



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE ANÁLISIS  
ESPECTRAL DE LA BANDA 88-108 MHZ MEDIANTE UN SISTEMA SDR  
(RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE) PARA ESTACIONES DE  
RADIODIFUSIÓN SONORA

AUTOR

Richard Javier Quel Hermosa

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE ANÁLISIS  
ESPECTRAL DE LA BANDA 88-108 MHZ MEDIANTE UN SISTEMA SDR  
(RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE) PARA ESTACIONES DE  
RADIODIFUSIÓN SONORA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y  
Telecomunicaciones.

Profesor Guía

Msc. Iván Ricardo Sánchez Salazar

Autor

Richard Javier Quel Hermosa

Año

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Implementación de un sistema didáctico de análisis espectral de la banda 88-108 MHz mediante un sistema SDR (Radio definido por software) para estaciones de radiodifusión sonora, a través de reuniones periódicas con el estudiante Richard Javier Quel Hermosa, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Iván Ricardo Sánchez Salazar', written over a horizontal line.

Iván Ricardo Sánchez Salazar

Magister en Calidad Seguridad y Ambiente

CI: 1803456142

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Implementación de un sistema didáctico de análisis espectral de la banda 88-108 MHz mediante un sistema SDR (Radio definido por software) para estaciones de radiodifusión sonora, del estudiante Richard Javier Quel Hermosa, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



---

Carlos Enrique Carrion Betancourt

Magister en Telecomunicaciones

CI: 1103738074



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”



---

Richard Javier Quel Hermosa

CI: 1722731435

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por bendecirme y permitirme terminar una etapa importante en mi vida.

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a su apoyo que siempre me han dado en todo momento he logrado llegar hasta esta etapa final de mis estudios universitarios.

A mis hermanos por estar siempre presentes, por los consejos y las motivaciones que me han dado a lo largo de toda la etapa de mi vida, de verdad muchas gracias.

Finalmente agradezco a mis amigos, por los buenos momentos que hemos pasado en toda la etapa universitaria, que Dios siempre nos bendiga y logremos alcanzar muchos éxitos.

## RESUMEN

Este trabajo de titulación está conformado por las etapas de diseño, implementación y pruebas de un sistema didáctico de análisis espectral para estaciones de radiodifusión sonora de la banda 88-108MHZ.

El objetivo de esta implementación es ayudar en la formación académica de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones por medio de la elaboración de un analizador de espectros en *software*, que les permita ver y realizar medidas del espectro radioeléctrico de una frecuencia central sintonizada.

En primer lugar, se conocerá los principales dispositivos de SDR disponibles en el mercado y sus respectivas características de recepción y compatibilidad de *software*, al igual que los requerimientos de *software* y *hardware* para la implementación del SDR (Radio definida por *software*).

Posteriormente, se explicará los respectivos procedimientos y parámetros de configuración, para realizar el diseño y la implementación del analizador espectral de las frecuencias FM; este prototipo se probará en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad de Las Américas y en varias zonas de la ciudad en base a la simulación del área de cobertura de una estación FM con los parámetros técnicos de operación.

Esta implementación puede usarse como referencia en futuras implementaciones e investigaciones que tengan como objetivo ampliar el alcance que ofrece esta implementación en la educación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones de la Universidad de Las Américas, para el crecimiento de la formación académica.

## **ABSTRACT**

This titling work is made up of the stages of design, implementation and testing of a didactic system of spectral analysis for broadcasting stations in the band 88-108MHZ.

The objective of this implementation is to help in the academic training of the students of the Network and Telecommunications Engineering degree by means of the elaboration of a spectra analyzer in software, which allows them to see and measure the radio spectrum of a tuned central frequency.

In first place, the main SDR devices available in the market and their respective software reception and compatibility features will be known, as well as the software and hardware requirements for the implementation of the SDR (Software Defined Radio).

Later, the respective procedures and configuration parameters will be explained, to perform the design and implementation of the FM frequency spectral analyzer; This prototype will be tested in the Telecommunications laboratory of the University of the Americas and in several areas of the city based on the simulation of the coverage area of a FM station with the technical parameters of operation.

This implementation can be used as a reference in future implementations and research that aims to expand the scope offered by this implementation in the education of the students of the Network and Telecommunications Engineering degree at the University of Las Americas, for the growth of academic training.

# ÍNDICE

1. Capitulo I. Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Alcance .....	3
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
2. Capitulo II. Marco Teórico.....	5
2.1 SDR (Radio definido por <i>software</i> ) .....	5
2.2 Dispositivos de <i>Hardware</i> SDR.....	6
2.2.1 Dispositivo SDR USRP .....	6
2.2.2 Dispositivo RTL-SDR .....	8
2.2.3 Dispositivo HackRF One SDR .....	10
2.3 <i>Softwares</i> para SDR .....	12
2.3.1 MATLAB .....	13
2.3.2 Simulink .....	14
3. Capitulo III. Análisis del Sistema SDR .....	17
3.1 Variables de Entrada .....	19
3.1.1 Antenas del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR .....	19
3.1.2 Receptor Nooelec RTL-SDR.....	21
3.1.2.1 Señales RF del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR.....	21
3.1.2.2 Dimensiones del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR.....	22
3.1.2.3 Case del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR.....	23
3.1.2.4 Montaje de antena, cable, conector SMA del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR.....	24
3.1.3 Computador .....	25
3.2 Variables de Salida .....	26
3.2.1 Computador y Parlantes .....	26

3.3	Requerimientos de <i>Hardware</i> .....	26
3.3.1	RTL-SDR NooElec Smart Receiver .....	26
3.3.2	Requerimientos del computador .....	27
3.4	Requerimientos de <i>Software</i> .....	28
3.4.1	MathWorks MATLAB & Simulink.....	28
3.4.2	Paquete de soporte de <i>hardware</i> MathWorks RTL-SDR .....	29
3.5	Diagrama de Bloques RTL-SDR.....	30
3.6	Operación del dispositivo RTL-SDR .....	31
3.7	Combinación Rafael Micro R820T / Realtek RTL2832U.....	33
4.	Capitulo IV. Diseño .....	33
4.1	Esquema del Diseño.....	34
4.2	Modulación FM .....	35
4.3	Recepción y Conversión de señales FM a banda base .....	35
4.4	Demodulación de señales de estaciones de radio FM.....	37
4.5	Diseño en Simulink .....	37
4.5.1	Frecuencia Central y Ganancia del Sintonizador .....	39
4.5.2	Receptor RTL-SDR.....	41
4.5.3	Discriminador de frecuencia compleja a 220 KHz .....	44
4.5.4	<i>Delay</i> .....	47
4.5.5	Función Matemática.....	50
4.5.6	Producto .....	51
4.5.7	Complejo a ángulo de magnitud .....	53
4.5.8	Discriminador de frecuencia compleja a 48 KHz. ....	54
4.5.9	Filtro de estandarización FM.....	57
4.5.10	Analizador de Espectro .....	59
4.5.11	<i>Time Scope</i> (Alcance del tiempo) .....	60
4.5.12	Audio.....	63
5.	Capitulo V. Implementación.....	63
5.1	Instalar el <i>software</i> MATLAB & Simulink .....	63
5.2	Instalar y configurar el dispositivo RTL-SDR .....	64
5.3	Conexión y verificación del dispositivo RTL-SDR.....	64

5.4 Inicializar Simulink.....	65
5.5 Crear nuevo modelo en Simulink.....	65
5.6 Insertar bloques en Simulink .....	66
5.7 Insertar Receptor RTL-SDR.....	67
5.8 Insertar Constantes.....	68
5.9 Insertar discriminador de frecuencia compleja .....	68
5.10 Insertar retraso .....	69
5.11 Insertar función matemática .....	70
5.12 Insertar producto .....	71
5.13 Insertar Complejo a ángulo de magnitud.....	72
5.14 Insertar Filtro de estandarización FM.....	72
5.15 Insertar Analizador de Espectros .....	73
5.16 Insertar Alcance del tiempo .....	74
5.17 Insertar Audio.....	75
5.18 Ejecución del diseño .....	76
5.19 Analizador de Espectros de Frecuencia Modulada .....	77
5.20 Analizador de Espectros de Frecuencia Demodulada .....	83
5.21 Análisis del <i>Time Scope</i> .....	85
<b>6. Capitulo VI. Resultados y pruebas de funcionamiento.....</b>	<b>87</b>
6.1 Configuración del Analizador de espectros FieldFox N9912A.....	88
6.2 Medición de potencia de la frecuencia central .....	89
6.3 Medición del Ancho de Banda Ocupado.....	90
6.4 Medición de la potencia del canal .....	92
6.5 Medición de los picos más altos en la frecuencia de muestreo 2.4 MHz.....	94
6.6 Simulación en Radio Mobile y área de cobertura .....	98
6.7 Pruebas de campo con el Analizador de Espectros de <i>Software</i> . .....	102

7. Conclusiones y recomendaciones.....	111
7.1 Conclusiones.....	111
7.2 Recomendaciones.....	114
Referencias.....	117
Anexos.....	121



## 1. Capítulo I. Introducción

### 1.1 Antecedentes

Desde los inicios de los sistemas que están involucrados en la radiocomunicación, han venido siendo implementados únicamente en *hardware*, es decir que permite realizar procedimientos para un tipo específico de operación, ya que estos sistemas vienen acompañados de un determinado diseño, en el cual no se pueden modificar varios parámetros como el ancho de banda y el tipo de modulación, para poder modificar estos parámetros se debe cambiar algunos módulos que están integrados en el *hardware*.

En la actualidad, con el avance de la tecnología en el área de la informática, se ha logrado obtener varias herramientas de programación de alta velocidad y de bajo costo económico, logrando de esta manera que varios componentes de radio puedan ser implementados por medio de *software*, permitiendo obtener fácil portabilidad y muchas otras ventajas.

Por lo tanto, una radio definida por *software* en la actualidad es utilizado para la creación de transmisores o receptores que funcionen para diferentes tipos de señales, debido a que en la SDR varias funciones de la capa física son específicamente controladas por medio de *software*, logrando de esta manera agregar varias funciones nuevas, sin tener que reemplazar por un nuevo dispositivo de *hardware*. (Muñoz, 2017).

En la SDR se puede implementar varias funciones como filtros para el procesamiento de señales, al igual que moduladores y demoduladores de señal para poder sintonizar las señales por medio de ecualizadores, y entre muchas otras funciones. Existen varios tipos de funciones en las que se puede trabajar

con las SDR, debido a que las funciones se encuentran definidas por medio de operaciones matemáticas que son implementadas en varios elementos programables. (Muñoz, 2017).

La radio definida por *software* es representada como un receptor de acuerdo a la Figura 1, en el cual las señales analógicas que se encuentran transmitidas en el aire son recibidas por medio de una antena, en el cual se amplifica esa señal debido a que es una señal débil, para después pasar por medio de un convertidor de señal analógica a digital (A/D), permitiendo de esta manera realizar un procesamiento digital de las señales, el cual se encarga de extraer la información necesaria de la señal de radiofrecuencia, para lo cual se debe realizar un proceso de demodulación de la señal y puede que se necesite nuevamente convertir a señal analógica, en el caso de que la recepción sea señales de voz. (Muñoz, 2017).

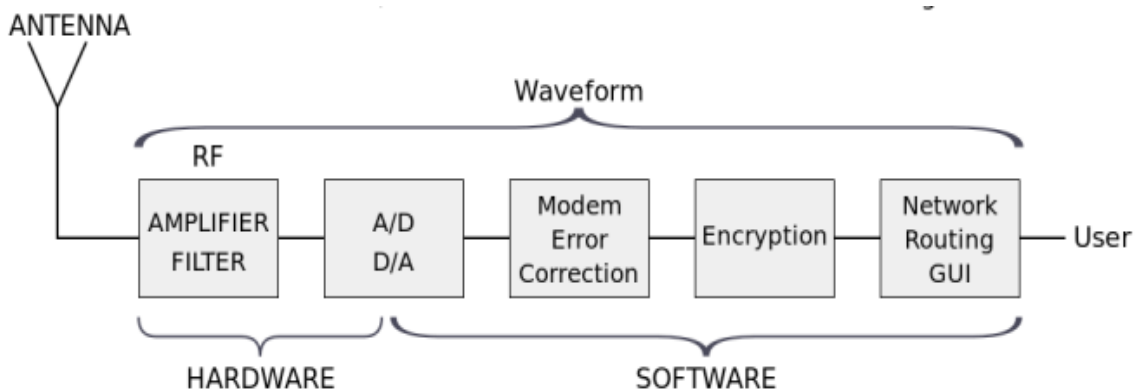


Figura 1. Diagrama esquemático de un radio definido por *software*.

Tomado de (Kennedy, 2016).

El SDR es una herramienta de uso ilimitado, que dentro de determinados márgenes es muy factible su uso, convirtiéndose en una plataforma económica que está en constante desarrollo y utilizado mundialmente para fines educativos.

La comprensión y análisis del espectro radioeléctrico y sus frecuencias que la conforman es de vital importancia para los alumnos de la carrera de telecomunicaciones de la Universidad de Las Américas, ya que permite que los estudiantes tengan una formación integral sobre esta temática. El principal inconveniente que se genera en la formación de los estudiantes es el acceso a los equipos de medición, que en este caso sería el analizador de espectros, debido a su alto costo, por lo que se genera la necesidad de buscar alternativas económicas para suplir los equipos de análisis de frecuencias, que para este caso la mejor alternativa de solución es el uso de Radio Definido por *Software*.

## **1.2 Alcance**

Implementar un simulador que analice el espectro radioeléctrico en la banda 88 a 108 MHz mediante la utilización de una radio controlada por *software*.

Para el efecto la radio será controlado por un lenguaje de alto nivel que receptorá los datos que ingrese el usuario, para que posteriormente la SDR sintonice la frecuencia definida con los datos adicionales del caso. Simulando un analizador de espectro el que permitirá ver la potencia, ancho de banda, canales vecinos y un espectrograma.

Utilizando los parámetros medidos por el *software* se realizará el análisis de datos simulando la cobertura en RadioMobile con una frecuencia comercial de la ciudad de Quito, posteriormente se comparan los datos obtenidos mediante un analizador de espectros y los parámetros técnicos registrados en la ARCOTEL, para evidenciar el funcionamiento del presente trabajo.

## **1.3 Justificación**

La mejor técnica de enseñanza a los estudiantes es mediante el uso de herramientas de *hardware* y *software* que le permitan comprender de mejor manera la teoría impartida por el docente; sin embargo, el alto costo de equipos de medición en el campo de las telecomunicaciones hace imposible proveer a cada estudiante de los mismos.

Por lo que, se hace necesario buscar alternitas que permitan suplir mediante *software* varios de los equipos de *hardware*. Es ahí donde el Radio definido por *Software* toma protagonismo ya que se puede suplir equipos y abaratar costos para la Universidad, permitiendo que cada estudiante puede tener acceso a un analizador de espectro de bajo costo, y de esta manera pueda reforzar los conocimientos adquiridos mediante la teoría impartida por los docentes en la Facultad de Ingeniería de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Las Américas.

Finalmente, la comprensión y uso de quipos de Radio definido por *Software* abre un abanico de oportunidades para que en futuros proyectos de investigación que realice la Universidad se analicen diferentes gamas de frecuencias del espectro radioeléctrico.

## **1.4 Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivo general.**

Implementar un sistema de análisis espectral de la banda 88-108 MHz mediante un sistema SDR (Radio definido por *software*) para visualizar los parámetros del espectro radioeléctrico en estaciones de radiodifusión sonora.

### 1.4.2 Objetivos específicos.

- Levantar línea base para identificar el *hardware* y *software* necesario que permitan desarrollar el SDR y verificar la disponibilidad en el mercado.
- Analizar cuál es la mejor opción en el dispositivo SDR para el rango de frecuencias (88-108 MHz) considerando las variables de entradas y salidas tanto para el *hardware* y *software* que serán utilizados en el diseño del sistema SDR.
- Diseño del sistema para el análisis espectral de la banda de frecuencias 88-108 MHz mediante un sistema SDR.
- Implementar el sistema de análisis espectral en la banda 88-108 MHz para visualizar los parámetros del espectro radioeléctrico en estaciones de radiodifusión sonora.
- Realizar las pruebas del sistema utilizando simulador de una estación FM que opere en la ciudad de Quito con los parámetros técnicos registrados en la ARCOTEL y contrastar los datos simulados con los prácticos y con los resultados obtenidos de un analizador de espectro real.
- Realizar un manual de pruebas didáctico donde se evidencie los parámetros a configurar en el sistema SDR.

## 2. Capítulo II. Marco Teórico

### 2.1 SDR (Radio definido por *software*)

Los SDR se encargan principalmente de transformar todos los datos analógicos recibidos a digitales, para ser procesados en un computador que disponga un *software* de alto nivel.

Anteriormente los equipos de radio en las telecomunicaciones estaban enganchados en su gran mayoría a las radios tradicionales de *hardware*, debido

a que las operaciones matemáticas requeridas para la decodificación y procesamiento de las señales de radio se lo conseguía únicamente utilizando circuitos analógicos. Pero con el avance de la tecnología en la actualidad se ha logrado obtener computadoras con un desenvolvimiento en cuanto a procesador y memoria muy aceptables, siendo así lo suficientemente potentes como para lograr realizar cálculos matemáticos requeridos en el *software*, por lo que ahí nace el termino de radio definida por *software*. Debido a esto se ha logrado que las radios avanzadas que anteriormente requerían únicamente *hardware* analógico complicado, ahora se lo pueda implementar fácilmente en *software*, permitiendo de esta manera lograr reducir los costos de los equipos de las radios avanzadas. (RTL-SDR.COM, s. f.).

## **2.2 Dispositivos de *Hardware* SDR**

Actualmente con la evolución de la tecnología y de los equipos SDR, se ha logrado obtener una diversidad de dispositivos en el mercado que realizan las mismas funciones o similares que los demás, con la principal diferencia en los rangos de frecuencia que estos soportan para trabajar y la compatibilidad con los componentes de *software* para su operación, sin dejar de lado el costo económico que tiene cada uno de estos dispositivos.

### **2.2.1 Dispositivo SDR USRP**

Entre los diferentes tipos de *hardware* de dispositivos de radio definido por *software* se encuentran los USRP que combinan procesadores basados en *host*, FPGA y frontales de RF que principalmente se enfocan en diseñar, crear prototipos e implementar sistemas inalámbricos rápidamente. Los SDR de USRP son ideales para desarrollar y crear prototipos de diseños inalámbricos complejos, debido a que posee una gran capacidad de procesamiento de los FPGA integrados, ya que es beneficiosa para aplicaciones que requieren el

procesamiento de amplios anchos de banda de datos en tiempo real. De igual manera son adecuados para aplicaciones como la monitorización espectral y la búsqueda de dirección debido a sus amplios anchos de banda y sus frontales RF flexibles. (*NATIONAL INSTRUMENTS*, 2019).

La línea de productos USRP ofrece una gran variedad de equipos SDR, el que se va a tomar como referencia en este análisis es el dispositivo USRP-2900 como se puede observar en la Figura 2, debido a que cubre los rangos de frecuencia de 70 MHz a 6 GHz estando dentro del rango de frecuencias analizar en esta implementación.



*Figura 2.* Dispositivo SDR USRP-2900.

Tomado de (*NATIONAL INSTRUMENTS*, s. f.-a).

El dispositivo USRP-2900 tiene un ancho de banda instantáneo de transceptor de RF, debido a que este dispositivo de *hardware* consta con una entrada y una salida para el número de canales, además posee un conector de bus compatible para USB 2.0 o 3.0. (*NATIONAL INSTRUMENTS*, 2017).

Este dispositivo por poseer estas características en cuanto a entradas y salidas, se podría decir que es considerado como un dispositivo básico a comparación de las otras variedades de dispositivos SDR USRP existentes en el mercado. Debido a los parámetros mencionados anteriormente es considerado un

dispositivo de bajo costo en la familia de los USRP, este dispositivo tiene un costo de \$1265 sin tomar en cuenta los costos de envío a Ecuador y posee un poco de dificultad para adquirir este equipo debido a que muy pocas páginas ofrecen estos dispositivos.

Todos los dispositivos SDR USRP existentes en el mercado son compatibles con algunos *softwares* como GNU Radio, RFNoC, LabVIEW, MATLAB y Simulink, los que permiten el desarrollo de *software* de aplicación SDR. (*NATIONAL INSTRUMENTS*, s. f.-b).

### **2.2.2 Dispositivo RTL-SDR**

El dispositivo RTL-SDR (Registro lógico de transferencia) es conocido en la actualidad como un *hardware* popular y de bajo costo, este es considerado como un SDR (Radio definida por *software*) que esta principalmente basada en los dongles del receptor USB DVB-T TV (TV digital HD), el cual está compuesto por un chip RTL2832U que tiene un modo que permite SDR, debido a que los autores Eric Fry, Antti Palosaari y el equipo de Osmocom descubrieron a base de estudios que los dongles del receptor USB usados en televisión, podían ser utilizados como SDR por medio de ese chip. El chip RTL2832U es principalmente usado para adquirir y muestrear señales de RF que son transmitidas en el rango de frecuencias de 25 MHz a 1.75GHz. (RTL-SDR.COM, s. f.).

Los dispositivos RTL-SDR principalmente son fabricados y distribuidos por Nooelec, en el cual existe varias versiones de dispositivos RTL-SDR, la diferencia entre sus versiones es principalmente su pequeña variación en el rango de frecuencias en el que trabaja, y el tamaño y los accesorios que acompañan al dispositivo, teniendo en cuenta que no existe una variación de costos muy notables entre las versiones.



La última versión de dispositivo es el RTL-SDR NESDr Smart Receiver de Nooelec que es la versión 4 de los dispositivos de RTL-SDR como el que se observa en la Figura 3, en donde el extremo frontal del RTL-SDR tiene conectado una antena la cual recibe señales de RF en vivo desde el aire, las convierte en banda base, las digitaliza y el dispositivo de salida permite ver muestras de la señal de banda base a través de su interfaz USB.



*Figura 3.* RTL-SDR Dongle RTL2832U.

Tomado de (ebay, s. f.).

El dispositivo RTL-SDR NESDr Smart Receiver de Nooelec viene equipado por varios componentes, uno de ellos es los tres diferentes tipos de antenas que pueden ser utilizados para la recepción de frecuencias que se encuentren entre 25 MHz a 1.75 GHz, convirtiéndose en un dispositivo apto para el rango de frecuencias a analizar en esta implementación, de igual manera este dispositivo cuenta con una salida USB compatible para puertos USB 2.0 o 3.0. Como fue

mencionado anteriormente es un dispositivo de bajo costo y de fácil adquisición por parte del usuario, ya que principalmente tiene un costo de \$29,95 sin tomar en cuenta los costos de envío a Ecuador y posee una alta disponibilidad en diferentes tiendas online como es amazon.com, ebay.com, amazon.es, y otras tiendas dedicadas a las ventas de estos dispositivos, con la principal ventaja de que dichas tiendas manejan envíos internacionales lo que permitiría que puedan ser recibidos en el Ecuador.

Las últimas dos versiones de dispositivos RTL-SDR existentes en el mercado han ampliado su compatibilidad con algunos *softwares* como GNU Radio, SDR#, Linrad, WebRadio, SDR Touch, los que permiten el desarrollo de *software* de aplicación SDR. (RTL-SDR.COM, 2014).

Adicionalmente MathWorks implemento un nuevo paquete de soporte de *hardware* para RTL-SDR el que permite a MATLAB y Simulink interactuar y controlar RTL-SDR. Con este complemento, las muestras de salida del dispositivo se pueden capturar y llevar al *software*, lo que permite que el sistema de recepción y de detección de espectro ya pueda ser usado como un modelo en el Simulink de MATLAB logrando desarrollar una SDR. (Stewart, Barlee, Atkinson, & Crockett, s. f., p. 3).

### **2.2.3 Dispositivo HackRF One SDR**

El HackRF One SDR principalmente es considerado como un periférico de radio definido por *software* como se muestra en la Figura 4, el cual permite recibir señales que se encuentren entre 1MHz a 6 GHz, siendo considerado como un dispositivo a utilizar, debido a que abarca el rango de frecuencias a analizar en esta implementación, ya que fue diseñado para permitir la prueba y el desarrollo de tecnologías de radio modernas.



Figura 4. Dispositivo HackRF One SDR.

Tomado de (NooElec, s. f.-a).

Este dispositivo es una plataforma de *hardware* de código abierto que se puede usar como un periférico USB, principalmente es un transceptor SDR semidúplex, el que permite obtener hasta 20 millones de muestras por segundo, de igual manera posee una ganancia de Rx configurable por *software* y los filtros de banda base también configurables. Adicionalmente este dispositivo posee un conector de antena hembra SMA, el que se encarga de recibir las señales que están sintonizadas en el aire, también por medio de un USB 2.0 es alimentado y por donde envía los datos digitalizados al computador. (Jorge Rodríguez, 2017).

El dispositivo tiene compatibilidad con los principales *softwares* para SDR como es GNU Radio y SDR#, convirtiéndose en un dispositivo de *hardware* utilizado en el mundo del SDR por su compatibilidad en cuanto a *software*, por lo que también es considerado como un dispositivo a utilizar en esta implementación. El dispositivo HackRF One SDR tiene un costo promedio de \$320 sin tomar en cuenta al igual que el anterior dispositivo los costos de envío a Ecuador y posee disponibilidad en diferentes tiendas online internacionales.

Después de analizar las tres diferentes opciones de dispositivos de *hardware* para la implementación del sistema SDR, tanto el rango de frecuencias y las principales funciones que estos dispositivos permiten realizar y la diferencia de costos y disponibilidad en el mercado, se ha decidido en esta implementación utilizar el dispositivo de *hardware* RTL-SDR NESDr Smart Receiver de NooElec, debido a que este proyecto principalmente tiene previsto ser utilizado para fines educativos de la Universidad de Las Américas, y considerando el uso de este dispositivo que tiene un intervalo de frecuencias que cubre entre 25 MHz a 1.75 GHz, con una pequeña interrupción entre 1100 MHz y 1250 MHz. También se puede observar que tiene un gran ancho banda de frecuencias que pueden ser utilizadas para este y futuros proyectos que se necesiten utilizar el RTL-SDR, y uno de los factores también a considerar es que es un dispositivo pequeño y de fácil portabilidad el que posee un bajo costo económico y es fácilmente adquirible para un estudiante universitario, de igual manera es compatible con el *software* MATLAB-Simulink el cual es el más utilizado para estudiantes de Ingeniería.

### **2.3 Softwares para SDR**

Existen varios *softwares* que admiten la manipulación de los equipos de *hardware* SDR como es MATLAB-Simulink, GNU Radio, SDR#, Linrad, WebRadio, RFNoC, LabVIEW y otros *softwares* que permiten el análisis de espectro con el uso de los dispositivos de *hardware* SDR. (*NATIONAL INSTRUMENTS*, s. f.-b).

Uno de los principales factores a considerar para la elección del dispositivo de *hardware* RTL-SDR NESDr Smart Receiver de NooElec es que principalmente es compatible con los entornos de *software* de MATLAB y Simulink, ya que el *software* MATLAB es un programa muy utilizado por estudiantes de Ingeniería y Ciencias, y principalmente los alumnos de la Universidad de Las Américas a lo

largo de su carrera universitaria en la especialización de Redes y Telecomunicaciones realizan proyectos y prácticas de laboratorio con el uso de este *software*, por lo que crea de alguna forma que el estudiante ya tenga un conocimiento previo de cómo es el uso de este *software*, permitiendo de esta manera que la implementación del SDR en dicho *software* no sea de tanta dificultad, con el fin de aprender de manera rápida e intuitiva como es la manipulación para el análisis de los espectros radioeléctricos de las frecuencias a analizar. Debido a esto en esta implementación se utilizará el *software* MATLAB-Simulink para el análisis del espectro radioeléctrico de las frecuencias que son recibidas por el dispositivo de *hardware* SDR.

### **2.3.1 MATLAB**

Es un *software* que es utilizado por una gran cantidad de ingenieros y científicos en todo el mundo, debido a que utiliza una programación basado en matrices y un entorno interactivo para visualizar datos y realizar cálculos numéricos que permite la expresión más natural de las matemáticas computacionales, ya que con la utilización del *software* es posible importar datos desde archivos, otras aplicaciones o dispositivos externos, permitiendo que una vez que los datos se encuentren en MATLAB, se puedan explorar y analizar mediante funciones matemáticas y de ingeniería integradas, así como por medio de gráficos y visualizaciones, con el que se puede llegar analizar y desarrollar datos de algoritmos o incluso crear modelos y aplicaciones que permitan obtener procesamiento de señales y comunicaciones, procesamiento de imágenes y videos, sistemas de control, prueba y medición, finanzas computacionales y biología computacional. (Cohan & MathWorks, s. f.).



*Figura 5. Software MATLAB.*

Tomado de (Nomarlo, 2017).

El lenguaje MATLAB admite las operaciones de vectores y matrices que son fundamentales para los problemas científicos y de ingeniería, ya que por medio de las aplicaciones y varias funciones matemáticas que están integradas, le deja al usuario poder explorar de una manera rápida varios enfoques para poder obtener una solución, debido a que MATLAB concede al usuario trasladar sus ideas de investigación a producción por medio del despliegue de aplicaciones empresariales y dispositivos embebidos, así como la integración con Simulink y el diseño basado en modelos. (MathWorks, s. f.-h).

### **2.3.2 Simulink**

Es un entorno de simulación y un dominio múltiple para ingenieros y científicos para el diseño de controles, sistemas inalámbricos y otros sistemas dinámicos con el fin de comprender y analizar sistemas por medio de una simulación en bloques. (Carone & MathWorks, s. f.).

Simulink es una plataforma para el diseño basado en modelos que permite diseñar por medio de sistemas analógicos y digitales, logrando obtener una simulación y la creación automática de código para la prueba y la verificación continua de sistemas integrados, con el fin de poder diseñar y simular sistemas antes de pasar al *hardware*, y puede explorar e implementar nuevos diseños sin tener que escribir código de programación. (Carone & MathWorks, s. f.).



*Figura 6.* Imagen de presentación Simulink.

Tomado de (Cinetyk, s. f.).

El Simulink incluye un editor gráfico para modelar todos los componentes de un sistema por medio de la ayuda de una biblioteca de bloques preconstruidos para algoritmos de modelado y sistemas físicos, con el fin de poder definir una arquitectura para un sistema, ya que estos bloques de modelado permiten crear componentes y bibliotecas reutilizables del sistema, para elaborar modelos de sistemas físicos como se observa en la Figura 7. De igual manera el Simulink posee un motor de simulaciones con solucionadores ODE para verificar que todas las partes del sistema funcionen y con la ayuda de las herramientas de visualización analizar y comparar resultados de múltiples simulaciones, permitiendo de esta manera que se obtenga una lógica compleja en el diseño. (Carone & MathWorks, s. f.).

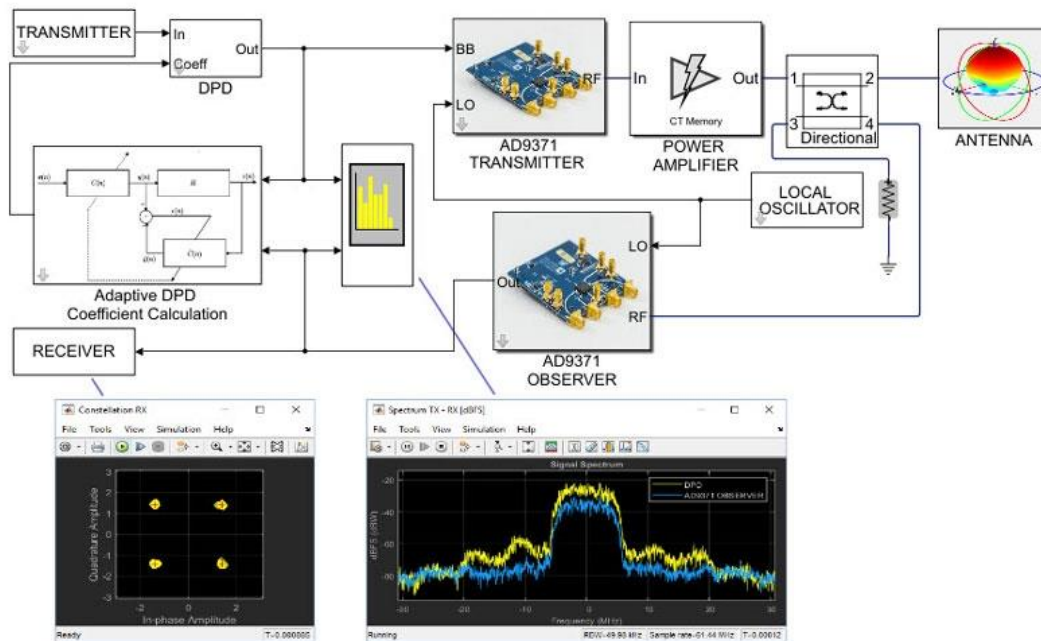


Figura 7. Ejemplo de Diseño de Bloques en Simulink.

Tomado de (MathWorks, s. f.-g).

El uso de la herramienta de Simulink en la implementación de un sistema SDR (Radio definida por *software*) se lo pudo realizar debido a las actualizaciones que se ha obtenido en MATLAB en los últimos tiempos, ya que con el Simulink permite realizar el diseño del sistema por medio de la agrupación de bloques que se encuentran preestablecidos en las herramientas de Simulink, logrando que estos bloques se transformen en códigos de programación de manera automática en el ambiente de MATLAB, permitiendo al usuario realizar modificaciones a los bloques de Simulink por medio de código en el *software* de MATLAB, para que de esta manera se obtenga un diseño eficiente utilizando herramientas específicas para controles, procesamiento de señales y aplicaciones de comunicaciones. Adicionalmente con la plataforma Simulink se logra obtener una simulación en tiempo real de la SDR, permitiendo al usuario poder modificarla según los parámetros que este dese ingresar.



Por lo tanto, MATLAB es el encargado de la operación matricial, mientras que Simulink trata con ecuaciones diferenciales en gráficos, es decir que Simulink requiere de MATLAB para ejecutarse.

### 3. Capítulo III. Análisis del Sistema SDR

Los sistemas SDR principalmente están compuestos por una arquitectura en la que está constituida por una sección de RF, es decir, por antena, amplificadores y filtros, en el que también posee un convertidor analógico a digital (ADC) y un convertidor digital a analógico (DAC), los cuales son de muy alta velocidad que se encuentran interconectados con un puente procesador DSP y sistema informático, como se observa en la Figura 8. (Stewart et al., s. f., p. 8).

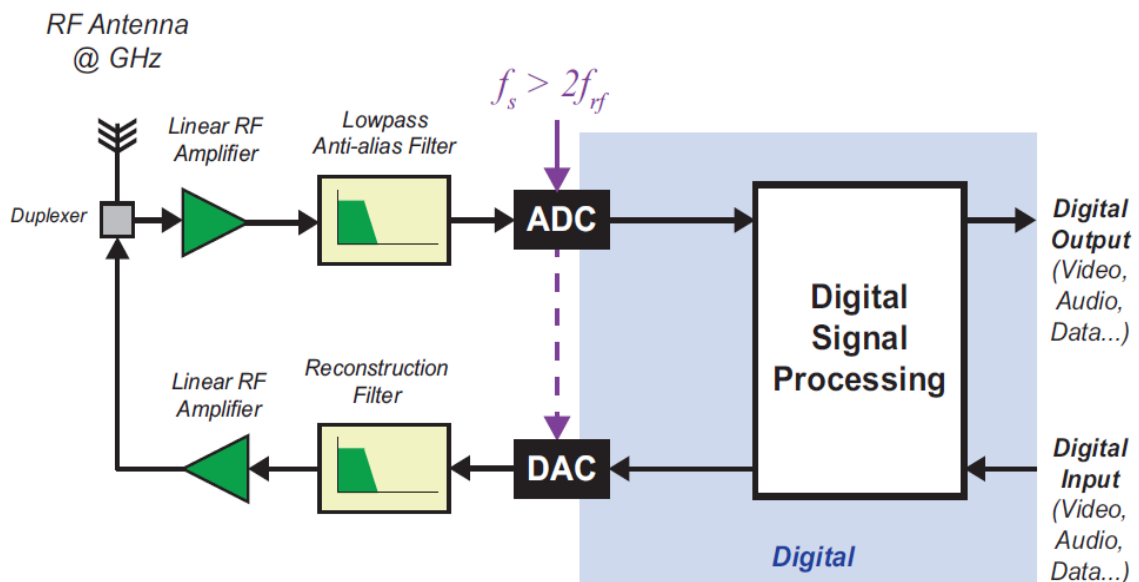


Figura 8. Componentes de la radio definida por software.

Tomado de (Stewart et al., s. f., p. 8).

Las muestras se pasan dentro y fuera de la sección DSP a través del ADC y DAC respectivamente, es decir que se necesita muestrear una señal a más del doble del ancho de banda de la señal para retener toda la información, por ejemplo, una frecuencia de 4 GHz producirá un espectro de banda base de 0 a 2 GHz con la modulación y demodulación realizadas en el dominio digital. (Stewart et al., s. f., p. 8).

Por lo tanto el diagrama de bloques del sistema SDR a implementar en este caso estará constituido por los bloques que se observa en la Figura 9, el cual tiene como entradas la antena de recepción de señales, el dispositivo de *hardware* RTL-SDR, el que se encarga de realizar como se muestra en la Figura 8 la conversión de las señales analógicas a digitales, las mismas que serán enviadas a un computador por medio de un USB, en el cual el computador será el encargado de realizar el procesamiento digital de las señales (DSP), convirtiéndolo al computador como un dispositivo de entrada y salida según la arquitectura del SDR, ya que como entrada hará el análisis de las señales y como salida se obtiene una interfaz gráfica por medio del *software* Simulink y el uso de los parlantes del computador para tener una salida sonora de las señales que son sintonizadas por medio de la antena.

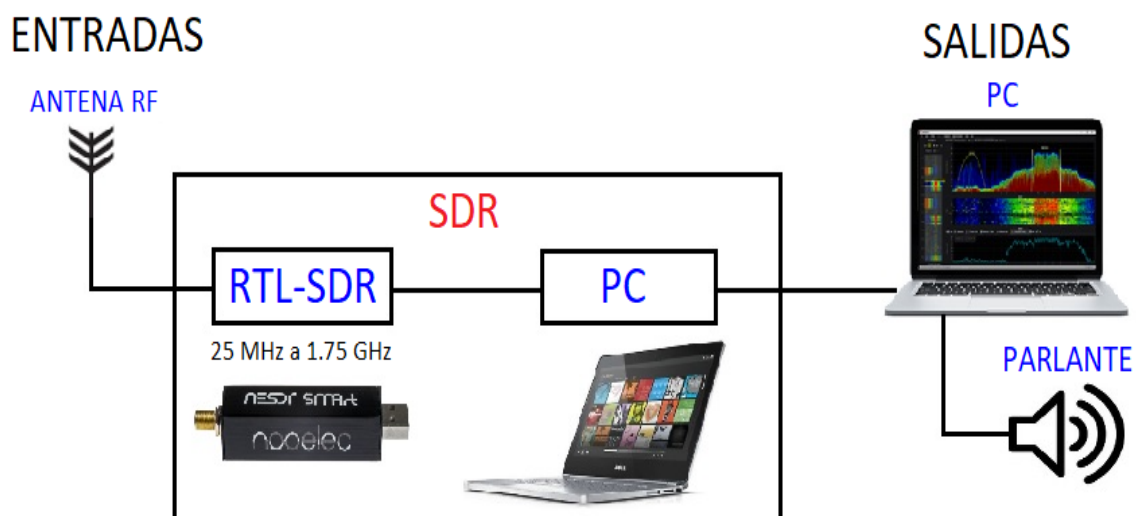


Figura 9. Diagrama de Bloques del sistema SDR.

A continuación, se analizará las variables de entrada y salida a utilizar en la implementación del sistema SDR.

### 3.1 Variables de Entrada

#### 3.1.1 Antenas del dispositivo NESDR SMArt RTL-SDR

Dentro de los componentes del dispositivo NESDR SMArt RTL-SDR viene con tres suministros de diferentes tipos de antenas como se muestra en la Figura 10 que son: (*Radio for Everyone*, s. f.)

- **Antena telescópica:** Cubre bandas de acción y transmisiones comerciales de FM, su articulación es conjunta, es decir que se puede fijar el soporte en una superficie y girar la antena vertical al mismo tiempo. Es un poco corta para onda corta, pero realiza un buen trabajo en estaciones fuertes.
- **Antena fija:** Esta diseñada para uso general, como para aquellos momentos en que los cálculos de frecuencias vs longitud de onda con telescopios son demasiado molestos.
- **Antena corta:** Es oficialmente para el uso de frecuencias a 433 MHz, principalmente hace un excelente trabajo con *walkie-talkies* sin licencia.



Figura 10. Tipos de antenas del dispositivo NESDR SMART RTL-SDR.

Tomado de (*Radio for Everyone*, s. f.).

Usando las antenas incluidas en los componentes del dispositivo NESDR SMART RTL-SDR es posible recibir una amplia variedad de señales como: (*Radio for Everyone*, s. f.)

- La radio FM comercial es posible captar las señales usando la antena telescópica o la antena fija.
- Para la banda de aire el uso de la antena telescópica es perfecta, debido a que los aviones que hablan entre sí y el control desde el suelo son comprensibles.
- Para la banda VHF medio y superior la antena fija es adecuada para la banda marina y la recepción de señal AIS, al igual que muchas otras frecuencias de acción local.
- Para la banda UHF se utiliza la antena corta, debido a que es ideal para monitorear señales entre 400-500 MHz, como las que trabaja los *walkie-talkies*.

### 3.1.2 Receptor Nooelec RTL-SDR

Existen una gran cantidad de versiones de RTL-SDR creados por Nooelec, una de las últimas versiones disponibles por Nooelec es el NESDR SMARt RTL-SDR, el que va ser utilizado a lo largo de la elaboración de esta implementación, debido a que este dongle RTL-SDR posee características mejoradas y trabaja en las frecuencias de 25MHz a 1.75 GHz, convirtiéndose en un dispositivo RTL-SDR apto para cubrir los rangos de frecuencias a analizar en esta implementación, y adicionalmente este dispositivo tiene un conjunto de accesorios adicionales a comparación de sus antecesores, debido a que el RTL-SDR posee una placa de circuito impreso y equipada con componentes de mayor calidad para la mejora de los problemas de tolerancia por medio de un RF blindado, es decir que está bien protegido para reducir el ruido que surge de su entorno. (Stewart et al., s. f., p. 16).

Al momento de adquirir el dispositivo Nooelec NESDR SMARt RTL-SDR, este viene en un paquete que contiene por separado tres antenas, un soporte magnético con cable y el receptor como se observa en la Figura 3.

#### 3.1.2.1 Señales RF del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR

Con la utilización del dispositivo RTL-SDR se consigue obtener un gran rango de señales para analizarlas, por medio de una configuración de *hardware* adecuada, es decir que el dispositivo RTL-SDR este usando la antena correcta para captar esas señales y también dependiendo de las señales que se están transmitiendo alrededor en ese momento. El dispositivo RTL-SDR no está enganchada únicamente a señales de radio FM, sino que también se puede recibir señales UHF / DTV y entre otras señales, es decir que con el dispositivo RTL-SDR se puede recibir cualquier señal que se esté transmitiendo dentro del

rango operativo del sintonizador como se observa en la Figura 11. (Stewart et al., s. f., p. 4)

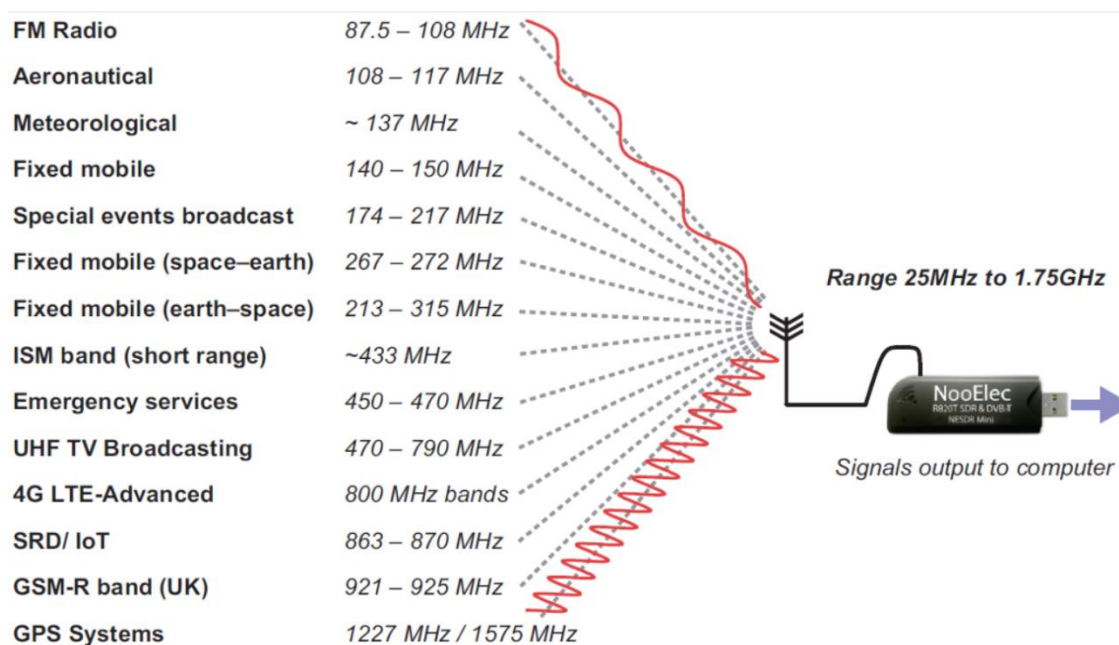


Figura 11. Señales disponibles para el RTL-SDR dependiendo de la localización.

Tomado de (Stewart et al., s. f., p. 4).

### 3.1.2.2 Dimensiones del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR

Las anteriores versiones de los dispositivos RTL-SDR tenían problemas con el tamaño, debido a que bloquean un puerto USB cercano en computadoras, por lo tanto, con el dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR estos problemas fueron solucionados, ya que es más angosto, profundo y corto que los demás dispositivos RTL-SDR existentes en el mercado, debido a que es apenas un poco más ancho que un puerto USB como se observa en la Figura 12. (*Radio for Everyone*, s. f.)



Figura 12. Comparación de tamaño dispositivos RTL-SDR.

Tomado de (*Radio for Everyone*, s. f.).

### 3.1.2.3 Case del dispositivo NESDR SMART RTL-SDR

Este dispositivo posee una carcasa de metal, aluminio cepillado, el cual está conformado por superficies planas en cuatro lados, convirtiéndose como el dispositivo que utiliza el material más delgado a comparación de todas las otras versiones de RTL-SDR de metal. Como se observa en la Figura 13, existe una gran diferencia al tamaño del case del dispositivo NESDR SMART RTL-SDR con los case de color plata que es utilizado en la versión anterior del dispositivo RTL-SDR. (*Radio for Everyone*, s. f.).

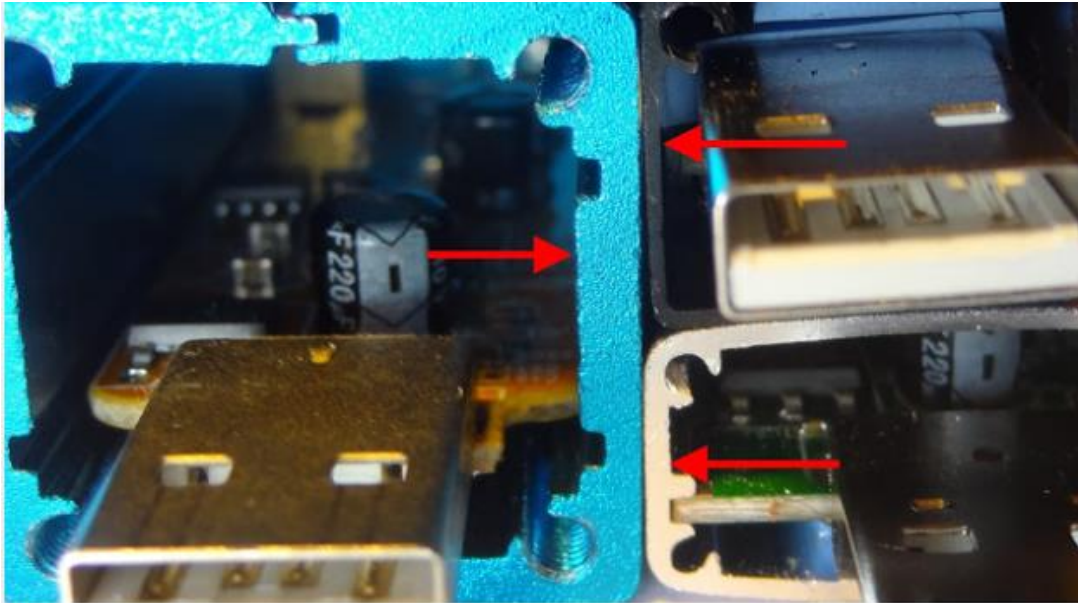


Figura 13. Comparación del espesor de la caja de metal del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR con el dispositivo RTL-SDR de la versión anterior.

Tomado de (*Radio for Everyone*, s. f.).

#### 3.1.2.4 Montaje de antena, cable, conector SMA del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR

El diámetro de la base del soporte es uno de los factores que ha variado a comparación de las versiones anteriores de los dispositivos RTL-SDR, por lo tanto, en los componentes adicionales de los dispositivos NESDR SMARt RTL-SDR se tiene una base de soporte un poco más grande, permitiendo de esta manera que tenga un mejor agarre en las superficies que este dispositivo va a ser utilizado. Adicionalmente el tornillo de antena es compatible con las antenas suministradas de cualquier RTL-SDR. El imán que posee este soporte es tan fuerte como para verse sujetado en bandejas de metal, lo que no se podía lograr con los otros soportes magnéticos RTL-SDR, permitiendo que las antenas funcionen mejor con una superficie de metal debajo. (*Radio for Everyone*, s. f.).



El cable coaxial de radio estándar (RG 58 / U) con el que viene en los componentes del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR son de menor pérdida de señal que los cables suministrados anteriormente en los dispositivos RTL-SDR, el tener este tipo de cable coaxial estándar permite lograr realizar extensiones de cable en caso de que se desee captar señales más lejanas de la ubicación del dispositivo, este cable para la extensión debe ser un cable coaxial de antena de radio de 50 ohmios. (*Radio for Everyone*, s. f.).

El conector SMA en el extremo del cable significa que los accesorios que comparten ese estándar pueden ser utilizados sin un adaptador. (*Radio for Everyone*, s. f.).



*Figura 14.* Montaje de antena del dispositivo NESDR SMARt RTL-SDR.

Tomado de (NooElec, s. f.-b).

### 3.1.3 Computador

El computador trabaja como entrada para el procesamiento de las señales digitales, en el cual por medio de un *software* de alto nivel se puede analizar las frecuencias captadas. Es decir que por medio del *Software* MATLAB-Simulink se realiza todo el procesamiento de la señal para lograr conseguir un SDR.

El computador para poder realizar estas funciones debe cumplir con algunas especificaciones en cuanto a procesador y memoria que serán detalladas más adelante en los requisitos de *hardware*.

## **3.2 Variables de Salida**

### **3.2.1 Computador y Parlantes**

El computador trabaja de igual manera como salida, debido a que gracias a la configuración adecuada en el *software* MATLAB-Simulink, permite mostrar al usuario una interfaz gráfica en el cual se observa varios parámetros de las frecuencias capturadas, y de igual manera por medio de los parlantes disponibles en el computador tener una salida de audio de las frecuencias analizadas, es decir, permite sintonizar una frecuencia sonora.

## **3.3 Requerimientos de *Hardware***

### **3.3.1 RTL-SDR NooElec Smart Receiver**

Este dispositivo cuenta en un extremo con un puerto de antena Micro Coaxial, la cual se conecta a una antena omnidireccional que se va encargar de sintonizar las frecuencias, aunque esta antena principalmente esta sintonizada para funcionar mejor en la banda VHF, y el otro extremo del dispositivo cuenta con un conector USB el cual va conectado a un computador, el que va a permitir recibir un rango de señales para la visualización del espectro preliminar y el procesamiento DSP de banda base en MATLAB y Simulink. (Stewart et al., s. f., p. 5).

### 3.3.2 Requerimientos del computador

Para poder realizar la implementación de este proyecto se necesita un computador que cumpla con los requerimientos que se observa en la Tabla 1.

Tabla 1.

Requerimientos del computador.

<b>Sistema Operativo</b>	Linux, Windows 7,8 y 10
<b>Compatibilidad de Sistema</b>	32 y 64 bits
<b>Procesador</b>	Intel i5, i7, AMD FX-8k reciente o un núcleo similar
<b>Memoria RAM</b>	8 GB
<b>Espacio en disco</b>	30 GB

Adaptado de (Stewart et al., s. f., p. 5).

Adicionalmente, el computador debe tener una tarjeta de sonido y también se necesita al menos un puerto USB para ser utilizado.

El tener una computadora con estas características hace que su unidad de procesamiento sea adaptable en su mayor parte para las implementaciones de SDR con el RTL-SDR, ya que deberían poder ejecutarse en tiempo real, es decir que el procesador procesa los datos tan rápido como lleguen. Pero si el computador no es lo suficientemente rápido como para ejecutarse en tiempo real, solo se puede grabar las señales en ubicaciones de disco y luego procesarlas sin conexión. (Stewart et al., s. f., p. 5).

### 3.4 Requerimientos de *Software*

#### 3.4.1 MathWorks MATLAB & Simulink

Para poder empezar con el diseño y la implementación de sistemas SDR, es necesario tener MATLAB y Simulink instalados en el computador. Se recomienda trabajar con MATLAB R2014b o posteriores, este *software* se puede comprar en la página oficial [mathworks.com](http://mathworks.com). Todos los usuarios de MATLAB pueden descargar e instalar el paquete de soporte de *hardware* RTL-SDR, ya sea que tenga una licencia profesional o de estudiante. (Stewart et al., s. f., p. 5).

De igual manera se necesita instalar las siguientes cajas de herramientas de MathWorks en el computador que son componentes de *software* oficiales que proporcionan funciones adicionales como herramientas de diseño de filtros y ámbitos de dominio de frecuencias en el entorno de desarrollo: (Stewart et al., s. f., p. 6).

- Caja de herramientas del sistema DSP.

#### ▼ DSP System Toolbox

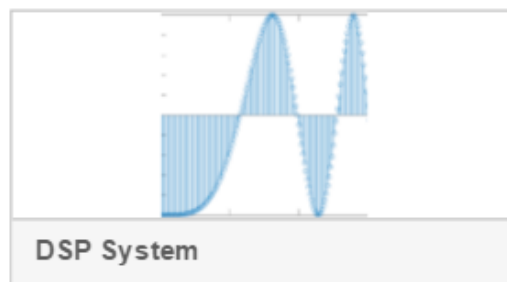


Figura 15. Presentación de la Caja de herramientas del sistema DSP.

- Caja de herramientas del sistema de comunicaciones.



Figura 16. Presentación de la Caja de herramientas del sistema de comunicaciones.

MATLAB y Simulink se encarga de proporcionar un entorno en el que se puede codificar y construir convenientemente los receptores, y por medio de la utilización de las cajas de herramientas anteriormente mencionadas, permite proporcionar los medios necesarios para implementar cualquier algoritmo de receptor SDR. Una de las ventajas que ofrece el utilizar este *software* es que no solo brindan facilidades para diseñar cosas como filtros digitales, decimadores y sincronizadores que el sistema requiere, sino que también proporcionan herramientas que permiten visualizar señales en los dominios de tiempo y frecuencia a medida que se someten al proceso de demodulación. (Stewart et al., s. f., p. 6)

### 3.4.2 Paquete de soporte de *hardware* MathWorks RTL-SDR

Estos paquetes de soporte de *hardware* de MathWorks son considerados como complementos, ya que proporcionan soporte específico de interfaz MATLAB y Simulink para *hardware* de terceros, en los que se encuentran incluidos como dispositivos Raspberry Pi, Arduino, entre otros. (Stewart et al., s. f., p. 6)

Lo más importante para esta implementación es el paquete de soporte de *hardware* RTL-SDR el que permite a la interfaz interactuar con su RTL-SDR, en el cual se especifica como descargar e instalar el paquete de soporte de *hardware* y los *drivers* del USB. Hay que tener en cuenta que solo se podrá obtener el paquete de soporte de *hardware* una vez que se tenga instalado MATLAB y Simulink. (Stewart et al., s. f., p. 6).

### 3.5 Diagrama de Bloques RTL-SDR

Principalmente la configuración de un dispositivo RTL-SDR es presentada por medio de un esquema de bloques que están representados en la Figura 17, en el cual las señales RF se reciben por medio de una antena, permitiendo de esta manera que el dispositivo de *hardware* RTL-SDR realice la transformación de una señal análoga a digital por medio de un convertidor descendente de cuadratura, y en fase de cuadratura se presentan muestras a la computadora la cual va ser ejecutado por MATLAB. El diseño del receptor se implementa por medio de la utilización de los algoritmos DSP apropiados con el fin de poder obtener la señal de información por medio de la demodulación de la señal, las cuales pueden ser audio, video, imágenes o datos. (Stewart et al., s. f., p. 4).

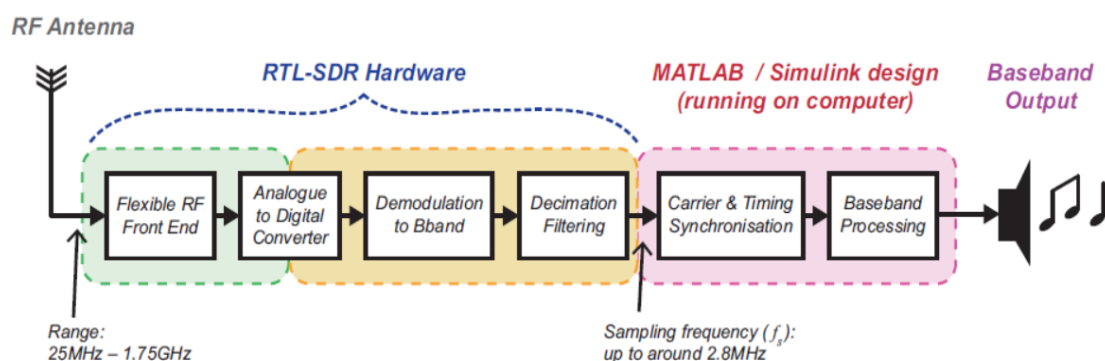


Figura 17. Diagrama de Bloques RTL-SDR.

Tomado de (Stewart et al., s. f., p. 4).

### 3.6 Operación del dispositivo RTL-SDR

En este dispositivo existen dos principales componentes que son utilizados en los receptores RTL-SDR que son el Rafael Micro R820T y el Realtek RTL2832U que es un demodulador multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada (COFDM). (Stewart et al., s. f., p. 10).

El diagrama de flujos de procesamiento de señal de las etapas principales que se llevan a cabo en el RTL-SDR como se muestra en la Figura 18, es mediante las señales de RF que ingresan al sintonizador, en el cual se reducen a una frecuencia intermedia (IF) baja utilizando un oscilador controlado por voltaje (VCO). El VCO es controlado por el RTL2832U a través de una interfaz de circuito integrado. Después de una etapa de control de ganancia automática (AGC), que es la que se encarga de ajustar dinámicamente la amplitud de la señal de entrada, para adaptarse al rango operativo del dispositivo, en donde la señal IF debe ser bajada a la banda base, el método clásico para hacer esto es pasar la señal IF a través de un filtro Anti-alias, muestrear la salida con un ADC, y luego convertirla a la banda base usando Osciladores Controlados Numéricamente en cuadratura (NCOS) es decir, un seno y un coseno oscilando en la frecuencia intermedia. (Stewart et al., s. f., p. 12).

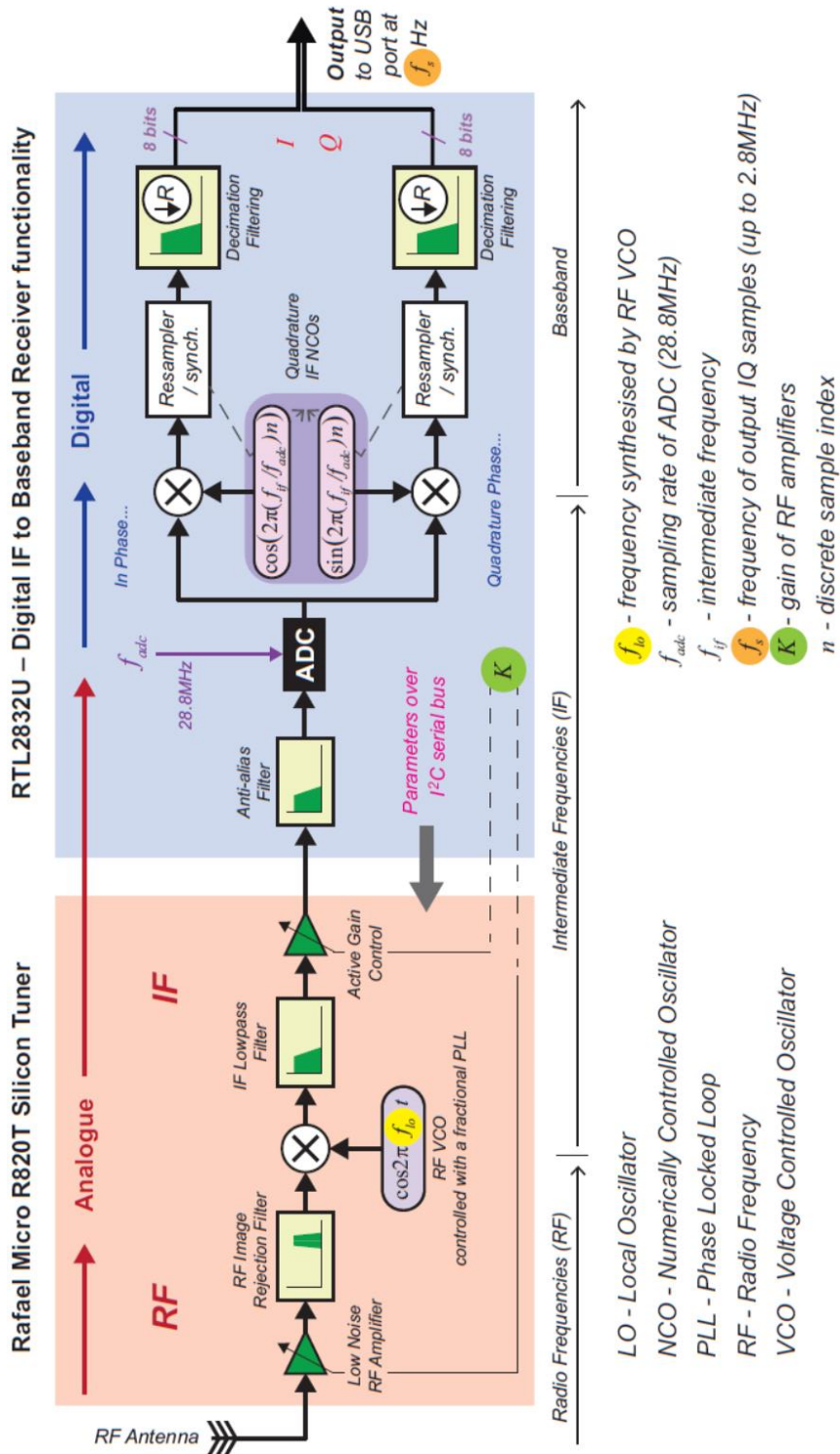


Figura 18. Diagrama de bloques de la arquitectura interna del R820T / RTL2832U RTL-SDR.

