



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

**“IMPLEMENTAR UN PROTOTIPO DE ANALIZADOR DE ESPECTRO
RADIOELÉCTRICO UTILIZANDO SISTEMA SDR”**

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TECNOLÓGICO

Para optar al Grado Académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR: JEFERSON JESÚS BARRAGÁN MALDONADO

TUTOR: Dr. HUGO OSWALDO MORENO AVILES

Riobamba-Ecuador

2017

@2017, Jeferson Jesús Barragán Maldonado.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca los Derechos del Autor.

Jeferson Barragán

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica: “IMPLEMENTAR UN PROTOTIPO DE ANALIZADOR DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO UTILIZANDO SISTEMA SDR”, de responsabilidad de Jeferson Jesús Barragán Maldonado, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna		
DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno		
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Dr. Hugo Moreno		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Oswaldo Martínez		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Yo, Jeferson Jesús Barragán Maldonado, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación: “IMPLEMENTAR UN PROTOTIPO DE ANALIZADOR DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO UTILIZANDO SISTEMA SDR”, que fue elaborado en su totalidad por mí persona, bajo la dirección del Doctor Hugo Moreno Avilés, haciéndome totalmente responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

JEFERSON JESÚS BARRAGÁN MALDONADO

DEDICATORIA

Este logro va dedicado con un inmenso amor a mi madrecita María Maldonado luz de mi vida y mi mayor orgullo de igual forma a todos lo que de una manera u otra me apoyó y creyeron en mí.

Jeferson

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme dar un paso muy importante en mi vida y mi Madrecita que siempre estuvo ahí, gracias madre mía por sus consejos y hacer de mi un hombre bien.

Un profundo agradecimiento a mi familia Gaibor Herrera quienes forman parte de mi vida y de este logro, gracias por brindarme ese apoyo incondicional y a toda mi familia que me dieron fuerzas para seguir a usted Doctor Hugo Moreno, por el apoyo brindado para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Y sin hacer de menos a mis amigos/hermanos que siempre nos apoyamos para lograr esta meta gracias por esos consejos esos momentos que siempre se llevara en nuestras mentes que este sea solo un paso más de los muchos que debemos alcanzar.

Jeferson

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	
1.1 Espectro radioeléctrico	6
1.1.1 <i>Definición</i>	6
1.1.2 <i>Distribución</i>	6
1.1.3 <i>Regulación</i>	7
1.2 Analizador de Espectros	8
1.2.1 <i>Definición</i>	8
1.2.2 <i>Clasificación de analizador de espectro</i>	8
1.2.1.1 <i>Analizador de Espectro Analógico</i>	8
1.2.1.2 <i>Analizador de Espectros Digital</i>	8
1.2.3 <i>Funcionamiento de los analizadores de espectro</i>	8
1.2.3.2 <i>Frecuencia</i>	8
1.2.3.3 <i>Amplitud</i>	9
1.2.3.4 <i>SPAN</i>	9
1.2.4 <i>Aplicaciones</i>	9
1.3 Tecnología SDR	9
1.3.1 <i>Inicios de la SDR</i>	9

1.3.2	<i>Definición</i>	10
1.3.3	<i>Funcionalidad de SDR</i>	10
1.4	Tarjeta USRP	11
1.4.1	<i>Definición</i>	11
1.4.2	<i>Funcionamiento</i>	12
1.4.3	<i>Características</i>	13
1.5	Software libre	13
1.5.1	<i>Sistema operativo libre Linux</i>	14
1.6	Plataforma de programación GNU RADIO	14
1.6.1	<i>Definición</i>	14
1.6.2	<i>Funcionamiento de GNU Radio</i>	15

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	
2.1	Estructura general del prototipo	16
2.2	Requerimiento de hardware para el sistema	17
2.2.1	<i>Arquitectura del módulo receptor y convertidor</i>	17
2.2.2	<i>Descripción de los dispositivos seleccionados</i>	18
2.3	Características del software	22
2.3.1	<i>Ubuntu</i>	22
2.3.2	<i>GNU Radio</i>	23
2.4	Instalación del sistema operativo Ubuntu con GNU Radio	23
2.5	Diseño de el algoritmo del analizador de espectro en GNU Radio.	26
2.6	Ensamblaje del prototipo de analizador de espectro	32
2.6.1	<i>Suministro de energía del prototipo</i>	32
2.6.1	<i>Puertos del USRP y del ordenador utilizados para el prototipo.</i>	32
2.6.2	<i>Conexión antena, USRP y ordenador portátil.</i>	33
2.6.2.1	<i>Conexiones de la antena</i>	33

3.6.2.2	<i>Conexión USRP y ordenador</i>	33
---------	--	----

CAPÍTULO III

3.	EVALUACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	
3.1	Funcionamiento	35
3.1.1	<i>Ejecución del analizador de espectro</i>	35
3.1.2	<i>Pruebas de conexión por medio del cable USB con el ordenador</i>	35
3.1.3	<i>Prueba de las funciones del prototipo de analizador de espectro</i>	36
3.1.4	<i>Grafica del Espectro Radioeléctrico</i>	38
3.2	Mediciones	39
3.2.1	<i>Comparación de la potencia en frecuencias de radio y televisión</i>	39
3.2.2	<i>Analizador de espectros ANRITSU</i>	39
3.2.3	<i>Prototipo de Analizador de Espectro</i>	40
3.2.4	<i>Mediciones de la potencia en dB y dBm</i>	41
3.2.5	<i>Comparaciones de medidas para determinar la variación entre los dispositivos</i>	43
3.2.6	<i>Comparaciones de ancho de banda entre el analizador de espectro Anritsu y el prototipo de analizador de espectro</i>	47
3.3	Resultados obtenidos en el prototipo de analizador de espectro	49
3.4	Guía de usuario	50
3.4.1	<i>Características del dispositivo</i>	50
3.4.2	<i>Instalación de la imagen ISO de Ubuntu y GNU Radio</i>	51
3.4.3	<i>Conexiones del equipo</i>	52
3.4.3.1	<i>Conexiones de la antena</i>	52
3.4.3.2	<i>Inicialización del software</i>	52
3.4.3.3	<i>Conexión USRP y ordenador</i>	53
3.4.3.4	<i>Ejecución del analizador de espectro</i>	54

CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Distribución de las bandas de frecuencia.....	6
Tabla 1-2	Tabla de los indicadores led B210 y sus significados.....	18
Tabla 2-2:	Tabla de las conexiones externas B210 y la alimentación respectiva.....	19
Tabal 1-3:	Parámetros de la medición analizador Anritsu.	39
Tabal 2-3:	Parámetros de la medición prototipo de analizador de espectro.....	40
Tabla 3-3:	Resultados de las mediciones de Potencia en dBm y dB de las frecuencias FM.....	41
Tabla 4-3:	Resultados de las mediciones de Potencia en dBm y dB de señales de televisión.....	42
Tabla 5-3:	resultados de las mediciones de Potencia en dBm y dB de operadora Celular....	43
Tabla 6-3:	Mediciones de Potencia en dBm y dB de señal Wifi.....	43
Tabla 7-3:	Mediciones en mW con 40 dB de ganancia en el prototipo de analizador de espectro.....	44
Tabla 8-3:	Mediciones en mW con 20 dB de ganancia en el prototipo de analizador de espectro.	45
Tabla 9-3:	Mediciones en mW con 0 ganancia en el prototipo de analizador de espectro....	46
Tabla 10-3:	Comparación de los anchos de banda de las radios FM.....	47
Tabla 11-3:	Comparación de los anchos de banda de las de las señales de televisión.....	48
Tabla 12-3	Funciones del prototipo del analizador de espectro.	49
Tabla 13-3	Características del prototipo del analizador de espectro.	49
Tabla 14-3	Arquitectura del prototipo del analizador de espectro.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Diagrama de bloques funcionales de SDR.....	11
Figura 2-1:	Universal Software Radio Peripheral.....	11
Figura 3-1:	Fotografía de la tarjeta USRP.....	12
Figura 4-1:	Bloques principales en el sistema de comunicaciones de Software Radio.....	12
Figura 5-1:	Diagrama de bloques del Universal Software Radio Peripheral (USRP).....	13
Figura 6-1:	Arquitectura GNU Radio.....	15
Figura 1-2:	Estructura general del prototipo.....	17
Figura 2-2:	Arquitectura del USRP.....	18
Figura 3-2:	Indicadores led USRP B210.....	19
Figura 4-2:	Ordenador portátil HP.....	20
Figura 5-2:	Antena dipolo simple.....	20
Figura 6-2:	Antena UHF/VHF de alta ganancia.....	21
Figura 7-2:	Antena logarítmica de 400MHz a 1 GHz.....	22
Figura 8-2:	Antena vertical dualband 2.4 – 2.5 y 4.9 – 5.9 GHz.....	22
Figura 9-2:	Herramienta Universal USB Installer.....	24
Figura 10-2:	Menú de arranque del ordenador.....	24
Figura 11-2:	Inicialización del sistema operativo desde la memoria USB.....	25
Figura 12-2:	Pantalla principal de GNU Radio.....	25
Figura 13-2:	Algoritmo diseñado en GNU Radio.....	26
Figura 14-2:	Asignación del título y autor al proyecto.....	27
Figura 15-2:	Definición de la frecuencia de muestreo.....	27
Figura 16-2:	Parámetros de la fuente.....	28
Figura 17-2:	Parámetros de la fuente de RF.....	28
Figura 18-2:	Parámetros de la variable frecuencia.....	29
Figura 19-2:	Parámetros de la variable ganancia.....	30
Figura 20-2:	Parámetros del bloque throttle.....	30
Figura 21-2:	Parámetros del bloque SPAN.....	31
Figura 22-2:	Parámetros del sumidero FFT.....	32

Figura 23-2:	Puertos utilizados para ensamblaje del prototipo.	33
Figura 24-2:	Conexión antena y USRP.	33
Figura 25-2:	Conexión USRP y el ordenador por medio cable USB.	34
Figura 26-2:	Conexión física del prototipo.	35
Figura 1-3:	Inicialización del analizador de espectro.	36
Figura 2-3:	Comunicación correcta USRP – ordenador.	36
Figura 3-3:	Funciones del prototipo de analizador de espectro.	36
Figura 4-3:	Espectro radioeléctrico del canal 13 mostrado en el prototipo.....	38
Figura 5-3:	Grafica del espectro en el analizador Anritsu.....	40
Figura 6-3:	Grafica del espectro en el Prototipo.	40
Figura 7-3:	Creación de USB live con la herramienta Universal USB Installer.....	51
Figura 8-3:	Conexión antena y USRP.....	52
Figura 9-3:	Menú de arranque del ordenador.....	52
Figura 10-3:	Inicialización del sistema operativo desde la memoria USB.....	53
Figura 11-3:	Conexión USRP y el ordenador por medio cable USB.....	53
Figura 12-3:	Inicialización del analizador de espectro.....	54
Figura 13-3:	Funciones del prototipo de analizador de espectro.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET DE LA USRP B210

ANEXO B: CÓDIGO PYTHON DEL ALGORITMO DEL PROTOTIPO DEL ANALIZADOR DE ESPECTRO.

ANEXO C: FOTOGRAFÍAS DE MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR ANRITSU Y EL PROTOTIPO.

ANEXO D: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

FFT:	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
SPAN:	Ventana de visualización horizontal
SDR:	Software Defined Radio (Radio Definido por Software)
USRP:	Universal Software Radio Peripheral
ESPOCH:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
MHz:	Megahercios (unidad de media)
GHz:	Gigahercios (unidad de media)
USB:	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)
KHz:	Kilohercios (unidad de medida)
VLF:	Very Low Frecuencias (Frecuencias muy bajas)
LF:	Low Frecuencias (Frecuencias bajas)
MF:	Medium Frecuencias (Frecuencias medias)
HF:	High Frecuencias (Frecuencias altas)
VHF:	Very High Frecuencias (Frecuencias muy altas)
UHF:	Ultra High Frecuencias (Frecuencias ultra altas)
SHF:	Super High Frecuencias (Frecuencias superaltas)
EHF:	Extra High Frecuencias (Frecuencias extra altas)
dBm:	Decibel miliwatt (unidad absoluta)
RF:	Radio Frecuencia
IF:	Intermediate Frequency (Frecuencia Intermedia)
ADC:	Conversión Analógica – Digital
DAC:	Conversión Digital – Analógica
DDC:	Convertidor Digital de Bajada
DUC:	Convertidor Digital de Subida
FPGA	Field Programmable Gate Array (Matriz de Puertas Programables)
FM:	Frequency Modulation (Frecuencia Modulada)
TV:	Televisión
GPS:	Global Position Sistem (Sistema de Posicionamiento Global)
Wifi:	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica).
ISM:	Industrial, Scientific and Medical (Industria Científica y Médica)
RFIC:	Radio Frequency Identification (Identificación por Radiofrecuencia)

TX:	Trasmisor
RX:	Receptor
SMA:	SubMiniature version A (Sub Miniatura versión A)
MIT:	Massachussets Institute of Technology (Instituto de Tecnología Massachussets)
FSF:	Free Software Fundation (Fundación de software libre)
SWIG:	Simplified Wrapper and Interface Generator
TR/RX:	Transmisor y Receptor
V:	Voltaje
A:	Amperios
Max.:	Máximo
RAM:	Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)
DTV:	Televisión Digital
Ohm:	Unidad de resistencia eléctrica
cm.:	Centímetros
PCB:	Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impreso)
dBi:	Decibeles isotrópico
ISO:	Archivo Estándar ISO 9660
GNU:	GNU is Not Unix
dB:	Decibelio (unidad relativa)

