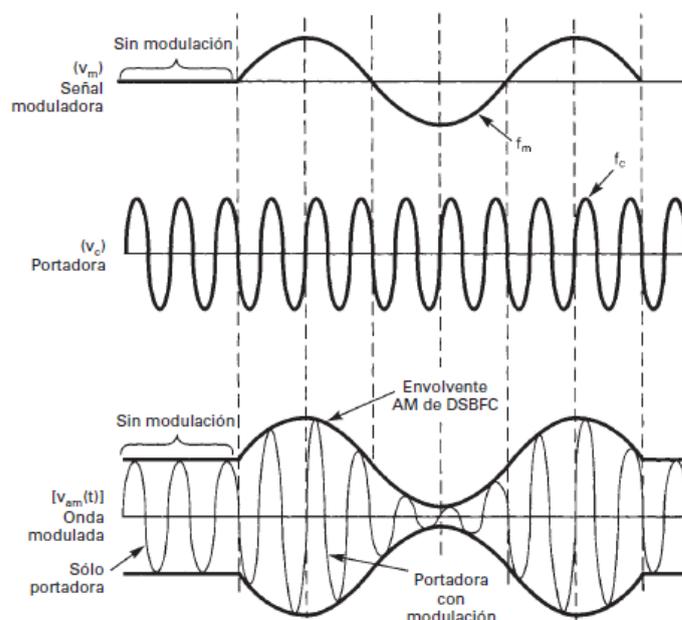


Figura. 1.3. Envolvente de Amplitud Modulada

Fuente: (Tomasi, 2003)

Con respecto a los tipos de modulación en Amplitud existen varios, en el siguiente gráfico se puede visualizar los mismos:

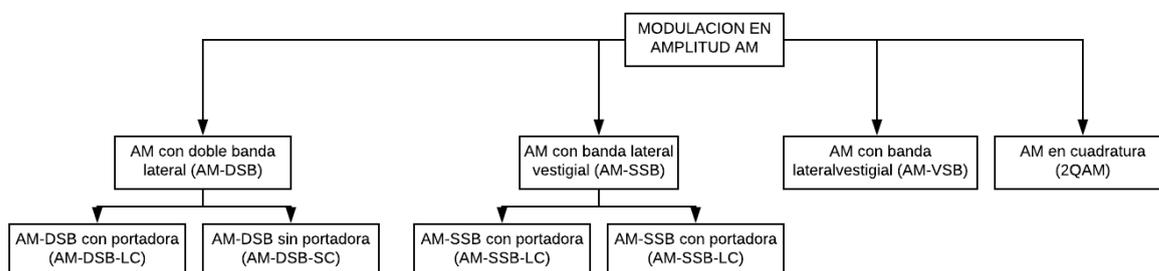


Figura. 1.4. Modulación en amplitud AM clasificación

Fuente: (propia, 2018)

La modulación AM-DSB es la modulación que más se utiliza con respecto al resto de modulaciones en AM, su diseño es relativamente sencilla, y por ende su modulación

también, sin embargo, es menos eficiente en potencia y la capacidad de aprovechamiento del ancho de banda, la ecuación que la representa es la siguiente:

$$X_c(t) = A_c \cos Wct + mx(t) A_c \cos Wct \quad (2)$$

Hay que tomar las siguientes consideraciones:

- La portadora tiene que ser de amplitud constante y con alta frecuencia.
- Se realiza la evaluación del índice de modulación (m) cuando la señal portadora se está modulando.
- El índice de modulación va desde el valor cero hasta uno.
- Se dice que si el índice de modulación es mayor uno éste está sobre modulado, esto quiere decir que la modulada acaba de sufrir un desfase y su recuperación mediante un método de detección envolvente es realmente complicado.

Continuación se expresa de forma matemática la expresión de la envolvente:

$$A_c(t) = A_c[1 + mx(t)] \quad (3)$$

En la **Figura 1.5** se observa con mayor detalle la modulante, en ésta se encuentra la señal con la información a transmitir, adicional se puede observar la onda modulada en amplitud la cual varía de acuerdo a la información que se encuentra en la moduladora.

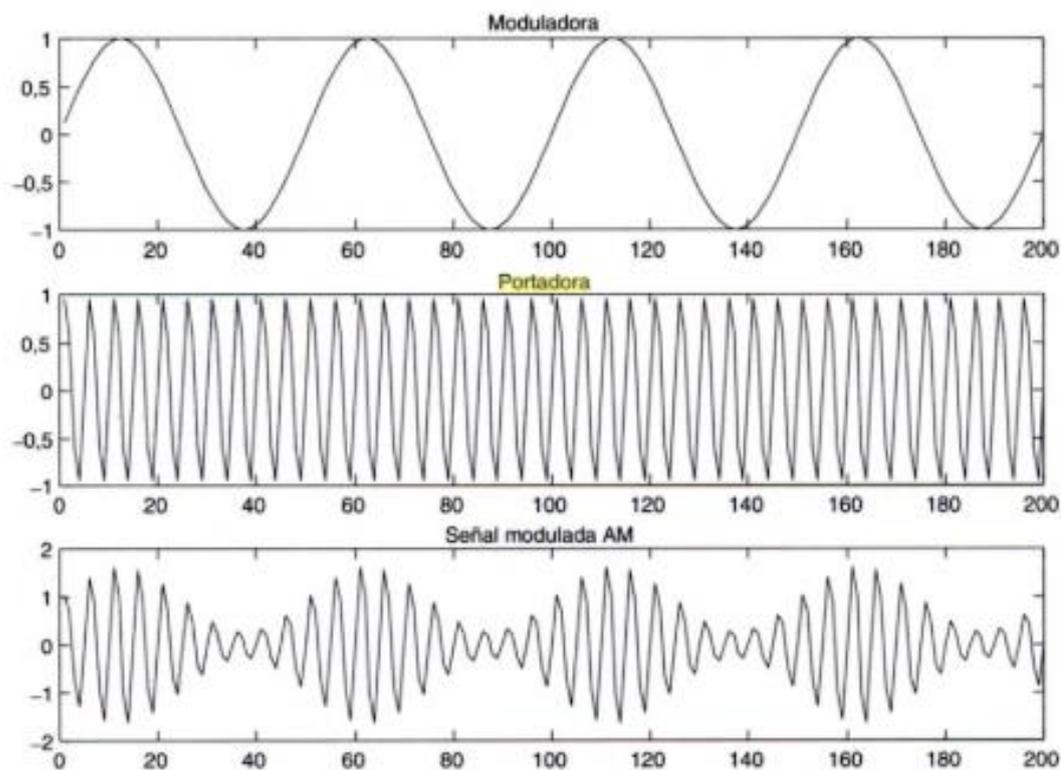


Figura. 1.5. Modulante Am

Fuente: (Carvalho, 2004)

Si se aplica la serie de Fourier en la ecuación se obtendrá la ecuación que se detalla a continuación.

$v(t) = V_p \cos(2\pi f_p t) + \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p - f_m)t] - \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p + f_m)t]$	(4)
---	-----

A continuación, se puede ver de manera gráfica lo expresado en la ecuación con respecto al dominio de la frecuencia:

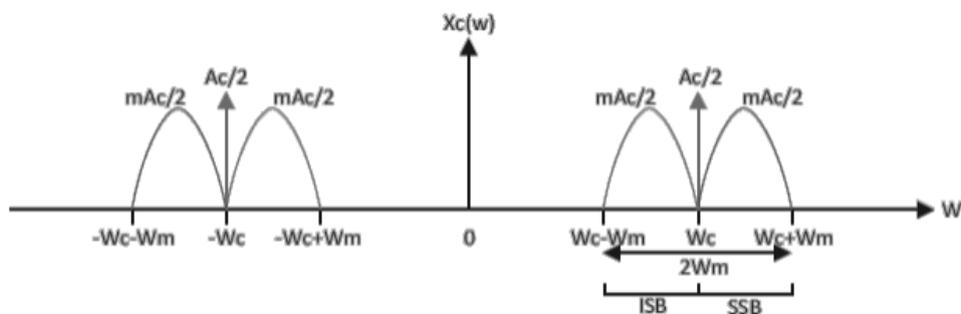


Figura. 1.6. Dominio de la frecuencia

Fuente: (Romero, 2016)

En la **Figura 1.6** se observa lo detallado a continuación:

- No existe eficiencia en el uso espectral por el uso que se le da al ancho de banda en ondas que se modulan en amplitud ya que es el doble con respecto a la frecuencia.
- Tanto la banda superior (SSB), como la inferior (ISB) contienen la misma información, adicional de que cada banda es una sola.

1.2.2. Doble banda lateral con portadora suprimida en AM

En DSB-SC la transmisión de la información se realiza solamente en las bandas lateral inferior y lateral superior. En esta modulación en cuanto a las transmisiones existe ahorro de potencia, esto se produce gracias a la ausencia de portadora, el ancho de banda usado es similar al DSB-LC. (Tomasi, 2003)

La modulación DSB-SC se produce gracias al producto entre la modulante que lleva la información y la portadora. Matemáticamente se representa así:

$$X_c(t) = x(t) \cos Wct \quad (5)$$

Se describe de manera rápida lo expresado en la ecuación; En la onda modulada que viene a ser $X_c(t)$ se produce un cambio de fase siempre y cuando la señal moduladora que sería $X_c(t)$ cruce por cero y por la señal de la información es totalmente diferente con respecto a la envolvente de la onda modulada, tal cual se visualiza en la **Figura 1.7**

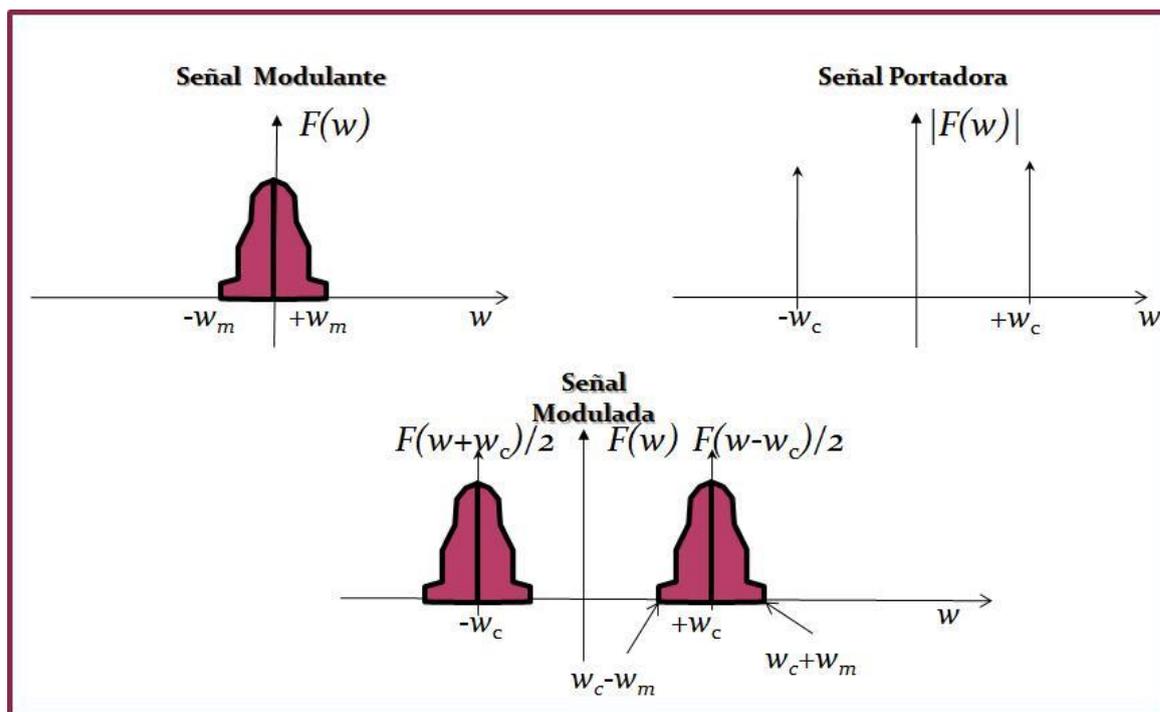


Figura. 1.7. Envolvente de onda modulada

Fuente: (Daza, 2011)

Si se aplica la serie de Fourier en la ecuación se obtendrá la ecuación que se detalla a continuación.

$$X_c(W) = \frac{1}{2} [X(W + W_c) + X(W - W_c)] \quad (6)$$

La gráfica de la ecuación se ve en la **Figura 1.8**, en esta se observa el espectro DSB-SC

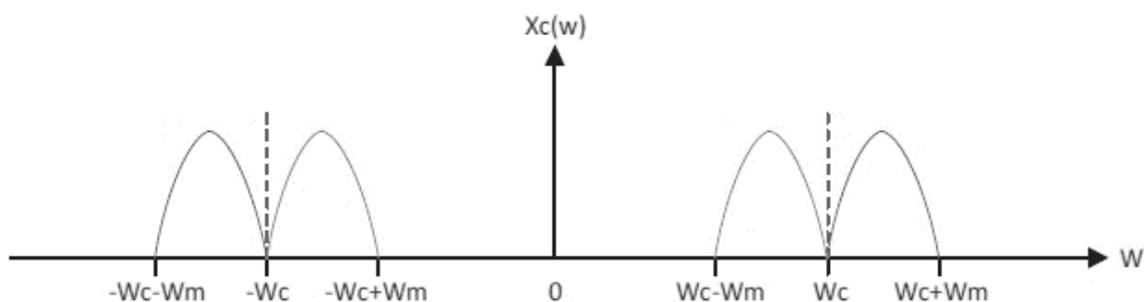


Figura. 1.8. Espectro DSB-SC

Fuente: (Romero, 2016)

1.3. Radio Definida por Software

1.3.1. Introducción

A medida que pasan los años la tecnología en el mundo de las comunicaciones, en

especial las inalámbricas ha ido avanzando a una gran velocidad, de una forma en que los equipos, dispositivos y componentes quedan prácticamente obsoletos después haber pasado apenas unos cuantos años de haber sido producidos. Para poder mitigar en un porcentaje estos inconvenientes todos los nuevos equipos deben tener la capacidad de adaptarse o ser estos diseñados con un conjunto de protocolos en los cuales puedan ser completamente transparentes ante la creación y desarrollo de tecnología nueva, verificando que los equipos actualizados sean universales al momento de realizar la comunicación entre tecnología pasada y actual.

En 1990 se creó un término nuevo llamado Radio Definido por Software o más conocido como SDR. Un sistema SDR es un componente o equipo utilizado en el mundo de las comunicaciones cuya base operativa se encuentra dentro de un software y no dentro de un hardware como se acostumbraba anteriormente al realizar las comunicaciones, gracias a esto se reducen los requerimientos de hacer cambios de hardware ya sea en su totalidad o un gran porcentaje al realizar nuevas actualizaciones tecnológicas.

Siempre hay que tomar en cuenta que en cualquier actualización ya sea de hardware o software se debe mantener criterios de interoperabilidad y adaptabilidad, para poder mantener estas dos características los sistemas de radio deben estar fabricados de preferencias bajo una arquitectura bien definida, con protocolos estandarizados y sobre todo abiertos ante cualquier cambio. Con estas bases se garantiza la escalabilidad del proyecto, de igual manera permite el desarrollo de los componentes de una manera totalmente independizada sin perder la conectividad de los componentes al finalizar cualquier tipo de proyecto.

Incluso hoy en día, las exigencias o características que deberían de tener las nuevas tecnologías siempre o en su mayoría de veces han sido contradictorias incluso con todos los esfuerzos propuestos de tener una normalización mundial para poder cumplir con lo propuesto muchas veces han fracasado.

Incluso así, se ha considerado que para obtener resultados positivos al momento de realizar la incorporación de muchas arquitecturas diferentes de comunicaciones no sólo hay que tomar en cuenta el hardware que se va a utilizar sino también hay que tomar en cuenta el software que esta requiera para establecer una comunicación.

También se debe considerar todos los protocolos o conjunto de protocolos en las diferentes capas del modelo OSI, estos protocolos permiten que se ejecute la comunicación

y la comprensión de la misma ya sea de datos, voz o video. Hablando a nivel de las comunicaciones en este caso del modelo OSI la comunicación que se realiza desde la capa física hasta la capa de aplicación estos dos siempre están ligados ya sea de una forma u otra haciendo imposible el paso de un nivel a otro sin pasar por las capas intermedias.

Al igual que en épocas pasadas no fue factible crear un estándar único para la televisión a color, para la TV Digital Terrestre para ser utilizados tanto en EEUU, Japón y Europa, o de la telefonía móvil cuando se desarrolló GSM, fueron totalmente incompatibles en EEUU, y Europa gracias a los protocolos que se utilizaban en cada región.

Desde el desarrollo de las tecnologías 2.5G, 3G etc, se empezaron a dar una serie de incompatibilidades entre estas tecnologías inalámbricas lo que implicaba un costo enorme al momento de realizar cambios de tecnologías especialmente a nivel de hardware. Por ese motivo se buscaron otras maneras de mitigar esos problemas por lo que aquí es donde se presentó una gran oportunidad para los sistemas SDR (Radio Definido por Software), puesto que el aspecto económico es muy importante, para la integración invisible de algunas arquitecturas de comunicación.

SDR es una de las tecnologías de rápida evolución, está recibiendo un gran reconocimiento e interés en el ámbito de las comunicaciones. Últimamente los sistemas de radio analógicos se están sustituyendo por sistemas de radio digital en diferentes aplicaciones. (Pinar, 2011)

1.3.2. Historia de SDR

- **1970:** aparecen los primeros radios multimodo que trabajaban en VHF
- **1991:** Joseph Mitola III conocido también como el padre del SDR, establece el concepto Radio Definido por Software (SDR), utilizó este término para dirigirse a algunas radios que podían reconfigurarse las veces que se desee mediante una sola plataforma de hardware, estas configuraciones los hacía en múltiples períodos de tiempo y lo hacía utilizando un software implementado en la plataforma ya mencionada.
- **1992:** Se realiza la presentación final del primer proyecto de radio programable junto con los resultados finales, este se denominaba: *INTEGRATED COMMUNICATION, NAVIGATION IDENTIFICATION AND AVIONIC*

(ICNIA), el mismo fue desarrollado por los investigadores de *AIR FORCE AVIONICS LABORATORY* de los Estados Unidos de América.

- Este programa fue utilizado de manera exitosa en una prueba de vuelo, y su arquitectura trabajaba desde los 30 MHz hasta los 1600 MHz.
- **1991-1995:** En Estados Unidos el departamento de defensa realiza una investigación militar en los proyectos denominados SpeakEasy I/II, dicho proyecto consistía en implementar diez estándares de comunicaciones militares, consistía en utilizar un transceptor que usaba algunos microprocesadores programables.

En esta investigación se utilizaba transmisiones con portadoras desde los 2 MHz hasta los 2 GHz. Como dato adicional y muy importante de este proyecto fue la interoperabilidad entre algunos esquemas y arquitecturas implementados que tenía el ejército tomando en cuenta que se utilizaba un único equipo de características programables.

El primer proyecto denominado *SPEAKEASY I*, tenía como principal componente un procesador TMS320C40 de 40 MHz fabricado por la empresa Texas Instrument, en cuanto al segundo proyecto de investigación *SPEAKEASY II* se incrementó un conjunto de FPGA's en la etapa de implementación de la banda base digital, de esta manera se logró implementar el primer sistema SDR, sin embargo su tamaño era demasiado grande.

- **1996:** con la finalidad de implementar un estándar que sea de arquitectura abierta, que funcione y sobre todo que sea compatible con el proyecto de investigación *SPEAKEASY*, se crea el *FORUM MODULAR MULTIFUNCTION INFORMATION TRANSFER SYSTEMS* (MMITS).
- **1999:** El *FORUM MODULAR MULTIFUNCTION INFORMATION TRANSFER SYSTEMS* (MMITS) cambia de nombre a *FORUM SDR*, gracias a esto se impulsa de mejor manera el enfoque en la tecnología SDR a las arquitecturas conformados por PC's y sistemas de telefonía como los de tercera y cuarta generación.
- **Actualidad:** el *FORUM SDR* cambió nuevamente de nombre, se denomina *WIRELESS INNOVATION FORUM* conformada por grandes empresas como

Harres, Tales, Huawei, NASA, Air Force Research Lab, entre otras.

Hoy en día aún no existe ningún estándar sobre SDR, este grupo de trabajo es un foro que se dedica a llevar la innovación tecnológica para el mundo de los sistemas SDR permitiendo el desarrollo de estándares, características y especificaciones que permitan el uso del mismo, de esta manera se logra la propagación de esta no tan nueva tecnología, pero si muy viable para soportar y sobre todo satisfacer necesidades militares, civiles y porque no también comerciales.

1.3.3. Concepto SDR

Para poder dar un concepto a un sistema SDR y sobre todo entender que es y que hace estos sistemas hay que conocer otros términos los cuales se mencionan en el siguiente apartado. Software Radio: Aquellos radios multibanda que son capaces de soportar múltiples interfaces y protocolos mediante el uso de antenas para banda ancha, conversores de radiofrecuencia (RF), conversores Analógico y Digital/Analógico se denominan Software Radios.

Dentro del mundo de los “software radios” ideales, todo lo que respecta a la composición del radio, están definidos por el software que se ejecutan dentro de los procesadores de propósito general.

En algunas muchas ocasiones, la implementación de un sistema Software Radio ideal es imposible por múltiples factores que impiden el mismo, estas razones pueden ser: consumo energético hasta los más pequeños detalles, características y elevadas especificaciones que requiere el procesador, sobre todo cuando se trabaja a altas frecuencias, de allí proviene el nombre de Radio Definido por Software, se refiere a un dispositivo , que incluso siendo un solo dispositivo o un solo hardware es puede realizar diferentes funciones en diferente tiempo.

Es por ello que tenemos un dispositivo para las comunicaciones que permite hacer las veces de muchos dispositivos de comunicaciones utilizando tan solo un software. Gracias a este concepto se ha permitido abrir un panorama muy amplio de oportunidades en el ámbito de las comunicaciones y la investigación en esta rama. Dentro de los sistemas SDR existen muchos conceptos que se les podrían dar a estos sistemas sin embargo se hará mención las definiciones más importantes.

- SDR es una radio que se encuentra definida por software y cuya conducta en una de las capas del modelo OSI o en otros modelos de comunicación, permiten realizar cambios considerables con el solo hecho de modificar ciertos aspectos en su software.
- SDR se utiliza para describir el software que controla una o varias aplicaciones de radio, el cual provee técnicas de procesamiento de señal además de operaciones para banda angosta o banda ancha, así también como funciones de seguridad para comunicaciones y requerimientos en forma de onda.
- La arquitectura SDR se utiliza en las comunicaciones por radio, en la cual los elementos utilizados en hardware como pueden ser estos: detectores, filtros, mezcladores, moduladores, amplificadores, demoduladores, etc, serán reemplazados mediante un software que se encuentra instalado ya sea en una computadora o dispositivos que tengan similares características.

La tecnología SDR fue creada y es desarrollada para mejorar la interoperabilidad, adaptabilidad y sobre todo la interconexión entre diferentes servicios. La tecnología SDR está conformada tanto de un software como de un hardware, y este puede ser reconfigurada dinámicamente para permitir que las comunicaciones entre una amplia variedad de normas se establezcan, así como también la compatibilidad entre diferentes protocolos y radio enlaces. SDR permite desarrollar dispositivos inalámbricos y equipos de redes multibanda y multifuncionales, que pueden ser fácilmente reconfigurados, o a través de actualizaciones de software y reconfiguraciones de hardware permitiendo el ahorro sustancial en lo económico y en algunos casos de trabajo y tiempo utilizado para crear nuevos equipos. (Romero, 2016)

A pesar de que los años han pasado la conceptualización y el esquema que se le da a los sistemas SDR no ha cambiado ya que siempre ha constado de tres diagramas funcionales que son: sección de RF, IF y banda base, viendo más a detalle tenemos dos subdivisiones que son la parte de hardware que está compuesto por las sección de RF e IF y la parte de software que es la de banda base Ver **Figura 1.9**.

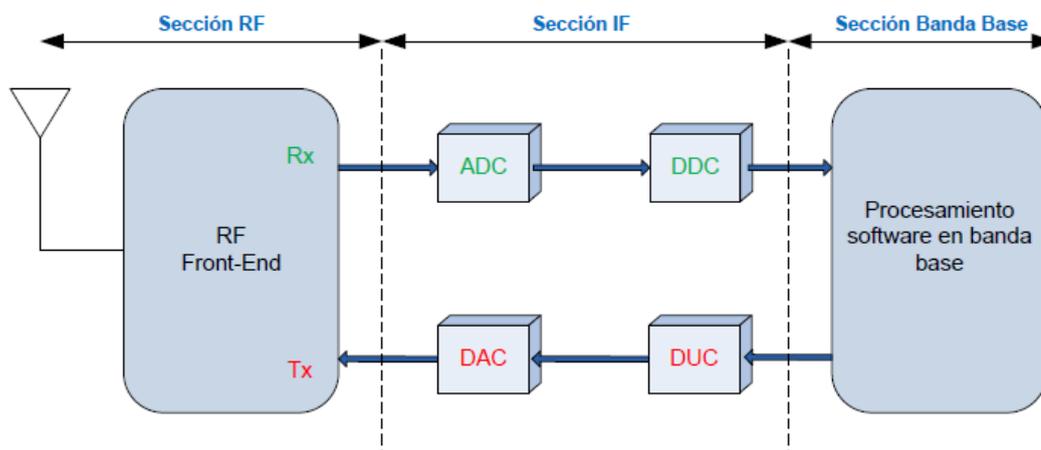


Figura. 1.9. Componentes de un sistema SDR

Fuente: (Pinar, 2011)

- **Sección RF (Front-End):** es la cabecera del sistema, permite la transmisión y recepción de las señales de radiofrecuencia para que puedan ser adecuadas y convertidas en una frecuencia intermedia para la recepción, incluso amplifica y modula aquellas señales IF si funciona como un transmisor. La frecuencia intermedia (FI) puede ser 0, en caso de que esto ocurra se lo llama como Zero-IF; todo esto es posible dado a los grandes avances que se van dando en los componentes de hardware.
- **Sección IF:** Esta sección es la encargada de realizar el traspaso de la señal a banda base, en forma simultánea lo digitaliza al momento de la recepción o al cambiar la señal de banda base a IF logrando así la conversión digital-analógica de la señal si funcionara como un transmisor. Aquí se encuentran los convertidores ADC/DAC que son los encargados de realizar la conversión analógica-digital o digital-analógica de la señal. Al mismo tiempo se ponen los módulos DDC/DUC estos permiten bajar o subir la tasa de muestreo puede ser para recepción o de transmisión, de esta manera se logra que la tasa de muestras dada por el interfaz entre IF o banda base tenga un rango inferior.
- **Sección de banda base:** sección encargada de todo el procesamiento en banda base, puede ser para modulación y demodulación, así mismo realiza el análisis espectral de la señal, llevándose todo a cabo mediante un software.

1.3.4. Niveles de SDR

Con el objetivo de establecer una clasificación o distinguir niveles de SDR, Wireless

Innovation Forum ha logrado establecer diferentes niveles de utilización de software dentro del radio para realizar las veces de control y funciones de la capa física, logrando de esta manera diferencias el hardware del software y viceversa dentro de un equipo, a continuación, se detallan los niveles más destacados:

- **Nivel 0.**

En este nivel el radio se construye únicamente a base de hardware, por lo cual no se puede realizar ningún tipo de cambio mediante un software. Dentro de este nivel no existe ningún software, tampoco algún tipo de control al momento de realizar las funciones de operación del radio.

- **Nivel 1**

Como características principales que se tiene dentro de este nivel es la de un radio controlado mediante software con ciertas limitaciones en lo que refiere a funciones controlables. Se puede controlar algunas cosas tales como nivel de potencia, interconexión entre otros sin embargo no se logra controlar nunca en modo o frecuencia.

- **Nivel 2**

Dentro de este nivel la parte más significativa es que el radio es reconfigurable por software. En este nivel se utiliza el término Radio Controlado por Software también conocido por sus siglas como (SCR).

Aquí se puede realizar el control de software de ciertos niveles de frecuencia, modulación, demodulación, generación, así como también la detección de forma de onda, seguridad, etc. En esta arquitectura tenemos la etapa de RF que sigue conformado por hardware que no puede ser reconfigurada. Además de que el software utilizado estos radios sólo permite el control de funciones que ya están implementadas de modo físico dentro del radio.

- **Nivel 3**

Dentro de este nivel están agrupados todos aquellos radios los cuales tienen al menos una de sus funciones se encuentra definida por software, en este también se incluyen los Radio Definido por Software Ideal conocido por las siglas ISR, en este la sección configurable y la sección no configurable están muy cercanos a la antena y la parte final del RF puede ser reconfigurada de acuerdo a las necesidades, en teoría los ISR son

completamente programables.

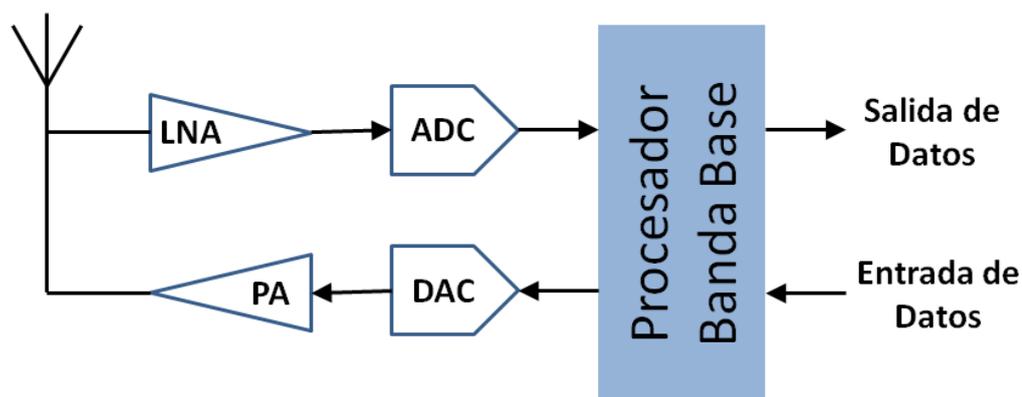


Figura. 1.10. Diagrama en bloques simplificado de un SDR nivel 3

Fuente: (Pinar, 2011)

• Nivel 4

Dentro del grupo del nivel 4 se encuentran aquellos equipos que se los conoce con el nombre de Ultimate Software Radio (USR) y son equipos superiores que aquellos que pertenecen al grupo de los ISR, esto debido a que los USR son completamente programables y no solo eso, sino que además soportan un conjunto muy amplio de rango de frecuencias y en algunos casos un rango de frecuencias de manera simultánea. En este conjunto de equipos están los teléfonos móviles estos pueden soportar algunos estándares.

1.3.5. Arquitectura de un SDR

Es muy complejo definir la arquitectura de un sistema SDR debido a que cada situación en la que se aplica presenta cambios drásticos de haciendo una comparación entre un sistema y otro. Incluso con lo expuesto se puede mostrar una pequeña base que indican los aspectos más importantes que hay que tomar en cuenta en un sistema SDR.

Esta base se obtiene desde un sistema de comunicación digital como indica la **Figura 1.11**. A breves rasgos se ha dividido en secciones, la parte más importante que hay que considerar son las secciones que se encuentran con el nombre programables ya que estos serán las partes aplicables para un sistema SDR.

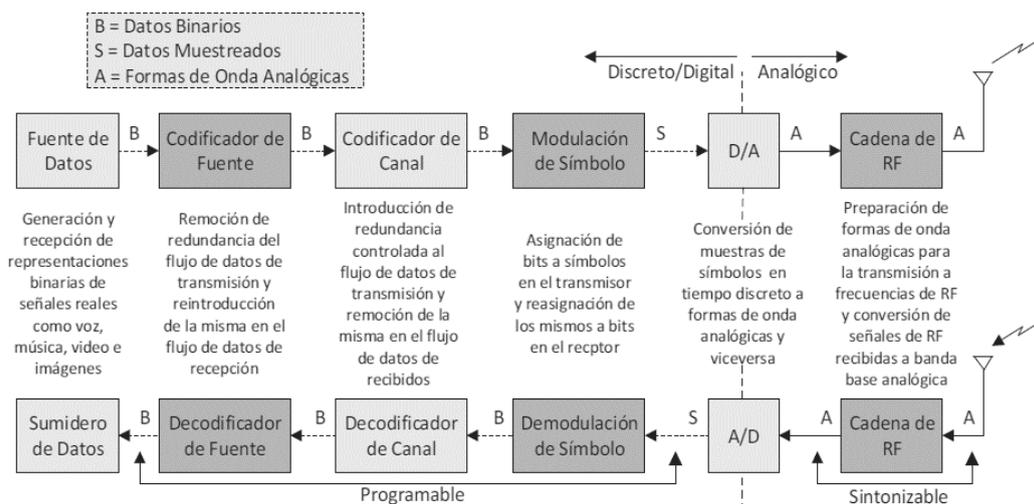


Figura. 1.11. Bloques de un sistema de sistema de transmisión digital

Fuente: (propia, 2018)

En la figura se observan los datos que ingresa en el transmisor, y como salida se tiene un sumidero de datos. Estos bloques representan el envío y recepción de la señal digital que lleva todo un proceso complejo de emisor a receptor. (Stewart B. , 2015)

A continuación, se detalla de mejor manera el proceso de transmisión de datos dentro de la señal digital:

- **Codificador de fuente:** Cuando la información binaria se introduce en el transmisor, lo primero que se hace es quitar aquellos patrones binarios provenientes de la información que se repiten, de esta manera se incrementa la eficiencia en la transmisión, todo esto se realiza en el bloque CODIFICADOR DE FUENTE.
- **Decodificador de fuente:** esta sección realiza el proceso inverso al decodificador de fuente, es decir introduce la redundancia que permite que la información binaria vuelva a tomar su forma original.
- **Codificador de canal:** se emplea este bloque para poder insertar una cantidad de redundancia de manera controlada a la información con el objetivo de que ésta esté protegida de errores en el momento que se ingresan al momento de realizar la transmisión empleando canales ruidosos.
- **Decodificador de canal:** Contrario, al codificador de canal, se utiliza esta sección para remover la redundancia introducida, esta manera se asegura que la información binaria tome su forma inicial sin tener pérdida de información.