Tomado de (Stewart et al., s. f., p. 13).



Cuando el RTL2832U funciona como está diseñado, los datos IQ de banda base se demodulan con DVB-T, y se emite un flujo de video MPEG2-TS a través de la interfaz USB del dispositivo cuando está en modo prueba, sin embargo, se omite la etapa de demodulación final y, en su lugar, se emiten los datos IQ de banda base de 8 bits, los cuales son ingresados al computador para la visualización de esos datos. (Stewart et al., s. f., p. 12).

### **3.7 Combinación Rafael Micro R820T / Realtek RTL2832U**

El sintonizador Rafael Micro R820T usa una frecuencia intermedia (IF) baja de 3.57 MHz y convierte una banda de señales de RF a esta IF. La señal resultante se ingresa a una conexión de muestreo IF en el RTL2832U, la cual sintoniza la frecuencia central IF y convierte la señal IF a banda base. Después el RTL2832U muestrea la señal con su ADC a una velocidad de 28.8 MHz, y realiza una demodulación en cuadratura para producir muestras IQ. Luego se realiza un proceso de reducción para reducir la frecuencia de muestreo a un valor más bajo, y las muestras se envían a través de su interfaz USB. (Stewart et al., s. f., p. 14).

## **4. Capítulo IV. Diseño**

Las estaciones de frecuencia modulada (FM) comúnmente utilizan un estándar de modulación analógico para ser usados en radios comerciales, debido a su alta resistencia al ruido aditivo, permitiendo que el usuario lo utilice para sintonizar sus estaciones favoritas, ya que principalmente el estándar de modulación analógico es un esquema de modulación en donde una onda portadora se modula con una señal de información de tal manera que hace que la frecuencia oscile a medida que se cambia la amplitud de la señal de información, es por eso que en portadora modulada su amplitud permanece constante siendo este un factor diferencial de las emisoras AM. (Stewart et al., s. f., p. 329).

## 4.1 Esquema del Diseño

El esquema está compuesto por tres elementos fundamentales para realizar esta implementación, los cuales son la antena, el dispositivo de *hardware* RTL-SDR y un PC, como se mira en la Figura 19.

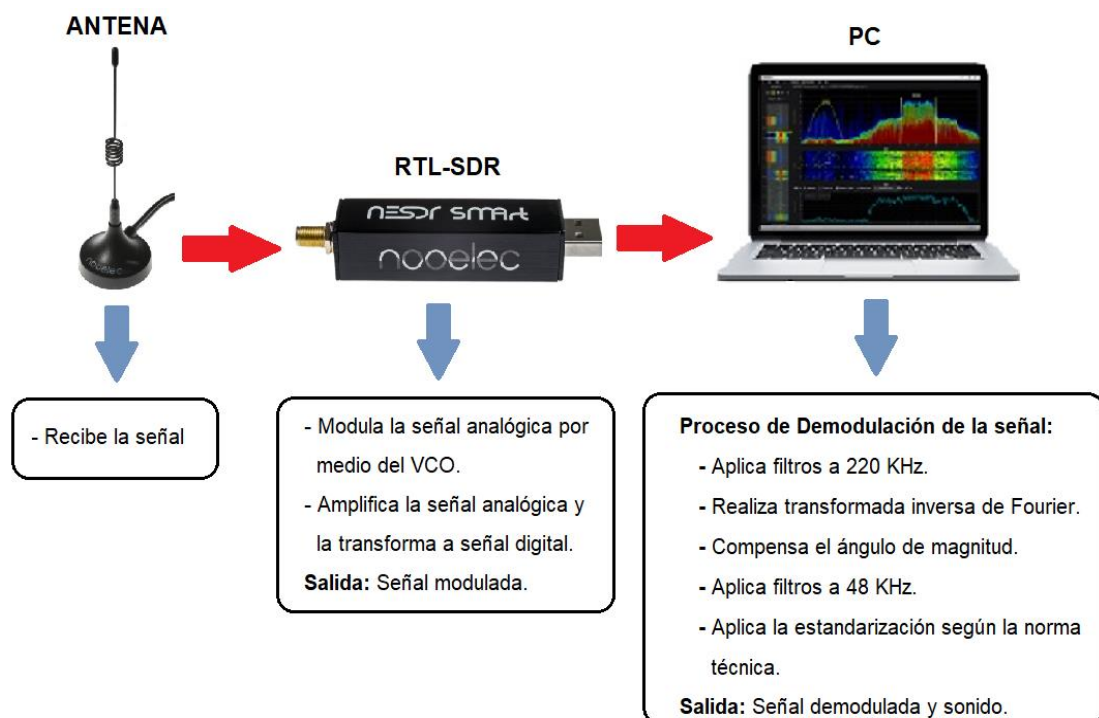


Figura 19. Esquema del diseño del SDR.

La antena principalmente recibe la señal de información que es transmitida en el aire, por lo tanto, dicha señal entra al dispositivo RTL-SDR, en donde se amplifica la señal y se pasa de analógico a digital, obteniendo como salida un espectro de frecuencia modulada, para que pueda ser analizada en el *software*. Para poder realizar el proceso de análisis de la señal, se necesita de una PC, el cual se encarga de tomar la señal modulada y aplicar filtros para reducir la señal a 220 KHz, con el fin de tener la visibilidad del ancho de banda permitido en una

estación FM, y por medio de la demodulación de la señal, se logra obtener el espectro visible de una estación FM a 48KHz y de igual manera poder sintonizar por medio de los parlantes de la computadora el audio de la frecuencia sintonizada.

Por lo tanto, a continuación, se hablará de unos conceptos fundamentales para comprender el proceso del diseño de esta implementación para las frecuencias moduladas.

## **4.2 Modulación FM**

El modulador analógico en los dispositivos de *hardware* RTL-SDR es el VCO (Oscilador Controlado por Voltaje). El VCO principalmente se encarga de generar una señal sinusoidal, en el cual cuya fase cambia en respuesta a las variaciones de amplitud de una señal de control de entrada, es decir que, cuando la señal de control ingresa al VCO, esta se multiplica por una constante  $k$ , la cual representa la relación de ganancia de voltaje a frecuencia del dispositivo, permitiendo generar una senoide por el VCO, por lo que, cuando una señal de información ingresa al puerto de control del VCO, esta se sustituye por una constante de modulación FM. (Stewart et al., s. f., p. 331).

## **4.3 Recepción y Conversión de señales FM a banda base**

Las señales que son recibidas por la antena RF de dispositivo de *hardware* RTL-SDR se deben demodular en cuadratura a la banda base antes de muestrearse, para poder obtener una frecuencia a analizar de todo el espectro de la señal FM, por lo que significa que las muestras de banda base que ingresan al diseño de receptor RTL-SDR en MATLAB-Simulink tiene componentes I y Q, que logran formar una señal compleja. (Stewart et al., s. f., p. 348).

Cuando el RTL-SDR recibe una señal FM, esta se mezcla con un exponencial complejo a la frecuencia global del oscilador local en el RTL-SDR para poder demodular la señal a la banda base, como se observa en la Figura 20, en el que muestra los espectros de diversas etapas del proceso de conversión del RTL-SDR. (Stewart et al., s. f., p. 348)

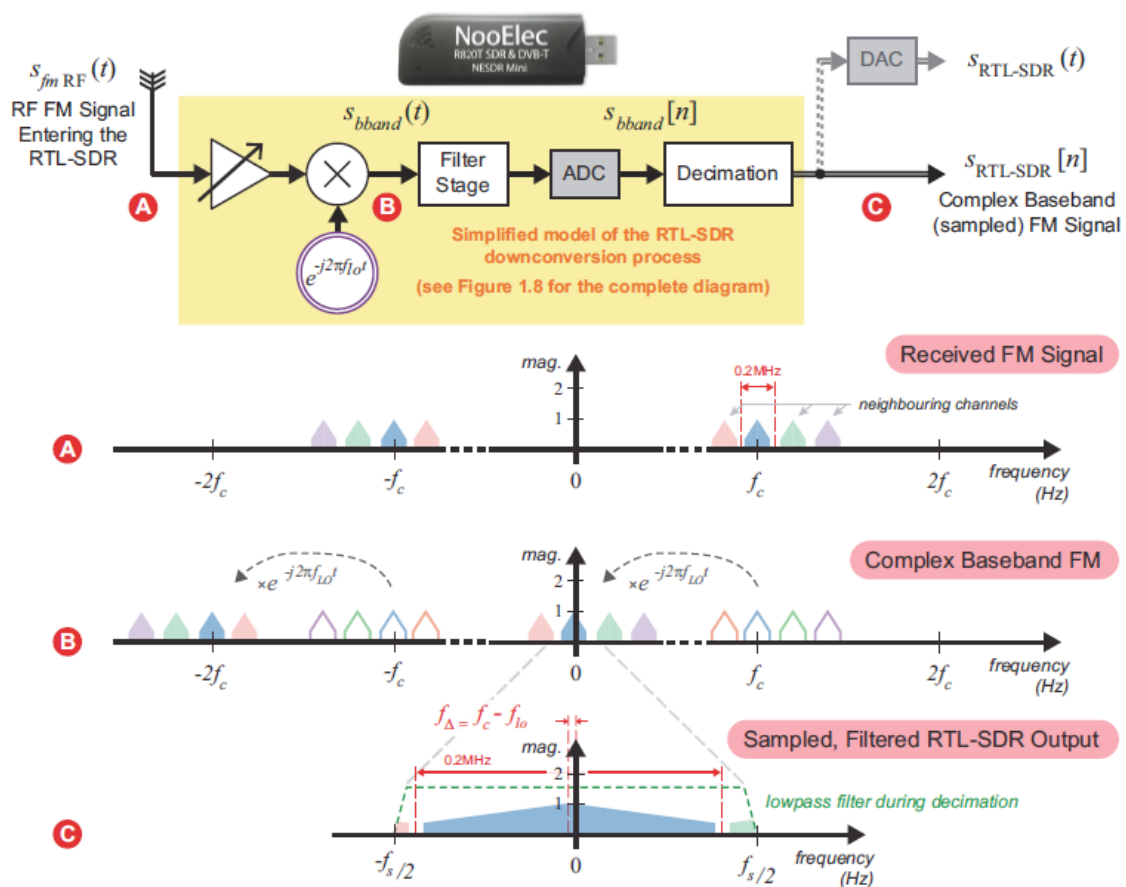


Figura 20. Etapas del proceso de conversión descendente RTL-SDR.

Tomado de (Stewart et al., s. f., p. 349).

Por lo tanto cuando el RTL-SDR recibe las señales que son transmitidas, lo ideal sería que la frecuencia del oscilador local utilizado para demodular la señal y la frecuencia de la portadora de modulación original sean las mismas, logrando de

esta manera que la señal de RF se demodulara perfectamente en la banda base, pero este caso es muy poco probable que suceda, por lo que cuando no lo hace, significa que la señal de banda base compleja todavía esta modulada en una portadora de baja frecuencia. Los componentes de alta frecuencia son atenuados por los filtros de paso bajo dentro del RTL-SDR, dejando solo la señal de banda base compleja, permitiendo que la señal del RTL-SDR se pueda crear con un DAC para ser ingresado al computador. (Stewart et al., s. f., p. 348).

#### **4.4 Demodulación de señales de estaciones de radio FM**

Las señales de FM que se envían por medio del transmisor son señales moduladas, las cuales para que el usuario pueda sintonizar y escuchar dichas señales, se realiza un proceso de demodulación de la señal, en el cual principalmente se basa en extraer y recuperar la señal de información original de una onda portadora, esto se lo consigue por medio de filtros para la reducción de la señal del espectro y con la ayuda de la transformada inversa de Fourier y otros factores esenciales para lograr recuperar la señal original, ya que la salida de una demodulación se la puede representar como datos, imágenes o sonidos contenidas en el espectro de la frecuencia central que se desea analizar. (DEMODULATION, s. f.).

#### **4.5 Diseño en Simulink**

En esta implantación se utilizará el diseño que se evidencia en la Figura 21, que está compuesta por varios bloques que se encuentran en las librerías de Simulink, una vez que se tengan instalados los paquetes del RTL-SDR que están adjuntos en los Anexos 1 y 2.

## DISEÑO DEL SISTEMA DE ANALISIS ESPECTRAL DE RADIO FM MEDIANTE SDR (RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE)

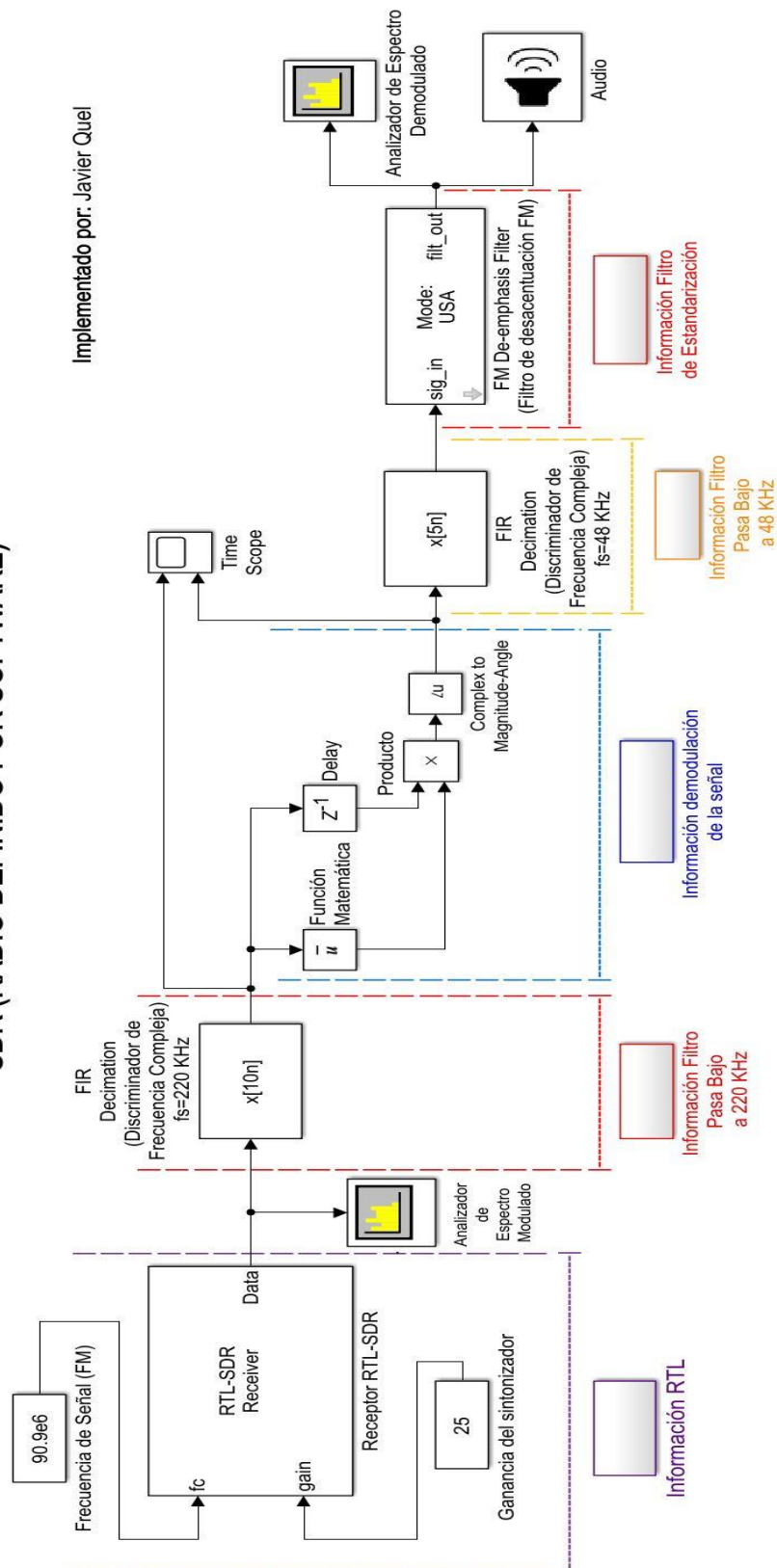


Figura 21. Diseño en Simulink del SDR.

Adaptado de (Stewart et al., s. f.).

Cada uno de los bloques cumplen funciones específicas en el diseño, debido a que, con la agrupación de estos bloques se logra obtener un sistema didáctico de análisis espectral para las señales FM, el que permite de esta manera cumplir con el alcance propuesto en esta implementación.

A continuación, se detallará la configuración que se debe realizar en cada bloque y la respectiva función que cumple a la hora de ser insertado en el diseño.

#### 4.5.1 Frecuencia Central y Ganancia del Sintonizador

Estos dos bloques que se observa en la Figura 22, son constantes insertadas de la librería de Simulink. El primer bloque representa a la frecuencia central que captura el dispositivo para analizar, mientras que el otro bloque representa a la ganancia del sintonizador, estos dos bloques se los conecta a la entrada del dispositivo RTL-SDR.

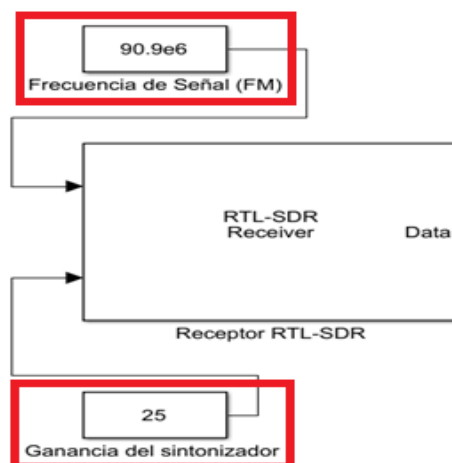


Figura 22. Frecuencia Central y Ganancia del Sintonizador

La configuración que se debe realizar en el bloque de la frecuencia central, es en el parámetro “*Constant value*” como se observa en la Figura 23, en el cual se debe especificar la frecuencia a analizar, para este caso debe estar entre 88-108 MHz que son las frecuencias correspondientes a FM, las que serán analizadas en esta implementación, por ejemplo se debe ingresar 90.9e6 en el campo del valor de la constante para poder sintonizar la frecuencia 90,9 MHz.

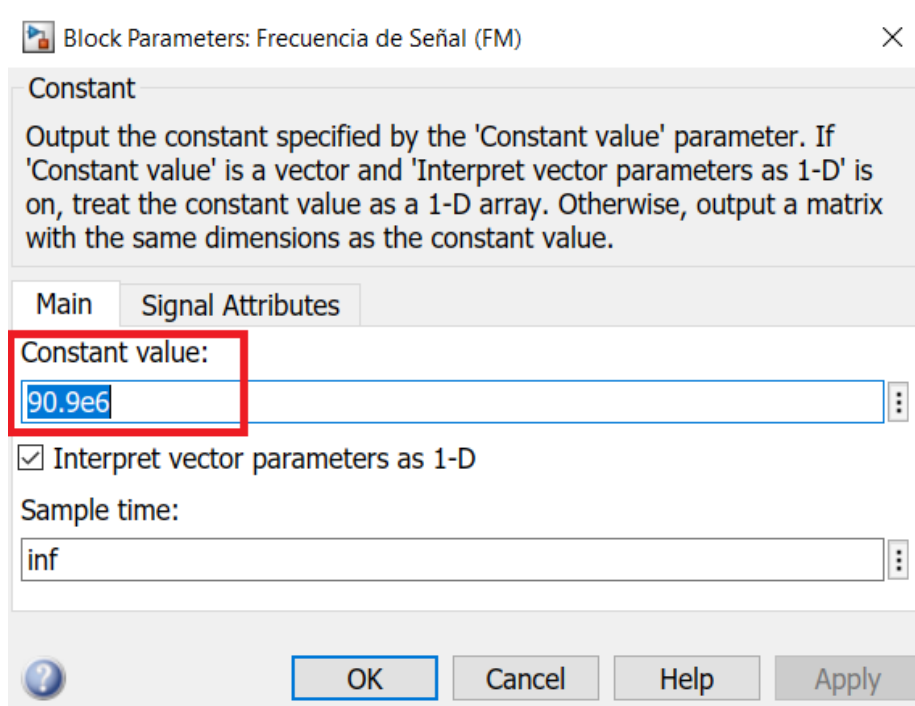


Figura 23. Configuración de Parámetros del bloque Frecuencia de Señal.

De igual manera para realizar la configuración del bloque de la Ganancia del sintonizador, se debe configurar el parámetro “*Constant value*” como se observa en la Figura 24, en el cual se debe especificar la ganancia para poder amplificar la señal, debido a que la señal que es recibida por la antena es muy débil, por lo tanto, toca realizar un proceso de amplificación de la señal, pero para que el dispositivo realice el proceso de amplificación necesita de una ganancia, es por eso que se inserta este bloque a la entrada del dispositivo.



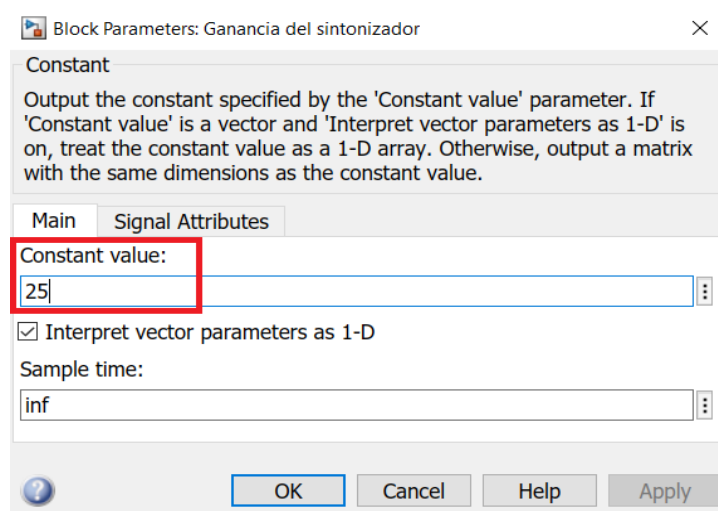


Figura 24. Configuración de Parámetros del bloque Ganancia del sintonizador.

El valor recomendado puede ir entre los 10 dB hasta los 50 dB, por lo tanto, si se pone un valor más alto se puede producir una saturación de la señal, lo que se convertiría en uno de los factores principales de que la señal de entrada no sea muy alto a la hora de sintonizar la señal.

#### 4.5.2 Receptor RTL-SDR

El bloque del Receptor RTL-SDR que se observa en la Figura 25, representa al dispositivo de *hardware* RTL-SDR que se encuentra conectado al computador, el cual permite obtener como salida un espectro de frecuencia modulada, por lo que este bloque se encarga del muestreo de la señal.

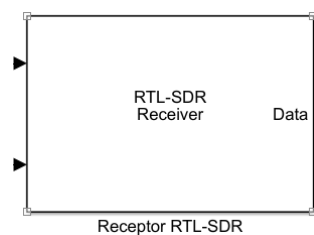


Figura 25. Bloque del Receptor RTL-SDR.

La configuración que se debe realizar en el bloque del receptor RTL-SDR como se observa en la Figura 26, es en los parámetros de la frecuencia central y la ganancia del sintonizador en la que se debe especificar “*Input port*”, el que se va a encargar de habilitar los puertos de entrada para que se pueda conectar las constantes explicadas en el literal anterior.

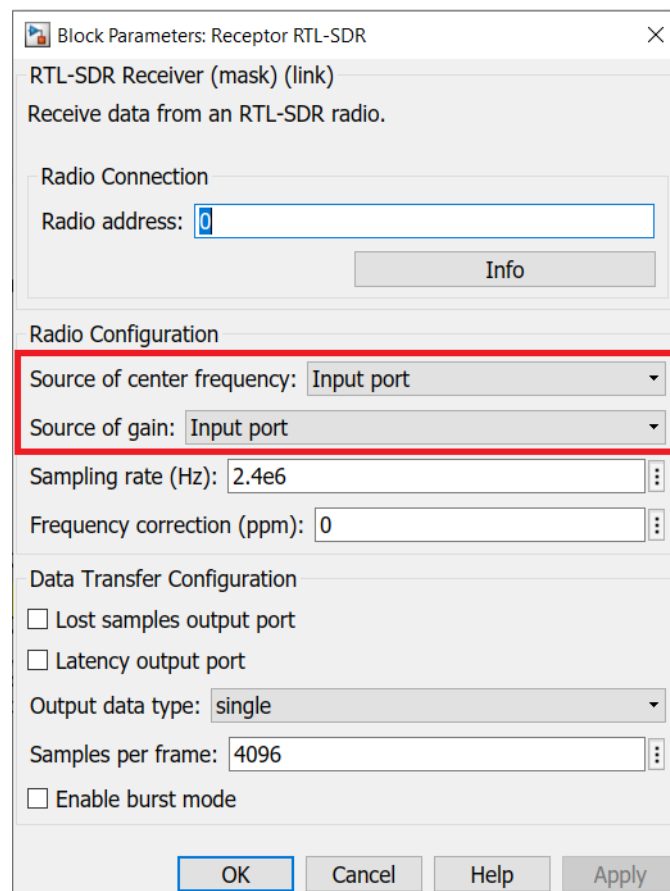


Figura 26. Configuración de Parámetros de la frecuencia central y la de la ganancia del sintonizador del bloque del receptor RTL-SDR.

Otro de los parámetros a configurar es el “*Sampling rate*” como se observa en la Figura 27, este parámetro permite mostrar un poco más del espectro de la frecuencia central, por ejemplo, en este caso la configuración de la frecuencia de

muestreo es de 2.4MHz, por lo tanto, muestra de la frecuencia central 1.2 MHz más de señal a la derecha y 1.2 MHz más de señal a la izquierda, permitiendo observar de mejor manera el espectro a analizar.

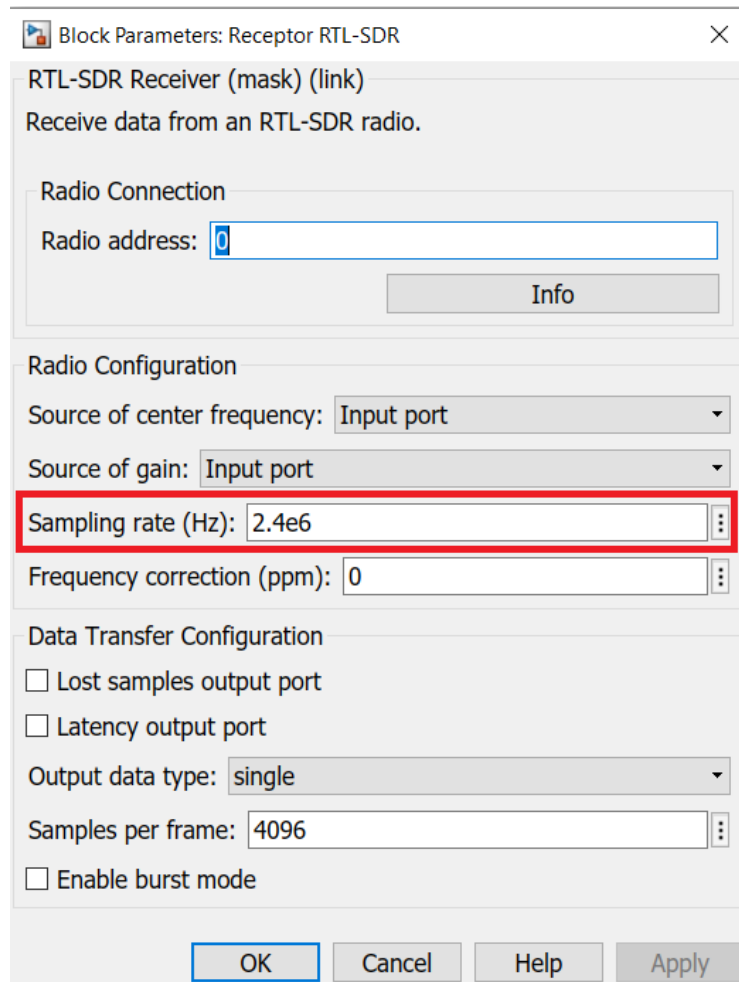
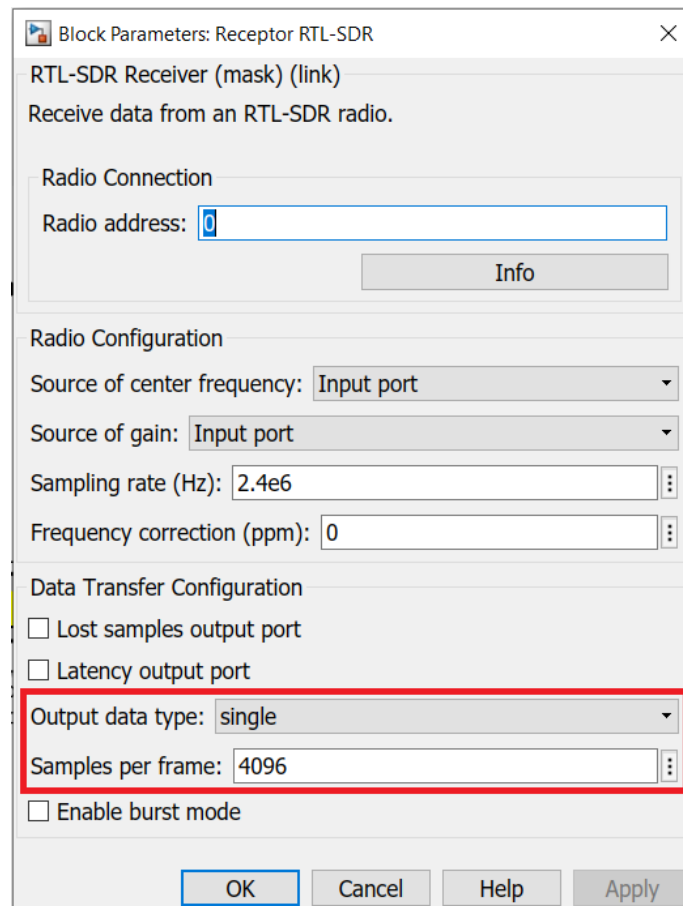


Figura 27. Configuración del Parámetro de la frecuencia de muestreo del bloque del receptor RTL-SDR.

De igual manera como se muestra en la Figura 28, se debe realizar la configuración del tipo de dato de salida, por lo que en este caso se selecciona el parámetro "single", debido a que va ser un dato único de salida, por lo que también se debe configurar el parámetro "Samples per frame", el que se va a

encargar del número de muestras por cuadro que se desea tomar de una señal al momento de poder visualizar dicha señal en el analizador de espectros.



*Figura 28.* Configuración del parámetro de las muestras por cuadro del bloque del receptor RTL-SDR.

#### 4.5.3 Discriminador de frecuencia compleja a 220 KHz

El bloque del discriminador de frecuencia compleja, como se observa en la Figura 29, es el encargado de filtrar y reducir la señal de entrada, es decir, reduce al ancho de banda permitido de la frecuencia central que está siendo sintonizada.

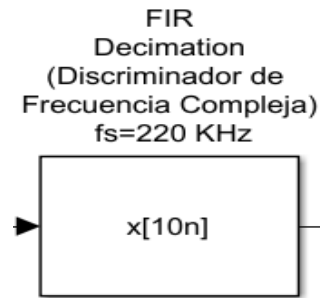


Figura 29. Bloque del Discriminador de frecuencia compleja 220KHz.

La configuración que se debe realizar en el bloque del discriminador de frecuencia compleja como se observa en la Figura 30, es principalmente marcar la opción “*Dialog parameters*”, debido a que este permite modificar los coeficientes del filtro FIR por medio de una operación que principalmente se basa en la frecuencia de muestreo, en el cual con la operación se consigue obtener un filtro pasa bajos para lograr la reducción de la señal, en el que se especifica el número de coeficientes y las frecuencias de borde de banda como se observa en la Figura 31, en el cual al final se especifica la frecuencia de muestreo, en este caso se lo configuro en 20 Hz, es decir que se toman muestras cada 20 Hz, y por medio de la configuración del parámetro “*Decimation factor*” se puede lograr una reducción de la frecuencia de muestreo, por lo tanto se configuro en 10, debido a que la frecuencia de muestreo que fue especificada en el receptor RTL-SDR es de 2.4 MHz, por lo que se hace una reducción de 10 veces, dando como resultado una frecuencia de muestreo de 240KHz, debido a que según la norma técnica establece que las estaciones de FM operan a un ancho de banda de 220KHz, permitiendo de esta manera con los 240KHz poder ver el ancho de banda de la frecuencia central.

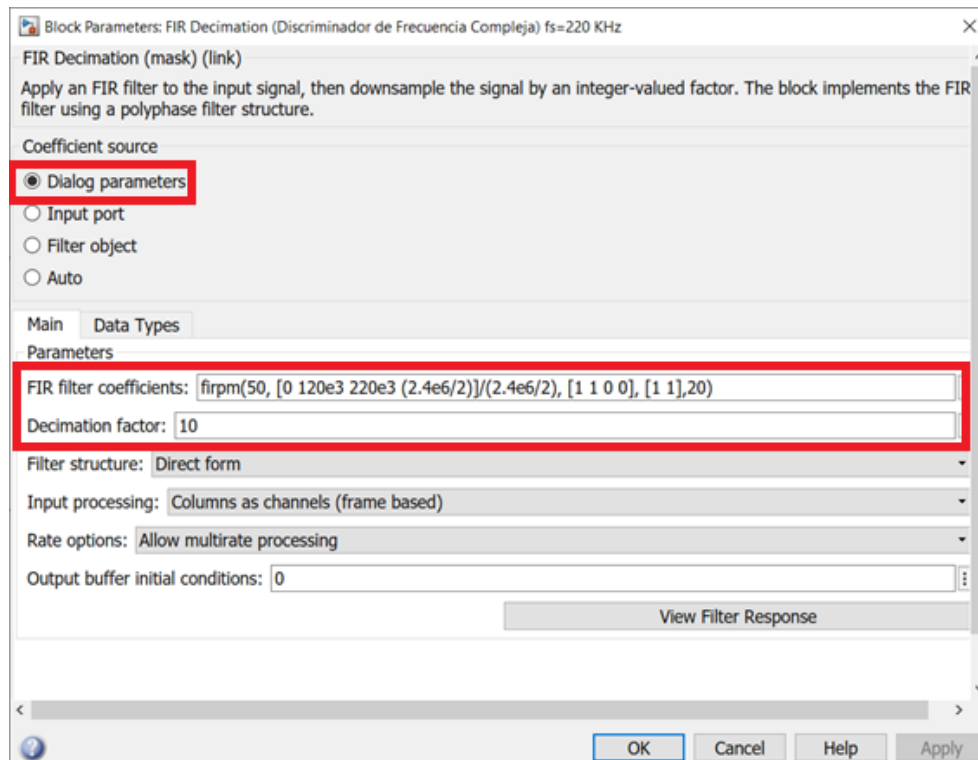


Figura 30. Configuración del parámetro “Decimation factor” del bloque del discriminador de frecuencia compleja 220KHz.

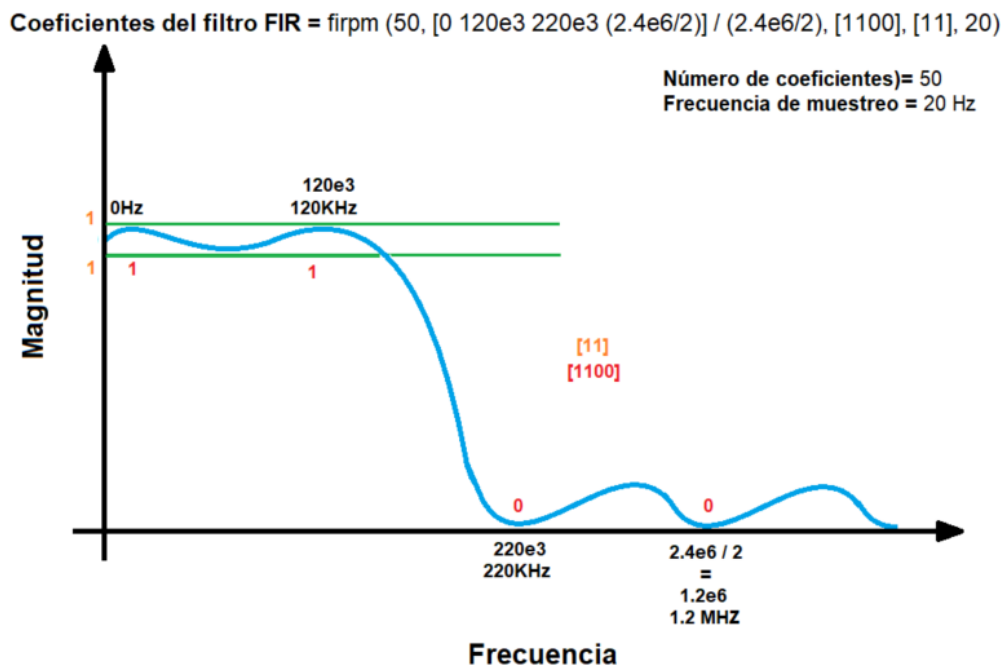


Figura 31. Explicación gráfica de la ecuación del discriminador de frecuencia compleja 220KHz.

Otro de los parámetros a configurar es la tasa de opción como se observa en la Figura 32, en la cual se selecciona el parámetro “*Allow multirate processing*”, debido a que este permite remuestrear datos uniformes o no uniformes a una nueva tasa fija, es decir realizar la diezmación y la interpolación lineal o de orden superior sin introducir alias, permitiendo de esta manera fijar el tamaño de muestreo a 240KHz. (MathWorks, s. f.-e).

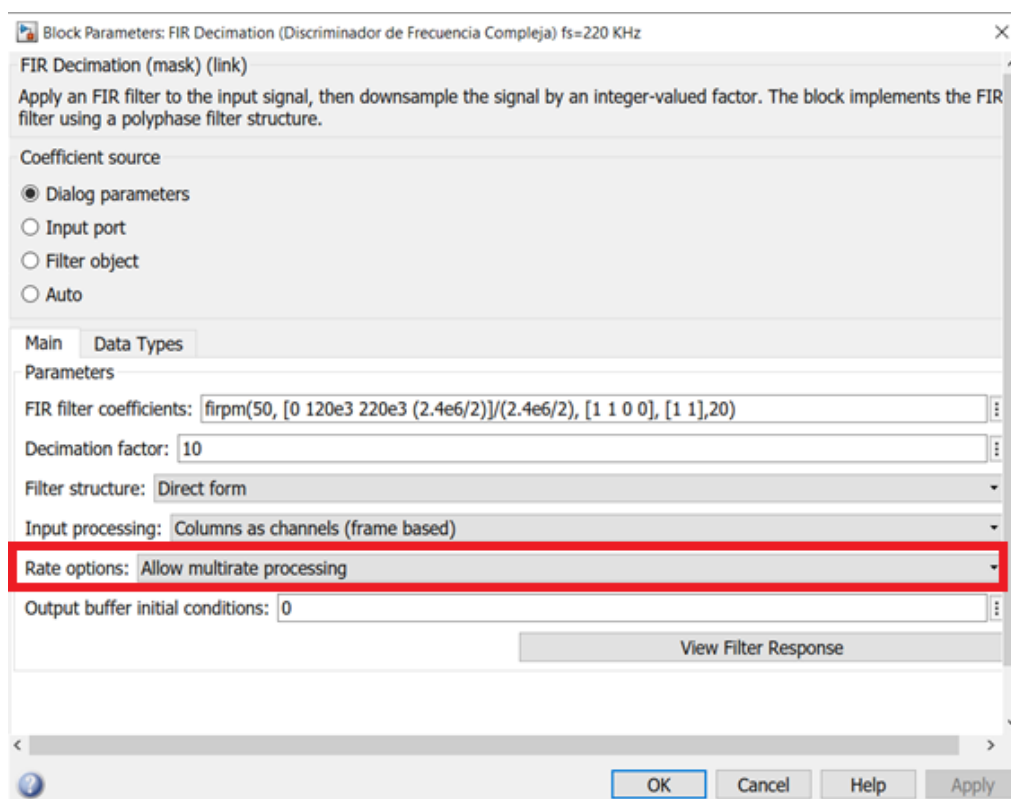


Figura 32. Configuración del parámetro de la tasa de opción del bloque del discriminador de frecuencia compleja 220KHz.

#### 4.5.4 Delay

El bloque de Retraso como se observa en la Figura 33, principalmente realiza el proceso de retrasar la señal de entrada por un número específico de muestras,

por lo que permite realizar la transformada inversa de Fourier, es decir pasar del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo como se observa en la Figura 34, ya que permite recuperar la señal de audio original.

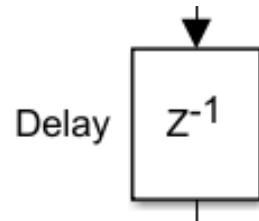


Figura 33. Bloque del retraso.

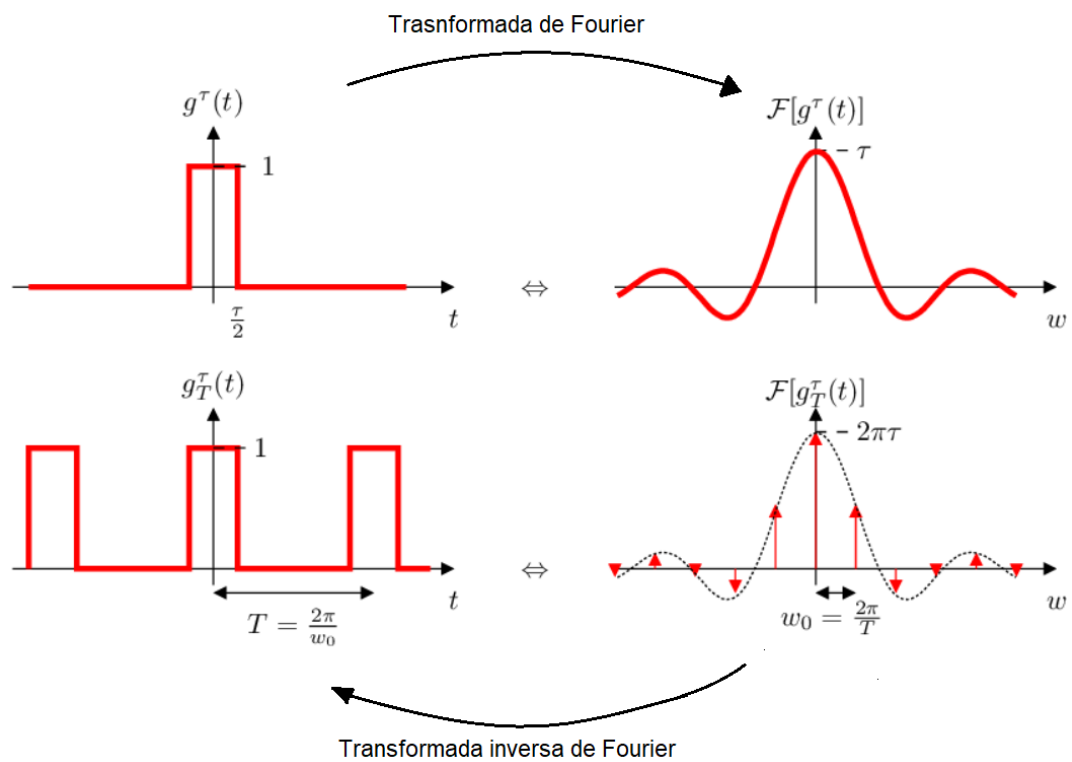


Figura 34. Transformada de Fourier y Transformada inversa de Fourier.

Adaptado de (Juan Rodríguez & González, 2014).



La configuración que se debe realizar en el bloque de retraso como se observa en la Figura 35, es en el parámetro “*Delay length*” en el cual se especifica la longitud de retraso, en este caso se coloca en 1, debido a que se realiza la primera derivada negativa de la salida de fase del filtro configurado anteriormente. (MathWorks, s. f.-f).

De esta manera se realiza la transformada inversa de Fourier y por medio de la configuración del parámetro de procesamiento de entrada se selecciona la opción “*Columns as channels (frame based)*”, debido a que el procesamiento se lo está realizando en base a muestras de los canales de la frecuencia central.

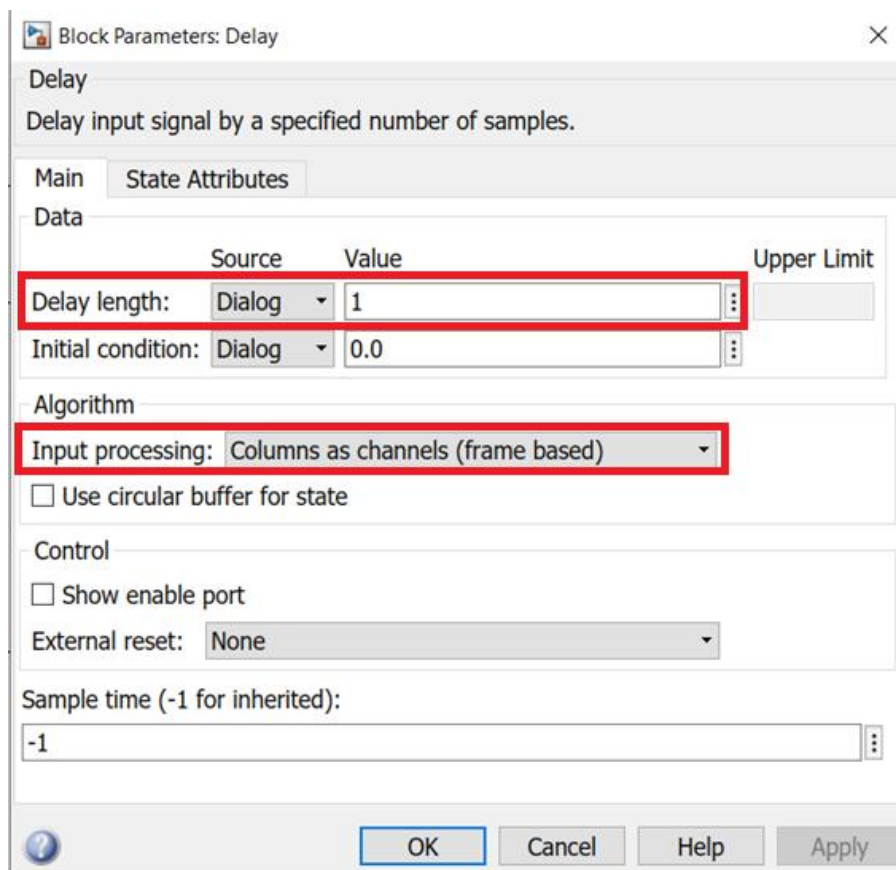


Figura 35. Configuración del parámetro de la longitud del retraso del bloque *delay*.

#### 4.5.5 Función Matemática

El bloque de función matemática como se observa en la Figura 36, es un complemento del bloque de retraso, es decir que tiene que ir acompañado de dicho bloque, debido a que este bloque se encarga de tomar los armónicos de la señal modulada.



Figura 36. Bloque de la función matemática.

Cuando se modula una señal se realiza la transformada de Fourier, es decir pasa del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, generando la señal de la frecuencia portadora y los armónicos como se observa en la Figura 37, por lo que los armónicos son productos de la modulación de los números complejos, debido a que los números complejos generan los armónicos, y para realizar el proceso de demodulación de la señal hay que tomar en cuenta los armónicos, debido a que estos pueden mezclarse con los armónicos de otras frecuencias y empezar a sumarse, causando así interferencia.

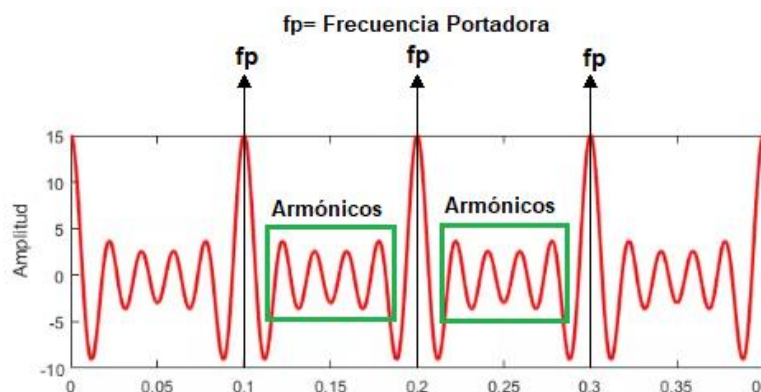


Figura 37. Armónicos de una señal.

La configuración que se realiza en el bloque de la función matemática como se observa en la Figura 38, es en el parámetro de función, en donde se selecciona la opción “conj”, debido a que esa función se encarga de devolver el conjugado complejo de cada elemento en  $Z$ . (MathWorks, s. f.-c).

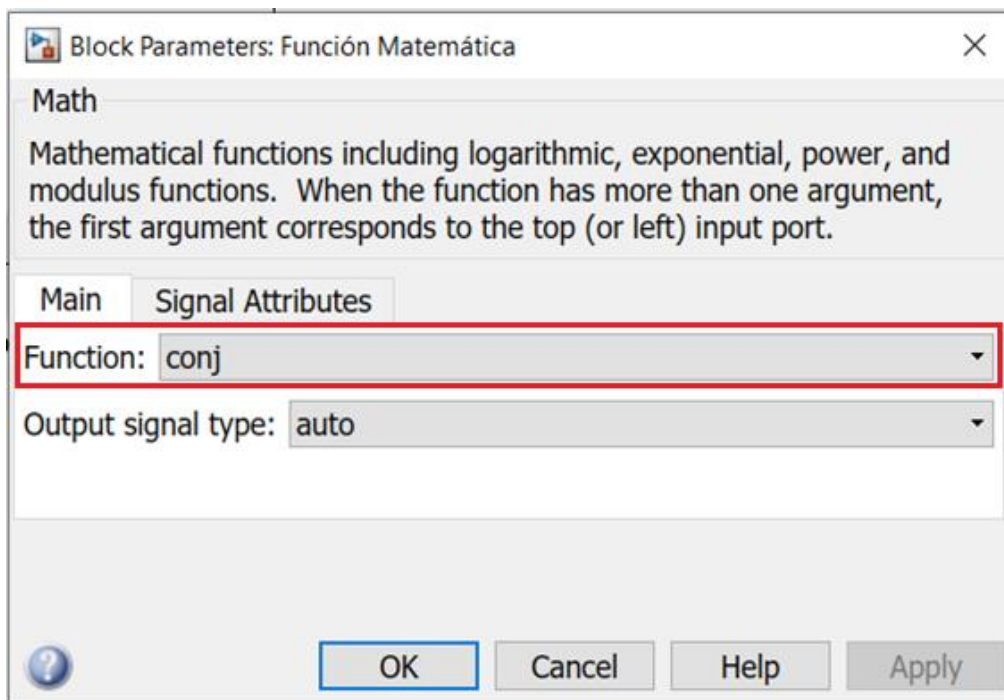


Figura 38. Configuración del parámetro de la función del bloque de la función matemática.

#### 4.5.6 Producto

El bloque producto como se observa en la Figura 39, es el encargado de realizar la multiplicación de sus entradas, en este caso lo que haría es mezclar las dos señales por medio de la multiplicación, y entregar como salida una señal demodulada.

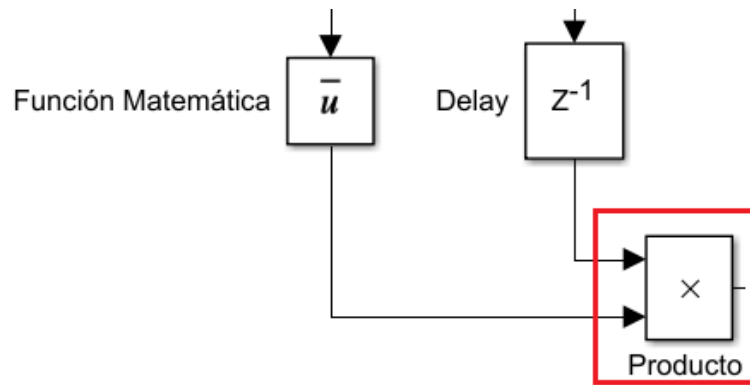


Figura 39. Bloque del producto.

La configuración que se debe realizar en este bloque es en el parámetro que indica el número de entradas, en este caso se colocó 2 como se observa en la Figura 40, debido a que se tiene que realizar el proceso de multiplicación del bloque de retraso y el bloque de función matemática.

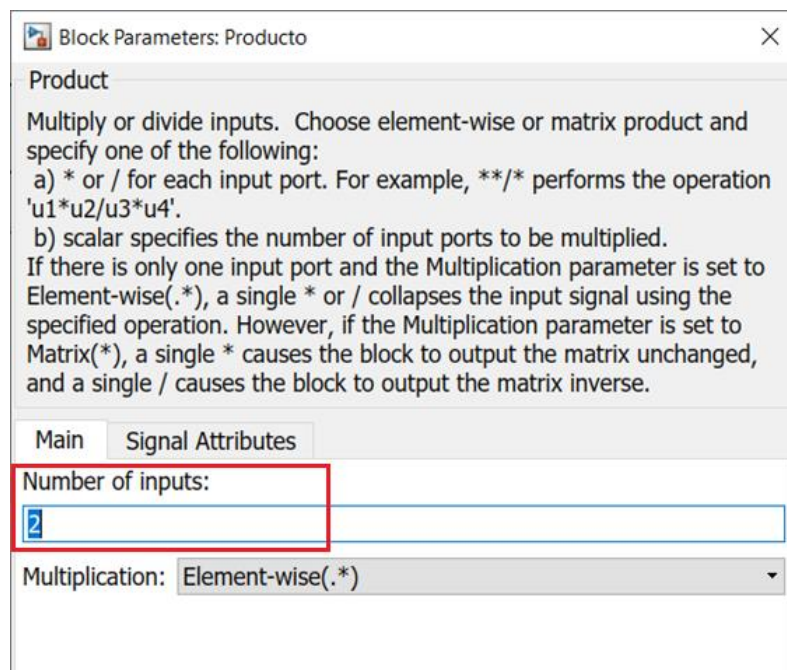


Figura 40. Configuración del parámetro del número de entradas del bloque del producto.

#### 4.5.7 Complejo a ángulo de magnitud

El bloque *Complex to Magnitude-Angle* como se observa en la Figura 41, es el encargado de generar el ángulo de fase de la señal que se obtiene como resultado del bloque del producto.

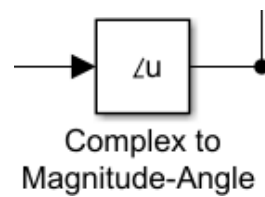


Figura 41. Bloque del complejo a ángulo de magnitud.

Ya que cuando se hace el proceso de demodulación, cada señal tiene una fase diferente, por lo que la fase es el ángulo de una señal con la que entra, cuando una señal se mueve un cierto ángulo viene siendo la misma señal, por lo que se debe realizar una compensación de ángulo para regresar la señal a la señal original como se observa en la Figura 42, es por eso que se inserta el bloque de complejo a ángulo de magnitud, con el fin de compensar el ángulo de fase de la señal.

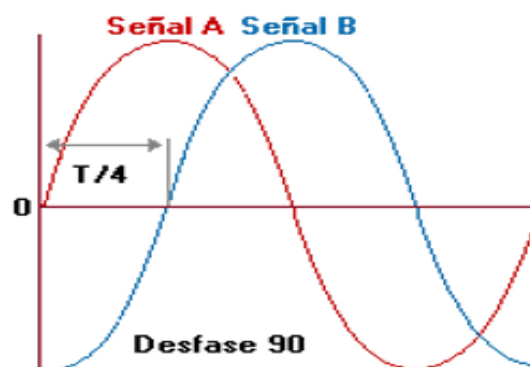


Figura 42. Imagen de desfase de señal.

Tomado de (TERMINOLOGÍA OSCILOSCOPIO VIRTUAL, s. f.).

La configuración que se debe realizar en este bloque es en el parámetro de la salida, que en este caso se pone la opción “*Angle*” como se observa en la Figura 43, debido a que en la modulación FM existe una variación en ángulo, mientras que la magnitud se mantiene constante.

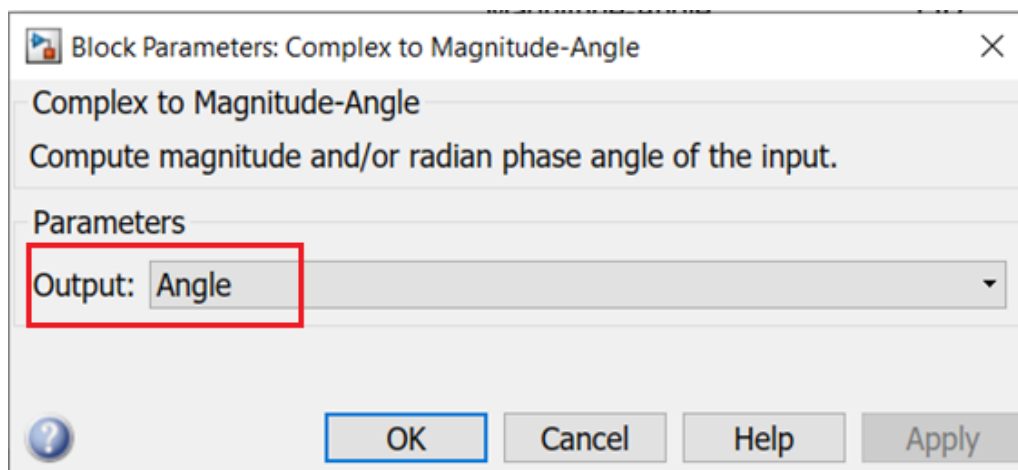
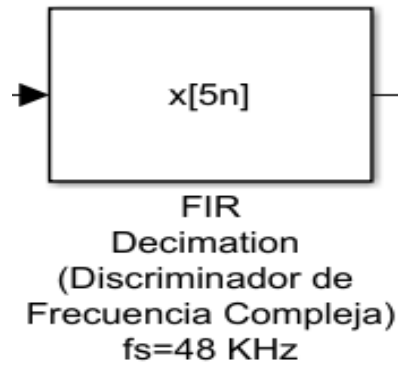


Figura 43. Configuración del parámetro de la salida del bloque del complejo a ángulo de magnitud.

#### 4.5.8 Discriminador de frecuencia compleja a 48 KHz.

El bloque del discriminador de frecuencia compleja, como se observa en la Figura 44, es el encargado de filtrar y reducir la señal de entrada.



*Figura 44.* Bloque del discriminador de frecuencia compleja 48KHz.

La configuración que se debe realizar en el bloque del discriminador de frecuencia compleja como se observa en la Figura 45, es marcar la opción “*Dialog parameters*”, debido a que este permite modificar los coeficientes del filtro FIR por medio de una operación que principalmente se basa en la frecuencia de muestreo, en el cual con la operación se consigue obtener un filtro pasa bajos para lograr la reducción de la señal, en el que se especifica el número de coeficientes y las frecuencias de borde de banda como se observa en la Figura 46, en el cual al final se especifica la frecuencia de muestreo, en este caso se lo configuro en 20 Hz, es decir que se toman muestras cada 20 Hz, y por medio de la configuración del parámetro “*Decimation factor*” poder reducir la frecuencia de muestreo, se configura en 5, debido a que la frecuencia de muestreo que fue configurada en el anterior filtro fue especificada a 240Khz, por lo que se hace una reducción de 5 veces, dando como resultado una frecuencia de muestreo de 48KHz, debido a que según la norma técnica establece que la frecuencia de muestreo FM es a 48KHz y porque el oído humano puede escuchar entre 20Hz a 20KHz, permitiendo de esta manera ver el ancho de banda de la frecuencia central donde tiene mayor ganancia.

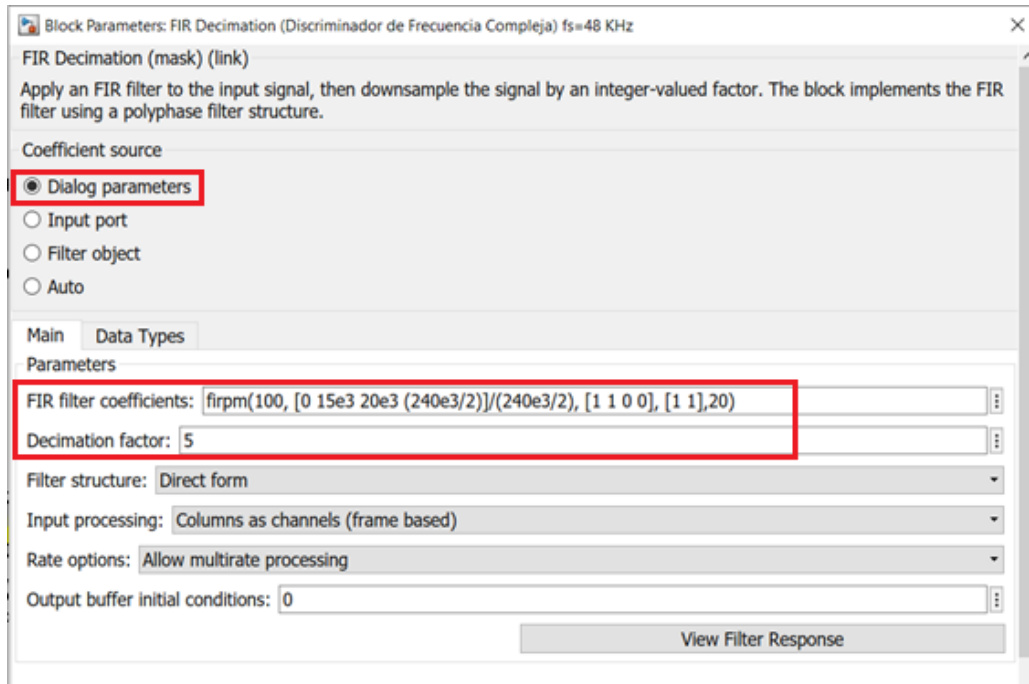


Figura 45. Configuración del parámetro “Decimation factor” del bloque del discriminador de frecuencia compleja 48KHz.

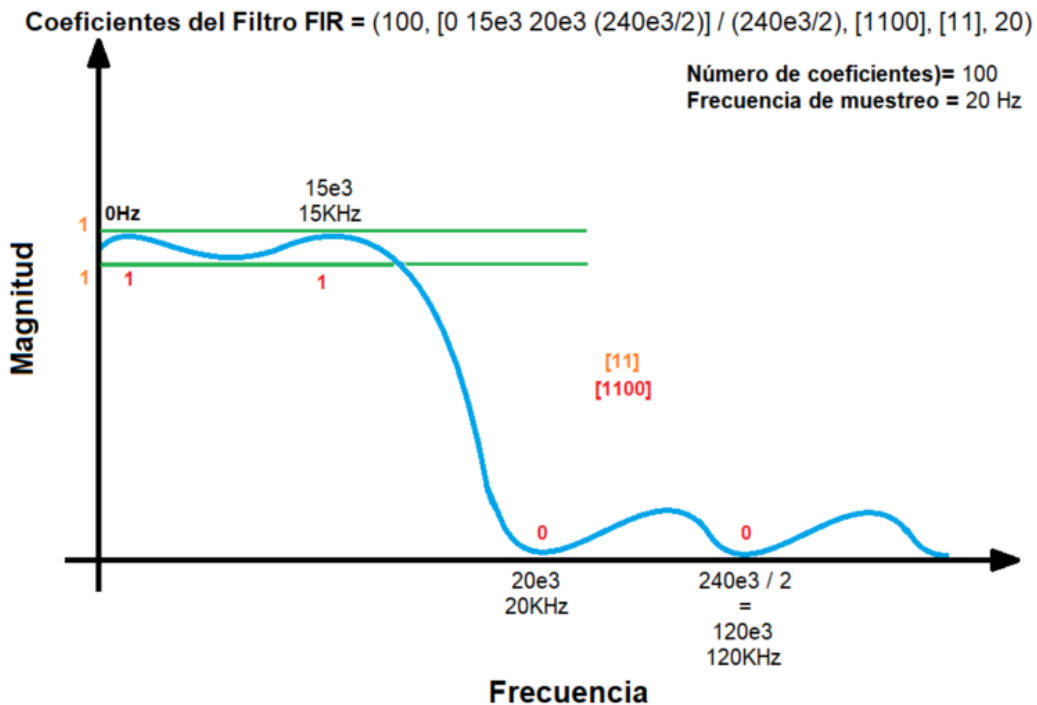


Figura 46. Explicación gráfica de la ecuación del discriminador de frecuencia compleja 48KHz.