RESUMEN

El trabajo de titulación tuvo como objetivo la implementación de un prototipo de analizador de espectro radioeléctrico utilizando sistema Radio Definido por Software (SDR), el cual está orientado a la necesidad de instituciones públicas y privadas enfocadas en las telecomunicaciones dando realce en la educación superior para un mejor desempeño de sus educadores. Para la implementación de este prototipo se diseñó el algoritmo para el funcionamiento del analizador en el software libre GNU Radio el cual fue efectuado en el sistema operativo Ubuntu, este algoritmo fue implementado en la tarjeta USRP B210, la misma se acopló a un ordenador portátil mediante los puertos USB 3.0 de la tarjeta y el ordenador, este prototipo trabaja en el rango de frecuencias de 70 MHz a 6 GHz debido al rango de trabajo de la tarjeta USRP, para una mejor visualización y manipulación del espectro radioeléctrico posee las opciones de: frecuencia central, ganancia, número de divisiones por decibelios y nivel de referencia de la gráfica. Para la correcta lectura de las gráficas existe la opción de Max Hold para los picos máximos, Promedio (Average) que permite tener los promedios de la señal recibida dando así una funcionalidad básica para entrenamiento de educadores y educandos en los centros educativos. Así también, se plasmó la comparación con el analizador comercial, obteniéndose una variación de alrededor de 0,0045 mW en referencia a potencia y un error del 15,7% con respecto al ancho de banda con el prototipo implementado. Se concluye que el prototipo permite visualizar el espectro de una frecuencia determinada, así como su manipulación para una mejor lectura. Se recomienda que se trabaje sólo con pares entre 8 y 512 en el SPAN, por temas de eficiencia, potencias de 2 para algoritmos como FFT.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>. <TELECOMUNICACIONES>, <RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE (SDR)>, <ANALIZADOR DE ESPECTRO>, < ESPECTRO RADIOELÉCTRICO >, <SOFTWARE LIBRE>, <GNU RADIO (SOFTWARE)>.

ABSTRACT

The objective of the titling work was to implement a prototype of a radio spectrum analyser using the Software Defined Radio (SDR) system, which is oriented to the need of public and private institutions focused on telecommunications, enhancing higher education for better performance of their educators. For the implementation of this prototype an algorithm was designed for the operation of the analyser in the free software GNU Radio which was carried out in the Ubuntu operating system, this algorithm was implemented in the USRP B210 card, it is coupled to a laptop using the USB 3.0 ports of the card and the computer, this prototype works in the frequency range of 70 MHz to 6 GHz due to the working range of the USRP card, for a better visualization and manipulation of the radio electric spectrum it has the options of: central frequency, gain, number of divisions per decibel and reference level of the graph. For the correct reading of the graphs there is the option of Max Hold for the maximum peaks, Average that allows to have the averages of the received signal thus giving a basic functionality for training educators and educated in the educational centres. Likewise, the comparison was made with the commercial analyser, obtaining a variation of around 0.0045 mW and an error of 15.7% in terms of bandwidth with the prototype implemented. It is concluded that the prototype allows to visualize the spectrum of a certain frequency, as well as its manipulation for a better reading. It is recommended that the SPAN takes values with multiples of 8 to 512 by reference to the decimation rate.

KEY WORDS: TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING, TELECOMMUNICATIONS, SOFTWARE DEFINED RADIO (SDR), SPECTRUM ANALYZER, RADIOELECTRIC SPECTRUM, FREE SOFTWARE, GNU RADIO (SOFTWARE)

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones desde sus inicios han sido un eje fundamental en la vida cotidiana de nuestra sociedad ya sea esta una comunicación de forma directa sin el uso de un medio, así como una comunicación compleja donde se usa el espectro radioeléctrico esto ha permitido que la humanidad tenga un desarrollo tecnológico y económico importante con el avance del tiempo, ya que por medio de este sistema se logra estar en contacto en lugares remotos en pocos minutos ya sea por diversas razones con una comunicación móvil, internet o vía satélite permitiendo optimizar tiempo y recurso económicos.

Para la corrección de fallas, así como verificar el correcto funcionamiento en las transmisiones de los sistemas de comunicación surgen los analizadores de espectro que permiten representar las componentes espectrales de una determinada señal a partir de su transformada de Fourier y así poder manipular una determinada frecuencia y verificar si su potencia en la cual se está irradiando es la adecuada para que la misma no afecte a otro sistema de comunicación adyacente a su frecuencia de trabajo de la misma forma con esto se busca confirmar que estas irradiaciones no sobre pasen los límites de potencia que puedan afectar al ser humano.

Siendo uno de los mejores dispositivos para la representación gráfica del espectro radioeléctrico y su uso es con fines de estudio o de trabajo son muy costosos por esta razón se busca medios alternativos para la implementación de este dispositivo como es el sistema Radio Definido por Software (SDR) el cual se basa en usar un dispositivo analógico y el mismo funcione en conjunto con un software libre instalado en un ordenador, que como inicios es el proyecto militar estadounidense SpeakEasy donde se buscó transmitir 10 tipos de tecnologías de comunicaciones inalámbricas en un equipo programable.

Es por esta razón nace este proyecto de implementar un prototipo de analizador de espectro basado en sistema de Radio Definida por Software es así como se diseñó el algoritmo para este prototipo en el software libre GNU Radio el mismo que su funcionalidad con mayor eficiencia se da en la plataforma Ubuntu una de las distribuciones de Linux conectando por medio de USB al ordenador para que el algoritmo sea implementado.

Dando como resultado un prototipo funcional permitiendo elegir una frecuencia central y la misma poder ser manipulada a través de sus funciones como es: ganancia, número de divisiones por dB y nivel de referencia de la gráfica, para una correcta lectura de las gráficas se cuenta con la opción de Max Hold para los picos máximos, Average que permite tener los promedios de la señal.

ANTECEDENTES

En la evolución de las telecomunicaciones inalámbricas han aparecido diversas tecnologías para el intercambio de información entre dos puntos distantes, con requisitos cada vez más exigentes. Las incompatibilidades entre las diferentes tecnologías han supuesto un problema a la hora de reutilizar equipos o prestar determinados servicios, como por ejemplo los terminales de telefonía móvil. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, pp.11)

El Radio Definido por Software SDR surge para solucionar estos inconvenientes de compatibilidad e interoperabilidad, definiendo un conjunto de procedimientos y técnicas orientadas a realizar el procesamiento de señales radio por medio de un dispositivo de propósito general, el cual puede ser modificado mediante software logrando así un cambio dinámico, automático y eficiente entre tecnologías sin tener que incurrir en costes, de ahí surge la necesidad de diseñar un dispositivo capaz de entregar en banda base, o *low IF*, la señal radio para su procesamiento digital, incluso si la señal es analógica. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, pp.11)

Con el tiempo surge la empresa Matt Ettus para facilitar la Universal Software Radio Peripheral (USRP). Como parte de esta herramienta aparece el software libre GNU Radio. Así, sus iniciaciones se dan en el 2001 software libre para crear herramientas que accedan a procesar señales para transferir al aire, así como para recibir señales y ser procesadas en una señal digital para facilitar su visualización como su manejo.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los analizadores de espectro son equipos indispensables en la formación profesional del estudiante de Ingeniería en Telecomunicaciones, pero muchas de las instituciones de educación superior públicas y privadas en el Ecuador no está en la capacidad adquirir analizadores de espectros debido a sus altos costos. Para cubrir esta necesidad se puede montar un analizador de espectro con un sistema SDR de bajo costo que puede llegar a funcionar al mismo nivel de un analizador de espectro comercial.