- **Modulación:** El siguiente paso en el transmisor es convertir la información que se encuentra en forma binaria a propiedades con formas de ondas electromagnéticas tales como amplitud, portadora o incluso frecuencia todo esto en un proceso llamado modulación
- **Demodulación:** Un proceso inverso ocurre en el receptor, es decir que aquellas ondas electromagnéticas se convierten en representación binaria para continuar con el proceso de comunicación.
- **Conversor Digital-Análogo:** Después de todo el proceso anterior, nuevamente se muestrean y se convierten en forma de onda analógica todas aquellas muestras discretas que salen del bloque de modulación. Esto es posible gracias al trabajo que se realiza a través de un conversor Digital-Análogo (D/A).
- Finalmente, la señal es procesada a través del FRONT-END DE RADIOFRECUENCIA y convertida hacia arriba en una frecuencia de portadora RF. El proceso inverso se produce en el receptor, en ella la señal analógica se convierte hacia abajo por el FRONT-END de RF en una frecuencia de banda base para que la señal sea procesada por en conversor Analógico-Digital (A/D).

1.4. Hardware

1.4.1. RTL-SDR

Un RTL-SDR es un dispositivo de bajo coste realmente sencillo de usar para diferentes aplicaciones si se tienen las consideraciones necesarias para su uso como son el hardware y software mínimo que se necesita para operar con estos dispositivos. Estos dispositivos USB permiten la recepción de señales RF los cuales son procesados en un software, según necesidades que deseen satisfacer.

En un inicio los RTL-SDR fueron diseñados para el uso como receptores DVB-T (Digital Video Broadcast-Terrestre), sin embargo, con el pasar de los años los investigadores pudieron ver que se pueden sacar un mejor provecho de los mismos y usarlos como parte de un sistema SDR. Con las mejoras realizadas a estos dispositivos de acuerdo al modelo que se utilice podían trabajar en un rango de 25Mhz hasta 1,75 Ghz Ver **Figura 1.12.**



Figura. 1.12. Dispositivo SDR-RTL

Fuente: (Stewart R. W., 2017)

En la **Figura 1.12** se ilustra el pequeño dispositivo puede venir de tres diferentes tamaños todos son fabricados por la corporación NooElec básicamente se diferencian en su tamaño, adicional constan de una antena la cual va a permitir al RTL-SDR recibir las señales para que éste pueda ser procesada y luego ser enviado al ordenador que se encuentre conectado, de esta manera se podrá nuevamente procesar las señales salientes del dispositivo y entrante al ordenador, como se ve en la **Figura 13**.



Figura. 1.13. Visualización de señales en ordenador

Fuente: (Stewart R. W., 2017)

Desglosando a detalle el funcionamiento de todo un sistema SDR al utilizar un RTL-SDR junto con un software y hardware apropiado el funcionamiento sería como se ve en la **Figura 1.14**.

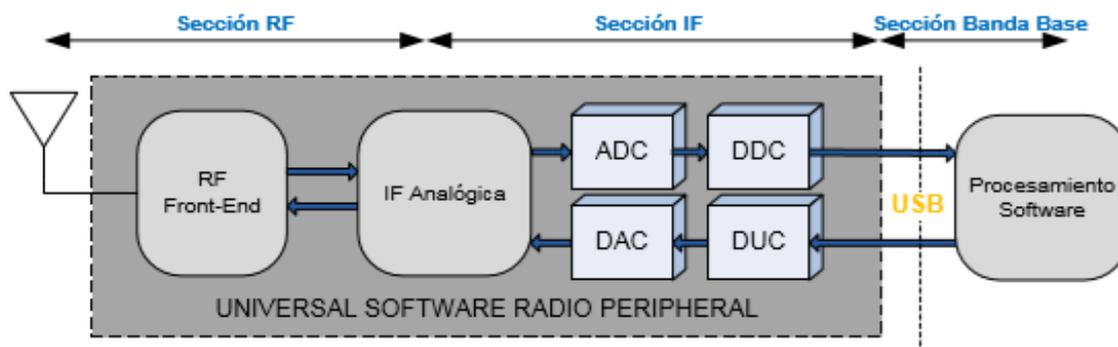


Figura. 1.14. Diagrama de bloques receptor SDR

Fuente: (Pinar, 2011)

En la gráfica se detallan las señales inalámbricas que se encuentran cercanas al sistema, estas son receptadas por una antena RF que se encuentra conectada al RTL-SDR, la antena además de recibir señales FM, también recibe señales UHF/DTV, DAB de radio, señales GPS, así como señales 2G, 3G, 4G (señales celulares), algunas transmisiones que realizan ciertos sectores industriales, bandas de transmisión militar, bandas científicas, entre otros, es decir que el sistema permite la recepción de algunas de las señales que se encuentran en el rango de operación del sintonizador ver **Figura 1.15**.

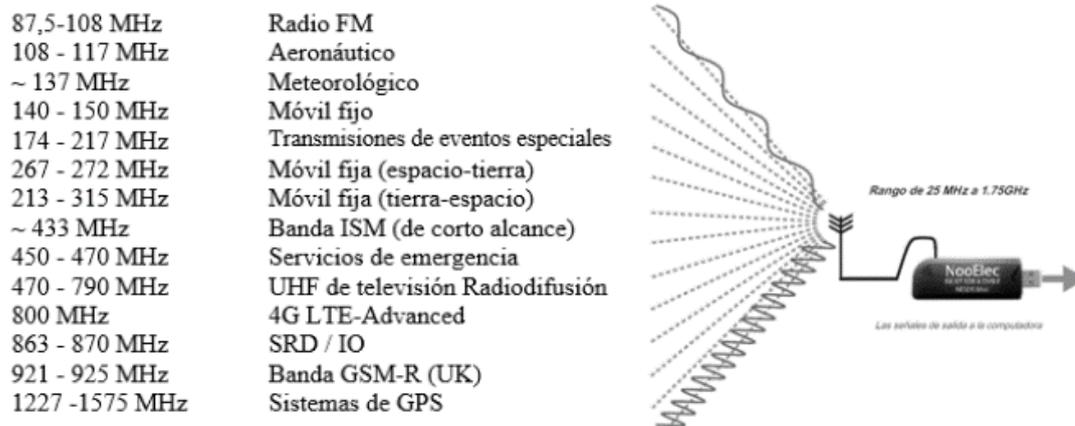


Figura. 1.15. Frecuencias de operación de RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

1.4.2. Arquitectura del RTL-SDR

Básicamente el RTL-SDR está compuesto por tres secciones: una primera sección llamada sección de RF en el cual se encuentran la antena, los amplificadores y también los filtros. Se compone de una segunda sección que está compuesto por convertidores analógicos/digitales (ADC) y convertidores digitales/analógicos (DAC) que son de alta velocidad, finalmente se compone de una tercera sección que es de Procesamiento Digital

de Señales (DSP) que incluye la entrada y salida de las señales ya procesadas es decir la señal digital ver **Figura 1.16**, el proceso de muestreo se realiza en la sección DSP, éste utiliza el teorema de Nyquist en el cual muestra que para poder retener la información recibida requiere realizar el muestreo de la señal a más de dos veces al ancho de banda de dicha señal, como ejemplo claro tendríamos si la $f_s=4\text{GHz}$ mediante la aplicación del teorema mencionado se produciría un espectro con banda base de 0 a 2 GHz o explicado mediante la formula sería $f_s/2$, es decir que un RTL-SDR tendría la capacidad de enviar y recibir frecuencias de hasta 2 GHz, con la modulación y demodulación emprendida en el dominio. (Zhang, 2013)

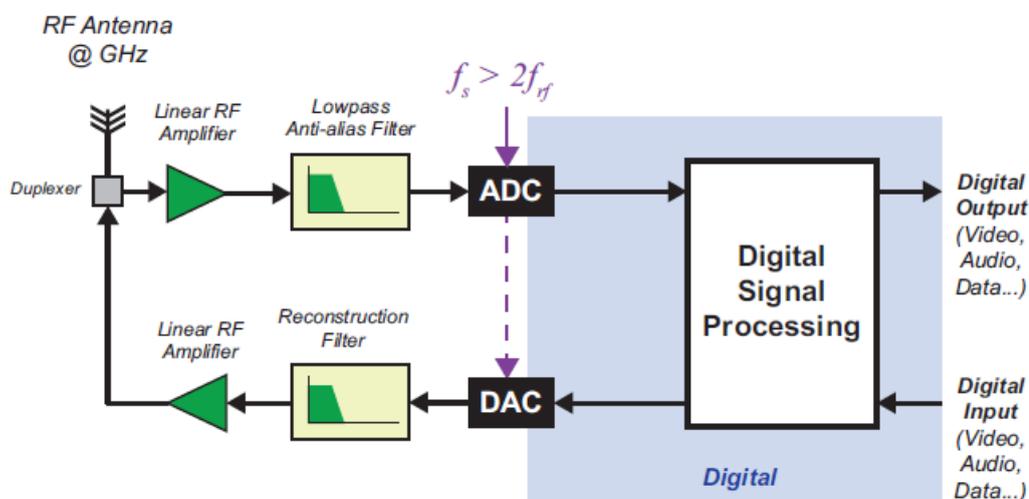


Figura. 1.16. Arquitectura SDR

Fuente: (Stewart B. , 2015)

A pesar de que en el mercado existen una gran variedad de dispositivos que se utilizan para sistemas SDR que pueden ser utilizados como transmisor y receptor en este caso se utilizará el RTL 2838U que servirá tan solo para recibir señales. A continuación se puede visualizar la composición del RTL-SDR

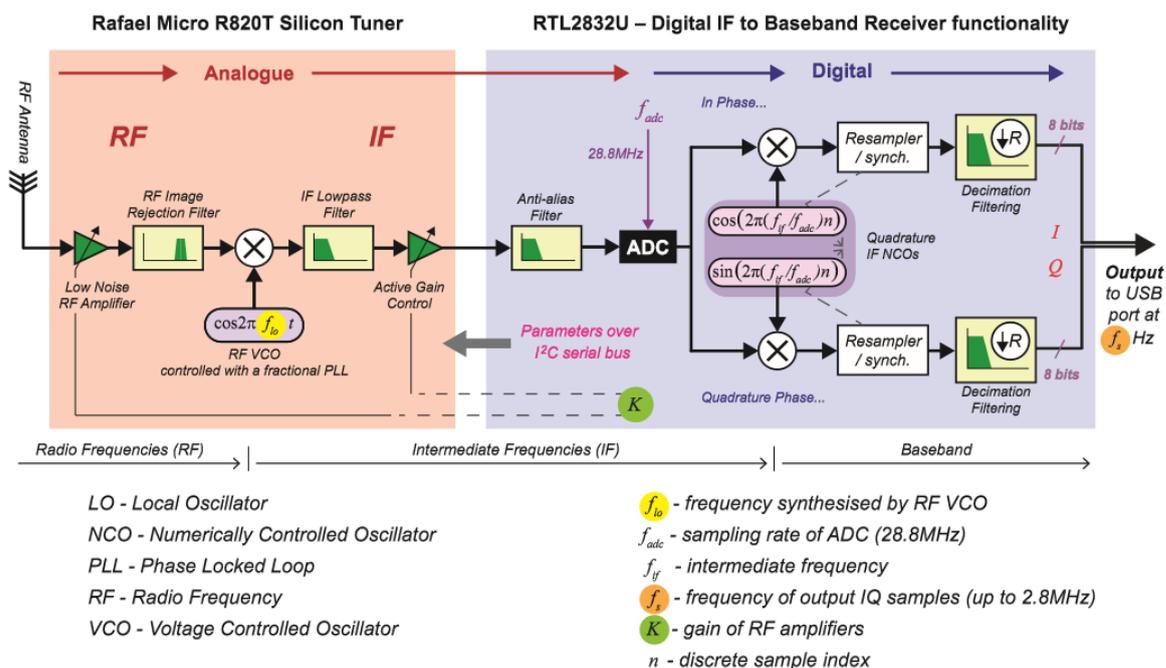


Figura. 1.17. Arquitectura RTL-SDR 2838U

Fuente: (Stewart B., 2015)

1.4.3. Elementos internos de un RTL-SDR

- **Combinación Rafael Micro R820T/Realtek RTL2832U:** El sintonizador Rafael Micro R820T trabaja con una FI baja de 5,57 MHz y una señal de banda de bajada de aproximadamente 6 MHz, posterior a este proceso la señal resultante se introduce en el RTL2832U para su respectivo muestreo, este a su vez sirve de sintonizador para sintonizar la FI de esta manera convierte la FI en banda base.

Una vez que ocurre eso la señal pasa a un conversor análogo digital ADC a una frecuencia de 28.8 MHz, y se realiza la modulación en cuadratura para producir muestras IQ. Finalmente ocurre un proceso de decimación que reduce la tasa de muestreo a un valor inferior, por ejemplo, podría ser de 2.8 MHz, estas muestras van hacia la salida del USB en la **Figura 1.18** se observa un poco de los elementos de un RTL-SDR por dentro.

- **Combinación Elonics E4000 con Realtek RTL2832U:** El funcionamiento del ELONICS E4000 es completamente diferente al sintonizador Rafael R820T, ya que es un convertidor descendente directo y opera en una frecuencia intermedia con cero. Esto significa que convierte de manera descendente una banda ancha de señales de RF (aproximadamente de

10MHz) sin la necesidad de utilizar una frecuencia intermedia (FI), la demodulación se realiza en cuadratura. Las señales de banda base Q y I se introducen en la RTL2832U en la cual se muestra, se diezma y al igual que la arquitectura anterior ésta sale por un puerto USB.

- **Receptores NooElec NESDR RTL-SDR:** La primera generación de este tipo de dispositivos se asemejaban a una unidad de memoria USB completamente ordinaria, este solía venir con una antena y un control remoto, sin embargo no contaba con ningún tipo de software o documentación, esto tenía una finalidad, y era para que el usuario pueda configurar el dispositivo a su modo dependiendo de la necesidad que requería suplir. En 2014 NOOELEC lanzó un nuevo tipo de RTL-SDR el cual estaba compuesto principalmente de una placa de circuito impreso (PCB).

Posterior a ello en el año 2016 salió una versión llamado el (NANO) el mismo medía aproximadamente 2cm, no solo que se iba mejorando el tamaño sino también la calidad del dispositivo, esto se hacía mediante el uso de componentes de mejor calidad para mejorar los problemas de tolerancia gracias a que está protegido por un blindaje para reducir el ruido que surge en su entorno. (Zhang, 2013)

Entre los componentes principales que destaca en este RTL-SDR se encuentran:

- **Connector MCX:** Para la fijación de una antena en el dispositivo.
- **Diodo de descarga electrostática (ESD):** Sirve de protección al sintonizador de una descarga electrostática que procede de la antena que se conectada al Conector MCX
- **R820T:** el chip sintonizador, que selecciona una porción del espectro de RF y convierte de manera descendente a una IF.
- **RTL2832U:** Es un chip demodulador, que convierte de manera descendente de una FI a banda base, digitaliza las señales y reduce las tasas de muestreo.
- **Cristal de reloj de 28.8MHz:** proporciona una referencia para la síntesis de frecuencia, y se utiliza para la generación del oscilador local y el reloj (este componente es común tanto a la R820T y RTL2382U).

- **Interfaz USB 2.0:** parte de la RTL2832U, que se utiliza para transferir los datos de banda base IQ para el PC anfitrión.
- **Sensor Infrarojo (IR):** se utiliza para interconectar con el mando a la distancia que se suministra con el dispositivo.
- **EEPROM serie (memoria de sólo lectura electrónicamente programable y borrrable):** mantiene la información de configuración USB para el dispositivo, y está conectado a la RTL2832U a través de un BUS I2C.

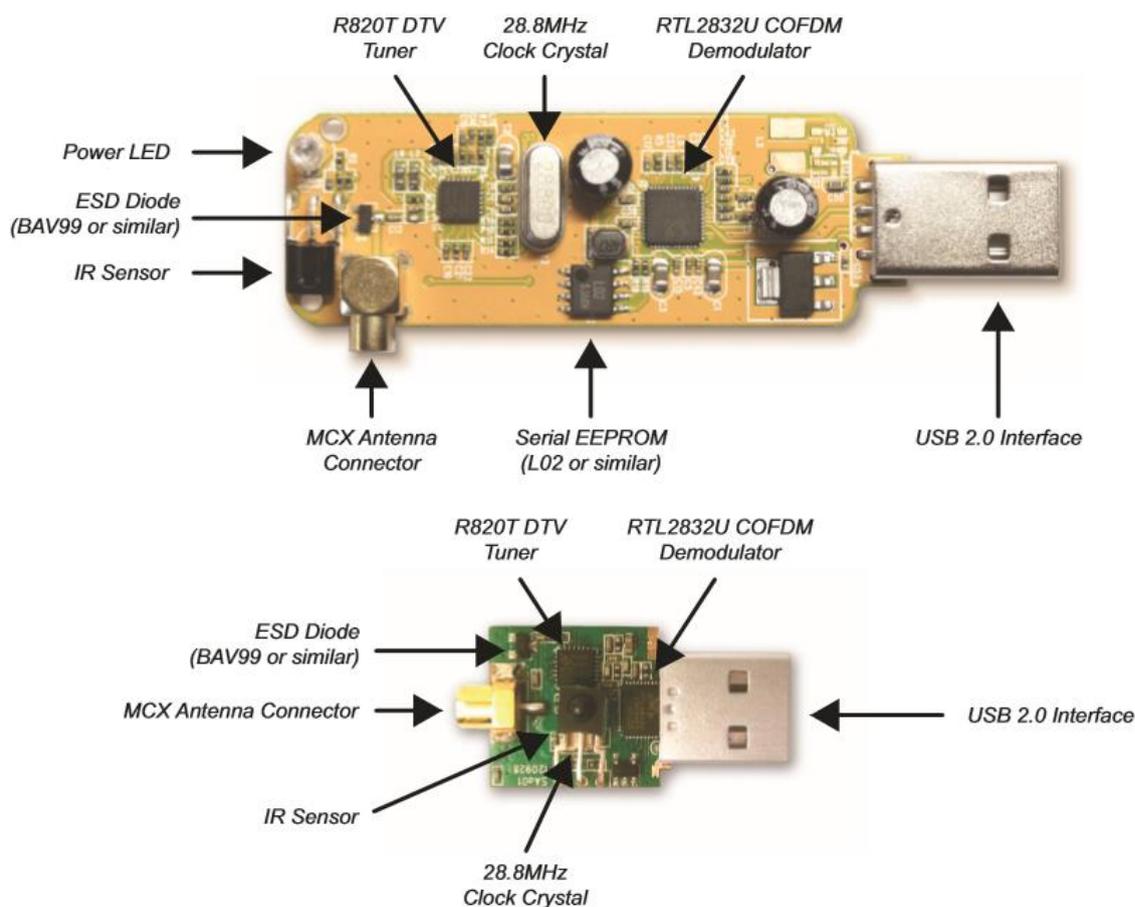


Figura. 1.18. Disposición interna del RTL-SDR

Fuente: (Stewart B. , 2015)

1.5. Software

1.5.1. MATLAB SIMULINK

Matlab-Simulink es un paquete de software que permite el modelado, análisis y simulación de sistemas dinámicos. Es compatible con los sistemas lineales y no lineales, modelados en tiempo continuo, el tiempo de la muestra, o un híbrido de los dos. Los sistemas también pueden ser de múltiples velocidades, es decir, tener diferentes partes que

se muestrean o actualiza a diferentes velocidades.

Herramienta para la simulación interactiva que permite crear fácilmente modelos desde cero, o tomar un modelo existente y añadir a ello cosas adicionales. Las simulaciones son interactivas, por lo que puede cambiar los parámetros sobre la marcha y ver inmediatamente qué sucede.

Tiene acceso instantáneo a todas las herramientas de análisis en MATLAB, por lo que puede tomar los resultados, analizarlos y visualizarlos. Uno de los objetivos principales de Simulink es dar un concepto divertido de lo que es modelar y simular, a través de un entorno que lo alienta a plantear una pregunta, modelarla y ver qué sucede.

Simulink también es práctico con miles de ingenieros de todo el mundo que lo utilizan para modelar y resolver problemas reales, el conocimiento de esta herramienta ayuda a abrir nuevas puertas a nivel profesional.

A diferencia de muchos paquetes de simulación éste tiene la gran ventaja de que es bastante manejable y se acopla al usuario, el interfaz hace que el manejo del programa y las simulaciones que se realicen en ella no se requiera de mucho conocimiento avanzado en lo que respecta a programaciones, conocimientos de desarrollo etc. Claro está que si se quiere simular algo realmente grande si se requiere un nivel de conocimientos mucho más amplio, a continuación, en la **Figura 1.19** se puede observar la interfaz de MATLAB-SIMULINK.

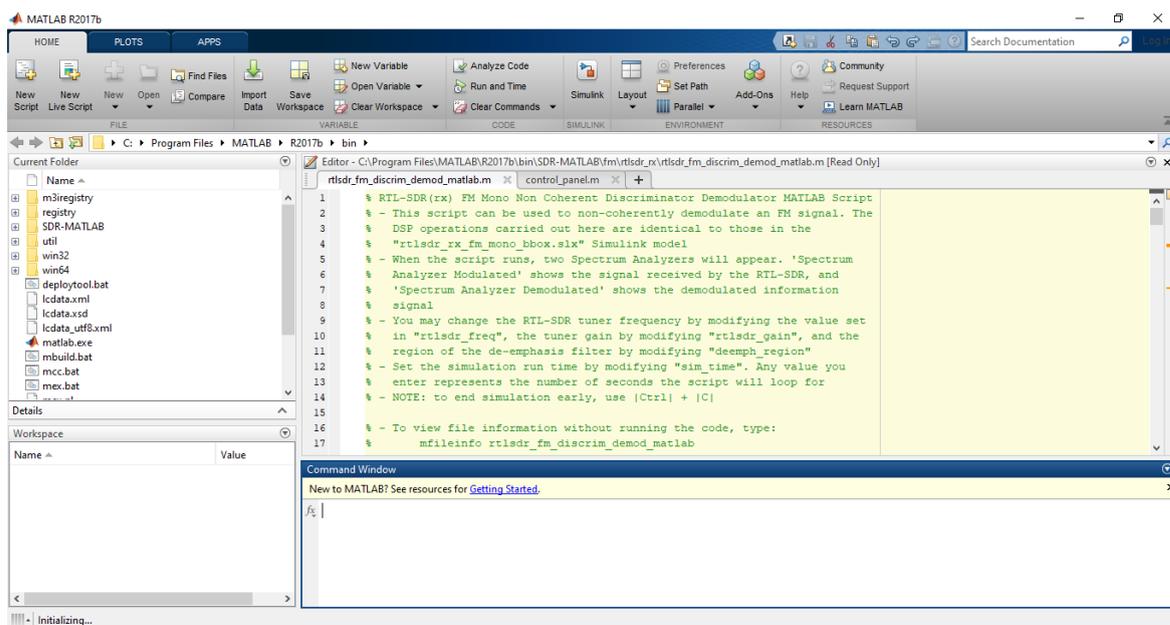


Figura. 1.19. Interfaz de Matlab-Simulink

Fuente: (propia, 2018)

En esta figura se puede observar la interfaz de MATLAB en la cual se puede realizar la programación respectiva para ejecutar las simulaciones, es fácil encontrar las herramientas de trabajo en este programa ya que es muy similar a algunos programas que se utilizan en el día a día, a continuación, se detallan ciertas secciones de MATLAB:

- **Command Window:** Permite ejecutar las líneas de comandos para realizar las simulaciones.
- **Current Folder:** En esta sección se puede ver todas las simulaciones disponibles de acuerdo a una búsqueda que se realiza, esto depende mucho de cómo se encuentre ordenado por parte del usuario
- **Workspace:** Dentro de esta ventana se tienen las nuevas matrices que se van creando según el requerimiento del usuario.

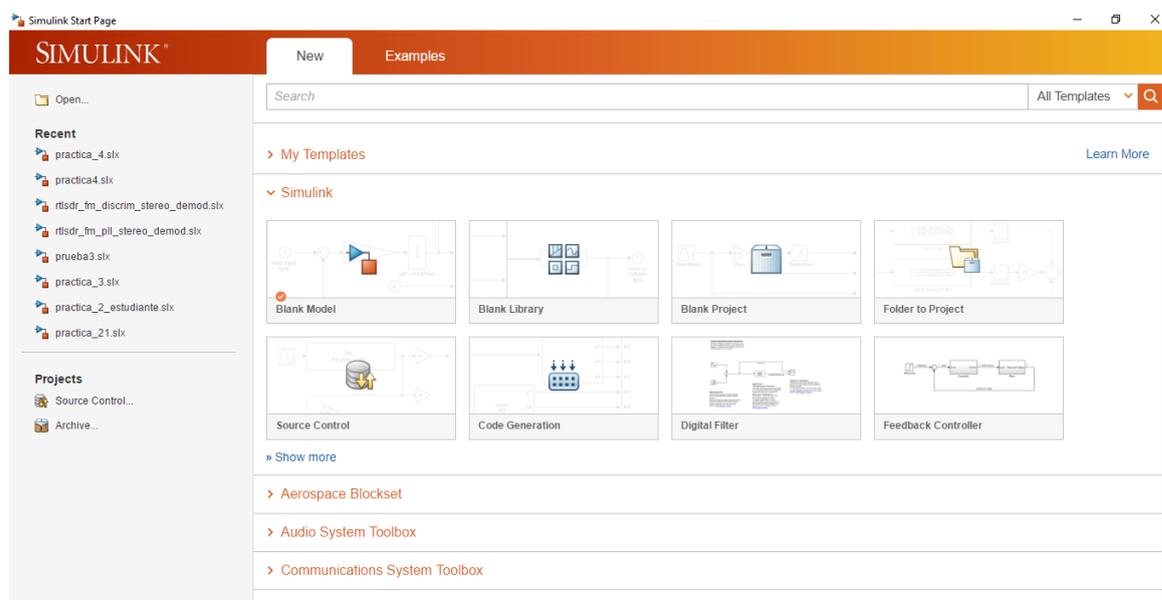


Figura. 1.20. Interfaz Simulink

Fuente: (propia, 2018)

En la **Figura 1.20** se puede observar la interfaz completa de SIMULINK en ella se puede identificar que la interfaz de trabajo es bastante gráfica y no requiere de una programación o línea de comandos utilizados para realizar las simulaciones, gracias al desarrollo de librerías se puede crear múltiples modelos desde lo más sencillo hasta grandes simulaciones de ingeniería aplicada.

1.5.2. LIBRERÍA SIMULINK

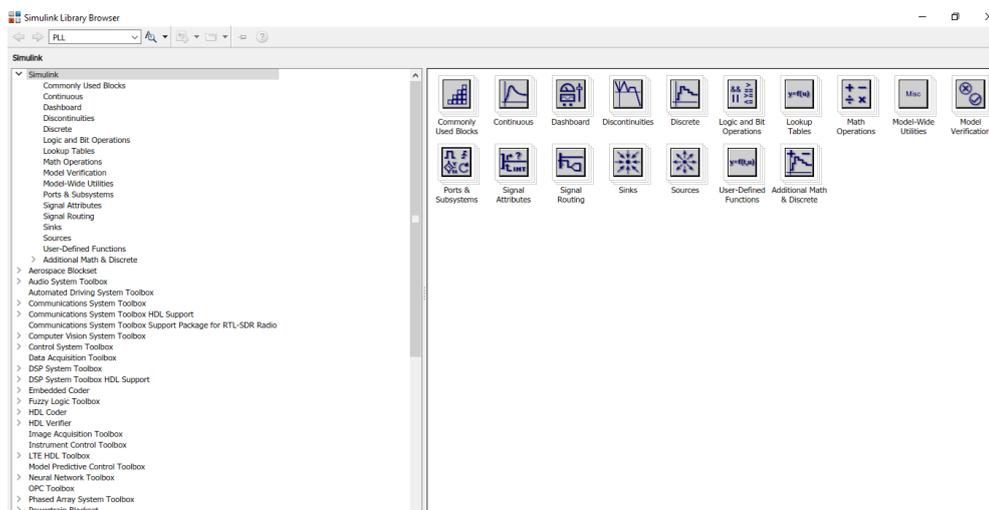


Figura. 1.21. Librería Simulink

Fuente: (propia, 2018)

En este apartado se puede ver la gran variedad de librerías que tiene definido SIMULINK es por ello que el trabajo al momento de realizar simulaciones, desarrollos nuevos u otros proyectos se simplifica en un gran porcentaje, lo que si hay que tener en cuenta es la base de conocimiento debe tener el usuario dependiendo de lo que se desea realizar o implementar.

1.6. Prácticas de laboratorio multidisciplinarias

Uno de los principales componentes para que se ha visto como limitante para el desarrollo de nuevas investigaciones, desarrollo de nuevos proyectos innovadores en las instituciones educativas, ha sido no contar con laboratorios con tecnología que se encuentran a nivel del ámbito laboral debido al alto costo que conlleva implementar estos laboratorios. Esto ha provocado que muchos de los países latinoamericanos se estancan la creación de nuevas tecnologías.

La estrategia para poder mitigar este inconveniente ha sido crear nuevos productos que sean menos costosos y simulen lo que realizan los equipos tecnológicos de un costo elevado, estos productos se han empezado a implementar en muchas de las instituciones que no cuentan con los recursos suficientes, incluso algunos de los desarrollos cumplen mejores funciones que los equipos de alto costo, de esta manera los laboratorios implementados suelen ser muy útiles para las instituciones de investigación y desarrollo.

Las prácticas de laboratorio multidisciplinarias hoy en día son muy útiles, estas

prácticas no solo permiten simular algo específico, por el contrario, con una sola práctica se pueden obtener conocimientos de varios temas al mismo tiempo. Otro factor importante con estas prácticas de laboratorio multidisciplinarias es que la implementación de los laboratorios no es costosa dado que se utilizan parte del equipamiento que tienen las instituciones, por lo cual, es muy beneficioso en todo sentido.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. El tipo de investigación

Es la investigación aplicada debido a que el proyecto consiste en realizar simulaciones en vivo, esto quiere decir que el software utilizado para la implementación del proyecto funcionará como hardware, los resultados que se muestren al finalizar el proyecto deben ser similares a los que se muestran cuando se utiliza un equipo de comunicaciones real, con ello se solventará el gran inconveniente que tienen hoy en día las instituciones que son el tema costo y adquisición de equipos.

2.2. Diseño de la investigación

La metodología utilizada en el proyecto será de tipo deductivo puesto que se aplicarán principios descubiertos en el funcionamiento elementos de las telecomunicaciones. Se utilizará el método experimental para la adaptación de todo el sistema referente al hardware y software, porque actualmente no se dispone información avanzada referente al uso de sistemas SDR. Además, se debe tomar en cuenta que al observar dicha información que se tiene y dado el tipo de implementación es también un método empírico, por lo cual resulta ser más complejo y eficaz debido al desarrollo técnico al poner en práctica todo el conocimiento adquirido hasta el momento.

Para la parte de desarrollo se utilizará el método experimental e inductivo, debido a que se deberá insertar diferentes tipos de diagramas y valores en cada bloque con la finalidad de obtener los mejores resultados. (J., 1986)

CAPÍTULO III

PROPUESTA

En el siguiente capítulo se detalla el proceso del funcionamiento de un sistema completo SDR implementado en un ordenador, se describe las configuraciones respectivas en el software para que funcionen junto con el hardware, además de la configuración del paquete de herramientas para el funcionamiento del RTL-SDR en SIMUNLINK, y las respectivas simulaciones que se detallaron en el alcance del proyecto.

El proyecto iniciará con la adquisición de un RTL-SDR, este dispositivo USB servirá de sintonizador para las prácticas que se realizarán en el ordenador, el RTL-SDR será conectado y en un computador y configurado según las instrucciones que se detallarán en los siguientes apartados.

Para la respectiva configuración del software con el hardware se requerirá de un driver específico que se requiere descargar desde internet en el caso de que se estén utilizando sistemas operativos inferiores a Windows 10. Para poder instalar el driver correcto del RTL-SDR se requerirá descargar el paquete de configuración del dispositivo.

Descargado el paquete del RTL-SDR se podrá instalar el driver a través de un software llamado Zadig, el cual se puede descargar de manera directa desde Mathworks o a su vez desde la web.

En lo que respecta al desarrollo de las prácticas se realizarán tres prácticas que permitan aplicar conocimientos sobre telecomunicaciones, instrumentación SDR y aplicación de sistemas SDR en el mundo actual, para ello se procederá a implementar a través de SIMULINK junto con el paquete de modelos y los diagramas ya definidos en algunos casos.

Finalmente se dotará de un manual de usuario para el docente y para el estudiante para que puedan aplicar los mismos al momento de realizar las prácticas respectivas, todo esto con el enfoque de que se aplique no solo en la vida estudiantil sino también en el ámbito profesional.

3.1. Diagrama de bloques del sistema

Para este proyecto se ha realizado el diagrama de bloques el cual detalla los elementos primarios del circuito y la comunicación entre ellos en la **Figura 3.1**.