Otro de los parámetros a configurar es la tasa de opción como se observa en la Figura 47, en la cual se selecciona el parámetro “*Allow multirate processing*”, debido a que este permite remuestrear datos uniformes o no uniformes a una nueva tasa fija, es decir realizar la diezmación y la interpolación lineal o de orden superior sin introducir alias, permitiendo de esta manera fijar el tamaño de muestreo a 48KHz. (MathWorks, s. f.-e)

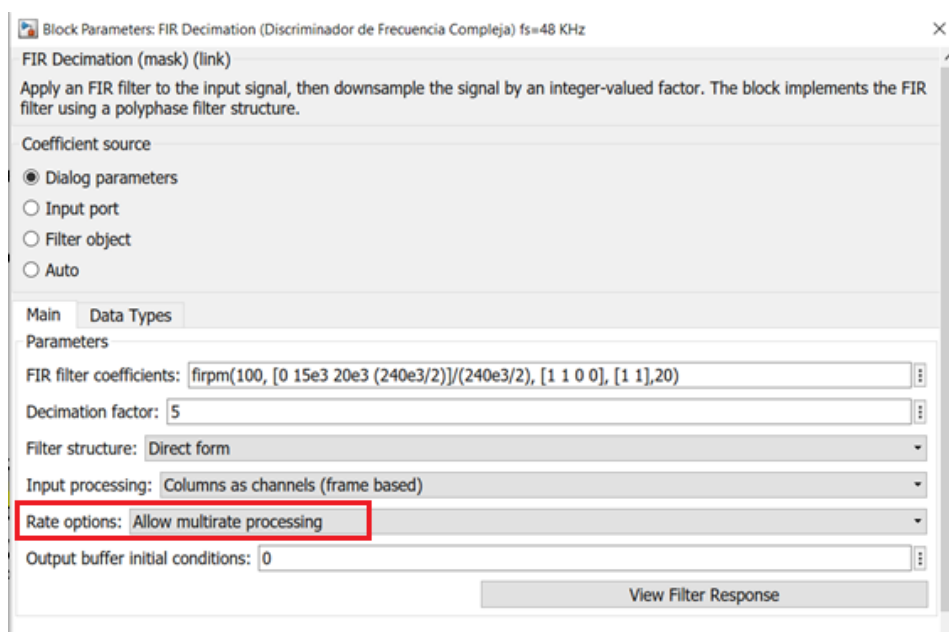


Figura 47. Configuración del parámetro de la tasa de opción del bloque del discriminador de frecuencia compleja 48KHz.

#### 4.5.9 Filtro de estandarización FM

El bloque del filtro de estandarización FM como se observa en la Figura 48, permite recibir la señal de entrada y estandarizarla según la estandarización con la que se transmita la señal en el país que se vaya a implementar, en este caso la implementación se realizara en el Ecuador, por lo tanto, la estandarización que utiliza el Ecuador para la transmisión FM es la estandarización americana.

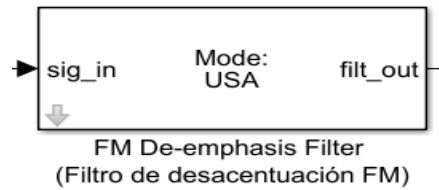


Figura 48. Bloque del Filtro de estandarización FM.

La configuración que se debe realizar en este bloque como se observa en la Figura 49, es principalmente seleccionar la opción “USA” del parámetro de la región del filtro que se va a utilizar, debido a que en el Ecuador se utiliza el estándar americano, por lo que de igual manera se debe especificar la frecuencia de muestreo, el cual se coloca a 48e3, debido a que tiene que ser la misma frecuencia de muestreo que se tiene como salida en el filtro aplicado anteriormente, el cual tenía una salida de 48KHz que está basado según las normas técnicas de las frecuencias de muestreo en FM.

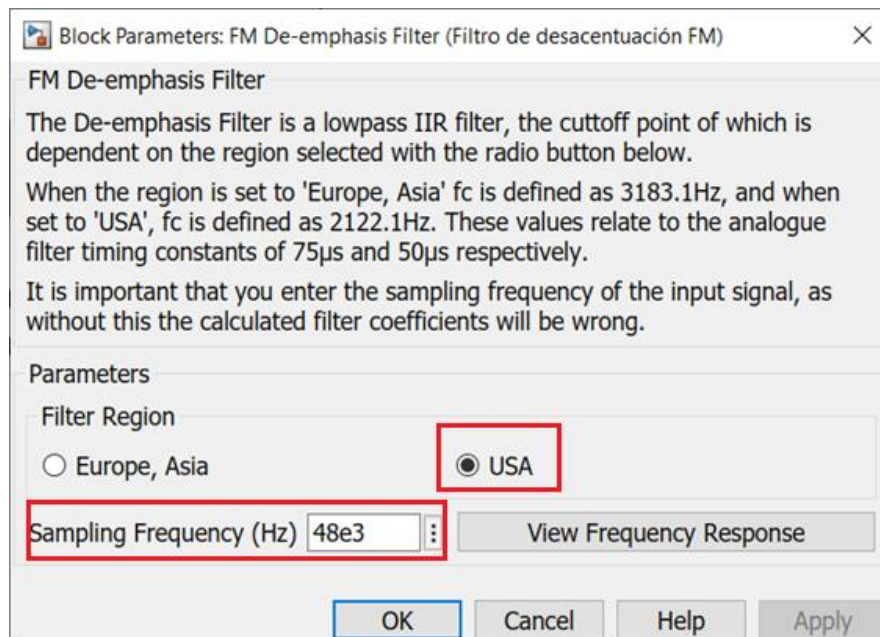


Figura 49. Configuración del parámetro de estandarización y de frecuencia de muestreo del Filtro de estandarización FM.

#### 4.5.10 Analizador de Espectro

El bloque del analizador de espectros como se observa en la Figura 50, es el encargado de muestrear el espectro de la señal de manera gráfica por medio de una interfaz, en el que permite realizar varias funciones como mediciones de distorsión, mediciones de canal, mediciones de cursor, entre otras. Permitiendo de esta manera poder observar los armónicos de las frecuencias, conocer el ancho de banda, ver los picos más altos de la señal, y otras funciones que serán detalladas en la implementación.



*Figura 50.* Bloque del Analizador de espectro.

El analizador de espectros está compuesto por una interfaz en donde se puede visualizar el espectro de la frecuencia central y además está compuesto por varias opciones que permite observar las mediciones de distorsión, mediciones de canal, medición de cursor, como se mira en la Figura 51.

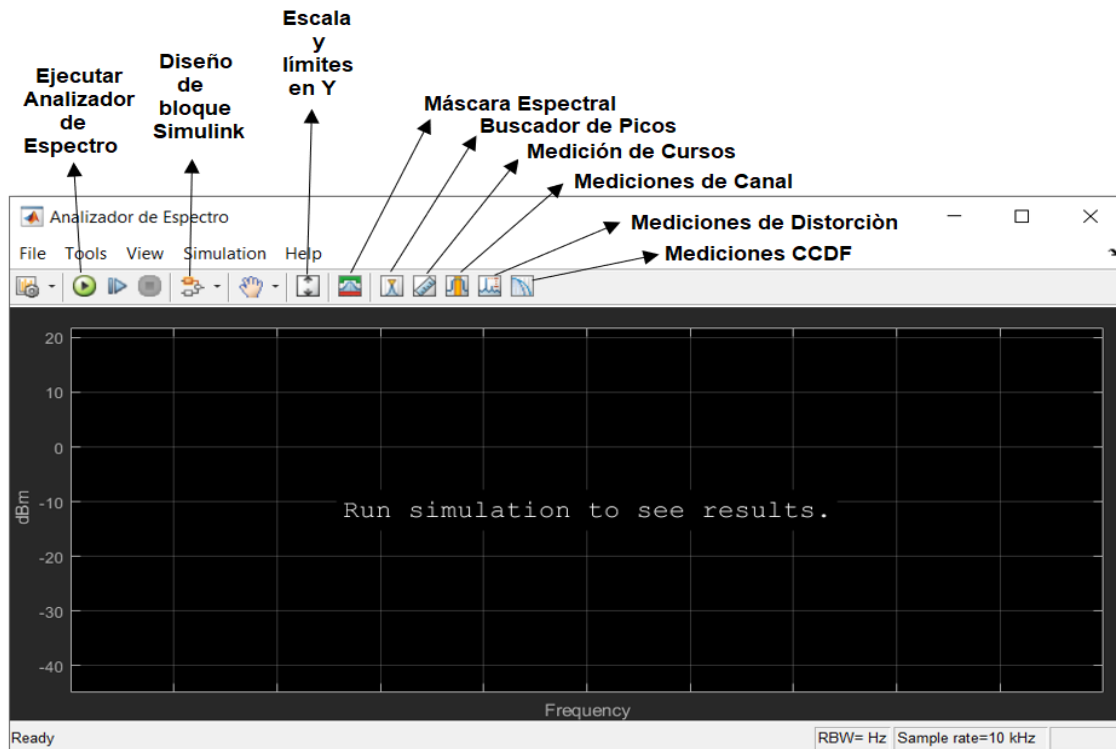


Figura 51. Complementos de la interfaz del analizador de espectros.

#### 4.5.11 Time Scope (Alcance del tiempo)

El bloque del alcance del tiempo o conocido como *Time Scope* como se observa en la Figura 52, permite realizar una comparativa entre las señales del espectro de frecuencia modulada y las señales del espectro de frecuencia demodulada, mostrando las mismas señales en el dominio del tiempo, permitiendo analizar que las fluctuaciones de frecuencia en la señal modulada coinciden las fluctuaciones de amplitud en la señal demodulada. (MathWorks, s. f.-b).

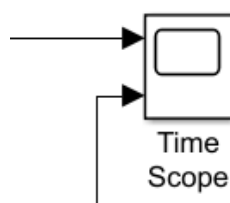


Figura 52. Bloque del *Time Scope*.

Para la configuración de este bloque, se la realiza en la interfaz como se observa en la Figura 53, en donde se debe abrir la pestaña “*File*” y seleccionar la opción para modificar el número de puertos de entrada, por lo que para esta implementación se utilizará 2 puertos.

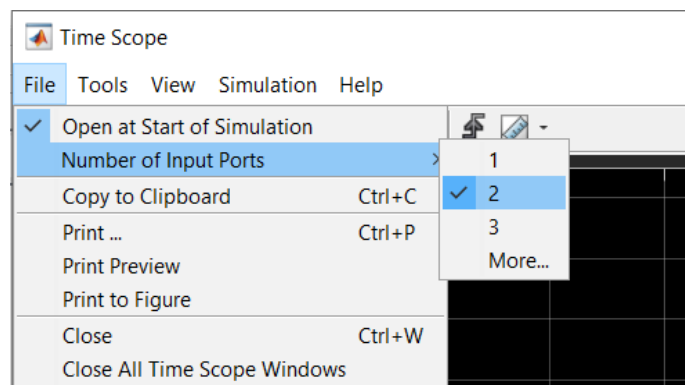


Figura 53. Configuración del número de puertos del bloque *Time Scope*.

De igual manera dentro de la interfaz del bloque como se representa en la Figura 54, se realiza la configuración del diseño, para lo cual se debe abrir la pestaña “*View*” y seleccionar la opción “*Layout*” para modificar el diseño de la interfaz, en el cual se selecciona dos cuadros como se observa en la Figura 55.

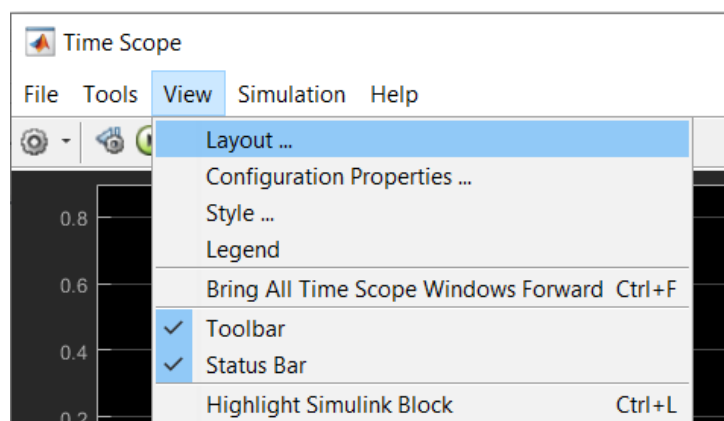


Figura 54. Configuración del diseño del *Time Scope*.

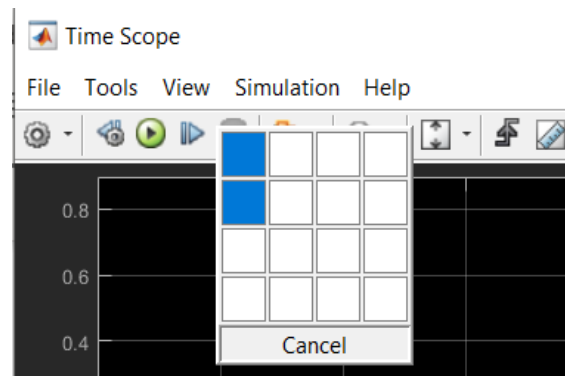


Figura 55. Configuración del diseño de la interfaz del bloque del *Time Scope*.

Finalmente se debe realizar una configuración de las propiedades y seleccionar la pestaña “*Time*” como se observa en la Figura 56, en donde se especifica el espacio de tiempo, en este caso a 512, ya que esto permite limitar y solo mostrar 512 muestras del ancho de banda de 240 KHz de una frecuencia FM, con el fin de analizar dichas muestras en el *Time Scope*.

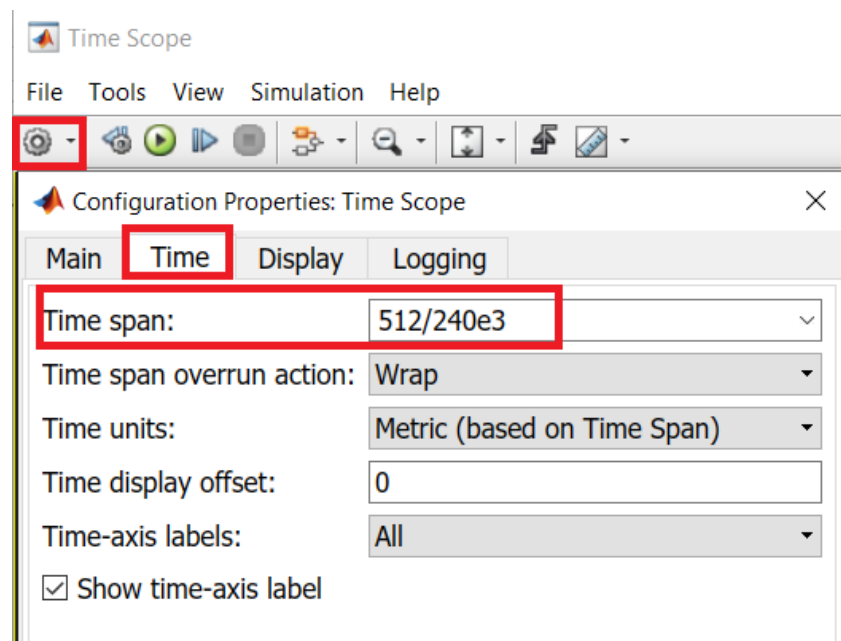


Figura 56. Configuración del parámetro del espacio de tiempo del bloque del *Time Scope*.

#### 4.5.12 Audio

El insertar el bloque de Audio como se observa en la Figura 57, permite escuchar la emisora que fue sintoniza en la frecuencia central por medio de los parlantes de la computadora.

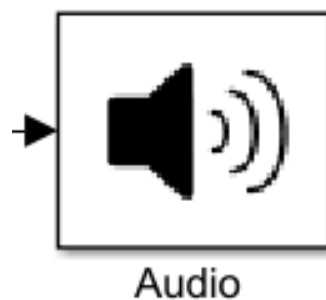


Figura 57. Bloque del Audio.

## 5. Capitulo V. Implementación

Para poder realizar el proceso de implementación del diseño se debe realizar los siguientes pasos.

### 5.1 Instalar el *software* MATLAB & Simulink

Para poder realizar el proceso de instalación del *software* MATLAB & Simulink, se debe considerar los requerimientos del computador que se especificó en los requerimientos de *software*.

## 5.2 Instalar y configurar el dispositivo RTL-SDR

Una vez instalado el *software* MATLAB & Simulink en el computador se procede a descargar e instalar el paquete de “*Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio*” que esta especificado en los Anexos 1 y 2.

## 5.3 Conexión y verificación del dispositivo RTL-SDR

Primero se debe armar y conectar el dispositivo al computador como se mira en la Figura 58.

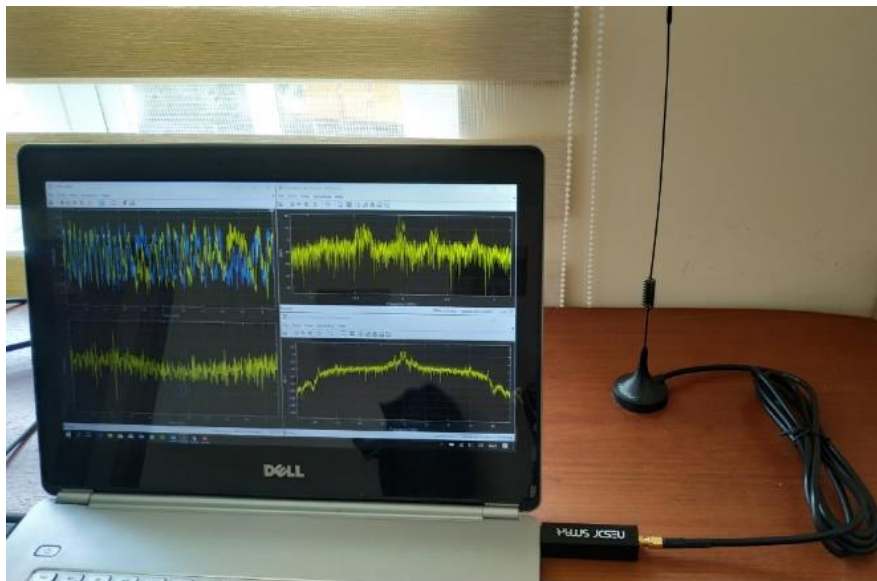


Figura 58. Conexión del dispositivo RTL-SDR en el computador.

Después de haber conectado el dispositivo al computador, se verifica que el dispositivo sea reconocido por el *software* Matlab y a la vez se inicializa por medio de la ejecución del comando “*my\_rtlsdr = sdrinfo*” como se representa en la Figura 59.



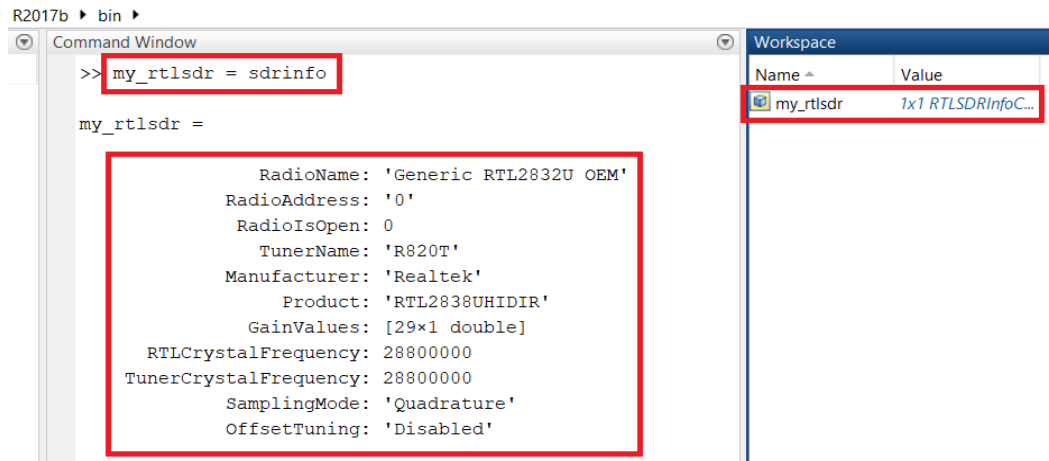


Figura 59. Reconocimiento del dispositivo RTL-SDR por el Software MATLAB.

## 5.4 Inicializar Simulink

Para poder ingresar a Simulink se debe ingresar a la interfaz de MATLAB y seleccionar la opción “Simulink” en la pestaña “Home” como se mira en la Figura 60.

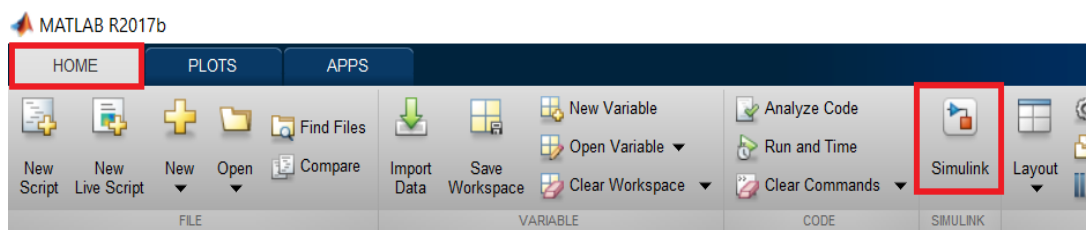


Figura 60. Ingresar a la interfaz de Simulink.

## 5.5 Crear nuevo modelo en Simulink

Para crear un nuevo modelo, se tiene que seleccionar la opción de modelo en blanco en la interfaz de Simulink como se observa en la Figura 61.

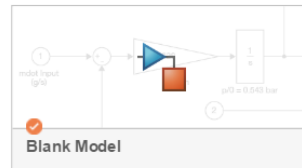


Figura 61. Creación de un nuevo modelo en blanco en la interfaz de Simulink

## 5.6 Insertar bloques en Simulink

Para poder empezar a insertar los bloques, se debe ingresar a la librería de Simulink como se muestra en la Figura 62, en donde se hallan todos los bloques que dispone Simulink para diseñar proyectos, en esta librería se puede hacer uso de la pestaña buscar para encontrar de una manera más rápida el bloque que se desea utilizar.

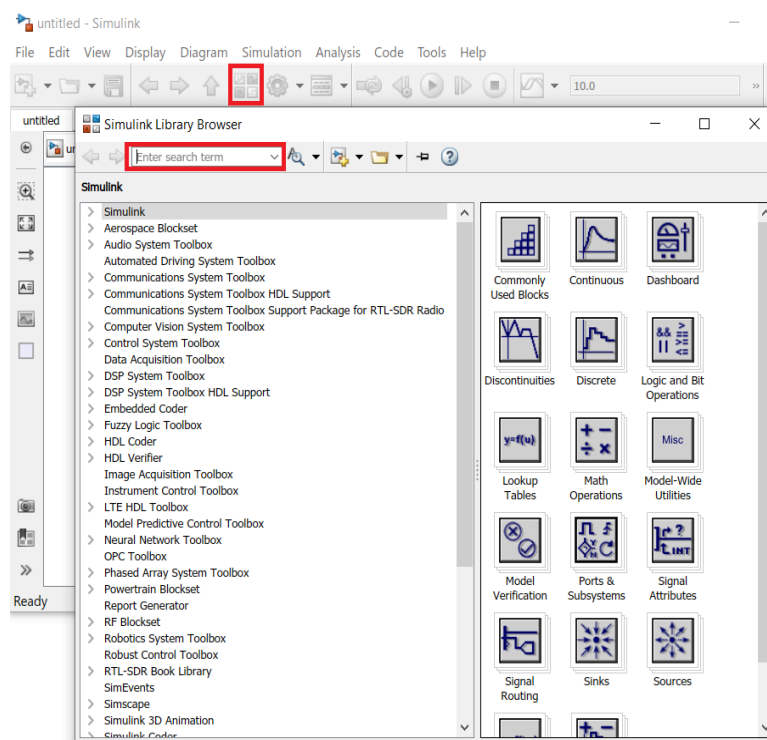


Figura 62. Librería de bloques disponibles en Simulink.

## 5.7 Insertar Receptor RTL-SDR

El Receptor RTL-SDR es representado en el Simulink como el dispositivo de *hardware* RTL-SDR que se encuentra conectado al computador, el que principalmente transforma la señal analógica en digital y permite obtener como salida una señal de frecuencia modulada.

Para insertar el bloque del receptor RTL-SDR, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*RTL-SDR Receiver*” como se observa en la Figura 63, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

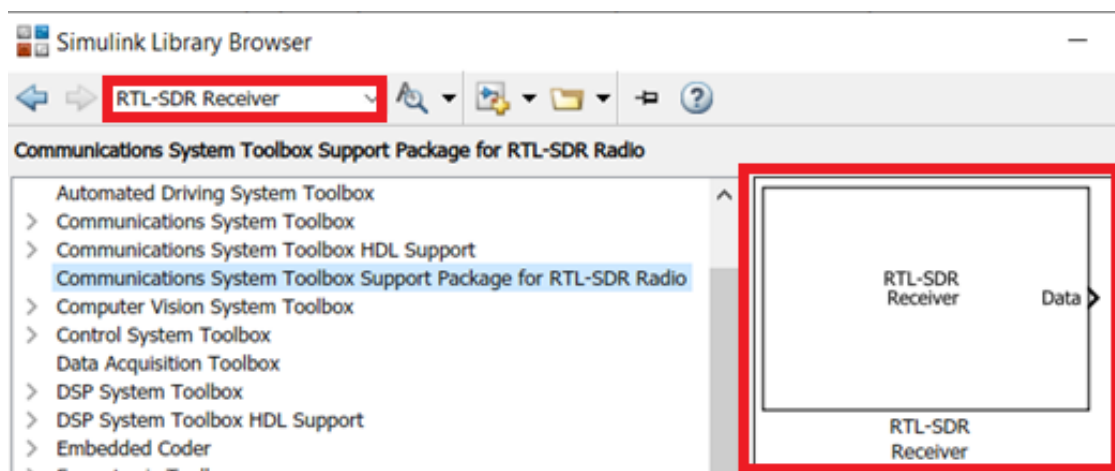


Figura 63. Bloque del receptor RTL-SDR en la librería de Simulink.

En caso de que no se encuentre este bloque es debido a que no se realizó una instalación correcta del paquete de “*Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio*” que esta especificado en el Anexo 2.

## 5.8 Insertar Constantes

Por medio de las constantes se puede representar la frecuencia central, la que permite sintonizar una señal FM para analizarla, y de igual manera la constante de la ganancia del sintonizador, que es un factor fundamental para la amplificación de la señal que se realiza en el dispositivo RTL-SDR.

Para insertar el bloque de las constantes para representar la frecuencia central y la ganancia del sintonizador, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Constant*” como se observa en la Figura 64, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

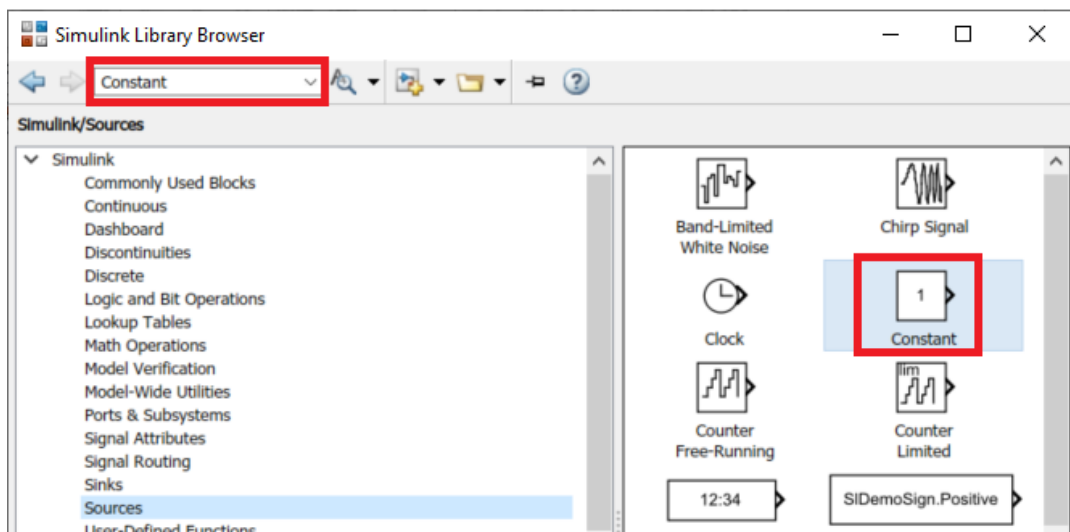


Figura 64. Bloque de una constante en la librería de Simulink.

## 5.9 Insertar discriminador de frecuencia compleja

El discriminador de frecuencia permite filtrar y reducir la señal sintonizada, para esta implementación se debe insertar dos discriminadores de frecuencia, el

primero a 240 KHz y el segundo a 48 KHz, debido a que estos parámetros son los que indica la norma técnica de las frecuencias FM.

Para insertar el bloque del discriminador de frecuencia compleja, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*FIR Decimation*” como se observa en la Figura 65, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

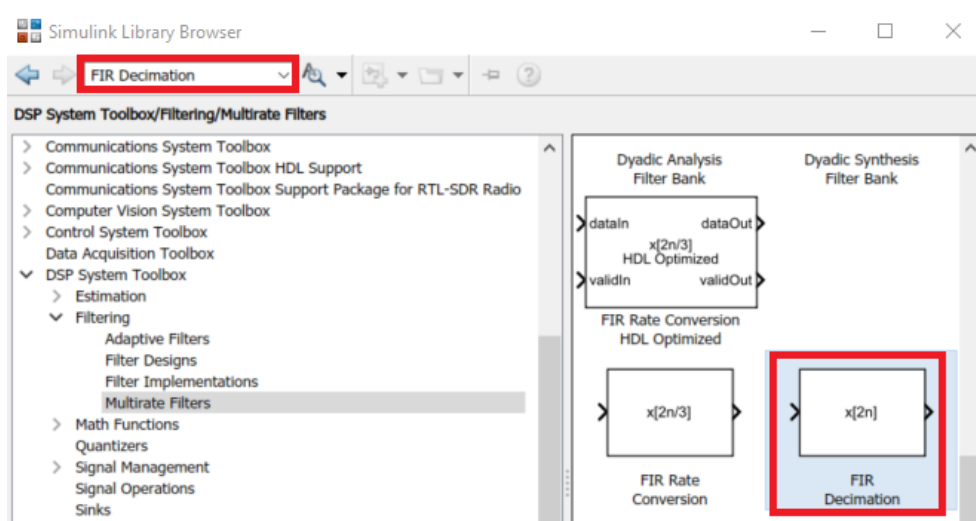


Figura 65. Bloque del discriminador de frecuencia compleja en la librería de Simulink.

### 5.10 Insertar retraso

El retraso de la señal se lo aplica, debido a que representa la primera derivada negativa, conocida como la transformada inversa de Fourier, la que permite realizar el proceso de demodulación de la señal.

Para insertar el bloque de retraso, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Delay*” como se observa en la Figura 66, y se debe

realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

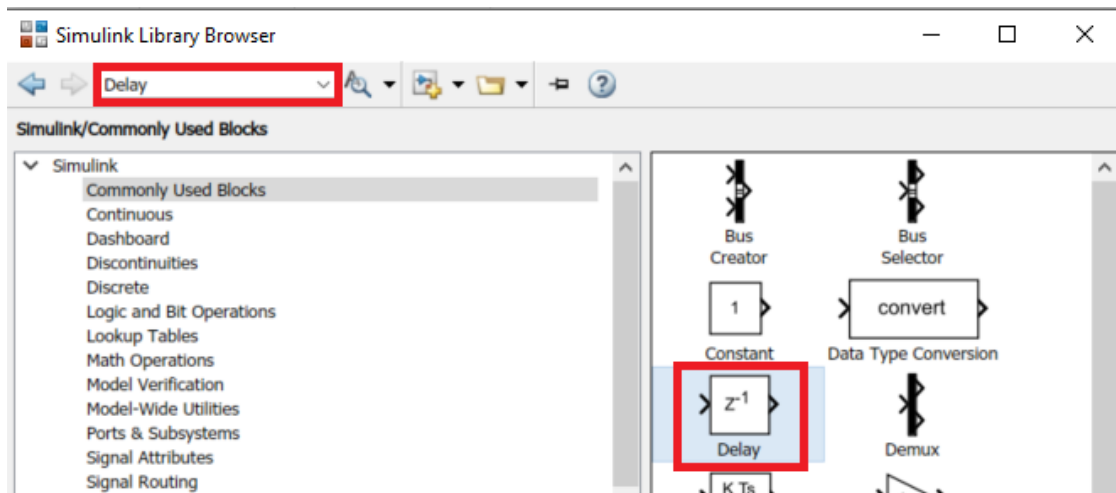


Figura 66. Bloque de retraso en la librería de Simulink.

### 5.11 Insertar función matemática

La función matemática va junto con el retraso de la señal, debido a que se encarga del conjugado complejo de cada uno de los elementos del retraso, ya que la señal modulada posee los armónicos y dichos armónicos son producidos por los números complejos que existen al momento de modular la señal, es decir pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Para insertar el bloque de la función matemática, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre "*Math Function*" como se observa en la Figura 67, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

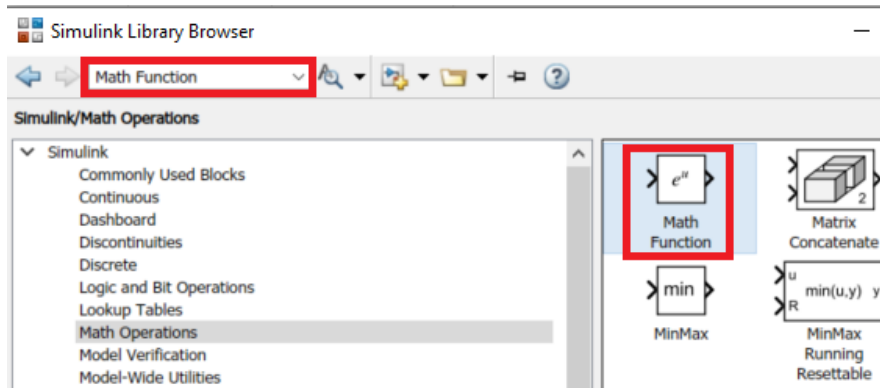


Figura 67. Bloque de la función matemática en la librería de Simulink.

## 5.12 Insertar producto

El producto permite realizar la multiplicación de las señales del retraso con las señales de la función matemática, es decir en este caso lo que hace el producto es mezclar las dos señales y multiplicarlas para obtener como salida una sola señal demodulada.

Para insertar el bloque del producto, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre "Product" como se observa en la Figura 68, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

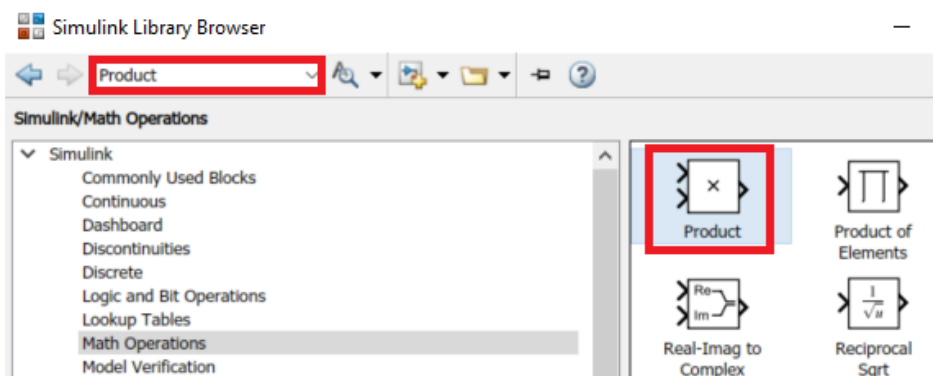


Figura 68. Bloque del producto en la librería de Simulink.

### 5.13 Insertar Complejo a ángulo de magnitud

El complejo a ángulo de magnitud permite generar el ángulo de fase de la señal que se obtiene como resultado del bloque del producto, debido a que cuando se realiza el proceso de demodulación, cada señal tiene una fase diferente, y se crea un desfase de la señal en cuanto al tiempo, por lo que este bloque se encarga de realizar una compensación de ángulo para regresar la señal a la señal original.

Para insertar el bloque del complejo a ángulo de magnitud, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Complex to Magnitude-Angle*” como se observa en la Figura 69, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

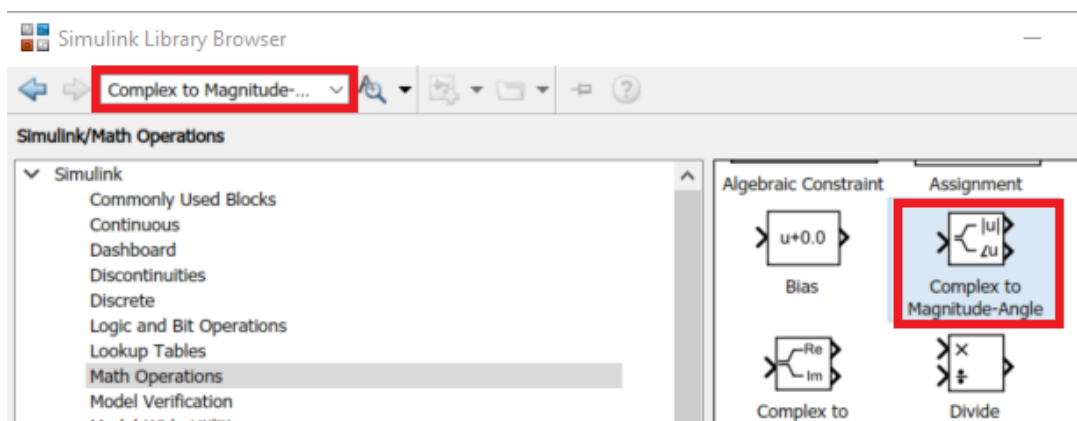


Figura 69. Bloque del complejo a ángulo de magnitud en la librería de Simulink.

### 5.14 Insertar Filtro de estandarización FM

El filtro de estandarización FM permite tomar la señal original y filtrar la misma señal al estándar americano, debido a que actualmente el Ecuador maneja el



estándar americano para la transmisión de señales FM, por lo que para poder sintonizar y escuchar la señal se debe poner este filtro de estandarización. (MathWorks, s. f.-d).

Para insertar el bloque del filtro de estandarización FM, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*FM De-emphasis Filter*” como se observa en la Figura 70, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

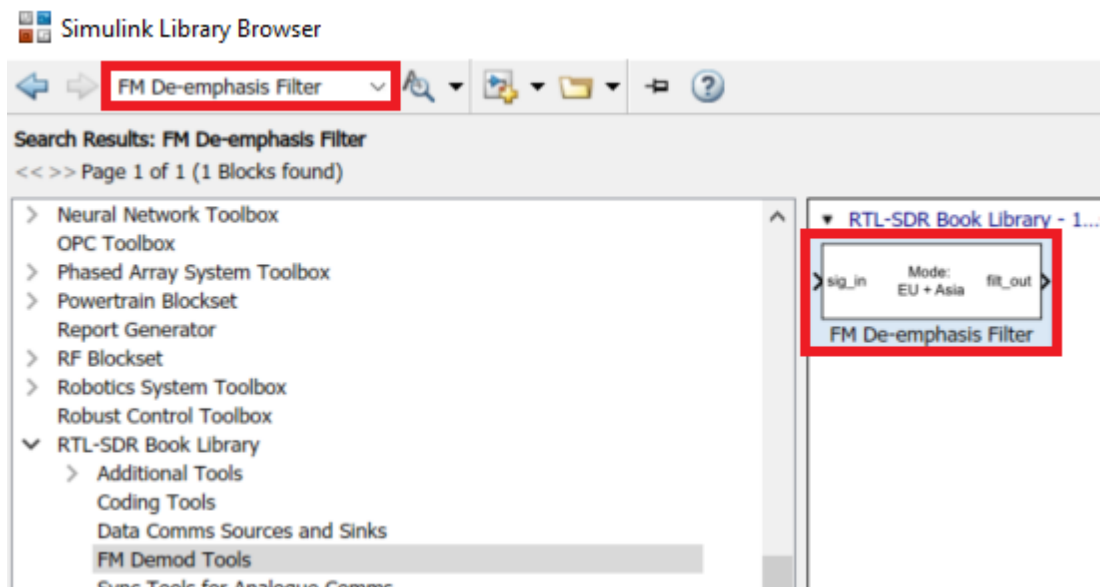


Figura 70. Bloque del filtro de estandarización FM en la librería de Simulink

### 5.15 Insertar Analizador de Espectros

El analizador de espectros como su nombre lo indica es el que permite analizar el espectro de la frecuencia central que se sintonizo, permitiendo conocer varios parámetros de medición de la señal.

Para insertar el bloque del analizador de espectros, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Spectrum Analyzer*” como se observa en la Figura 71, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

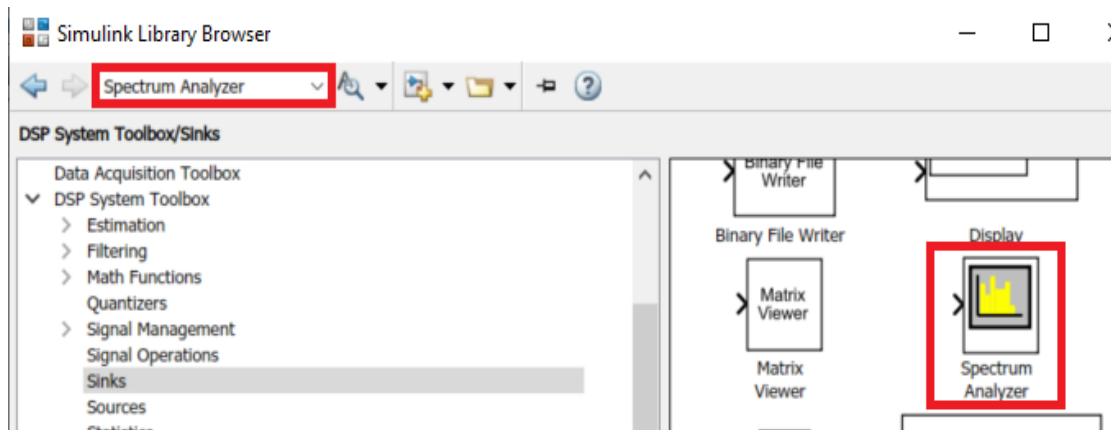


Figura 71. Bloque del analizador de espectros en la librería de Simulink

### 5.16 Insertar Alcance del tiempo

El alcance del tiempo o también conocido como el *time scope* permite realizar una comparación y análisis de las fluctuaciones de frecuencia entre las señales del espectro de frecuencia modulada y las señales del espectro de frecuencia demodulada.

Para insertar el bloque del alcance del tiempo, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Time Scope*” como se observa en la Figura 72, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

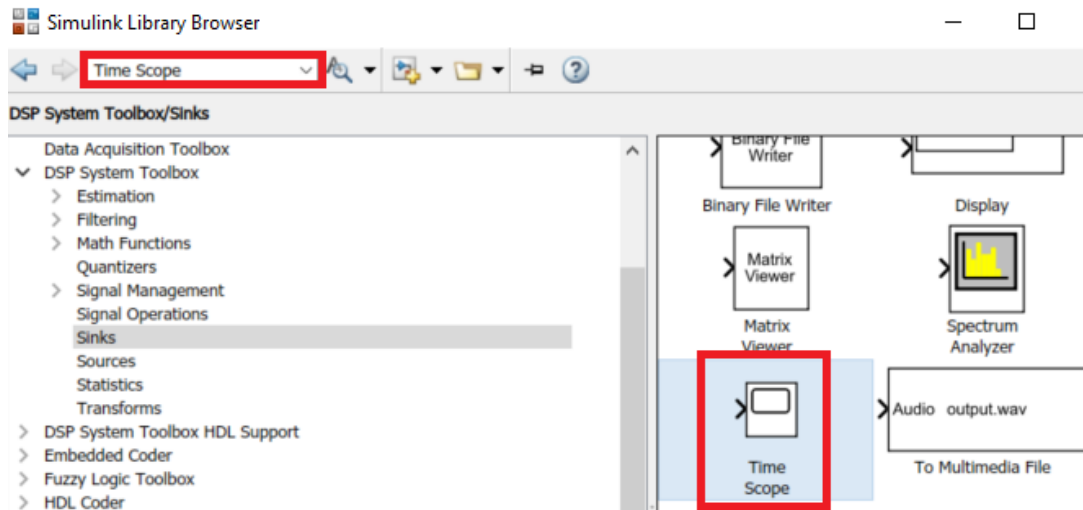


Figura 72. Bloque del *time scope* en la librería de Simulink.

### 5.17 Insertar Audio

El audio permite al usuario escuchar la emisora que fue sintoniza en la frecuencia central por medio de los parlantes de la computadora.

Para insertar el bloque de audio, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre "*Audio Device*" como se observa en la Figura 73, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa de Diseño.

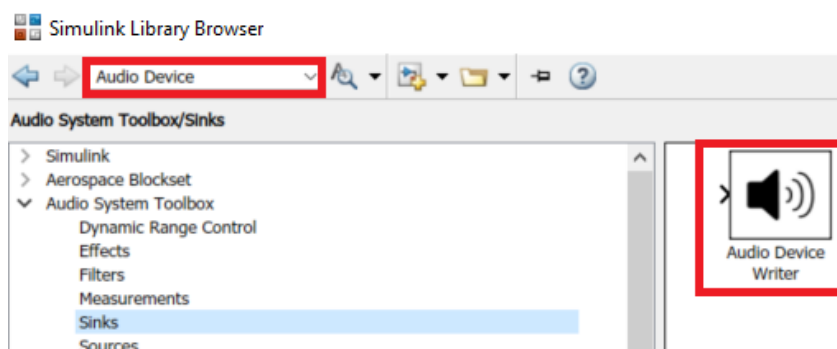


Figura 73. Bloque del sonido en la librería de Simulink.

## 5.18 Ejecución del diseño

Una vez insertado y configurado los bloques mencionados anteriormente, se procede a unir los bloques como se observa en la Figura 74, con el objetivo de satisfacer el alcance propuesto en esta implementación, por lo que para ejecutar se debe seleccionar la opción “Run” de la barra de herramientas del Simulink.

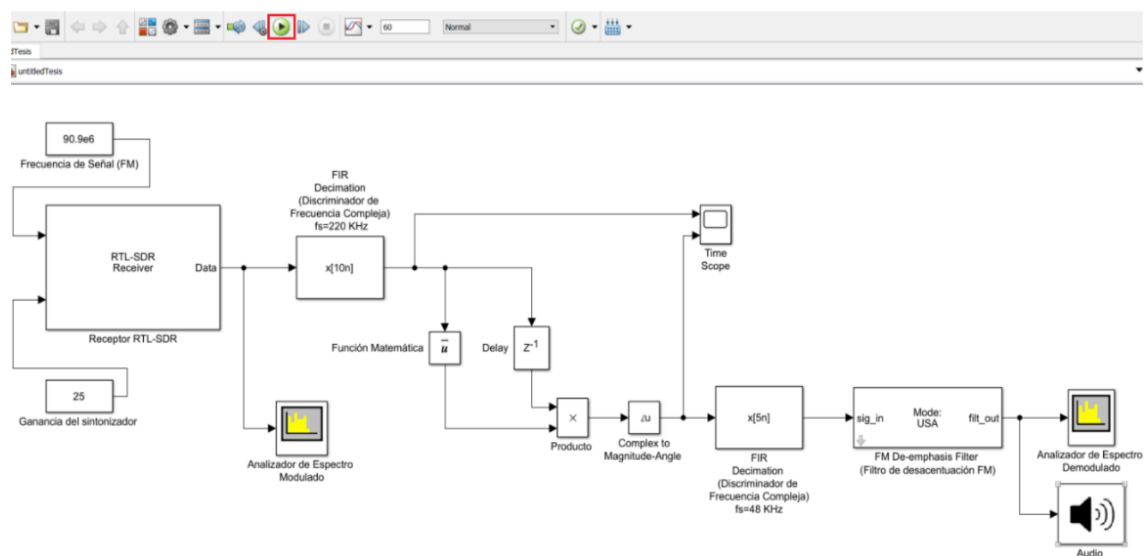


Figura 74. Agrupación de Bloques para la ejecución del diseño de Simulink.

Una vez que se ejecuta el diseño de Simulink, se muestra una interfaz como la que se observa en la Figura 75, en donde se manipula y analiza la señal de la frecuencia central.

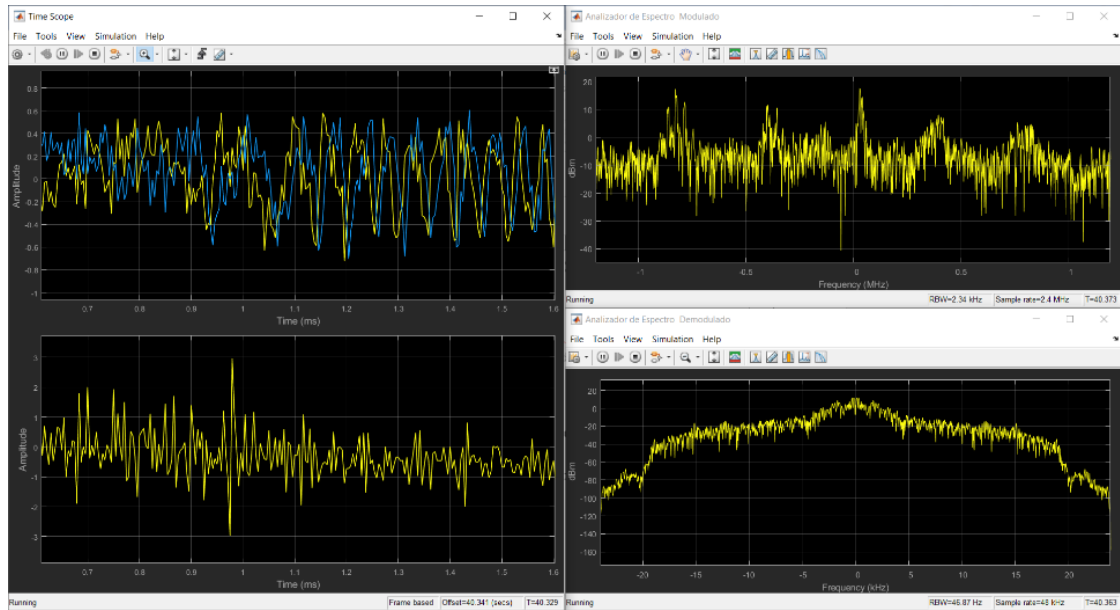


Figura 75. Interfaz de la ejecución del diseño de Simulink.

### 5.19 Analizador de Espectros de Frecuencia Modulada

Una vez realizado la ejecución del diseño se observa el espectro de frecuencia modulada de la frecuencia central sintonizada como se observa en la Figura 76. En esta implementación se tomó como referencia la frecuencia 90.9 MHz.

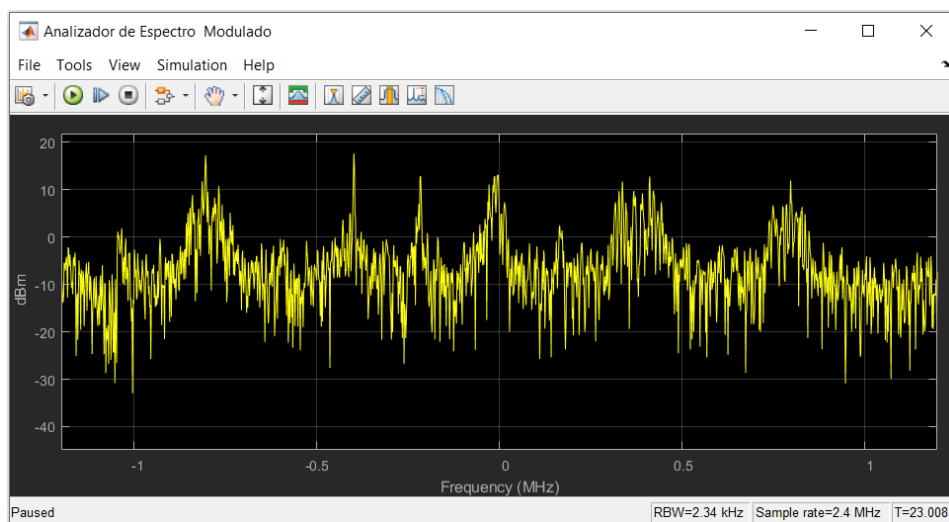


Figura 76. Espectro de la frecuencia modulada.

En el cual se observa que frecuencia de muestreo está configurado a 2.4MHz, lo que significa que se puede observar 1.2MHz más de espectro a la derecha y 1.2 MHz más de espectro a la izquierda, permitiendo de esta manera observar un poco más del espectro de la frecuencia central, como se observa en la Figura 77.

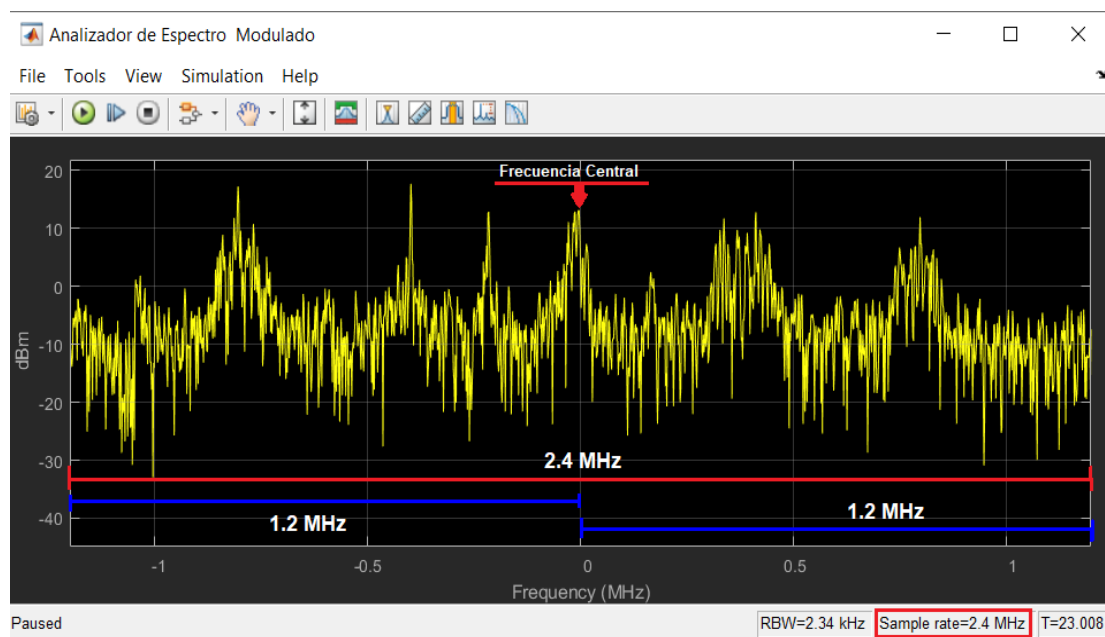


Figura 77. Frecuencia de muestreo del analizador de espectro modulado.

Por medio de la opción de mediciones de distorsión que posee el analizador de espectros como se observa en la Figura 78, se puede realizar la medición de los armónicos de la señal, en donde el primer armónico representa a la frecuencia central, mientras que los otros dos armónicos son las ondas de frecuencia más bajas de las demás frecuencias centrales del espectro, por medio de esta medición se puede verificar que frecuencia se encuentra el segundo y tercer armónico de la frecuencia central.

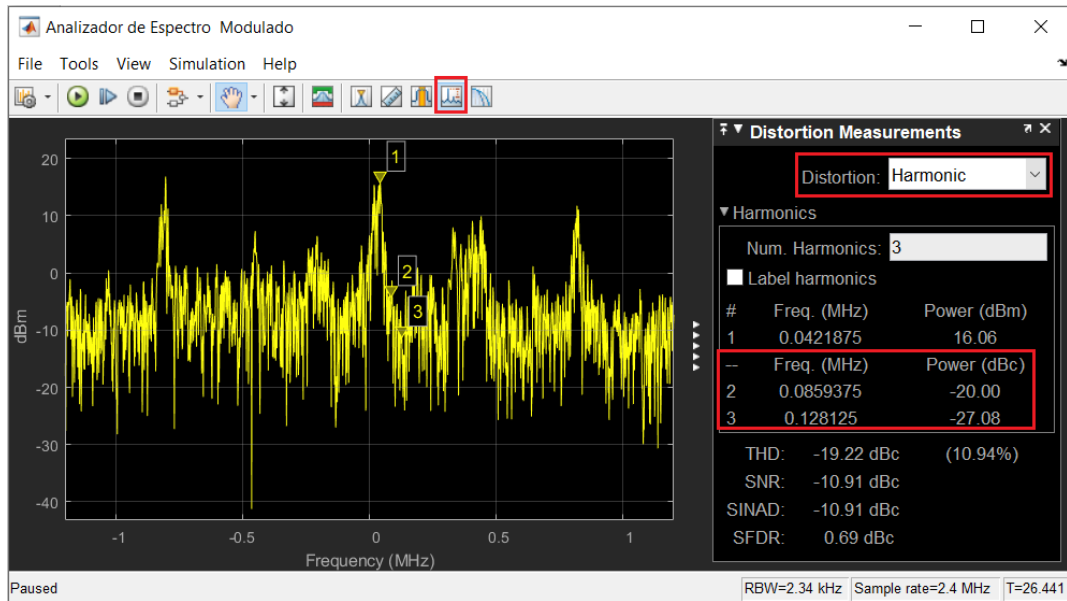


Figura 78. Medición de armónicos en el analizador de espectros modulado

De igual manera por medio de la opción de mediciones de distorsión se puede obtener las medidas de intermodulación como observa en la Figura 79, en donde representa la distancia en frecuencia que existe entre la señal de la Frecuencia Central con la próxima frecuencia portadora que le sigue.

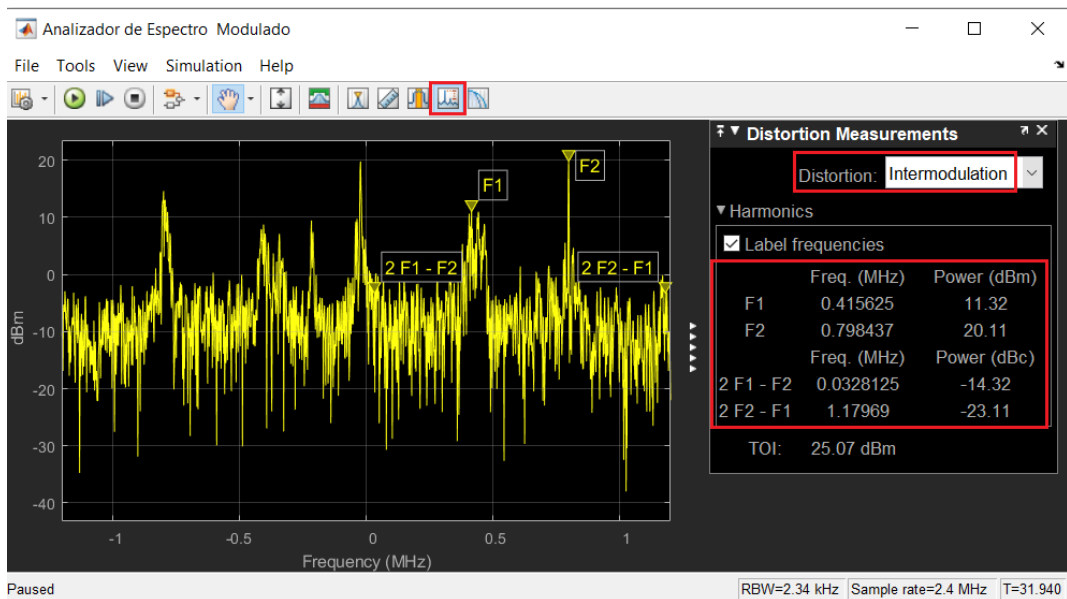
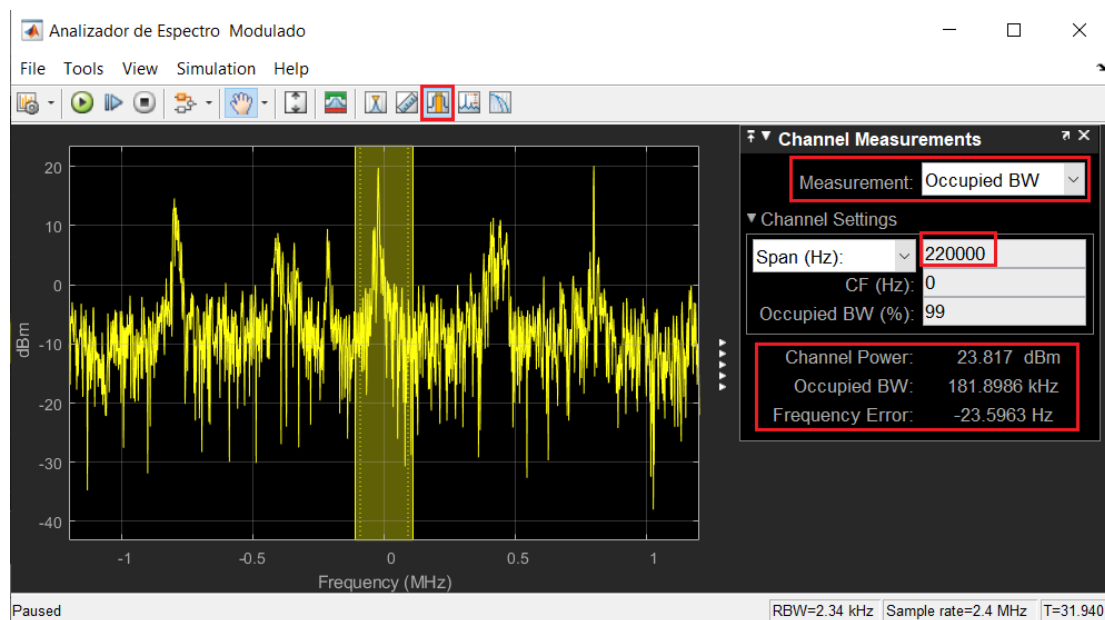


Figura 79. Medición de intermodulación en el espectro modulado.