Con este tipo de dispositivos a más de ser utilizados en entidades de regulación de las telecomunicaciones también tienen gran utilidad en el sector de la educación ya que este tipo de sistema permitirá en la formación de nuevos profesionales en el ámbito de las telecomunicaciones.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué características técnicas y operativas debe tener el analizador de espectro?

¿Cómo realizar el software para el funcionamiento de las tarjetas USRP?

¿Cómo determinar si el sistema SDR funciona al mismo nivel que un analizador de espectro?

¿Cómo determinar el software libre para cumplir los requerimientos del sistema?

¿Cómo realizar los correctos enlaces entre las tarjetas USRP y la computadora para formar un óptimo sistema SDR?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad el uso de los analizadores de espectros ha sido poco frecuente pero muy útiles ya sea para el ámbito profesional o en la educación superior con mucho énfasis en el área de las telecomunicaciones, esto se da porque su adquisición es costosa convirtiéndose en una problemática para el avance tecnológico y formación de profesionales.

Siendo así nace la iniciativa de este proyecto está orientado en la necesidad de instituciones públicas y privadas enfocadas en las telecomunicaciones dando realce en la educación superior para un mejor desempeño de sus educadores y así puedan impartir a sus alumnos, se realizara la implementación de un analizador de espectros alternativo en base a tarjetas USRP las cuales son de bajo costo y existentes en la ESPOCH que conjuntamente con un software libre, la plataforma GNU RADIO dan origen a un sistema SDR que es un radio en el cual algunas o todas las operaciones de la capa física son realizadas por software.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La implementación del analizador de espectro requiere de tarjetas USRP que tienen un rango de operación desde 70 MHz hasta los 6 GHz, estas serán conectadas a la computadora mediante puertos USB y con su software libre para aplicar GNU RADIO siendo este una interfaz de comunicación donde podremos mostrar la gráfica del espectro recibido.

Es importante además la configuración del sistema para que cumpla la función requerida, adecuando así al sistema planteado, además de diferentes tipos de software utilizados para la administración, control y monitoreo de las características propias del analizador de espectro teniendo cuenta las dependencias que pueden existir al utilizar un sistema operativo Linux a usar un sistema operativo Windows.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un prototipo de analizador de espectro radioeléctrico utilizando sistema SDR.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar la operación y funcionamiento del analizador de espectro para determinar su arquitectura funcional y cualidades propias del sistema.
- Construir un prototipo de analizador de espectro radioeléctrico que permita la selección de la frecuencia central, SPAN y recepción de señales sin interferencia.
- Diseñar el algoritmo de software para la implementación del analizador
- Implementar el algoritmo en el sistema SDR.
- Evaluar y comprobar la recepción de las señales del espectro electromagnético y realizar las pruebas necesarias para verificar su funcionamiento.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Espectro radioeléctrico

1.1.1 Definición

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 300 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial. El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. Dentro de este contexto, La legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible. [Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>].

1.1.2 Distribución

El espectro radioeléctrico se distribuye de acuerdo a las necesidades de los servicios de telecomunicaciones, es así que se divide en bandas que va desde los 3 KHz llegando hasta los 300 GHz estas asignaciones evita las interferencias y brindan los requerimientos para cada uno del servicio como se muestra en la tabla 1-1.

Tabla 1-1: Distribución de las bandas de frecuencia.

Banda	Rango de Frecuencias	Servicios
VLF (VERY LOW FRECUENCIES / Frecuencias muy bajas)	10 KHZ a 30 KHZ	Enlaces de radio a grandes distancias

Continuará...

LF (LOW FRECUENCIAS / <i>Frecuencias bajas</i>)	30 KHZ a 300 KHZ	Enlaces de radio para la navegación aérea y marítima
MF (MEDIUM FRECUENCIAS / <i>Frecuencias medias</i>)	300 KHZ a 3 MHZ	Radiodifusión
HF (HIGH FRECUENCIAS / <i>Frecuencias altas</i>)	3 MHZ a 30 MHZ	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia
VHF (VERY HIGH FRECUENCIAS / <i>Frecuencias muy altas</i>)	30 MHZ a 300 MHZ	Enlaces de radio a corta distancia, Televisión, Frecuencia modulada
UHF (ULTRA HIGH FRECUENCIAS / <i>Frecuencias ultra altas</i>)	300 MHZ a 3 GHZ	Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, Televisión
SHF (SUPER HIGH FRECUENCIAS / <i>Frecuencias superaltas</i>)	3 GHZ a 30 GHZ	Radar, Enlaces de radio
EHF (EXTRA HIGH FRECUENCIAS / <i>Frecuencias extra altas</i>)	30 GHZ a 300 GHZ	Fijo por satélite, Entre satélites, Radionavegación, Móvil, Radioastronomía

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Fuente: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2012, Cuadro de Frecuencias.

1.1.3 Regulación

El Estado, a través del Gobierno Central tiene competencias exclusivas sobre el espectro radioeléctrico y el régimen general de telecomunicaciones. Dispone del derecho de administrar, regular y controlar los sectores estratégicos de telecomunicaciones y espectro radioeléctrico, lo cual incluye la potestad para emitir políticas públicas, planes y normas técnicas nacionales, de cumplimiento en todos los niveles de gobierno del Estado. [Ley orgánica de telecomunicaciones, 2015, art.17, <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Organica-de-Telecomunicaciones.pdf>]

Es la 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. [Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, <http://www.arcotel.gob.ec/la-arcotel/>]

1.2 Analizador de Espectros

1.2.1 Definición

Dispositivo de medición que facilita la visualización del espectro de la frecuencia de una señal que transita por el medio de propagación ya sea el aire o un medio conductor, con este dispositivo se obtiene información que no se logra con un osciloscopio ya que este solo trabaja en dominio del tiempo.

1.2.2 Clasificación de analizador de espectro

1.2.1.1 Analizador de Espectro Analógico

Estos analizadores de espectro se basan en el uso de filtros pasa banda de frecuencia selectiva dando como opción su frecuencia central a elegir dentro de una serie de frecuencias, existe de igual forma analizadores analógicos que usan un banco de filtros donde su oscilador local realiza un barrido de una escala de frecuencias, así como lo hace un receptor superheterodino que también es usado en estos tipos de analizadores.

1.2.1.2 Analizador de Espectros Digital

Con la evolución de la tecnología se ha podido fusionar la electrónica con procesos matemáticos, es por ello que en los analizadores digitales se usa el proceso matemático de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) permitiendo desglosar una señal en sus componentes espectrales para de esta forma poder ser visualizados.