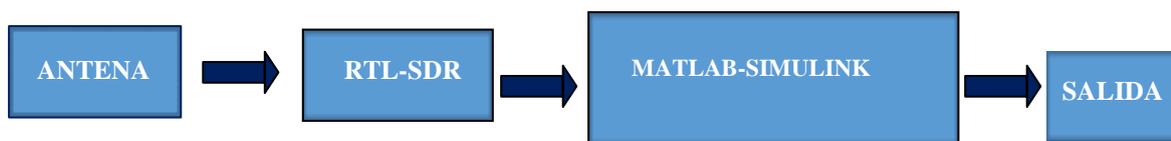


Figura. 3.1. Diagrama de bloques del sistema

Fuente: (propia, 2018)

3.2. Componentes de un sistema SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE)

3.2.1. RTL SDR

Es el componente principal del sistema SDR, dado que este componente realiza la recepción, el procesamiento y el envío de la señal inalámbrica en un formato ideal al ordenador para que ésta pueda sea procesada, adaptada o modificada según requiera el usuario, contiene los siguientes subcomponentes:

- **Antena serie la de dispositivos SDR marca Nooelec**



Figura. 3.2. Antena Dispositivo SDR Nooelec

Fuente: (Stewart B. , 2015)

En la **Figura 3.2** se puede observar la antena serie de los dispositivos SDR de Nooelec que viene en conjunto con el dispositivo RTL-SDR, esta antena será la encargada de realizar la recepción de las señal inalámbrica que viaja en el ambiente, para nuestro proyecto se utilizará esta antena, a pesar de que no tiene una calidad de recepción óptima es lo suficientemente buena para las prácticas a desarrollar en el proyecto, para obtener mejores resultados se podría realizar un cambio de antena con la finalidad de obtener mejores resultados o simplemente si se utiliza estos dispositivos RTL-SDR para proyectos con alcances mucho mayores.

3.2.2. Demodulador RTL 2832U

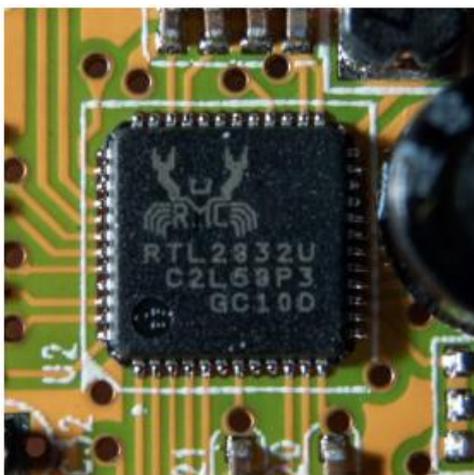


Figura. 3.3. RTL 2832U

Fuente: (Stewart B. , 2015)

De acuerdo a los detalles que indican las especificaciones técnicas este demodulador fue ensamblado por Realtek Semiconductor Corp. Esta empresa está en Taiwan y fue fundada en 1987, dedicado a la fabricación de circuitos integrados. El RTL2832U es un demodulador de la familia Realtek, específicamente es COFDM de televisión digital terrestre, con puerto USB 2.0 y DVB-T. De igual manera soporta radio para FM, DAB y DAB+. Contiene algoritmos propios y es vendida como solución para un amplio rango de aplicaciones entre estas pueden estar para PC-TV y tiene características como:

- NorDig Unified 1.0.3
- D -Book 5.0

3.2.3. EN300 744 (ETSI)



Figura. 3.4. Conector EN300 744

Fuente: (Stewart R. W., 2017)

Este elemento cumple los estándares de conexión entre los diferentes componentes que tienes el RTL-SDR, es decir la normativa establecida entre la antena y el dispositivo USB RTL-SDR ver **Figura 3.4** a continuación se muestran las características:

- Permite el uso de múltiples frecuencias IF, 4.57 MHz, 36.167 MHz, y también permite inversión de espectro.
- Incluye ISDB-T (SBTVD-T), 1-Seg (televisión japonesa en dispositivos móviles). Soporta también entrada de Zero -IF.
- Cristal de muy bajo coste que permite la generación de la señal de reloj.
- Detección de intervalos de guarda Modo de transmisión automático además de detección de intervalos de guarda.
- Tiene un circuito de cancelación para ruido de impulsos.
- Recuperación de portadora de manera automática con rango amplio de offset (+- 800 kHz).
- Rendimiento superior al usar pre/post/long echo perfil. Contiene un circuito de rechazo para la interferencia cocanal y también para la interferencia adyacente.
- Permite el retraso AGC junto a Take- Over Point (TOP) programable. Tiene un CAD de 7 bits para realizar la medición de niveles de señales de radiofrecuencia.
- Filtros hardware para MPEG-2 PID.
- Para realizar el control remoto y "wake up" del puerto infrarrojo tolera los protocolos:
 1. Microsoft RC6.
 2. SIRC, RC-5, NEC y Sony.
- Tiene Ocho puertos para propósito general ya sea de entrada o salida.
- Interfaz USB 2.0:
 1. Soporta USB Full/High speed.
 2. Información del proveedor configurable vía EEPROM externa
 3. Supera certificación USB-IF.

- Funciona con una alimentación eléctrica externa de 3.3 V.
- Empaquetado verde de QFN con 48 pines (6x6mm²).

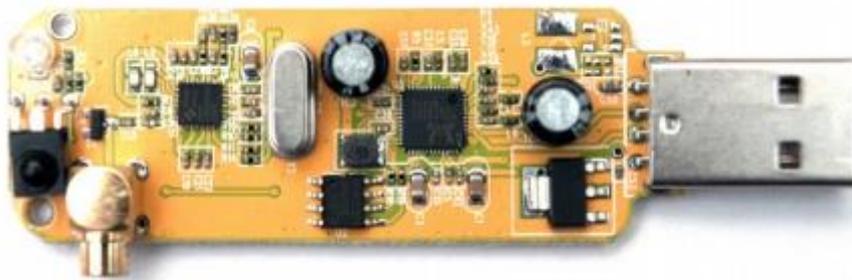


Figura. 3.5. Componentes internos de un receptor RTL-SDR

Fuente: (Stewart B., 2015)

3.2.4. R820 Tuner

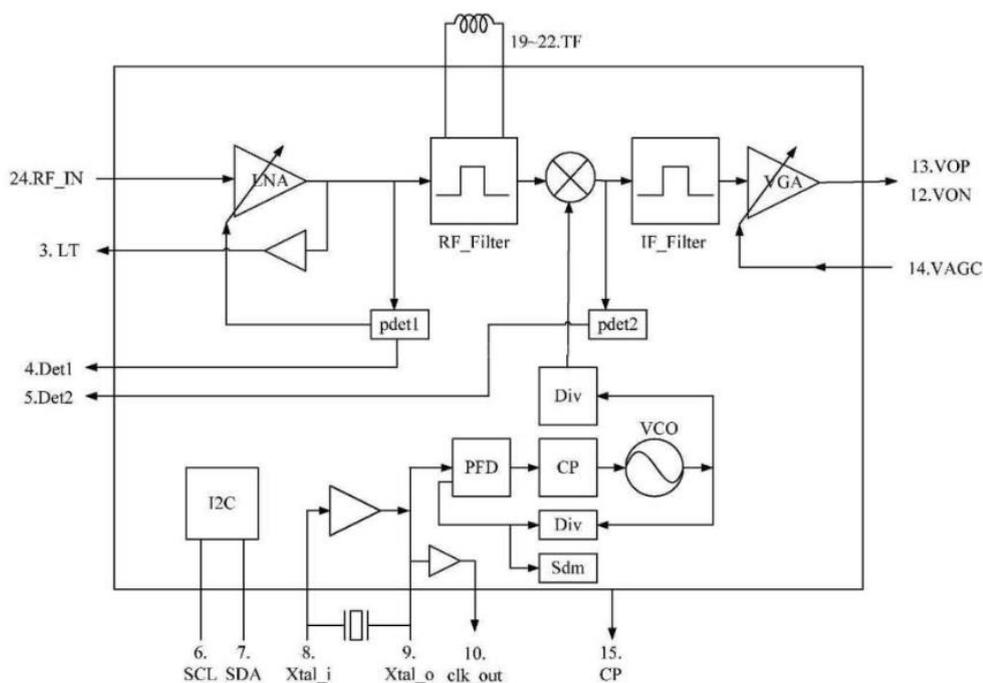


Figura. 3.6. Diagrama de bloques R820

Fuente: (Kadman, 2013)

De la empresa Rafael Micro, Rafael Microelectronics, Inc, una empresa creada en 2006 especializada en sintonizadores híbridos de silicio (hybrid silicon tuner). Este sintonizador de TV digital, DVB-T, de silicio de Rafael Micro. En el mercado se encuentran diversos sintonizadores y hasta hace poco el principal era el E4000 de Elonics, pero su mayor coste y menor estabilidad han hecho que vaya perdiendo mercado. Las principales características de R820T son las siguientes: (Gonzalez, 2014, p. 13)

- Soporta estándares de televisión digital: DVB-T, DTMB, ISDB-T y ATSC.

Cumple con las siguientes especificaciones:

- EN 300 744.
 - Nordig 2.2.
 - D-BOOK 7.0.
 - ARIB B21.
 - ABNT 15604.
 - ATSC A74.
 - GB20600-2006.
 - EN-55020.
 - EN55013.
 - FCC.
- Consumo de corriente menor a 190 mA y requiere 3,3 V.
 - Viene en formato para montaje superficial: 24-pin 4x4 QFN y lead-free package.
 - Con interfaz 2-wired característica I2C.

3.2.5. Ordenador



Figura. 3.7. Ordenador

Fuente: (propia, 2018)

Otro componente realmente importante de un conjunto o sistema SDR es el repositorio o el lugar en el cual va a estar alojado el software que va a permitir la manipulación de la señal que ingresa a través de la antena del TRL-SDR y sale por el conector USB del mismo, el componente que se va a utilizar para el desarrollo del proyecto es una computadora, para que se pueda instalar el software este equipo debe cumplir unas

especificaciones mínimas los cuales se detallan a continuación:

- Procesador Core I5, desde cuarta generación en adelante.
- Procesador velocidad de procesamiento 2.1 Ghz o mejor
- Memoria RAM 4 Gb o mejor
- Sistema operativo del equipo Windows 7 en adelante, se recomienda trabajar con un sistema operativo en Linux dado que tiene mayores funcionalidades al momento de desarrollar proyectos grandes cuando se utiliza programas como MATLAB-SIMULINK.

3.2.6. Matlab-Simulink

El mundo de Radio Definido por Software se basa principalmente en procesar la señal en un software, ya sea este captado a travez de un receptor o también a través de generación de señales. A medida que los años han pasado y la tecnología avanza se han ido creando muchas aplicaciones que permitan el procesamiento de señales de acuerdo al uso o requerimiento de los diferentes usuarios, las principales aplicaciones que se utilizan hoy en día son las siguientes:

- GNU Radio.
- MATLAB-SIMULINK
- SDR SHARP.
- ZEUS.

Para desarrollar el proyecto se va a utilizar MATLAB-SIMULINK, se realizó una investigación de cuál es el mejor software que tenga gran compatibilidad con el RTL-SDR y se determinó que este programa es ideal para que pueda trabajar en conjunto con el dispositivo.

Matlab-Simulink es desarrallado por MathWork desde 1984 y ha presentado una gran variedad de versiones hasta hoy en día, en el siguiente cuadro se detallan las características de la versión a utilizar:

Tabla. 3.1. Características de Matlab 2017b

Nombre	Características
Matlab 9.3 R2017b	Presenta estabilidad en las simulaciones
	Soporta el paquete de instalación de herramientas para sistemas SDR
	Interfaz de Simulink amigable para el usuario
	Paquetes de instalación compatibles con nuevas versiones

Para este proyecto se va a utilizar la versión licenciada, que se desarrolló en el año 2017b la versión de Matlab 9.3 R2017b, se recomienda utilizar las versiones que se desarrollaron a partir de este año dado que los mismos ya se encuentran estables y son las versiones que vienen con casi todas las funcionalidades y mejoras que se van ejecutando cada año por parte de Mathworks.

3.3. Análisis de costos para desarrollar el proyecto

En el análisis de costo del proyecto es necesario tomar en cuenta los objetivos específicos planteados, ya que servirán de base para investigar los elementos que sean necesarios para el proyecto, se busca como primer paso las características y funciones requeridas, con el fin de examinar en el mercado las diferentes opciones que presenten las mismas especificaciones, el valor económico más adecuado y sobre todo la disponibilidad de los productos en el país

3.3.1. Presupuesto del proyecto

Cuando se determinen los productos que se van a utilizar para la implementación de todo el proyecto, se realiza el presupuesto del proyecto total, esto implica costos de adquisición total para la adquisición del sistema SDR. En la **Tabla 3.2** se presenta el presupuesto total del proyecto.

Tabla. 3.2. Presupuesto total del proyecto

Presupuesto Total del Proyecto				
Nombre	Especificación	Cantidad	Valor Unitario(\$)	Valor Total(\$)
RTL-SDR	RTL2832U	1	30	30
Importación	Coste de Importación desde USA	1	30	30
Licencia	Matlab	1	55	55
Total presupuesto				115

3.4. Análisis de tiempo

En el análisis de tiempo se realiza una descripción del cronograma realizado durante las etapas que comprenden el desarrollo completo del proyecto, en la primera etapa se identifica el tipo de software a utilizar y de acuerdo a ello se procede a comprar el hardware que permita la compatibilidad en conjunto con el software, para ello se buscó en el mercado de nuevas tecnologías y soluciones de sistemas SDR y los principales software que existen en la actualidad; otro factor importante es verificar si el hardware que se va a adquirir se encuentra disponible en el país de lo contrario se puede recurrir a la opción de importación del producto, al finalizar el análisis en temas de costo beneficios se procedió a realizar la importación de un dispositivo que permita funcionar con Matlab-Simlink.

La siguiente etapa está dedicada a realizar los diseños de simulación mediante el programa MATLAB SIMULINK con esto se pretende realizar simulaciones con diagramas de bloques que permitan realizar funciones de filtros o lectores de frecuencias para que puedan ser simuladas en conjunto con el hardware, todo el proceso se realizó en 98 días empezando el 28 de abril concluyendo el 19 de junio del año 2018.

La etapa de implementación consistió en la adquisición del dispositivo RTL-SDR y en el ensamblado completo del sistema SDR, se realizó la modificación de los algoritmos de las diferentes simulaciones, la estructura de las prácticas el desarrollo de los mismos y la creación de un receptor FM, para verificar el funcionamiento completo de este tipo de sistemas. Todo esto llevó una duración de 53 días, tomando en cuenta que se inicia el 20 de junio del 2018 y culmina el 30 de agosto del 2018.

Las etapas finales corresponden a las pruebas de funcionamiento, validación de las prácticas y el desarrollo de la parte escrita junto con los manuales de usuario que servirán para el uso del sistema. Esta etapa se culmina en 52 días. En los anexos se detalla el cronograma de actividades completo.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN

En el último capítulo del proyecto de grado se presenta un detalle completo del desarrollo, configuración e implementación de todo el proyecto, para lo cual se ha dividido el mismo en dos secciones estos son: en el desarrollo y la implementación de la aplicación del sistema SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE), empezando por el estudio de posibles prototipos que podría servir para las prácticas de laboratorio y en caso de no existir, desarrollar uno o incluso modificar los algoritmos de programación o también modificar los diagramas de bloques de acuerdo a nuestra necesidad, con la finalidad de cumplir todos los objetivos propuestos al inicio del proyecto, posterior a ello se realizará la preparación del software de acuerdo a lo que se requiere en las prácticas, es decir que se irán instalando paquetes de software que permitan la ejecución de todas las prácticas sin ningún tipo de inconveniente. Finalmente se implementará el software en una máquina u ordenador personal y en un equipo de la Universidad Israel para que lo puedan utilizar tanto los estudiantes como los docentes de la misma, el producto final será las instalaciones con los algoritmos o diagramas ejecutándose tanto en la máquina personal como en un ordenador de la Universidad y sus respectivos manuales de uso para las prácticas multidisciplinarias en el ámbito de las telecomunicaciones.

4.1. Instalación del software Matlab Simulink

Para el correcto desarrollo de todas las prácticas y el funcionamiento óptimo del hardware a utilizar, es decir la compatibilidad del Matlab-Simulink con el RTL 2832U se va a utilizar el Matlab-Simulink 2017b dado a sus características y los paquetes de instalación que éste tiene es óptimo para lo planteado en los objetivos del proyecto, es muy importante verificar que funciones ofrece cada versión de Matlab debido a que si se adquiere un hardware para hacer que trabaje en conjunto con el programa y éste no tiene la capacidad o los parches correctos para que funcionen ambos, no se podrá realizar ningún tipo de adaptación al Matlab y quedará obsoleto para cualquier uso, otro punto importante que hay que tomar en cuenta es que el programa es licenciado y se debe adquirir una licencia en caso de que éste vaya a ser instalado en una empresa

o para trabajos profesionales, en este caso se utilizará una versión de prueba adquirida para fines de estudio, una de las grandes ventajas de tener licenciamiento es que Matlab Mathworks dan soporte de manera personalizada a sus clientes para apoyar en nuevos proyectos ya sea de implementación o investigación.

Adicional al programa debemos tener una cuenta en Mathworks, no solo por la gran ventaja que éste representa ya que podemos incluirnos en los foros de la página en la cual se aprenden cosas realmente inimaginales, sino también por el hecho de que esta cuenta nos va a servir para una posterior descarga de los parches y el paquete de herramientas de Simulink para desarrollar las prácticas.

Otro componente esencial es el tipo o versión del sistema operativo en el cual se va a trabajar, en las versiones anteriores al Windows 10, todo los ejecutables incluidos los parches se debe poner en la configuración el modo de compatibilidad en la versión más reciente del sistema operativo, ejemplo: si se trabaja con Windows 7, poner en modo de compatibilidad Windows 7, esto debido a que si no se configura las propiedades del ejecutable se darán una serie de errores de ejecución al poner en funcionamiento las instalaciones de los parches.

En la página de Mathworks se puede encontrar las noticias de las versiones y los componentes o parches nuevos que realizan los científicos y desarrolladores de Matlab, además de que se puede participar de foros e ingresar a videos de aprendizaje para las configuraciones y puesta en marcha de los proyectos. La **Figura 4.1** presenta la página de Mathworks, y algo de todo lo que tiene esta página.



Figura. 4.1. Página de inicio de Mathworks.

Fuente: (propia, 2018)

Una vez realizado el detalle del programa y algunas observaciones que se pueden presentar al momento de instalar y poner en marcha las prácticas, se inicia la implementación real de todo el sistema y se detalla paso a paso para evitar errores por parte de los usuarios que van a guiarse en esta documentación para el desarrollo de sus proyectos. En cuanto a la instalación del programa no se realiza el detalle de la misma dado que es una instalación típica como cualquier otro programa para ordenadores, son conocimientos muy básicos que una persona que trabaja en el ámbito de la tecnología debe saber.

4.2. Configuración del RTL-SDR en Matlab-Simulink

Una vez que se tiene instalado el Matlab-Simulink en un ordenador se procede a realizar la configuración del mismo, para esto debemos tener listo nuestra cuenta en Mathworks y una buena conexión a internet ya que todo el proceso de configuración depende de descargas de archivos.

En primer lugar, se debe realizar la configuración del RTL-SDR para ello se detalla a continuación todos los procedimientos a realizarse, es importante seguir todos los pasos detallados, dado que la omisión de alguno puede terminar en un error del programa, o inclusive en el daño del hardware por la mala instalación de los controladores.

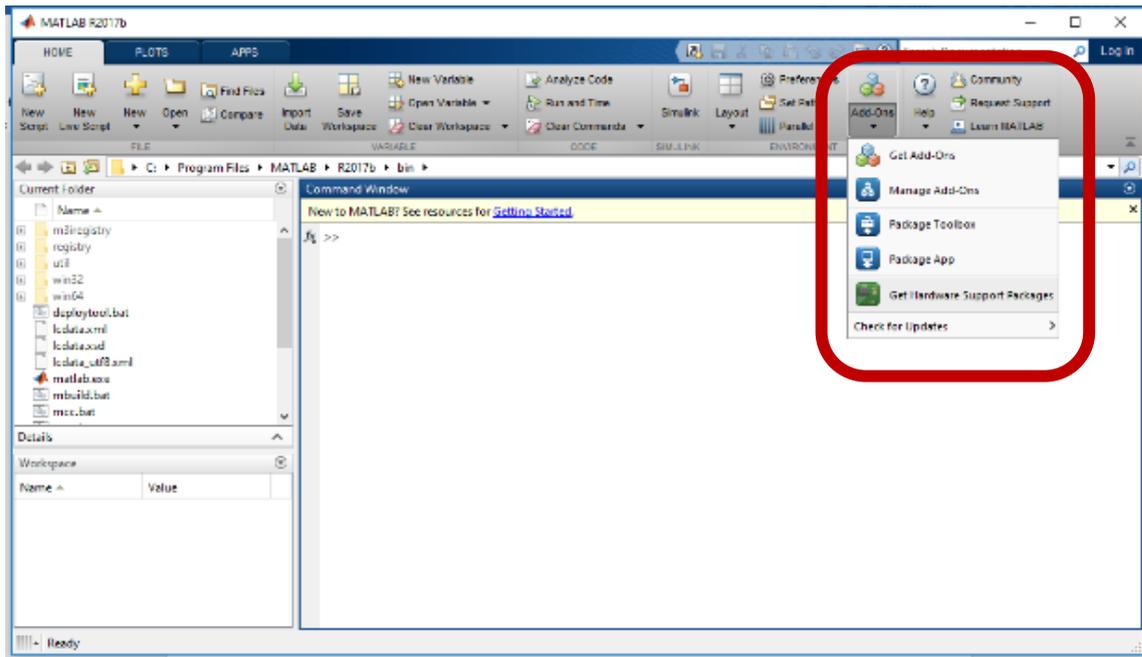


Figura. 4.2. Configuración escenario Matlab-Simulink

Fuente: (propia, 2018)

Con el programa ejecutándose nos dirigimos a la cinta de opciones la sección de *HOME*, en ella buscamos el ícono que dice *ADD-ONS*, selecciona este ícono y desplazará un conjunto de opciones, cada ícono tiene una función diferente para la configuración del hardware seleccionar la opción que dice *GET HARDWARE SUPPORT PACKAGES*, esta opción permitirá el acceso a la página de Matworks y descargar todos los paquetes y herramientas de simulación que se desea para realizar los diferente proyectos.

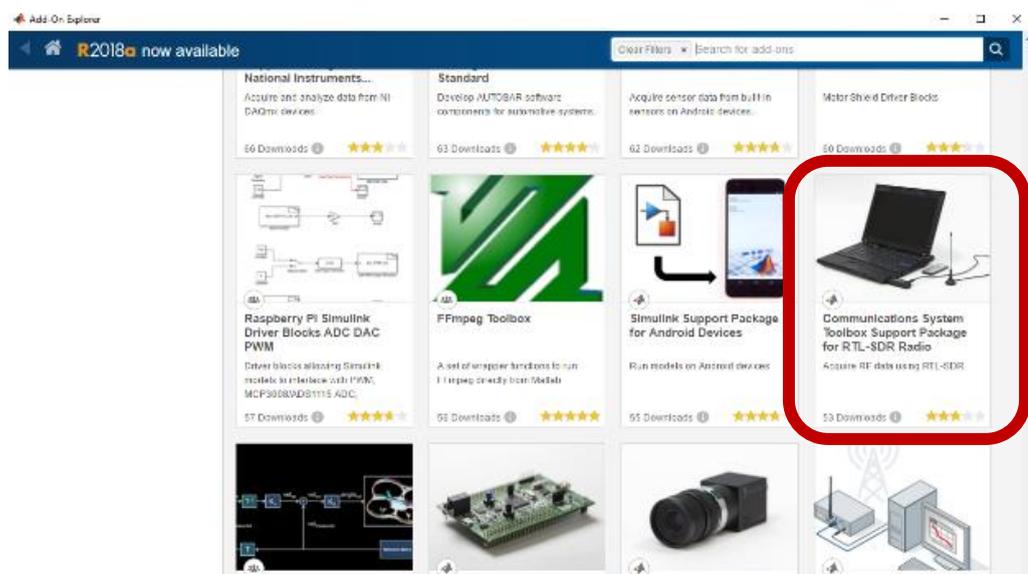


Figura. 4.3. Página de descarga de paquetes para Matlab-Simulink

Fuente: (propia, 2018)

Posterior a haber seleccionado la opción de descarga de paquetes este automáticamente abrirá una página perteneciente a Mathworks, dentro de esta ventana hay un sinnúmero de paquetes que permiten utilizar el Matlab-Simulink de multiples formas, para este proyecto se utilizó el paquete para el RTL-SDR denominado *COMMUNICATIONS SYSTEM TOOLBOX SUPPORT PACKAGE FOR RTL-SDR RADIO*, en la **Figura 4.3** se puede ver algunos de los paquetes que se pueden instalar, para este caso se encuentra dentro del recuadro rojo.

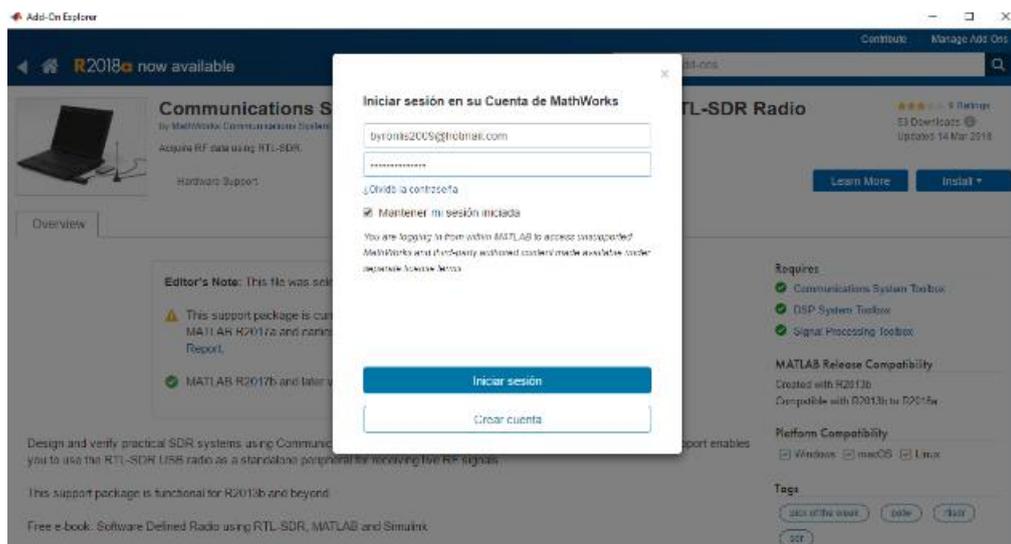


Figura. 4.4. Acceso a cuenta de Mathworks

Fuente: (propia, 2018)

A continuación, nos solicitará una cuenta de ingreso para poder descargar el paquete de herramientas, para ello debemos tener registrado una cuenta en Mathworks con las credenciales respectivas, en este caso se creó una cuenta de estudiante para la descarga de los paquetes necesarios para el desarrollo de las prácticas.

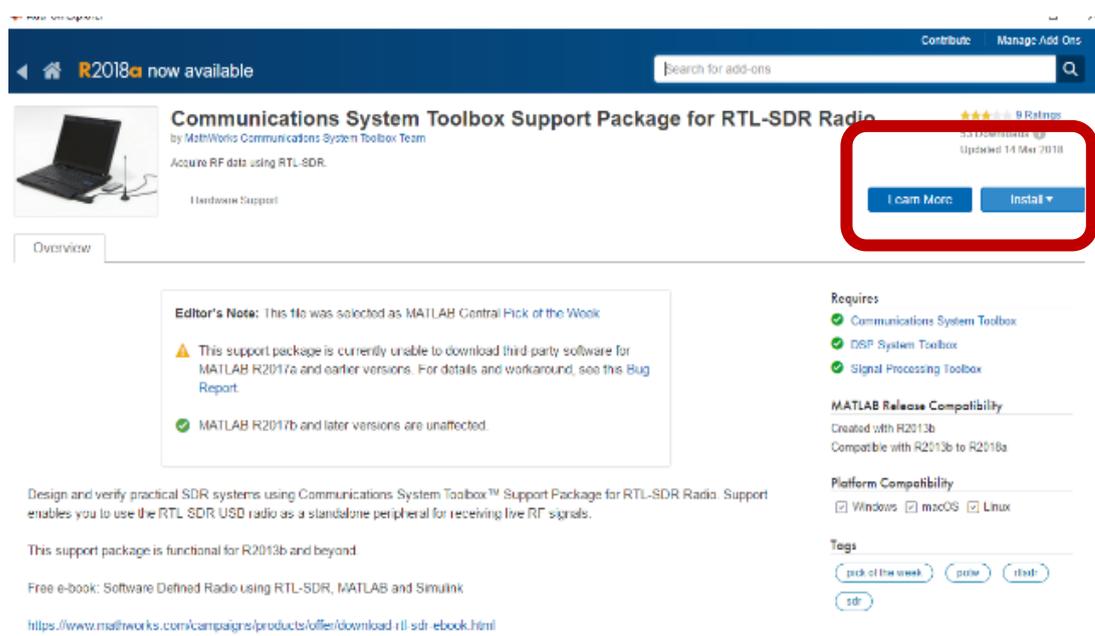


Figura. 4.5. Instalación de paquete de herramientas RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

Al ingresar el usuario y contraseña respectivos de manera correcta, se habilitará la sección de continuar con la instalación, tal cual se observa en la **Figura 4.5**, con esto podemos continuar avanzando la configuración del paquete de herramientas para el uso del RTL-SDR, en Matlab, presionamos la opción instalar para continuar con la configuración.

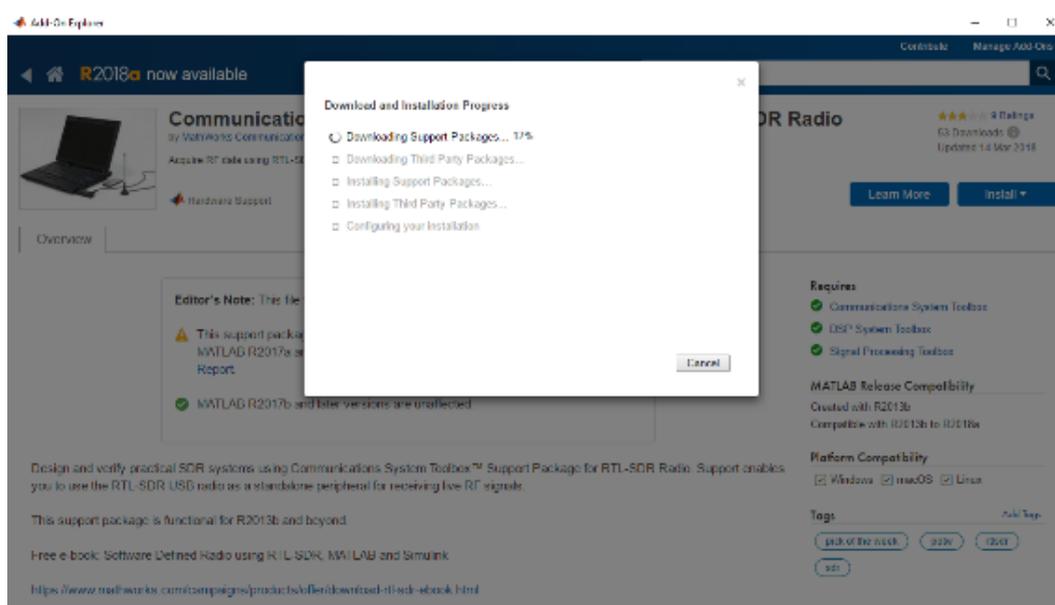


Figura. 4.6. Descarga de paquetes de herramientas para RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

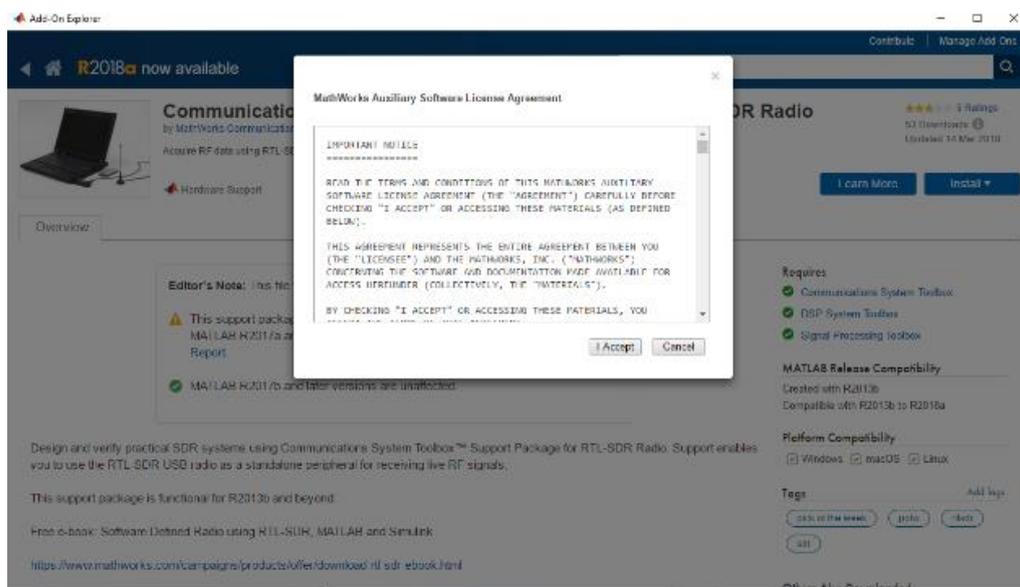


Figura. 4.7. Términos y contratos de uso del paquete de herramientas.

Fuente: (propia, 2018)

En la **figura 4.6** y **figura 4.7** se puede observar el procedimiento que hay que seguir paso a paso hasta llegar a la etapa de descarga de archivos, si se realizan todos los pasos indicados no habrá ningún tipo de error al llegar a la etapa final de la configuración, si en cualquier situación se presenta algún inconveniente es recomendable volver a realizar todo el procedimiento que se indica a partir de la **Figura 4.8**.