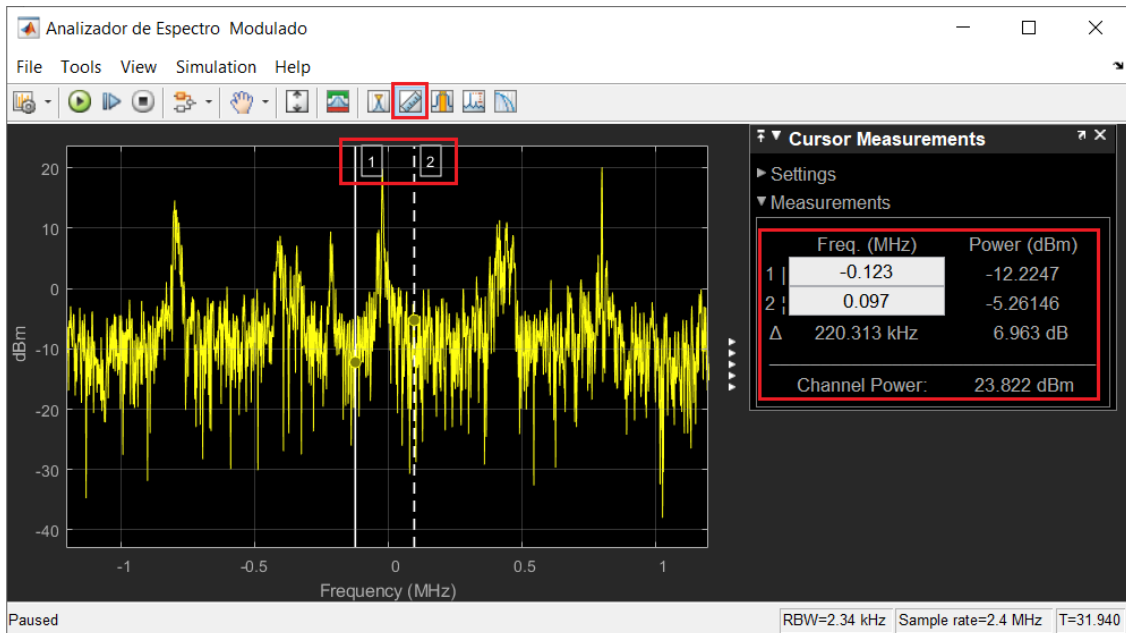
Otra de las opciones que posee el analizador de espectros, es para realizar las mediciones del canal como se observa en la Figura 80, en donde se puede observar el ancho de banda ocupado de la frecuencia central que fue sintonizada, permitiendo ver que se encuentra dentro de los 220 KHz que es lo que indica la norma técnica para el ancho de banda de una estación FM, de igual manera se puede observar la potencia del canal, en donde indica toda la potencia que se encuentra contenida en el ancho de banda de la portadora y el ancho de banda que está ocupando esa portadora dentro del margen de los 220KHz.



*Figura 80.* Medición del ancho de banda ocupado en el analizador de espectros modulado.

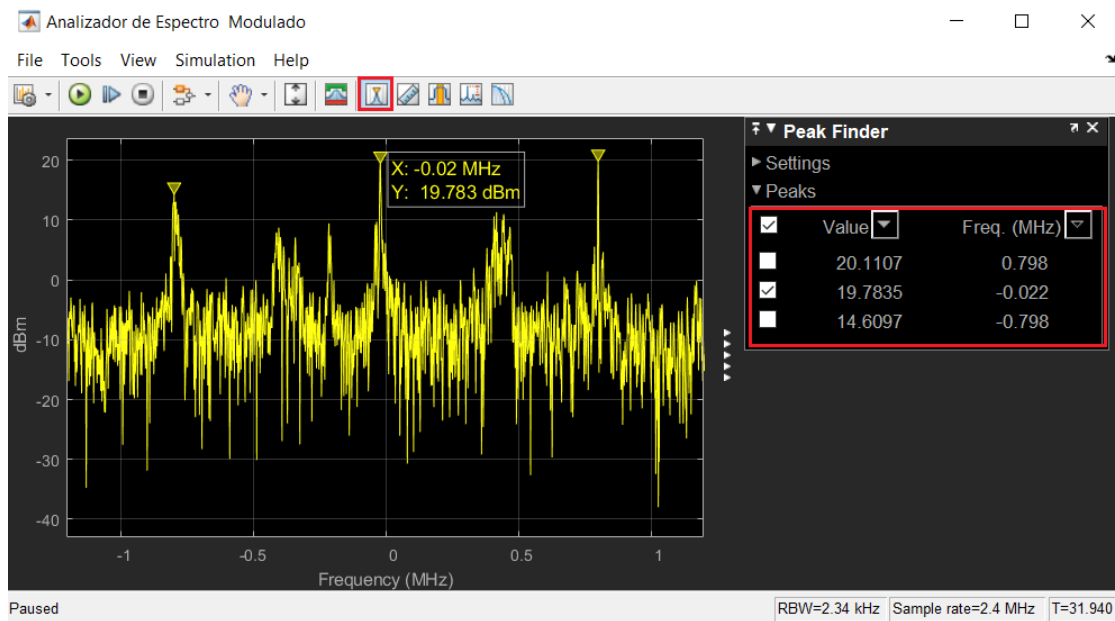
Una de las opciones que posee el analizador de espectros es la medición de cursor como se observa en la Figura 81, ya que, por medio de la manipulación de los cursores, le permite al usuario ubicarlos en los valles de la frecuencia central y a la vez verificar el ancho de banda de la portadora y la potencia del canal de la frecuencia central.





*Figura 81.* Medición por medio de cursores en el analizador de espectros modulado.

Para conocer los picos más altos del espectro de frecuencia modulada, el analizador de espectros posee la función del buscador de picos como se observa en la Figura 82, la que permite observar los picos más altos con su respectiva frecuencia dentro del rango de la frecuencia de muestreo de 2.4MHz, en el cual en este caso se puede observar que los picos más altos indican las frecuencias portadoras que se pueden sintonizar dentro del rango de la frecuencia de muestreo de 2.4 MHz de la frecuencia central.



*Figura 82.* Medición de los picos más altos en el analizador de espectros modulado.

Para poder verificar la distribución de energía que existe del espectro de frecuencia modulada, el analizador de espectros posee la opción de mediciones CCDF (Función de distribución acumulativa complementaria) como se observa en la Figura 83, la cual permite medir la probabilidad de que la potencia instantánea de una señal sea mayor que un nivel específico sobre su potencia promedio. (MathWorks, s. f.-a).

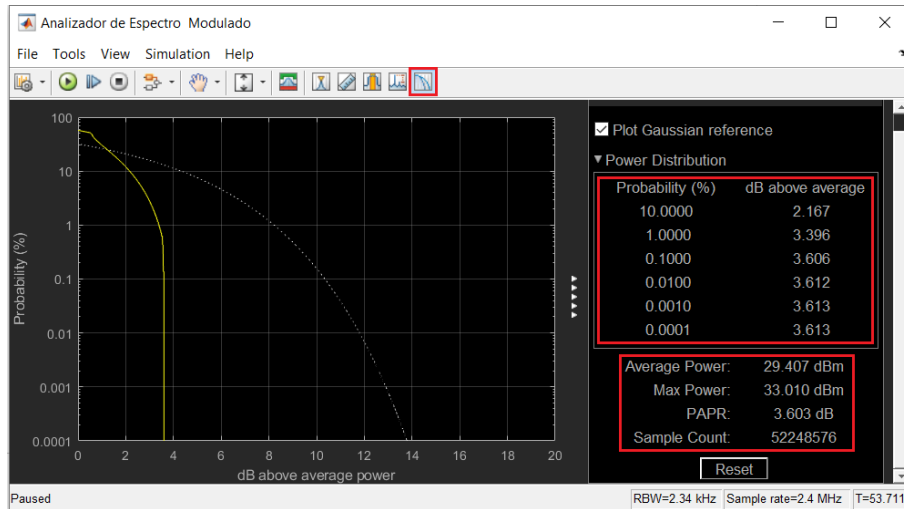


Figura 83. Medición de la distribución de energía en el espectro modulado.

## 5.20 Analizador de Espectros de Frecuencia Demodulada

Una vez realizado la ejecución del diseño se puede ver el espectro de frecuencia demodulada de la frecuencia central sintonizada como se observa en la Figura 84. En esta implementación se tomó como referencia la frecuencia central 90.9 MHz.

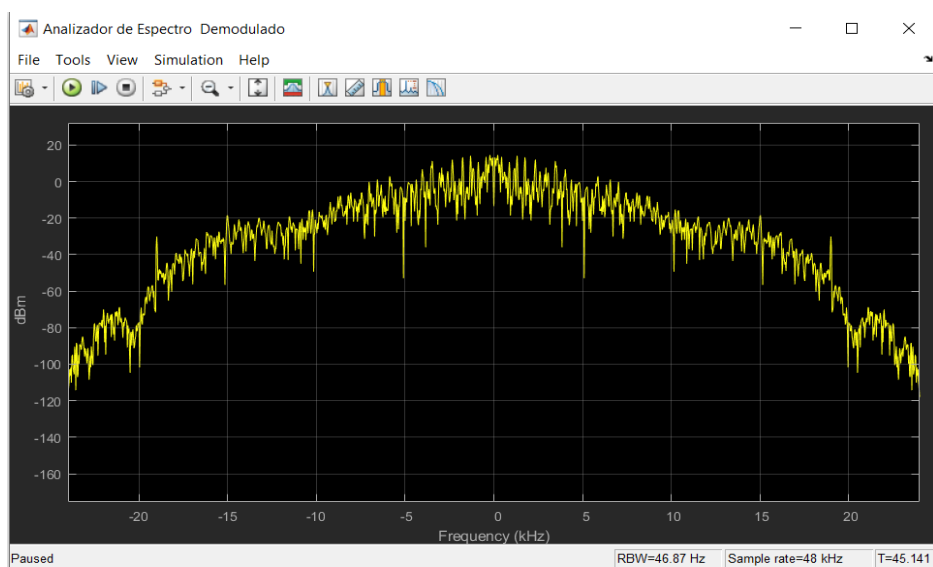
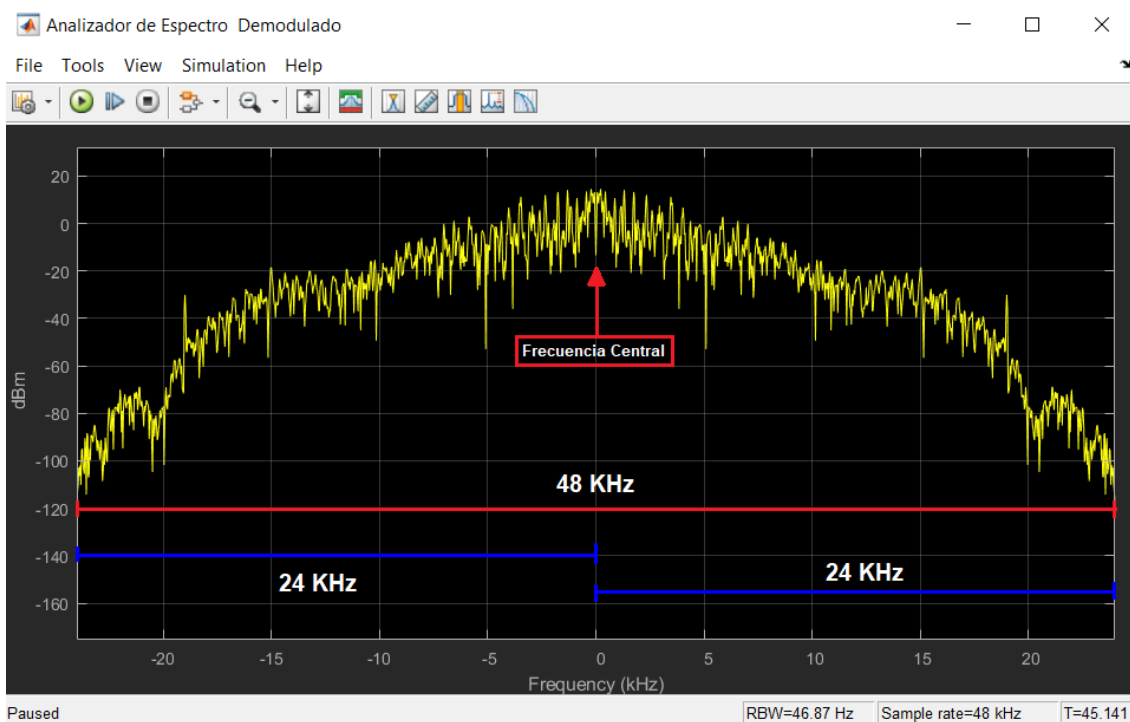


Figura 84. Espectro de la frecuencia demodulada.

En el cual se observa que la frecuencia de muestreo está configurada a 48 KHz, lo que significa que se puede observar 24 KHz más de espectro a la derecha y 24 KHz más de espectro a la izquierda, permitiendo de esta manera observar un poco más del espectro de la frecuencia central, como se observa en la Figura 85.



*Figura 85.* Frecuencia de muestreo del analizador de espectro demodulado.

En el analizador de espectro demodulado, se puede realizar todas las mismas mediciones que el analizador de espectro modulado explicado anteriormente, teniendo en cuenta que este analizador tiene una configuración de 48 KHz en su frecuencia de muestreo, es decir que todos los datos medidos se los realiza ya en espectro de audio de la frecuencia central.

## 5.21 Análisis del *Time Scope*

El *Time Scope* permite realizar una comparativa entre las señales del espectro de frecuencia modulada y las señales del espectro de frecuencia demodulada, en el que se muestra las mismas señales en el dominio del tiempo como se observa en la Figura 86.

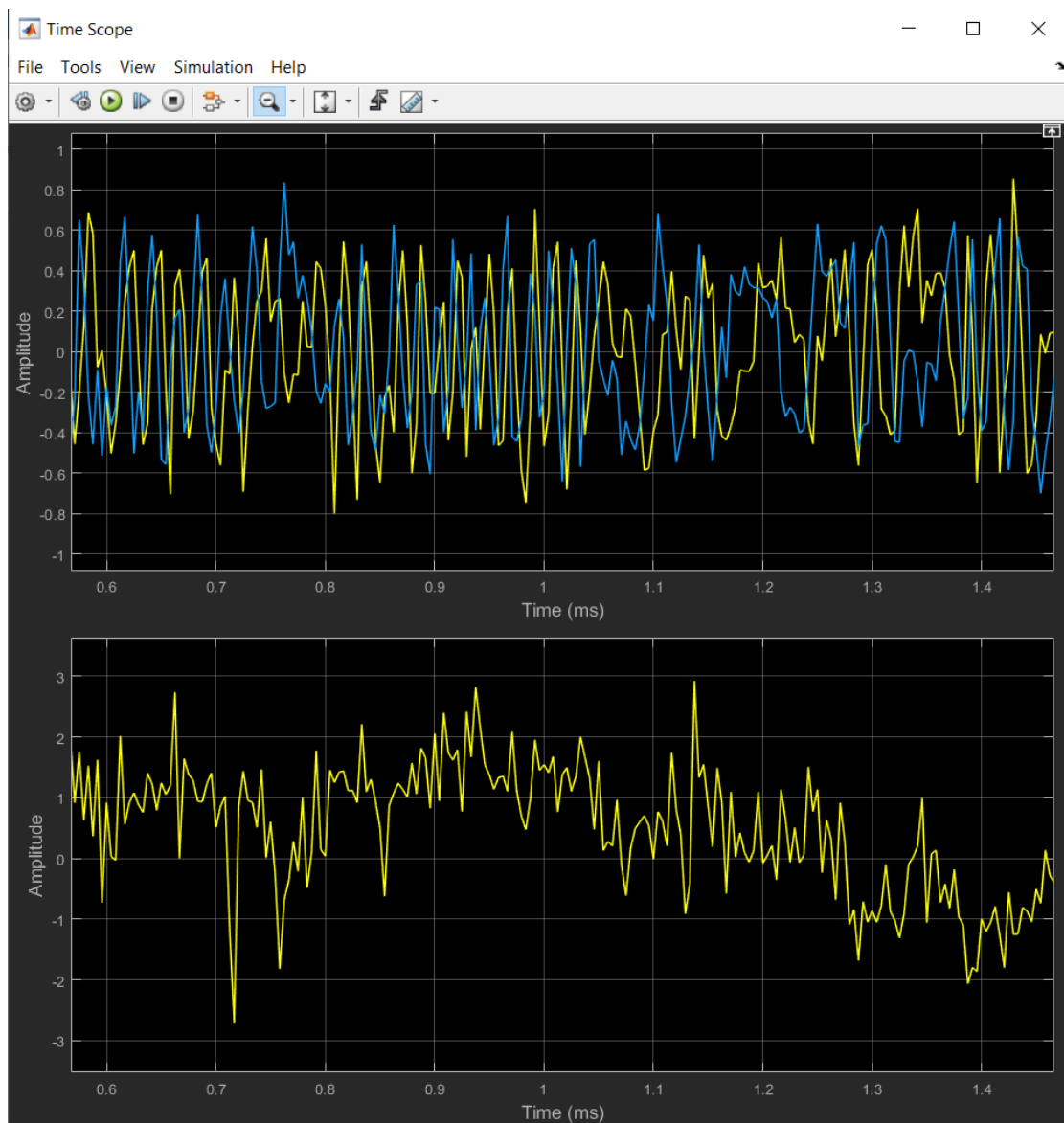


Figura 86. Frecuencia de muestreo del *Time Scope*.

Por lo tanto, se puede realizar un análisis de la señal modulada con la señal demodulada como se observa en la Figura 87, en donde se puede verificar que cuando aumenta la potencia también aumenta la frecuencia y se ven reflejados en la señal modulada y demodulada en el dominio del tiempo, de igual manera se observa cuando disminuye la potencia también disminuye la frecuencia.

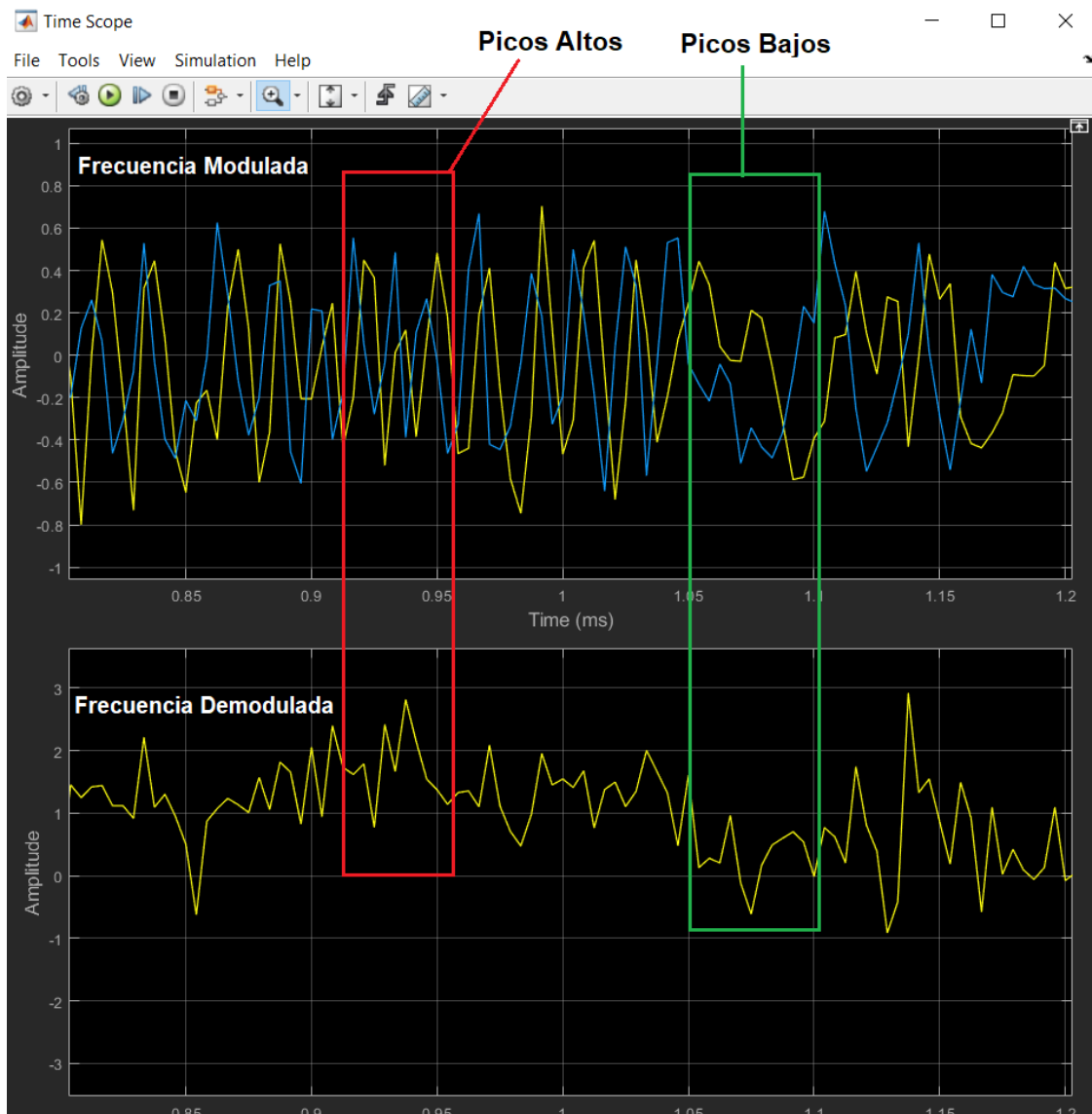
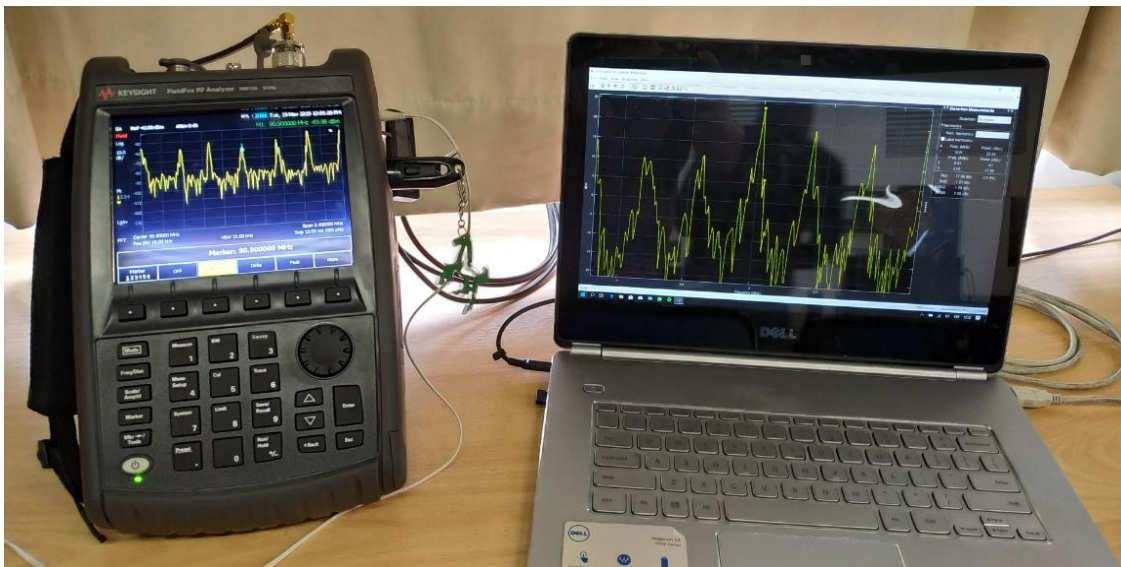


Figura 87. Comparación de frecuencias moduladas y demoduladas en el dominio del tiempo en el *Time Scope*.

## 6. Capitulo VI. Resultados y pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se las realizaron en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad de Las Américas, debido a que disponen de un analizador de espectros profesional FieldFox N9912A, el que permite en esta implementación comparar y validar los datos medidos en el sistema de análisis espectral que se implementó en el *software* con los del FieldFox, con el fin de verificar que tenga unos resultados similares o aproximados a los del analizador de espectros profesional.



*Figura 88.* Pruebas entre el sistema de análisis espectral de *software* y el analizador de espectros profesional FieldFox N9912A.

De igual manera para las pruebas de funcionamiento se realizará una simulación en el *software* Radio Mobile del área de cobertura de una frecuencia FM, con los respectivos datos que se encuentran en la página de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, permitiendo de esta manera tener el área de cobertura de una frecuencia FM y por medio del sistema de análisis espectral de *software*, verificar que se sintonice esa frecuencia y que los

datos medidos en tres diferentes puntos se encuentren dentro de los parámetros establecidos en la simulación del área de cobertura de una frecuencia FM.

### 6.1 Configuración del Analizador de espectros FieldFox N9912A

Para realizar las medidas del espectro en el dispositivo FieldFox N9912A, se debe seleccionar el modo SA “*Spectrum Analyzer*” como se observa en la Figura 89, debido a que esta opción permite especificar la frecuencia central y la frecuencia de muestreo “*Span*” para realizar todas las medidas relacionadas al espectro de la frecuencia central.

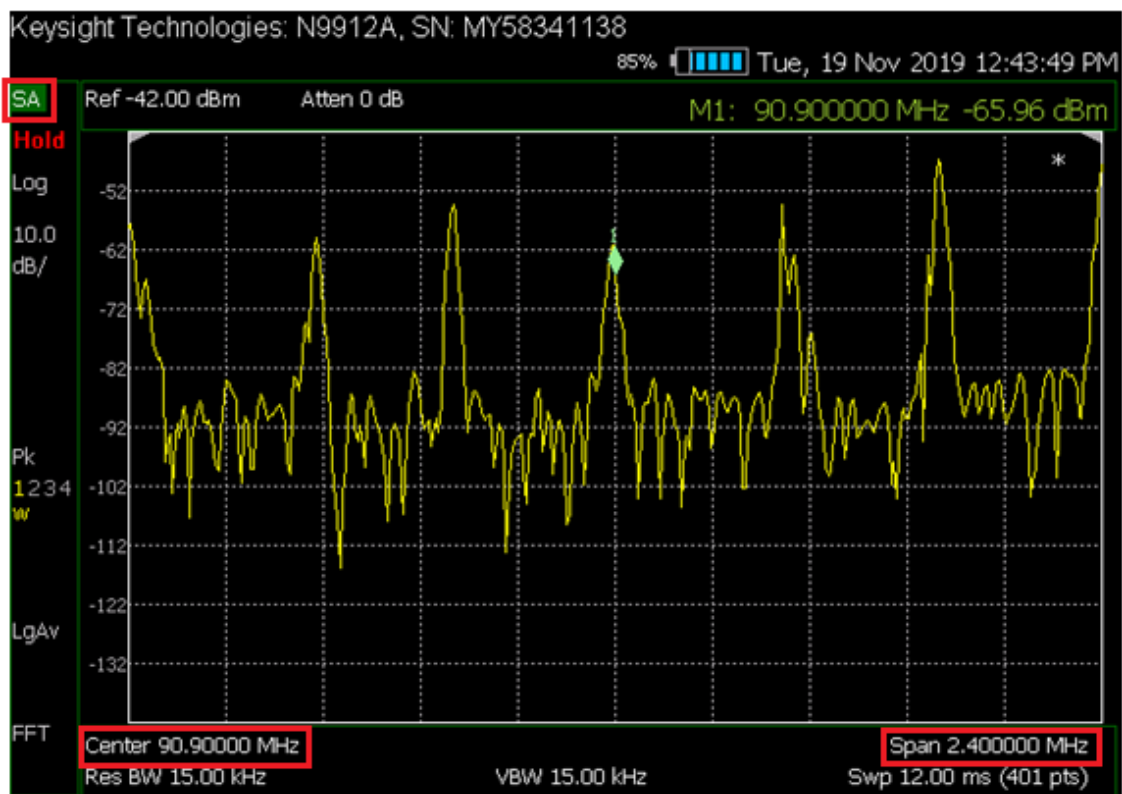


Figura 89. Parámetros del analizador de espectros FieldFox N9912A.



## 6.2 Medición de potencia de la frecuencia central

La frecuencia central utilizada en el análisis de resultados es la 90.9 MHz. Por lo que, una vez sintonizada la frecuencia central, el analizador de espectros de frecuencia modulada del *software* como se observa en la Figura 90, permite ver en la opción de las medidas de distorsión, el número de armónicos presentes en ese espectro de la frecuencia de muestreo de 2.4MHz, en donde el primer armónico representa a la frecuencia central en este caso la 90.9 MHz, mostrando la medida de potencia de la frecuencia central de ese armónico, en este caso se capturo una medida de potencia de 23.34 dBm.

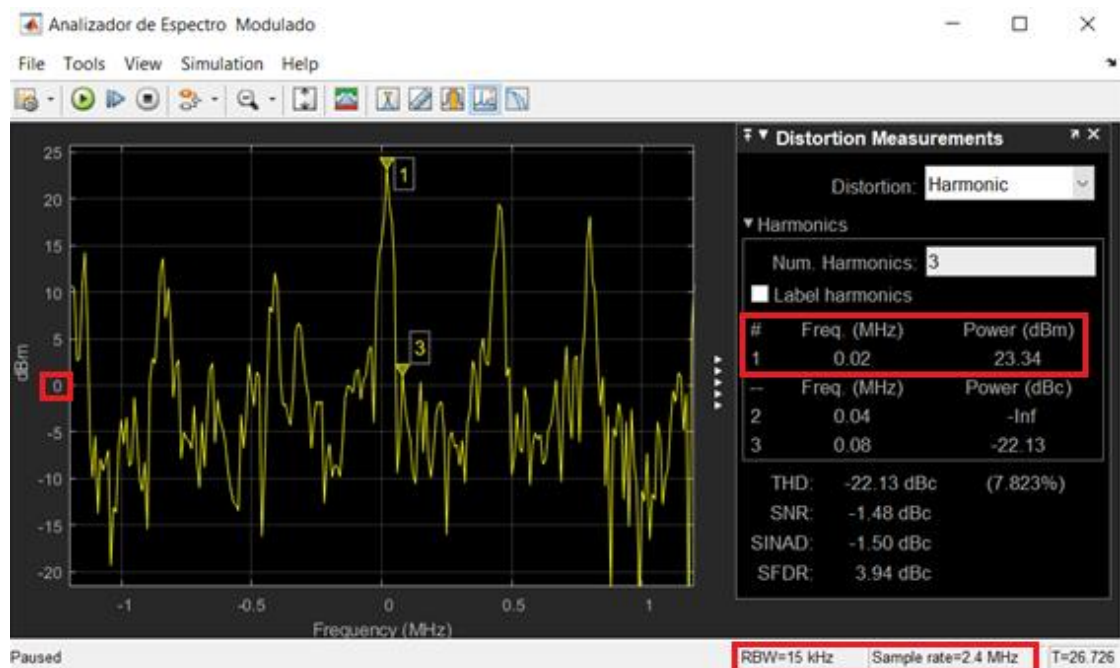


Figura 90. Medición de potencia en el sistema de análisis espectral de *software*.

Mientras que al momento de sintonizar la frecuencia 90.9 MHz en el analizador de espectros profesional, se puede observar que la escala del analizador de espectros en eje de las Y empieza en -92 dBm como se observa en la Figura 91,

por lo tanto al momento de poner una marca en la frecuencia central, se puede observar que la potencia de la frecuencia central se encuentra en  $-65.96$  dBm, por lo que la diferencia entre  $-92$  dBm y  $-65.96$  dBm da como resultado que la frecuencia central tiene una potencia de  $26.04$  dB, logrando obtener de esta manera un resultado similar o aproximado de la potencia que se midió en el sistema de análisis espectral de *software*.

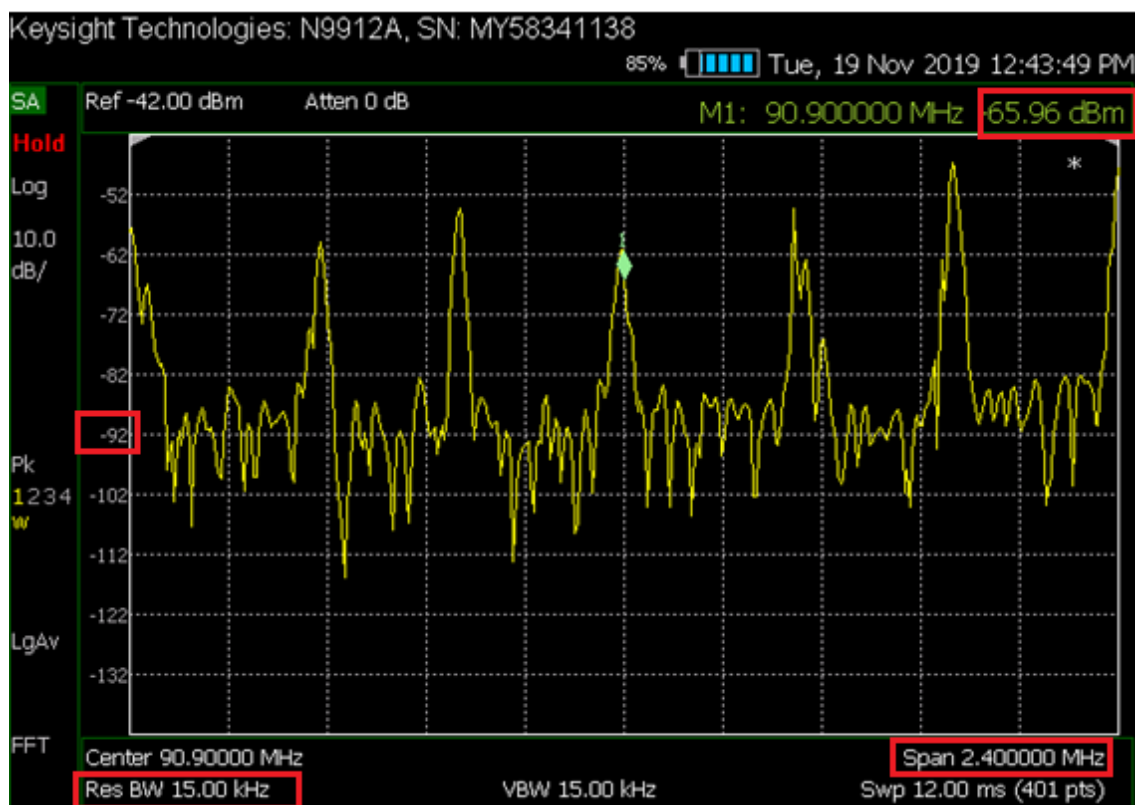


Figura 91. Medición de potencia de la frecuencia central en el analizador de espectros FieldFox N9912A.

### 6.3 Medición del Ancho de Banda Ocupado

El sistema de análisis espectral de *software*, por medio de la opción de las mediciones del canal, permite realizar medidas del ancho de banda de la frecuencia de muestreo, por lo que en este caso como se observa en la Figura

92, se especifica una frecuencia de muestreo a 220 KHz, debido a que ese es el ancho de banda permitido para operar una portadora según las normas técnicas, por lo tanto las mediciones del canal indica el ancho de banda ocupado de la portadora, por lo que se puede observar que la frecuencia 90.9 MHz ocupa un ancho de banda de 124.84 KHz.

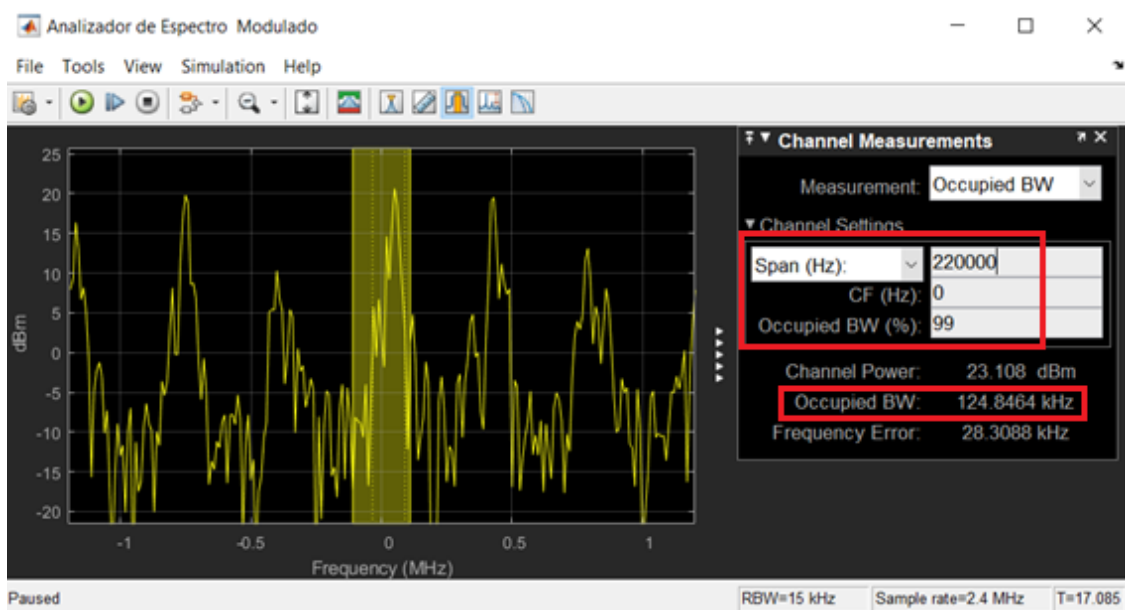


Figura 92. Medición del ancho de banda ocupado el sistema de análisis espectral de *software*.

Al momento de realizar las medidas de ancho de banda de la frecuencia 90.9 MHz en el analizador de espectros profesional, este indica que la frecuencia central ocupa un ancho de banda de 122.10 KHz como se observa en la Figura 93, por lo tanto, el ancho de banda ocupado del sistema de análisis espectral de *software* y el del analizador de espectro profesional poseen valores similares en las medidas del ancho de banda.

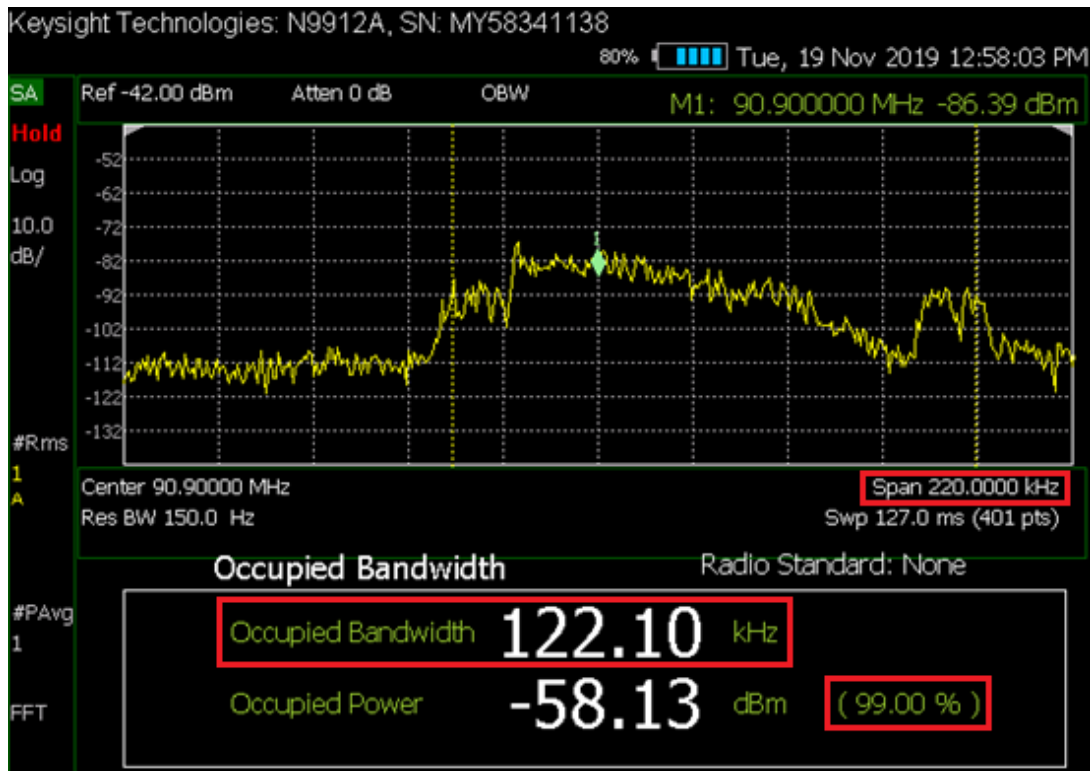


Figura 93. Medición del ancho de banda ocupado de la frecuencia central en el analizador de espectros FieldFox N9912A.

#### 6.4 Medición de la potencia del canal

La opción de medida del canal que posee el sistema de análisis espectral de *software* permite ver la potencia del canal que tiene la frecuencia central, por lo tanto, como se observa en la Figura 94, se especifica una frecuencia de muestreo a 220 KHz, debido a que ese es el ancho de banda permitido para operar una portadora según las normas técnicas. Las mediciones del canal indica la potencia del canal que tiene la portadora, por lo que se puede observar que la frecuencia 90.9 MHz está siendo recibida con una potencia del canal de 23.108 dBm.

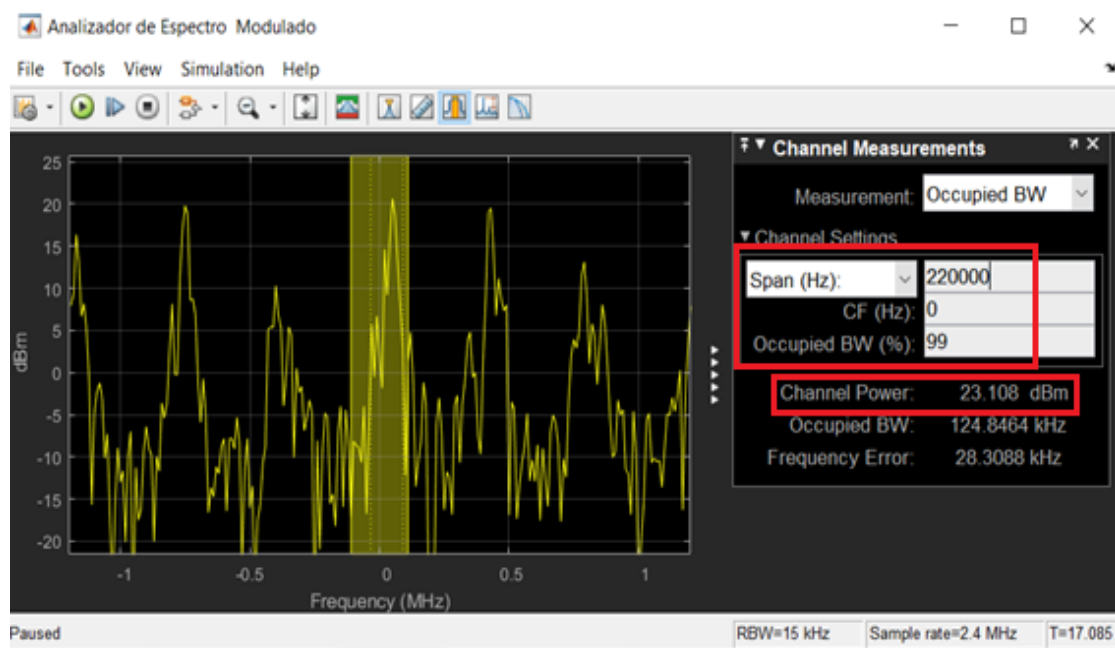


Figura 94. Medición de la potencia del canal recibido de la frecuencia central en el sistema de análisis espectral de *software*.

Mientras que en el analizador de espectros profesional como se observa en la Figura 95, la frecuencia central 90.9 MHz, posee una potencia de canal de -59.17 dBm. Al momento de colocar una muestra en la frecuencia central, este indica que en el eje Y se encuentra a -85 dBm, por lo que la diferencia entre -85 dBm y -65.96 dBm da como resultado que la frecuencia central es recibida con una potencia de canal de 25.83 dBm, logrando obtener de esta manera un resultado aproximado de la potencia de canal que se midió en el sistema de análisis espectral de *software*.

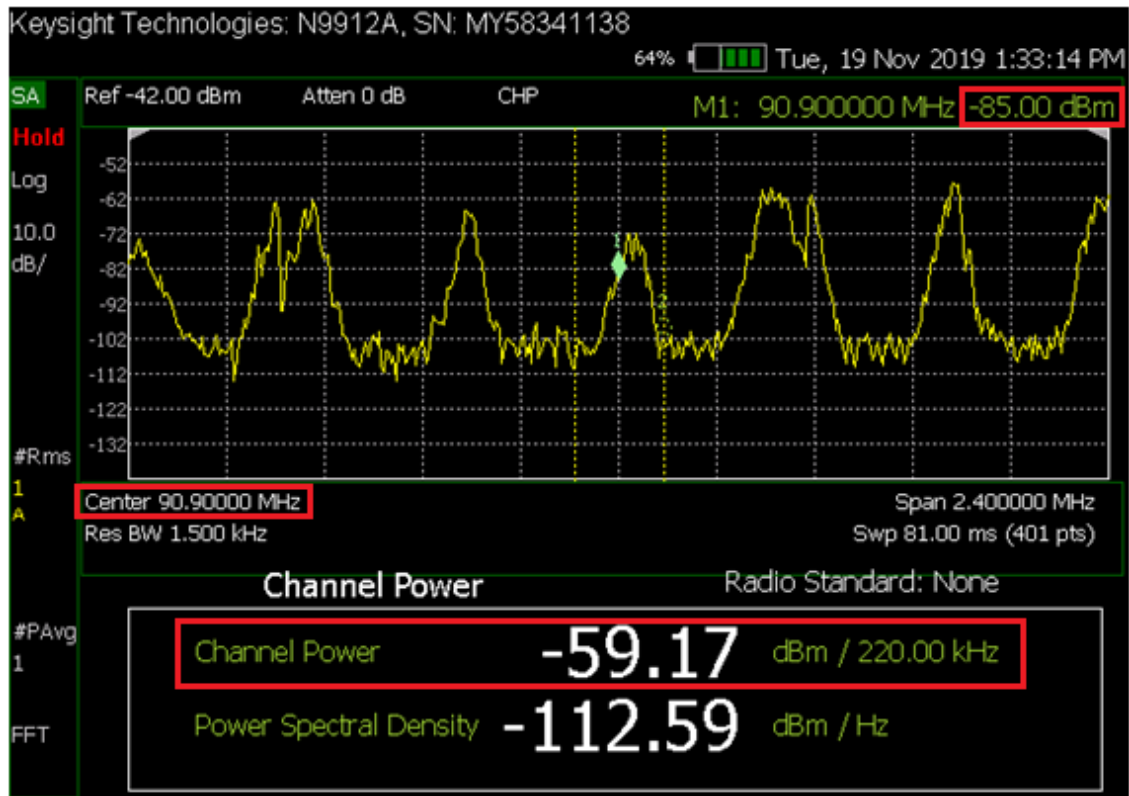


Figura 95. Medición de la potencia del canal recibido de la frecuencia central en el analizador de espectros FieldFox N9912A.

### 6.5 Medición de los picos más altos en la frecuencia de muestreo 2.4 MHz

El sistema de análisis espectral de *software* posee la opción del buscador de picos como se observa en la Figura 96, el cual permite conocer los tres picos más altos que se encuentran cerca de la portadora 90.9 MHz dentro de una frecuencia de muestreo 2.4 MHz.

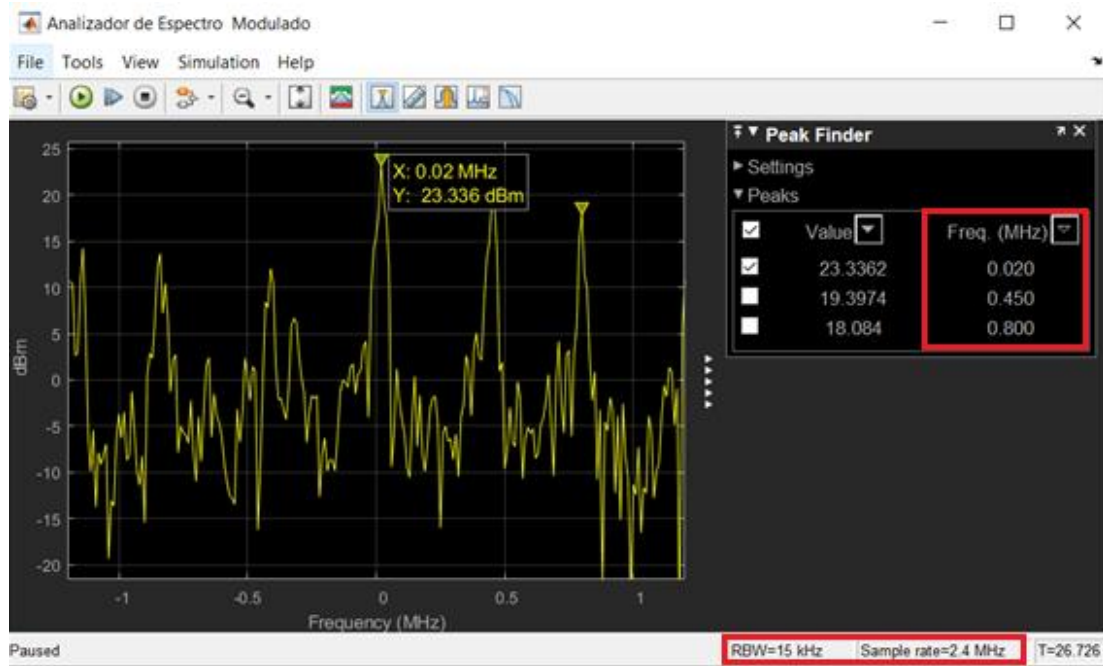


Figura 96. Medición de picos cercanos de la frecuencia central en el analizador de espectros de *software*.

Los datos obtenidos de los picos más altos en el sistema de análisis espectral de *software* como se observa en la Figura 96, indica que el primer pico más alto se encuentra a 0.020 MHz de la frecuencia central 90.9 MHz, por lo que la suma de estas dos frecuencias indica que el primer pico más alto se encuentra a 90.92MHz, por lo que al momento de colocar la primera muestra en el analizador de espectros profesional como se observa en la Figura 97, indica que el pico más alto de la primera muestra se encuentra en 90.924MHz, logrando obtener de esta manera un resultado aproximado del primer pico más alto que se midió en el sistema de análisis espectral de *software*.

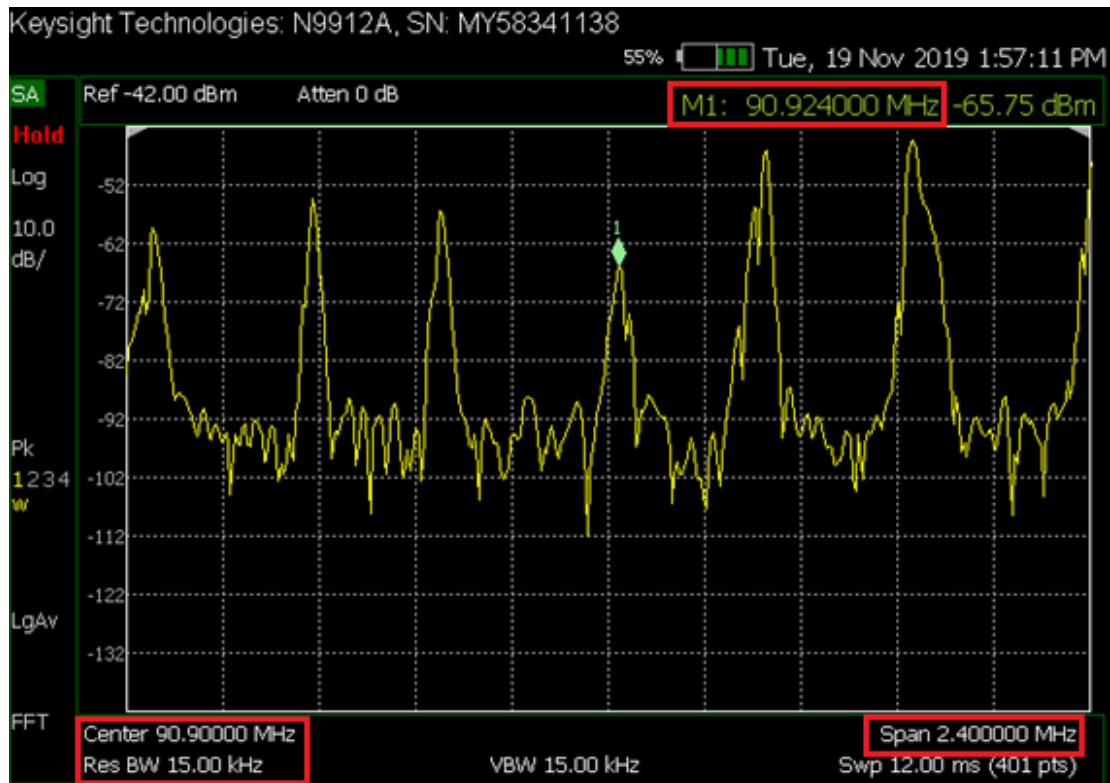


Figura 97. Medición de la primera muestra en el analizador de espectros FieldFox N9912A.

Según los datos obtenidos de los picos más altos en el sistema de análisis espectral de *software* como se observa en la Figura 96, indica que el segundo pico más alto se encuentra a 0.4 MHz de la frecuencia central 90.9 MHz, por lo que la suma de estas dos frecuencias indica que el segundo pico más alto se encuentra a 91.3MHz, por lo que al momento de colocar la segunda muestra en el analizador de espectros profesional como se observa en la Figura 98, indica que el pico más alto de la segunda muestra se encuentra en 91.30MHz, logrando obtener de esta manera un resultado similar del segundo pico más alto que se midió en el sistema de análisis espectral de *software*.



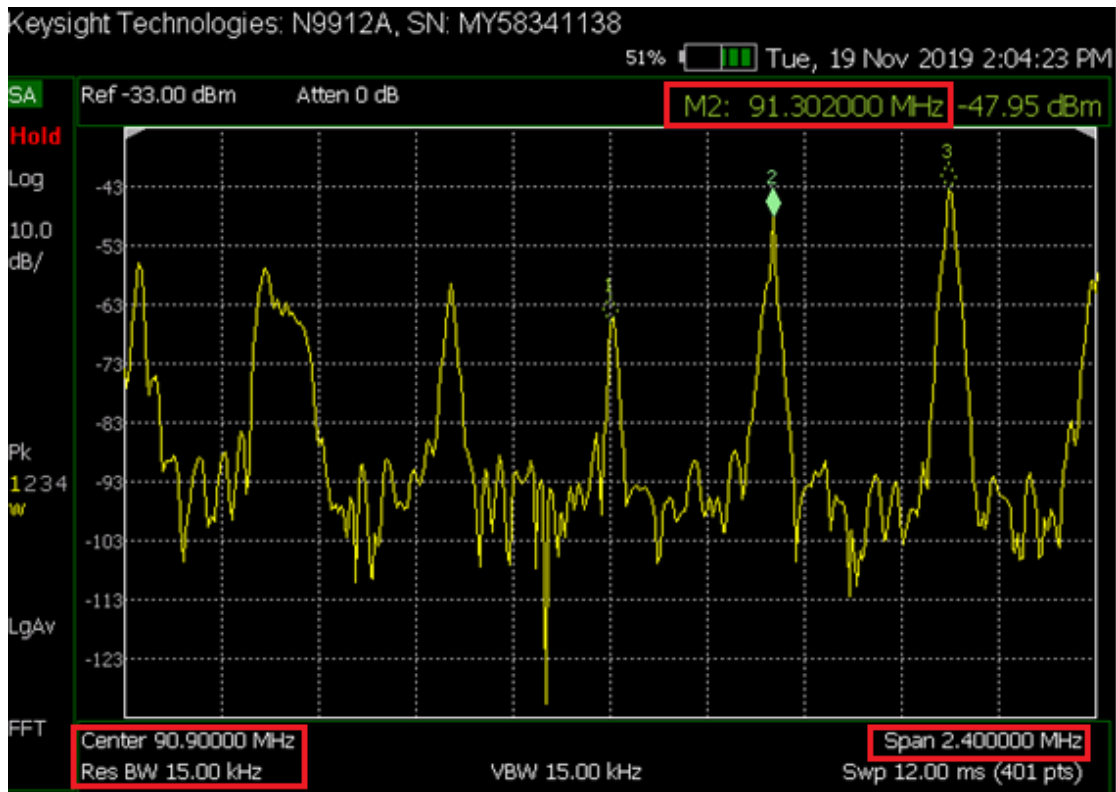


Figura 98. Medición de la segunda muestra en el analizador de espectros FieldFox N9912A.

De igual manera los datos obtenidos de los picos más altos en el sistema de análisis espectral de *software* como se observa en la Figura 96, indica que el tercer pico más alto se encuentra a 0.8 MHz de la frecuencia central 90.9 MHz, por lo que la suma de estas dos frecuencias indica que el tercer pico más alto se encuentra a 91.7MHz, por lo que al momento de colocar la tercera muestra en el analizador de espectros profesional como se observa en la Figura 99, indica que el pico más alto de la tercera muestra se encuentra en 91.73MHz, logrando obtener de esta manera un resultado aproximado del tercer pico más alto que se midió en el sistema de análisis espectral de *software*.

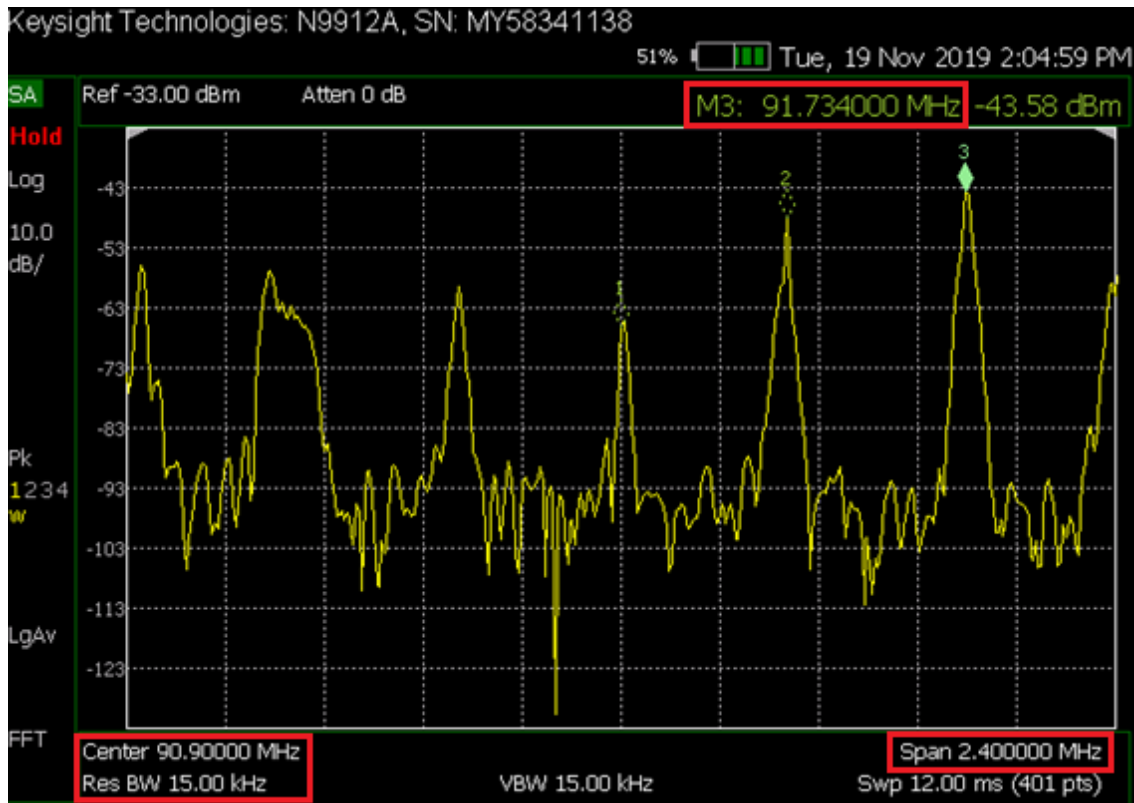


Figura 99. Medición de la tercera muestra en el analizador de espectros FieldFox N9912A.

## 6.6 Simulación en Radio Mobile y área de cobertura

Para fines de determinación de parámetros técnicos con los cuales opera una estación en la ciudad de Quito, se ha podido verificar en la página de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, que por medio de la resolución ARCOTEL-2017-0119, se otorgó a favor de la Casa de la Cultura Ecuatoriana “Benjamín Carrión”, el título habilitante para el funcionamiento de la estación de radiodifusión sonora “CULTURA FM” que está ubicada en la ciudad de Quito, con la frecuencia de operación 100.9 MHz. (ARCOTEL, 2015)

En la resolución ARCOTEL-2017-0119 que se encuentra adjunta en el Anexo 4, se detalla los parámetros técnicos con los cuales opera la frecuencia de operación 100.9 MHz., como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2.

Parámetros técnicos de la Frecuencia 100.9 MHz.

<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>				
UBICACIÓN	CERRO PICHINCHA			
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	100.9 MHz			
ANCHO DE BANDA	220 KHz			
TIPO Y FORMA DE ANTENA	ARREGLO DE 4 RADIADORES TIPO DOBLE DIPOLO CRUZADO EN V			
CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA RADIANTE	Nº	Az	G	In
	4	45°	4.5 dB	-6.5°
ALTURA DEL SISTEMA RADIANTE	36.95 metros			
POLARIZACIÓN	CIRCULAR			
POTENCIA DE OPERACIÓN	4200 W			
PÉRDIDAS	0.767 dB			
POTENCIA EFECTIVA RADIADA (P.E.R.)	9875 W			

El área de cobertura de las estaciones de Quito, según la Norma Técnica Reglamentaria para Radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica pertenece a la zona geográfica FP001, que está definida como indica en la Tabla 3.

Tabla 3.

Zona geográfica FP001.

<b>ZONA GEOGRÁFICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ZONA GEOGRÁFICA</b>
FP001	Provincia de Pichincha, excepto los cantones de Puerto Quito, Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de Los Bancos, incluye la parroquia Mindo (catón San Miguel de Los Bancos).

Tomado de (ARCOTEL, 2015).

Las características del sistema radiante autorizado, según la resolución ARCOTEL-2017-0119 que se detallan en el Anexo 4, la frecuencia de operación 100.9 MHz., pertenece a los de un patrón de radiación como el que se muestra en la Figura 100.

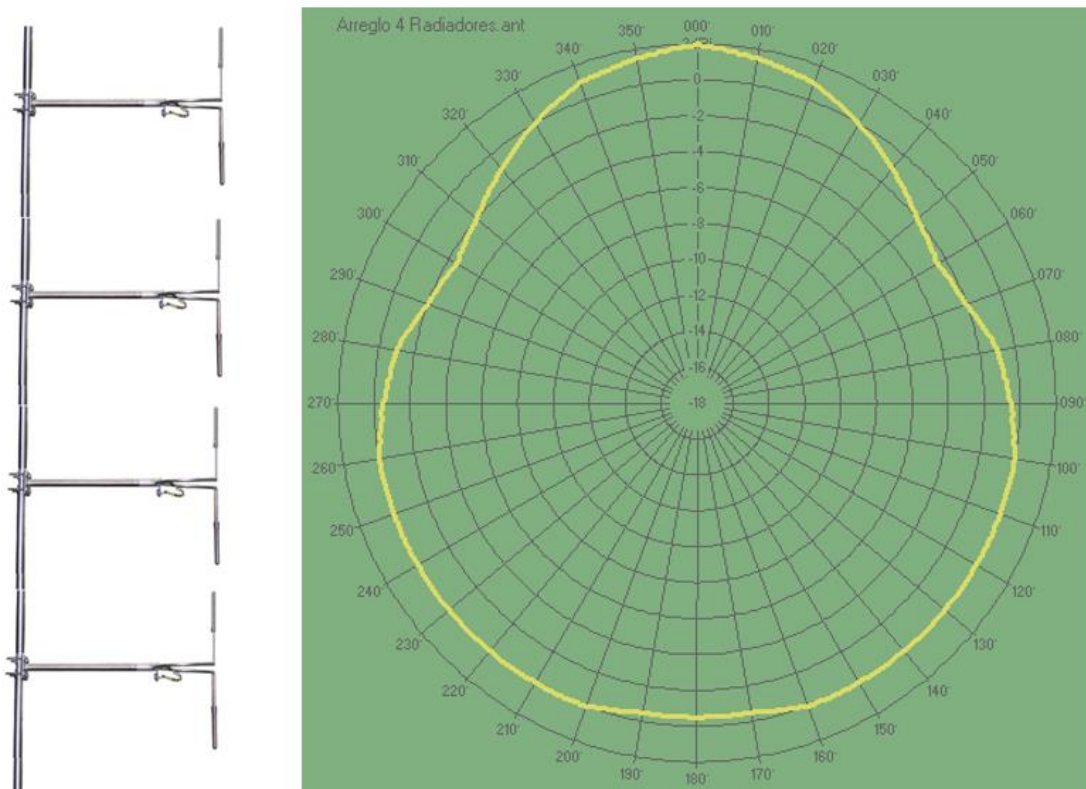


Figura 100. Patrón de radiación de la frecuencia 100.9 MHz.