1.2.3 Funcionamiento de los analizadores de espectro

1.2.3.2 Frecuencia

Es un parámetro principal en un analizador de espectros ya que mediante esta función se determina la frecuencia central o un rango de frecuencias de una señal para qué las misma sea tratada y se pueda visualizar su espectro.

1.2.3.3 Amplitud

Se encarga de mostrar en pantalla los niveles de potencia que existe en una señal de la misma forma con esta función se puede modificar el eje de la potencia para una mejor visualización con sus divisiones por dBm, dBv, dBW etc.

1.2.3.4 SPAN

Parámetro que se utiliza para modificar la señal aumentando o disminuyendo las frecuencias visualizadas en pantalla, con esto ayuda a una mejor lectura del ancho de banda de una señal.

1.2.4 Aplicaciones

Son múltiples las aplicaciones que se realizan con este instrumento de medición entre las cuales esta medir parámetros de las señales de radio frecuencia como la distorsión de la señal, modulación, pureza espectral, estabilidad de frecuencia y distorsión de la modulación de interferencia-transversal, interferencias, nivel de potencia, ancho de banda.

1.3 Tecnología SDR

1.3.1 Inicios de la SDR

La primera implementación importante del concepto SDR fue en el proyecto militar estadounidense SpeakEasy, cuyo objetivo era implementar más de 10 tipos de tecnologías de comunicaciones inalámbricas en un equipo programable, operando en la banda de frecuencias de 2MHz a 200MHz. El problema fue que únicamente se podía realizar una comunicación a la vez, por lo cual se trabajaron en aspectos como disminución de peso y costo, incremento en su capacidad de procesamiento, simultaneidad de comunicaciones o diseño basado en arquitecturas de software libre obteniendo así importantes resultados que llevaron a la producción del dispositivo diseñado, el cual trabajó en el rango de 4 MHz a 400 MHz. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, p.12)

1.3.2 Definición

Sistema de radiocomunicación donde la mayor parte de los componentes necesarios se implementan en software en lugar de en hardware. Al utilizar esta tecnología, se implementa un receptor Zero-IF o low-IF configurable de tal manera que puede utilizarse para diseñar distintos componentes como mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores/demoduladores y detectores entre otros e incluso sistemas de comunicaciones siendo sus parámetros configurables dinámicamente y por consiguiente aportando una gran flexibilidad a la hora de realizar un sistema de radiocomunicación. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, p.11)

1.3.3 Funcionalidad de SDR

La sección de RF, también denominada RF *Front-End* o cabecera de RF, es la encargada de transmitir/recibir las señales de radiofrecuencia para adecuarlas y convertirlas en frecuencia intermedia en recepción o amplificar y modular las señales de IF en el caso de transmisión. La frecuencia intermedia puede ser 0, dando lugar al concepto de *Zero-IF*; el cual es posible gracias a los avances en los componentes hardware. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, p.13)

De igual manera, la sección de IF se encarga de pasar la señal de IF a banda base y digitalizarla en recepción o pasar la señal de banda base a IF y hacer la conversión digital – analógica de la señal en el caso de la transmisión. Las encargadas de la conversión analógica – digital o digital-analógica de la señal son los módulos ADC/DAC. A su vez, se insertan los módulos DDC/DUC para poder bajar/subir, respectivamente, la tasa de muestreo en el sentido de recepción/transmisión, consiguiendo que la tasa de muestras por la interfaz entre IF y banda base sea inferior tal como se muestra en la figura 1-1. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, p.13)

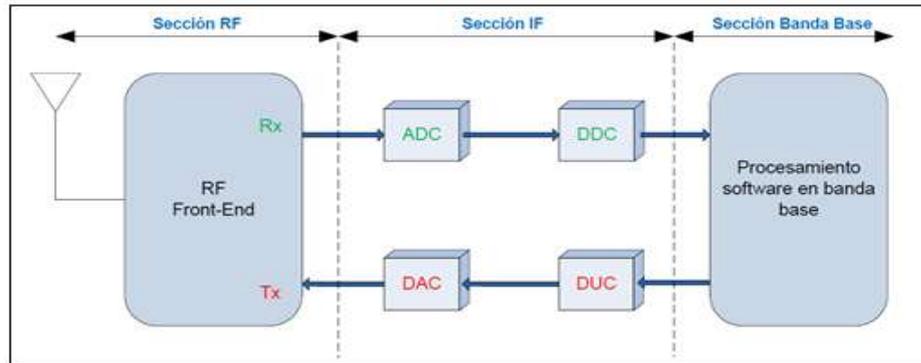


Figura 1-1: Diagrama de bloques funcionales de SDR

Fuente: Pinar Domínguez Iván; & Murillo Fuentes Juan José, 2011, p.13.

1.4 Tarjeta USRP

1.4.1 Definición

Universal Software Radio Peripheral es un periférico del fabricante Ettus Research diseñado para trabajar en conjunto con un procesador externo (PC, Workstation) a través de una FPGA y permite la realización de *software radios*. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, p.17)

Para este trabajo se utiliza la USRP versión B210 la cual existen en el laboratorio de la escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes el entorno físico se lo puedo apreciar en la figura 2-1 de la misma su aspecto interno en la figura 3-1.



Figura 2-1: Universal Software Radio Peripheral.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

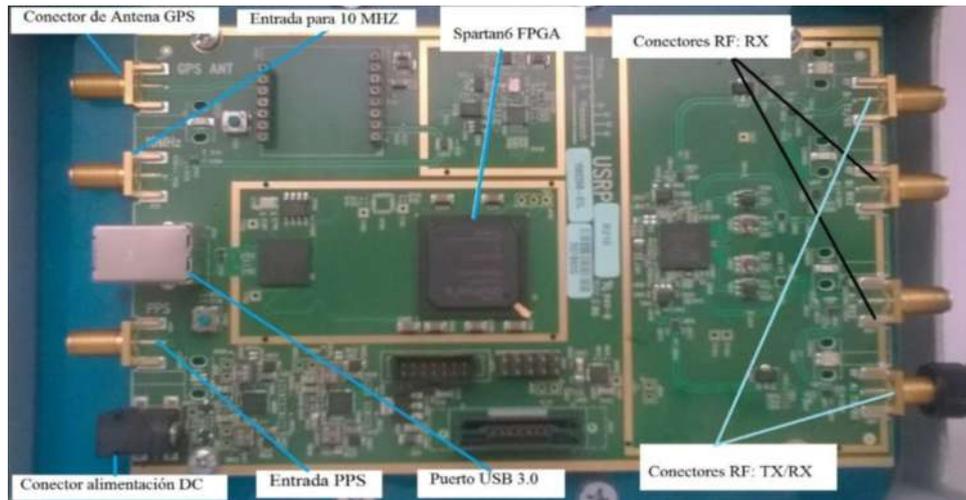


Figura 3-1: Fotografía de la tarjeta USRP

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

1.4.2 Funcionamiento

El USRP realiza las funciones de llevar la señal a banda base de RF a través de la sección de IF y viceversa. La interfaz USB permite comunicar al USRP con el ordenador que realizará el procesamiento software tal como se muestra en la figura 4-1. El ordenador puede ser un ordenador personal, un ordenador portátil, una estación de trabajo, etc. En general un ordenador que soporte sistema operativo Linux, MAC OS o Windows. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, p.18)