En la **figura 4.7** se muestra la finalización de la descarga de los archivos correspondientes al paquete de herramientas requeridas para la configuración del RTL-SDR, hay que cerciorarse de que todos los paquetes se descarguen de manera correcta y sobre todo que la instalación se realice por completo, tal cual indica en la figura mencionada, todos con una figura de visto verde y al 100%. Si alguno de ellos no cumple el proceso completo de descarga e instalación como indica en la figura anterior, se requieren realizar todos los pasos de configuración debido a que un error de configuración u omisión de errores de descarga o instalación pueden generar errores de ejecución en el Matlab o la emisión de parámetros incorrectos de medición al momento de ver los valores receptados por el RTL.SDR.

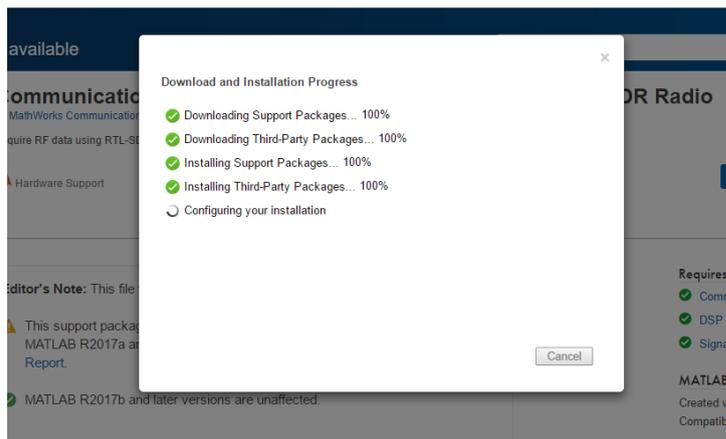


Figura. 4.8. Descarga completa del paquete de herramientas.

Fuente: (propia, 2018)

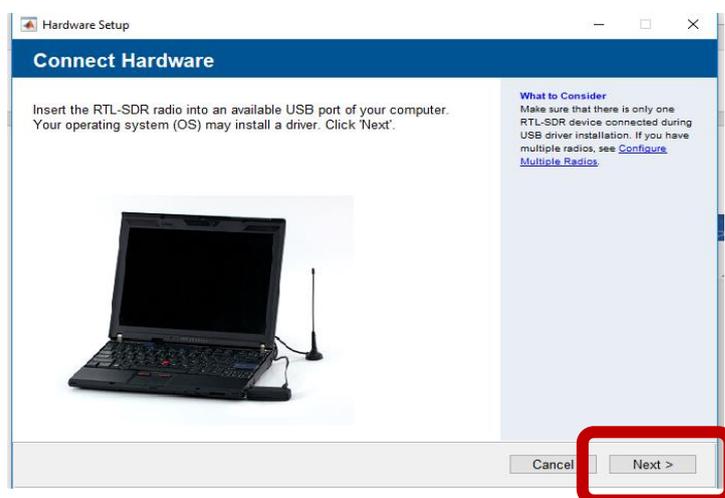


Figura. 4.9. Inicio de configuración de dispositivo RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

Culminado el proceso de descarga e instalación del paquete de herramientas, se procede a realizar la descarga de controladores, configuración del RTL-SDR y verificación del funcionamiento del mismo tal cual se indica en la imagen anterior y en las imágenes posteriores.

Culminado la descarga e instalación aparecerá la imagen indicada en la **figura 4.8**, en ella procedemos a conectar un RTL-SDR, indistinto el modelo del mismo debemos tomar en cuenta que el dispositivo debe ser USB de otro modo el ordenador no reconocerá al RTL-SDR, una vez realizado la conexión del hardware al ordenador dar clic en Next

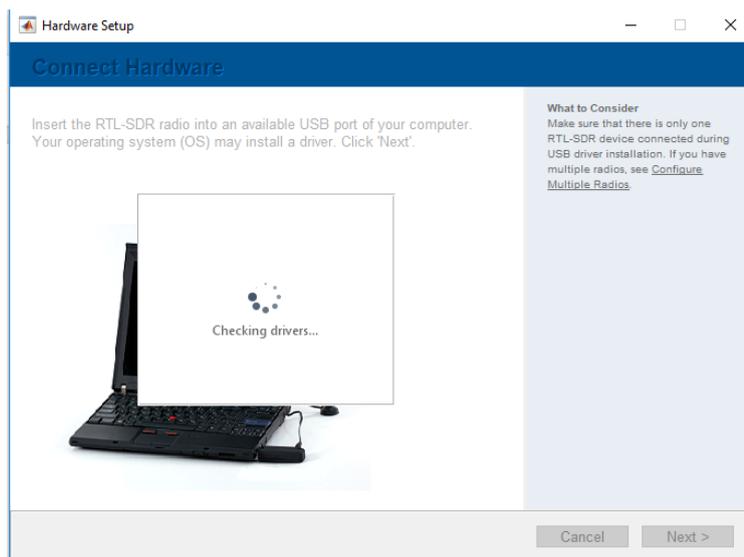


Figura. 4.10. Búsqueda de dispositivo RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

Al dar clic en Next como se indicó en la **Figura 4.9**, se obtendrá la ventana de la **Figura 4.10**, es la ventana que indica que el ordenador está buscando actualmente el hardware conectado y seguirá en ese proceso hasta encontrar el dispositivo conectado, si no reconoce automáticamente el dispositivo conectado se recomienda realizar nuevamente el procedimiento de reconocimiento del dispositivo y la conexión del RTL-SDR pero en otro puerto para descartar que el puerto de conexión se encuentre obsoleto.

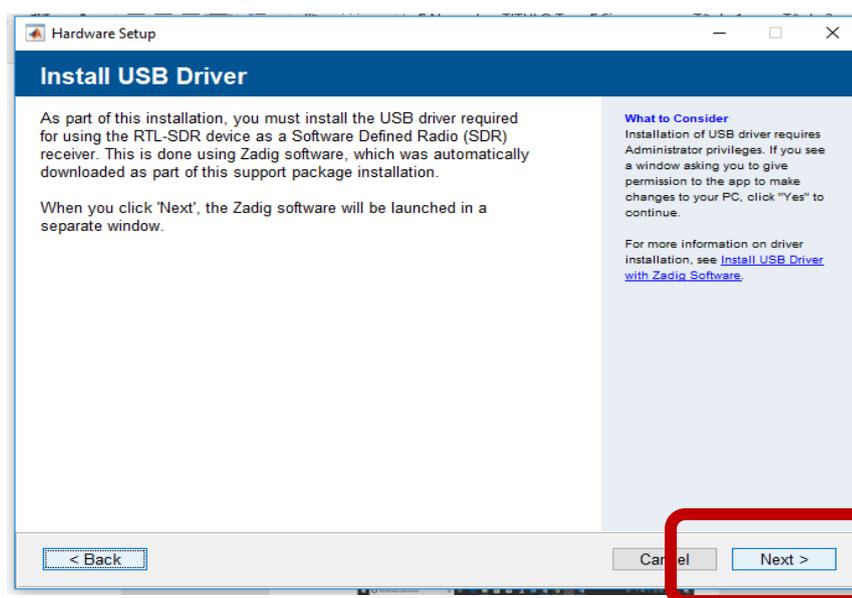


Figura. 4.11. Inicio de instalación de driver de RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

Si todo el proceso se encuentra ejecutado de manera correcta se obtendrá la

imagen de la **Figura 4.11**, presionar en el botón Next de la ventana y continúe la configuración del dispositivo.

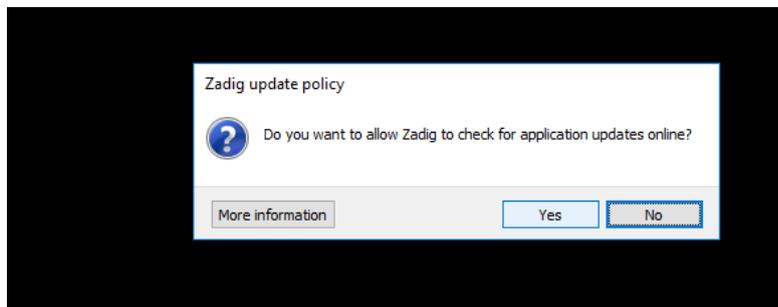


Figura. 4.12. Ejecución automática del programa Zadig.

Fuente: (propia, 2018)

Al presionar Next se obtendrá la ventana de la **Figura 4.12**, en ella se indica una ventana negra que es un indicador de que la instalación va de manera correcta, adicional aparecerá otra ventana más pequeña que permite escoger la opción de se desea o no ejecutar el programa Zadig, la ventana de política de Zadig en caso de aceptar permitirá escoger el controlador que se desea instalar, en este caso escoger la opción Yes para continuar con la configuración del dispositivo.

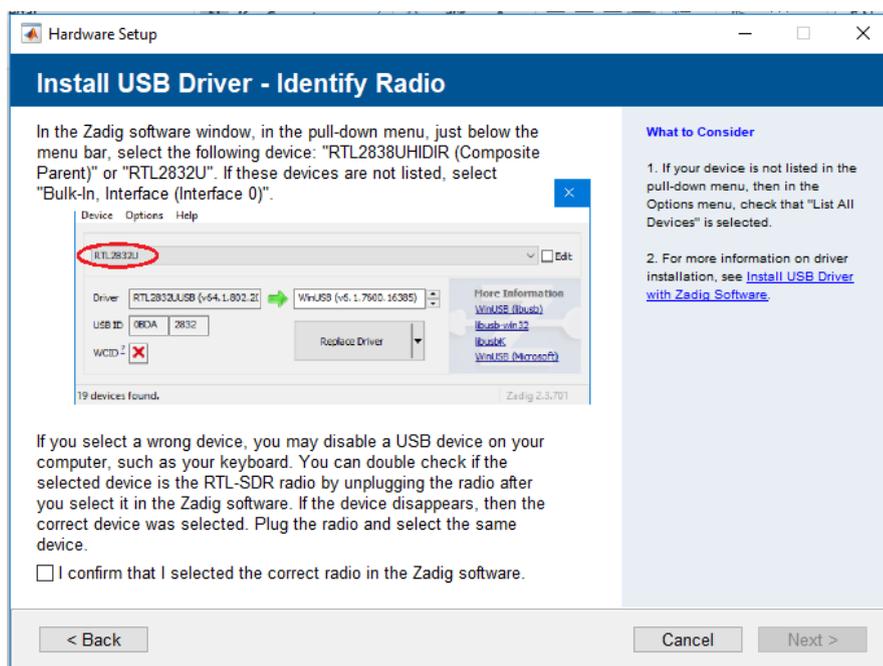


Figura. 4.13. Ventana de instructivo de instalación de controlador.

Fuente: (propia, 2018)

Al aceptar ejecutar el programa Zadig, automáticamente el ordenador abrirá la imagen de configuración e instalación del controlador, esta ventana viene con indicaciones para poder configurar de manera correcta el dispositivo, dar clic en “ I

confirm that I selected the correct radio in the Zadig software”. Y presionar Next.

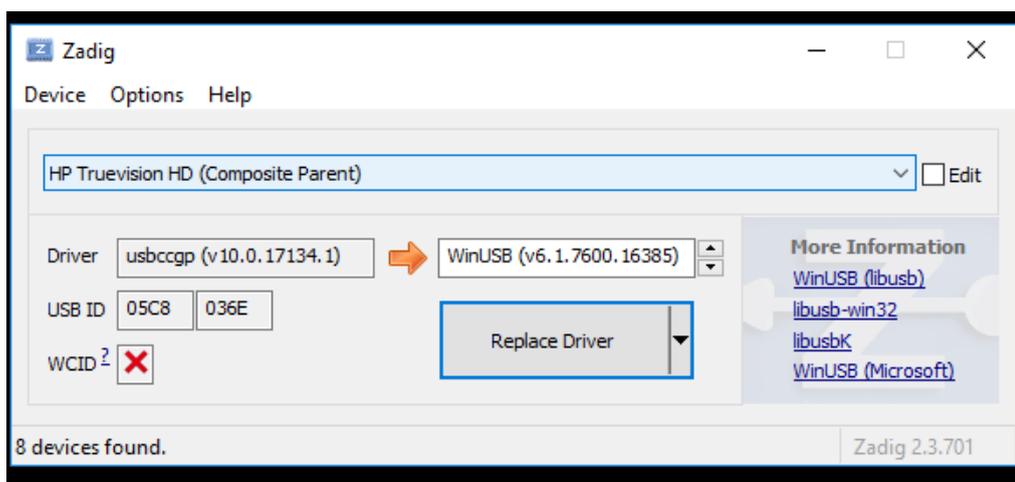


Figura. 4.14. Reconocimiento de controlador en programa Zadig.

Fuente: (propia, 2018)

Cuando presiona Next, se abre la ventana del programa Zadig, tal cual indica la **Figura 4.14**, por default se encuentra seleccionado un dispositivo, en algunos casos por defecto reconoce el RTL-SDR, sin embargo eso no ocurre en la mayoría de casos por lo que requiere un paso adicional para poder instalar el driver o controlador del dispositivo en el ordenador.

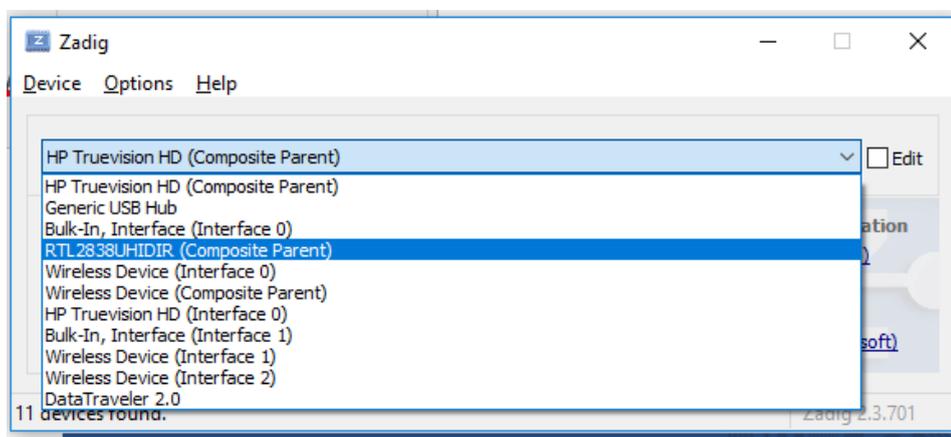


Figura. 4.15. Búsqueda de controlador en programa Zadig.

Fuente: (propia, 2018)

Como se detalló antes, para culminar el proceso de instalación del controlador del RTL-SDR en algunos casos requiere un paso adicional en otros no, este consiste en buscar y seleccionar el dispositivo, de acuerdo al modelo del RTL-SDR adquirido, irán apareciendo diferentes modelos en la ventana, para este proyecto el modelo que aparece es el RTL2838, posterior a encontrar el driver del dispositivo proceda a instalar el mismo con dando clic en el botón replace driver.

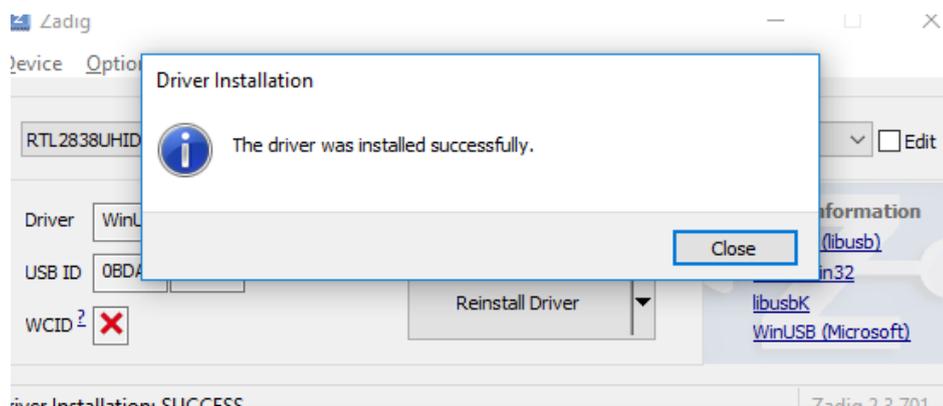


Figura. 4.16. Ventana de aviso de culminación de controlador de manera correcta.

Fuente: (propia, 2018)

Si todo el proceso de instalación y configuración del RTL-SDR fue correcto el Zadig debe emitir el mensaje de la **Figura 4.16**, caso contrario se recomienda realizar todo el proceso de configuración nuevamente.

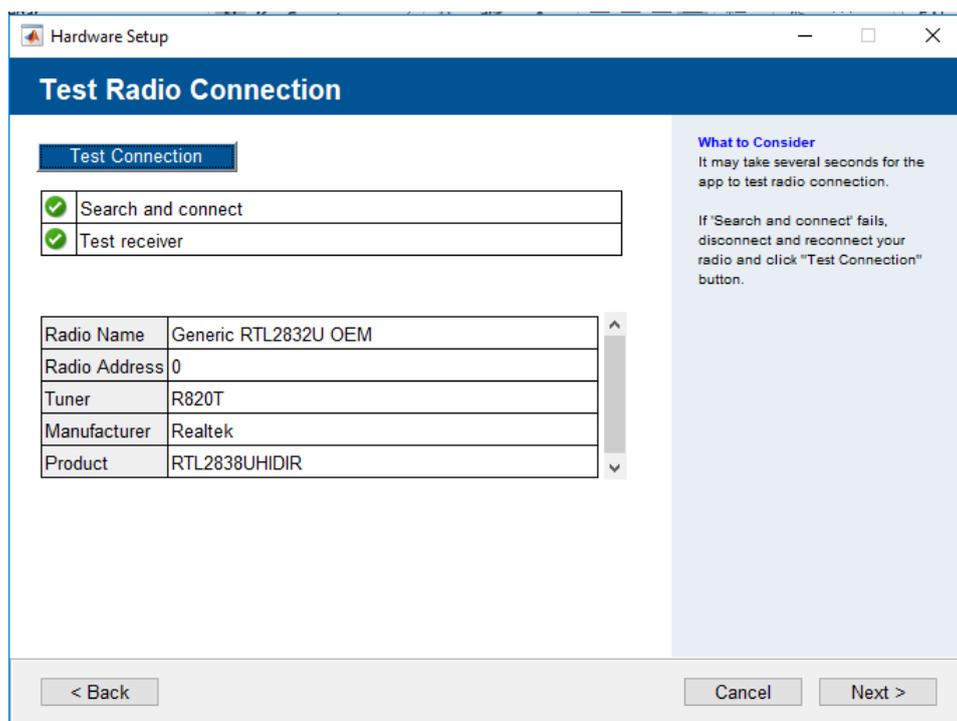


Figura. 4.17 . Prueba de conectividad de RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

Finalmente aparecerá una última ventana de verificación, esta etapa es muy importante dado que si las pruebas de funcionamiento no son exitosas se puede proceder a realizar lo siguiente:

- Cambiar de puerto al dispositivo en el ordenador.

- Verificar el estado físico del puerto de conexión del RTL-SDR.
- Reinstalar el driver del dispositivo con el Zadig.

Si al realizar todos los pasos mencionados anteriormente, las pruebas aún siguen fallando proceda a reinstalar el programa Matlab incluido los paquetes de configuración del RTL-SDR.

4.3. Configuración de paquete de herramientas RTLSDR en Matlab-Simulink

En esta sección se procede a detallar la preparación del software Matlab-Simulink para que pueda ser utilizada junto con el RTL-SDR, todo este procedimiento se lo puede encontrar en la página de Matlab y del fabricante del dispositivo RTL-SDR. En este trabajo se indican los puntos más importantes de configuración, con la finalidad de hacer comprensible todo el proceso de preparación del software. Las configuraciones pueden cambiar dependiendo del país, el sistema operativo, y la versión de la misma, Todos los procesos de configuración descritos en este proyecto son para sistemas operativos de la familia Windows.

El primer paso para empezar a configurar es tener descargado el paquete o parche en el cual contenga todas las herramientas de trabajo del RTL-SDR con Matlab-Simulink, este parche (carpeta completa junto con todos los archivos) lo debemos colocar en la dirección en la cual se encuentra instalada el programa Matlab-Simulink y proceder a realizar todos lo detallado a continuación.

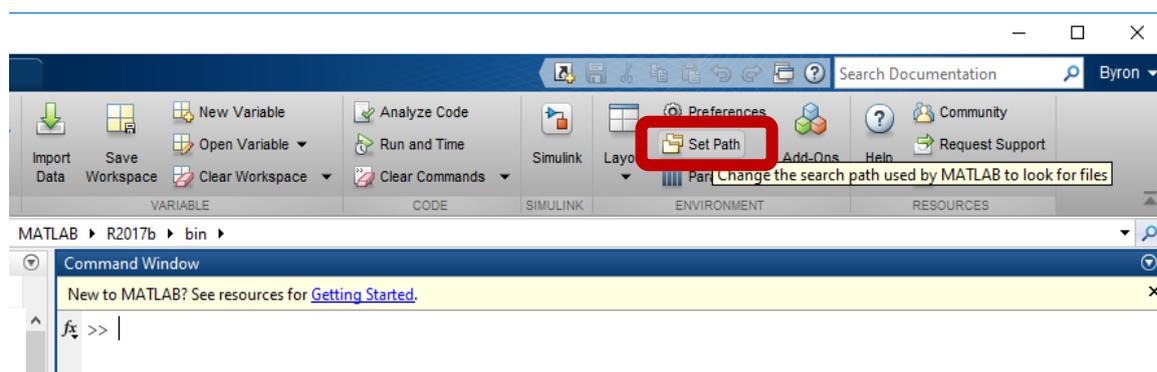


Figura. 4.18. Selección de ícono para agregar carpetas de ejecución.

Fuente: (propia, 2018)

En la cinta de opciones del programa dirigirse a la opción de Seth Path, esta opción permite agregar un conjunto de paquetes nuevos que pueden trabajar con Matlab-Simulink, en la página de Matworks se puede encontrar a mayor detalle los

diferentes paquetes adicionales a nivel de software y hardware y se puede descargar y configurar de acuerdo a las necesidades del usuario con este botón.

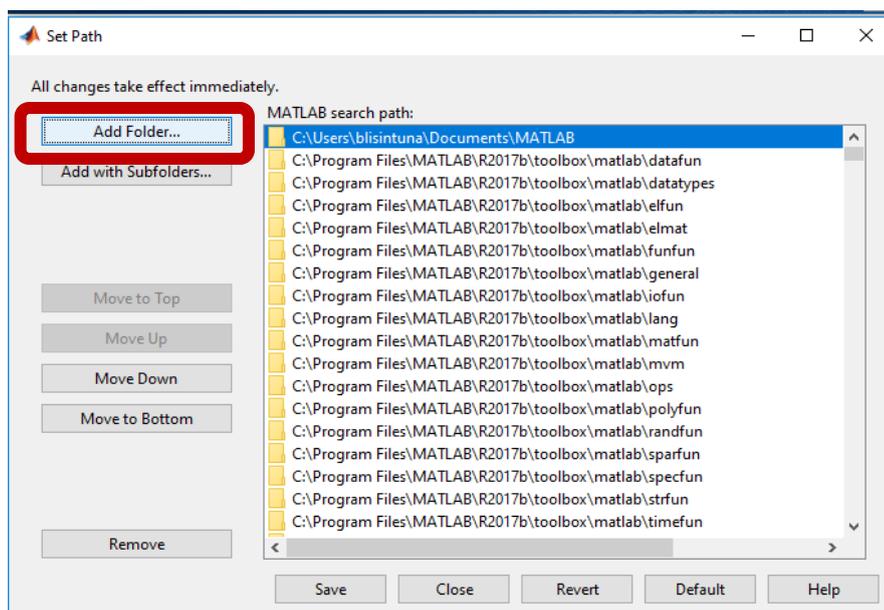


Figura. 4.19. Selección de carpeta para agregar a software

Fuente: (propia, 2018)

Al dar clic en el botón Set Path aparecerá la ventana como muestra la **Figura 4.19**, dentro de esa ventana se puede observar todas las carpetas que se encuentran en uso para la ejecución del programa, adicional tenemos otras opciones a lado izquierdo de la ventana, para agregar un nuevo conjunto de herramientas dar clic en Add Folder, es muy importante colocar el paquete de herramientas en la carpeta donde se encuentra instalado el ejecutable del programa de otro modo se generan errores al momento de ejecutar los trabajos realizados con el paquete de herramientas.

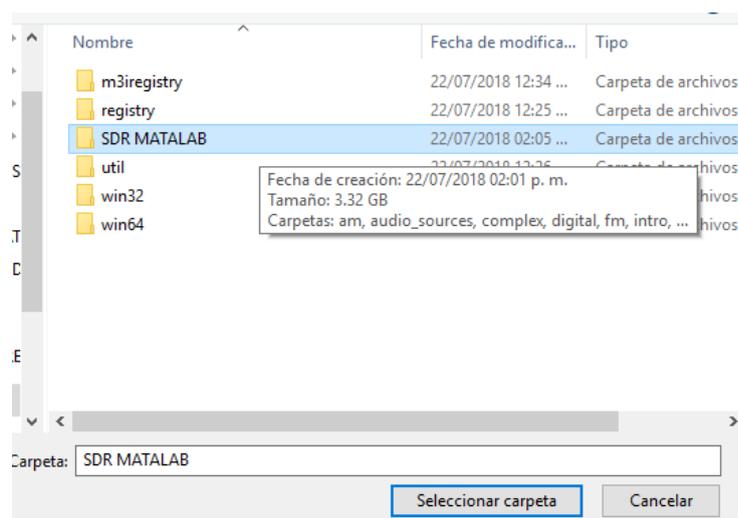


Figura. 4.20. Selección de carpeta deseada

Fuente: (propia, 2018)

Posterior a dar clic en Add Folder, hay que buscar la ubicación del paquete de herramientas, se recomienda poner un nombre que sea fácil de reconocer e indentificar del resto de carpetas propias del programa si se desea eliminar la misma y evitar daños al programa o confusión al ejecutar del programa.

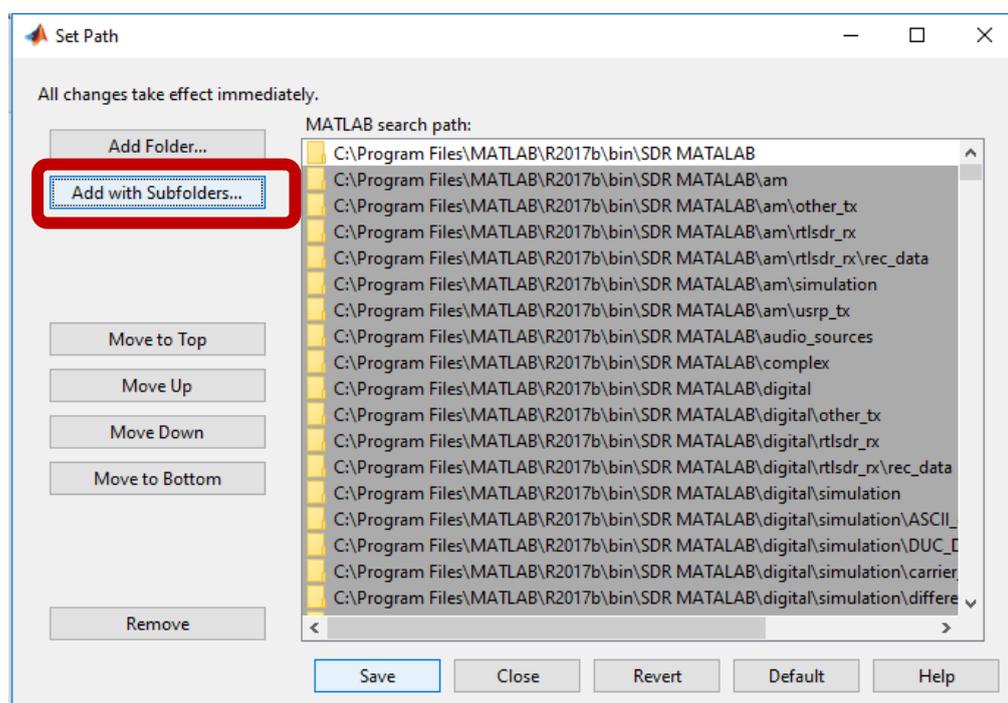


Figura. 4.21. Selección de subcarpetas insertadas al Matlab.

Fuente: (propia, 2018)

Una vez seleccionado la carpeta automáticamente aparecerá en la ventana donde se pueden eliminar y agregar nuevas carpetas, debe obtener una ventana similar a la **Figura 4.21**, posterior a verificar que se encuentra la carpeta con las herramientas damos clic en la

opción Add with Subfolder, es muy importante seleccionar esta opción ya que el paquete de herramientas contiene una serie de subcarpetas, de otro modo no le será posible al programa reconocer todos los componentes que se encuentran en ella, finalmente dar clic en Save y automáticamente se cerrará la ventana.

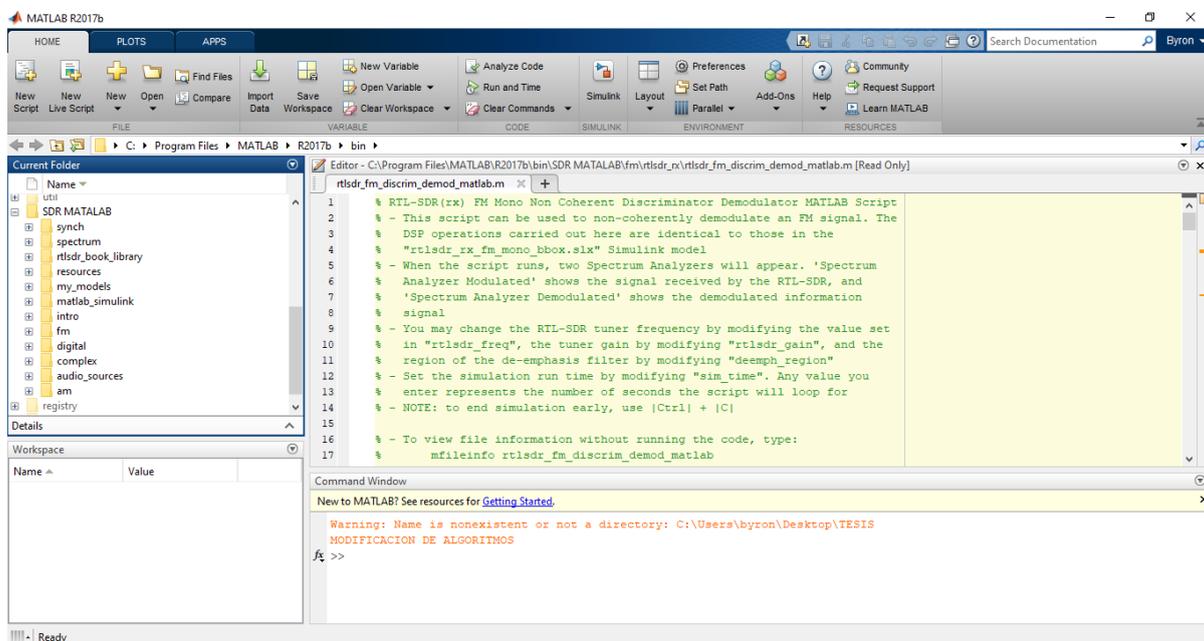


Figura. 4.22. Verificación de carpetas instaladas.

Fuente: (propia, 2018)

Si toda la configuración se realizó de manera correcta, al abrir el programam Matlab-Simulink en la sección Current Folder se podrá ver un conjunto de carpetas en el cual indica las carpetas que se está utilizando en ese momento tal cual se muestra en la **Figura 4.22**, si busca de manera minusiosa podrá encontrar la carpeta de herramientas que agregó en los pasos anteriores, de otro modo si la carpeta no aparece posiblemente no agregó la carpeta por lo que se recomienda verificar la ubicación de la carpeta y configurare nuevamente siguiendo con mucho cuidado los pasos que se indican en el apartado de configuración del software.

Realizado el proceso de instalación del hardware, es decir el RTL-SDR y la configuración también del software se tendrá listo para empezar a trabajar en el Matlab directamente en la sección del programador si se tienen conocimientos avanzados del mismo, o en Simulink para aquellas personas que no tienen conocimientos avanzados de programación pero tienen una lógica de cómo funcionan las herramientas que se encuentran inmersas dentro del programa, en el proyecto se utilizará directamente el Simulink gracias a que el mismo se trata de mostrar como funciona un Sistema SDR y algunas ventajas de

trabajar en los sistemas tal cual está planteado en los objetivos del proyecto.

4.4. Práctica 1.- Introducción al uso de un sistema SDR

Dentro de los objetivos planteados en este trabajo de titulación están que se van a realizar tres prácticas diferentes que permitan ver el uso de lo que es un sistema SDR y de esta forma tener un inicio hacia nuevas investigaciones y mejoras para los próximos proyectos. A medida que se ha realizado los avances respectivos del proyecto se ha determinado que se realizarán cuatro prácticas las cuales permitirán al estudiante tener un mejor detalle del uso del Sistema y que permitirán comprender de mejor manera el uso de las herramientas.

Para la primera práctica (Introducción al sistema SDR), no se utilizará ningún desarrollo, ni se realizarán pruebas de funcionamiento del sistema en general dado que esta práctica consistirá en realizar un reconocimiento general del sistema SDR, manipulación de los componenter y verificación de los controladores en el ordenador a utilizar el sistema completo.

El detalle de la práctica se encuentra en la sección de los anexos **FORMATO: M-01-2019 (V. 1.0)**.

4.5. Práctica 2.- Uso del sistema SDR (sintonizador GSM-FM-TV Digital)

Para realizar la práctica 2 del proyecto se va a utilizar un protopotipo ya desarrollado dado que es muy completo, y sobre todo permite que la persona o estudiante que empiece a utilizar un sistema SDR empiece a entender como funcionan los sistemas y se adapte de mejor manera para las próximas prácticas. Este ejercicio cubre los objetivos de la cantidad de prácticas planteadas, dado que al ser utilizada como sintonizador se ver la mayoría de las frecuencias con las cuales trabaja el RTL-SDR, el prototipo puede ser descargado desde la página de Mathworks y es utilizado generalmente para medir las señales de las diferentes frecuencias.