Asimismo, la Norma Técnica Reglamentaria para Radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica establece niveles de intensidad de campo de  $54 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  para la cobertura primaria y  $50 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  para la cobertura secundaria, por lo tanto, con los parámetros autorizados y de conformidad a la Norma Técnica, se ha realizado la simulación del área de cobertura de la estación con nivel de intensidad de campo de  $54 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  en el *software* Radio Mobile, obteniéndose los siguientes resultados que se observa en la Figura 101. (ARCOTEL, 2015)

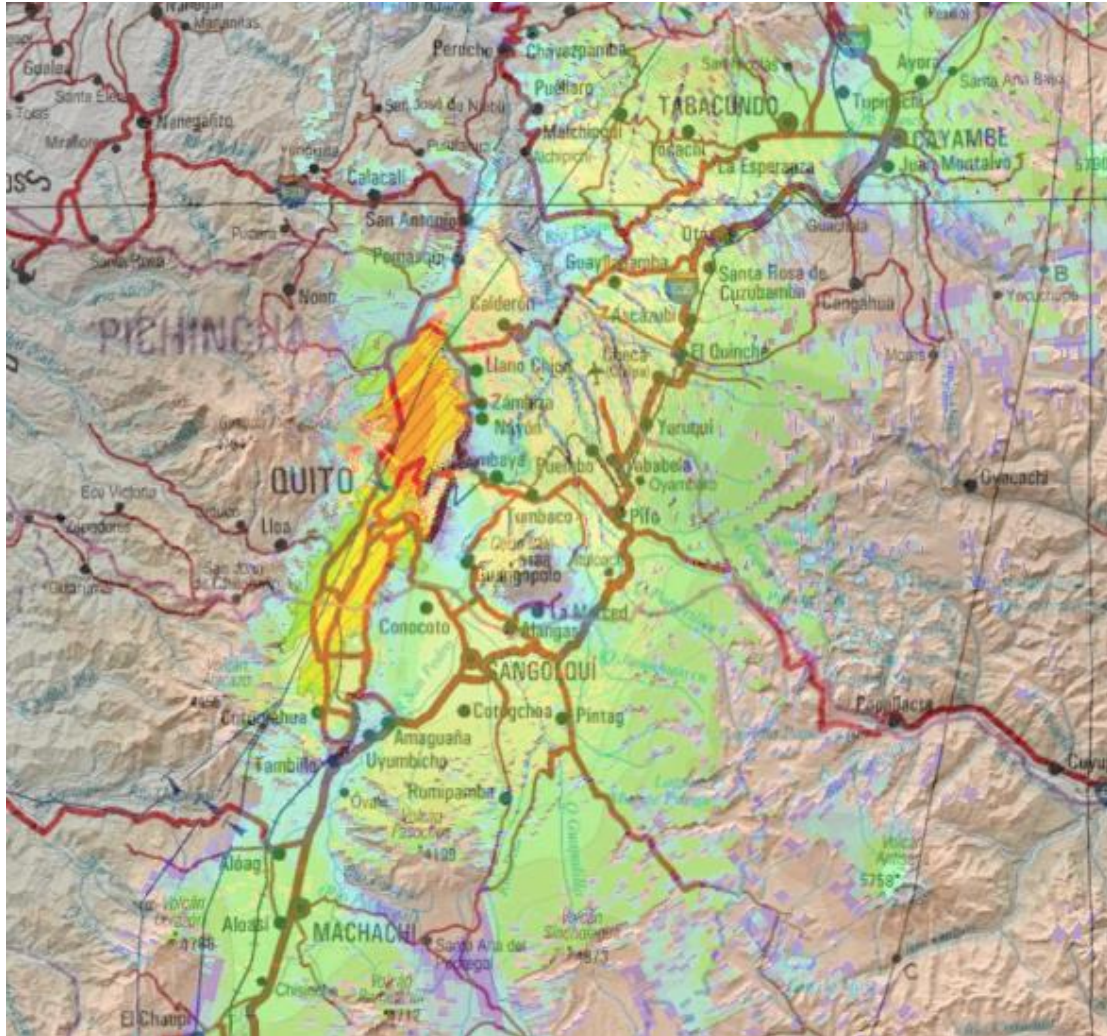


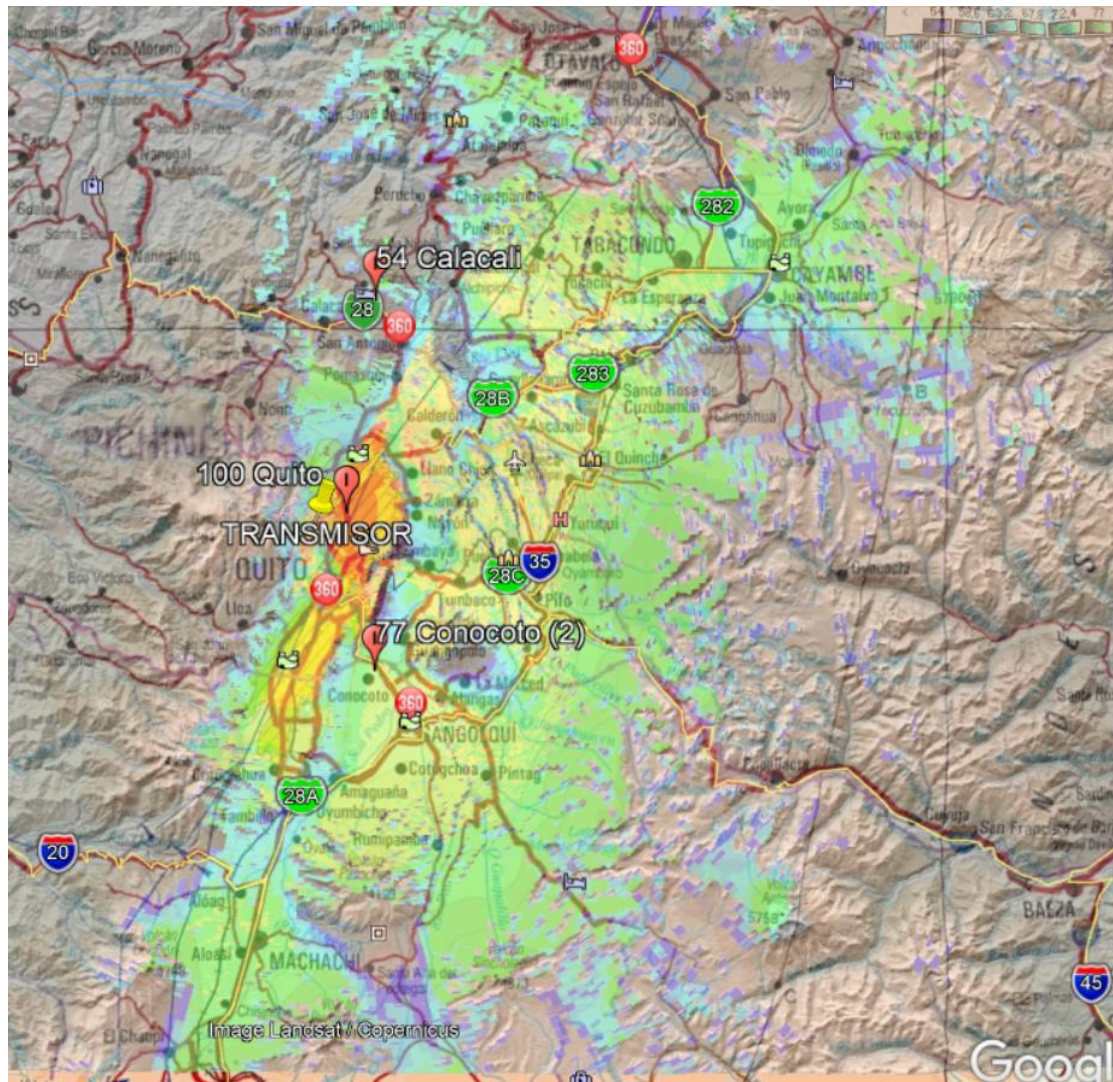
Figura 101. Área de cobertura de la frecuencia 100.9 MHz en el software RadioMobile.

Como se observa en la Figura 101, el área de cobertura que tienen las estaciones que operan en la ciudad de Quito desde el Cerro Pichincha es Quito, Machachi, Cayambe, Tabacundo y Sangolquí, lo que a su vez concuerda con el área de cobertura autorizada por la ARCOTEL a la estación. (ARCOTEL, 2015)

## 6.7 Pruebas de campo con el Analizador de Espectros de Software.



Para la verificación del correcto funcionamiento del analizador de espectros, se ha procedido a realizar mediciones de campo en los cantones de Conocoto, Quito y Calacalí, como se observa en la Figura 102.



*Figura 102.* Ubicación de los puntos de medición en área de cobertura de la frecuencia 100.9 MHz en el software RadioMobile.

Para lo cual se ha tomado una medida en cada uno de estos cantones de acuerdo al área de cobertura de la frecuencia 100.9 MHz, realizando un total de tres mediciones como resultado, considerando un mejor escenario de recepción

los lugares que poseen 100 dB $\mu$ V/m, un escenario regular los lugares que poseen 77 dB $\mu$ V/m y como peor escenario los lugares que poseen 54 dB $\mu$ V/m, logrando tener los resultados que se ven reflejados en la Tabla 4.

Tabla 4.

Resultados obtenidos.

<b>Ciudad</b>	<b>Puntos / Coordenadas</b>	<b>Nivel de Potencia Detectado</b>	<b>Resultado</b>
Quito	<b>Latitud:</b> 0°9'25.00" S <b>Longitud:</b> 78°29'54.00" O	24.82 dBm	Figura 103
Conocoto	<b>Latitud:</b> 0°17'16.00" S <b>Longitud:</b> 78°28'29.00" O	18.22 dBm	Figura 106
Calacalí	<b>Latitud:</b> 0°1'21.60"N <b>Longitud:</b> 78°28'29.02"O	12.14 dBm	Figura 109

La prueba realizada en la ciudad de Quito en las coordenadas Latitud: 0°9'25.00" S y Longitud: 78°29'54.00" O, es considerada según el área de cobertura de la frecuencia 100.9 MHz, como el mejor escenario, debido a que tiene una recepción de 100 dB $\mu$ V/m según la escala de dB $\mu$ V/m que se presenta en el área de cobertura, por lo tanto, se obtuvo como resultado medido con el analizador de espectro de *software* que en esa zona se tiene un nivel de potencia de recepción de 24.82 dBm como se observa en la Figura 103.



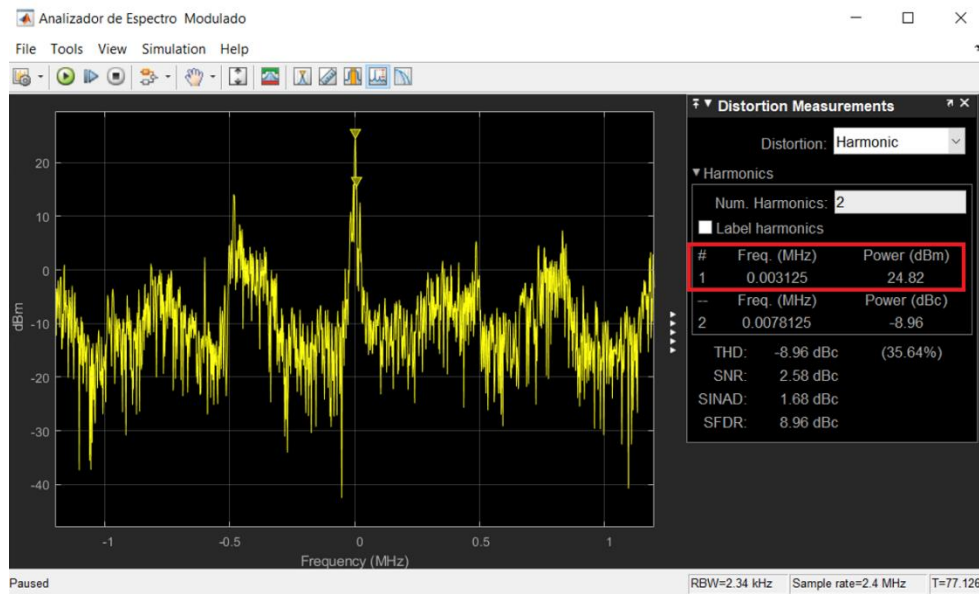


Figura 103. Medición del nivel de potencia detectado en la ciudad de Quito por el analizador de espectros de Software.



Figura 104. Datos Georreferenciales de la prueba realizada en la ciudad de Quito en las coordenadas Latitud: 0°9'25.00" S y Longitud: 78°29'54.00" O.



*Figura 105.* Punto de referencia de la prueba realizada en la ciudad de Quito en las coordenadas Latitud:  $0^{\circ}9'25.00''$  S y Longitud:  $78^{\circ}29'54.00''$  O.

La prueba realizada en Conocoto en las coordenadas Latitud:  $0^{\circ}17'16.00''$  S y Longitud:  $78^{\circ}28'29.00''$  O, es considerada según el área de cobertura de la frecuencia 100.9 MHz, como un escenario de recepción regular, debido a que tiene una recepción de  $77$  dB $\mu$ V/m según la escala de dB $\mu$ V/m que se presenta en el área de cobertura, por lo tanto, se obtuvo como resultado medido con el analizador de espectro de *software* que en esa zona se tiene un nivel de potencia de recepción de 18.22 dBm como se observa en la Figura 106.

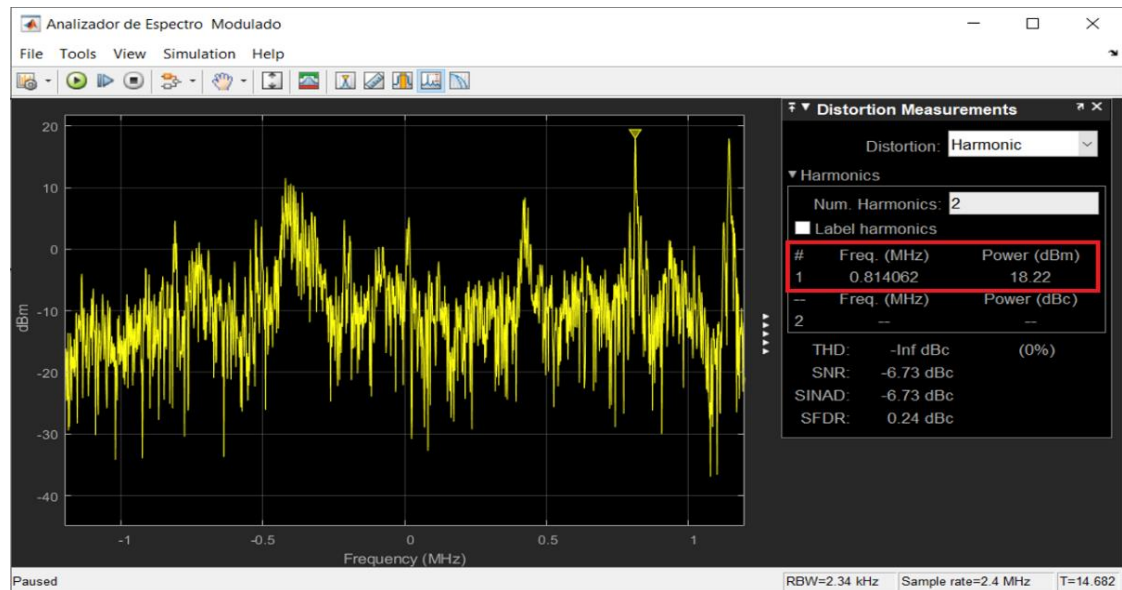


Figura 106. Medición del nivel de potencia detectado en Conocoto por el analizador de espectros de Software.

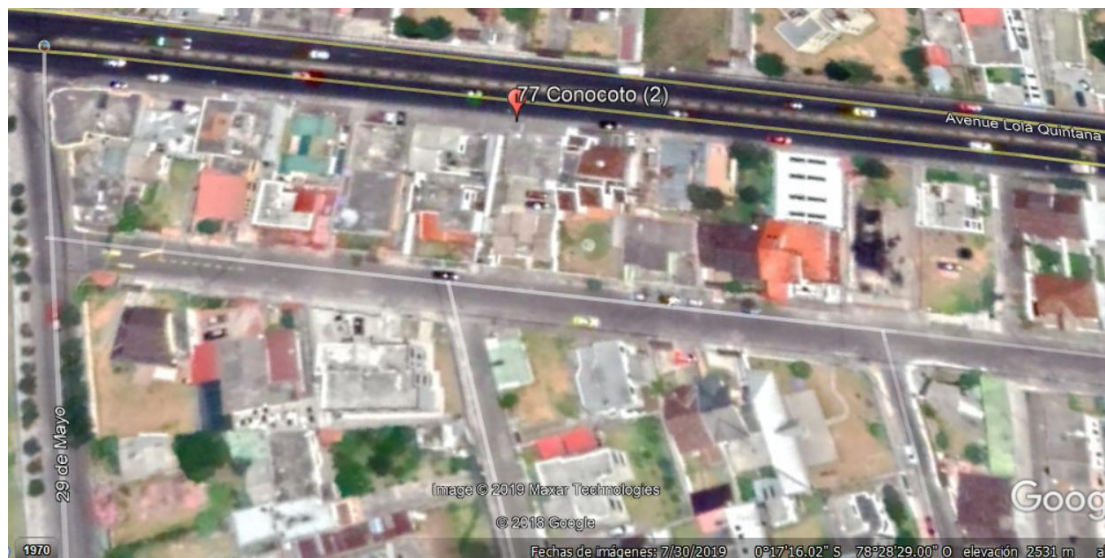


Figura 107. Datos Georreferenciales de la prueba realizada en Conocoto en las coordenadas Latitud:  $0^{\circ}17'16.00''$  S y Longitud:  $78^{\circ}28'29.00''$  O.





*Figura 108.* Punto de referencia de la prueba realizada en Conocoto en las coordenadas Latitud:  $0^{\circ}17'16.00''$  S y Longitud:  $78^{\circ}28'29.00''$  O.

La prueba realizada en Calacalí en las coordenadas Latitud:  $0^{\circ}1'21.60''$ N y Longitud:  $78^{\circ}28'29.02''$ O, es considerada según el área de cobertura de la frecuencia 100.9 MHz, como el peor escenario, debido a que tiene una recepción de  $54 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  según la escala de  $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$  que se presenta en el área de cobertura, por lo tanto, se obtuvo como resultado medido con el analizador de espectro de *software* que en esa zona se tiene un nivel de potencia de recepción de 12.14 dBm como se observa en la Figura 109.

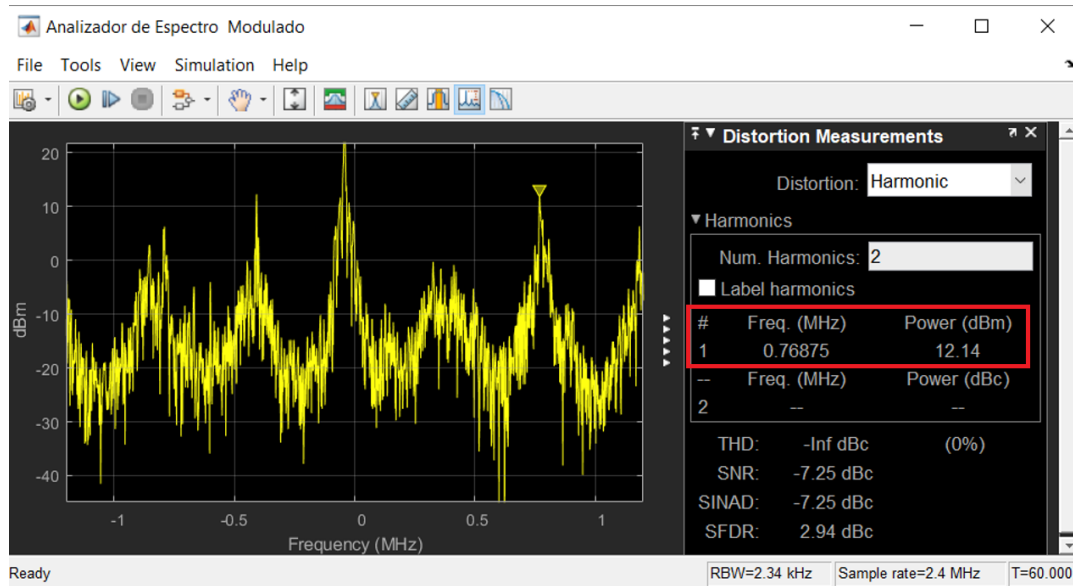


Figura 109. Medición del nivel de potencia detectado en Calacalí por el analizador de espectros de Software.



Figura 110. Datos Georreferenciales de la prueba realizada en Calacalí en las coordenadas Latitud:  $0^{\circ}1'21.60''N$  y Longitud:  $78^{\circ}28'29.02''O$ .



*Figura 111.* Punto de referencia de la prueba realizada en Calacalí en las coordenadas Latitud:  $0^{\circ}1'21.60''N$  y Longitud:  $78^{\circ}28'29.02''O$ .

Como se puede observar, en los puntos en los cuales se ha tomado las medidas con el analizador de espectro, se detecta la señal de la frecuencia 100,9 MHz, lo que coincide con la cobertura de la simulación del Radio Mobile, lo que a su vez demuestra que el analizador de espectro cumple con el alcance del proyecto y puede ser ocupado para fines didácticos ya que se obtienen resultados apegados a la realidad del uso del espectro radioeléctrico.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se exponen varias conclusiones y recomendaciones que se han determinado a lo largo de la elaboración e implementación del sistema didáctico de análisis espectral de la banda 88-108 MHz mediante un sistema SDR (Radio definido por *software*) para estaciones de radiodifusión sonora.

### 7.1 Conclusiones

El SDR (Radio definida por *software*) se ha convertido de vital importancia en el avance de los dispositivos de *software* en la rama de Telecomunicaciones, debido a que se encarga de transformar todos los datos analógicos recibidos a digitales, para ser procesados en un computador que disponga un *software* de alto nivel, logrando de esta manera reemplazar dispositivos de *hardware* por los de *software*.

Con el avance de la tecnología, los dispositivos de SDR en el mercado han crecido de manera rápida, por lo que, para fines didácticos el RTL-SDR es un dispositivo completo para realizar un análisis espectral de frecuencias FM, debido a que posee un rango de frecuencias de 25 MHz a 1,75 GHz.

El dispositivo RTL-SDR es económico y está compuesto por pequeñas dimensiones, que permite al usuario tener una mayor portabilidad del dispositivo, es decir, que se lo pueda transportar con facilidad, y adicionalmente una de las principales ventajas es que posee compatibilidad con varios *softwares* y una amplia disponibilidad en los mercados online.

Mathworks y los dispositivos RTL-SDR poseen una gran compatibilidad en los ambientes de *software* y *hardware*, debido a que con las últimas actualizaciones de las versiones de MATLAB & Simulink, se ha creado un paquete de soporte de *hardware* SDR, el cual permite implementar SDR en el computador.

La utilización de los bloques preconstruidos disponibles en las librerías de Simulink, permite realizar un diseño por medio de la agrupación de los bloques y las características que presentan cada bloque, permitiendo obtener un sistema SDR para el análisis espectral de las frecuencias FM.

El conocimiento previo de la transformada de Fourier para la elaboración del diseño es importante a la hora de realizar el proceso de modulación, y por medio de la transformada inversa de Fourier realizar la demodulación de la señal original, permitiendo a base de estos procesos poder analizar y sintonizar una frecuencia central.

En la etapa de diseño, la importancia del conocimiento de los conceptos básicos del funcionamiento de un sistema de recepción y sintonización de radio es fundamental para la configuración de los parámetros de cada uno de los bloques, debido a que algunos parámetros están basados en los estándares que establece el marco regulatorio de las estaciones FM, ya que cada bloque de la librería de Simulink cumple funciones específicas.

En la implementación por medio de los entornos gráficos de la herramienta de Simulink, se logra obtener un analizador de espectro, en el cual se observa el espectro radioeléctrico de una frecuencia central de manera gráfica, permitiendo al usuario poder realizar un análisis minucioso de la señal de radio recibida.



La estructuración y configuración de los bloques de la etapa de implementación, se las debe realizar por medio de los parámetros que establece la norma técnica para frecuencias FM, como es los 220KHz del ancho de banda que opera una estación FM y los 48KHz de la frecuencia de muestreo que está basado en el rango audible del oído humano, al igual que muchos otros parámetros a considerar.

El analizador de espectros de *software* permite realizar y conocer varias medidas que están contenidas en el espectro radioeléctrico de una frecuencia central, como la potencia de recepción con la que se está recibiendo la señal, al igual que el ancho de banda ocupado y la potencia del canal, permitiendo de igual manera conocer los picos más altos y otras medidas que son fundamentales en las telecomunicaciones.

En la comparación entre el analizador de espectros de *software* y el analizador de espectros profesional FieldFox N9912A que dispone la Universidad de Las Américas, se determinó que los datos medidos de una frecuencia central tienen un espectro similar, por lo que se determinó que el analizador de espectros implementado en el *software* puede ser utilizado para fines educativos y didácticos en los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones.

Existe una variación de resultados en las pruebas obtenidas en la comparación entre el analizador de espectros de *software* y el analizador de espectros profesional FieldFox N9912A, debido a que el tiempo de medición real que se tomaron las medidas, no se pudo obtener una captura exacta en el mismo tiempo de los espectros, debido a entornos de radio frecuencia como el ruido u otros factores que hacen los espectros sean variantes en el tiempo.

La simulación que se realizó en el *software* Radio Mobile con los parámetros que la ARCOTEL otorgo en el título habilitante para la instalación y operación de la frecuencia 100.9 MHz en la resolución ARCOTEL-2017-0119, permitió conocer el área de cobertura de la frecuencia central y por medio del dispositivo realizar mediciones en diferentes sectores, obteniendo como resultado que en todos los escenarios las mediciones obtenidas por medio del analizador de espectros de *software*, cumplen con la simulación del área de cobertura.

El manual de usuario, elaborado en el Anexo 3, permite al beneficiario por medio de una guía de pasos realizar la configuración del dispositivo y conocer los parámetros que puede manipular para lograr obtener un sistema de análisis espectral de la banda 88-108 MHz por medio de un sistema SDR.

La utilización del dispositivo de análisis espectral para las frecuencias FM, está diseñada de manera didáctica para que el usuario pueda cumplir sus necesidades y lograr realizar las mediciones respectivas del espectro radioeléctrico de una frecuencia central.

## **7.2 Recomendaciones**

Se recomienda utilizar un cable de extensión USB para el uso de los dongles RTL-SDR, debido a que alejará el receptor del ruido electrónico proveniente del computador. Sin embargo, si no posee uno, es preferible usar una conexión directa, es decir un puerto USB libre únicamente para el dispositivo.

Es importante ejecutar el comando "*my\_rtlsdr = sdrinfo*" al momento de insertar el dispositivo RTL-SDR al computador, debido a que este permitirá verificar que el dispositivo este reconocido por el computador para su utilización, en caso de que no se reconozca el dispositivo, se recomienda cambiar a otro puerto USB

libre para realizar la verificación de compatibilidad, pero en caso de que el problema persista puede que su dispositivo RTL-SDR este dañado o que el computador no ha instalado los *drivers* del dispositivo lo que llevaría a instalarlos de forma manual.

Es importante seleccionar la antena correcta de recepción del dispositivo RTL-SDR, debido a que cada tipo de antena está diseñada para la recepción de diferentes tipos de señales.

Cuando se inicia Simulink, verificar que se encuentre en la librería el paquete "*Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio*" para poder realizar esta implementación, en caso de que no esté disponible en la librería de Simulink, se debe realizar nuevamente el proceso de instalación y configuración que se encuentra en el Anexo 1 y 2, debido a que existió alguna falla en el momento de instalación del paquete.

Para escuchar cualquier señal de radio que se demodule, se recomienda que el computador donde se realizó la implementación disponga de una tarjeta de sonido.

Se recomienda crear una cuenta en Mathworks, para poder realizar la descarga e instalación del paquete de soporte de *hardware* SDR, que será utilizado en la implementación del sistema de análisis espectral para estaciones de radiodifusión sonora.

Leer el manual de usuario al momento de realizar la implementación, debido a que en este manual se detalla los pasos a seguir para configurar los parámetros

de cada bloque insertado de las librerías de Simulink y que funciones puede realizar con el resultado final de la implementación.

Verificar los requerimientos de *software* y *hardware*, para determinar si se cumplen con los requisitos mínimos para esta implementación.

## Referencias

- ARCOTEL. (2015). *Norma Técnica Para El Servicio De Radiodifusión Sonora En Frecuencia Modulada Analógica*. 17. Recuperado 6 de diciembre de 2019, de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/NORMA-TECNICA.pdf>
- Carone, M., & MathWorks. (s. f.). *What Is Simulink?* Recuperado 20 de octubre de 2019, de [https://la.mathworks.com/videos/simulink-overview-61216.html?s\\_tid=srchtitle](https://la.mathworks.com/videos/simulink-overview-61216.html?s_tid=srchtitle)
- Cinetyk. (s. f.). *guia per MATLAB*. Recuperado 20 de octubre de 2019, de <https://cinetyk.altervista.org/guida-per-matlab/>
- Cohan, K., & MathWorks. (s. f.). *Videos y Webinars (What Is MATLAB?)*. Recuperado 19 de octubre de 2019, de <https://la.mathworks.com/videos/matlab-overview-61923.html>
- DEMODULATION. (s. f.). Recuperado 11 de noviembre de 2019, de <https://www-elec.inaoep.mx/~rogerio/DemodulationGeneral.pdf>
- ebay. (s. f.). *Nooelec Nesdr Smart Bundle - Premium Rtl-Sdr W/Aluminum Enclosure, 0.5Ppm Tcxo*. Recuperado 18 de octubre de 2019, de <https://www.ebay.com/itm/Nooelec-Nesdr-Smart-Bundle-Premium-Rtl-Sdr-W-Aluminum-Enclosure-0-5Ppm-Tcxo-/303103474097>
- Kennedy, J. (2016). *Software definida radio: investigación y verificación de pruebas en una plataforma libre*. Recuperado 4 de julio de 2019, de [www.nucleodoconhecimento.com.br](http://www.nucleodoconhecimento.com.br)
- MathWorks. (s. f.-a). *ACPR and CCDF Measurements with MATLAB System Objects*. Recuperado 14 de noviembre de 2019, de <https://la.mathworks.com/help/comm/gs/acpr-and-ccdf-measurements-with-matlab-system-objects.html>
- MathWorks. (s. f.-b). *Configure Time Scope*. Recuperado 13 de noviembre de 2019, de <https://la.mathworks.com/help/dsp/ug/configure-time-scope.html>

- MathWorks. (s. f.-c). conj - Complex conjugate. Recuperado 13 de noviembre de 2019, de <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/conj.html>
- MathWorks. (s. f.-d). Demodulate using broadcast FM method - Simulink - MathWorks España. Recuperado 11 de febrero de 2020, de <https://es.mathworks.com/help/comm/ref/fmbroadcastdemodulatorbaseband.html>
- MathWorks. (s. f.-e). Procesamiento de señal Multirate. Recuperado 13 de noviembre de 2019, de <https://la.mathworks.com/help/signal/multirate-signal-processing.html>
- MathWorks. (s. f.-f). Retraso - MATLAB & Simulink. Recuperado 13 de noviembre de 2019, de <https://la.mathworks.com/help/signal/ug/delay.html>
- MathWorks. (s. f.-g). Simulink. Recuperado 20 de octubre de 2019, de <https://la.mathworks.com/products/simulink.html>
- MathWorks. (s. f.-h). What is MATLAB? Recuperado 19 de octubre de 2019, de <https://la.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html>
- Muñoz, C. (2017). Radio definido por software, una nueva opción en las comunicaciones espaciales. Recuperado 3 de julio de 2019, de <https://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=498>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (s. f.-a). Dispositivo de Radio Definido por Software USRP. Recuperado 22 de octubre de 2019, de <https://www.ni.com/es-cr/shop/select/usrp-software-defined-radio-device>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (s. f.-b). Software SDR. Recuperado 22 de octubre de 2019, de <https://www.ettus.com/sdr-software/>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2017). *SPECIFICATIONS USRP-2900 Software Defined Radio Device*. 1-6. Recuperado 22 de octubre de 2019, de <http://www.ni.com/pdf/manuals/374924c.pdf>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2019). *PRODUCT FLYER USRP Software Defined Radios*. 1-11. Recuperado 22 de octubre de 2019, de

<http://www.ni.com/pdf/product-flyers/usrp-software-defined-radio.pdf>

Nomarlo. (2017). Matlab R2017b Mac y Windows Full. Recuperado 19 de octubre de 2019, de <http://triplej.net/matlab-r2017b-mac-windows-full/>

NooElec. (s. f.-a). NooElec HackRF One Software Defined Radio (SDR), ANT500 & SMA Antenna Adapter Bundle. Recuperado 23 de octubre de 2019, de [https://www.amazon.com/Software-Defined-ant500-Antenna-Adapter/dp/B01K1CCHR0/ref=sr\\_1\\_7?\\_\\_mk\\_es\\_US=ÅMAŽÕÑ&keywords=SDR&qid=1571691822&sr=8-7](https://www.amazon.com/Software-Defined-ant500-Antenna-Adapter/dp/B01K1CCHR0/ref=sr_1_7?__mk_es_US=ÅMAŽÕÑ&keywords=SDR&qid=1571691822&sr=8-7)

NooElec. (s. f.-b). Nooelec NESDR Smart v4 Bundle - Premium RTL-SDR w/Aluminum Enclosure, 0.5PPM TCXO, SMA Input & 3 Antennas. RTL2832U & R820T2-Based Software Defined Radio. Recuperado 21 de octubre de 2019, de <https://binge.bh/product/O01TQA1G4F/nooelec-nesdr-smart-bundle-premium-rtl-sdr-w-aluminum-enclosure-0-5ppm-tcxo-sma-input-3-antennas-rtl2832u-r820t2-based-software-defined-radio>

Radio for Everyone. (s. f.). Nooelec SMARt Review and Comparison. Recuperado 21 de octubre de 2019, de <http://www.radioforeveryone.com/p/officially-called-nooelec-nesdr-smart.html>

Rodríguez, Jorge. (2017). *Análisis software y hardware del SDR HackRF One*. 14-15. Recuperado 23 de octubre de 2019, de [http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/48019/RodriguezHaro\\_PFC\\_SDR\\_HackRF.pdf;jsessionid=EAEA8EDEAEDD4E98153DBC9DC5B48344?sequence=1](http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/48019/RodriguezHaro_PFC_SDR_HackRF.pdf;jsessionid=EAEA8EDEAEDD4E98153DBC9DC5B48344?sequence=1)

Rodríguez, Juan, & González, V. (2014). Teoría de Señales. Recuperado 13 de noviembre de 2019, de <https://w3.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Signals/Theory/index.html>

RTL-SDR.COM. (s. f.). *The Hobbyist's Guide To Rtl-Sdr Really Cheap Software Defined Radio*.

RTL-SDR.COM. (2014). THE BIG LIST OF RTL-SDR SUPPORTED

SOFTWARE. Recuperado 23 de octubre de 2019, de <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>

Stewart, B., Barlee, K., Atkinson, D., & Crockett, L. (s. f.). *Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR*.

TERMINOLOGÍA OSCILOSCOPIO VIRTUAL. (s. f.). Recuperado 13 de noviembre de 2019, de <http://www.uco.es/oscivirtual/Tutorial/Terminologia.html>



## **ANEXOS**

Una vez de instalado el *software* MATLAB-Simulink, se tiene que realizar la instalación y configuración del dispositivo RTL-SDR en MATLAB, para lo cual como recomendación principal es la adquisición de una cuenta activa en la plataforma Mathworks, con el fin de poder acceder a descargar paquetes de herramientas adicionales para el funcionamiento de la RTL-SDR en el *software* de MATLAB-Simulink.

Al tener listo los requerimientos mencionados en el párrafo anterior, se procede a seguir los siguientes pasos de configuración.

## 1. Configuración del Dispositivo RTL-SDR

1.1 Ejecutar el *software* MATLAB como administrador, luego en la ventana de comando se debe ejecutar el comando “ver”, debido a que este permite observar la versión de *software* instalada en el computador como se observa en la Figura 112.

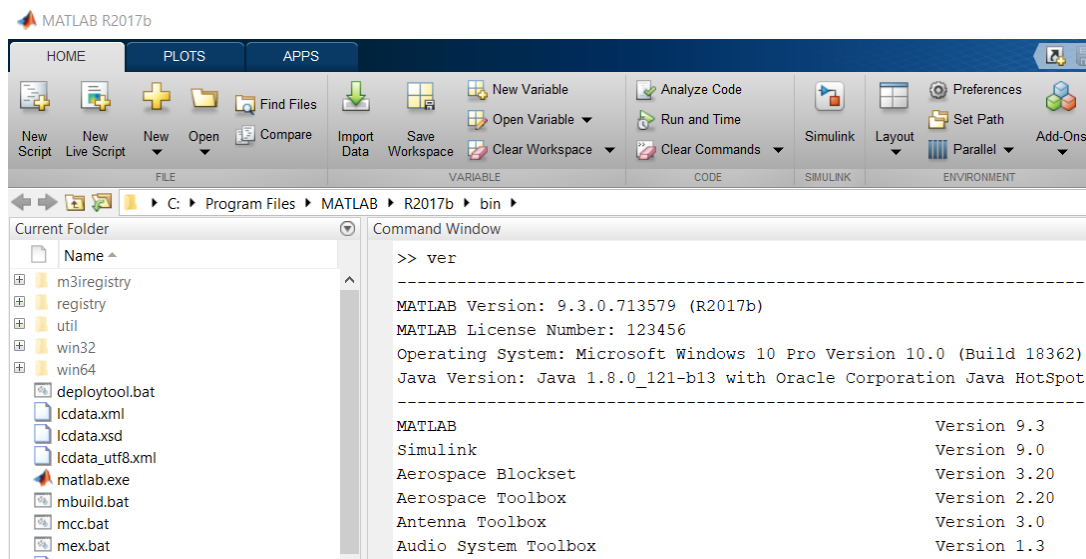


Figura 112. Ejecución del *software* MATLAB como administrador.

1.2 En la ventana “HOME” se selecciona la opción “Add-Ons”, en donde se desplegará una serie de pestañas, en la cual se selecciona la pestaña “Get Hardware Support Packages” como se observa en la Figura 113.

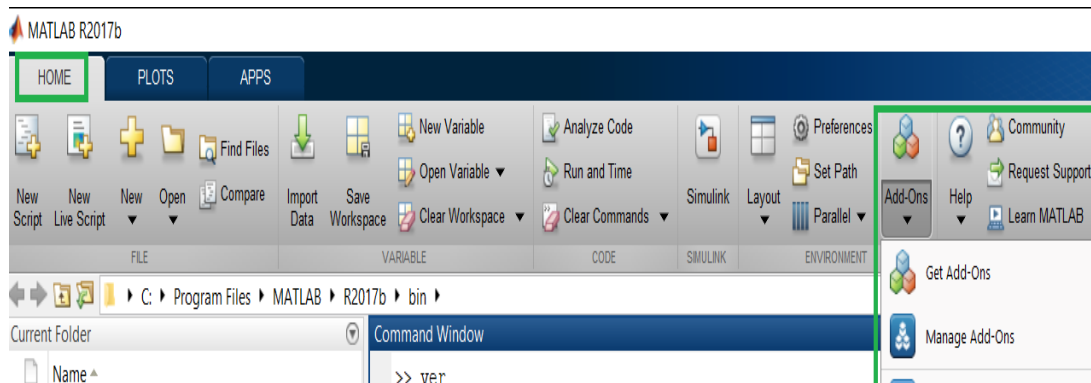


Figura 113. Ventana de opciones de la interfaz de MATLAB.

1.3 Una vez seleccionada la pestaña “Get Hardware Support Packages” esta presenta un navegador con una página de Mathworks, en donde se encuentran todos los paquetes de soporte de hardware que pueden ser descargados según las necesidades del usuario. Para esta implementación se descarga el paquete de “Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio” como se observa en la Figura 114.

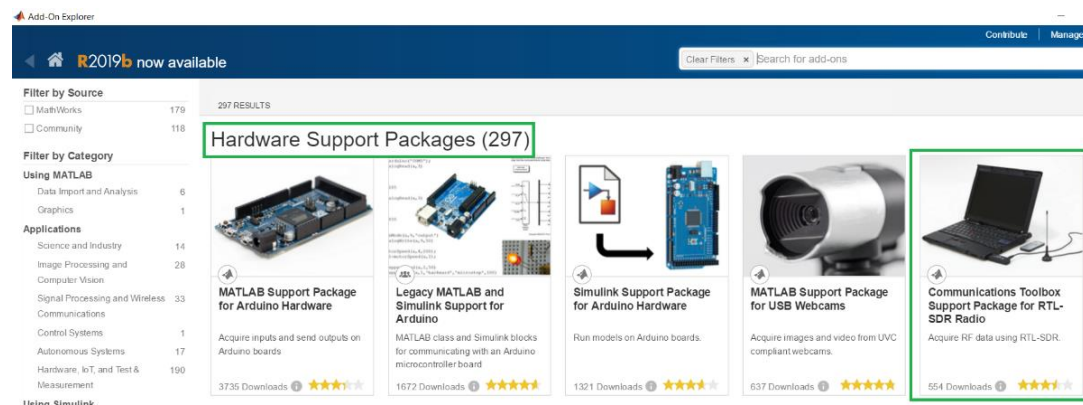


Figura 114. Paquete de soporte de hardware SDR en la página de Mathworks.

1.4 Después de seleccionar el paquete de “*Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio*”, se abrirá una ventana en la que indica algunas recomendaciones en cuanto a versiones para el uso correcto de este *software*, viéndose aquí uno de los principales puntos en la elección de la versión de *software* de MATLAB a utilizar. Debido a eso para la elaboración de esta implementación se decidió utilizar la versión de *Software* MATLAB R2017b. Adicionalmente se observa dos opciones, las cuales indican si se desea leer un poco más sobre este paquete o si desea instalarlo, como se observa en la Figura 115.

The screenshot shows the MATLAB Add-On Explorer interface. At the top, there is a search bar and navigation options. The main content area displays the details for the "Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio" by the MathWorks Communications Toolbox Team. A green box highlights a warning message: "This support package is currently unable to download third-party software for MATLAB R2017a and earlier versions. For details and workaround, see this Bug Report. MATLAB R2017b and later versions are unaffected." Below this, there are sections for "Requires" (listing Communications Toolbox, DSP System Toolbox, and Signal Processing Toolbox), "MATLAB Release Compatibility" (Created with R2014a, Compatible with R2014a to R2019b), "Platform Compatibility" (Windows, macOS, Linux), and "Categories" (Signal Processing and Wireless Communications > Communications). Buttons for "Learn More" and "Install" are visible on the right side.

Figura 115. Detalles del paquete *Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio*.

1.5 Al momento de haber seleccionado la opción instalar, automáticamente pide el inicio de sesión en la Plataforma Mathworks como se observa en la Figura

116, en cual se debe ingresar las credenciales activas que fueron solicitadas en los requerimientos previos a la configuración del dispositivo RTL-SDR.

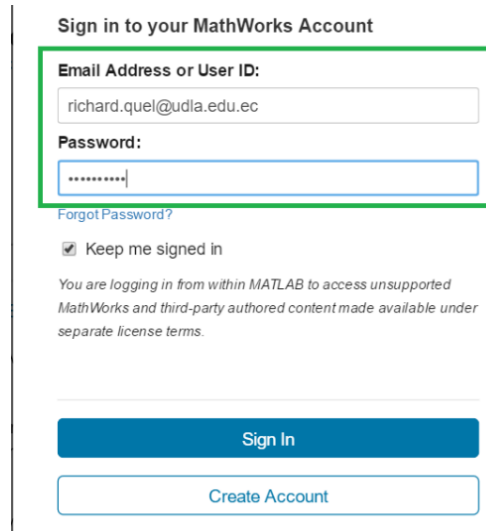


Figura 116. Ingreso de usuario y contraseña en la plataforma de Mathworks para la descarga del paquete de soporte de *hardware* SDR.

1.6 Después de haber ingresado las credenciales, aparece un recuadro en el cual se debe aceptar los términos y condiciones que solicita Mathworks para poder descargar los paquetes de comunicación del RTL-SDR, como se muestra en la Figura 117.

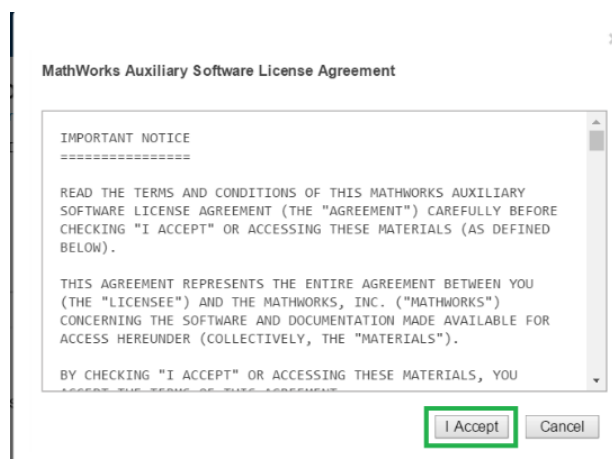


Figura 117. Términos y condiciones para iniciar la descarga.

1.7 Una vez aceptado los términos y condiciones, se despliega una ventana en la que indica las licencias de los paquetes a descargar para la utilización del dispositivo RTL-SDR, en el cual se debe seleccionar la opción “Next” para continuar con el proceso, como se observa en la Figura 118.

#### Third-Party Software

By clicking Next, you will be downloading the software below which may contain open source software that may be under the terms of General Public License (GPL).

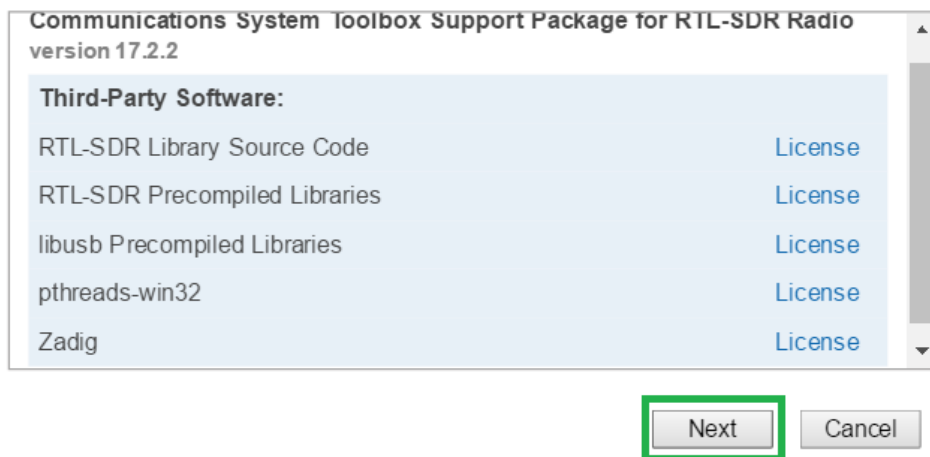


Figura 118. Detalle de las licencias de los paquetes a descargar.

1.8 Luego se despliega una ventana en la cual indica la ubicación en la que se descargarán los paquetes de soporte a ser utilizados en el RTL-SDR. Una vez fija la ubicación de la descarga, selecciona la opción “Next” para continuar con el proceso, como se observa en la Figura 119.

### Folder Selection

Enter the full path to the download folder

C:\Users\Javier Quel\Downloads\MathWorks\SupportPackages\R2017b

Browse

Restore Default Folder

Next

Cancel

Figura 119. Ubicación de la carpeta de instalación de los paquetes de soporte.

**1.9** Empieza la descarga de los paquetes de soporte a ser utilizados en el RTL-SDR, como se muestra en la Figura 120.

### Download Progress

Downloading Support Packages... 65%

Downloading Third-Party Packages...

Figura 120. Inicio de descarga de los paquetes de soporte.

**1.10** Al finalizar la descarga, aparece una ventana en la que indica que el proceso de descarga a finalizado, en la que se debe seleccionar la opción del casillero como se observa en la Figura 121, para abrir la ubicación de la carpeta descargada para continuar con el procedimiento de configuración.

## Download Complete

Download Folder:

C:\Users\Javier Quel\Downloads\MathWorks\SupportPackages\R2017b

Open download folder

Finish

Figura 121. Ventana de finalización de descarga de paquetes

**1.11** Como se muestra en la Figura 122, se abre la ubicación de la carpeta descargada, en la cual se debe ejecutar la aplicación que está marcada, para poder continuar con el proceso de configuración.

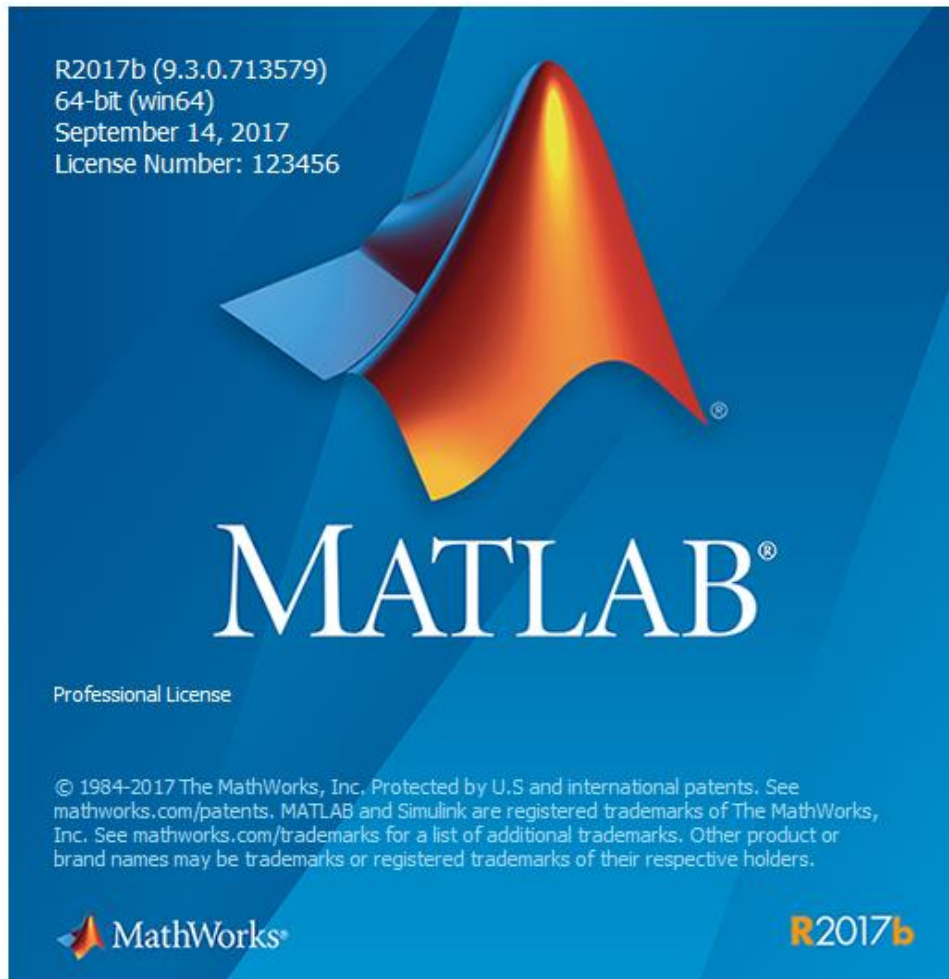
Este equipo > SISTEMA (C:) > Usuarios > Javier Quel > Descargas > MathWorks > SupportPackages > R2017b

<input type="checkbox"/>	Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
	archives	30/10/2019 11:03	Carpeta de archivos	
	install_supportsoftware	30/10/2019 11:03	Aplicación	549 KB
	readme	30/10/2019 11:03	Documento de tex...	1 KB

Figura 122. Aplicación de instalación de paquetes descargados.



**1.12** Al momento de ejecutar la aplicación anteriormente mencionada, se abre el *software* MATLAB como se observa en la Figura 123, con el fin de poder continuar con la configuración.



*Figura 123.* Ejecución del *software* MATLAB.

**1.13** Dentro del *Software* MATLAB, dar doble clic en la opción seleccionada en la ventana de carpeta actual, la que desplegará una ventana de instalación de los paquetes descargados anteriormente, como se observa en la Figura 124. En esta se selecciona la casilla y se continúa dando clic en la opción “Next”.

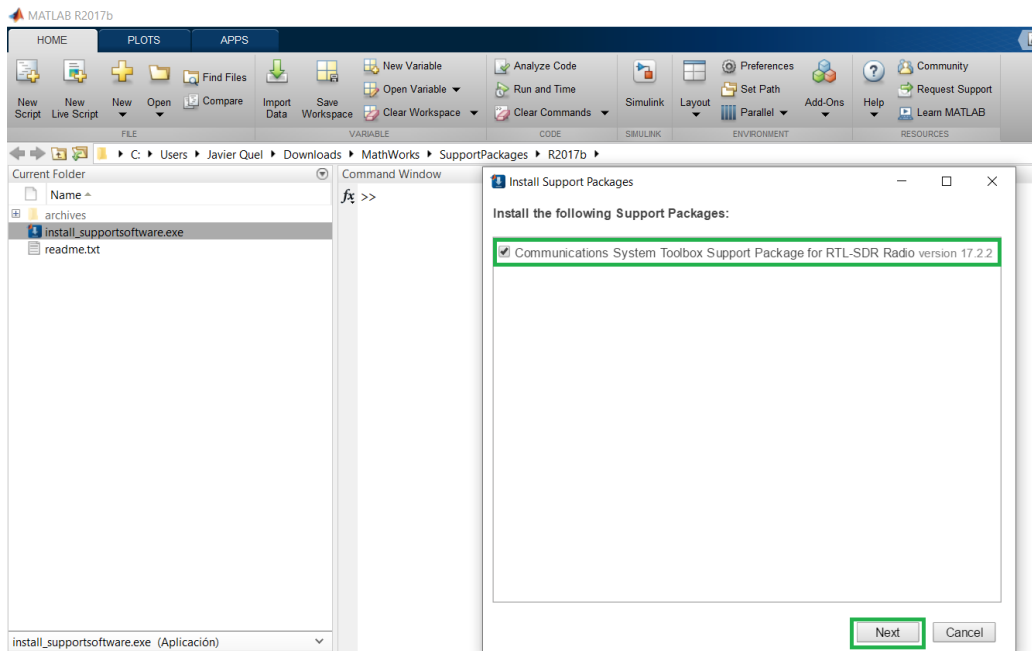


Figura 124. Instalador de paquetes en la interfaz de MATLAB.

**1.14** Aparece una nueva ventana en la que se debe aceptar los términos y condiciones que solicita Mathworks para poder instalar los paquetes de comunicación del RTL-SDR, como se muestra en la Figura 125.

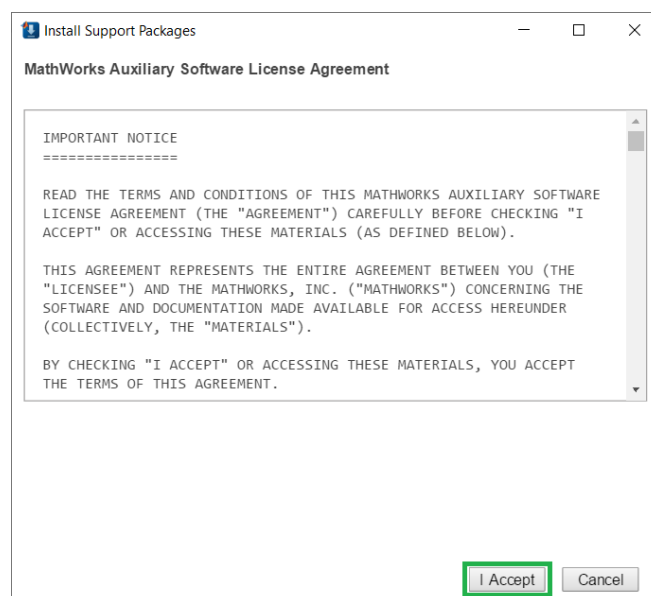
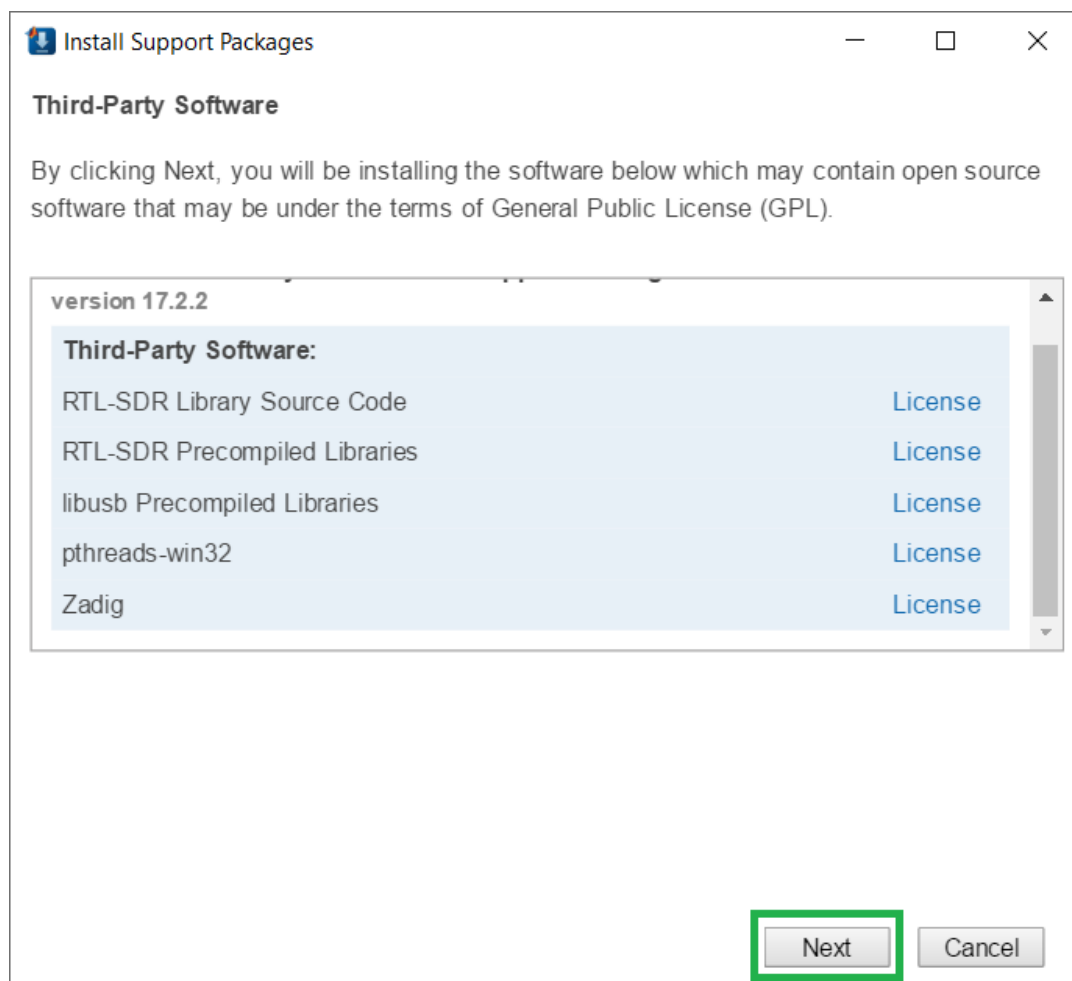


Figura 125. Ventana de términos y condiciones para iniciar la instalación de paquetes de soporte.

**1.15** A continuación, se muestra una ventana en la que indica las licencias de los paquetes a descargar para la utilización del dispositivo RTL-SDR, en el cual se debe seleccionar la opción “*Next*” para continuar con el proceso, como se observa en la Figura 126.



*Figura 126.* Verificación de licencias de paquetes de soporte a instalar.

**1.16** Empieza la instalación de los paquetes de soporte a ser utilizados en el RTL-SDR, como se muestra en la Figura 127.

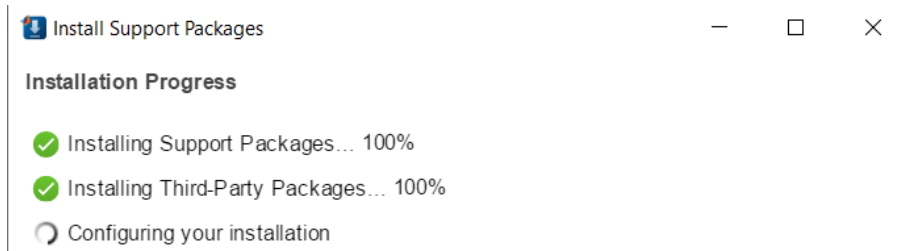


Figura 127. Inicio de instalación de paquetes de soportes de MATLAB

**1.17** Una vez instalado los paquetes de soporte, aparece una nueva ventana en la que indica que para la utilización del dispositivo de *hardware* RTL-SDR se debe realizar la configuración de algunos parámetros del dispositivo para poder ser utilizado, como se lo muestra en la Figura 128, se debe seleccionar la opción “*Setup Now*” para comenzar con la configuración.

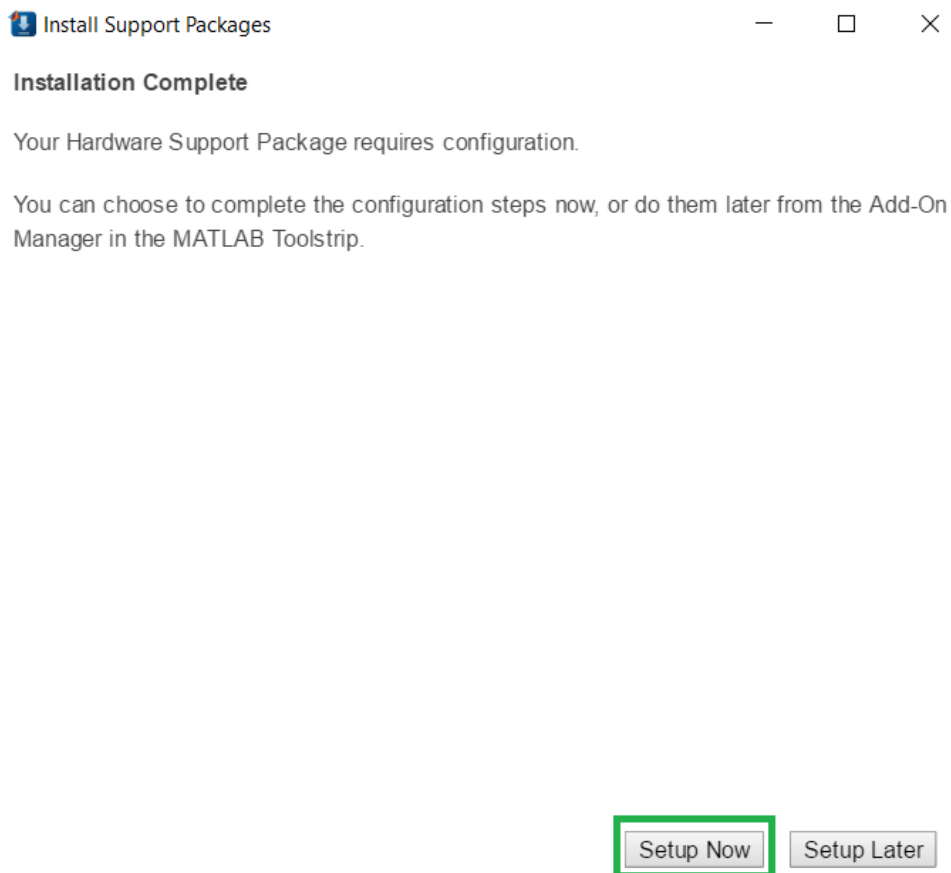


Figura 128. Ventana de finalización de la instalación de los paquetes de soporte de MATLAB.