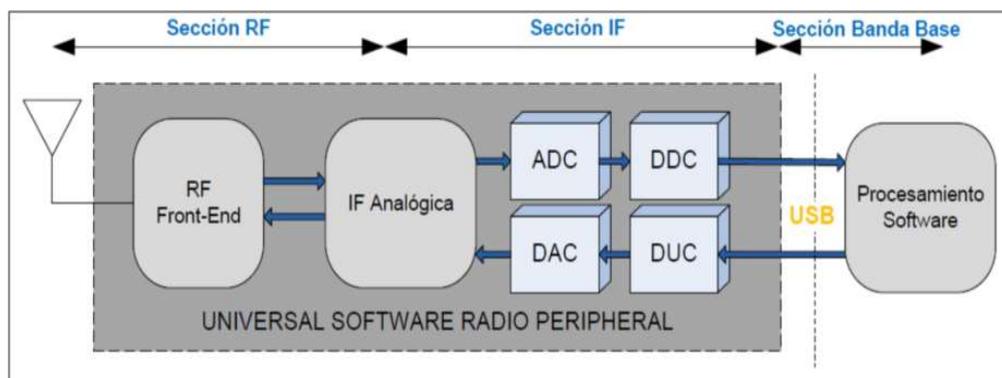


Figura 4-1: Bloques principales en el sistema de comunicaciones de Software Radio

Fuente: Pinar Domínguez Iván & Murillo Fuentes Juan José, 2011, p.18

1.4.3 Características

La tarjeta USRP es un dispositivo de un tamaño que facilita su traslado, este dispositivo cuenta con muchas aplicaciones para su implementación trabajando con su alimentación mediante el puerto USB 3.0 que es conectado a un ordenador siendo lo suficiente para que trabaje de forma normal la reacción o envío de señales lo hace mediante los puertos Rx y Tx/Rx que son para conexiones SMA.

Su procesador Spartan 6 tiene una gran velocidad en el procesamiento de datos con la ayuda de un ancho de banda hasta los 56 MHz en cada uno de sus puertos en cuanto al rango de frecuencias que se pueden usar es de 70 MHz a 6GHz.

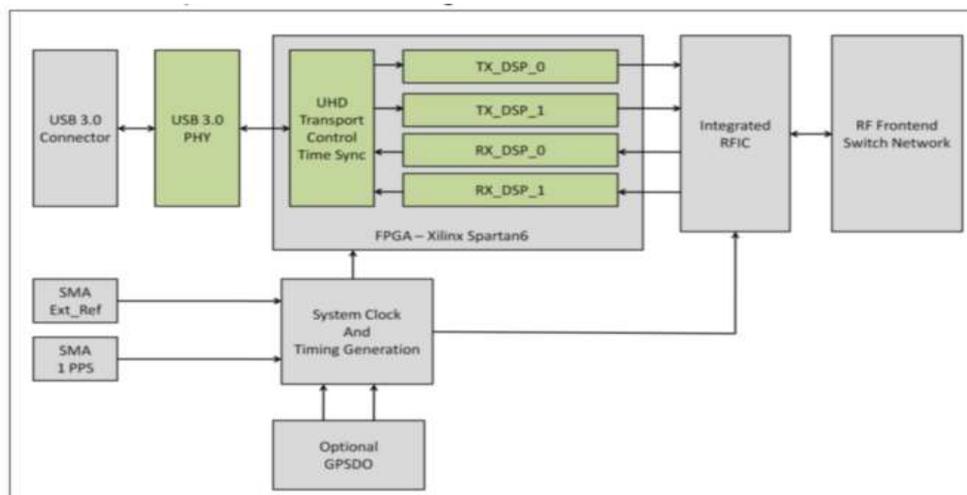


Figura 5-1: Diagrama de bloques del Universal Software Radio Peripheral (USRP)

Fuente: (Ettus Research, https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf)

1.5 Software libre

Todo se remonta a la década de los 70. Richard Stallman era un joven estudiante de Harvard que combinaba sus estudios con un trabajo en el laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT (Massachusetts Institute of Technology). (González, 2004, p.9) Mientras intentaba adaptar los controladores a las necesidades del laboratorio se le presentó el inconveniente del código fuente el cual no fue proveído por la casa distribuidora y al pedir este código se le fue negado.

A partir de entonces, Stallman comenzó a predicar que todo software que se distribuyese debería venir acompañado de su código fuente, de forma que el usuario pudiera adaptarlo a sus necesidades. De esta forma es como se convirtió en uno de los fundadores de la FSF (Free Software Foundation) y de GNU (GNU's Not Unix). El resto, como se suele decir, es historia.). (González, 2004, p.9)

El error más común de concepción sobre el software libre proviene de la ambigüedad del vocablo anglosajón free, que significa tanto “libre” como “gratis”. Así pues, es habitual (y comprensiva) la confusión que la expresión free software puede generar. Aclarémosla; el software libre es un asunto de libertad y no de precio. (González, 2004, p.9)

Hablamos de software libre cuando queremos referirnos a la libertad que tiene un usuario para modificar, copiar, distribuir y modificar un software sin que ninguna compañía o individual pueda emprender acciones legales contra él. (González, 2004, p.9)

1.5.1 Sistema operativo libre Linux

Linux es un sistema operativo de libre distribución creado por Linux Torvalds, entregado a la comunidad de software libre y desarrollado por la misma. Es uno de los “buques insignia” dentro de la filosofía del software libre. Este sistema operativo posee un gran volumen de desarrolladores y es muy reconocido a nivel mundial. Una de las principales ventajas que ofrece Linux a los ordenadores es la robustez. Este sistema operativo da muchos menos problemas que otros más famosos, además de ser inmune a los virus comunes. (Martínez, p.23)

1.6 Plataforma de programación GNU RADIO

1.6.1 Definición

GNU Radio es un conjunto de archivos y aplicaciones agrupadas en librerías, que permiten manipular señales mediante procesado digital. Mediante estas librerías se puede realizar el diseño de sistemas radio definidos por software si se conecta el ordenador a un SDR. También se puede trabajar con la tarjeta de audio, por ejemplo. GNU Radio corre sobre sistemas operativos (SO) GNU/Linux como Ubuntu. También es posible la instalación en Mac y Windows, algo más complejo en éste último SO utilizando la herramienta Cygwin, cuyo

objetivo es portar software de sistemas POSIX7 a Windows. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, p.30)