La práctica consistirá en encontrar las frecuencias respectivas para cada ancho de banda correspondiente al rango de frecuencias en que trabaja GSM, el rango de frecuencias para trabajar en FM y las frecuencias en que trabaja la TV- Digital.

Para esta práctica se utilizará el ejecutable en Simulink Práctica 2, modificado y adaptado para que el estudiante pueda aplicar conocimientos teóricos por medio de las instrucciones que se detallan en el formato que sirve de guía para la práctica de

laboratorio.

El formato a utilizar para la práctica 2 será el **FORMATO M-02-2019 (v. 1.0)**, que servirá de guía para el estudiante y también para el docente. Para poder realizar la práctica el estudiante deberá tener muy claro el concepto de cómo funciona un sistema SDR y el conjunto de frecuencias en las que operan las tecnologías inalámbricas.

En el siguiente apartado de los **Anexos** se muestra el detalle de la práctica de laboratorio en el cual se podrá observar en vivo el rango frecuencias en las que operan algunas comunicaciones inalámbricas, lo cual es posible gracias a los algoritmos que desarrollaron los científicos que trabajan en Mathworks.

4.6. Práctica 3.- Uso del Sistema SDR (Receptor FM)

Para la práctica 3 se procede a construir un Receptor FM el mismo se va a construir en Simulink, para lo cual se va a proceder a realizar los siguientes procedimientos:

- Ejecutar Matlab y dirigirse al ícono de Simulink  dar clic en el ícono para iniciar el simulador SIMULINK.
- Crear un nuevo modelo seleccionando la opción Blank Model.

Simulink

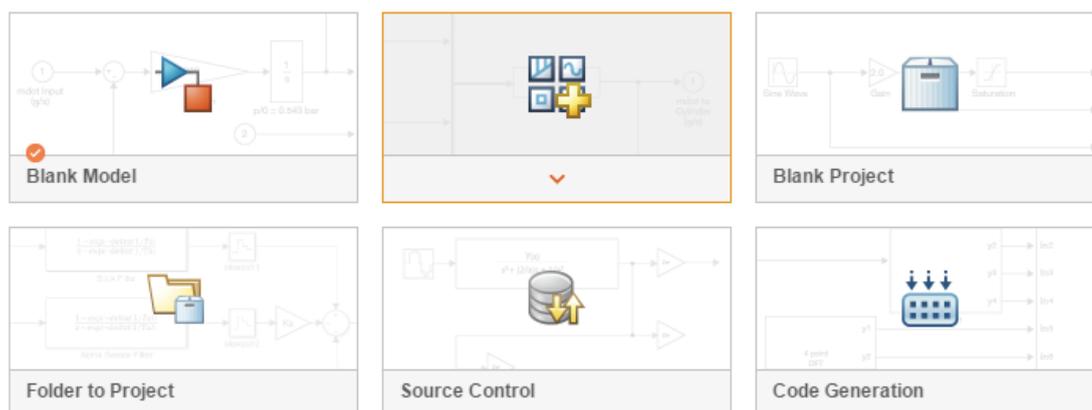


Figura. 4.23. Ventana de modelos de Simulink.

Fuente: (propia, 2018)

- Una vez creado el modelo guarde el modelo y empiece a insertar los diagramas de bloques respectivos utilizando el ícono , como se indica a continuación.

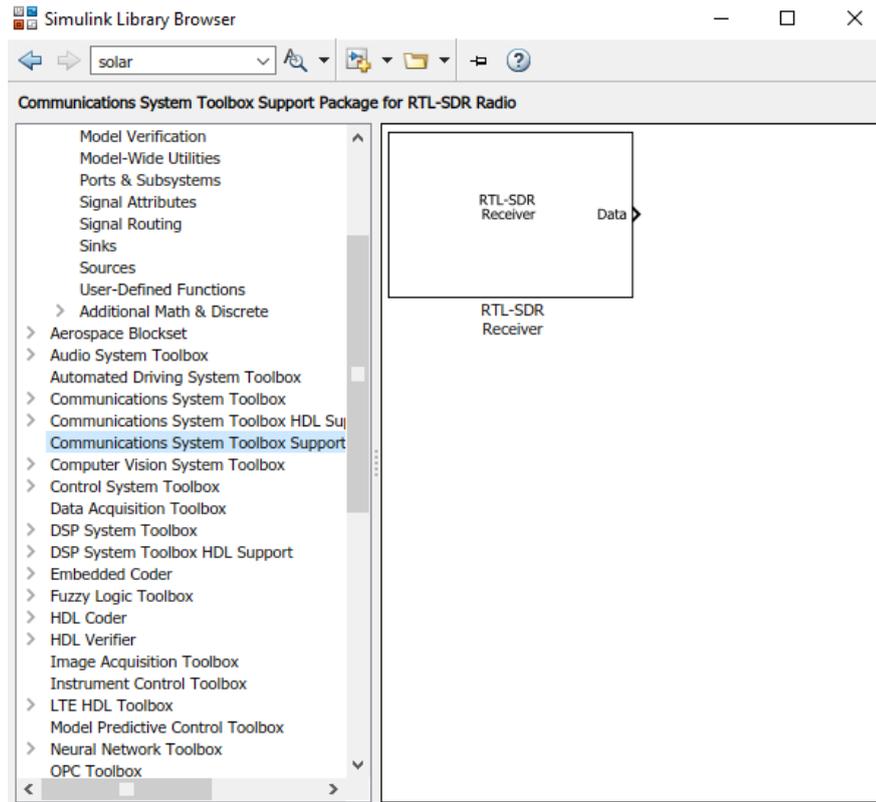


Figura. 4.24. Dispositivo RTL en paquete de herramientas.

Fuente: (propia, 2018)

- Para insertar los elementos que permitan crear un discriminador (receptor FM) se deben utilizar las herramientas que se encuentran en el paquete de herramientas tal cual indica la **Figura 4.24**.
- Para iniciar introducir el bloque del RECEPTOR RTL-SDR, y realizar la respectiva configuración de los parámetros con los siguientes valores:
 - Sampling Rate=2.4e6 Hz
 - Output data type= single
 - Samples for frame=4096

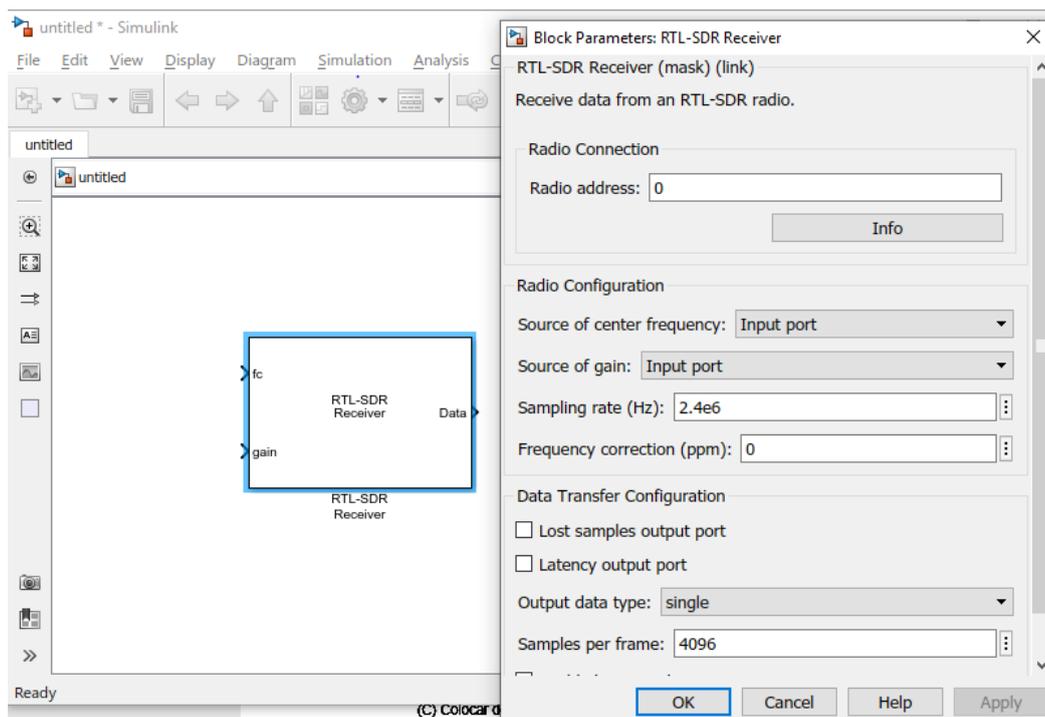


Figura. 4.25. Configuración de parámetros del bloque RTL-SDR

Fuente: (propia, 2018)

Los valores configurados como se muestra en la **Figura 4.25**, están definidos para que las simulaciones obtengan valores correctos al momento de realizar las respectivas simulaciones.

- Continuar el procedimiento colocando dos bloques que sean las constantes y representen la frecuencia de la señal (Hz) y la ganancia de radio (dB) estos bloques se encuentran en la sección de fuentes del paquete de herramientas del Simulink, los valores que sean introducidos serán modificados en las simulaciones para escoger las frecuencias que se desea recibir, insertados los dos bloques quedará similar a la gráfica de la **Figura 4.26**.

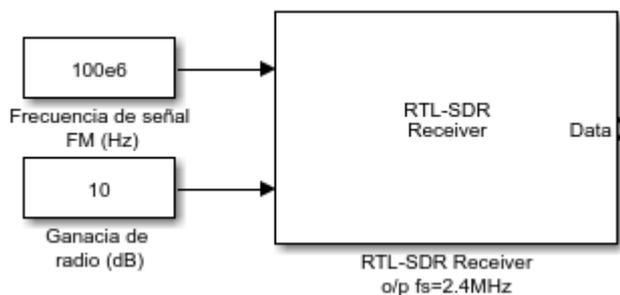


Figura. 4.26. Bloques de frecuencia y ganancia

Fuente: (propia, 2018)

- Continuar insertando un Filtro FIR Decimation, este bloque permite que se realice el remuestreo de la señal entrante de tiempo discreto a una frecuencia, N veces más lenta que la frecuencia de señal muestreo de entrada, donde el entero N se especifica mediante el parámetro Factor de decimación. Este proceso consta de dos pasos:
 - El bloque realiza el filtrado de los datos que ingresan utilizando un filtro FIR de transposición de forma directa II.
 - El bloque reduce la muestra de los datos filtrados a una tasa menor descartando muestras consecutivas K-1 después de cada muestra retenida. Este bloque realiza la implementación de los pasos mencionados de filtración y reducción de resolución de FIR utilizando una estructura de filtro polifase, lo que es mucho más eficiente que los algoritmos de filtro y decimación convencionales.

Los valores de configuración serán los siguientes:

- Decimation Factor=10; reduce la velocidad de muestreo de 2,4MHz a 240KHz
- FIR filter coefficients=firpm(50, [0 120e3 240e3 (2.4e6/2)]/(2.4e6/2), [1 1 0 0], [1 1],20) (Valores configurados de acuerdo al Foro de Mathworks Diseño de Filtros FIR e IIR). Realizar la configuración indicada y conectar a las salidas del bloque RTL-SDR al puerto Data.

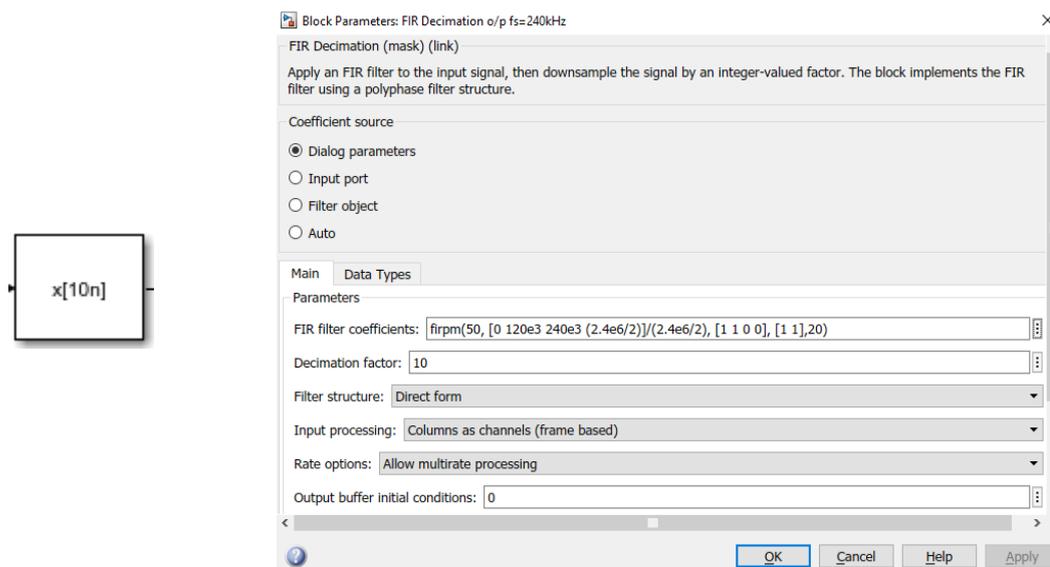


Figura. 4.27. Configuración de parámetros del filtro.

Fuente: (propia, 2018)

- Inserte un bloque de **math function**, **delay** y realice la conexión a un bloque **product**, todo esto conectar a un bloque de **Complex to Magnitude-Angle** como indica la Figura 4.28.

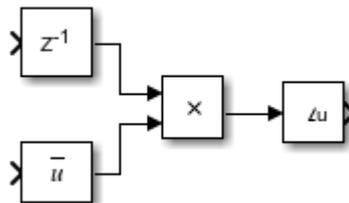


Figura. 4.28. Funciones matemáticas para el receptor FM

Fuente: (propia, 2018)

- Continuar insertando un filtro FIR Decimation, con los siguientes valores de configuración:
 - Decimation Factor=5; reduce la velocidad de muestreo de 240KHz a 48KHz y permite el paso de las frecuencias de hasta 15KHz.
 - FIR filter coefficients= firpm(100, [0 15e3 20e3 (240e3/2)]/(240e3/2), [1 1 0 0], [1 1],20) (Valores onfigurados de acuerdo al Foro de Mathworks Diseño de Filtros FIR e IIR)
- Insertar el bloque **FM De-emphasis Filter** esta herramienta está en la librería **RTL-SDR BOOK LIBRARY** este bloque es un demodulador FM

y debe tener la siguiente configuración:

- Sampling Frequency (Hz)=48e3 (48KHz)
- Filter Region= USA

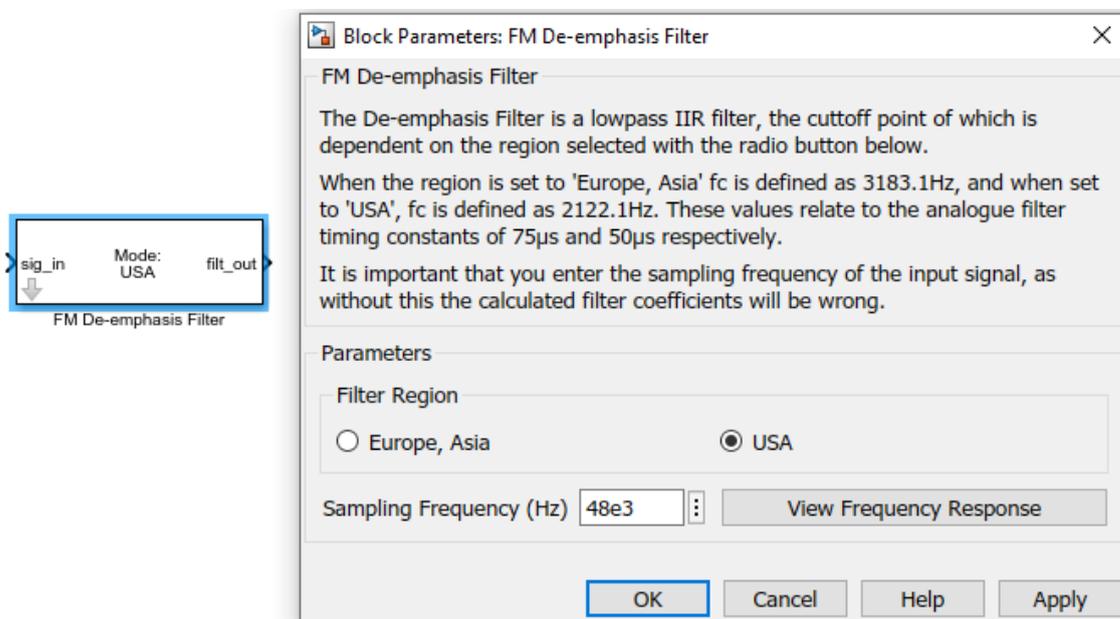


Figura. 4.29. Configuración de parámetros de De-emphasis Filter.

Fuente: (propia, 2018)

- Finalmente insertar un bloque de salida de audio, y los elementos de medición como son el **Spectrum Analyzer** y **Time Scope**, estas herramientas se encuentran en **DSP System Toolbox- Sinks Management-Sink**.

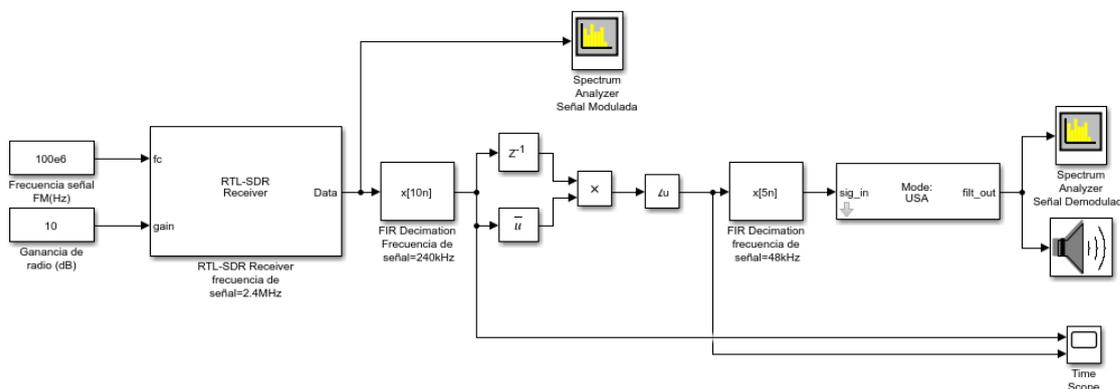


Figura. 4.30. Diagrama final de receptor FM

Fuente: (propia, 2018)

La práctica 3 consiste en modificar los parámetros de radio y el factor de diezmado de los filtros de un receptor FM hasta conseguir los valores óptimos para

obtener una buena salida de audio.

Para esta práctica se utilizará el ejecutable en Simulink Práctica 3, creado en Matlab-Simulink para que el estudiante pueda aplicar conocimientos teóricos por medio de las instrucciones que se detallan en el formato que sirve de guía para la práctica de laboratorio.

El formato a utilizar para la práctica 3 será el **FORMATO M-03-2019 (v. 1.0)**, que servirá de guía tanto para el estudiante como para el docente. Para realizar esta práctica el estudiante deberá tener muy claro conceptos sobre lo que es un receptor FM y los diferentes tipos de filtros que existen, además de conocimientos sobre cálculos de filtros para receptores FM.

En los anexos tiene el detalle de la práctica de laboratorio el cual consiste en realizar la simulación de un receptor FM y modificar los valores de los filtros y la sección de los parámetros de radio para obtener los valores deseados en la salida de audio.

4.7. Pruebas de funcionamiento

Para la validación del proyecto es necesario realizar las pruebas de funcionamiento correspondientes, verificar y analizar los valores que se obtienen, para lo cual se realizan las prácticas 2 y 3 con la finalidad de verificar los valores que se obtienen con las diferentes configuraciones realizadas al momento de simular las respectivas prácticas.

4.7.1. Pruebas de funcionamiento con sintonizador (práctica 2).

Para esta prueba de funcionamiento se va a utilizar el archivo de simulación Práctica 2, que consiste en ver las diferentes frecuencias con los diferentes parámetros a medir en la tabla

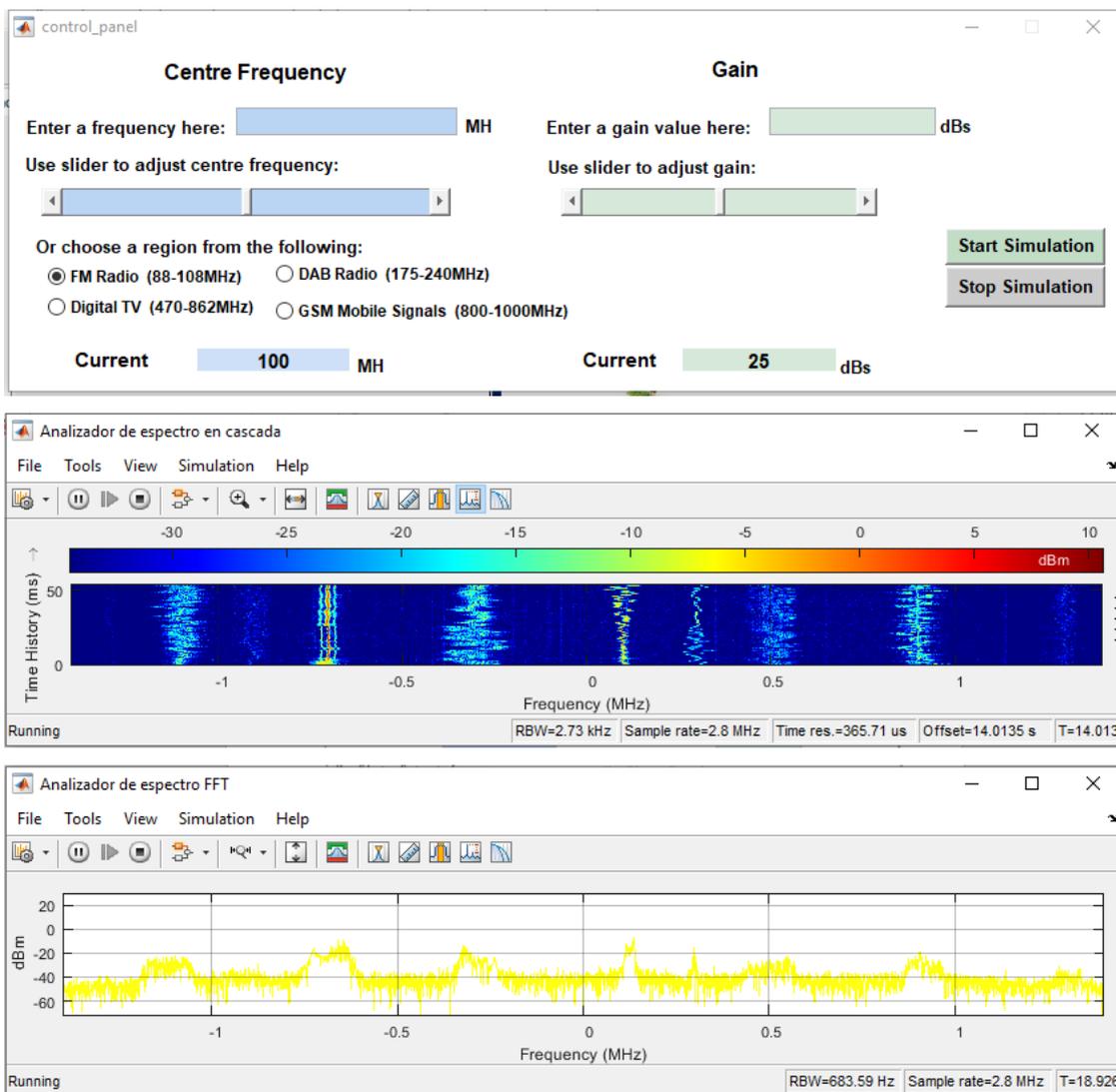


Figura. 4.31. Simulación sintonizador de frecuencias FM a 100 Mhz

Fuente: (propia, 2018)

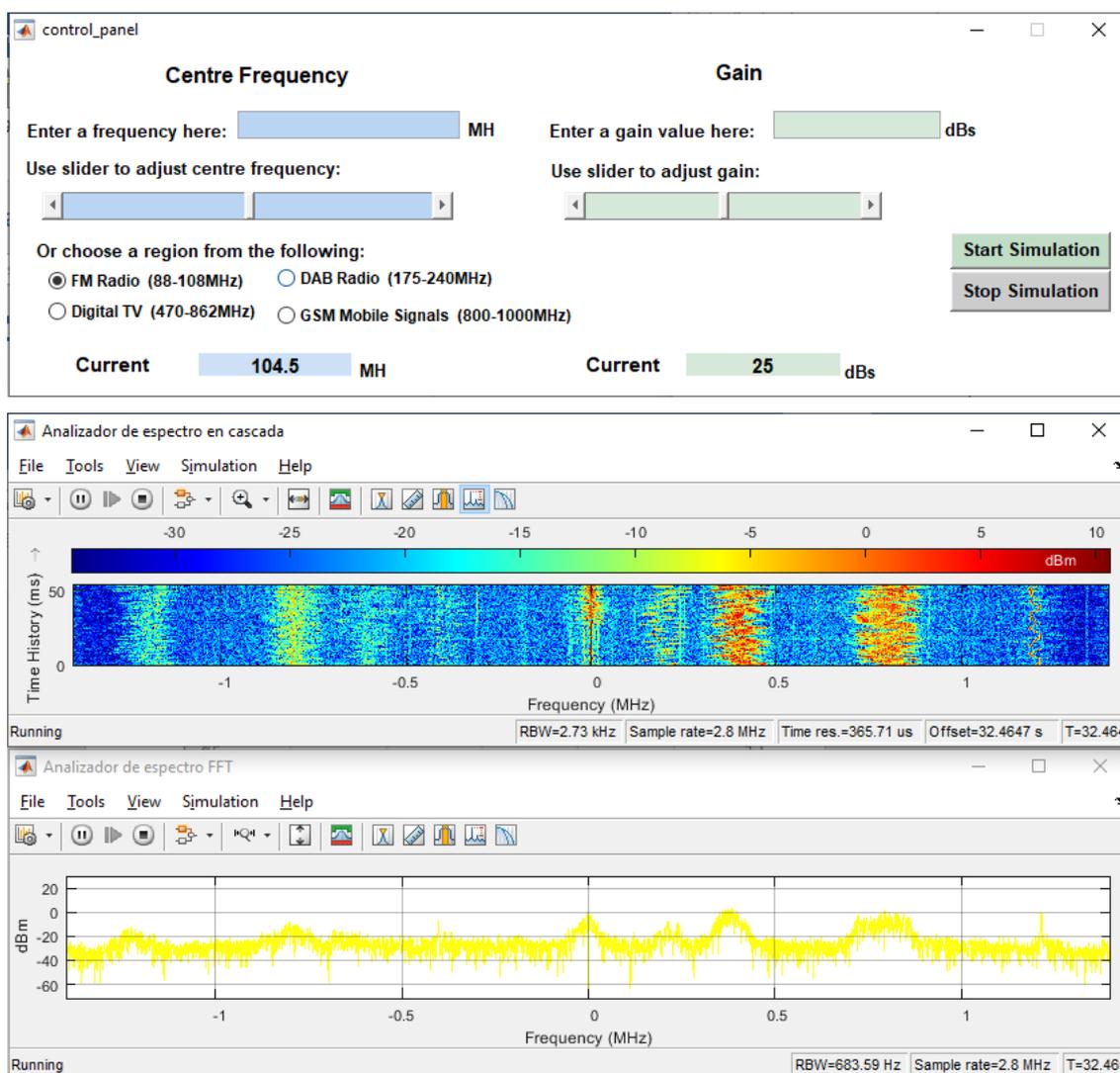


Figura. 4.32. Simulación Sintonizador de frecuencia a 104.5MHz

Fuente: (propia, 2018)

Tabla. 4.1. Parámetros del sintonizador para frecuencias FM a 100MHz

PARÁMETROS DE RADIO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Valores de analizador de espectro en cascada		Valores de analizador de espectro FFT	
Frecuencia central 1	100 MHz	RBW	2.73 KHz	RBW	683.59
Potencia predeterminada	25 dB	Sample rate	2.8 MHz	Sample rate	2.8 MHz
Frecuencia central 2	104.5 MHz	Time Res	365.71 us	Time Res	N/A
Potencia	25 dB	Offset	14.0135 s	Offset	N/A

Al observar los datos de la **tabla 4.1**, y las gráficas de las **Figura 4.31 y 4.32**, se puede concluir que el sintonizador se encuentra operando de manera óptima, esto gracias a que el sintonizador al trabajar a una frecuencia igual a 100 MHz los canales FM no se encuentran centrados **Figura 4.32**, mientras que al volver a configurar la frecuencia central del sintonizador a 104.5 MHz el canal central se encuentra en el punto 0 donde se puede ver los valores correctos, además se pueden visualizar a los lados de la frecuencia central otras frecuencias que permiten el trabajo en FM, esos se encuentran de color rojo, mientras más fuerte la potencia más rojo se visualiza.

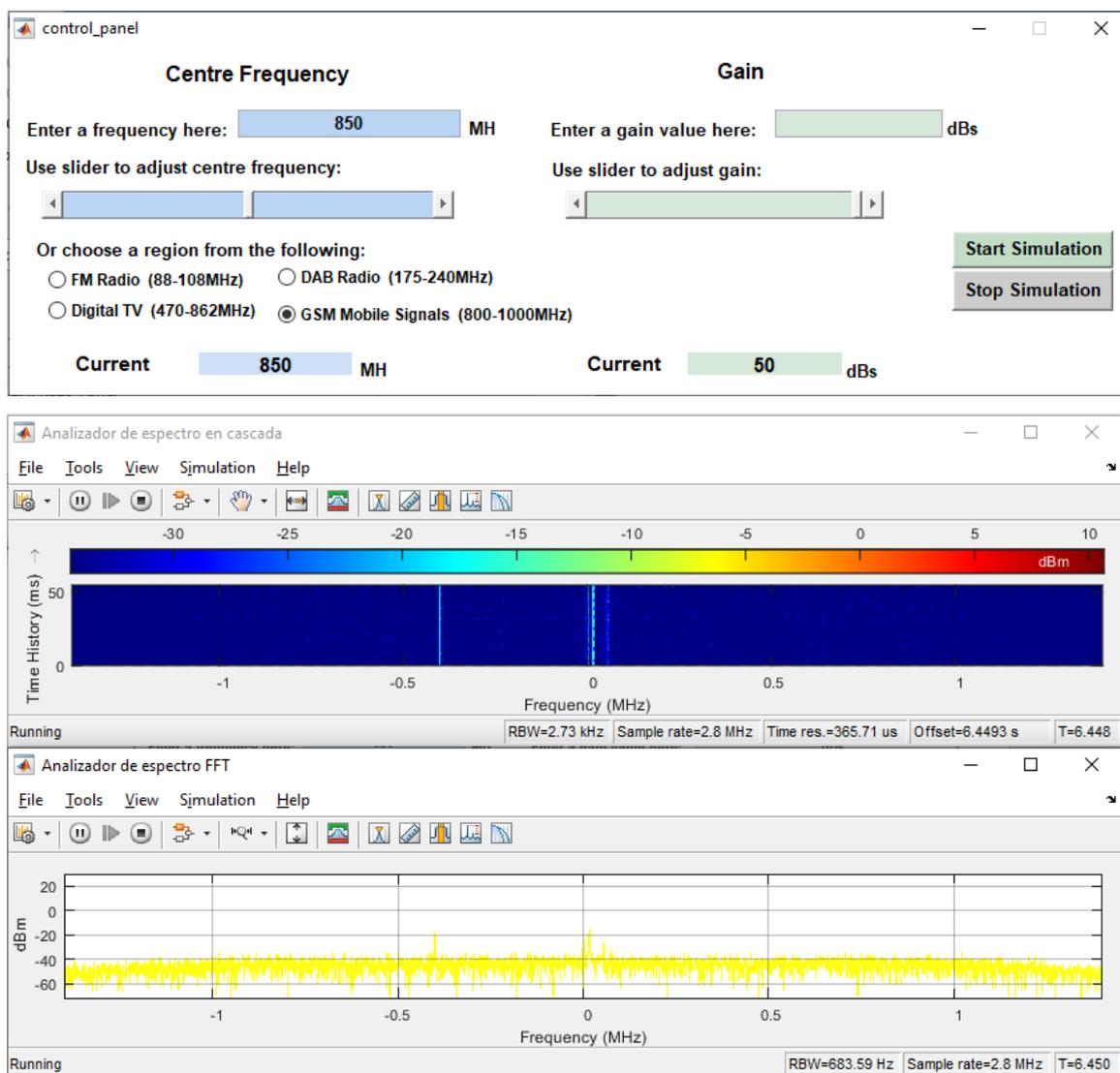


Figura. 4.33. Simulación de sintonizador en frecuencias para GSM

Fuente: (propia, 2018)

Tabla. 4.2. Parámetros del sintonizador para frecuencias GSM

PARÁMETROS DE RADIO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro en cascada		Analizador de espectro FFT	
Frecuencia central predeterminada	850 MHz	RBW	2.73 KHz	RBW	683.59 Hz
Potencia predeterminada	50 dB	Sample rate	2.8 MHz	Sample rate	2.8 MHz

Para el caso del sintonizador configurado para las frecuencias que trabajan en GSM, las pruebas se deben realizar mediante una llamada en vivo desde un teléfono móvil, esto debido a que los equipos utilizan los canales de las redes celulares GSM los resultados se observan en la **Figura 4.33**.