**1.18** Después de seleccionar la opción “*Setup Now*”, se despliega una nueva ventana como se observa en la Figura 129, la que indica que se debe insertar el dispositivo RTL-SDR a utilizar en un puerto USB libre del computador, para poder instalar los *drivers* del computador.



*Figura 129.* Pasos de conectividad del dispositivo de *hardware* con el PC.

**1.19** Al momento de insertar el dispositivo de *hardware* RTL-SDR, el computador empieza a configurarlo, apareciendo las dos ventanas como se observa en la Figura 130, una vez que aparezca la imagen 2, se puede seleccionar la opción “*Next*” de la ventana presentada en la Figura 131.

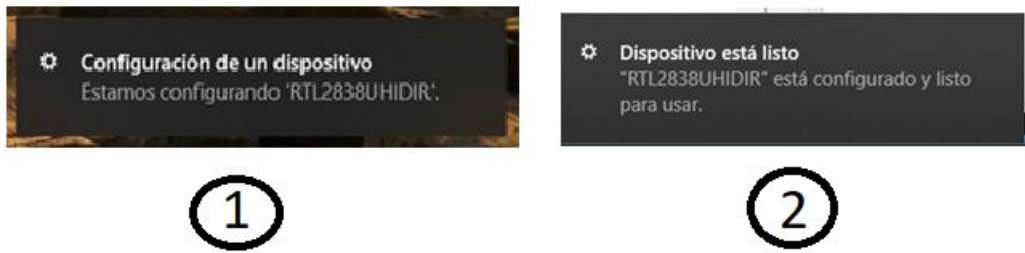


Figura 130. Ventanas de configuración de Windows de los dispositivos RTL-SDR

**1.20** Una vez seleccionada la opción del paso anterior, se empieza a verificar que el dispositivo este configurado y reconocido correctamente en el computador, para proceder a la instalación de los *drivers*, como se observa en la Figura 131.

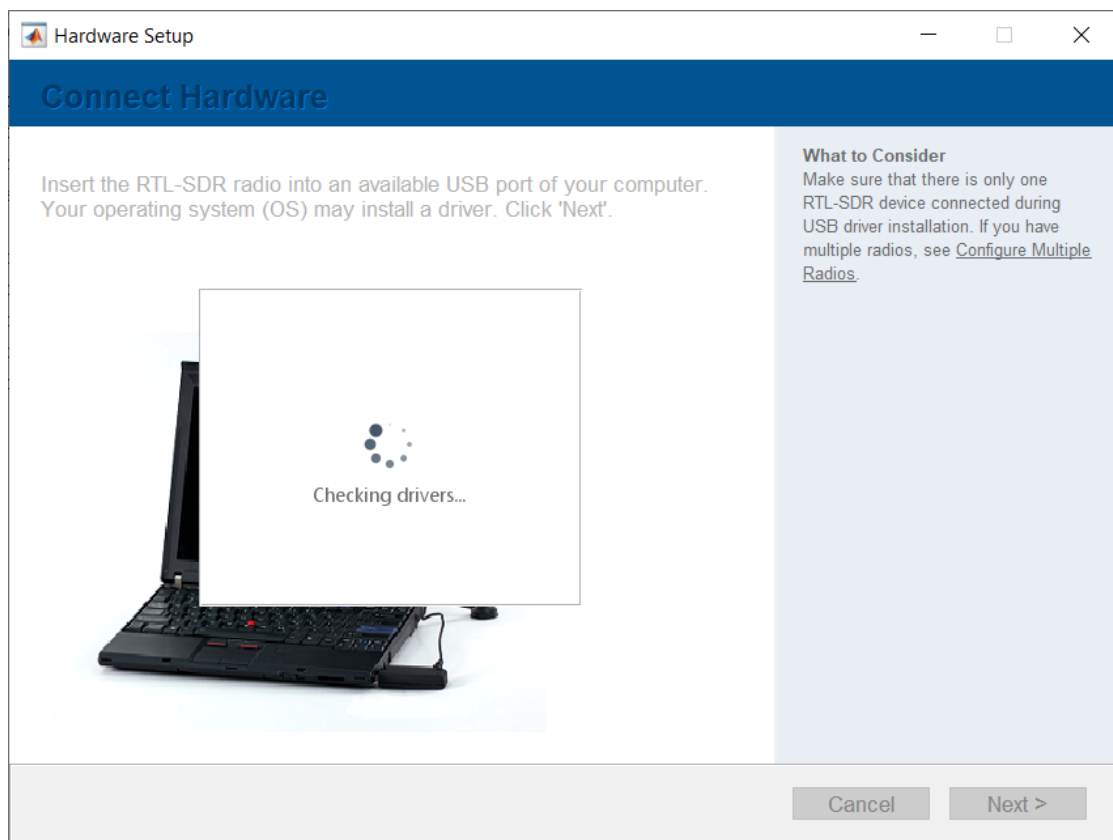


Figura 131. Ventana de verificación que comprueba que el dispositivo este configurado y reconocido correctamente en el computador.

**1.21** Al finalizar el análisis de la configuración del dispositivo en el computador, se despliega una nueva ventana indicando que se debe instalar los *drivers* del dispositivo de *hardware* RTL-SDR a utilizar en MATLAB, por lo que se debe seleccionar la opción “*Next*” como se observa en la Figura 132.

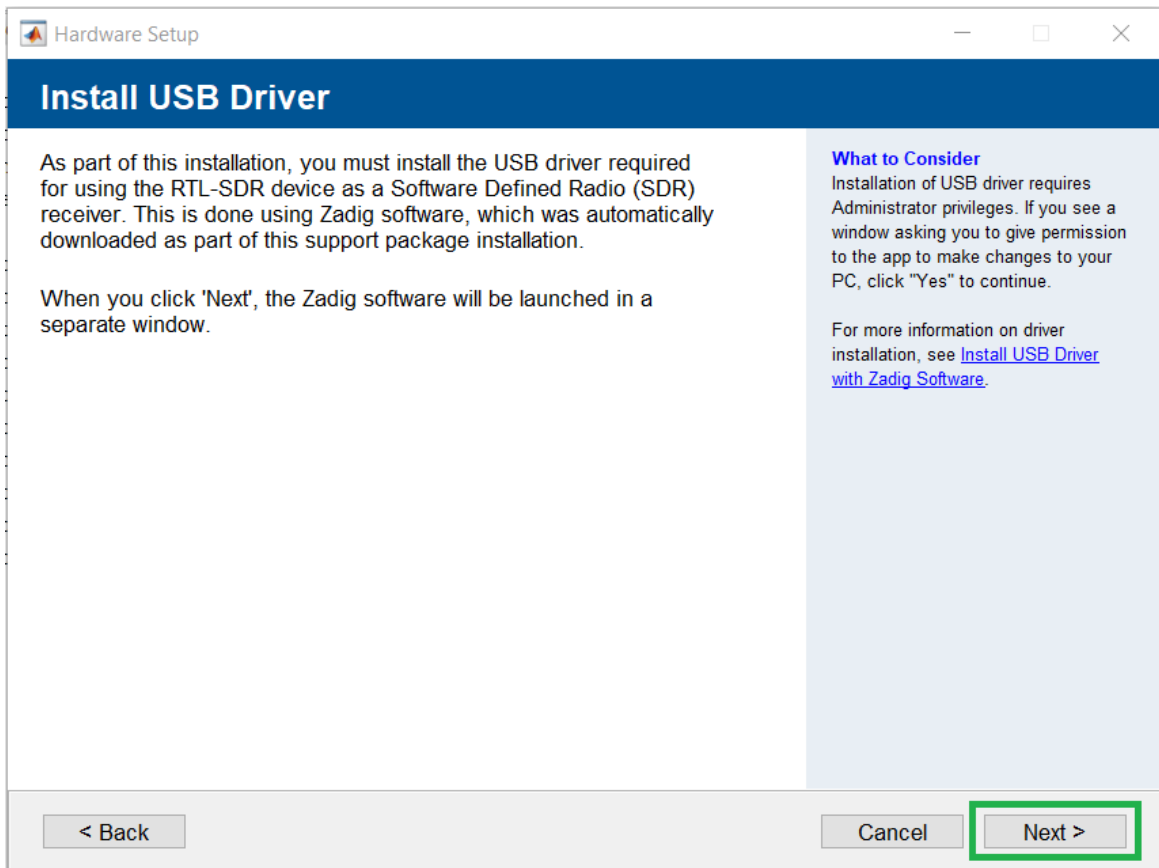


Figura 132. Instalación de *drivers* USB del dispositivo RTL-SDR.

**1.22** A continuación, se muestra una nueva ventana como se observa en la Figura 133, en el que solicita permiso para poder utilizar el programa Zadig de manera online, el cual se va a encargar de la configuración de *drivers* del dispositivo de *hardware* RTL-SDR, por lo tanto, se debe seleccionar la opción “*Yes*”.

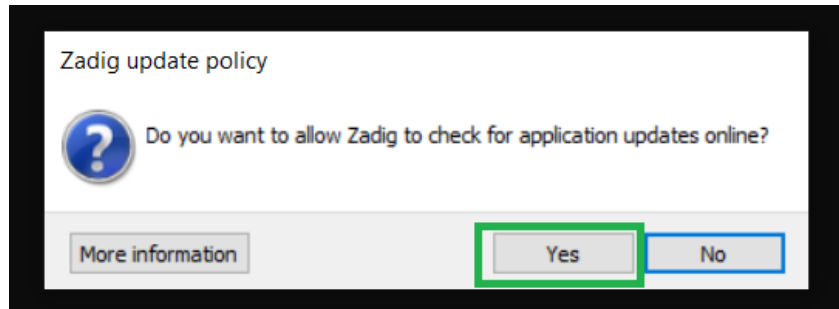


Figura 133. Ventana de permisos del programa Zadig para poder utilizar de manera *online*.

1.23 Se ejecuta el programa Zadig, como se muestra en la Figura 134.

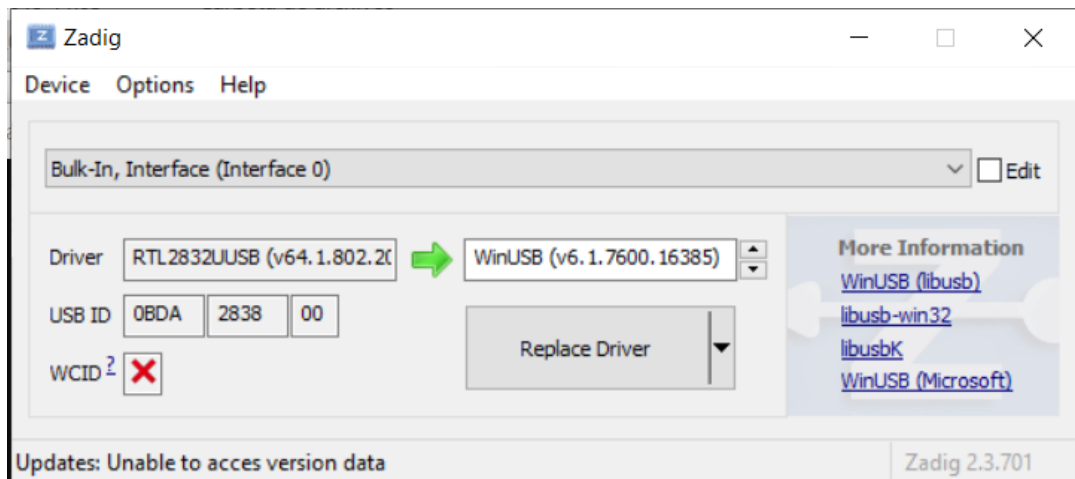


Figura 134. Ventana de ejecución del programa Zadig.

1.24 En el cual, se tiene que seleccionar el dispositivo de *hardware* RTL-SDR que está conectado en nuestro computador, en este caso se selecciona el que se encuentra marcado en la Figura 135.



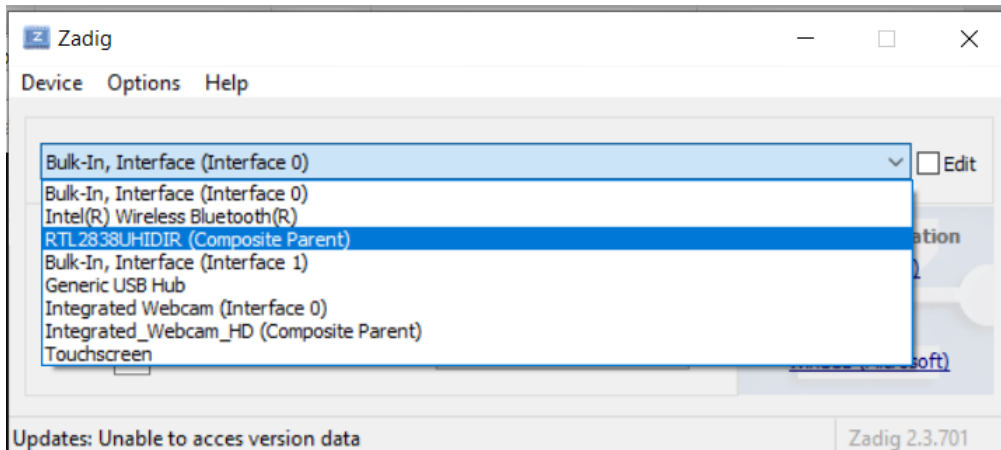


Figura 135. Configuración del dispositivo de *hardware* RTL-SDR en el programa Zadig.

**1.25** Una vez cambiado el parámetro mencionado en el paso anterior, selecciona la opción “*Replace Driver*” para poder buscar e instalar los *drivers* del dispositivo de *hardware* RTL-SDR, como se muestra en la Figura 136.

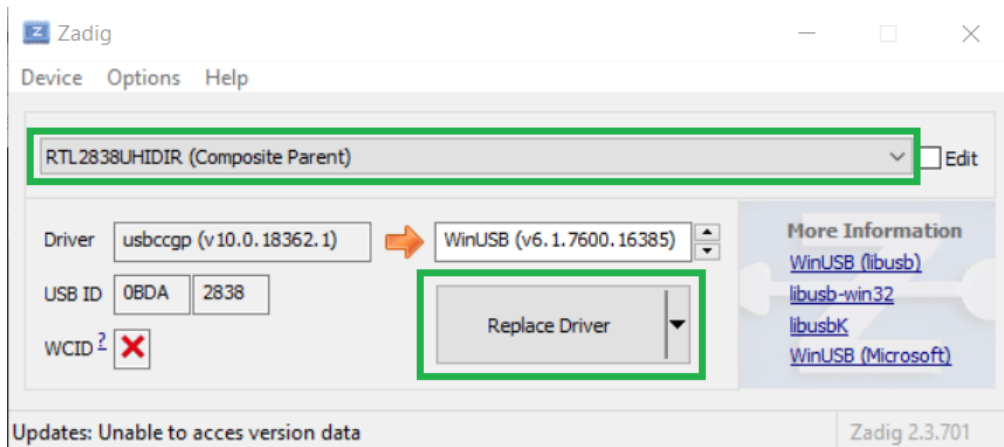


Figura 136. Ventana de configuración del programa Zadig.

**1.26** Aparece un mensaje como se observa en la Figura 137, en el que indica que se realizarán cambios en el sistema de *drivers* del dispositivo, por lo cual se tiene que dar permisos de administrador.

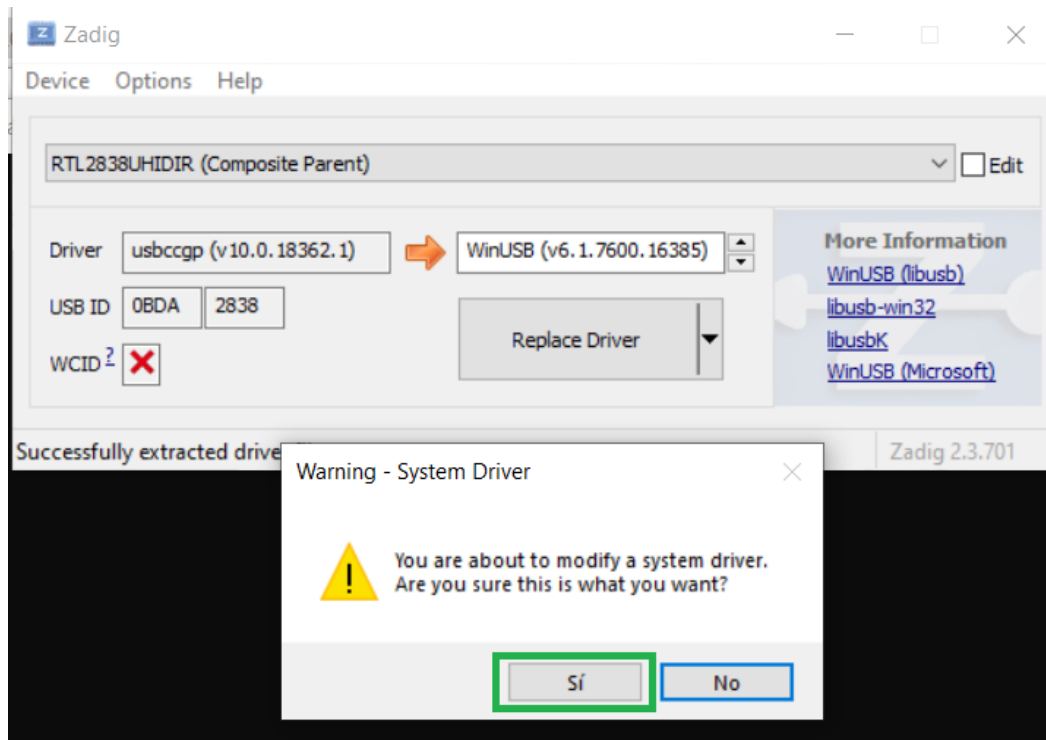


Figura 137. Ventana de permisos para realizar cambios en el sistema de drivers del dispositivo.

1.27 Aparece una ventana en la que indica que los drivers se están instalando, como se observa en la Figura 138.

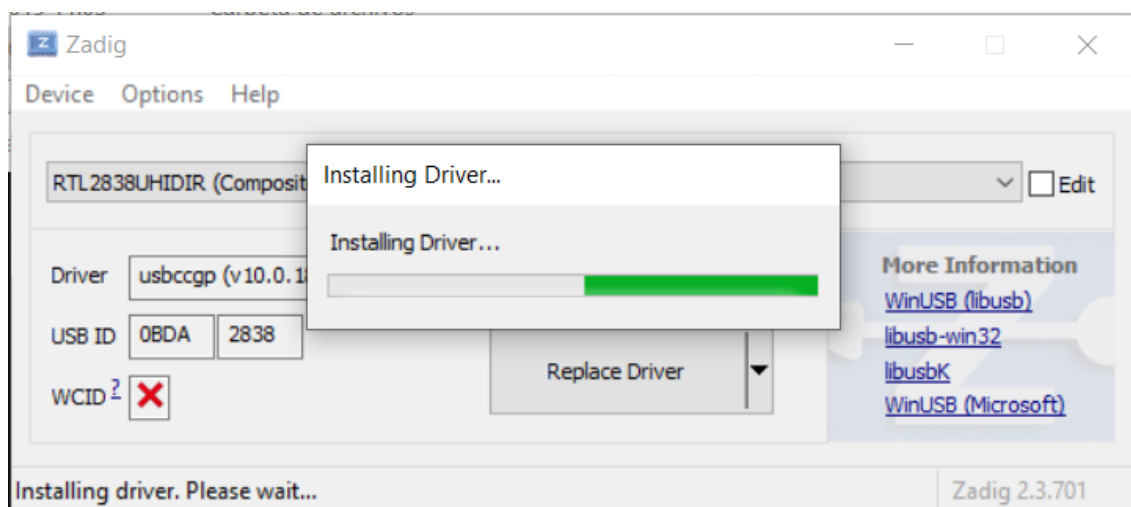


Figura 138. Instalación de Drivers en el computador

**1.28** Al finalizar la instalación de los *drivers*, aparece una ventana como se observa en la Figura 139, en donde indica que los *drivers* del dispositivo de *hardware* RTL-SDR se instalaron correctamente.

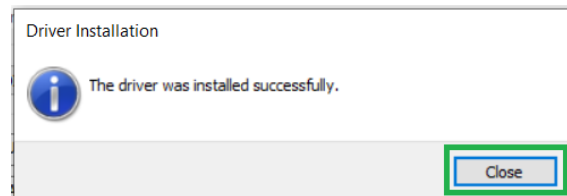


Figura 139. Mensaje de finalización y confirmación de la instalación de *drivers* en el computador.

**1.29** Mientras que en la ventana de configuración de *hardware* del *software* MATLAB, presenta algunos de los parámetros anteriormente mencionados a tener en cuenta en la instalación del *driver* del USB del RTL-SDR, como se observa en la Figura 140, en donde se tiene que seleccionar la opción “Next” para continuar con el proceso.

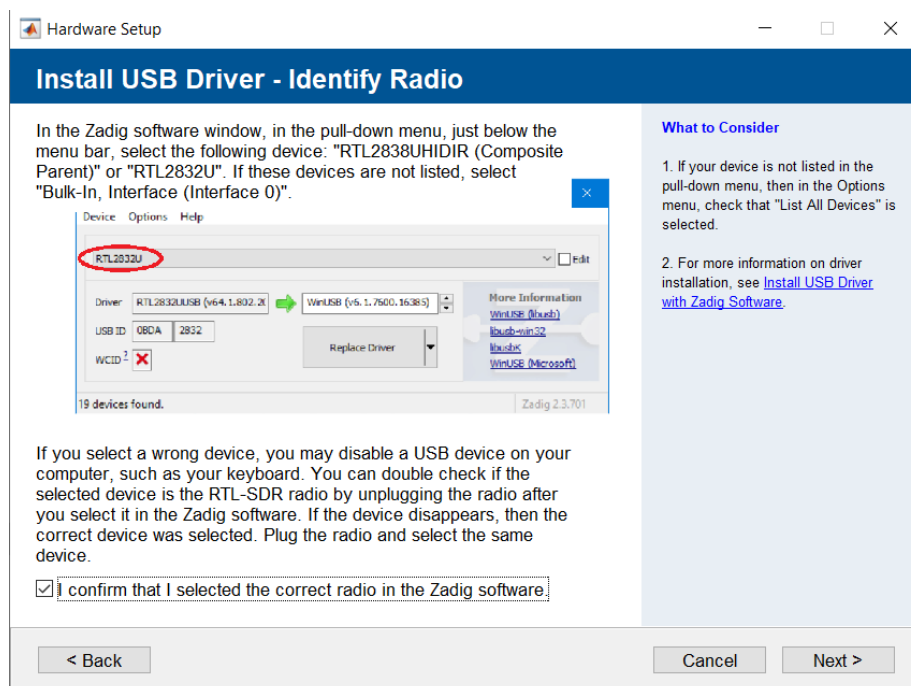
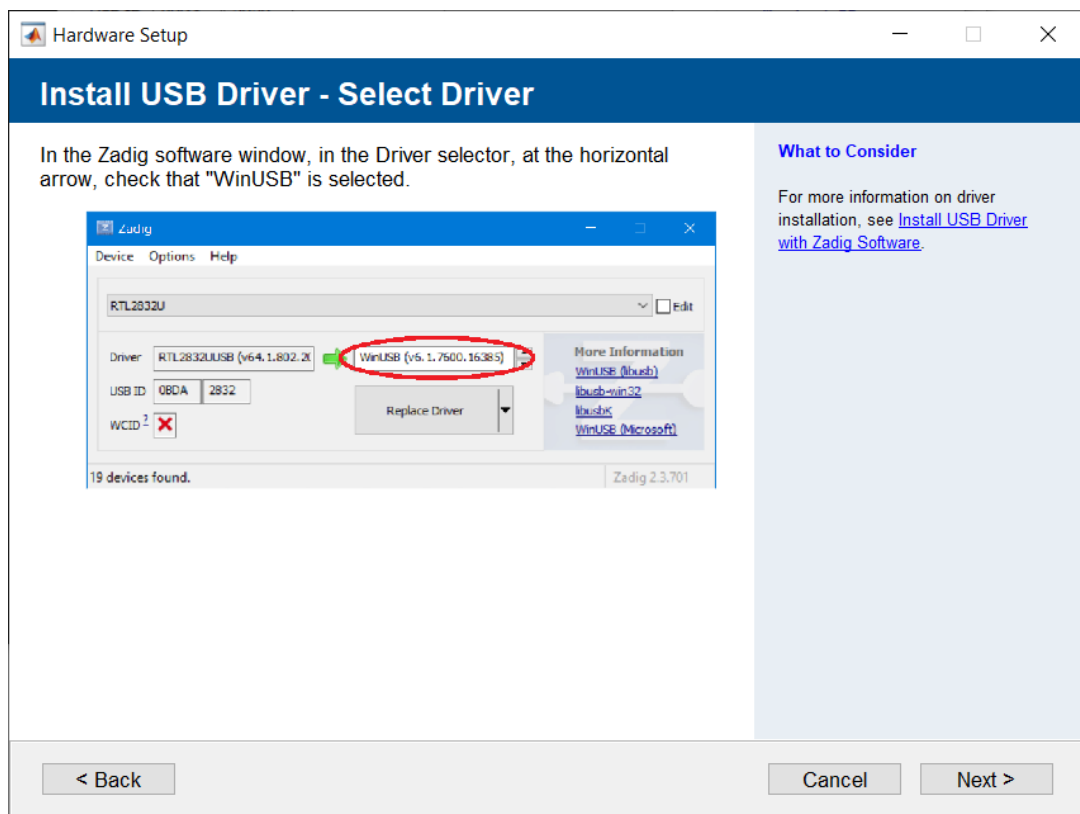


Figura 140. Configuración del dispositivo *hardware* en el *software* de MATLAB.

**1.30** Después se muestra otra ventana de los parámetros a considerar en la configuración para la instalación del USB *Driver*, como se observa en la Figura 141.



*Figura 141.* Parámetros a considerar en la configuración para la instalación del USB *Driver*.

**1.31** Luego indica que opción seleccionar para que se empiece a instalar el *driver* del USB del dispositivo RTL-SDR, como se muestra en la Figura 142.

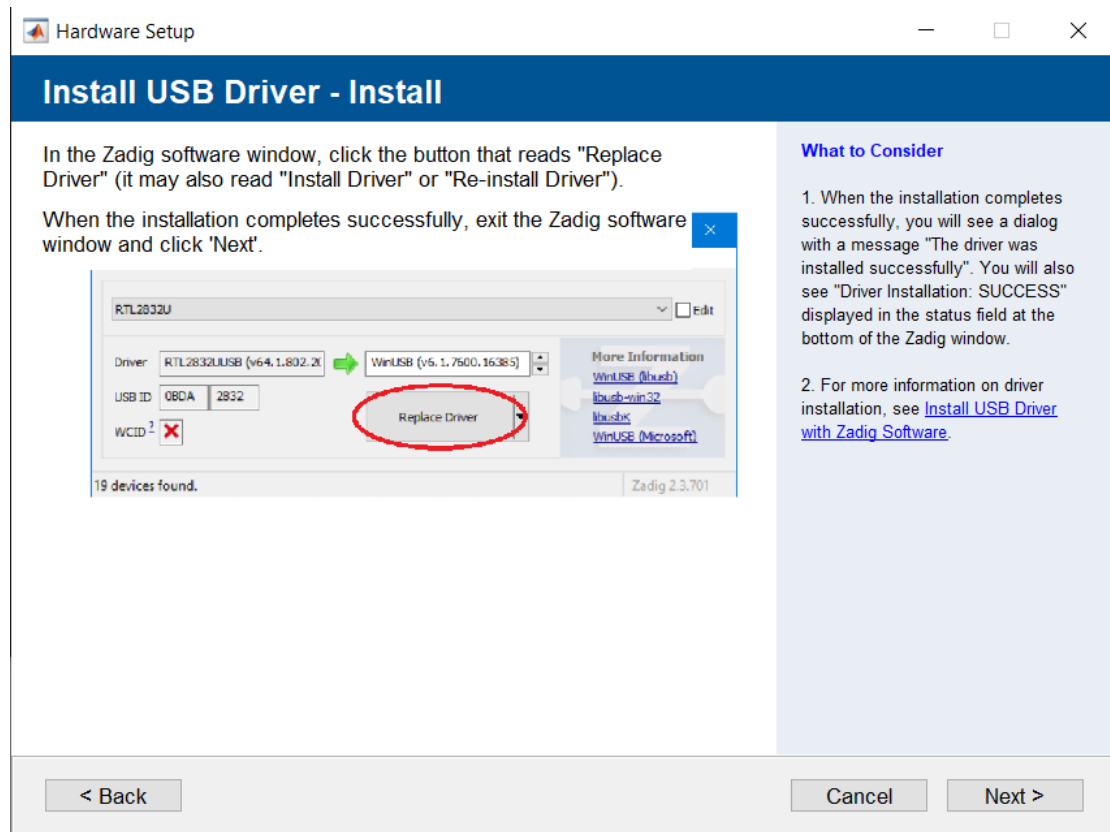


Figura 142. Pasos que se debieron cumplir en la instalación de los *drivers* en el computador.

**1.32** Una vez que los *drivers* del USB se encuentren instalados, aparece una nueva ventana en la configuración de *hardware* del *software* MATLAB, en la cual se debe seleccionar la opción "*Test Connection*", la que se encargara de confirmar y verificar que se tenga una conexión con el dispositivo de *hardware* RTL-SDR, se muestra un resumen de los parámetros encontrados del dispositivo, como se observa en la Figura 143, y para finalizar con el proceso se selecciona la opción "*Next*".

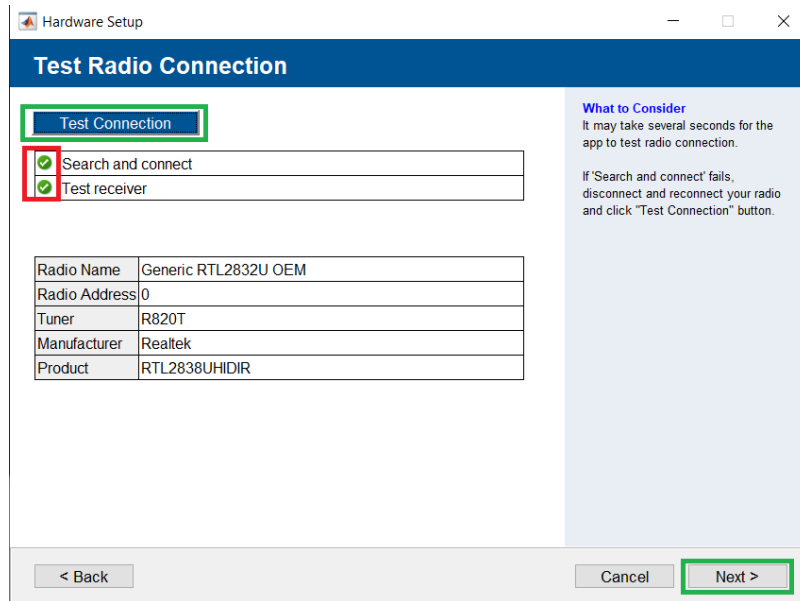


Figura 143. Ventana de confirmación y verificación de conexión con el dispositivo de *hardware* RTL-SDR.

**1.33** Finalmente se muestra una ventana, en la que indica que la configuración de *hardware* del *software* MATLAB ha sido completada exitosamente, como se observa en la Figura 144.

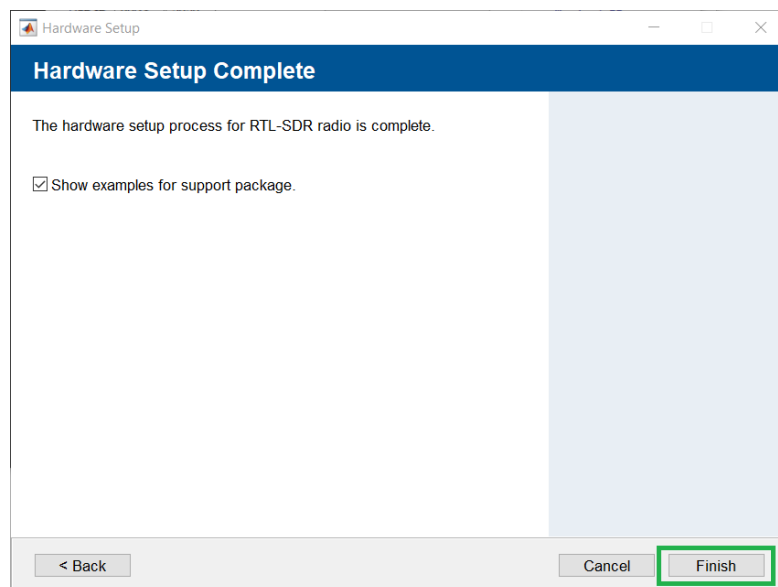


Figura 144. Ventana de finalización de la configuración del dispositivo de *hardware* en el *software*.

## 2. Configuración RTL-SDR en MATLAB-Simulink

Para poder comenzar a diseñar e implementar en la herramienta MATLAB-Simulink haciendo uso del dispositivo de *hardware* RTL-SDR, se necesita ciertas configuraciones en cuanto a *software* para poder implementar cualquier proyecto de una manera correcta, para ello se debe realizar los siguientes pasos de configuración.

2.1 Ingresar al *software* MATLAB y seleccionar la opción “Simulink”, como se observa en la Figura 145.

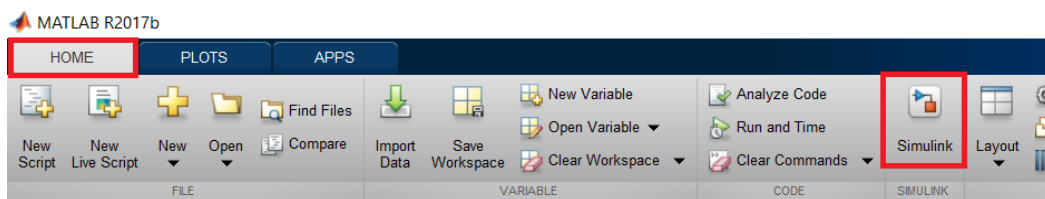


Figura 145. Opción de Simulink en la interfaz del *software* MATLAB.

2.2 Se abrirá la interfaz gráfica de Simulink, en donde se debe seleccionar la opción “*Blank Library*”, como se observa en la Figura 146.

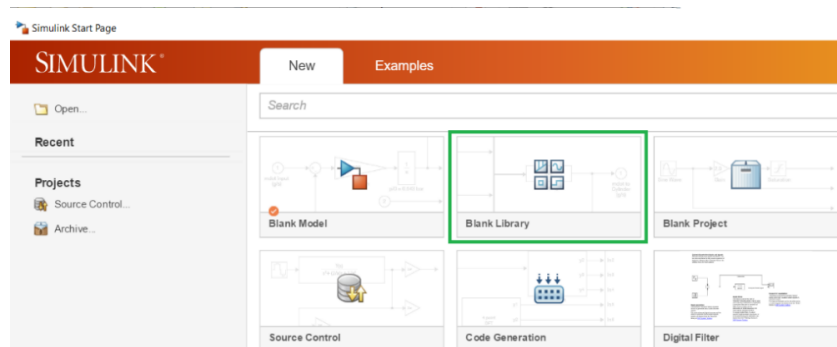


Figura 146. Interfaz del Simulink.

**2.3** Después de haber seleccionado la opción “*Blank Library*”, se despliega una ventana de las librerías de Simulink, en donde se debe seleccionar la opción “*Simulink Library Browser*”, en el cual se despliega una gran lista de las librerías que se encuentran activas para ser utilizadas en los diseños de Simulink, en esta parte principalmente se debe enfoca en la opción “*Communications System Support Package for RTL-SDR Radio*” en el cual se visualiza en la parte derecha como se observa en la Figura 147, un diagrama de bloque del RTL-SDR, que indica que los paquetes de herramientas instalados anteriormente en la configuración del dispositivo RTL-SDR están listos para ser utilizados.

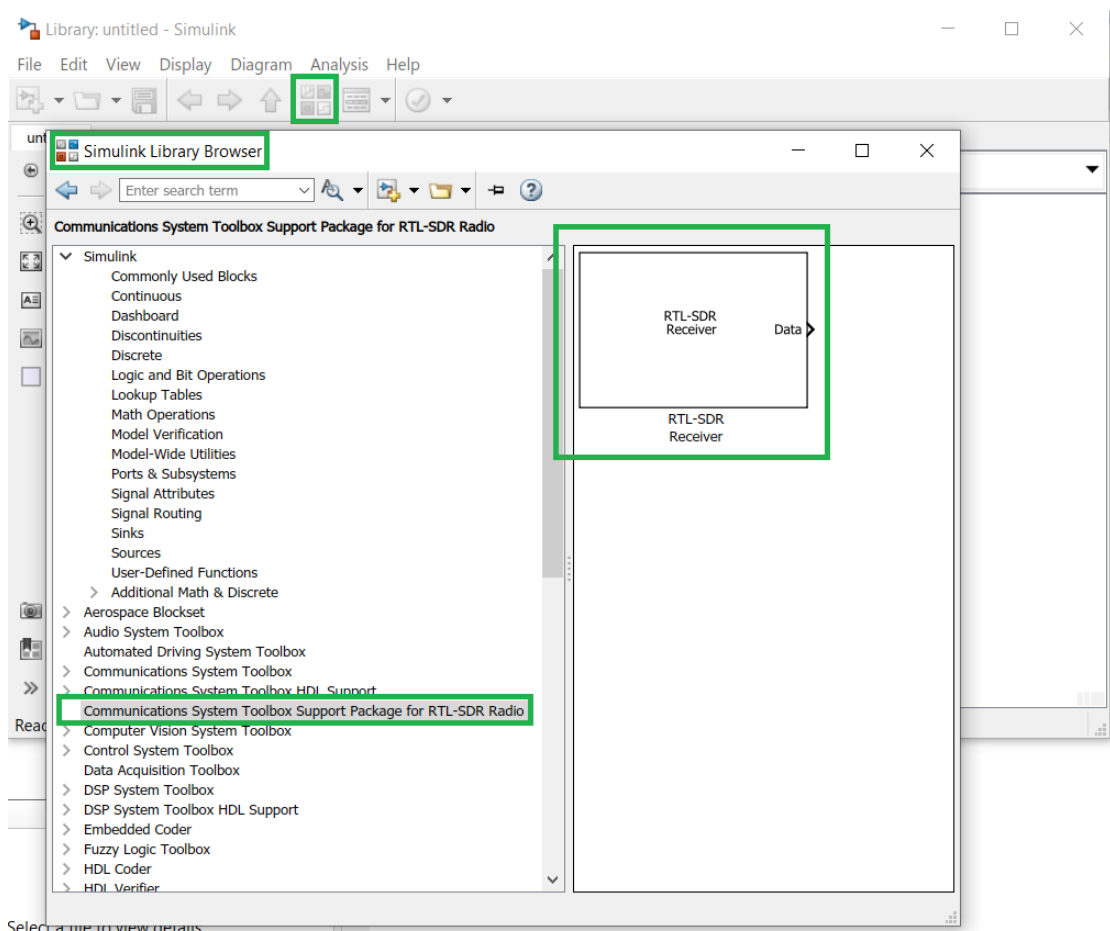


Figura 147. Ventana de la librería de Simulink.



2.4 Se regresa a la interfaz del MATLAB y se ejecuta el comando “sdrdoc” el que despliega una ventana de ayuda como se muestra en la Figura 148, el que servirá como ayuda para la utilización del RTL-SDR.

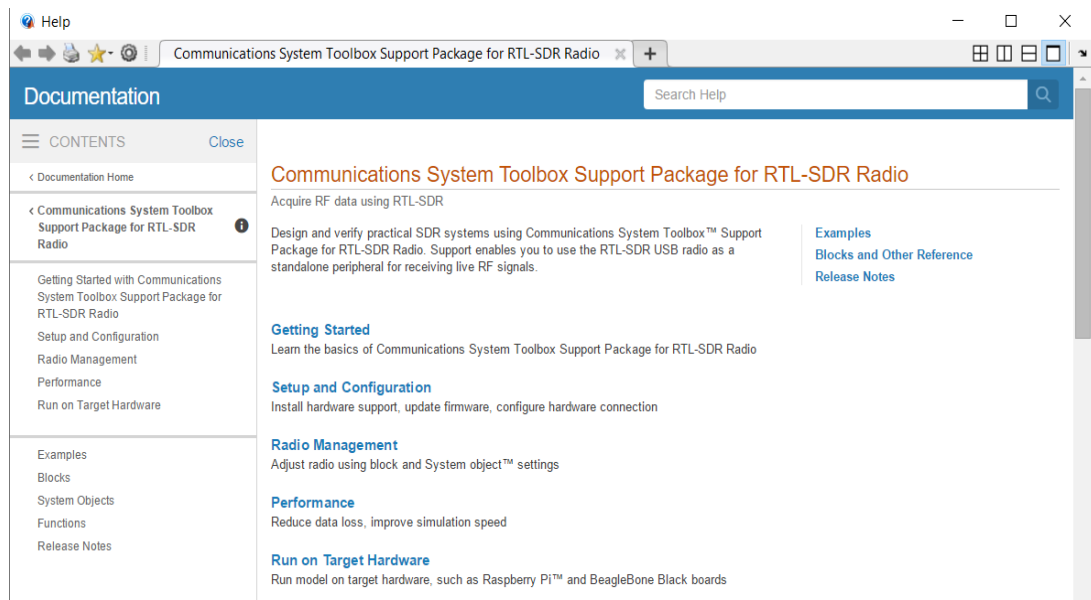


Figura 148. Ventana de ayuda del dispositivo RTL-SDR.

2.5 De igual manera se debe ejecutar el comando “my\_rtlsdr = sdrinfo” para poder verificar que el dispositivo de *hardware* RTL-SDR es reconocido en el *software* MATLAB, en donde se puede observar información acerca del dispositivo que esta emparejado para utilizar con el *software*, como se observa en la Figura 149.

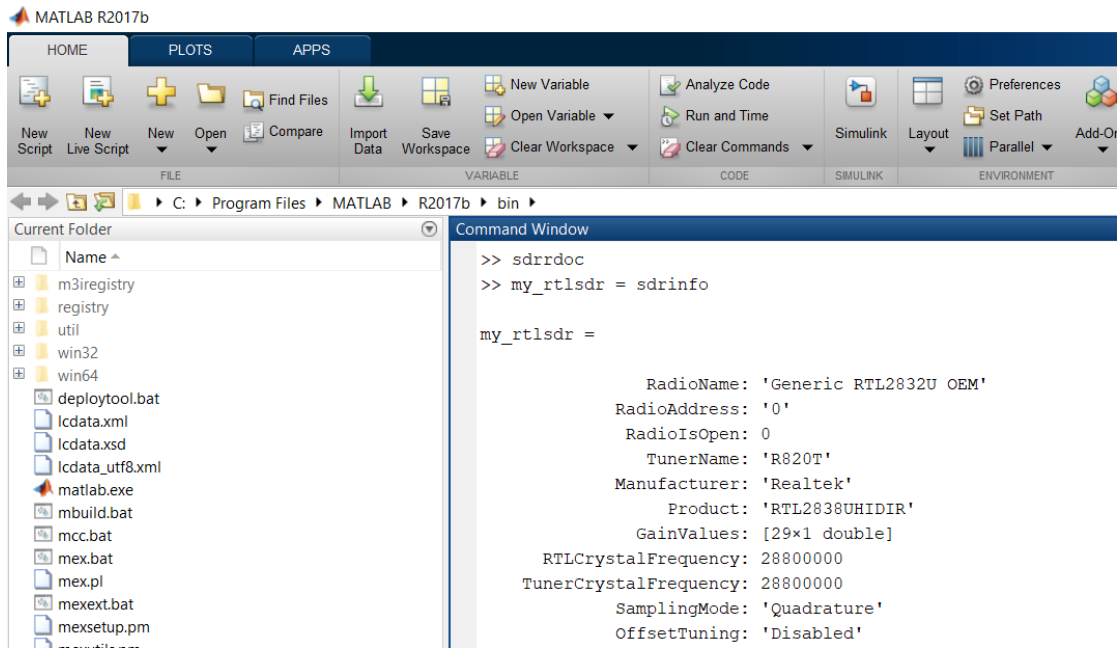


Figura 149. Comando de verificación de conectividad el dispositivo RTL-SDR con el computador.

2.6 Otro de los puntos a considerar es descargar la carpeta que se observa en la Figura 150, la cual se puede conseguir y descargar de manera gratuita de la página de Mathworks.



Figura 150. Carpeta de bloques para la librería de Simulink del dispositivo SDR.

2.7 Una vez descargado la carpeta se la debe mover a la ruta donde se encuentra instalado el *software* MATLAB, como se observa en la Figura 151.

equipo > SISTEMA (C:) > Archivos de programa > MATLAB > R2017b > bin





















<input type="checkbox"/> Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 m3iregistry	29/10/2019 11:33	Carpeta de archivos	
 registry	29/10/2019 11:10	Carpeta de archivos	
<input checked="" type="checkbox"/>  rtlcdr_book_library	30/10/2019 14:35	Carpeta de archivos	
 util	29/10/2019 11:14	Carpeta de archivos	
 win32	29/10/2019 11:30	Carpeta de archivos	
 win64	29/10/2019 12:35	Carpeta de archivos	
 deploytool	19/4/2017 6:41	Archivo por lotes ...	1 KB
 lCDATA	20/10/2016 9:08	Documento XML	1 KB
 lCDATA.xsd	20/10/2016 8:05	Archivo XSD	3 KB
 lCDATA_utf8	30/9/2016 13:37	Documento XML	13 KB
 matlab	24/7/2017 23:59	Aplicación	322 KB
 mbuild	18/4/2017 13:59	Archivo por lotes ...	3 KB
 mcc	18/4/2017 15:00	Archivo por lotes ...	1 KB
 mex	10/5/2013 11:19	Archivo por lotes ...	1 KB
 mex.pl	15/5/2015 15:03	Archivo PL	69 KB
 mexext	3/5/2017 9:31	Archivo por lotes ...	1 KB
 mexsetup.pm	5/7/2013 14:49	Archivo PM	38 KB
 mexutils.pm	6/8/2011 15:52	Archivo PM	10 KB
 mw_mpiexec	9/11/2007 20:45	Archivo por lotes ...	1 KB
 worker	6/11/2010 15:39	Archivo por lotes ...	3 KB

Figura 151. Ruta de la instalación del software MATLAB.

**2.8** Para agregar la carpeta de los bloques del SDR en el MATLAB, se debe ingresar a la opción “Set Path” y seleccionar la opción “Add Folder” como se observa en la Figura 152.

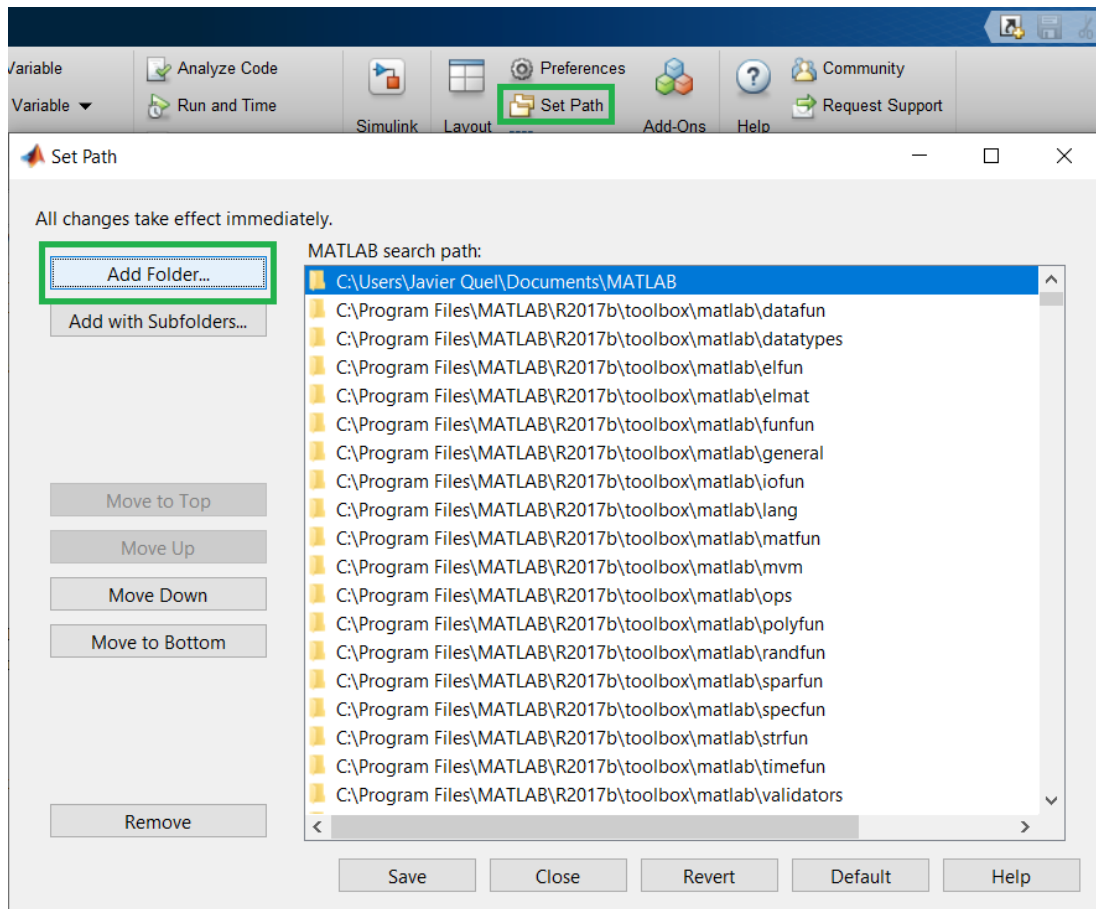


Figura 152. Ventana del *Set Path* para agregar nuevas carpetas.

2.9 Ingresar a la carpeta en donde se instaló el *software* MATLAB y seleccionar la carpeta “*rtlsdr\_book\_library*” como se observa en la Figura 153.

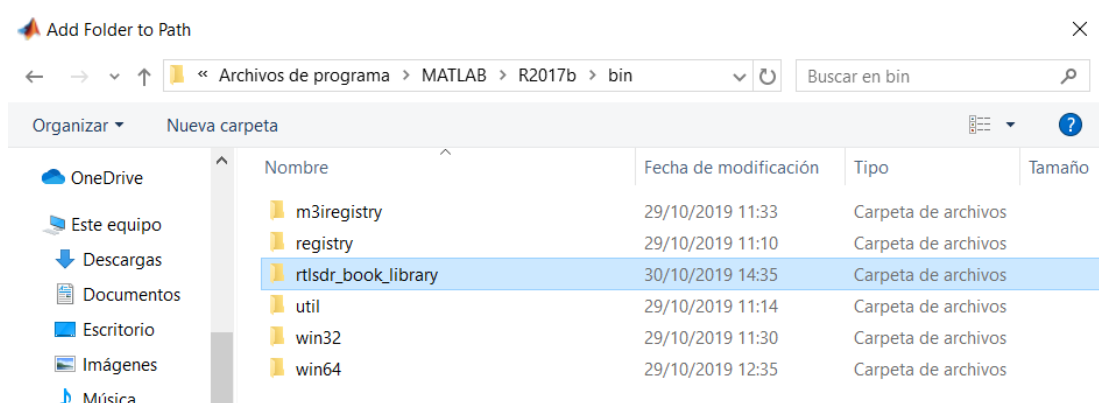
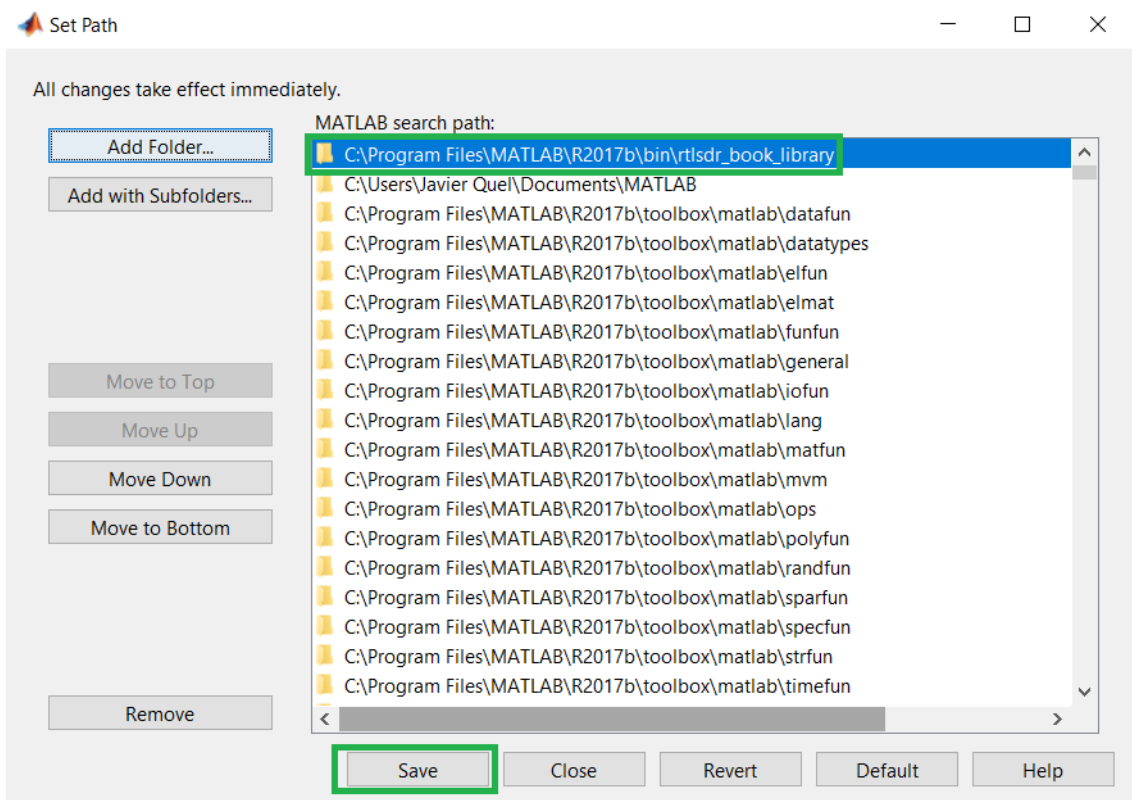


Figura 153. Selección de la carpeta *rtlsdr\_book\_library*

**2.10** Una vez seleccionada la carpeta de los bloques del SDR, se debe seleccionar la opción “Save” para guardar los cambios realizados en las carpetas del *software* MATLAB como se observa en la Figura 154.



*Figura 154.* Guardar cambios de las carpetas agregadas en la librería de MATLAB.

**2.11** Finalmente se debe entrar a la librería de Simulink y verificar que el paquete “*RTL-SDR Book Library*” se encuentre disponible y listo para ser utilizado como se observa en la Figura 155.

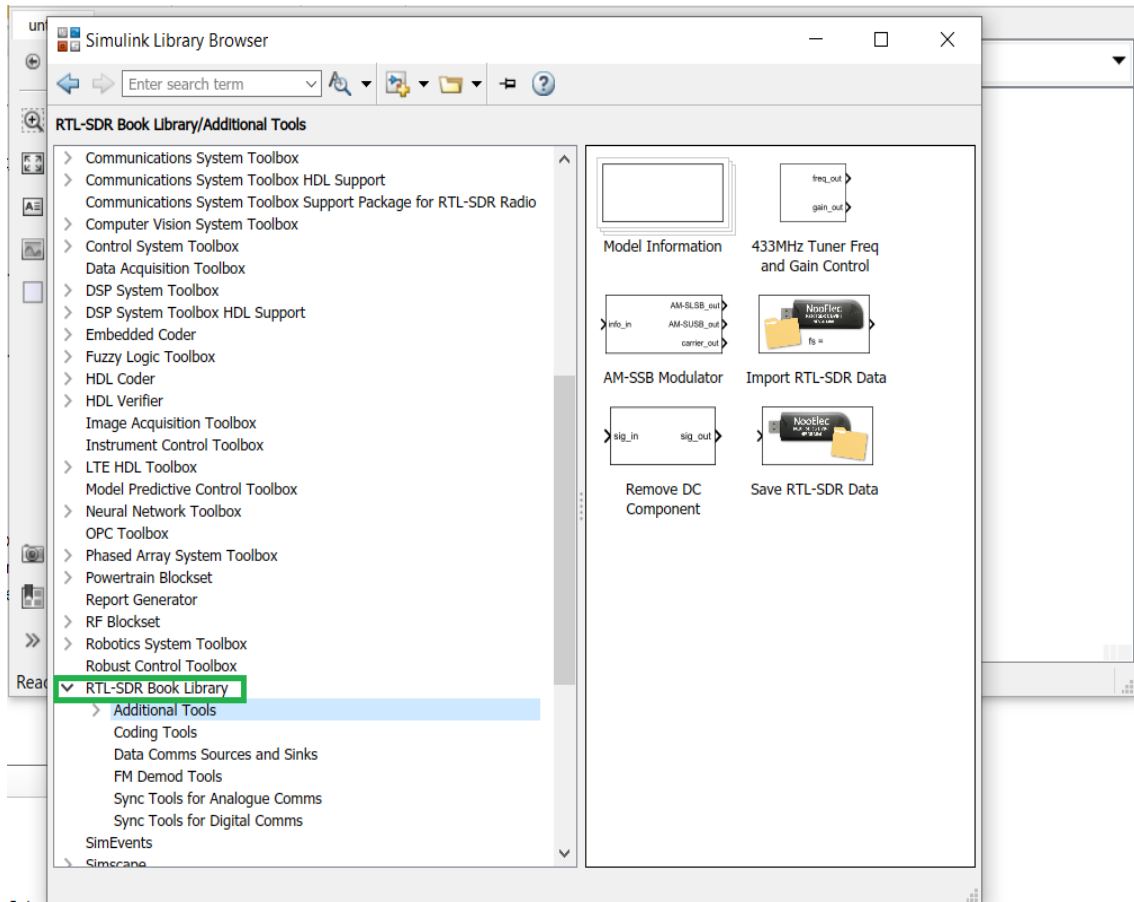


Figura 155. Verificación de la carpeta *RTL-SDR Book Library* en la librería de Simulink.

### 3. Manual de Usuario

Para que el usuario pueda empezar a diseñar y utilizar el analizador de espectros, debe tener instalado el *software* MATLAB & Simulink y el paquete de SDR de Mathworks especificados en el Anexo 1 y 2.

Para realizar el proceso de implementación del diseño se debe realizar los siguientes pasos.

### 3.1 Iniciar el *software* MATLAB

El usuario tiene que ejecutar el *software* de MATLAB para empezar a realizar esta implementación.

### 3.2 Conexión y verificación del dispositivo RTL-SDR

Se debe armar y conectar el dispositivo al computador como se observa en la Figura 156.

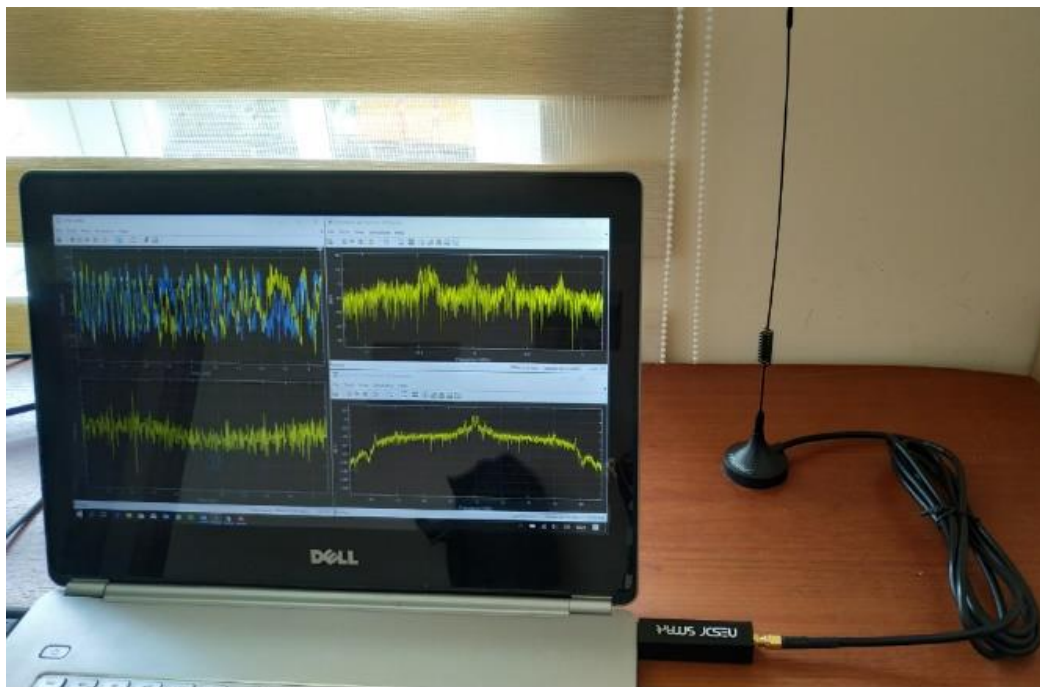


Figura 156. Conexión del dispositivo RTL-SDR en el computador.

Después de haber conectado el dispositivo al computador, se verifica que el dispositivo sea reconocido por el *software* Matlab y a la vez se inicializa por

medio de la ejecución del comando “*my\_rtlsdr = sdrinfo*” como se observa en la Figura 157.

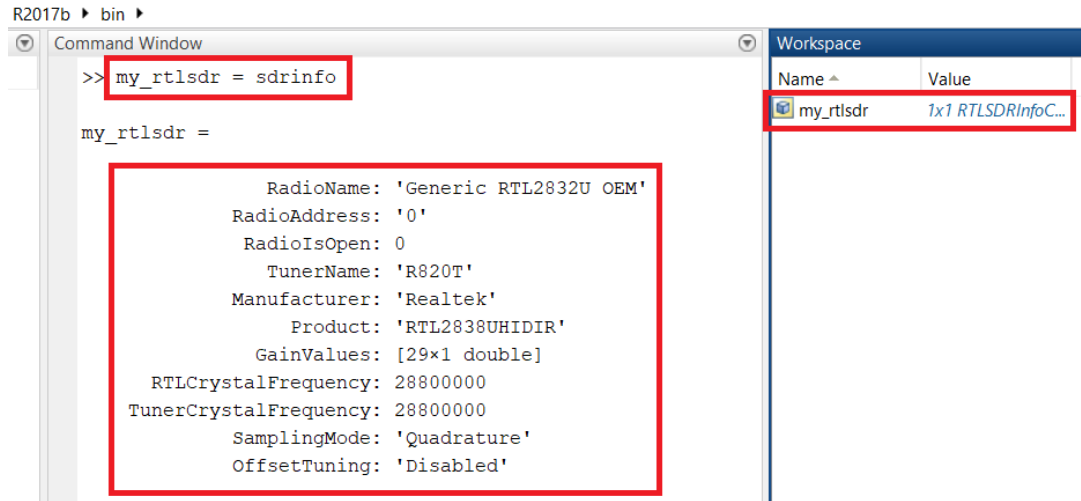


Figura 157. Reconocimiento del dispositivo RTL-SDR por el Software MATLAB.