1.6.2 Funcionamiento de GNU Radio

Para construir un sistema de radio con GNU Radio se debe crear un grafo, donde los nodos son bloques de procesamiento de señal y los enlaces entre nodos representan el flujo de datos entre ellos. Los bloques de procesamiento de señal son implementados en C++ y portados a Python a partir del programa SWIG (Simplified Wrapper and Interface Generator), es decir, para implementar los diseños se crearán los módulos en Python que a su vez se apoyan en los bloques implementados en C++. Las interacciones entre los diferentes niveles de GNU Radio aparecen en la figura 6-1. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, pp.30- 31)

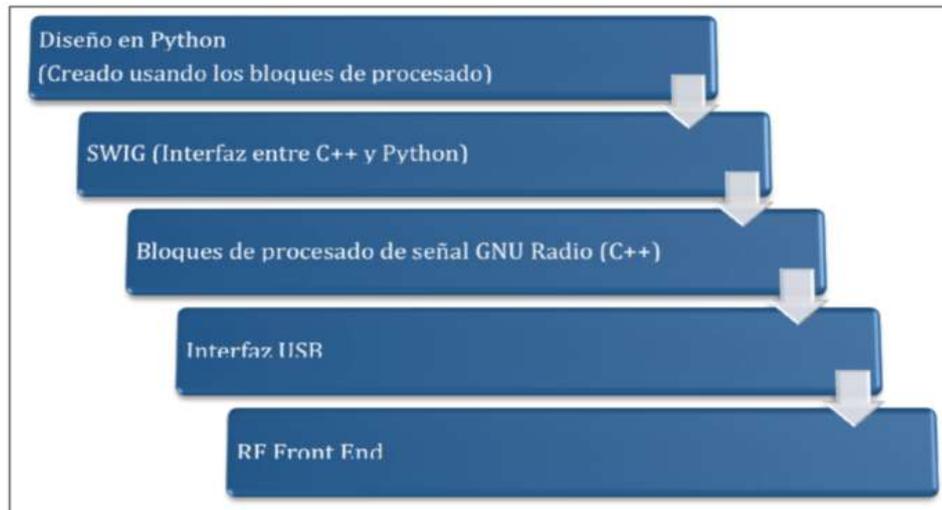


Figura 6-1: Arquitectura GNU Radio

Fuente: Pinar Domínguez Iván & Murillo Fuentes Juan José, 2011, p. 31

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Comprendido el funcionamiento y la arquitectura de un analizador de espectro en este capítulo se presentará la idea general para el prototipo de un analizador de espectro basado en sistema SDR, detallando los requerimientos de hardware y software para su implementación de igual forma se puntualizará el algoritmo que será programado en GNU Radio para luego ser implementado en la tarjeta USRP.

2.1 Estructura general del prototipo

El concepto general del prototipo se muestra en la Figura 1-2 donde está constituido de tres partes fundamentales la primer es la antena la que puede ser de una banda, multi-banda o tri-banda dependiendo la frecuencia que se desee procesar siempre y cuando posea conexión por cable Sub Miniatura versión A (SMA), para que la frecuencia pueda sea visualizada en el GNU Radio deberá ser procesada por FPGA Spartan6 el cual convierte la señal analógica en digital, que se encuentra ubicada la tarjeta USRP, esta señal ya convertida será representada mediante la plataforma de programación GNU Radio instalada en el sistema operativo Ubuntu del ordenador portátil.

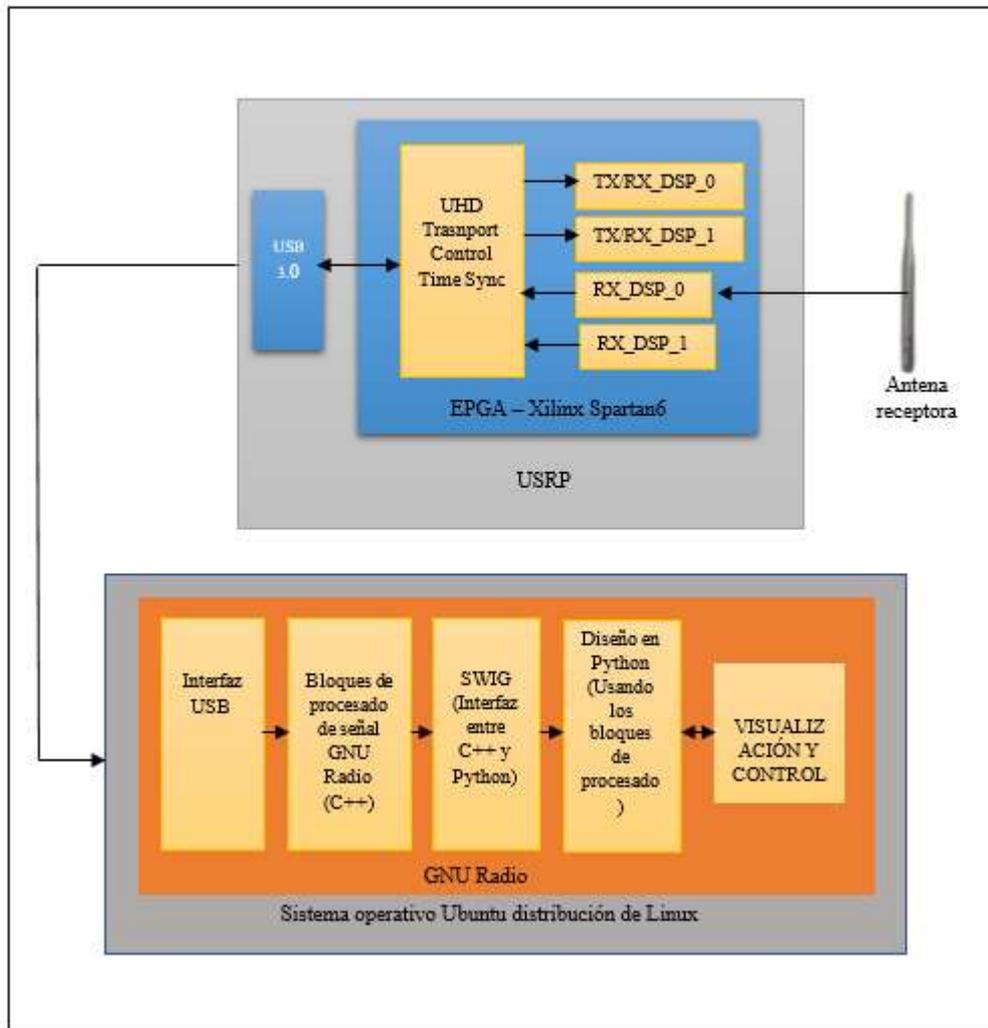


Figura 1-2: Estructura general del prototipo

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

2.2 Requerimiento de hardware para el sistema

2.2.1 Arquitectura del módulo receptor y convertidor

Esta arquitectura es representada en la figura 2-2 que consta de la recepción de la señal por medio de la etapa de radio frecuencia (RF), esta señal es analógica como parte del espectro radioeléctrico la cual se procede a la conversión de analógica digital (A/D) y en la FPGA se procesa la señal digital para reducir la tasa de muestras para que la misma sea enviada por medio de cable USB al puerto USB del ordenador.