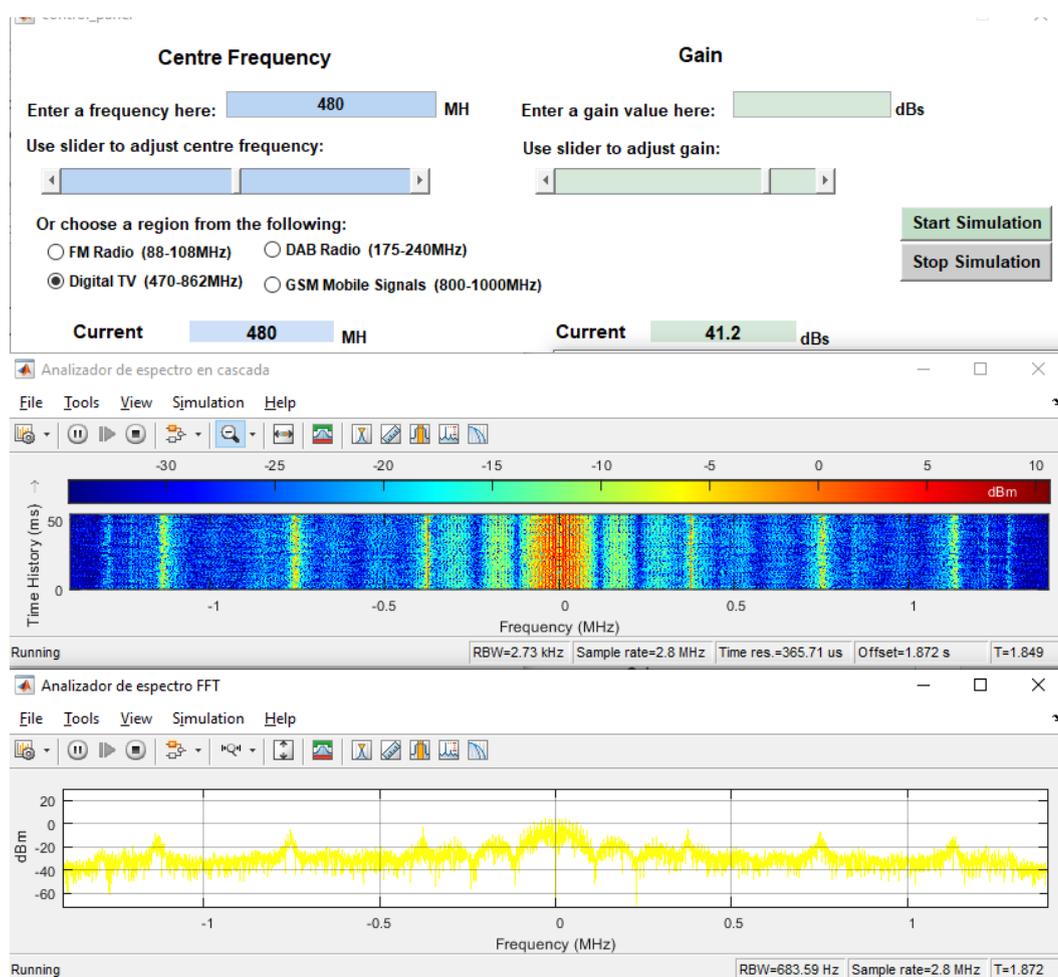


Figura. 4.34. Simulación de sintonizador en frecuencias de TV digital.

Fuente: (propia, 2018)

Tabla. 4.3. Parámetros del sintonizador para frecuencias de TV digital

PARÁMETROS DE RADIO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro en cascada	Valor	Analizador de espectro FFT	Valor
Frecuencia central predeterminada	480MHz	RBW	2.73 KHz	RBW	683.57 hz
Potencia predeterminada	41dB	Sample rate	2.8MHz	Sample rate	2.8MHz
		Time Res	365.71us	Time Res	N/A
		Offset	1.872s	Offset	N/A

Al realizar la simulación del sintonizador en frecuencias para TV digital se puede ver que, a diferencia de las frecuencias en FM, la sección de color rojo es uno solo, eso quiere decir que el ancho de banda utilizado para la emisión de TV digital es mucho más grande, es por ello que no hay otras frecuencias cercanas a la central pintados de color rojo como se observa en la **Figura 4.34**.

4.7.2. Pruebas de funcionamiento con receptor FM (práctica 2).

Para realizar las pruebas de funcionamiento se va a utilizar la simulación de la práctica 2 que se encuentra configurado para que pueda ser ejecutado en el programa Simulink. A continuación, se puede observar una fracción de la simulación.

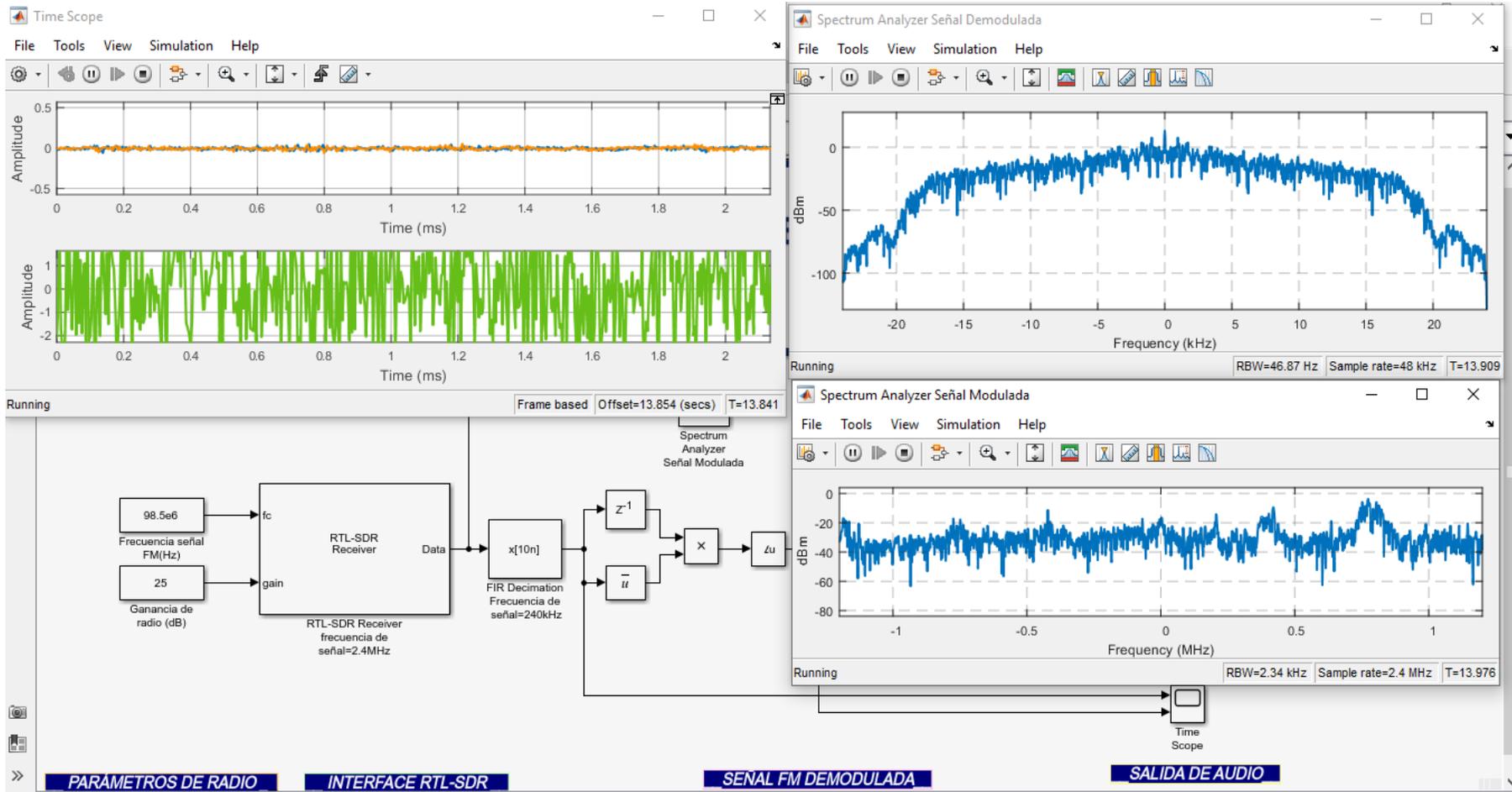


Figura. 4.35. Simulación de receptor FM

Fuente: (propia, 2018)

Tabla. 4.4. Parámetros del receptor FM

PARÁMETROS FILTRO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro Señal Modulada		Analizador de espectro señal Demodulada	
Frecuencia de señal	98.5MHz	RBW	2.43 Khz	RBW	46.7 Hz
Factor Diezmado Filtro	10	Sample rate	2.4 Mhz	Sample rate	48KHz

En la **Tabla 4.4** se puede observar los valores que se pueden visualizar en la **Figura 4.35**, como indican los valores de la señal modulada y demodulada los valores del **Sample rate** cambian drásticamente, eso se debido a filtro que se puso y el factor de diezmado que tiene este.

Con las pruebas de funcionamiento respectivas se puede validar que el proyecto está funcionando en su totalidad, los valores de las pruebas de funcionamiento pueden variar dependiendo de la ubicación en donde se realicen estas, eso se debe a que las intensidad de las señales inalámbricas no son estables en todo momento o en todo lugar, depende mucho del tipo de interferencias que este pueda tener, o la ganancia de la antena del sintonizador e inclusive del tipo de ordenador que se esté utilizando para realizar las pruebas

CONCLUSIONES

- Como resultado de la implementación del proyecto se ha logrado realizar un estudio del funcionamiento de los sistemas SDR y la aplicación de la misma en un laboratorio para el ámbito académico y profesional.
- Las funciones de Simulink en conjunto con el kit de herramientas componen el sistema SDR sección receptor en el cual se emplean algunos bloques que realizan las funciones de dispositivo para recepción y analizado de la señal.
- Las configuraciones de los bloques muestran conceptos fundamentales en el aprendizaje de los fundamentos de procesamiento de la señal y para demostrar su funcionamiento fueron sometidas a diferentes pruebas.
- Este proyecto sirve como herramienta para el desarrollo de prácticas de laboratorio de la Universidad Israel en la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones.
- Al finalizar el proyecto se obtuvo tres formatos de laboratorio que permitirá al usuario servirle de guía para el desarrollo de las prácticas ejecutando las simulaciones que serán parte del entregable del proyecto.
- Se realizó el manual de usuario para la aplicación de un sistema SDR para prácticas de laboratorio, este manual permitirá no solo ejecutar las prácticas sino también resolver los problemas más comunes que se pueden presentar al momento de realizar dichas prácticas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con el desarrollo de nuevas aplicaciones utilizando el paquete de herramientas que ofrece el software Simulink, para poder obtener mejores investigaciones.
- Se recomienda desarrollar diferentes tipos de antenas para realizar nuevas pruebas con el sistema SDR, estas antenas pueden ser específicas para un tipo de servicio en especial.
- Para el desarrollo de nuevos diagramas se recomienda realizarlo con las versiones actualizadas referente a: sistema operativo, software Matlab-Simulink, y el paquete de herramientas que viene incluido en este, con ello podemos asegurarnos de que los errores que se obtuvieron por problemas de software posiblemente ya están solucionados.
- Se recomienda tener un buen ordenador para la ejecución de las simulaciones, con un procesador de alta capacidad y memoria, implementar las simulaciones en ordenadores con baja capacidad de procesamiento puede obtener datos erróneos en las prácticas de laboratorio, pero aún cuando se realiza este tipo de prácticas en la vida real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- R. (s.f.). High Performance Low Power Advanced Digital TV Silicon Tuner Datasheet. *R820T* .
ADS-B Overview, A. (s.f.). Obtenido de <http://www.avidyne.com/publications/guides/ADS-B-Overview.pdf>
- Carvalho, L. (2004). *Curso básico de telecomunicaciones (TELECO)*. (L. Carvalho, Editor, & L. Carvalho, Productor) Obtenido de http://www.teleco.com.br/Curso/Cbmod/pagina_2.asp
- Ceballos, D. (05 de 03 de 2016). *Tic para la educación: Electrónica y Telecomunicaciones*. Obtenido de <http://dec-teleco-tic.blogspot.com/2016/03/entendiendo-la-modulacion-am-con-excel.html>
- Daza, R. (16 de 01 de 2011). *Communications I*. Obtenido de <https://communicationsone.wordpress.com/comments/feed/>
- Fácil, E. (s.f.). (*Modulación Digital :FSK-PSK-QAM*). Obtenido de <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/MODULACION-DIGITAL-FSK-PSKQAM.php>
- Gonzalez, M. P. (2014). *Estudio piloto de los demoduladores de la serie RTL de Realtek para la Radio Definida por software*.
- Inc., T. M. (1990-2004). *Simulink Simulation and Model-Based Design*. Copyright .
- J., B. (1986). *Apuntes sobre aspectos metodológicos de la investigación científica*. . La Habana: Pueblo y Educación.
- Kadman, W. (03 de 2013). Obtenido de <http://radioaficion.com/cms/r820t-rafael-micro/>
- M., B. (1972). *La Investigación Científica Su estrategia y su filosofía*. La Habana: Ciencias Sociales.
- Mathworks. (s.f.). (*Ayuda funciones*). Obtenido de <http://es.mathworks.com/help/>
- OsmocomSDR. (s.f.). *rtl-sdr*. Obtenido de <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>
- Pinar, I. (2011). Laboratorio de comunicaciones digitales raddio definida por software. En I. Pinar.
- Processing, D. S. (s.f.). (*RTL-SDR: Inexpensive Software Defined Radio*). Obtenido de https://inst.eecs.berkeley.edu/ee123/fa12/rtl_sdr.html

- Romero, S. (2016). *Implementación de sistemas receptores de AM, FM y ADS-B usando SDR. RTL2832U*. (s.f.). Obtenido de <http://www.realtek.com.tw/products/productsView.aspx?Langid=1&PFid=35&Level=4&Conn=3&ProdID=257>
- RTL-SDR.com. (s.f.). *RTL2832U Quick Start Guide*. Obtenido de <http://www.rtl-sdr.com/rtl-sdrquick-start-guide/>
- Semester., .. T. (s.f.). *ANALOG COMMUNICATIONS*. (K. P. B, Editor, K. P. B, Productor, & details/doc_download/90-analog-communication-prabhakar-kapula) Obtenido de VISHNU Universal Learning.: <http://www.bvrit.ac.in/b-category->
- Sklar, B. (1998). *Digital Communications, Fundamental and Applications* (First edition ed.). Upper Saddle River: NJ:Prentice Hall.
- Sonora, U. d. (2006). *Universidad de Sonora*. Obtenido de http://www.movil.uson.mx/efecto_salud.htm
- Stewart, R. W. (2017). *desktop sdr*. Obtenido de https://www.desktopsdr.com/privacy_cookie
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Pearson Education.
- Zhang, L. (2013). *Implementation of Wireless Communication based on Software Defined Radio*. . Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones.

ANEXOS

DATASHEET RTL-SDR

1 Electrical Parameters

1.1 DC Parameters

Table 1-1 : Electrical DC Parameters

Parameters	Condition	Units	Min	Typical	Max
VCC Input voltage		V	3.0	3.3	3.6
Operation Temperature		°C	-20	25	85
Sleeping Mode Current	LT OFF	mA		9	
Standby Mode Current	LT ON	mA		64	
Total Current Consumption	After Programming	mA		178	195

1.2 AC Parameters

Table 1-2 : Electrical AC Parameters

Parameters	Condition	Units	Min	Typical	Max
Input Return Loss ¹	S11	dB		-10	
Operation Frequency Range		MHz	42		1002
Voltage Gain		dB	85		95
AGC Range		dB		104	
Noise Figure	@ Max Gain	dB		3.5	
IIP3	LNA Max Gain	dBm		-7.5	
	LNA Min Gain	dBm		+35	
Image Rejection		dBc		65	
Phase Noise	1K	dBc		-91	
	10K	dBc		-98	
	100K	dBc		-109	
CSO	110 Channel at 75dBuV	dBc		-67	
CTB		dBc		-65	
Multiple Crystal Frequency Spurious	Refer to RF-In	dBm		-120	
RF in to Loop through gain ¹		dB		0	
Loop through Return loss ¹		dB		-13	
Sensitivity	FFT:8k,QPSK,CR:1/2	dBm		-97.5	
	FFT:8k,16QAM,CR:1/2	dBm		-91.5	
	FFT:8k,64QAM,CR:3/4	dBm		-81.5	
Adjacent Channel Rejection	FFT:8k,64QAM,CR:7/8	dBm		-79.5	
	Analog Interference at DVB-T Signal	dBc		-47	
Max. Input Power	FFT:8k,64QAM,CR:7/8	dBm		+10	
IF Output Level	Swing	Vp-p		1	2
	Impedence		Differential 2kΩ//5pF		
PLL Locking time		ms			5

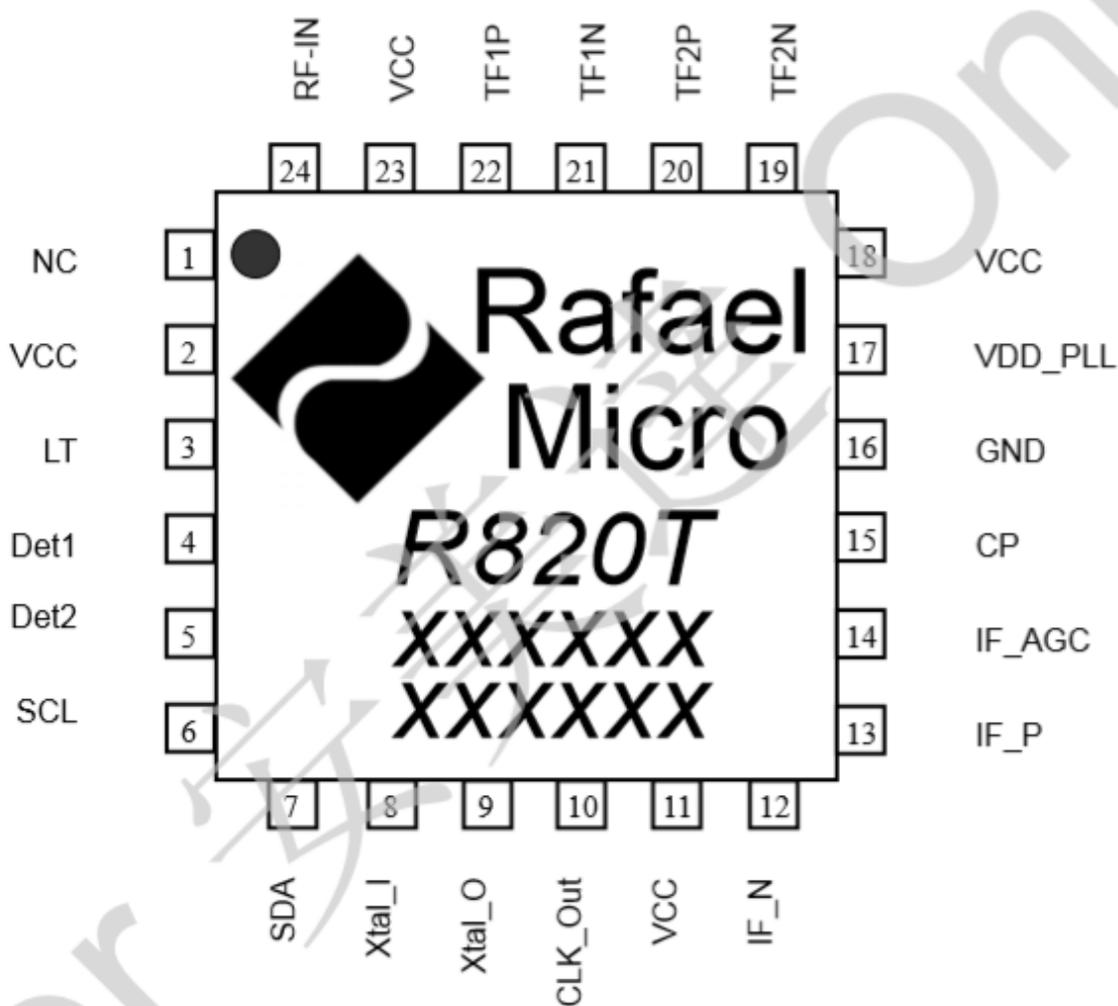
Notes:

1. Network Analyzer Measurement Power : -20dBm

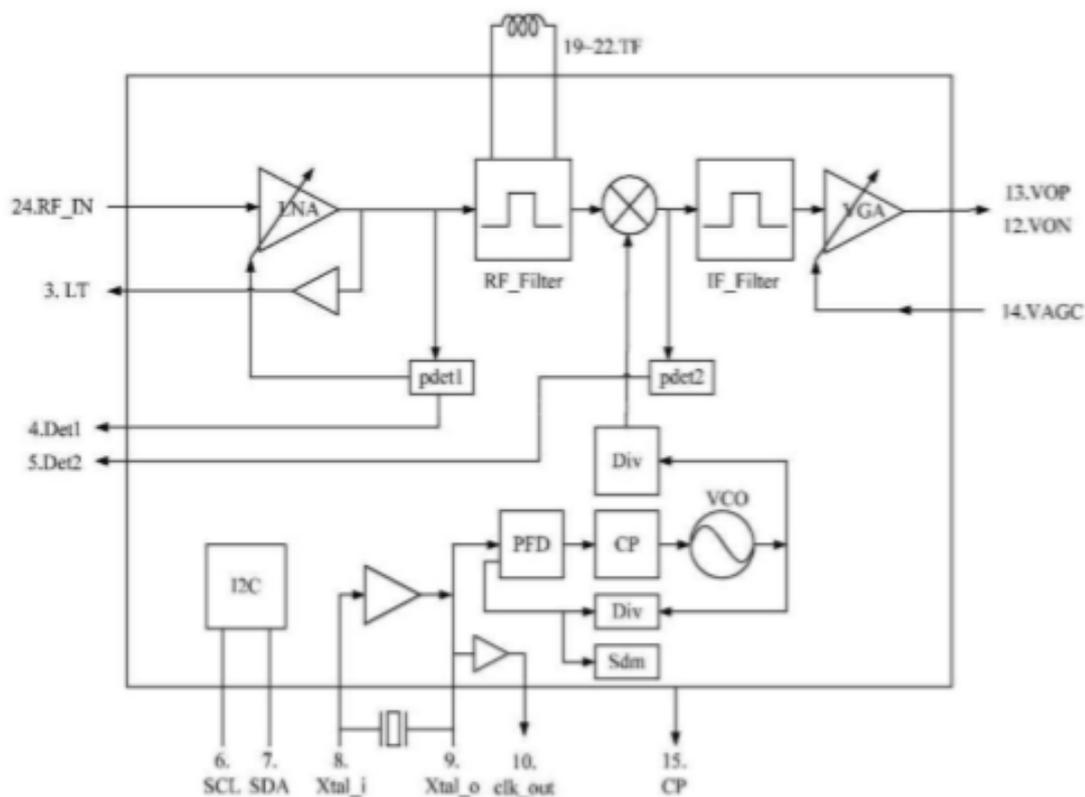
2 Pin Description

Pin Allocation

Figure 2-1 : Pin Allocation (note: E-Pad is GND)



Simplified R820T Block Diagram



Quick Reference Data

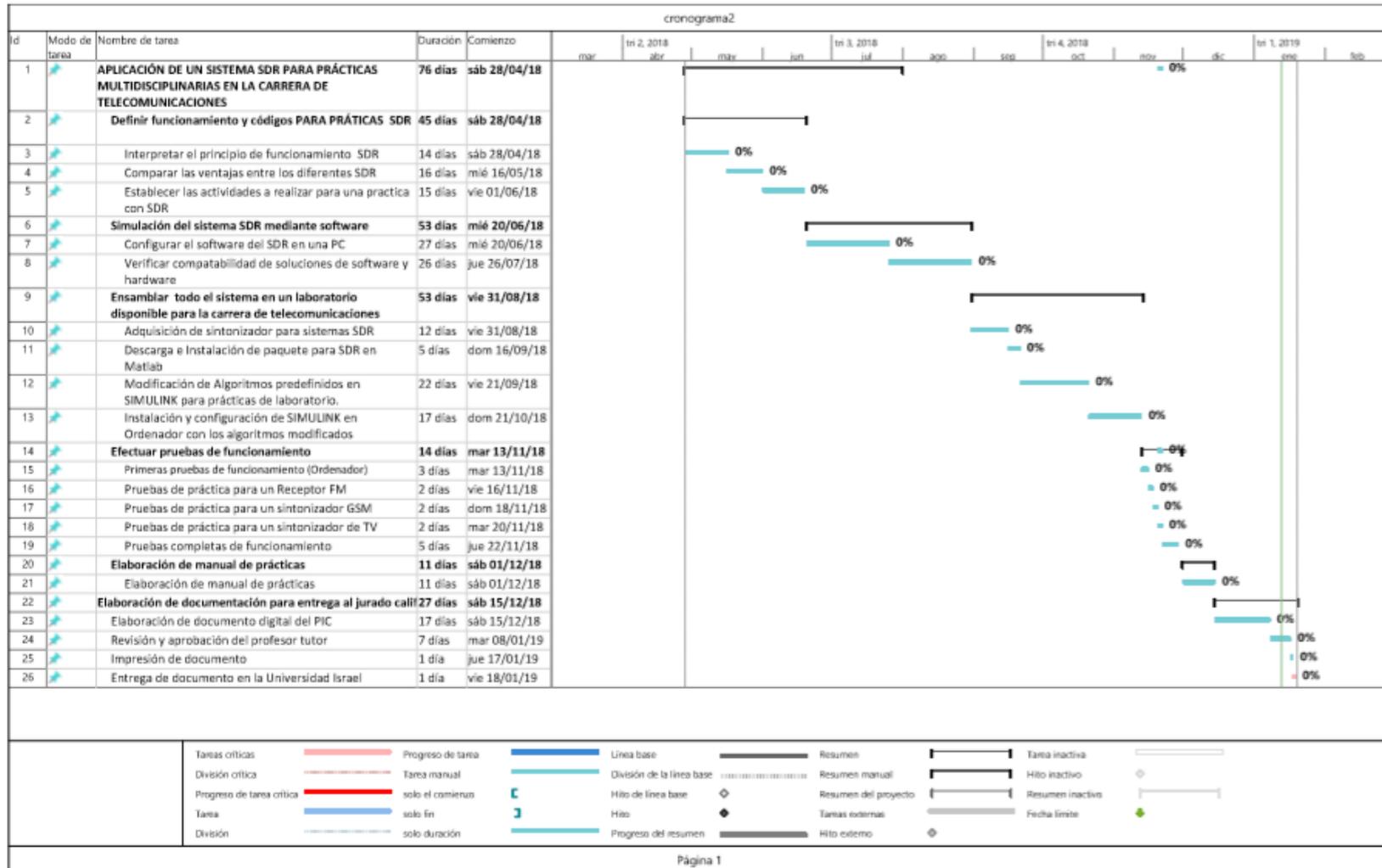
Typical figures

- Frequency range: 42 to 1002 MHz
- Noise figure : 3.5 dB @ RF_IN
- Phase noise: -98 dBc/Hz @ 10 kHz
- Current consumption: <178 mA @ 3.3V power supply
- Max input power: +10 dBm
- Image rejection: 65 dBc

Pin Allocation

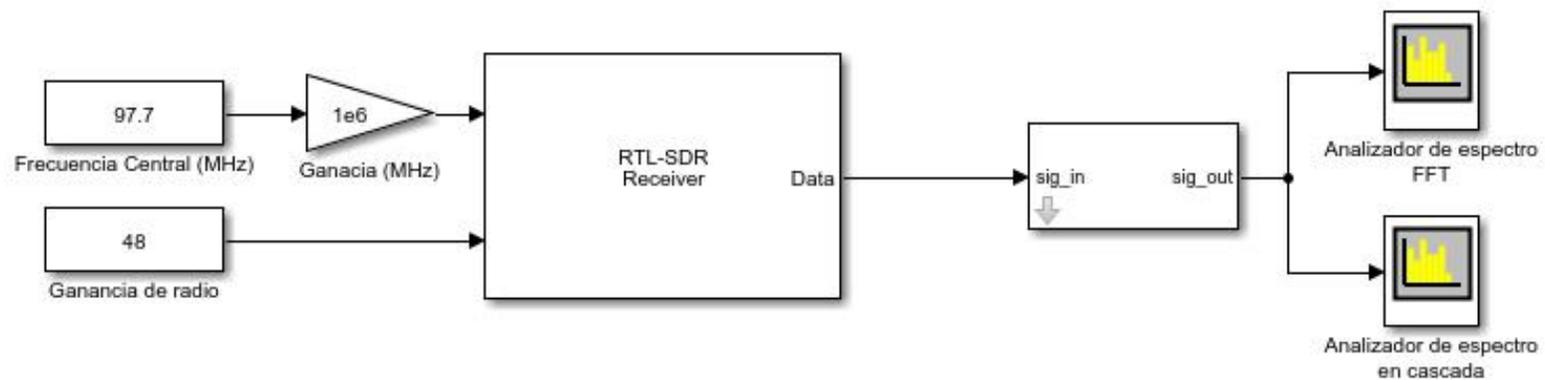
Pin Allocation (note: E-Pad is GND)

CRONOGRAMA DE PROYECTO



DIAGRAMAS

SINTONIZADOR DE FRECUENCIAS

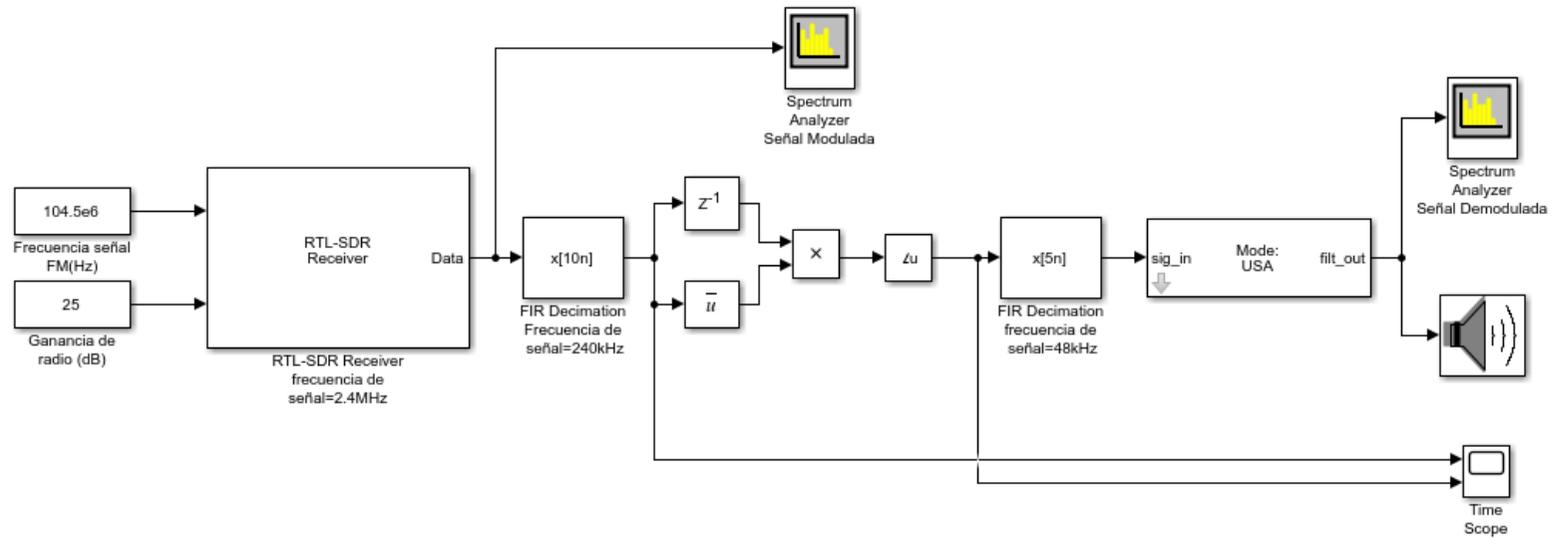


PARAMETROS DE RADIO

CONFIGURACIÓN CON RTL-SDR

PROCESAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE SENAL

RECEPTOR FM



PARAMETROS DE RADIO

INTERFACE RTL-SDR

SEÑAL FM DEMODULADA

SALIDA DE AUDIO

FORMATO: M-01-2019 (v. 1.0)**GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO**

DATOS GENERALES:	
CARRERA: INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES	
ASIGNATURA:	No. de práctica 1
TÍTULO DE LA PRÁCTICA:	
NOMBRES:	
CURSO:	
A. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA	
<p>A1. Comprender el funcionamiento de un SISTEMA SDR</p> <p>A2. Reconocer los componentes que tiene un sistema SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE).</p> <p>A3. Verificación de los controladores del RTL-SDR</p>	
B. FUNDAMENTO TEÓRICO	
<p>Se pretende que el estudiante comprenda como funciona un sistema SDR (Radio Definida por Software), para los cual se realizará el reconocimiento de los componentes que los conforman, además de realizar un reconocimiento del software MATLAB-SIMULINK ubicación de los ejecutables para las prácticas posteriores y su correcta ejecución.</p> <p>El estudiante deberá reconocer cada componente del RTL.SDR y realizar la conectorización de manera correcta con el objetivo de obtener valores correctos y evitar el daño de las antenas, los pines de conexión y sobre todo al fallo del dispositivo RTL-SDR. Adicional a lo mencionado anteriormente el estudiante debe saber utilizar el software MATLAB-SIMULINK de manera correcta, es decir poder verificar que los controladores del RTL-SDR estén instalados y en caso de no estarlo tener la capacidad de hacerlo de manera correcta.</p> <p>Para realizar esta práctica el estudiante deberá tener bases acerca de cómo funcionan las comunicaciones inalámbricas, los componentes que tiene un sistema SDR, el estudiante deberá realizar una investigación previa sobre el funcionamiento de un Sistema SDR (Radio definida por software), son requisitos para empezar a realizar prácticas con sistemas SDR.</p>	
C. LISTADO DE MATERIALES O HERRAMIENTAS	
<p>C1. 1 ordenador con el software Matlab-Simulink, instalado el paquete de herramientas de comunicación para el uso del RTL-SDR.</p> <p>C2. 1 dispositivo RTL-SDR.</p>	
D. INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRÁCTICA	
Experimento 1.1	

D1. Realizar el reconocimiento físico del RTL-SDR:

- a. Realice la inspección física de todos los componentes, del RTL-SDR (dispositivo USB y antena)
- b. Verifique que el pin de conexión de la antena (Conector BNC hembra) y el pin de conexión del RTL-SDR (Conector BNC macho) se encuentren en un buen estado, que las roscas de conectorizado no esten aislados, esto permitirá que al momento de realizar cualquier tipo de práctica obtenga valores correctos.

E. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

E1. Verificar que el driver del RTL-SDR se encuentre instalado en el ordenador.

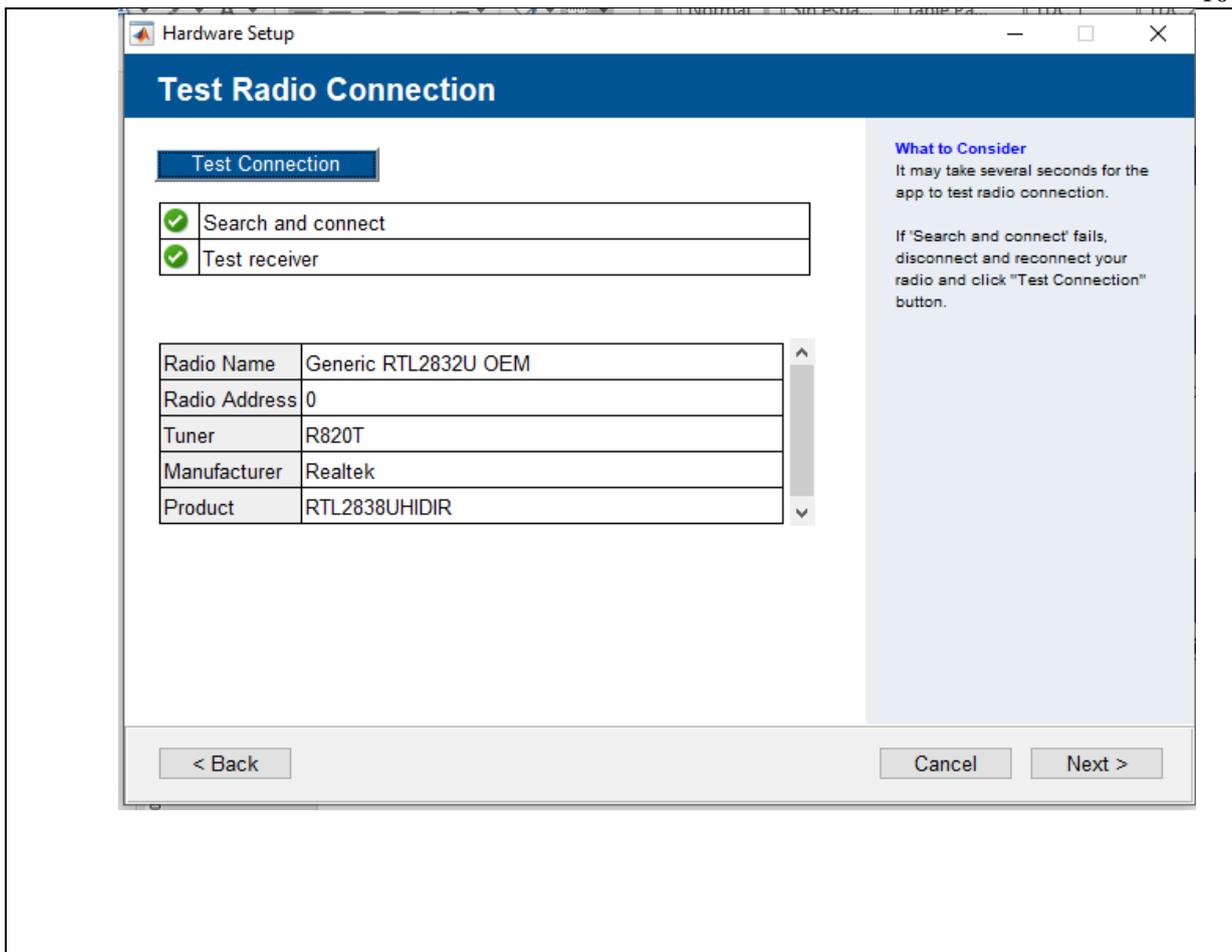
- Ejecute el Software Matlab-Simulink
- Valide que el paquete de herramientas y el driver del RTL-SDR se encuentren instalados siguiendo estos pasos.
 - En el panel de herramientas dirijase al ícono Add_Ons .
 - Seleccione la opción **Get Hardware Support Packages**.
 - En la nueva ventana busque la opción **Communications Toolbox Support Packages for RTL-SDR Radio**, seleccione esa opción.
 - En la ventana que aparece damos clic en **Manage**.
 - Aparecerá una nueva ventana, buscamos **Communications Toolbox Support Packages for RTL-SDR Radio**, dar clic en este ícono , seleccionar la opción setup.
 - En la ventana que aparece presionar **Next**
 - Finalmente presione **Test Connection**.
 - Despues de los resultados presionar **Next**, deshabilite la opción **Show Example for support package**.
 - Dar clic en en **Finish**

F. GRÁFICOS DE VERIFICACIÓN FÍSICA DEL RTL-SDR

F1. Insertar fotografías del estado de dispositivo RTL-SDR y sus componentes

G. VERIFICACIÓN DE CONFIGURACIÓN RTL-SDR

G1. Captura de pantalla de Test Radio Conection (Estudiante deberá pegar la captura respectiva)



H. RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 1

Resultados de prueba de configuración RTL-SDR

¿Los resultados de la prueba fueron positivos?	En caso de que los resultados no fuesen positivos y el estudiante no pueda resolver el inconveniente por su propia cuenta el docente deberá realizar el procedimiento que se encuentra en el manual de usuario en la sección de Solución de problemas más comunes .
Radio Name	RTL2832U
Radio Address	0
Tuner	R820T
Manufacturer	Realtek

Product	RTL2838UHIDIR
I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Por favor incluir tres conclusiones obligatorias, tres recomendaciones opcionales y una obligatoria.	
CONCLUSIONES	

RECOMENDACIONES	

FORMATO: M-02-2019 (v. 1.0)

GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO

DATOS GENERALES:	
CARRERA: INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES	
ASIGNATURA:	No. de práctica 2
TÍTULO DE LA PRÁCTICA: USO DEL SISTEMA SDR (SINTONIZADOR GSM, FM, TV DIGITAL)	
NOMBRES:	
CURSO:	
A. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA	
A1. Comprender el funcionamiento de un sistema SDR.	
A2. Verificar el rango de frecuencias que trabajan las señales inalámbricas en GSM, FM Y TV-DIGITAL.	
A3. Interactuar con el simulador de sintonizador de frecuencias.	

B. FUNDAMENTO TEÓRICO

Con la siguiente práctica se pretende sintonizar las diferentes frecuencias de GSM, FM y TV-DIGITAL, con la finalidad de que el estudiante pueda comprender a mayor detalle como se encuentran distribuidas las frecuencias para las comunicaciones inalámbricas.

A continuación, se detallan los rangos de frecuencias con las que trabajan cada una de las diferentes tecnologías:

GSM

Las Bandas de frecuencia GSM son aquellas bandas que se emplean para realizar las comunicaciones en la telefonía móvil designadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones para la operación de redes GSM.

A nivel mundial hay un total de catorce bandas definidas, las cuales tienen sus respectivas asignaciones de canal, en el estándar TS 45.005 del consorcio 3GPP, que reemplaza al TS 05.05.

Específicamente en la mayoría de países de Latinoamérica se utiliza las bandas **GSM-850 y GSM 1900**, en Ecuador se emplean estas frecuencias para realizar las comunicaciones relacionadas a GSM.

FM

El rango de frecuencias utilizado en FM va desde los **88 Mhz hasta 108 MHz**. Las estaciones de FM tienen asignadas frecuencias centrales empezando en 88,1 MHz, con una separación de 200 khz, y un máximo de 100 estaciones. Estas estaciones de FM tienen una desviación máxima de su frecuencia central de 75 kHz, lo cual deja unas "bandas guardas" superior e inferior de 25 kHz, para minimizar la interacción con las bandas de frecuencias adyacentes.

TELEVISIÓN DIGITAL

Televisión digital terrestre (TDT), también llamada en algunos países de América televisión digital abierta(TDA), es la transmisión de imágenes en movimiento y su sonido asociado mediante codificación binaria a través de una red de repetidores terrestres.

Las ventajas de la Televisión Digital Terrestre son similares a otros medios de transmisión digital respecto a los analógicos en plataformas tales como la televisión por cable y televisión por satélite: uso más eficiente del espectro radioeléctrico al transmitir mediante multiplexación más de una señal televisiva, capacidad de transmisión de audio y video de mejor calidad y costos menores de transmisión, después de los costos de actualización.

En abril de 2009, se empezó a estudiar los diferentes estándares de transmisión de la televisión digital terrestre, entre los cuales el adoptado por el gobierno ecuatoriano por sus características

fue el ISDB-Tb japonés con variación brasileña. A continuación, se presenta las frecuencias que utiliza la TELEVISIÓN DIGITAL para la transmisión de datos:

VHF (Very High Frequency): Parte del espectro radioeléctrico de 30 a 300 megahercios, que incluye canales de TV 2-13, y la emisión de FM de banda.

UHF (Ultra High Frequency): Parte del espectro radioeléctrico 300 a 3000 megahercios, lo que incluye los canales de TV 14-69. Después de la transición de TVD, UHF de TV será cambiado a 470 a 698 MHz, que incluye canales de 14-51

Con estos detalles el estudiante debe ser capaz de encontrar alguna de las frecuencias más importantes, los cuales indicará en docente de acuerdo a su criterio.

C. LISTADO DE MATERIALES O HERRAMIENTAS

- C1. Dispositivo RTL-SDR
- C2. 1 ordenador con el software Matlab-Simulink, instalado el paquete de herramientas de comunicación para el uso del RTL-SDR.
- C3. Ejecutable de Matlab-Simulink Práctica 2

D. INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

Experimento 1.1

- D1. En el panel de control seleccione **GSM Mobile Signal** para obtener los valores de las frecuencias correspondientes a GSM
- D2. Ejecute con los valores predeterminados para ver que valores obtiene.

Experimento 1.2

- D3. En el panel de control seleccione **FM Radio** para obtener los valores de las frecuencias correspondientes a GSM
- D4. Ejecute con los valores predeterminados para ver que valores obtiene.

Experimento 1.1

- D5. En el panel de control seleccione **Digital-TV** para obtener los valores de las frecuencias correspondientes a GSM
- D6. Ejecute con los valores predeterminados para ver que valores obtiene.

E. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- E1. Modificación de parámetros GSM
 - Modifique el valor predeterminado de 900MHz a 850Mhz
 - Llene la tabla de la sección H con los valores solicitados.
- E2. Modificación de parámetros FM

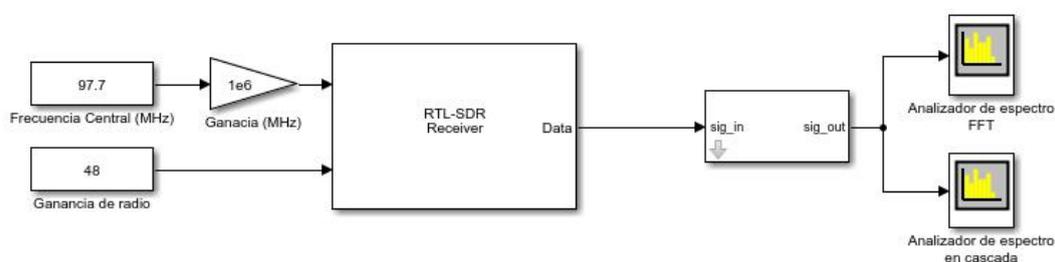
- Modifique el valor predeterminado de 100 MHz a una frecuencia de radio FM reconocida e intente obtener la señal correcta modificando los valores de Potencia.
- Modifique los valores de la Potencia para aumentar la nitidez del espectro con la frecuencia central deseada.
- Realice el procedimiento anterior con 3 frecuencias diferentes.
- Llene la tabla de la sección H con los valores obtenidos.

E3. Modificación de parámetros TV-DIGITAL

- Modifique el valor predeterminado de 210 MHz a una frecuencia de TV reconocida e intente obtener la señal correcta modificando los valores de Potencia.
- Modifique los valores de la Potencia para aumentar la nitidez del espectro con la frecuencia central deseada.
- Realice el procedimiento anterior con 3 frecuencias diferentes.
- Llene la tabla de la sección H con los valores obtenidos.

F. DIAGRAMAS DE CIRCUITO

F1. Diagrama de circuito.



PARAMETROS DE RADIO

CONFIGURACIÓN CON RTL-SDR

PROCESAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE SEÑAL

G. SIMULACIONES

G1. Inserte las capturas correspondientes a las simulaciones a la simulación del sintonizador configurado para verificar los valores de GSM (predeterminado y valores de configuración cambiados)

G2. Inserte las capturas correspondientes a las simulaciones a la simulación del sintonizador configurado para verificar los valores de FM (predeterminado y valores de configuración cambiados)

G3. Inserte las capturas correspondientes a las simulaciones a la simulación del sintonizador configurado para verificar los valores de TV-DIGITAL (predeterminado y valores de configuración cambiados)

H. RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 1					
Resultados de sintonizador con frecuencias para FM					
PARÁMETROS DE RADIO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro en cascada	Valor	Analizador de espectro en cascada	Valor
Frecuencia central predeterminada		RBW		RBW	
Potencia predeterminada		Sample rate		Sample rate	
Frecuencia central 1		Time Res		Time Res	
Potencia 1		Offset		Offset	

Tabla 2					
Resultados de sintonizador con frecuencias para GSM					
PARÁMETROS DE RADIO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			

Detalle	Valor	Analizador de espectro en cascada	Valor	Analizador de espectro en cascada	Valor
Frecuencia central predeterminada		RBW		RBW	
Potencia predeterminada		Sample rate		Sample rate	
Frecuencia central 1		Time Res		Time Res	
Potencia 1		Offset		Offset	
Frecuencia central 2		RBW		RBW	
Potencia 2		Sample rate		Sample rate	
Frecuencia central 3		RBW		RBW	
Potencia 3		Sample rate		Sample rate	

Tabla 3

Resultados de sincronizador con frecuencias para televisión digital

PARÁMETROS DE RADIO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro en cascada	Valor	Analizador de espectro en cascada	Valor
Frecuencia central predeterminada		RBW		RBW	
Potencia predeterminada		Sample rate		Sample rate	
Frecuencia central 1		Time Res		Time Res	
Potencia 1		Offset		Offset	
Frecuencia central 2		RBW		RBW	
Potencia 2		Sample rate		Sample rate	
Frecuencia central 3		RBW		RBW	
Potencia 3		Sample rate		Sample rate	

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
<p>Por favor incluir tres conclusiones obligatorias, tres recomendaciones opcionales y una obligatoria.</p> <p>CONCLUSIONES</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
<p>RECOMENDACIONES</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

FORMATO: M-03-2019 (v. 1.0)

GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO

DATOS GENERALES:	
CARRERA: INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES	
ASIGNATURA:	No. de práctica 3
TÍTULO DE LA PRÁCTICA: USO DEL SISTEMA SDR PARA UN RECEPTOR FM	
NOMBRES:	
CURSO:	
A. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA	
A1. Comprender el funcionamiento de un sistema SDR aplicado a un receptor FM. A2. Identificar los componentes básicos de un receptor FM. A3. Interactuar con el simulador de Receptor FM para obtener los mejores resultados en la salida de audio.	
B. FUNDAMENTO TEÓRICO	
Con la siguiente práctica se pretende entender como funcionan los receptores FM. Realizando	

cambios de frecuencia, ganancia de radio y modificando los valores de los principales filtros que contiene un RECEPTOR FM.

Un receptor de radio de FM (Modulación por Frecuencia) es cualquier dispositivo que tiene la capacidad de recibir ondas de radio cuya portadora presenta variaciones de frecuencia y no de amplitud como es el caso de la Modulación por Amplitud (AM), debido a las características y calidad en la recepción muy superiores a la AM, hoy en día se utiliza mucho la transmisión de alta fidelidad empleando la modalidad de FM.

El receptor superheterodino de FM es muy similar al receptor superheterodino de AM, la mayoría de los bloques o elementos de los que se encuentran compuestos son teóricamente similares, y cumplen similares funciones, a pesar de que funcionan de diferente manera, hay que tomar en cuenta que en la modulación de amplitud (AM), el parámetro que se varía es la amplitud de la señal, mientras la frecuencia se mantiene constante, mientras que en la modulación de frecuencia (FM) ocurre todo lo contrario, la amplitud de la señal se mantiene constante siendo la frecuencia de la señal portadora la que se hace variar, las diferencias más marcadas entre ambos receptores se manifiestan a partir de la etapa convertora, y entre ellas podemos enumerar:

- Como primera característica el ancho de banda de la frecuencia intermedia (FI) es de 150 KHz.
- Utiliza después de las etapas de FI un limitador de amplitud.
- El demodulador responde a las variaciones de frecuencia.
- Las etapas de audio presentan un ancho de banda mayor que en los receptores de AM, alcanzando una banda de paso desde los 30 Hz hasta los 15 KHz, mientras que en los receptores de AM cuando más es de 8 KHz.
- El receptor de FM para compensar sus características de banda ancha necesita más etapas de amplificación en su sección de FI ya que el producto ganancia/ancho de banda es menor.

La FM es utilizada fundamentalmente en la radiodifusión de alta calidad, muy superior a las que se pueden realizar con un equipo de AM, aunque también se aplica en la TV y otras aplicaciones relacionadas con las comunicaciones tanto civiles como militares.

C. LISTADO DE MATERIALES O HERRAMIENTAS

- C1. Dispositivo RTL-SDR.
- C2. 1 ordenador con el software Matlab-Simulink, instalado el paquete de herramientas de comunicación para el uso del RTL-SDR.
- C3. Ejecutable de Matlab-Simulink Práctica 3.

D. INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

Experimento 1.1

D1. Realice la conectorización de todos los componentes del RTL-SDR verificando que se encuentren en buen estado y sin presencia de daños físicos.

D2. Ejecute la simulación de la práctica 3 para empezar a realizar la práctica de acuerdo a las actividades a desarrollar en el siguiente ítem.

E. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

E1. Frecuencias de operación

- En el bloque de frecuencia de señal varíe el valor, con tres frecuencias diferentes.
- Llene la tabla de la sección H con los valores solicitados.

E2. Modificación de valores de diezmado de filtro

- Modifique el valor del primer filtro hasta obtener una frecuencia de señal de 240KHz.
- Modifique el valor del segundo filtro hasta obtener una frecuencia de señal de 48KHz.
- Realice el procedimiento anterior con las 3 frecuencias diferentes.
- Llene la tabla de la sección H con los valores obtenidos.

F. DIAGRAMAS DE CIRCUITO

F1. Diagrama de circuito.

G3. Inserte las capturas correspondientes a las simulaciones a la simulación del sintonizador configurado con los valores de la tercera frecuencia.

H. RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 1					
Resultados de sintonizador con la primera frecuencia					
PARÁMETROS FILTRO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro Señal Modulada	Valor	Analizador de espectro señal Demodulada	Valor
Frecuencia de señal		RBW		RBW	

Factor Diezmado Filtro 1		Sample rate		Sample rate	
Factro Diezmado Filtro 2		Time Res		Time Res	
		Offset		Offset	

Tabla 2					
Resultados de sintonizador con la segunda frecuencia					
PARÁMETROS FILTRO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro Señal Modulada	Valor	Analizador de espectro señal Demodulada	Valor
Frecuencia de señal		RBW		RBW	
Factor Diezmado Filtro 1		Sample rate		Sample rate	
Factro Diezmado Filtro 2		Time Res		Time Res	
		Offset		Offset	

Tabla 3					
Resultados de sintonizador con la tercera frecuencia					
PARÁMETROS FILTRO		VISUALIZACIÓN DE VALORES			
Detalle	Valor	Analizador de espectro Señal Modulada	Valor	Analizador de espectro señal Demodulada	Valor
Frecuencia de señal		RBW		RBW	
Factor Diezmado Filtro 1		Sample rate		Sample rate	
Factro Diezmado Filtro 2		Time Res		Time Res	
		Offset		Offset	

II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por favor incluir tres conclusiones obligatorias, tres recomendaciones opcionales y una obligatoria.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

**APLICACIÓN DE UN SISTEMA SDR, PARA
PRÁCTICAS MULTIDISCIPLARIAS EN LA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES.**

MANUAL DEL USUARIO

Versión: 1.0

Fecha: 15-01-2019

TABLA DE CONTENIDOS

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	4
1.1. Precauciones antes del uso del sistema SDR	4
1.2.Recomendaciones para el mantenimiento del RTL-SDR.....	5
INTRODUCCIÓN	6
CONEXIÓN RTL-SDR	7
USO BÁSICO DE MATLAB SIMULINK.....	10
HERRAMIENTAS IMPORTANTES SDR DE LA LIBRERÍA SIMULINK	16
CINTA DE OPCIONES ANALIZADOR DE ESPECTROS	18
COMPONENTES PRINCIPALES DE RECEPTOR FM Y FUNCIONAMIENTO	19
SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MÁS COMUNES	21
SOPORTE TÉCNICO.....	21

CAPÍTULO 2 TABLA DE FIGURAS

Figura 1.MATLAB-SIMULINK	6
Figura 2.RTL-SDR	7
Figura 3.Antenas de RTL-SDR.....	7
Figura 4.Conexión de RTL-SDR paso 1	8
Figura 5.Conexión RTL-SDR: enroscado de pines paso 2	8
Figura 6.Conexión RTL-SDR con ordenador paso 3.....	9
Figura 7.Conexión completa RTL-SDR	9
Figura 8.Ejecución de Matlab-Simulink	10
Figura 9.Interfaz Matlab	11
Figura 10.Ejecución Simulink	11
Figura 11.Interfaz Simulink	12
Figura 12.Opción abrir de Simulink	13
Figura 13.Ventana de simulaciones Simulink	13
Figura 14.Cinta de opciones Simulink.....	14
Figura 15.Íconos importantes de Simulink	14
Figura 16.Librería Simulink.....	15
Figura 17.Configuración de parámetros de simulación.	15
Figura 18.Herramienta RTL-SDR	16
Figura 19.Configuración de parámetros RTL-SDR.....	17
Figura 20.Fuentes para RTL-SDR	17
Figura 21.Salidas de simulaciones	18
Figura 22.Cinta de opciones analizador de espectros	18
Figura 23.Sección de recepción FM	19
Figura 24.Sección de filtrado FM	20
Figura 25.Sección de salida FM.....	20

Universidad	Universidad Tecnológica Israel		
Proyecto	Aplicación de un sistema SDR para prácticas multidisciplinares en la carrera de Telecomunicaciones de la		
Entregable	Manual de Usuario		
Autor	Byron Klever Lisintuña CUchiparte		
Versión/Edición	1.0	Fecha Versión	15-01-2019
Tutor	Mg. René Ernesto Cortijo Levva	Nº Total de Páginas	18

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

1.1. Precauciones antes del uso del sistema SDR

- El primer paso es verificar que ningún cable del RTL-SDR se encuentre en mal estado dado que los valores obtenidos podrían ser incorrectos ya sea por interferencia o recepción y envío de datos incompletos.
- Comprobar que los pines de conexión que componen el RTL-SDR se encuentren en condiciones de uso, visualizar que el pin del USB, y el conector de éste se encuentren con condiciones perfectas para obtener los resultados deseados, además hay que verificar que el conector de la antena que viene en conjunto con el dispositivo USB también se encuentre en condiciones ideales de uso, es decir que estos no se encuentren con fisuras, las roscas de los conectores estén en buen estado, se debe realizar un chequeo general con la finalidad de descartar cualquier inconveniente al momento de realizar las prácticas.
- Antes de iniciar a ejecutar el Matlab se recomienda verificar que se encuentre configurado la carpeta del paquete de herramientas SDR.
- Debido a que el RTL SDR contiene componentes con tecnología CMOS, hay que evitar tocar los pines del dispositivo, ya que la electroestática podría dañar esos componentes y dejar inutilizable al RTL-SDR.
- Evitar forzar la rosca de los pines, se debe realizar el ajuste solo hasta que se requiera cierta fuerza o presión al momento de realizar la conexión del dispositivo.
- Se recomienda utilizar tener el RTL-SDR solo cuando se requiera, dado que éste tiene cierto peso y podría llegar a dañar los conectores USB de los ordenadores por el movimiento continuo del mismo.

1.2.Recomendaciones para el mantenimiento del RTL-SDR

- El dispositivo debe ser guardado en un lugar donde no ingrese humedad, esto con la finalidad de evitar que los componentes internos y los pines de conexión se vean corroídos.
- Se recomienda realizar la limpieza del dispositivo sobre todos los conectores con aire comprimido exclusivo para limpieza de estos componentes electrónicos, otro producto que puede servir es un limpia contactos.
- Se recomienda utilizar la antena correcta dependiendo del uso que se le vaya a hacer o también dependiendo de los resultados que se desea obtener.
- Como recomendación final, hay que desconectar el dispositivo RTL-SDR cuando se terminen de realizar las prácticas respectivas.

INTRODUCCIÓN

1.1.Funcionalidad

La aplicación de este sistema permite el desarrollo y aplicación de nuevos conocimientos que se adquieren en la carrera de las telecomunicaciones, este sistema permitirá tener una realidad más cercana con respecto a las prácticas de laboratorio convencionales que no son tan buenas al momento de aplicar todo lo aprendido.

Este sistema permite al estudiante manipular los componentes que se encuentran configurados en el software a su gusto con la finalidad de obtener mayores conocimientos, dado que puede realizar múltiples pruebas sin el riesgo de que dañe algún componente como ocurre con los equipos convencionales, y su alto costo de reparación o adquisición no permite la manipulación total de los mismos por parte de los estudiantes.

1.2.Componentes

El sistema se básicamente está compuesto de dos componentes principales, la parte del software compuesto por MATLAB-SIMULINK que permitirá el análisis de la señal captada por la antena y posterior paso por el RTL-SDR, y una segunda parte principal que es el hardware compuesto por las antenas y el RTL- SDR.



Figura 1.MATLAB-SIMULINK



Figura 2.RTL-SDR



Figura 3.Antenas de RTL-SDR

El RTL-SDR viene con 3 antenas cada uno con una se utiliza de una manera diferente y para obtener los resultados esperados se recomienda realizar una investigación más a fondo sobre las antenas y sus aplicaciones.

CAPÍTULO 3 CONEXIÓN RTL-SDR

Antes de empezar a realizar cualquier práctica o simulación, se debe realizar la preparación del escenario de trabajo es decir la configuración del hardware y software respectivos.

En primer lugar, hay que realizar la conexión del hardware de manera correcta, para esto se ve a detallar la información correspondiente. El dispositivo RTL-SDR contiene, como se indica en las figuras anteriores un conjunto de antenas y el sintonizador con su conector MXC y USB, estos deben ser conectados como se indica continuación para evitar el daño o la toma de datos incorrectos por parte del sintonizador:

- Realice la conexión del RTL-SDR al ordenador a través de un puerto USB que disponga.

- Conecte una de las antenas omnidireccionales que contiene el kit del dispositivo RTL-SDR, la conexión debe realizarse con precaución, girar las roscas de la antena hasta el tope del conector del RTL-SDR, realizar una mala conexión puede el daño de los conectores o la recepción errada de los datos.
- Una vez conectado el dispositivo proceda con los pasos del siguiente apartado.

En las figuras siguientes se puede observar el proceso correcto para realizar la conexión del RTL-SDR.



Figura 4. Conexión de RTL-SDR paso 1



Figura 5. Conexión RTL-SDR: enroscado de pines paso 2



Figura 6. Conexión RTL-SDR con ordenador paso 3.

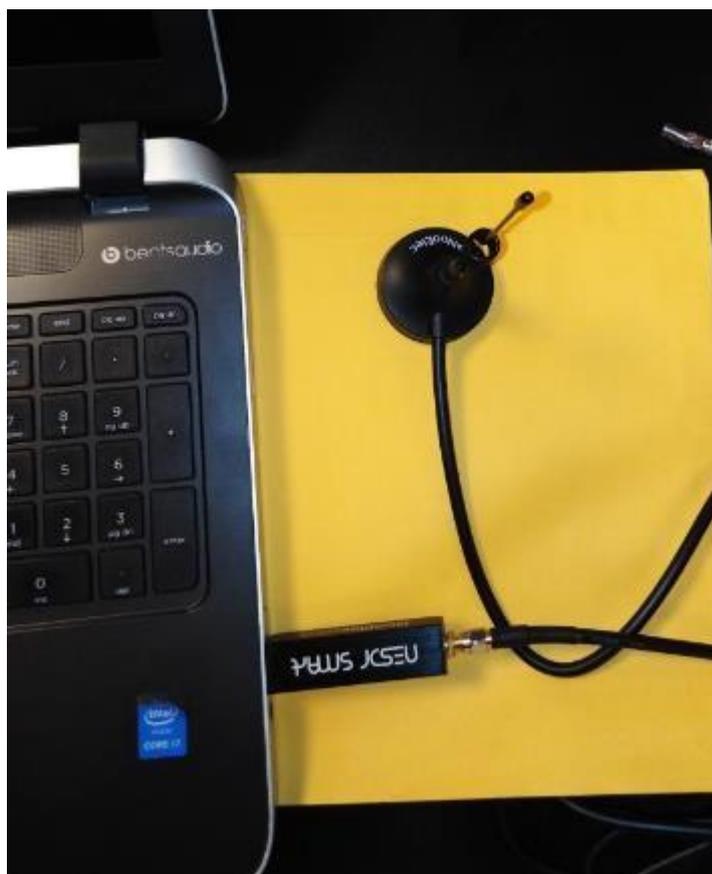


Figura 7. Conexión completa RTL-SDR

USO BÁSICO DE MATLAB SIMULINK

Esta sección muestra el detalle algunos aspectos importantes que debe tomar en cuenta para poder realizar las simulaciones en el programa Matlab-Simulink. A continuación se presenta los procedimientos para iniciar el Software y la ejecución de las simulaciones una vez preparado el hardware.

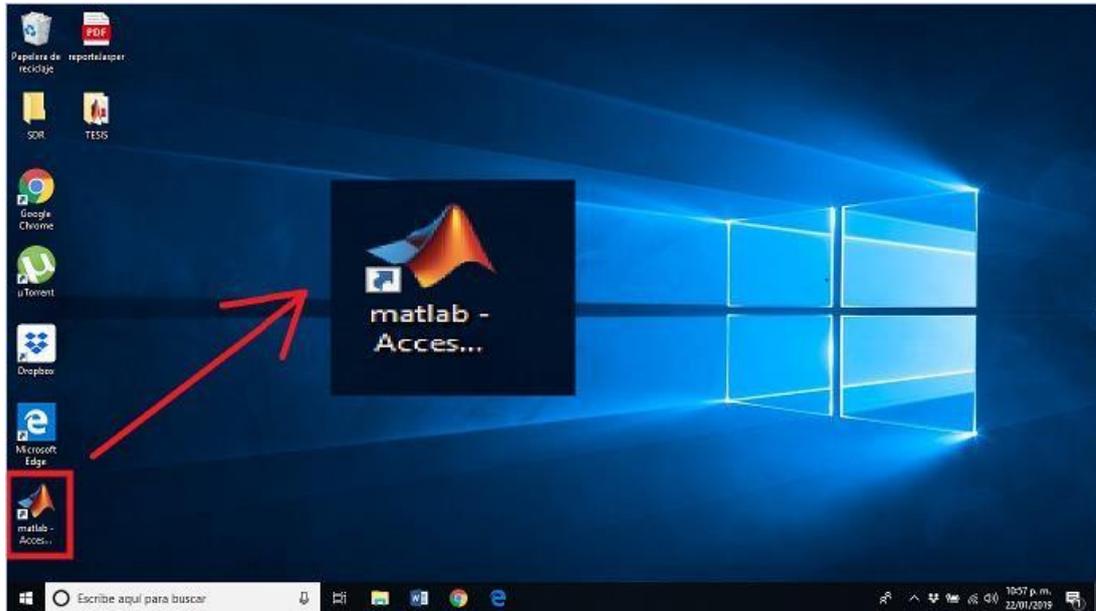


Figura 8.Ejecución de Matlab-Simulink

Para iniciar el programa damos doble clic en el ícono correspondiente a Matlab-Simulink **Ver Figura 8**, el ícono se encuentra en el escritorio del ordenador.