### 3.3 Inicializar Simulink

Para poder ingresar a Simulink se debe ingresar a la interfaz de MATLAB y seleccionar la opción “Simulink” en la pestaña “Home” como se observa en la Figura 158.

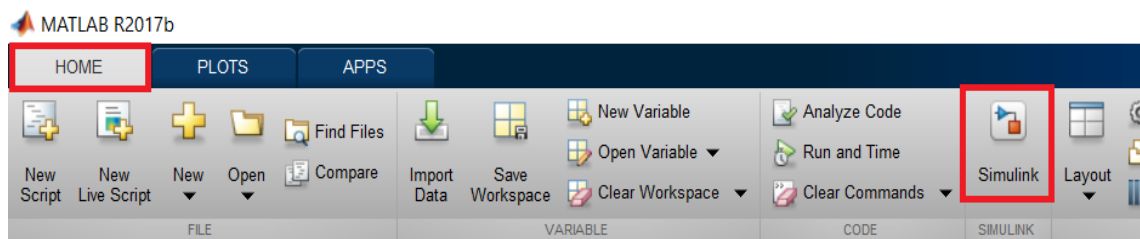


Figura 158. Ingresar a la interfaz de Simulink.



### 3.4 Crear nuevo modelo en Simulink

Para crear un nuevo modelo, se tiene que seleccionar la opción de modelo en blanco en la interfaz de Simulink como se observa en la Figura 159.

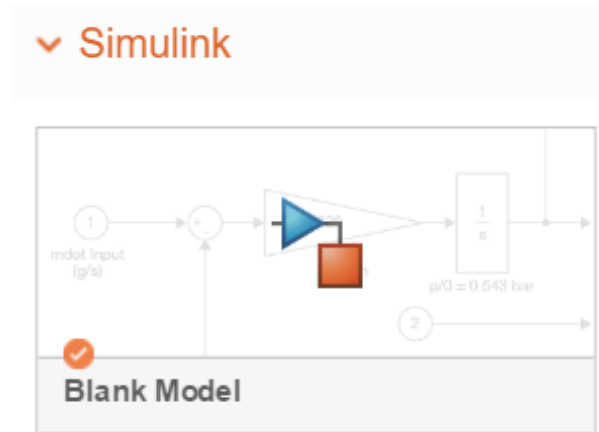


Figura 159. Creación de un nuevo modelo en blanco en la interfaz de Simulink

### 3.5 Insertar bloques en Simulink

Para poder empezar a insertar los bloques, se debe ingresar a la librería de Simulink como se observa en la Figura 160, en donde se encuentran todos los bloques que dispone Simulink para diseñar proyectos, en esta librería se puede hacer uso de la pestaña buscar para encontrar de una manera más rápida el bloque que se desea utilizar.

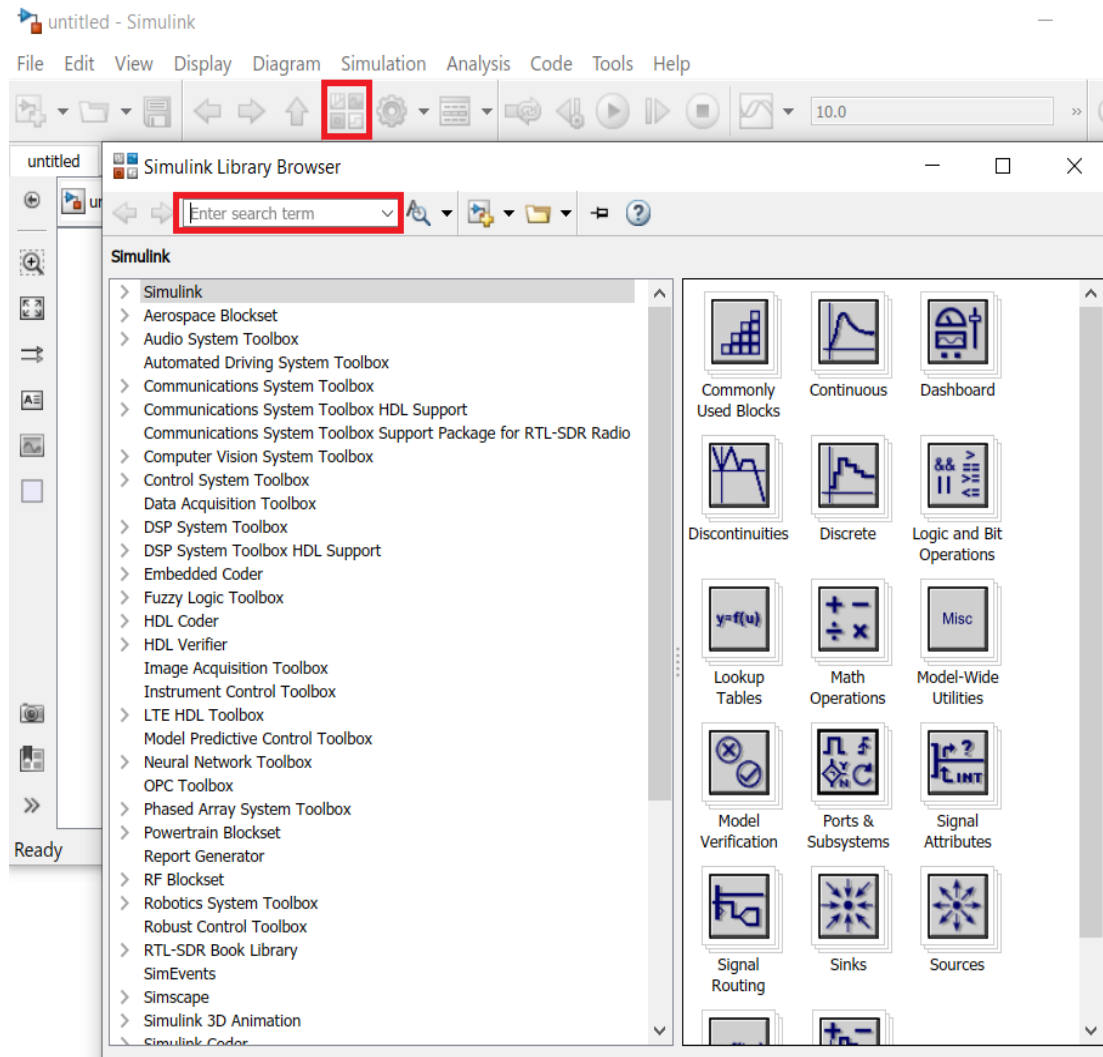


Figura 160. Librería de bloques disponibles en Simulink.

### 3.6 Insertar Receptor RTL-SDR

El Receptor RTL-SDR es representado en el Simulink como el dispositivo de *hardware* RTL-SDR que se encuentra conectado al computador, el que principalmente se encarga de transformar la señal analógica en digital y permite obtener como salida una señal de frecuencia modulada.

Para insertar el bloque del receptor RTL-SDR, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*RTL-SDR Receiver*” como se observa en la Figura 161, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

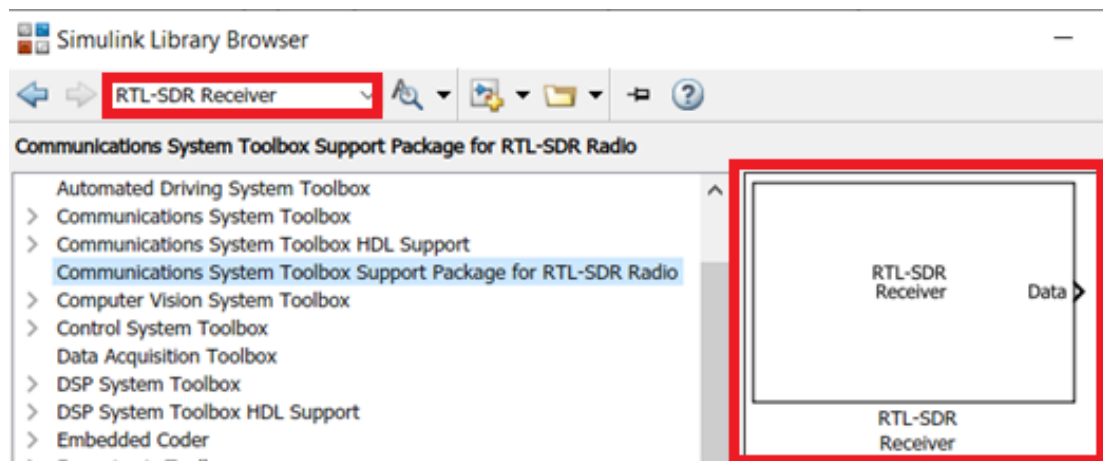


Figura 161. Bloque del receptor RTL-SDR en la librería de Simulink.

En caso de que no se encuentre este bloque es debido a que no se realizó una instalación correcta del paquete de “*Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio*” que esta especificado en el Anexo 2.

### 3.7 Insertar Constantes

Por medio de las constantes se puede representar la frecuencia central, la que permite sintonizar una señal FM para analizarla, y de igual manera la constante de la ganancia del sintonizador, que es un factor fundamental para la amplificación de la señal que se realiza en el dispositivo RTL-SDR.

Para insertar el bloque de las constantes que representan la frecuencia central y la ganancia del sintonizador, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Constant*” como se observa en la Figura 162, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

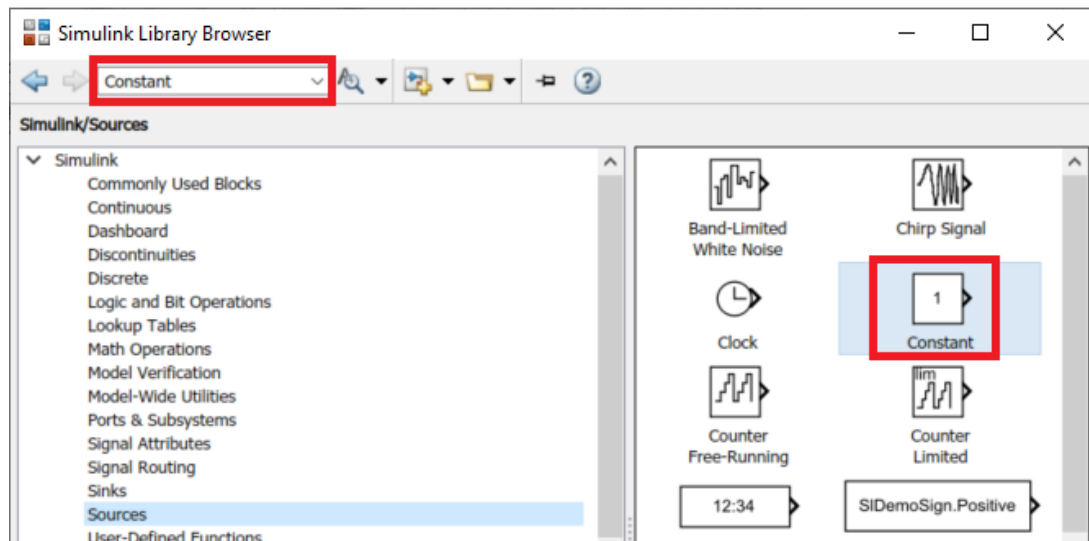


Figura 162. Bloque de una constante en la librería de Simulink.

### 3.8 Insertar discriminador de frecuencia compleja

El discriminador de frecuencia permite filtrar y reducir la señal sintonizada, para esta implementación se debe insertar dos discriminadores de frecuencia, el primero a 240 KHz y el segundo a 48 KHz, debido a que estos parámetros son los que indica la norma técnica de las frecuencias FM.

Para insertar el bloque del discriminador de frecuencia compleja, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*FIR Decimation*” como se observa en la Figura 163, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

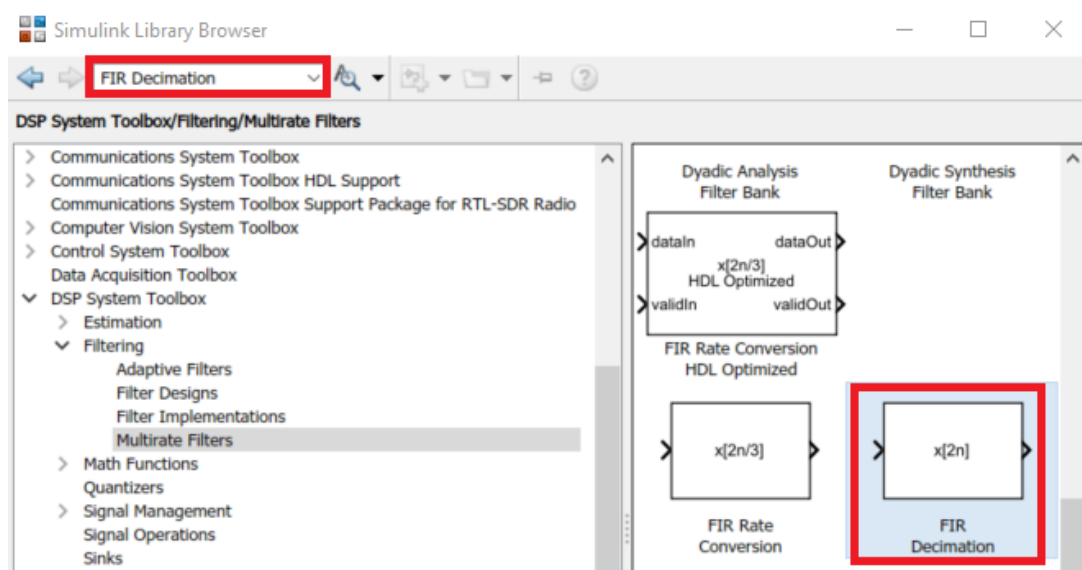


Figura 163. Bloque del discriminador de frecuencia compleja en la librería de Simulink.

### 3.9 Insertar retraso

El retraso de la señal se lo aplica debido a que representa la primera derivada negativa, conocida como la transformada inversa de Fourier, la que permite realizar el proceso de demodulación de la señal.

Para insertar el bloque de retraso, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “Delay” como se observa en la Figura 164, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

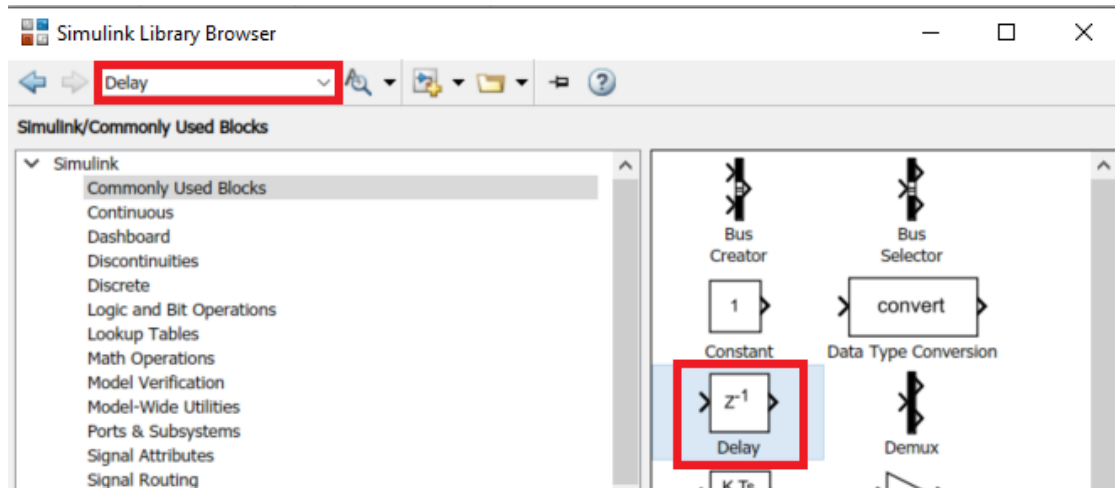


Figura 164. Bloque de retraso en la librería de Simulink.

### 3.10 Insertar función matemática

La función matemática va junto con el retraso de la señal, debido a que se encarga del conjugado complejo de cada uno de los elementos del retraso, ya que la señal modulada posee los armónicos y dichos armónicos son producidos por los números complejos que existen al momento de modular la señal, es decir pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Para insertar el bloque de la función matemática, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre "Math Function" como se observa en la Figura 165, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

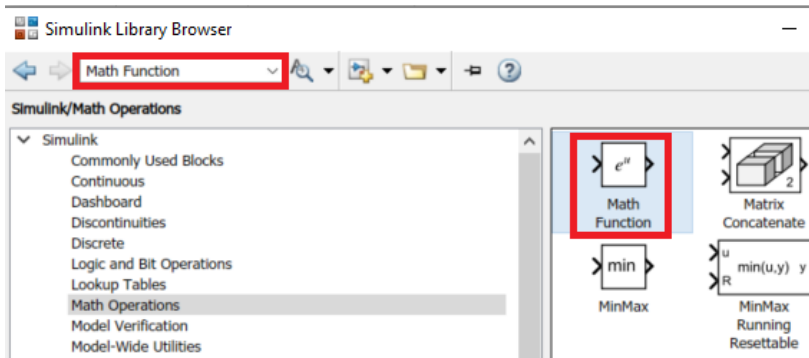


Figura 165. Bloque de la función matemática en la librería de Simulink.

### 3.11 Insertar producto

El producto permite realizar la multiplicación de las señales del retraso con las señales de la función matemática, es decir en este caso lo que hace el producto es mezclar las dos señales y multiplicarlas para obtener como salida una sola señal demodulada.

Para insertar el bloque del producto, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre "*Product*" como se observa en la Figura 166, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

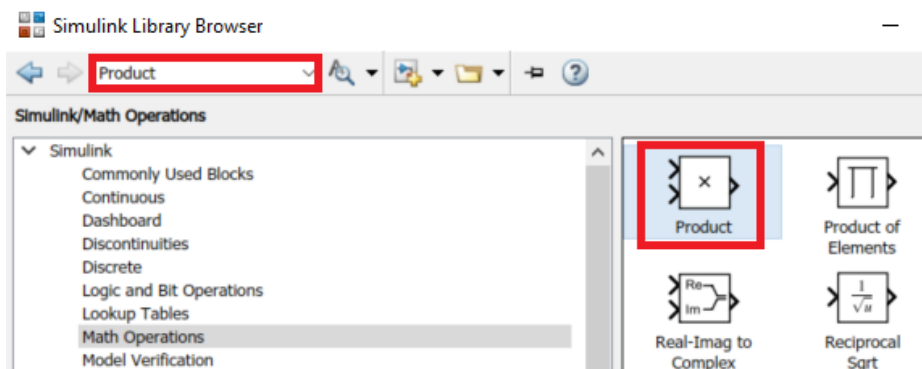


Figura 166. Bloque del producto en la librería de Simulink.

### 3.12 Insertar Complejo a ángulo de magnitud

El complejo a ángulo de magnitud permite generar el ángulo de fase de la señal que se obtiene como resultado del bloque del producto, debido a que cuando se realiza el proceso de demodulación, cada señal tiene una fase diferente, y se crea un desfase de la señal en cuanto al tiempo, por lo que este bloque se encarga de realizar una compensación de ángulo para regresar la señal a la señal original.

Para insertar el bloque del complejo a ángulo de magnitud, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Complex to Magnitude-Angle*” como se observa en la Figura 167, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

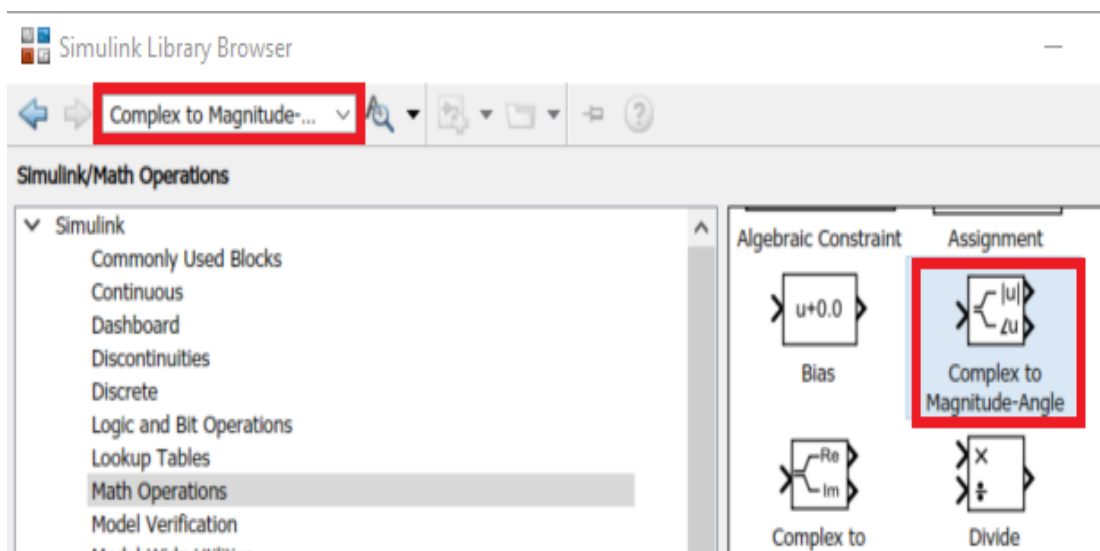


Figura 167. Bloque del complejo a ángulo de magnitud en la librería de Simulink.



### 3.13 Insertar Filtro de estandarización FM

El filtro de estandarización FM permite tomar la señal original y filtrar la misma señal al estándar americano que es el que actualmente maneja el Ecuador para la transmisión de la señal de FM, para poder sintonizar y escuchar la señal se debe poner este filtro de estandarización.

Para insertar el bloque del filtro de estandarización FM, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*FM De-emphasis Filter*” como se observa en la Figura 168, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en el Diseño.

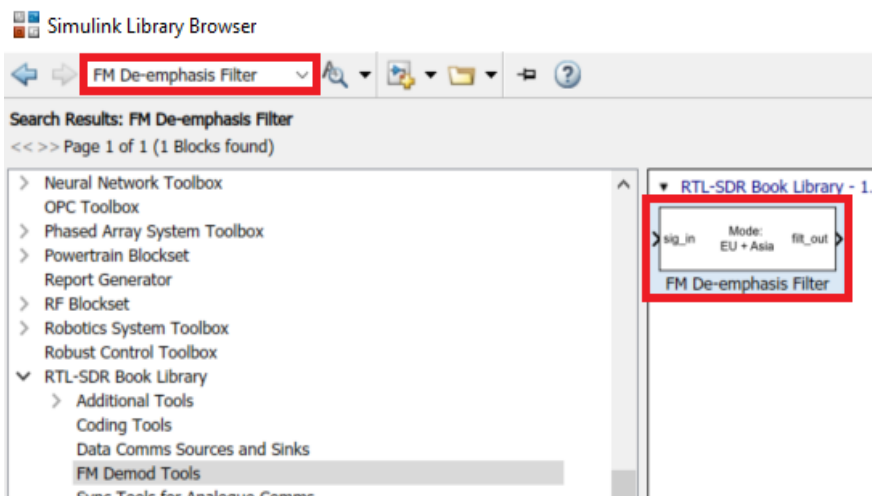


Figura 168. Bloque del filtro de estandarización FM en la librería de Simulink

### 3.14 Insertar Analizador de Espectros

El analizador de espectros como su nombre lo indica es el que permite analizar el espectro de la frecuencia central que se sintonizo, permitiendo conocer varios parámetros de medición de la señal.

Para insertar el bloque del analizador de espectros, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Spectrum Analyzer*” como se observa en la Figura 169, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

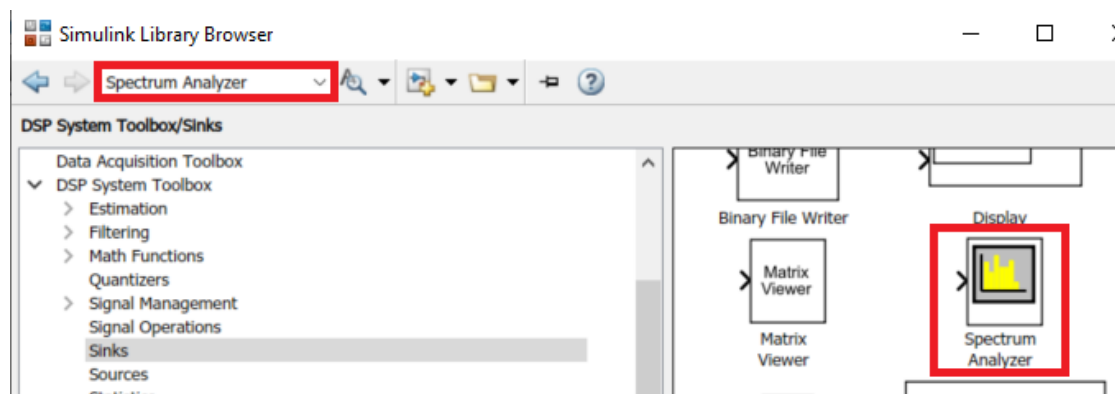


Figura 169. Bloque del analizador de espectros en la librería de Simulink

### 3.15 Insertar Alcance del tiempo

El alcance del tiempo o también conocido como el *time scope* permite realizar una comparación y análisis de las fluctuaciones de frecuencia entre las señales del espectro de frecuencia modulada y las señales del espectro de frecuencia demodulada.

Para insertar el bloque del alcance del tiempo, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Time Scope*” como se observa en la Figura 170, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa del Diseño.

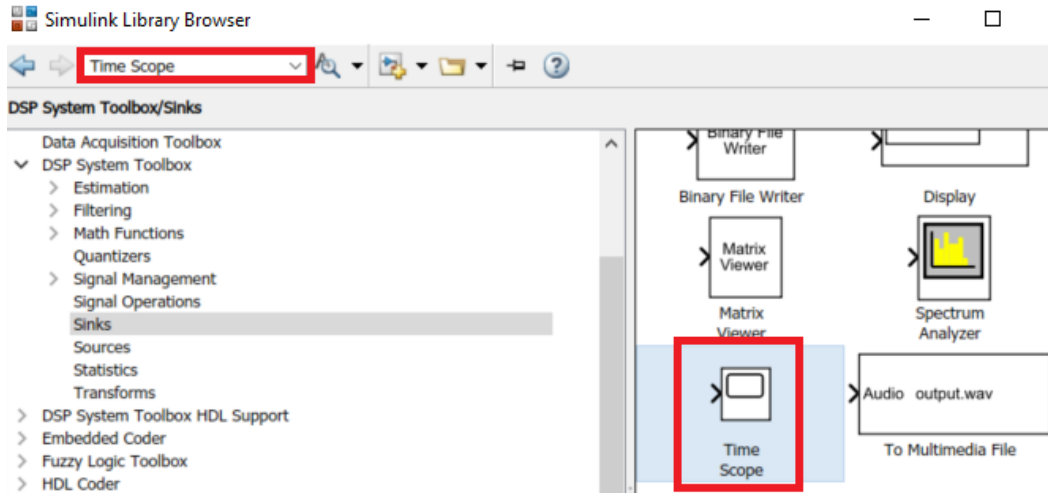


Figura 170. Bloque del *time scope* en la librería de Simulink.

### 3.16 Insertar Audio

El audio permite al usuario escuchar la emisora que fue sintoniza en la frecuencia central por medio de los parlantes de la computadora.

Para insertar el bloque de audio, se tiene que entrar a la librería de Simulink y buscarlo con el nombre “*Audio Device*” como se observa en la Figura 171, y se debe realizar todas las configuraciones respectivas de los parámetros que se especifican en la etapa de Diseño.

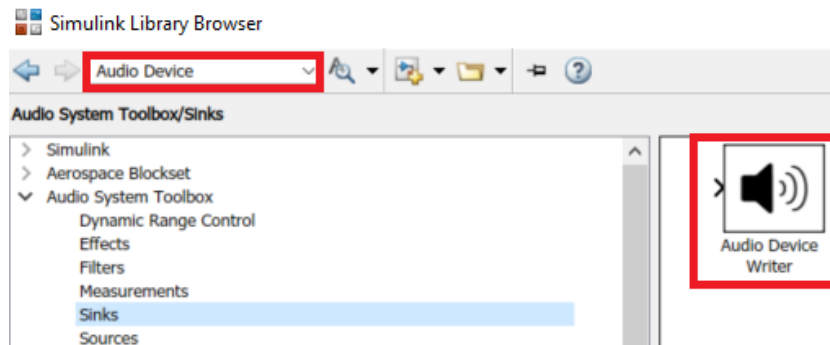


Figura 171. Bloque del sonido en la librería de Simulink.

### 3.17 Ejecución del diseño

Una vez insertado y configurado los bloques mencionados anteriormente, se procede a unir los bloques como se observa en la Figura 172, con el objetivo de satisfacer el alcance propuesto en esta implementación, por lo que para ejecutar se debe seleccionar la opción “*Run*” de la barra de herramientas del Simulink.

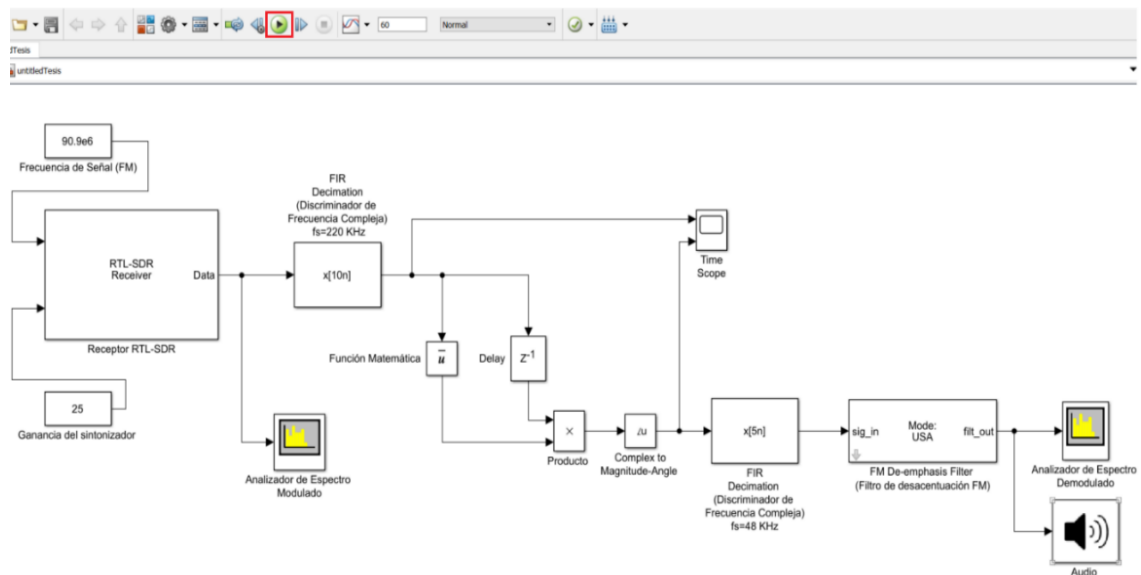


Figura 172. Agrupación de Bloques para la ejecución del diseño de Simulink.

Una vez que se ejecuta el diseño de Simulink, se muestra una interfaz como la que se observa en la Figura 173, en donde se puede manipular y analizar la señal de la frecuencia central.

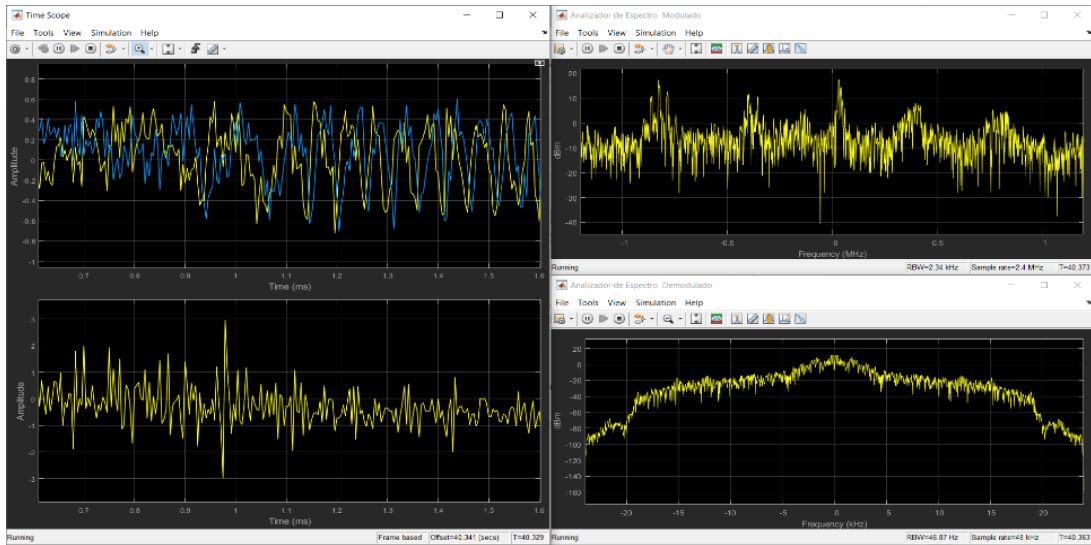


Figura 173. Interfaz de la ejecución del diseño de Simulink.

### 3.18 Analizador de Espectros de Frecuencia Modulada

Una vez realizado la ejecución del diseño se puede visualizar el espectro de frecuencia modulado de la Frecuencia Central sintonizada como se observa en la Figura 174. En esta implementación se tomó como referencia la frecuencia 90.9 MHz.

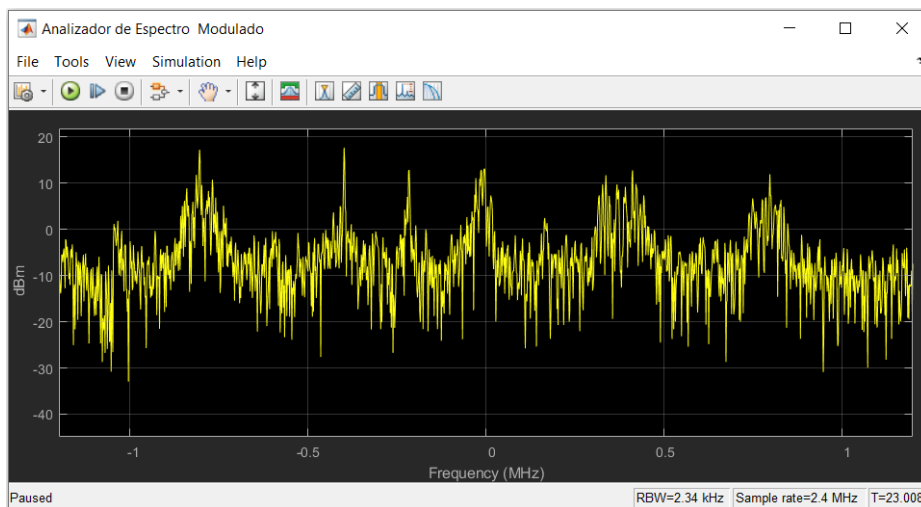


Figura 174. Espectro de la frecuencia modulada.

En el cual se observa que frecuencia de muestreo está configurado a 2.4MHz, lo que significa que se puede observar 1.2MHz más de espectro a la derecha y 1.2 MHz más de espectro a la izquierda de la frecuencia central, permitiendo de esta manera observar un poco más del espectro de la frecuencia central, como se observa en la Figura 175.

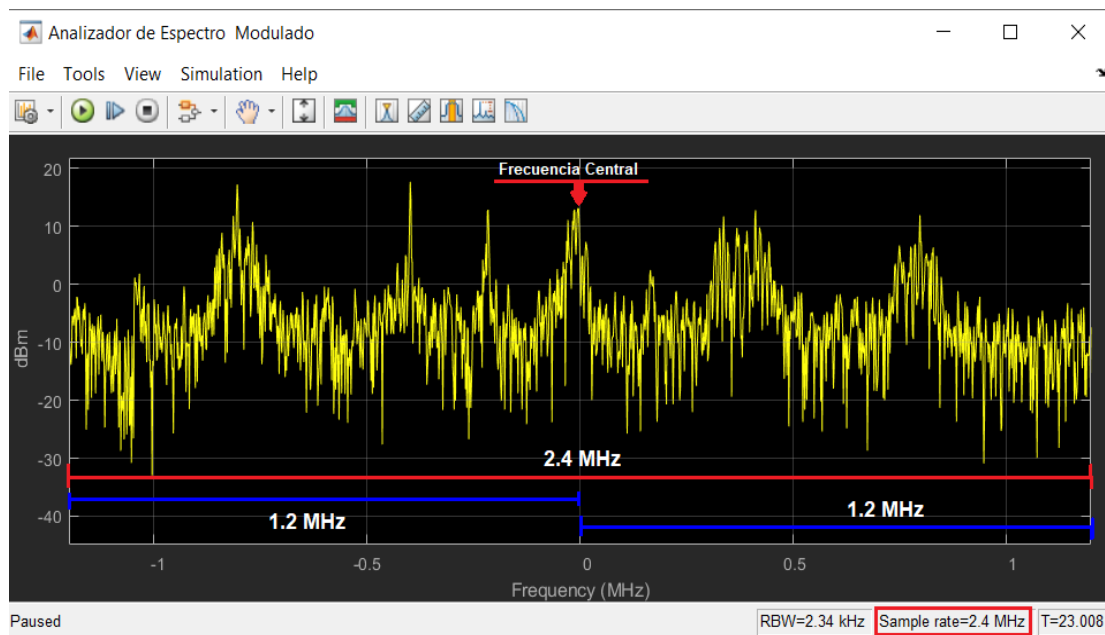


Figura 175. Frecuencia de muestreo del analizador de espectro modulado.

Por medio de la opción de mediciones de distorsión que posee el analizador de espectros como se observa en la Figura 176, se puede realizar la medición de los armónicos de la señal, en donde el primer armónico representa a la frecuencia central, mientras que los otros dos armónicos son las ondas de frecuencia más bajas de las demás frecuencias centrales del espectro, por medio de esta medición se puede verificar a que frecuencia se encuentra el segundo y tercer armónico de la frecuencia central.

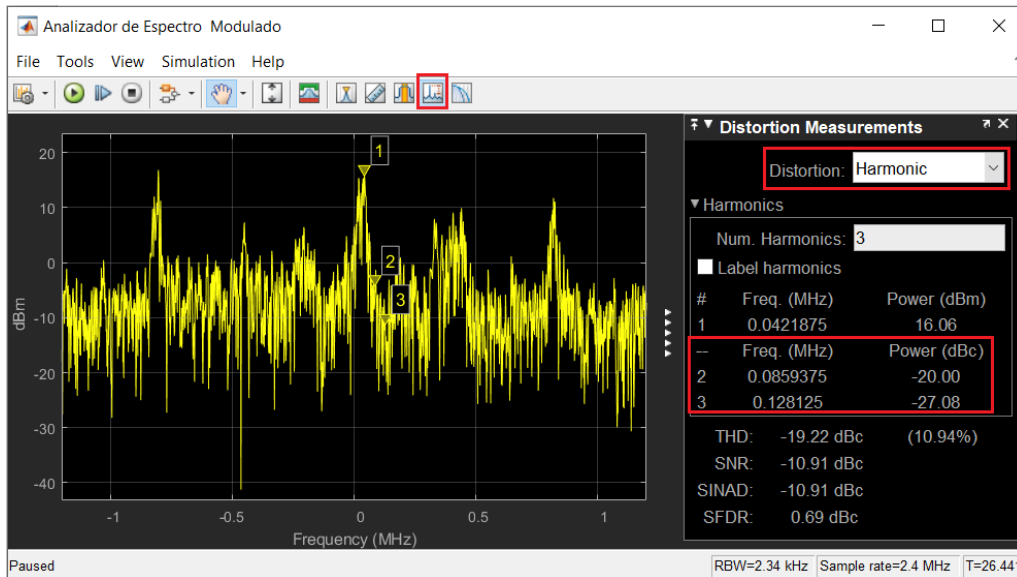


Figura 176. Medición de armónicos en el analizador de espectros modulado

De igual manera por medio de la opción de mediciones de distorsión se puede obtener las medidas de intermodulación como se observa en la Figura 177, en donde representa la distancia en frecuencia que existe entre la señal de la frecuencia central con la próxima frecuencia portadora que le sigue.

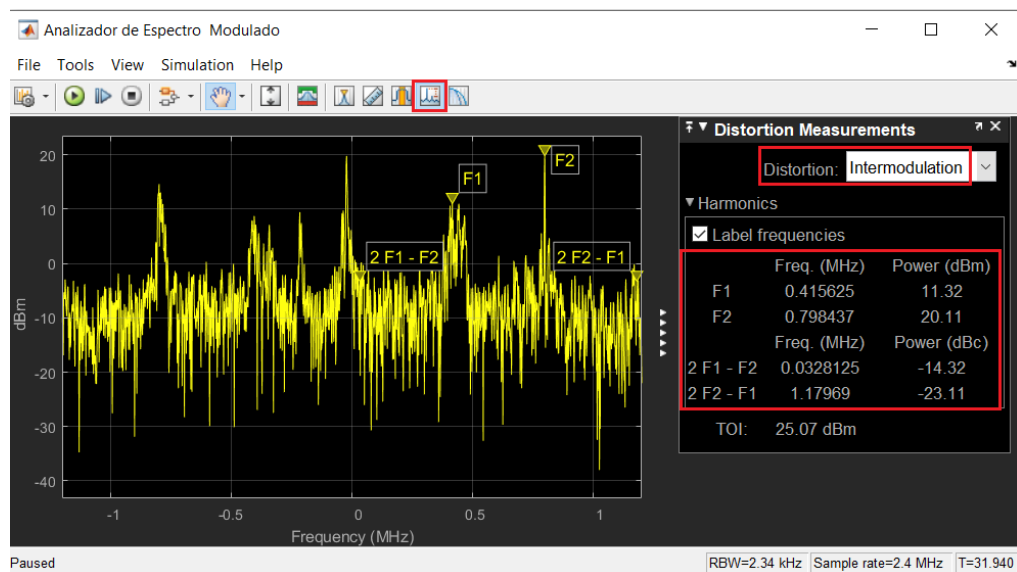


Figura 177. Medición de la intermodulación en el analizador de espectros modulado.

Otra de las opciones que posee el analizador de espectros, es para realizar las mediciones del canal como se observa en la Figura 178, en donde se puede observar el ancho de banda ocupado de la frecuencia central que fue sintonizada, permitiendo ver que se encuentra dentro del ancho de banda de 220KHz que es lo que indica la norma técnica para el ancho de banda de una estación FM, de igual manera se puede observar la potencia del canal, en donde indica toda la potencia que se encuentra contenida en el ancho de banda de la portadora y el ancho de banda que está ocupando esa portadora dentro del margen de los 220KHz.

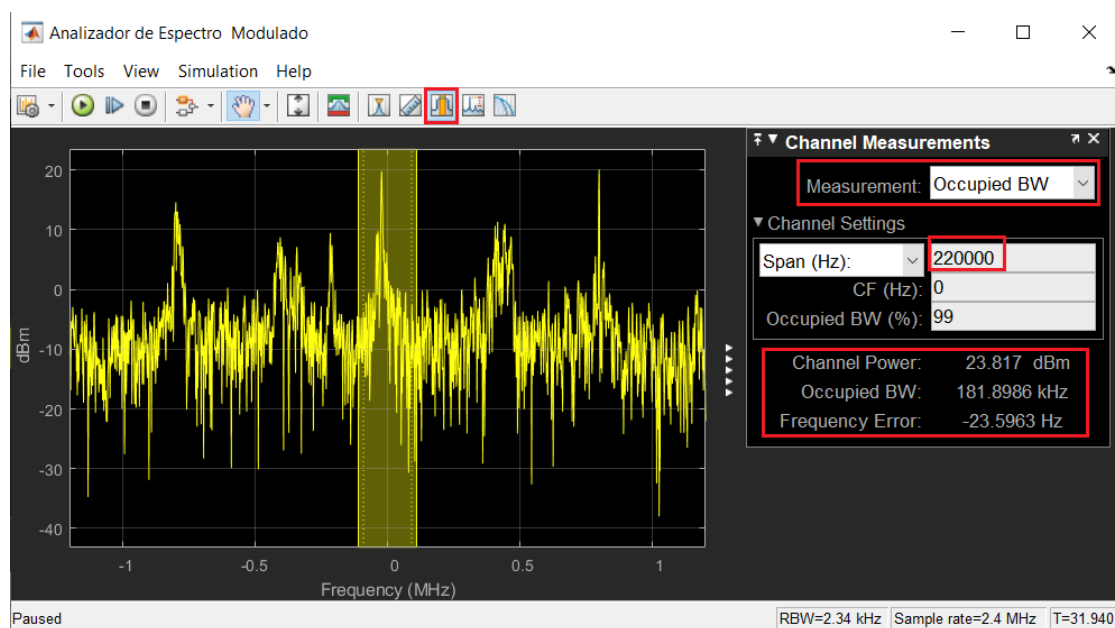


Figura 178. Medición del ancho de banda ocupado en el analizador de espectros modulado.

Una de las opciones que posee el analizador de espectros es la medición de cursor como se observa en la Figura 179, ya que, por medio de la manipulación de los cursores, le permite al usuario ubicarlos en los valles de la frecuencia



central y a la vez verificar el ancho de banda de la portadora y la potencia del canal de la frecuencia central.

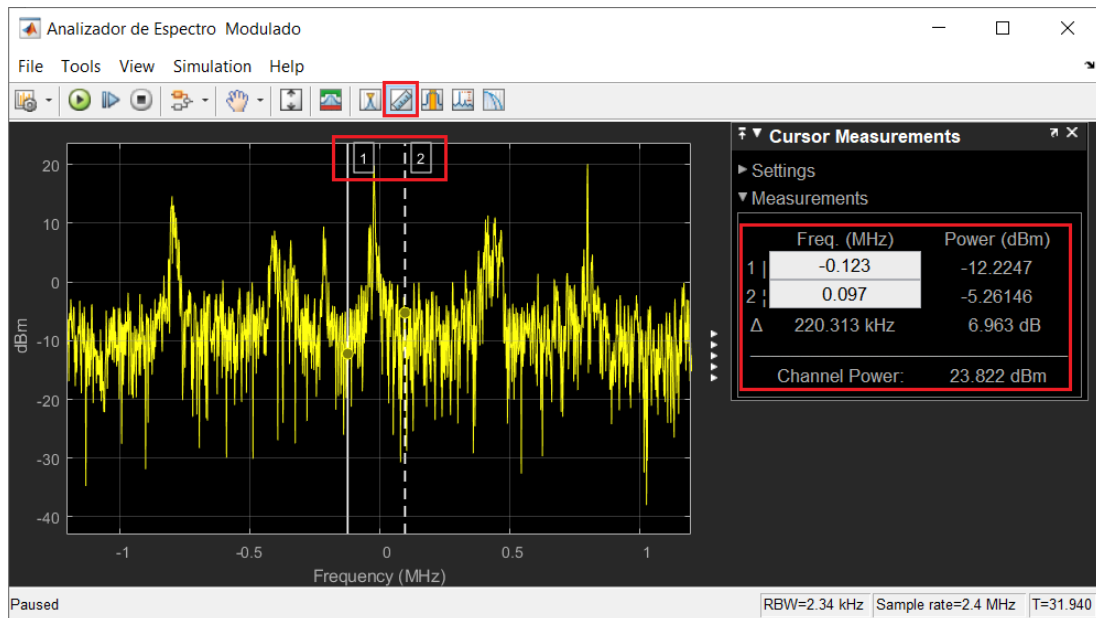


Figura 179. Medición por medio de cursores en el analizador de espectros modulado.

Para conocer los picos más altos del espectro de frecuencia modulada, el analizador de espectros posee la función del buscador de picos como se observa en la Figura 180, la que permite observar los picos más altos con su respectiva frecuencia dentro del rango de la frecuencia de muestreo de 2.4MHz, en el cual en este caso se puede observar que los picos más altos indican las frecuencias portadoras que se pueden sintonizar dentro del rango de la frecuencia de muestreo de 2.4 MHz de la frecuencia central.

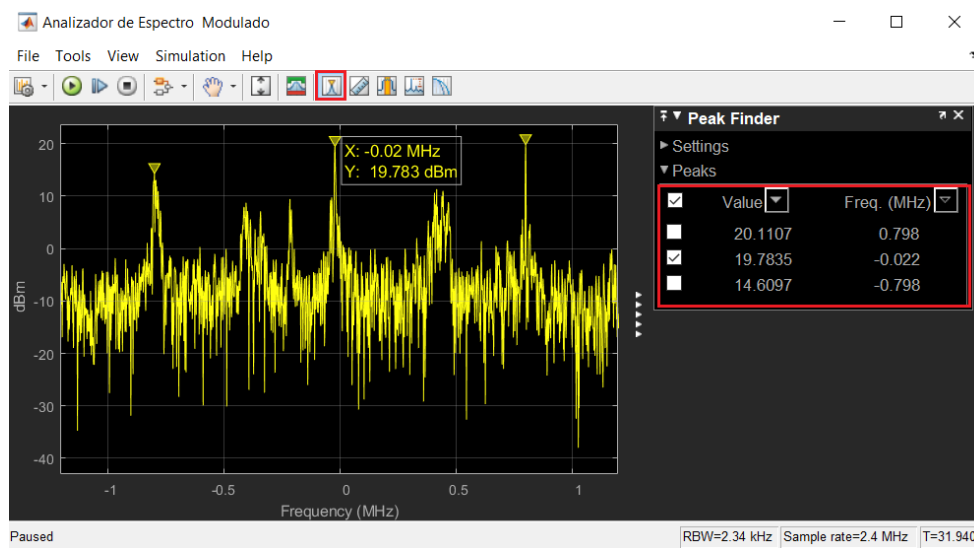


Figura 180. Medición de los picos más altos en el espectro modulado.

Para poder verificar la distribución de energía que existe del espectro de frecuencia modulada, el analizador de espectros posee la opción de mediciones CCDF (Función de distribución acumulativa complementaria) como se observa la Figura 181, la cual permite medir la probabilidad de que la potencia instantánea de una señal sea mayor que un nivel específico sobre su potencia promedio. (MathWorks, s. f.-a)

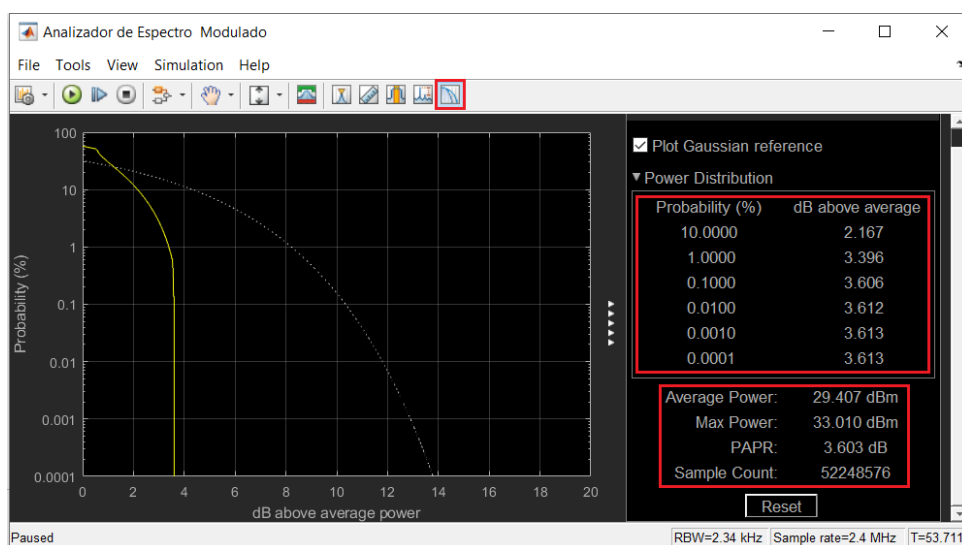


Figura 181. Medición de la distribución de energía en el espectro modulado.

Por medio del analizador de espectros también se puede obtener un espectrograma de la frecuencia central, como se observa en la Figura 182, el que permite conocer la potencia con la que se recibe la señal en la medida de dBm que es expresada por colores en el espectrograma, en el cual el color rojo es el mejor escenario.

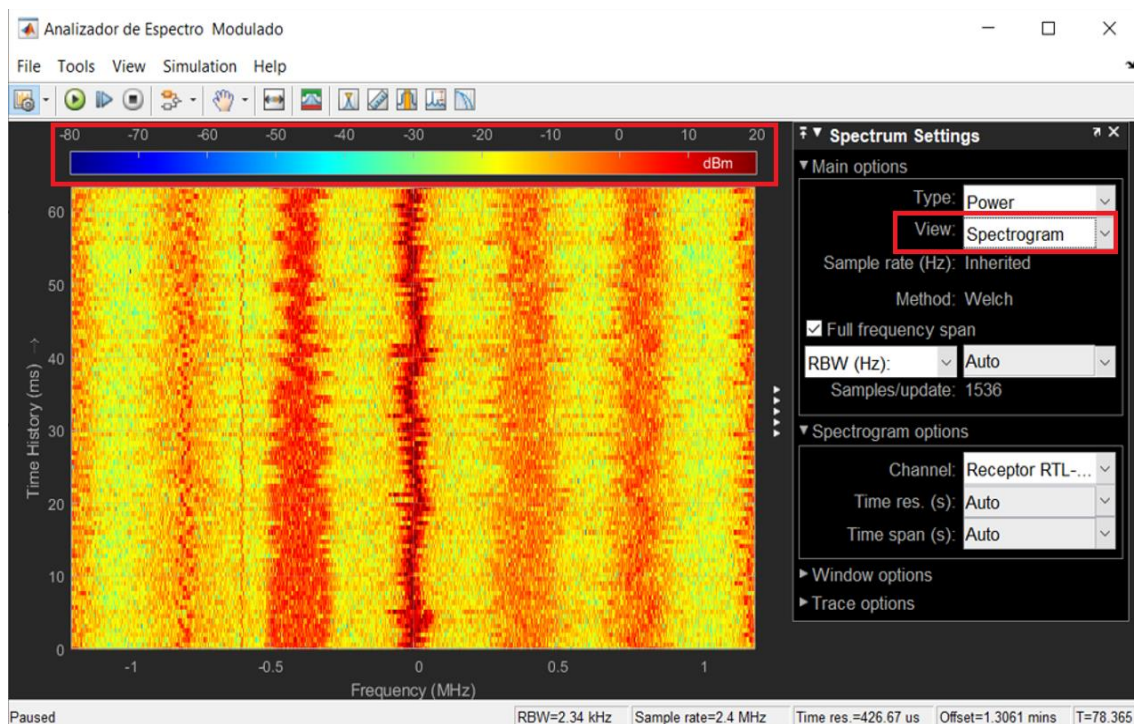


Figura 182. Espectrograma de la Frecuencia Central

### 3.19 Analizador de Espectros de Frecuencia Demodulada

Una vez realizado la ejecución del diseño se puede visualizar el espectro de frecuencia demodulada de la frecuencia central sintonizada como se observa en la Figura 183. En esta implementación se tomó como referencia la frecuencia central 90.9 MHz.

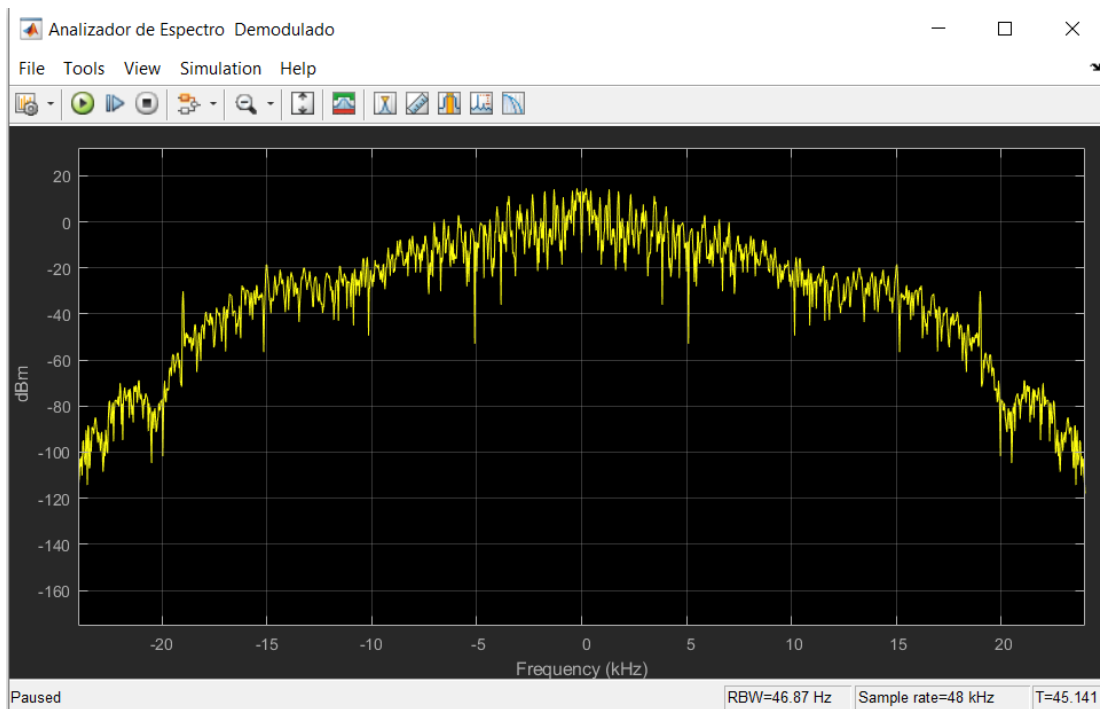


Figura 183. Espectro de la frecuencia demodulada.

En el cual se observa que la frecuencia de muestreo está configurada a 48 KHz, lo que significa que se puede observar 24 KHz más de espectro a la derecha y 24 KHz más de espectro a la izquierda de la frecuencia central, permitiendo de esta manera observar un poco más del espectro de la frecuencia central, como se observa en la Figura 184.

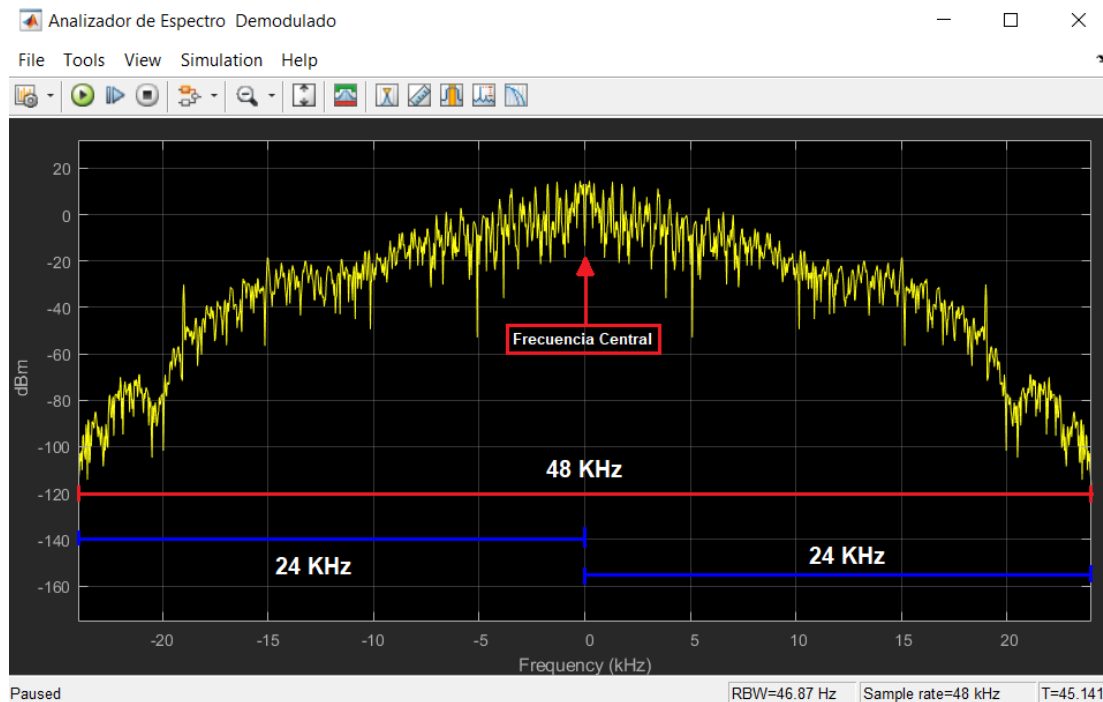


Figura 184. Frecuencia de muestreo del analizador de espectro demodulado.

En el analizador de espectro demodulado, se puede realizar todas las mismas mediciones que el analizador de espectro modulado explicado anteriormente, teniendo en cuenta que este analizador tiene una frecuencia de muestreo de 48 KHz, es decir que todos los datos medidos se los realiza ya en espectro de audio de la frecuencia central.

### 3.20 Análisis del *Time Scope*

El *Time Scope* permite realizar una comparativa entre las señales del espectro de frecuencia modulada y las señales del espectro de frecuencia demodulada, en el que se muestra las mismas señales en el dominio del tiempo como se observa en la Figura 185.

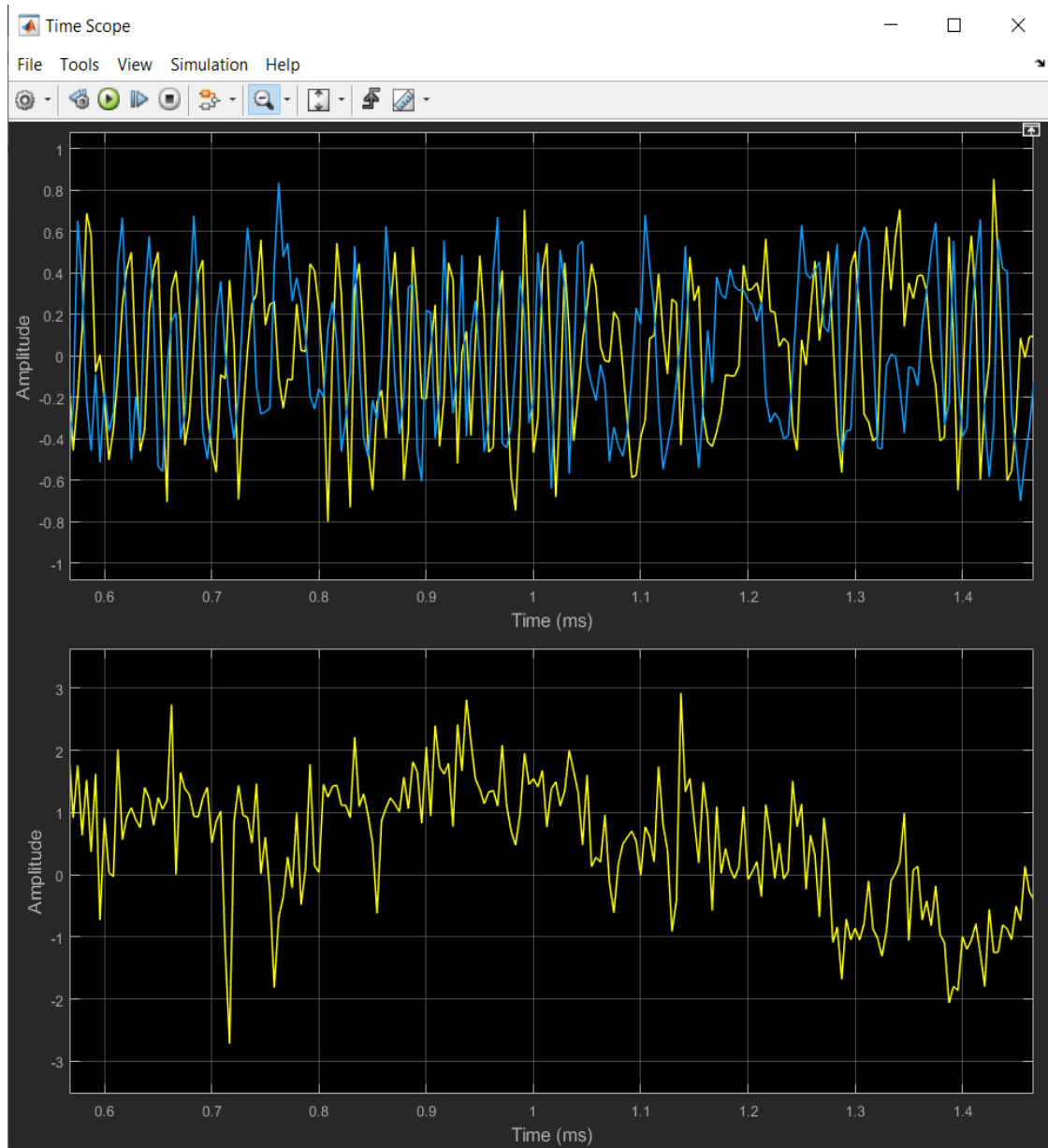


Figura 185. Frecuencia de muestreo del *Time Scope*.

Por lo tanto, se puede realizar un análisis de la señal modulada con la señal demodulada como se observa en la Figura 186, en donde se puede verificar que cuando surgen picos altos en la frecuencia modulada también son reflejados esos picos en la frecuencia demodulada en el dominio del tiempo, de igual manera se observa en los picos bajos.

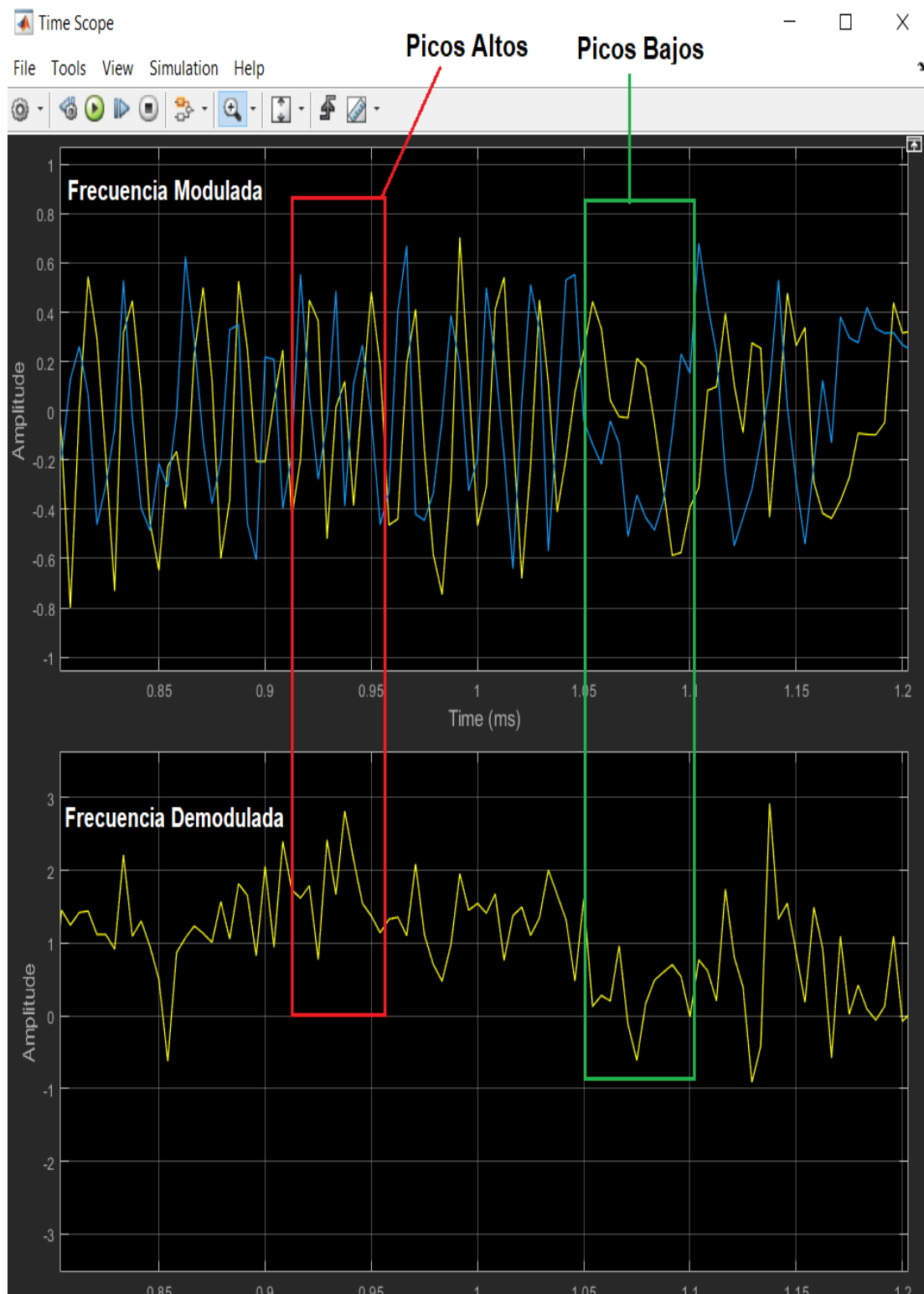


Figura 186. Comparación de frecuencias moduladas y demoduladas en el dominio del tiempo en el *Time Scope*.

## 4. Resolución ARCOTEL-2017-0119 Frecuencia 100.9 MHz



Agencia de  
Regulación y Control  
de las Telecomunicaciones

Expediente No.:  
Acto Administrativo de Autorización

RESOLUCIÓN ARCOTEL-2017- 0119

### LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES

**OTORGA EL TÍTULO HABILITANTE DE AUTORIZACIÓN PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA PARA LA OPERACIÓN DE UN MEDIO DE COMUNICACIÓN SOCIAL PÚBLICO A FAVOR DE LA CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA BENJAMIN CARRIÓN DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA.**

En cumplimiento de la disposición contenida en el numeral 3 artículo 148, de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, que faculta a la Dirección Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones –ARCOTEL, dirigir el procedimiento de sustanciación y resolver sobre el otorgamiento y extinción de los títulos tanto para el otorgamiento directo, así como suscribir los correspondientes títulos habilitantes, se otorga el presente título habilitante al tenor de las siguientes condiciones:

#### I ANTECEDENTES DE HECHO

**Primero.-** La Dirección Técnica de Títulos Habilitantes del Espectro Radioeléctrico de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, remitió al Coordinador Técnico de Títulos Habilitantes el memorando No. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M de 06 de marzo de 2017 para la autorización de un sistema de radiodifusión sonora FM a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, el mismo que concluyó:

*"En orden a los antecedentes, principios jurídicos y análisis expuestos, y una vez revisada la documentación y requisitos adjuntos a la solicitud de autorización presentada por la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamin Carrión", se ha podido determinar que el peticionario ha cumplido con los requisitos establecidos en el artículo 80 del "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO"; y, al contar con los Informes Técnico, Financiero y Estratégico, favorables, es criterio de esta Dirección Técnica de Títulos Habilitantes del Espectro Radioeléctrico, que el Delegado de la Directora Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, debería autorizar la instalación y operación de una estación de radiodifusión FM de carácter público a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha.*

*Adicionalmente, se dispondrá la notificación y suscripción del Título Habilitante respectivo, de conformidad con lo establecido en el artículo 86 del "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO"; debiéndose para el efecto considerar lo señalado en el artículo 88 del citado reglamento y el artículo 60 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, que exceptúan de los pagos de las tarifas de adjudicación y utilización de frecuencias a los medios de comunicación públicos."*

#### II FUNDAMENTOS DE DERECHO

**Primero.-** La Ley Orgánica de Telecomunicaciones – LOT, publicada en el Registro Oficial No. 439 de 18 de febrero de 2015, crea a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones – ARCOTEL, como entidad encargada de la administración, gestión, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico, así como de los





aspectos técnicos de la gestión de los medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes.

**Segundo.-** El numeral 2 del artículo 37, de la LOT establece que la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones podrá otorgar los siguientes tipos de títulos habilitantes: "2. Autorizaciones: Para el uso y explotación del espectro radioeléctrico, por las empresas públicas e instituciones del Estado."

**Tercero.-** La LOT, en su artículo 144, dentro de las competencias de la ARCOTEL, incorpora la siguiente: "11. Establecer los requisitos, contenidos, condiciones, términos y plazos de los títulos habilitantes.", otorgando en el artículo 148 a la Dirección Ejecutiva, las atribuciones de "3. Dirigir el procedimiento de sustanciación y resolver sobre el otorgamiento y extinción de los títulos habilitantes contemplados en esta Ley, tanto en otorgamiento directo como mediante concurso público, así como suscribir los correspondientes títulos habilitantes, de conformidad con esta Ley, su Reglamento General y los reglamentos expedidos por el Directorio.", "16. Ejercer las demás competencias establecidas en esta Ley o en el ordenamiento jurídico no atribuidas al Directorio."

**Cuarto.-** La LOT, en sus Disposiciones Transitorias señala: "Segunda.- Los títulos habilitantes cuyo otorgamiento se encuentren en curso al momento de la promulgación de la presente Ley se tramitarán siguiendo los procedimientos previstos en la legislación anterior ante la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. No obstante, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones establecerá los contenidos, condiciones, términos y plazos de dichos títulos, de conformidad con lo dispuesto en la presente Ley." (...) Quinta.- La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, dentro del plazo de ciento ochenta días contados a partir de la publicación en el Registro Oficial de la presente Ley, adecuará formal y materialmente la normativa secundaria que haya emitido el CONATEL o el extinto CONARTEL y expedirá los reglamentos, normas técnicas y demás regulaciones previstas en esta Ley. En aquellos aspectos que no se opongan a la presente Ley y su Reglamento General, los reglamentos emitidos por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones se mantendrán vigentes, mientras no sean expresamente derogados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones."

**Quinto.-** La Norma Técnica para el Servicio de radiodifusión sonora en Frecuencia Modulada Analógica actualizada mediante Resolución N° ARCOTEL-2015-0061 de 08 de mayo de 2015.

**Sexto.-** Con Resolución ARCOTEL-2015-0594 de 06 de octubre de 2015 se aprobó el modelo de Título Habilitante de AUTORIZACIÓN PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA PARA LA OPERACIÓN DE UN MEDIO DE COMUNICACIÓN SOCIAL PÚBLICO.

Vistos los citados Antecedentes de Hecho y Fundamentos de Derecho, la Dirección Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

#### RESUELVE:

**Artículo 1.-** Otorgar a favor de la CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMIN CARRIÓN", por el plazo de 15 años, el título habilitante de autorización para la instalación y operación de una estación del servicio de radiodifusión sonora denominada "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, en régimen jurídico actualizado de conformidad con el siguiente contenido, términos, condiciones y plazos.

**Artículo 2.-** La instalación y operación del servicio de radiodifusión sonora, deberá realizarse de conformidad con el presente título habilitante, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, la Ley Orgánica de Comunicación, sus reglamentos generales de aplicación, reglamentos y resoluciones que emita la ARCOTEL.



**Artículo 3.-** Conforme lo dispuesto en el artículo 60 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, los servicios de radiodifusión del tipo público, no están obligados al pago de tarifas por adjudicación y utilización de frecuencias.

**Artículo 4.-** La Entidad Pública se somete en forma obligatoria al cumplimiento de las características técnicas que se detallan en el Apéndice No. 1, que forman parte integrante de la presente autorización.

**Artículo 5.-** Este título habilitante terminará por cualquiera de las causales previstas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, la Ley Orgánica de Comunicación, sus reglamentos generales de aplicación y demás normativa vinculada, disposiciones, contenidas en el Estatuto del Régimen Jurídico Administrativo de la Función Ejecutiva; y, lo señalado en el presente título habilitante. El procedimiento para la terminación será el previsto en el ordenamiento jurídico vigente.

**Artículo 6.-** La CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMIN CARRIÓN", a través de la suscripción de la declaración de sujeción constante en este título habilitante, se sujeta en forma estricta al cumplimiento de las obligaciones previstas en el presente título habilitante, sus Anexos y Apéndice, así como a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, Ley Orgánica de Comunicación, sus Reglamentos Generales de aplicación, reglamentos, resoluciones y disposiciones que emita la ARCOTEL.

**Artículo 7.-** Forman parte integrante de este título habilitante los siguientes documentos:

1. Copia certificada de la Resolución 002-01 ARCOTEL-2015 de 04 de marzo de 2015, con la que se designa a la Directora Ejecutiva de la ARCOTEL.
2. Copia certificada de la Resolución, con la que se le delegan funciones.
3. Copia del nombramiento del Representante Legal de Empresa Pública o Entidad.
4. Copia del Registro Único de Contribuyentes.
5. Anexo 1, Datos Generales  
Anexo 2, Condiciones Generales  
Apéndice 1, Información Técnica (Informe Técnico).
6. Declaración de Sujeción

**Artículo 8.-** Disponer a la Unidad de Gestión Documental y Archivo, notifique el contenido de la presente Resolución a la Unidad Técnica de Registro Público; a la Coordinación Técnica de Títulos Habilitantes, a la Coordinación Técnica de Control, al Consejo de Regulación y Desarrollo de la Información y Comunicación y a la Superintendencia de la Información y Comunicación y a la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión".

**Artículo 9.-** Disponer a la Unidad Técnica del Registro Público de la ARCOTEL, proceda con la firma de la Declaración de Sujeción por parte del peticionario y realice la inscripción de este título habilitante y sus anexos en el Registro Público de Telecomunicaciones.

Dado en Quito, Distrito Metropolitano a,

04 MAR 2017

Ing. Fred Andrey Yanez Ulloa  
POR DELEGACIÓN DE LA DIRECTORA EJECUTIVA  
AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES

ELABORADO POR: Ab. Franklin León Servidor Público	APROBADO POR: Ing. Edwin Quel Director Técnico de Títulos Habilitantes del Espectro Radioeléctrico
---	---



ANEXO 1

DATOS GENERALES

DATOS DEL ADJUDICATARIO DEL TITULO HABILITANTE DE AUTORIZACIÓN PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA PARA LA OPERACIÓN DE UN MEDIO DE COMUNICACIÓN SOCIAL PÚBLICO	
RAZÓN SOCIAL	CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMIN CARRIÓN"
RUC/	1760005890001
DOMICILIO Y NOTIFICACIONES	Av. 6 de Diciembre N16-224 y Av. Patria Teléfono: (02) 2-905-252 e-mail: presidencia@casadelacultura.gob.ec Quito - Pichincha
REPRESENTANTE LEGAL Y PERSONA RESPONSABLE A EFECTOS DE NOTIFICACIONES	Nombres/Apellidos: Sr. Raúl Alfredo Pérez Torres C.C./Pasaporte: 170171999-7 Cargo: Presidente
PLAZO DE INICIO DE OPERACIONES	1 año. NÚMERO DE EXPEDIENTE
DESCRIPCIÓN DE LA RED	Ver apéndices.
DURACIÓN	15 años.
ÁMBITO DE COBERTURA	Ver apéndices.
DIRECCIÓN RESPONSABLE DEL REGISTRO Y CUSTODIA DE TITULO	Unidad de Registro Público.
DIRECCIÓN/ES RESPONSABLE/S DE LA ADMINISTRACIÓN DEL TITULO HABILITANTE	Dirección Técnica de Títulos Habilitantes del Espectro Radioeléctrico- Coordinación Zonal según estructura y delegación de atribuciones.
Paga Derechos de Autorización	No.
Paga tarifas por uso de frecuencias	No.
Paga la contribución prevista en el artículo 92 de la LOT	No.
Está sujeto al artículo 34 de la LOT, si su número de abonados, clientes/usuarios lo determina.	No.
Sujeto a la presentación de garantías de fiel cumplimiento del título habilitante	No.
Tiene derecho a interconectarse a la red pública	No.
Sujeto a mantener póliza de seguros contra todo riesgo "all risk", que permitan salvaguardar los bienes del prestador contra actos producidos por terceros y fuerza mayor.	Si, conforme la normativa y resoluciones que se emitan para el efecto.

**ANEXO 2**

**CONDICIONES GENERALES PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE  
RADIODIFUSIÓN SONORA PARA LA OPERACIÓN DE UN MEDIO DE COMUNICACIÓN  
SOCIAL PÚBLICO**

**ARTÍCULO 1: OBJETO Y SISTEMAS QUE LE CORRESPONDE OPERAR.-**

- 1.1 El poseedor del título habilitante, está facultado para la operación e instalación de una estación de radiodifusión sonora denominada "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, de conformidad a las leyes y reglamentos vigentes de la materia. El poseedor del título habilitante se compromete a respetar durante la vigencia del título habilitante cada una de las especificaciones aquí detalladas así como las constantes en los Apéndices, las cuales son de cumplimiento obligatorio
- 1.2 La operación de la estación debe cumplir con las características técnicas señaladas en la norma técnica para el servicio, bajo la cual se ha otorgado el presente título habilitante.

**ARTÍCULO 2: ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS.-**

- 2.1 Al poseedor del título habilitante se le autoriza usar las frecuencias para el Servicio de radiodifusión sonora, conforme con las especificaciones técnicas que son de cumplimiento obligatorio constantes en el Apéndice 1 - Información Técnica, el cual forma parte integrante de este instrumento.
- 2.2 Las frecuencias asignadas se ajustarán, en todos los casos, al Plan Nacional de Frecuencias aprobado y a lo previsto en el ordenamiento jurídico vigente.

**ARTÍCULO 3: OBLIGACIONES GENERALES.-**

- 3.1 Se sujetará a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Comunicación y demás normativa secundaria; así como a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, en lo que resulte aplicable; y, a lo señalado en las Resoluciones y Disposiciones de la ARCOTEL.

**3.2 Inspecciones y Operación:**

La operación de la estación de radiodifusión sonora, se sujetará a lo previsto en la Ley Orgánica de Comunicación, su Reglamento General, Ley Orgánica de Telecomunicaciones, el Ordenamiento Jurídico Vigente, este título habilitante y sus anexos y apéndice.

El poseedor del título habilitante deberá permitir el ingreso a sus instalaciones a funcionarios-servidores, debidamente autorizados por la ARCOTEL de acuerdo al procedimiento establecido por esta entidad, para la realización de inspecciones y otras actividades de control, sin necesidad de notificación, y brindar todas las facilidades requeridas y presentar los datos técnicos y más documentos que tengan relación con este título habilitante, cuando así se requiera. Se dejará constancia, por escrito de la información obtenida y entregada.

**3.3 Puesta en Operación:**

El plazo para la instalación y operación para la estación de radiodifusión sonora, es de un año calendario, contado a partir de la fecha de inscripción del presente título habilitante en el Registro Público de Telecomunicaciones en la sección del Registro Nacional de Títulos Habilitantes. El poseedor del título habilitante deberá notificar a la ARCOTEL con al menos 15 días de anticipación con respecto al inicio de operaciones.

Si vencido el plazo de un año, no ha iniciado operaciones, la ARCOTEL previo el debido proceso dará por terminado el título habilitante.

**3.4 Adecuaciones Técnicas:**

El Prestador, se compromete a efectuar las adecuaciones técnicas pertinentes en caso de que se produzcan interferencias o cambios en la regulación, previa disposición de la ARCOTEL.

**3.5 Interferencias:**

Será de exclusiva responsabilidad del autorizado el solucionar los problemas de interferencias que pudieren causar sus instalaciones a otras de radiocomunicaciones pertenecientes a: instituciones públicas, personas naturales y jurídicas y a otras instalaciones estatales. En igual forma la ocupación de lugares e infraestructura de instituciones o personas estatales o privadas deberán tener la respectiva autorización de éstas. El autorizado deberá tener especial cuidado para evitar interferencias en lugares donde existan instalaciones de las Fuerzas Armadas.

**3.6 Interrupciones:**

El Prestador podrá interrumpir la prestación del servicio, de conformidad con el Ordenamiento Jurídico Vigente.

**3.7 Las demás que se deriven del Ordenamiento Jurídico Vigente.**

**ARTÍCULO 4.- TRATAMIENTO A LA INFORMACIÓN.-**

La información entregada a la ARCOTEL, que sea de carácter confidencial y no divulgable de acuerdo con el Ordenamiento Jurídico Vigente, será presentada y tratada como tal por los funcionarios y servidores que tengan acceso a ella.

**ARTÍCULO 5.- CONTROL.-**

**5.1** La ARCOTEL realizará las inspecciones y comprobaciones técnicas necesarias para determinar las características de instalación y operación; de no existir observación alguna, autorizará la operación del sistema de conformidad con el ordenamiento jurídico aplicable.

**5.2** El poseedor del título habilitante se sujeta a la supervisión y control de la ARCOTEL, de conformidad con lo dispuesto en el Ordenamiento Jurídico Vigente.

**ARTÍCULO 6: RENOVACION DEL TITULO HABILITANTE.-**

La ARCOTEL podrá decidir la renovación de la autorización; para tal fin el poseedor del título habilitante podrá solicitar la renovación a la ARCOTEL, conforme los requisitos y procedimientos que disponga la normativa vigente a la fecha de realización de dicha solicitud.

En caso de no solicitar la renovación del título habilitante, éste terminará de pleno derecho.

APENDICE 1

INFORMACIÓN TÉCNICA

Anexo al presente se encuentra el Informe Técnico No. IT-CTDE-2017-0087 de 22 de febrero de 2017, mismo que detalla las características técnicas del medio de comunicación objeto del presente título habilitante.

**ASPECTOS TÉCNICOS BÁSICOS:**

a) Normas Técnicas a utilizarse:

- Ley Orgánica de Telecomunicaciones, Ley Orgánica de Comunicación, sus Reglamentos Generales, y la Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica actualizada.

b) Valores de intensidad de campo eléctrico a protegerse:

Las emisiones de los transmisores y repetidores de estaciones de radiodifusión sonora FM, deben cumplir con los siguientes valores mínimos de intensidad de campo eléctrico:

FRECUENCIAS (MHz)	COBERTURA PRINCIPAL (dB $\mu$ V/m)	COBERTURA SECUNDARIA (dB $\mu$ V/m)
88-108	54	50

c) Las demás características técnicas de las emisiones se sujetarán a lo establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT y a las normas legales nacionales vigentes o que se expidieren.

**CLÁUSULAS ESPECIALES:**

1. Las emisiones de la estación de radiodifusión sonora en frecuencia modulada no podrán llegar a áreas de cobertura no autorizadas con una intensidad de campo eléctrico mayor o igual a 54 dB $\mu$ V/m. Si esto sucede la ARCOTEL puede disponer que se realicen las modificaciones necesarias al sistema de transmisión para evitar que esto ocurra.
2. Sobre la base de la normativa vigente aplicable al servicio, cualquier cambio de características técnicas, deberá ser solicitada por el concesionario mediante el cumplimiento de procedimientos y requisitos establecidos para el efecto.
3. Las modificaciones técnicas posteriores respecto del uso de frecuencias asignadas serán incorporadas al presente Anexo, mediante oficio emitido por la ARCOTEL, previo el cumplimiento de todos los requisitos técnicos, económicos y jurídicos que correspondan. La ARCOTEL realizará el trámite respectivo pudiendo aceptar o negar el pedido, decisión que deberá ser notificada mediante oficio al peticionario; en caso favorable se procederá a realizar la correspondiente inscripción y marginación en el Registro Público de Telecomunicaciones, en la sección correspondiente al Registro Nacional de Títulos Habilitantes para la prestación de los servicios de radiodifusión sonora y de radiodifusión de televisión.

**DECLARACIÓN DE SUJECCIÓN:**

Yo, Raúl Alfredo Pérez Torres, en mi calidad de Presidente de la CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMIN CARRIÓN", en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 41 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, declaro en forma expresa que, me sujetaré a lo dispuesto en el Título Habilitante de Autorización para el servicio de radiodifusión sonora para la operación de un medio de comunicación social público, así como a la Ley Orgánica de Comunicaciones, su reglamento y al ordenamiento jurídico vigente, normativa correspondiente y resoluciones que emita la ARCOTEL.

Quito,

f) .....  
C.C.: 170171999-7

**INSCRIPCIÓN EN EL REGISTRO PÚBLICO DE TELECOMUNICACIONES  
SECCIÓN CORRESPONDIENTE AL REGISTRO NACIONAL DE TÍTULOS  
HABILITANTES**

Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M

Quito, D.M., 06 de marzo de 2017

08 MAR 2017  
9h00

**PARA:** Sr. Ing. Fred Andrey Yáñez Ulloa  
**Coordinador Técnico de Títulos Habilitantes**

**ASUNTO:** Autorización de una estación de radiodifusión sonora FM de carácter público a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, a favor de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión".

---

En relación a la solicitud presentada por la CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMIN CARRIÓN" para la instalación y operación de una estación de radiodifusión sonora de carácter público a denominarse "CULTURA FM" matriz de la ciudad de Quito, informo lo siguiente:

#### 1. ANTECEDENTES

1.1. Con oficio CCE-PN-2016-0122-O ingresado en ésta Agencia con número de trámite ARCOTEL-DEAR-2016-0238-E el 25 de noviembre de 2016, el señor Raúl Alfredo Pérez Torres, Presidente de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", solicitó la autorización de una frecuencia de radiodifusión sonora FM, para operar una estación a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha.

1.2. Mediante informe Técnico No. IT-CTDE-2016-0101 de 12 de diciembre de 2016, luego del análisis correspondiente se concluyó que: *"A la presente fecha, SI existe disponibilidad de frecuencias principales y frecuencias auxiliares, de acuerdo a la propuesta planteada para la estación a denominarse "CULTURA FM"*.

1.3. Con oficio No. ARCOTEL-CTDE-2016-1098-OF de 28 de diciembre de 2016, se solicitó al Presidente de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", que en el término de 10 días contados a partir de la recepción de la notificación, remita a esta Agencia documentación teniendo en consideración lo observado financieramente para el proyecto.

1.4. Con tramite ingresado con No. ARCOTEL-CTDE-2016-0004-E de 29 de diciembre de 2016, la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", ingresa a esta Agencia el oficio No. CCE-PN-2016-0133-O, con el que remite la complementación de la documentación solicitada.

1.5. Mediante memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0013-M, de 11 de enero de 2017, se solicitó a la Unidad de Comunicación Social, que con el fin de dar cumplimiento



Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M

Quito, D.M., 06 de marzo de 2017

al artículo 83 del Reglamento para Otorgar Títulos Habilitantes para Servicios del Régimen General de Telecomunicaciones y Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, se publique en la página web institucional, un extracto de la solicitud presentada por la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión".

1.6. Con fecha 11 de enero de 2017 en la página web institucional de la ARCOTEL, se publicó el siguiente extracto:

***"TÍTULO HABILITANTE DE AUTORIZACIÓN PARA EL SERVICIO DE  
RADIODIFUSIÓN SONORA FM PARA LA OPERACIÓN DE UN MEDIO DE  
COMUNICACIÓN SOCIAL DE TIPO PÚBLICO***

***AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES***

***AL PÚBLICO EN GENERAL***

*Pongo en conocimiento que la CASA DE LA CULTURA BENJAMÍN CARRIÓN, ha solicitado la obtención del Título Habilitante de Autorización para la instalación y operación de una estación de Radiodifusión Sonora FM de tipo público para servir a la ciudad de Quito, Cayambe, Tabacundo y Sangolquí.*

*De acuerdo a lo establecido en el Artículo 83 del REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO las personas interesadas podrán formular por escrito y con el debido sustento sus observaciones acerca de la petición de otorgamiento del título habilitante en la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones en el plazo de 5 días contados a partir de su publicación, en las siguientes direcciones:*

*Quito: Av. Diego de Almagro N31-95 y Alpallana, teléfono 022947800, teléfono: 022947800*

*Guayaquil: Cdla. IETEL, Mz 28 lote 1, junto al Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas, teléfono: 042656400*

*Cuenca: Luis Cordero 16-50 y Héroes de Verdeloma, teléfono 072820860.*

*Correo electrónico: observaciones.oth@arcotel.gob.ec*

*Las observaciones deben contener los datos generales del interesado (nombre/apellido), así como en el asunto debe especificarse: OBSERVACIONES-AUTORIZACIÓN DE*

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

*FRECUENCIAS PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA FM. Nota: sus observaciones, deben ser remitidas en un término de hasta cinco (5) días; las que no tendrán el carácter de vinculantes para la administración, pero que serán consideradas de ser procedentes en los informes que se emitan y que permitan adoptar la decisión de otorgar o negar el título habilitante.*

*Firma por delegación de la Directora Ejecutiva de la ARCOTEL, según consta en la Resolución No. ARCOTEL-2016-0655 de 10 de agosto de 2016.*

**D. M. Quito,**

**Ing. Fred Yáñez**  
**COORDINADOR DE TÍTULOS HABILITANTES**  
**AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES".**

1.7. Mediante memorando No. ARCOTEL-CTDE-2017-0068-M de 06 de febrero de 2017, se solicitó a la Unidad de Gestión Documental y Archivo, certifique si ha ingresado información acerca de la publicación realizada en la página web institucional sobre la solicitud de Autorización para el Servicio de Radiodifusión Sonora FM para la Operación de un Medio de Comunicación Social de Tipo Público, solicitado por la CASA DE LA CULTURA BENJAMÍN CARRIÓN.

1.8. Con memorando No. ARCOTEL-CTDE-2017-0069-M de 06 de febrero de 2017, se solicitó a la Unidad de Comunicación Social, certifique si ha ingresado a través de la página web información acerca de la publicación realizada en la página web institucional sobre la solicitud de Autorización para el Servicio de Radiodifusión Sonora FM para la Operación de un Medio de Comunicación Social de Tipo Público, solicitado por la CASA DE LA CULTURA BENJAMÍN CARRIÓN.

1.9. Mediante memorando N° ARCOTEL-DECS-2017-0056-M de 08 de febrero de 2017, el responsable de la Unidad de Comunicación Social, manifestó: "...no existen observaciones en la página web, realizadas a la publicación: "TÍTULO HABILITANTE DE AUTORIZACIÓN PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA FMá" (sic) (CASA DE LA CULTURA BENJAMÍN CARRIÓN).".

1.10. Con memorando N° ARCOTEL-DEDA-2017-0287-M de 17 de febrero de 2017, el responsable de la Unidad de Gestión Documental y Archivo, manifestó:

*"...me permito informar a usted que revisado el sistema QUIPUX, el ON-BASE y obtenida las respuestas de todas las coordinaciones Zonales, no se registra ingreso acerca de la publicación realizada en la página web institucional el 11 de enero de 2017 sobre la solicitud de Autorización para el Servicio de Radiodifusión Sonora FM para la*

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

*Operación de un Medio de Comunicación Social de Tipo Público, solicitado por la CASA DE LA CULTURA BENJAMÍN CARRIÓN.*”.

1.11. Mediante Informe Técnico N° IT-CTDE-2017-0087 de 20 de febrero de 2017, respecto de la información técnica presentada se concluyó que:

*“1.- Este informe es técnicamente factible ya que a la presente fecha existe disponibilidad de frecuencias, las características técnicas y las bandas de frecuencias requeridas cumplen con la Norma Técnica respectiva y con las disposiciones del Plan Nacional de Frecuencias.”.*

1.12. Con informe No. IG-CTDE-2016-0001 (sic) de 22 de febrero de 2017, respecto del Plan Estratégico presentado se concluyó que:

*“La CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA “BENJAMIN CARRIÓN”, cumplió con la presentación del requisito establecido en el numeral 5 del artículo 80 del “REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO”.*

*Del análisis realizado al Plan Estratégico, se desprende que el mismo cumple con lo establecido en el instructivo de Plan Estratégico vigente, por lo que se considera **FACTIBLE** de ser implementado.”.*

1.13. Mediante informe IEF-CTDE-2017-003 de 22 de febrero de 2017, respecto del Plan de Sostenibilidad Económica presentado se concluyó que:

*“La CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA “BENJAMIN CARRIÓN” cumple con lo establecido en el artículo 80 del “REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO”, NUMERAL 9 Plan de Sostenibilidad Económica, por lo expuesto, el proyecto económicamente es factible.”.*

## **2. CONSIDERACIONES JURÍDICAS**

### **2.1. Constitución de la República del Ecuador, manifiesta que:**

*“Artículo 16.- Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a: 3). La creación de los medios de comunicación social, y al acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas.”; y, 4) El acceso y uso de todas las formas de*

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

*comunicación visual, auditiva, sensorial y a otras que permitan la inclusión de personas con discapacidad.*

**Artículo 17.-** *El Estado fomentará la pluralidad y la diversidad en la comunicación, y al efecto:*

*1. Garantizará la asignación, a través de métodos transparentes y en igualdad de condiciones, de las frecuencias del espectro radioeléctrico, para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, así como el acceso a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas, y precautelará que en su utilización prevalezca el interés colectivo.*

*2. Facilitará la creación y el fortalecimiento de medios de comunicación públicos, privados y comunitarios, así como el acceso universal a las tecnologías de información y comunicación en especial para las personas y colectividades que carezcan de dicho acceso o lo tengan de forma limitada.”.*

**“Artículo 226.-** *Las instituciones del Estado, sus organismos, dependencias, las servidoras o servidores públicos y las personas que actúen en virtud de una potestad estatal ejercerán solamente las competencias y facultades que les sean atribuidas en la Constitución y la ley. Tendrán el deber coordinar acciones para el cumplimiento de sus fines y hacer efectivo el goce y ejercicio de los derechos reconocidos en la Constitución.”.*

**“Artículo 313.-** *El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.- Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.- Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.”.*

**2.2. Ley Orgánica de Comunicación, establece que:**

**“Artículo 78.- Definición.-** *Los medios públicos de comunicación social son personas jurídicas de derecho público.- Se crearán a través de decreto, ordenanza o resolución según corresponda a la naturaleza de la entidad pública que los crea.- Los medios públicos pueden constituirse también como empresas públicas al tenor de lo establecido en la Ley Orgánica de Empresas Públicas.- La estructura, composición y atribuciones de los órganos de dirección, de administración, de control social y participación de los*

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

*medios públicos se establecerán en el instrumento jurídico de su creación. Sin embargo, la estructura de los medios públicos siempre contará con un consejo editorial y un consejo ciudadano, salvo el caso de los medios públicos de carácter oficial.- Se garantizará su autonomía editorial.*

***“Artículo 105.- Administración del espectro radioeléctrico.-** El espectro radioeléctrico es un bien de dominio público del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable.- La administración para el uso y aprovechamiento técnico de este recurso público estratégico la ejercerá el Estado central a través de la autoridad de telecomunicaciones.- En ningún caso, la administración del espectro radioeléctrico implica realizar actividades de control sobre los contenidos de los medios de comunicación.”.*

***“Artículo 106.- Distribución equitativa de frecuencias.-** Las frecuencias del espectro radioeléctrico destinadas al funcionamiento de estaciones de radio y televisión de señal abierta se distribuirá equitativamente en tres partes, reservando el 33% de estas frecuencias para la operación de medios públicos, el 33% para la operación de medios privados, y 34% para la operación de medios comunitarios.”.*

***“Artículo 109.- Adjudicación directa.-** La adjudicación directa de autorización de frecuencias del espectro radioeléctrico para el funcionamiento de medios de comunicación social públicos se realizará previo el cumplimiento de los requisitos establecidos por la autoridad de telecomunicaciones mediante el correspondiente reglamento que, sin perjuicio de otros requisitos, necesariamente incluirá la presentación de la planificación estratégica del medio de comunicación.- En caso de que dos o más instituciones del sector público soliciten la autorización de una misma frecuencia, la adjudicación se definirá por el informe vinculante del Consejo de Regulación y Desarrollo de la Comunicación en el que, previo a la evaluación de la planificación estratégica de los respectivos medios de comunicación, se definirá a quien de ellos debe otorgarse la concesión de acuerdo con una priorización social, territorial e institucional.”.*

2.3. Con Registro Oficial No. 439 de 18 de febrero de 2015, se publicó la **Ley Orgánica de Telecomunicaciones** la misma que señala:

***“Artículo 37.- Título Habilitante.-** La Agencia de Regulación y Control de las telecomunicaciones podrá otorgar los siguientes títulos habilitantes:*

*(...)*

***2.- Autorizaciones:** Para el uso y explotación del espectro radioeléctrico, por las empresas públicas e instituciones del Estado. Para la prestación de servicios de audio y video por suscripción, para personas naturales y jurídicas de derecho privado, la autorización se instrumentar a través de un permiso “....*

Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M

Quito, D.M., 06 de marzo de 2017

**“Artículo 60.- Tarifas por Adjudicación y Uso de Frecuencias para Servicios de Radiodifusión.-** Los poseedores de títulos habilitantes para servicios de radiodifusión de tipo comunitario y privado están obligados al pago de las tarifas por adjudicación y utilización de frecuencias, aun cuando estuviere suspenso su funcionamiento. Se exceptúan de estos pagos los servicios de radiodifusión del tipo públicos”.

**“Artículo 148.- Atribuciones del Director Ejecutivo.-** Corresponde a la Directora o Director Ejecutivo de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones:

(...)

3. Dirigir el procedimiento de sustanciación y resolver sobre el otorgamiento y extinción de los títulos habilitantes contemplados en esta Ley, tanto en otorgamiento directo como mediante concurso público, así como suscribir los correspondientes títulos habilitantes, de conformidad con esta Ley, su Reglamento General y los reglamentos expedidos por el Directorio.”...

2.4. Mediante Decreto Ejecutivo No. 864 de 28 de diciembre de 2015, se expidió el Reglamento General a la Ley Orgánica de Telecomunicaciones” que establece:

**“Art. 44.- Adjudicación directa de frecuencias.-** La adjudicación directa de frecuencias efectuará cuando una persona natural o jurídica interesada, presente una solicitud a la ARCOTEL para que se le asigne frecuencias en cualquiera de los casos previstos en la LOT. A la solicitud se adjuntará la información legal, financiera y técnica, que regule la ARCOTEL.

*El Reglamento para Otorgar Título Habilitantes establecerá las condiciones y plazos para la adjudicación directa de frecuencias.”.*

2.5 La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, mediante Resolución 04-03-ARCOTEL-2016 de 28 de marzo de 2016 expidió el “REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO”, que establece:

**“Artículo 80.- Requisitos.-** Las empresas públicas e instituciones del Estado que soliciten la adjudicación directa de autorizaciones para el funcionamiento de medios de comunicación, sean estos de radiodifusión sonora o radiodifusión de televisión, deberán presentar a la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL los siguientes requisitos, de conformidad con lo establecido en la Disposición General Primera del presente reglamento:

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

1. *Solicitud dirigida a la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, suscrita por el representante legal de la persona jurídica de derecho público requirente, en la que consten sus nombres y apellidos, número de documento de identificación; número de Registro Único de Contribuyente (RUC); direcciones de contacto y teléfonos, correo electrónico; el nombre propuesto para el medio de comunicación, el tipo de servicio público de comunicación y el carácter en el caso de que sea medio de comunicación público oficial; decreto, ordenanza o resolución según la naturaleza de la entidad pública que crea el medio de comunicación público;*
2. *Copia del documento de designación del representante legal debidamente inscrito ante la autoridad correspondiente;*
3. *Documento que acredite que la empresa pública o institución pública solicitante, dispondrá de recursos para el equipamiento, instalación y puesta en operación del medio de comunicación público;*
4. *Proyecto técnico;*
5. *Plan Estratégico;*
6. *Proyecto Comunicacional de acuerdo a las condiciones establecidas por el CORDICOM;*
7. *Certificación de que la creación del medio de comunicación público es un proyecto de inversión social contemplado en los planes de desarrollo o del buen vivir, aprobado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES;*
8. *Documento que permita demostrar la capacidad de uso del lugar donde se instalará el transmisor de la estación (contrato de arrendamiento, título de propiedad u otro);*
9. *Plan de sostenibilidad económica;*
10. *Declaración juramentada otorgada por el representante legal en la que se manifieste que su representada no se encuentra incurso en ninguna de las limitaciones establecidas en la Ley Orgánica de Comunicación, en los casos que aplique.*
11. *Certificado de no afectar a los sistemas de radionavegación aeronáutica emitido por la autoridad competente, de acuerdo a los lugares publicados en la página web institucional.*

**Artículo 81.- Verificación de disponibilidad de espectro radioeléctrico.-** La Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, previo al análisis de requisitos, verificará la disponibilidad de espectro de acuerdo a la distribución equitativa de frecuencias. En caso de no existir

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

*disponibilidad, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL procederá a dar respuesta al solicitante dentro del término de hasta ocho (8) días de recibida la solicitud y proceder al archivo de la misma*

**Artículo 82.- Complementación.-** *Luego de la verificación de disponibilidad de frecuencias, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, dentro del término de hasta cinco (5) días de presentada la solicitud, revisará si la misma se encuentra completa. Si la documentación presentada no estuviere completa, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL concederá el término de hasta diez (10) días para que el solicitante la complete; en caso de que en dicho término no exista respuesta o no se complete la información solicitada, se archivará la solicitud, decisión que será notificada al solicitante, en el término de hasta quince (15) días.*

**Artículo 83.- Publicidad y transparencia.-** *Una vez que se determine que la documentación está completa, iniciará el trámite de otorgamiento del título habilitante, para cuyo efecto, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL publicará en su página web institucional en un plazo de hasta tres (3) días un extracto de la petición de otorgamiento del título habilitante a fin de que las personas interesadas puedan formular por escrito y con el debido sustento, sus observaciones, en un término de hasta cinco (5) días; las que no tendrán el carácter de vinculantes para la administración, pero que serán consideradas de ser procedentes en los informes que se emitan y que permitan adoptar la decisión de otorgar o negar el título habilitante.*

**Artículo 84.- Elaboración de informes.-** *Vencido el término previsto en el artículo anterior, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, realizará los informes técnicos, jurídicos, estratégicos y económicos correspondientes, en un término de hasta quince (15) días.*

*Para el caso de que dos o más instituciones del sector público soliciten la autorización de una misma frecuencia en una misma zona de cobertura, se solicitará la emisión del correspondiente informe vinculante al Consejo de Regulación y Desarrollo de la Información y Comunicación, conforme lo determina el segundo inciso del artículo 109 de la Ley Orgánica de Comunicación. Una vez que se cuente con dicho informe, se continuará con el correspondiente procedimiento administrativo.*

*El término para emitir los informes señalados en el presente artículo, podrá suspenderse, en el evento de que la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL requiera información adicional o aclaratoria. Esta suspensión podrá durar hasta diez (10) días; en caso de que en dicho término no exista respuesta a la información solicitada, se archivará la solicitud, decisión que será notificada al solicitante, en el término de hasta quince (15) días.*

*En caso de que los informes técnicos, jurídicos o económicos – financieros establezcan la*



**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

*no procedencia de otorgamiento del título habilitante, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL notificará al solicitante, en un término de hasta diez (10) días, una vez emitidos dichos informes.*

**Artículo 85.- Resolución.-** *Sobre la base de los informes favorables respectivos, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL y de ser el caso con el informe vinculante del CORDICOM, dentro del término de hasta diez (10) días contados a partir del vencimiento del término previsto en el artículo precedente, expedirá la resolución de otorgamiento correspondiente.*

**Artículo 86.- Notificación y aceptación.-** *La resolución que emita la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, será notificada a la empresa pública en el término de hasta cinco (5) días, a fin de que dentro del término de hasta diez (10) días manifieste su aceptación, suscriba el documento de sujeción al contenido del título habilitante y se proceda a la inscripción del título en el Registro Público de Telecomunicaciones.*

*Si vencido este término el solicitante no aceptare y no suscriba, la resolución quedará sin efecto de manera automática, sin lugar a indemnización, reclamo o devolución alguna, debiendo procederse a archivar el trámite, decisión que será notificada al solicitante, en el término de hasta quince (15) días. Únicamente por caso fortuito o fuerza mayor, conforme lo establecido en el Código Civil, el solicitante podrá solicitar prórroga del término para la suscripción del título habilitante, lo cual será resuelto por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL.”.*

2.6. Mediante Resolución No. 09-05-ARCOTEL-2016 de 21 de junio de 2016, el Directorio de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, aprobó el Estatuto Orgánico de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, en el cual se definen las funciones y atribuciones de las diferentes coordinaciones, direcciones y unidades de la ARCOTEL, entre las cuales están:

**“1.2.1.2. Gestión de Títulos Habilitantes**

**II. Responsable:** *Coordinador/a Técnico/a de Títulos Habilitantes.*

**III. Atribuciones y responsabilidades:**

*(...)*

*c. Coordinar, monitorear y supervisar los procedimientos para otorgamiento, renovación, modificación, transferencia, cesión, extinción y administración de títulos habilitantes.*

**1.2.1.2.1 Gestión de Títulos Habilitantes del Espectro Radioeléctrico.**

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

*II. Responsable: Director/a Técnico/a de Títulos Habilitantes del Espectro Radioeléctrico.*

*III Atribuciones y responsabilidades:*

*(...)*

*d. Ejecutar y gestionar el procedimiento para otorgamiento, renovación, modificación y extinción de los títulos habilitantes para el uso y explotación del espectro radioeléctrico.*

*(...)*

*V. Productos y Servicios:*

*(...)*

*3. Propuesta de resolución para el otorgamiento y renovación de los títulos habilitantes para uso y explotación del espectro radioeléctrico; y, proyecto de notificación, para suscripción de la autoridad competente.*

*4. Informes de otorgamiento y renovación de los títulos habilitantes para uso y explotación del espectro radioeléctrico.”.*

2.7. Mediante la Resolución ARCOTEL-2016-0655 de 10 de agosto de 2016, la Dirección Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, realizó algunas delegaciones a las diferentes unidades de la ARCOTEL, entre las cuales están:

***“Artículo 2. AL COORDINADOR TÉCNICO DE TÍTULOS HABILITANTES.-***

*a) Suscribir todos los actos y documentos relacionados con el otorgamiento, modificación y extinción de los títulos habilitantes contemplados en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones y normativa aplicable, a excepción de los servicios de telefonía fija y móvil y aquellos que consten en esta delegación asignados a los Directores de Títulos Habilitantes de Espectro Radioeléctrico y Títulos Habilitantes de Servicios y Redes de Telecomunicaciones.*

**3. ANÁLISIS**

El señor Raúl Alfredo Pérez Torres, Presidente de la Casa de la Cultura Ecuatoriana “Benjamín Carrión”, solicitó la autorización de una frecuencia de radiodifusión sonora FM de carácter público, para operar una estación a denominarse “CULTURA FM”,

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, para lo cual remitió los requisitos establecidos en el Art. 80 del "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO":

1. Oficio CCE-PN-2016-0122-O de 25 de noviembre de 2016, ingresado en ésta Agencia con número de trámite ARCOTEL-DEAR-2016-0238-E, el señor Raúl Alfredo Pérez Torres, Presidente de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", solicitó la autorización de una frecuencia de radiodifusión sonora FM, para operar una estación a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha.

- a) Cédula de Ciudadanía del señor Raúl Alfredo Pérez Torres, Presidente de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", No. 170171999-7.
- b) Registro Único de Contribuyentes No. 1760005890001.
- c) Dirección: Av. Seis de Diciembre N16-224 y Av. Patria.
- d) Teléfonos: 022905252, 2565808 ext. 205/203
- e) Correo electrónico: presidencia@casadelacultura.gob.ec
- f) Decreto Ejecutivo No. 707 de 09 de agosto de 1944, en el que se decreta:

*"Art.1º- Crease con sede en la Capital de la República la Casa de la Cultura Ecuatoriana con el carácter de Instituto director y orientador de las actividades científicas y artísticas nacionales, y con la misión de prestar apoyo efectivo, espiritual y material a la obra de la cultura en el país."*

2. Acción de personal No. 201 de 30 de agosto de 2012 con la cual se designa al Sr. Raúl Alfredo Pérez Torres, como Presidente de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión".

3. Certificación No. 001-2013-DGF-CCE de 21 de julio de 2016, en la que se manifiesta que se suscribió con el Banco de Desarrollo del Ecuador B.P. un contrato de asignación no reembolsable por USD 421.000,00, de los cuales USD 288.820,00, serán para el Equipamiento, Instalación y puesta en operación de la radio FM de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión".

4. Proyecto Técnico.

5. Plan Estratégico

6. Proyecto Comunicacional de acuerdo a las condiciones establecidas por el CORDICOM.

7. Certificación emitida por la SENPLADES, mediante Oficio No.

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

SENPLADES-SINV-2016-0452-OF de 14 de julio de 2016.

8. Contrato de Arrendamiento entre el señor Gonzalo León Benítez y la Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión, que permite demostrar la capacidad de uso del lugar donde se instalará el transmisor de la estación.

9. Plan de Sostenibilidad Económica.

10. Declaración juramentada otorgada por el señor Raúl Alfredo Pérez Torres, Presidente de la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", en la que manifiesta que su representada no se encuentra incurso en ninguna de las limitaciones establecidas en la Ley Orgánica de Comunicación.

11. Oficio No. DGAC-YA-2016-1991-O de 14 de junio de 2016.

Una vez revisada la documentación, requisitos adjuntos a la solicitud de autorización presentada por la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", y concluido el término establecido en el artículo 83 del "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO", se verificó que el peticionario cumplió con todos los requisitos establecidos en el artículo 80 del citado Reglamento.

#### **4. CONCLUSIÓN**

En orden a los antecedentes, principios jurídicos y análisis expuestos, y una vez revisada la documentación y requisitos adjuntos a la solicitud de autorización presentada por la Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión", se ha podido determinar que el peticionario ha cumplido con los requisitos establecidos en el artículo 80 del "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO"; y, al contar con los Informes Técnico, Financiero y Estratégico, favorables, es criterio de esta Dirección Técnica de Títulos Habilitantes del Espectro Radioeléctrico, que el Delegado de la Directora Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, debería autorizar la instalación y operación de una estación de radiodifusión FM de carácter público a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha.

Adicionalmente, se dispondrá la notificación y suscripción del Título Habilitante respectivo, de conformidad con lo establecido en el artículo 86 del "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO"; debiéndose para el efecto considerar lo señalado en el artículo 88

**Memorando Nro. ARCOTEL-CTDE-2017-0131-M**

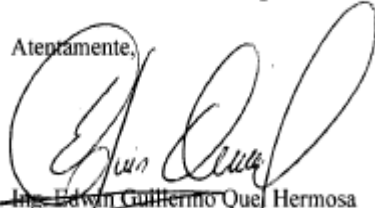
**Quito, D.M., 06 de marzo de 2017**

del citado reglamento y el artículo 60 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, que exceptúan de los pagos de las tarifas de adjudicación y utilización de frecuencias a los medios de comunicación públicos.

Adjunto el proyecto de Resolución respectivo.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,



~~Ing. Edwin Guillermo Quej Hermosa~~

**DIRECTOR TÉCNICO DE TÍTULOS HABILITANTES DEL ESPECTRO  
RADIOELÉCTRICO (E)**

Referencias:

- ARCOTEL-DEDA-2017-0287-M

Anexos:

- it-cultura\_fm.doc

dg/eg/fl

### INFORME TÉCNICO PARA LA AUTORIZACIÓN DE FRECUENCIAS DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA Y DE TELEVISIÓN ABIERTA IT-CTDE-2017-0087

COMPONENTARIO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN O SISTEMA	MEDIOS DE COMUNICACIÓN SOCIAL	SERVICIO
CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMIN CARRIÓN"	CULTURA FM	Publico	Radiodifusión Sonora FM
			No. DE TRÁMITE ARCOTEL-DEAR-2016-0238-E
			FECHA DE INGRESO 25/11/2016

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Con Resolución N° 04-03-ARCOTEL-2016 de 28 de marzo de 2016, se aprobó el "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO", en el cual, se establecen los requisitos y procedimiento para AUTORIZACIONES de frecuencias.</li> <li>✓ Mediante Resolución N° ARCOTEL-2015-061 de 08 de mayo de 2015, se aprobó la actualización de la "Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica".</li> <li>✓ Mediante oficio No. CCE-PN-2016-0122-O ingresado con Quijux N° ARCOTEL-DEAR-2016-0238-E el 25 de noviembre de 2016, la Casa De La Cultura Ecuatoriana "BENJAMIN CARRIÓN", solicita la autorización de una frecuencia de radiodifusión sonora FM para la instalación y operación de una estación a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, así como las frecuencias auxiliares de enlace correspondientes.</li> <li>✓ Con informe técnico de disponibilidad N° IT-CTDE-2016-0101 del 12 de diciembre de 2016, la CTDE informa que SI existe disponibilidad de frecuencias principales y auxiliares, de acuerdo a la propuesta planteada para la estación a denominarse "CULTURA FM".</li> <li>✓ La CTDE informa que revisada la documentación técnica adjunta al Quijux N° ARCOTEL-DEAR-2016-0238-E, se ha podido verificar que el Estudio Técnico de Ingeniería contiene la información técnica necesaria para la elaboración del Informe Técnico, de acuerdo a los formularios establecidos por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, por lo que la misma cumple con los requisitos técnicos, por lo que la propuesta planteada para la implementación de la estación de radiodifusión sonora FM a denominarse "CULTURA FM" cumple con los requisitos establecidos de conformidad a la normativa técnica vigente.</li> <li>✓ En aplicación de la Resolución N° 163-08-CONATEL-2005 de 07 de abril de 2005, mediante la cual se aprobó la "Norma de Instalación de Sistemas de Radiocomunicaciones dentro de Zonas de Protección de Ayudas a la Navegación Aérea", el grupo técnico manifiesta que la estación de radiodifusión sonora FM a denominarse "CULTURA FM", no requiere presentar el requisito establecido en el numeral 1) del artículo 80 del "Reglamento para Otorgar Títulos Habilitantes para Servicios del Régimen General de Telecomunicaciones y Frecuencias del Espectro Radioeléctrico".</li> <li>✓ Una vez revisados los requisitos técnicos presentados por la CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMIN CARRIÓN", se procede con la elaboración del presente informe técnico.</li> </ul>
<b>OBSERVACIONES:</b>	

CULTURA FM

USUARIO	DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA FM	OBSERVACIONES
FP001	<p>Provincia de Pichincha, excepto los cantones Puerto Quito, Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de los Barcos, parroquia Manuel Cornelio Astorga, incluye la parroquia Mindo (cantón San Miguel de Los Blancos).</p> <p>ÁREA DE OPERACIÓN INDEPENDIENTE (Mogña Tabacundo)</p> <p>Ciudad: Tabacundo (Pedro Morcayo), Cayambe, Sangolquí (Rumiñahui), Machachi (Mejía)</p>	Frecuencia 100.9 MHz disponible.

INFORMACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS - ESTACIONES DE TRANSMISIÓN										
No.	FRECUENCIA (MHz)	ÁREA DE OPERACIÓN INDEPENDIENTE	TIPO DE ESTACIÓN	ÁREA DE COBERTURA PRINCIPAL (Km <sup>2</sup> )	SISTEMA RADIOMÓVIL	ALTIMETRIA DEL SISTEMA RADIOMÓVIL (m.)	GANANCIA EN AZ. DE MÁX. RAD. (dBd)	POTENCIA DE OPERACIÓN (Watts)	PERDIDA POR TRANSMISIÓN (dB)	FORMA DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL
1	100.9	FP001	Matriz	Quito, Tabacundo (Pedro Morcayo), Cayambe, Sangolquí (Rumiñahui), Machachi (Mejía)	Arreglo de 4 radiadores tipo cross dipole cruzado en V	45° - 4.5° - 4.5°	4.5	4200	0.767	Cerro Pichincha Enlace Radioeléctrico

INFORMACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS - ENLACES AUXILIARES											
No.	FRECUENCIA (MHz)	ANCHO DE BANDA (MHz)	TECNOLOGÍA	TIPO DE ENLACE	DISTANCIA (Km.)	GANANCIA DE ANTENAS Tx y Rx (dBd)	Pérdida (dB)	P.E.R. (Watts)	SITIO DE TRANSMISIÓN	SITIO DE RECEPCIÓN	
1	234.7	0.22	Análogica	Estudio principal-Tx	5.75	9	10	1.03	62.66	Estudio Quito	Cerro Pichincha

INFORMACIÓN DE ENLACES AUXILIARES RADIOELÉCTRICOS													
No.	FRECUENCIA (MHz)	ANCHO DE BANDA (MHz)	TECNOLOGÍA	POLARIZACIÓN	TIPO DE ENLACE	DISTANCIA (Km.)	TIPO DE ANTENA	GANANCIA DE ANTENAS Tx y Rx (dBd)	Pérdida (dB)	SITIO DE TRANSMISIÓN	SITIO DE RECEPCIÓN		
1	234.7	0.22	Análogica	Horizontal	Estudio principal-Tx	5.75	Yagi de 6 elementos	9	10	1.03	62.66	Estudio Quito	Cerro Pichincha

DATOS DE LAS UBICACIONES GEOGRÁFICAS						
SITIO	PROVINCIA	CANTÓN	CIUDAD/LOCALIDAD, DIRECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA s.n.m. (m.)
Estudio Quito	Pichincha	Quito	Av. 6 de Diciembre N-16-224 y Patria	00°12'35.60"S	78°29'47.20"W	2820
Cerro Pichincha	Pichincha	Quito	Cerro Pichincha	00°10'00.78"S	78°31'31.00"W	3869

CULTURA FM

**CONCLUSIÓN:** 1.- Este informe es técnicamente factible ya que a la presente fecha existe disponibilidad de frecuencias, las características técnicas y las bandas de frecuencias requeridas cumplen con la Norma Técnica respectiva y con las disposiciones del Plan Nacional de Frecuencias.



Edwin Quel

Ing. Edwin Quirozano Quel Hermosa  
**DIRECTOR TÉCNICO DE SERVICIOS HABILITANTES DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO (E)**



Elaborado por: Ing. Vanessa Garay  
Fecha de realización: 20/02/2017



## RESOLUCIÓN 002-01-ARCOTEL-2015

EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS  
TELECOMUNICACIONES

## ARCOTEL

## CONSIDERANDO:

- Que, en el artículo 142 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones publicada en el Tercer Suplemento del Registro Oficial No. 439, el 18 de febrero de 2015, se crea la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, como entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión; así como de los aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes.
- Que, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, en su artículo 146, establece como competencia del Directorio de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones: "8. Designar a la Directora o Director Ejecutivo de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones de una terna que presente el Presidente del Directorio, y removerlo de ser necesario."
- Que, con oficio ARCOTEL-2015-001 de 28 de febrero de 2015, el Ing. Augusto Espín Tobar en su calidad de Ministro de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información y en ejercicio de las competencias de Presidente del Directorio de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, en los términos previstos en la Disposición Transitoria Sexta de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, convocó a la primera sesión del Directorio de ARCOTEL, del año 2015, a celebrarse en el Edificio Institucional, el 4 de marzo de 2015, con el propósito de tratar entre otros puntos, la "Designación de la o el Director Ejecutivo de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones", para cuyo efecto remitió a los miembros del Directorio la correspondiente terna.
- Que, los miembros del Directorio de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, han procedido a analizar las hojas de vida remitidas en la terna presentada por el señor Presidente del Directorio.

En ejercicio de sus atribuciones:

## RESUELVE:

**Artículo 1.-** Designar a la Ingeniera Ana Vanessa Proaño De la Torre como Directora Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, quien ejercerá las competencias y atribuciones previstas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones y demás normas pertinentes.

**Artículo 2.** Posesionar a la Ingeniera Ana Vanessa Proaño De la Torre como Directora Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

**Artículo 3.** Disponer a la Unidad del Talento Humano de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, formalice la designación de la Ingeniera Ana Vanessa Proaño De la Torre como Directora Ejecutiva de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, a cuyo efecto, previo el cumplimiento de los requisitos y formalidades de ley se expedirá y registrará la correspondiente Acción de Personal.

RESOLUCIÓN 002-01-ARCOTEL-2015



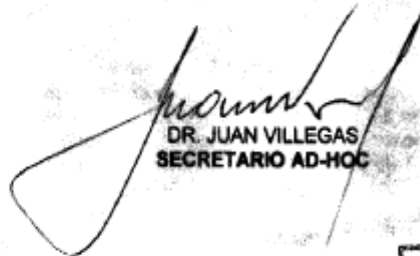
Artículo 4. La presente Resolución entrará en vigencia a partir de su expedición, sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial.

Comuníquese y publíquese.

Dado en el Distrito Metropolitano de Quito, el 04 de marzo de 2015.



ING. ALEXANDRA ALAVA  
PRESIDENTA DEL DIRECTORIO  
AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES



DR. JUAN VILLEGAS  
SECRETARIO AD-HOC

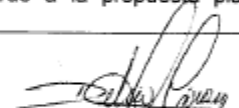


**INFORME TÉCNICO DE DISPONIBILIDAD DE FRECUENCIAS PARA ESTACIONES DE  
RADIODIFUSIÓN SONORA Y DE TELEVISIÓN ABIERTA  
IT-CTDE-2016-0101**

DATOS DE LA SOLICITUD					
CONCESIONARIO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN O SISTEMA	MEDIO DE COMUNICACIÓN SOCIAL	SERVICIO	No. DE TRÁMITE	FECHA DE INGRESO
CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMÍN CARRIÓN"	CULTURA FM	Público	Radiodifusión Sonora FM	ARCOTEL-DEAR-2016-0238-E	25/11/2016

<b>ANÁLISIS:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mediante Resolución No. ARCOTEL-2016-0165 del 19 de febrero de 2015, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones resolvió conformar un equipo de trabajo multidisciplinario que se encargará de la atención de las solicitudes para la adjudicación de frecuencias para la operación de servicios de radiodifusión y televisión, sea a través de concursos públicos, adjudicaciones directas o adjudicaciones temporales.</li> <li>✓ Con Resolución N° 04-03-ARCOTEL-2016 de 28 de marzo de 2016, se aprobó el "REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO", en el cual, se establecen los requisitos y procedimiento para AUTORIZACIONES de frecuencias.</li> <li>✓ Mediante Resolución N° ARCOTEL-2015-061 de 08 de mayo de 2015, se aprobó la actualización de la "Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica".</li> <li>✓ Mediante oficio No. CCE-PN-2016-0122-O ingresado con Quipux N° ARCOTEL-DEAR-2016-0238-E el 25 de noviembre de 2016, la Casa De La Cultura Ecuatoriana "BENJAMÍN CARRIÓN", solicita la autorización de una frecuencias de radiodifusión sonora FM para la instalación y operación de una estación a denominarse "CULTURA FM", matriz de la ciudad de Quito, así como las frecuencias auxiliares de enlace correspondientes.</li> <li>✓ Revisadas las bases de disponibilidad de frecuencias que dispone la ARCOTEL para el servicio de radiodifusión sonora FM, se ha verificado que a la presente fecha, SI existen frecuencias disponibles tanto para salida al aire como para la operación de los enlaces auxiliares solicitados.</li> </ul>
------------------	--

<b>CONCLUSIÓN:</b>	A la presente fecha, SI existe disponibilidad de frecuencias principales y frecuencias auxiliares, de acuerdo a la propuesta planteada para la estación a denominarse "CULTURA FM".
--------------------	---

  
 Ing. Vanessa Garay  
 Elaborado por

Fecha de realización: 12 de diciembre del 2016

12-12-2016  
 15:00  