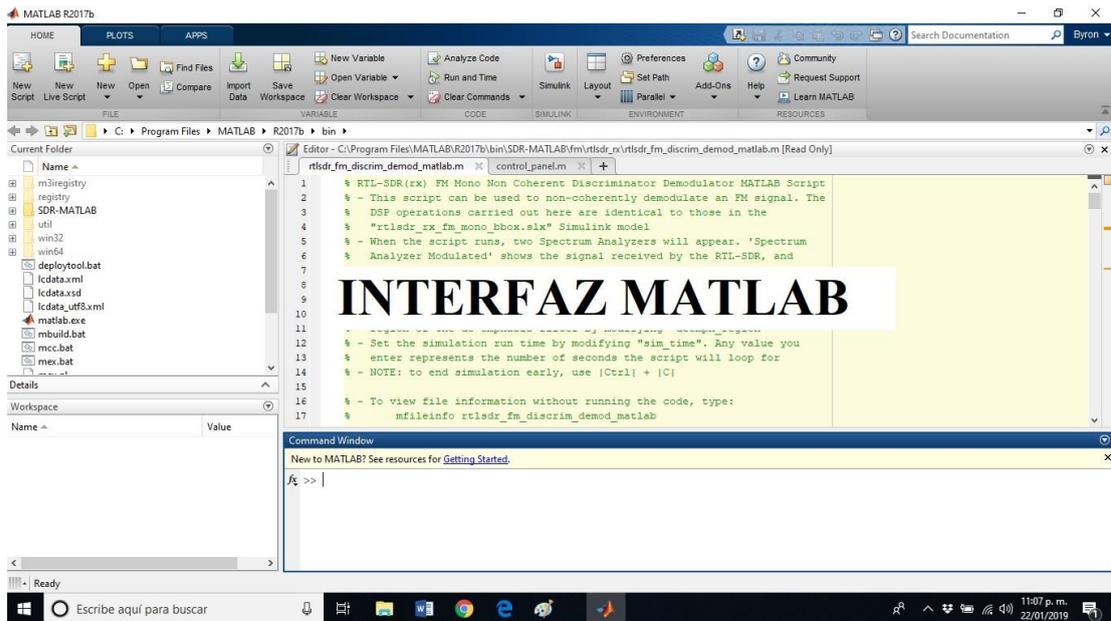


Figura 9. Interfaz Matlab

Una vez ejecutado el programa tendrá la siguiente interfaz de trabajo Ver Figura 9, continúe con el siguiente paso.

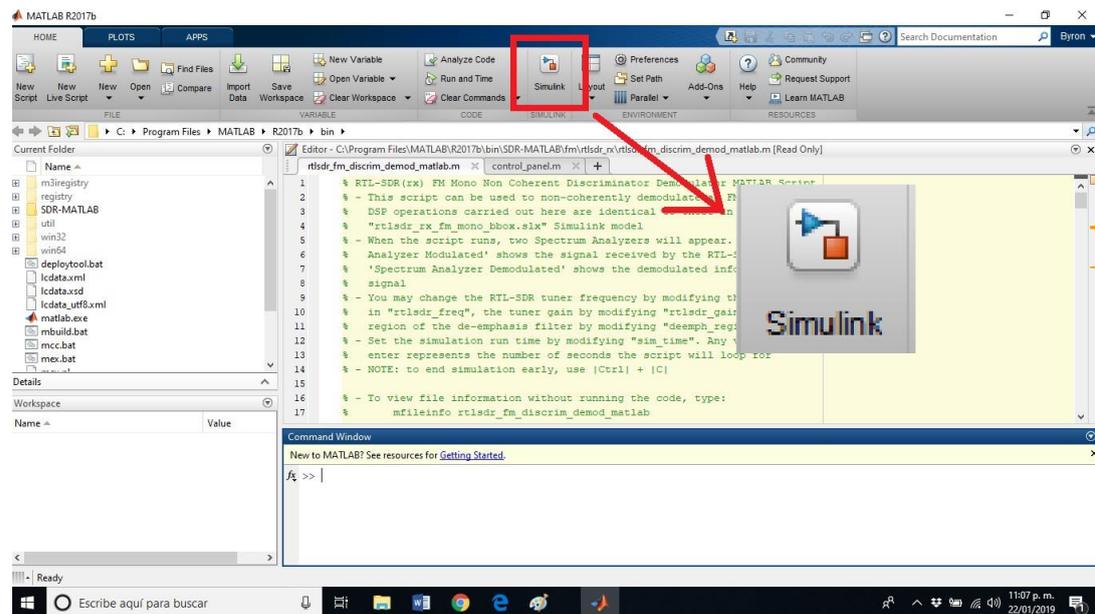


Figura 10. Ejecución Simulink

En la cinta de opciones de Matlab busque el ícono de Simulink para que pueda ejecutar el software. En la **Figura 10** se puede ver el lugar donde está ubicado el ícono mencionado y la forma que tiene este.

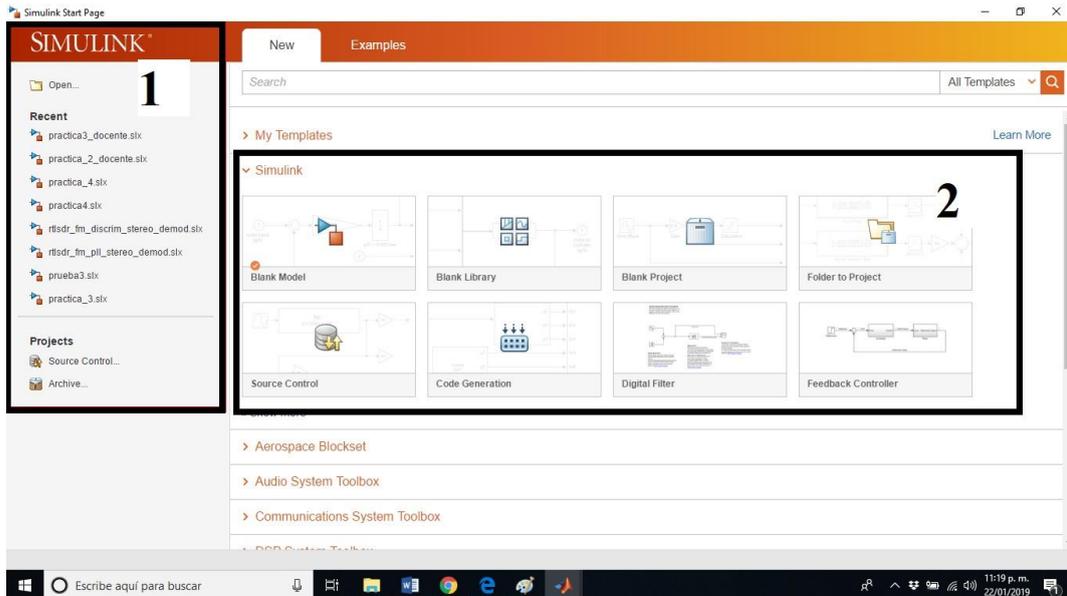


Figura 11. Interfaz Simulink

Al ejecutar Simulink se abre la interfaz del software como indica la **Figura 11**, dentro de la interfaz se puede identificar 2 secciones relevantes, estos están numerados con 1 y 2 respectivamente y se detallan a continuación para que sirva cada uno:

- **Sección 1:** Este sector permite la ejecución de archivos creados con anterioridad, estos pueden ser archivos recientes, proyectos o archivos compatibles con el programa que se encuentran guardados en el ordenador.
- **Sección 2:** El sector 2 se utiliza para realizar nuevas simulaciones en general, al igual que antes estos pueden ser: simulaciones simples, grandes proyectos, o incluso se puede realizar modificaciones a ejemplos ya predefinidos que vienen instalados en el programa.

Para realizar las prácticas es necesario tener las simulaciones creadas, estas deben estar guardadas en el ordenador en la ubicación deseada por la persona que realizó los diseños de las simulaciones, para ello se va a hacer uso de la **sección 1** del interfaz de Simulink, dar clic en **Open** y escoger el archivo o simulación que desee ejecutar, tal cual se indica en la **Figura 12**.

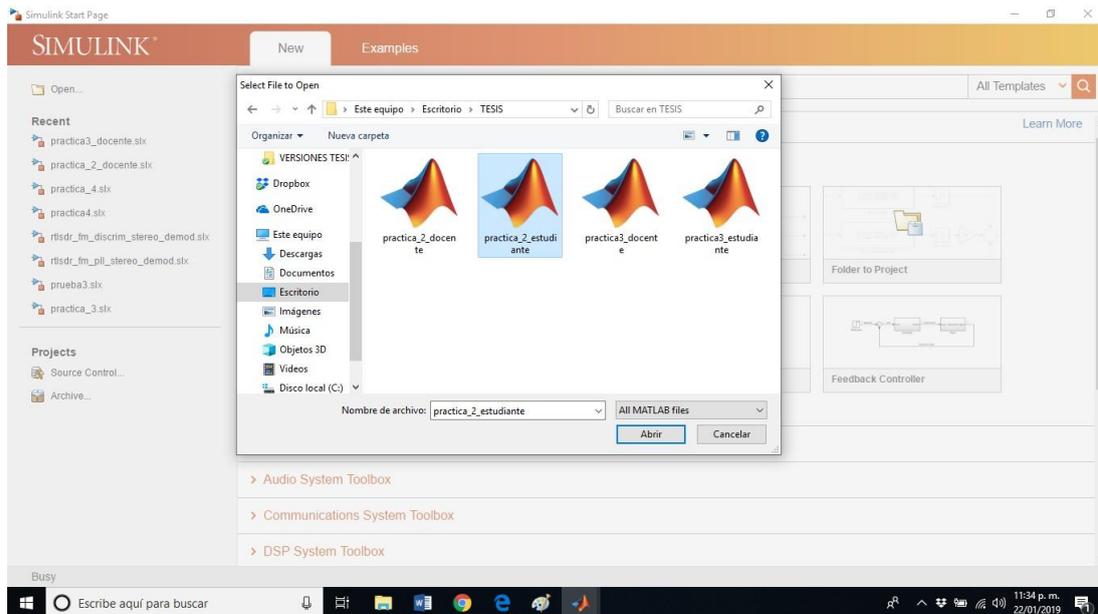


Figura 12. Opción abrir de Simulink

Al abrir cualquier simulación se obtendrá una ventana similar a la mostrada a continuación en la **Figura 13**.

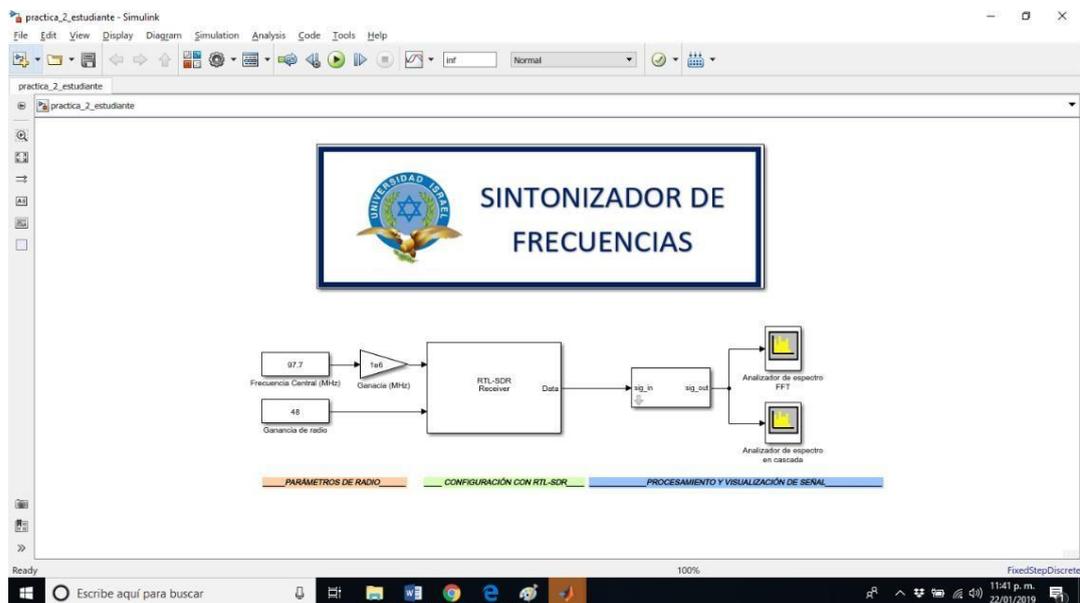


Figura 13. Ventana de simulaciones Simulink

Al igual que muchos de los softwares Simulink tiene una cinta de opciones como se ve en la **Figura 14**, en esta sección se encuentran los íconos respectivos para realizar simulaciones, insertar herramientas, realizar configuraciones, modificaciones etc.,



Figura 14. Cinta de opciones Simulink

Para tener más claro el uso de este software al momento de crear y realizar simulaciones se detalla a continuación algunos de los íconos más importantes con la función que realiza cada uno **ver Figura 15**:



Figura 15. Íconos importantes de Simulink

- **Crear (Create):** Permite realizar un nuevo trabajo usando las configuraciones de fábrica.
- **Abrir (Open):** Permite abrir un archivo existente en el ordenador.
- **Guardar (Save):** Este ícono guarda los trabajos o modificaciones realizadas.
- **Librería (Library Browser):** Ejecuta la librería que se encuentra instalado y configurado en el Simulink., la ventana que aparecerá si da clic en ese ícono será como el de la **Figura 16**.

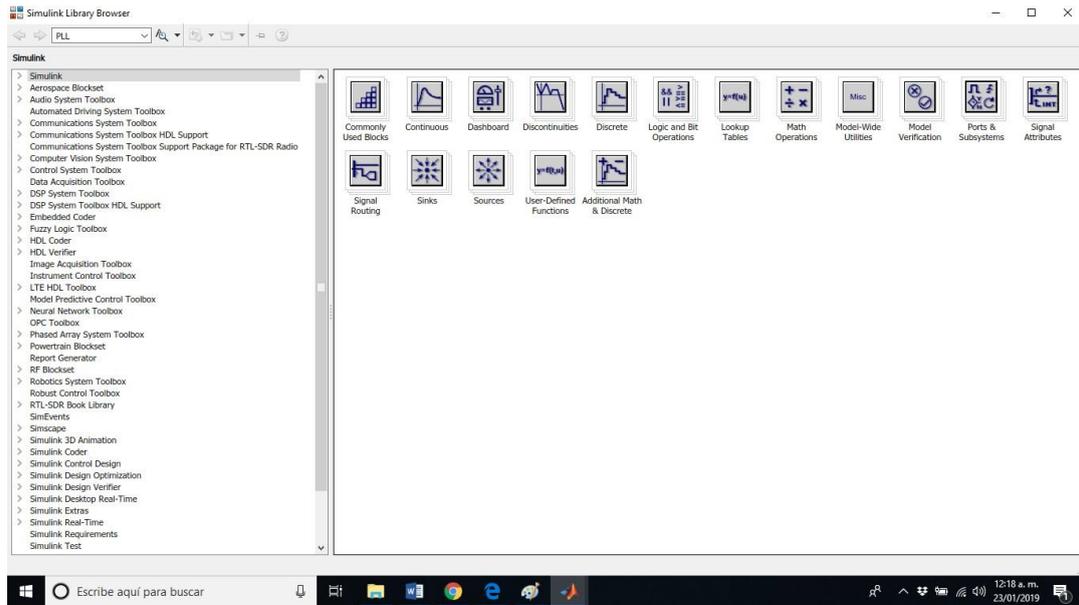


Figura 16. Librería Simulink

- **Configuración (Configuration):** Permite configurar los parámetros de simulación de toda la práctica, la mayoría de los errores que se generan al instante de correr las simulaciones se pueden resolver siguiendo las sugerencias del simulador al momento de generar y cambiando los parámetros de configuración, en la **Figura 17**. Se puede observar la ventana correspondiente a los parámetros de configuración.

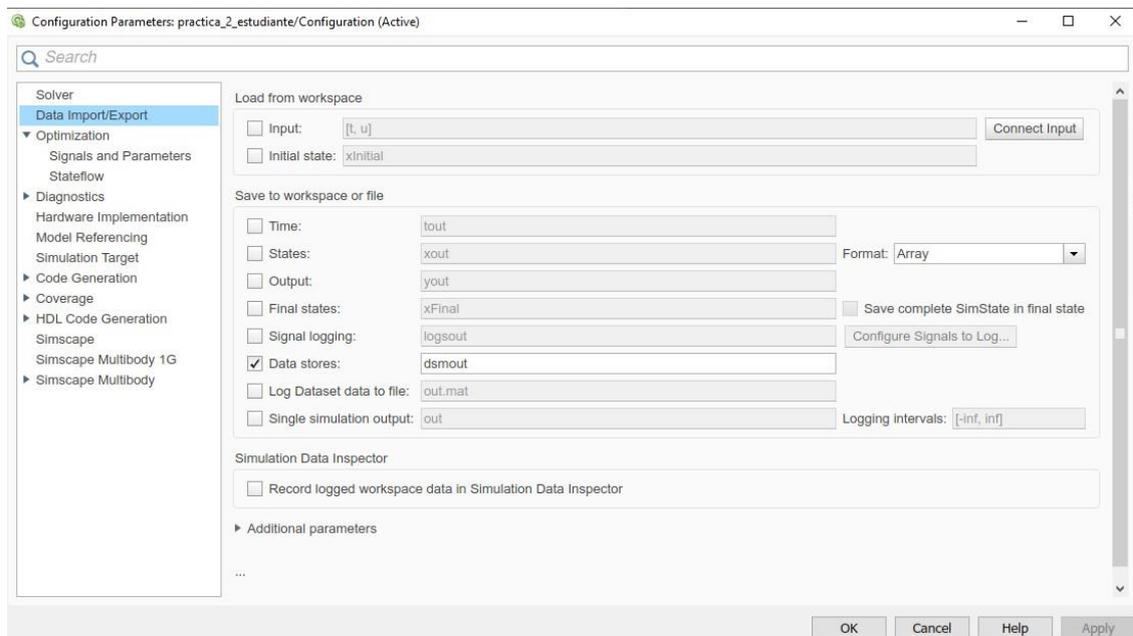


Figura 17. Configuración de parámetros de simulación.

- **Ejecutar (Run):** Este icono permite ejecutar la simulación, el mismo ícono va a permitir pausar o detener la simulación.
- **Tiempo de ejecución (Stop Time):** Define la duración de la simulación que desea configurar en segundos, en caso de requerir una simulación sin final debe poner la palabra inf.
- **Tipo de ejecución (Simulation mode):** Este ícono permite cambiar la velocidad de toma de la muestra para las simulaciones, en el caso de utilizar el RTL-SDR se recomienda trabajar en modo Rapid Accelerator.

HERRAMIENTAS IMPORTANTES SDR DE LA LIBRERÍA SIMULINK

En este apartado se detallan los bloques más importantes para las simulaciones, en caso de que por accidente se borren las configuraciones de las herramientas de las simulaciones, si se desea configurar nuevos parámetros o incluso se desea crear nuevas simulaciones hay que tomar los siguientes elementos que componen la configuración básica de un sistema SDR.

Toda simulación de sistemas SDR va estar compuesto por el componente principal, esta herramienta se encuentra en la librería de Simulink en la sección **Communications System Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio** como indica la **Figura 18**.

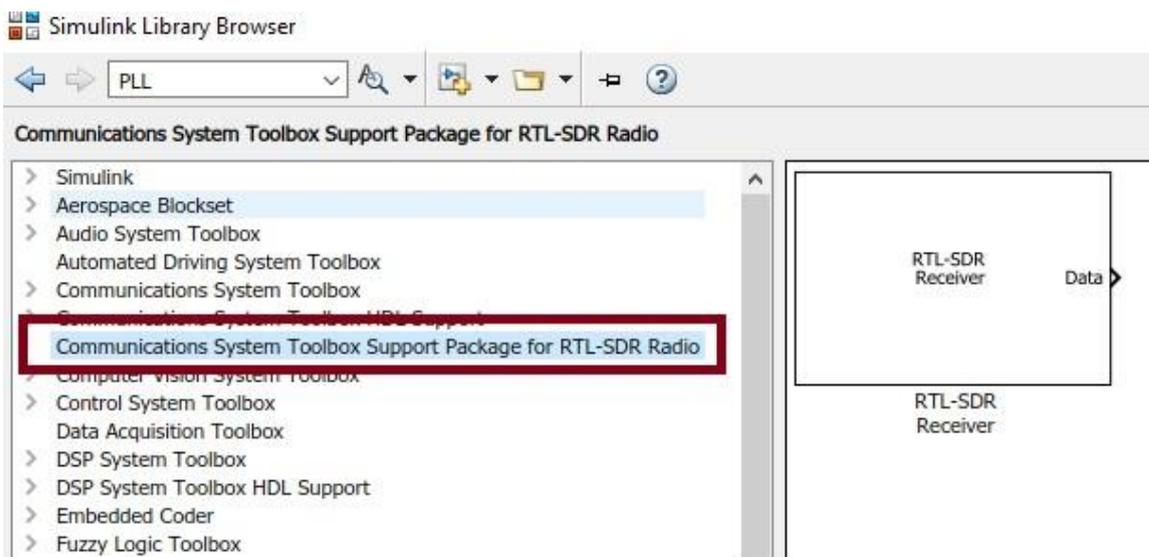


Figura 18.Herramienta RTL-SDR

Una vez seleccionado la herramienta, se debe realizar las respectivas configuraciones

para ello hay que realizar las modificaciones tal cual indica la **Figura 19** .Pueden cambiar los valores de **Sampling Rate** y **Samples per Frame**, estos valores pueden ir de acuerdo a las necesidades de cada usuario.

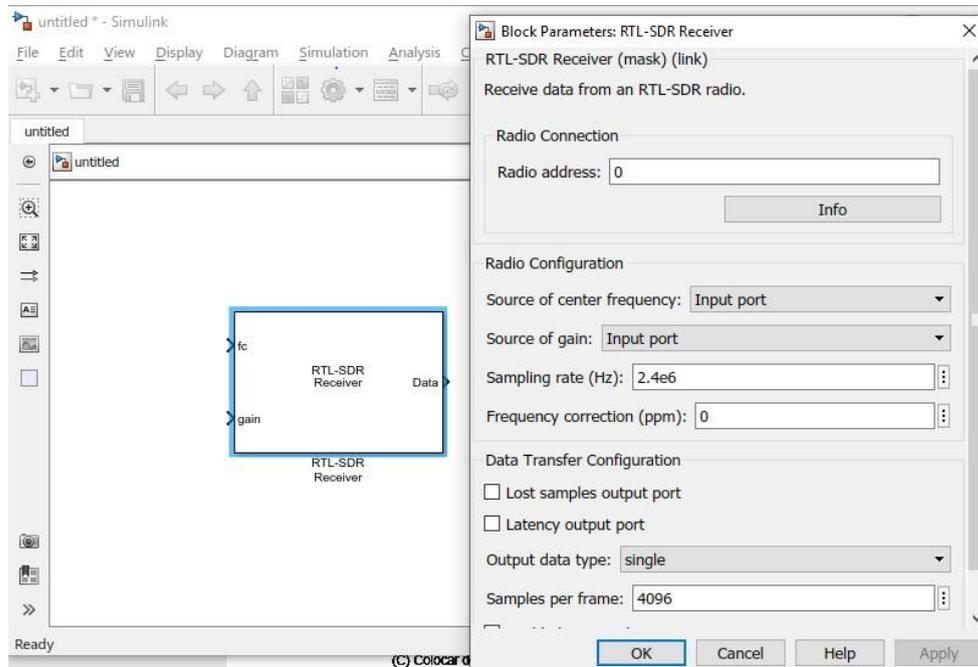


Figura 19.Configuración de parámetros RTL-SDR

Otra sección en la configuración del software son los bloques de frecuencia central y ganancia del receptor, para ello, dirigirse a la **librería de herramientas**- sección **Simulink** – **Source** escoger el bloque **Constant** como indica la **Figura 20**, en cuanto a las configuraciones solo debe proceder a configurar los valores de la frecuencia de entrada en Hz y la ganancia respectiva en dB.

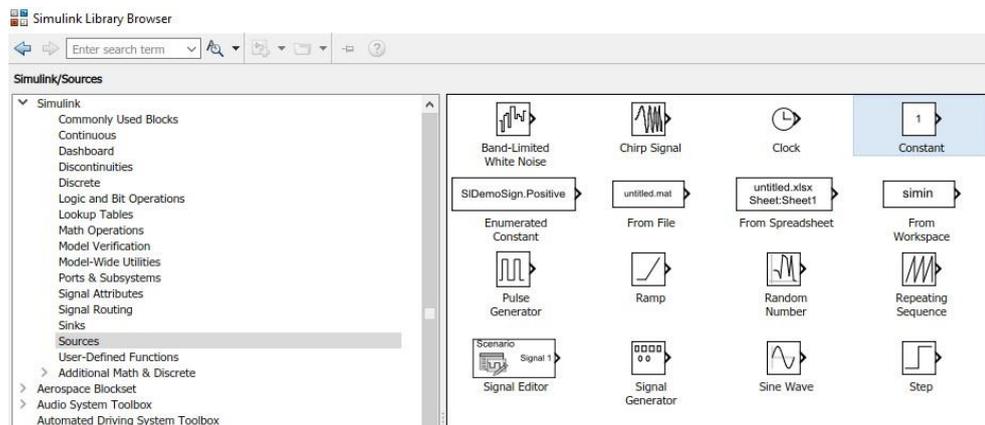


Figura 20.Fuentes para RTL-SDR

Finalmente hay una última sección que es la de salida de la señal, para esto hay que

tomar en cuenta que tipo de simulación se está realizando, es decir si solo se desea visualizar los valores a través de un visualizador de espectros, salida de audio a través de parlantes o incluso la visualización de video para casos especiales, en el caso de los sistemas SDR casi siempre se van a utilizar **salidas de audio y analizadores de espectro**, estos bloques se encuentran en la **librería de simulink- DSP System Toolbox-Sinks** como indica la **Figura 21**.

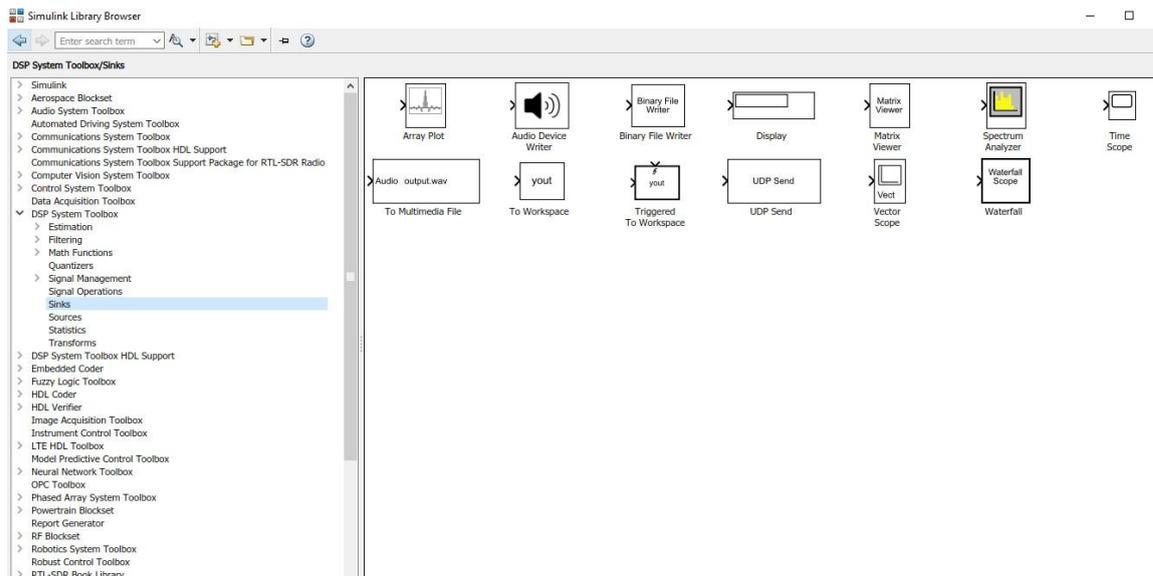


Figura 21.Salidas de simulaciones

CINTA DE OPCIONES ANALIZADOR DE ESPECTROS

Para poder entender de mejor manera la lectura de los resultados hay que utilizar la cinta de opciones que tiene el analizador de espectros, este tiene los siguientes íconos y se describirán las funciones de cada uno a continuación:

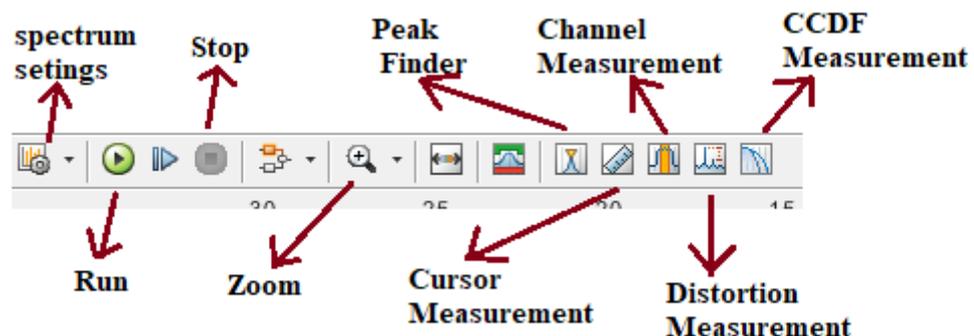


Figura 22.Cinta de opciones analizador de espectros

- **Spectrum Settings:** En este ícono se realizan las configuraciones de los parámetros que se desea medir y visualizar,
- **Run:** Permite correr la simulación.
- **Stop:** Detiene por completo la simulación.
- **Zoom:** Permite aumentar o disminuir la gráfica mostrada en el analizador de espectros.
- **Peak Finder:** Visualiza los picos en dBm de la señal captada.
- **Cursor Measurement:** Sirve para medir el SPAM de la frecuencia deseada.
- **Channel Measurement:** Permite Visualizar el ancho del canal utilizado desde la frecuencia central a sus laterales.
- **Distortion Measurement:** Permite visualizar el factor de distorsión en la señal captada.
- **CCDF Measurement:** Calcula la función de distribución acumulativa complementaria de potencia (CCDF) a partir de una señal de dominio de tiempo

COMPONENTES PRINCIPALES DE RECEPTOR FM Y FUNCIONAMIENTO

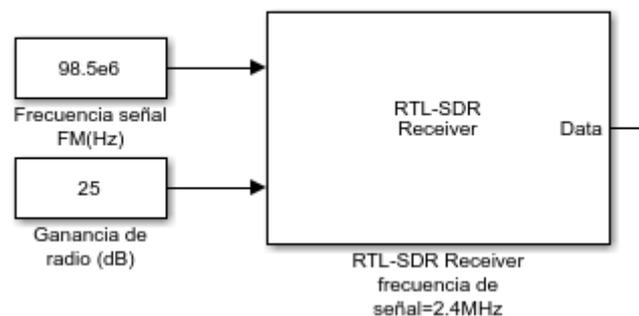


Figura 23. Sección de recepción FM

- **Sección de recepción de señal:** Permite visualizar el factor de distorsión en la señal captada.

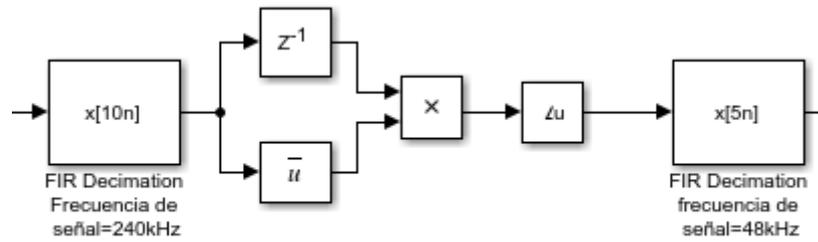


Figura 24. Sección de filtrado FM

- **Sección de Filtrado:** Permite visualizar el factor de distorsión en la señal captada. El bloque implementa el filtro FIR utilizando una estructura de filtro polifase.
- Retrasar la señal de entrada en un número especificado de muestras.
- Funciones matemáticas que incluyen funciones logarítmicas, exponenciales, de potencia y de módulo. Cuando la función tiene más de un argumento, el primer argumento corresponde al puerto de entrada superior (o izquierdo).
- Multiplicar o dividir entradas. Elija un elemento o un producto matricial y especifique uno de los siguientes:
 - a) * o / para cada puerto de entrada. Por ejemplo, ** / * realiza la operación 'u1 * u2 / u3 * u4'.
 - b) escalar especifica el número de puertos de entrada que se multiplicarán.
- Si solo hay un puerto de entrada y el parámetro Multiplicación se establece en Elemento-sabio (. *), Un solo * o / colapsa la señal de entrada usando la operación especificada. Sin embargo, si el parámetro de multiplicación se establece en Matrix (*), un solo * hace que el bloque genere la matriz sin cambios, y un solo / provoca que el bloque genere la matriz inversa.

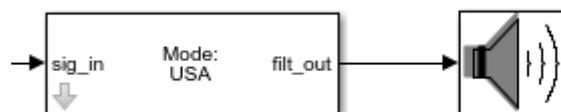


Figura 25. Sección de salida FM

El filtro de énfasis es un filtro IIR de paso bajo, cuyo punto de corte depende de la región seleccionada con el botón de opción que se encuentra debajo. Cuando la región se establece en "Europa, Asia", f_c se define como 3183.1Hz, y cuando se establece en "Estados Unidos", f_c se define como 2122.1Hz. Estos valores se relacionan con las constantes de temporización del filtro analógico de $75\mu s$ y $50\mu s$ respectivamente. Es importante que ingrese la frecuencia de muestreo de la señal de entrada, ya que sin esto los coeficientes de filtro calculados serán incorrectos.

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MÁS COMUNES

- Si al momento de ejecutar las simulaciones Matlab-Simulink emite algún tipo de error verifique el error y proceda a seguir los pasos de resolución del mensaje.
- Cuando observa que los valores de medición en las salidas son inconsistentes verifique los conectores de todo el sistema SDR.
- Si el Matlab-Simulink no reconoce el dispositivo RTL-SDR, verifique que éste se encuentre conectado de manera correcta al ordenador.
- Si el problema anterior persiste, pruebe reinstalando el driver del RTL-SDR
- Si a pesar de ello no se solventa el problema, realice una actualización de su sistema operativo y ejecute el programa Matlab.Simulink como Administrador y en modo compatibilidad de programas con W7.
- Si al momento de realizar las simulaciones no se pueden obtener los valores deseados cambie el modo de simulación normal a acelerado para que la captación de muestras sea más óptima y rápida.
- Si el problema anterior persiste, pruebe realizando un cambio de configuración en el ordenador, active todos los núcleos del procesador y reinicie el equipo completo, una vez que procedió a realizar el paso anterior ejecute nuevamente el programa.

SOPORTE TÉCNICO

Nombre: Byron Lisintuña

Correo: byronlis2009@hotmail.com