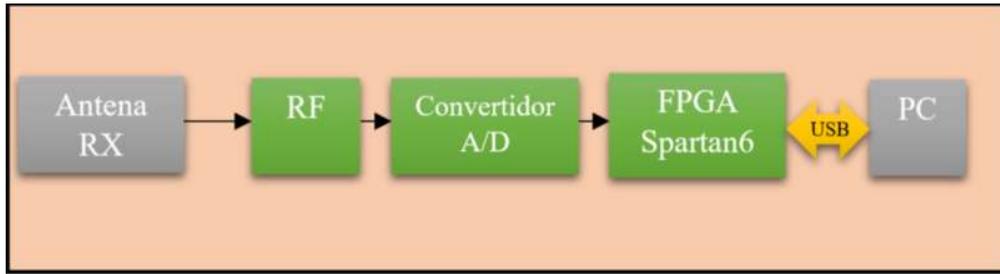


Figura 2-2: Arquitectura del USRP

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

2.2.2 Descripción de los dispositivos seleccionados

USRP B210: Una de las últimas versiones lanzadas por Ettus Research la cual trabaja desde los 70 MHz hasta los 6 GHz y con ancho de banda analógico variable (200 kHz - 56 MHz), su mejorado procesador FPGA Spartan6 hace que este hardware sea de mayor utilidad en el procesamiento de las señales del espectro radioeléctrico en la tabla 1-2 y la tabla 2-2 se muestran indicadores y conexiones respectivamente.

Tabla 1-2: Tabla de los indicadores led B210 y sus significados.

Descripción	Detalles
<i>Led de encendido</i>	apagado = ninguna potencia aplicada rojo = Potencia externa aplicada azul = Potencia USB aplicada
<i>Led del canal 2 RX2</i>	apagado = ninguna potencia aplicada verde = recepción
<i>Led del canal 2 TX/RX</i>	apagado = sin actividad verde = recepción rojo = Transmitiendo tomate = conmutación entre transmisión y recepción
<i>Led del canal 1 TX/RX</i>	apagado = sin actividad verde = recepción rojo = Transmitiendo tomate = conmutación entre transmisión y recepción
<i>Led del canal 1 RX2</i>	apagado = ninguna potencia aplicada verde = recepción
<i>Indicador de bloqueo GPS</i>	apagado = sin bloqueo verde = bloqueo

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Fuente: (Ettus Research, https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf)

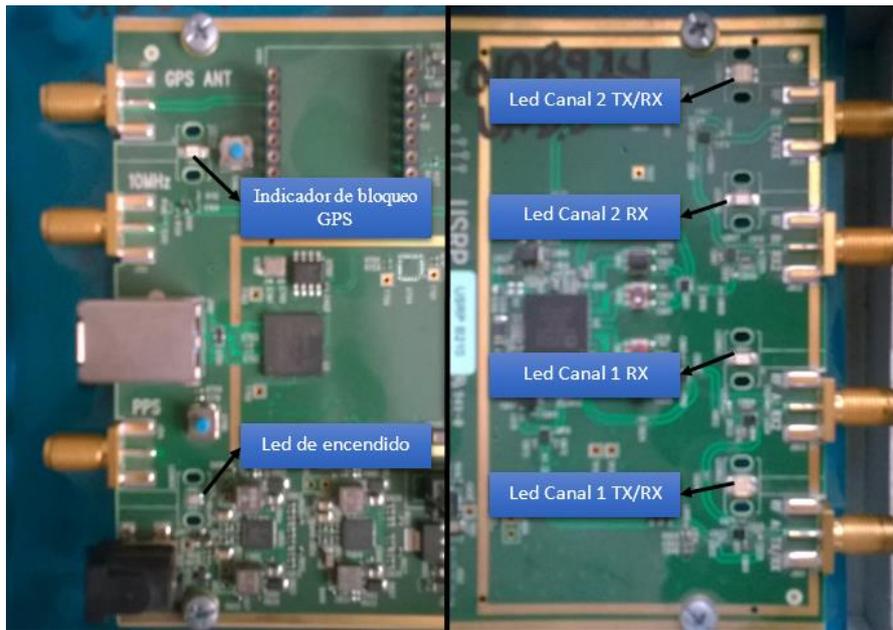


Figura 3-2: Indicadores led USRP B210

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

En la figura 3-2 se muestra la ubicación del led de encendido, así como el led del canal 2 RX2, canal 2 TX/RX, canal 1 TX/RX, canal 1 RX2 y su indicador de bloqueo GPS estas indicaciones son de gran ayuda al momento de las respectivas conexiones como también cuando se trabaja con la recepción o envío de frecuencias del espectro radioeléctrico.

Tabla 2-2: Tabla de las conexiones externas B210 y la alimentación respectiva.

Descripción	Detalles
<i>Poder externo</i>	6 V / 3 A
<i>Conector USB</i>	USB 3.0
<i>Entrada de PPS externa</i>	1.8V - 5V
<i>Antena GPS</i>	GPSDO suministrará voltaje nominal a la antena.
<i>Entrada externa de 10 MHz</i>	+15 dBm máx.
<i>RF B: TX / RX</i>	Potencia TX + 20dBm máx. Potencia RX -15dBm máx.
<i>RF B: RX2</i>	Potencia RX -15dBm máx.
<i>RF A: RX2</i>	Potencia RX -15dBm máx.
<i>RF A: TX / RX</i>	Potencia TX + 20dBm máx. Potencia RX -15dBm máx.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Fuente: (Ettus Research, https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf)

Ordenador Portátil HP: En la figura 4-2 se observa el ordenador portátil de serie Pavilion g4 procesador Intel® Core i5™ i5-2430M CPU de 2.40GHz, sistema operativo de 64 bits procesador x64 con su memoria RAM de 4 GB, son característica mínima para la implementación del analizador de espectro.



Figura 4-2: Ordenador portátil HP.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Antena dipolo simple: Antena para recepción de señales FM con una impedancia de 50 ohm como ligera y sencilla como se observa en la figura 5-2.



Figura 5-2: Antena dipolo simple.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Antena UHF/VHF de alta ganancia: Para recepción en de señal analógica (UHF, VHF) o digital DTV, con ganancia de hasta 5db, ligero portátil fácil de colocar en cualquier espacio debido a su delgado grosor como se muestra en la figura 6-2.

Características

- ✓ Ganancia: 5 dB (Max)
- ✓ Impedancia: 75 Ohm
- ✓ Polarización: Lineal
- ✓ La longitud del cable: Aprox. 137cm



Figura 6-2: Antena UHF/VHF de alta ganancia

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Antena Logarítmica: Antena direccional PCB Periódica Log de LP09650 de 400 MHz a 1 GHz, con ganancia 5-6dBi existente en el laboratorio de la escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, su aspecto físico de puede observar en la figura 7-2 y funciona con cualquier motherboard que trabaje dentro de un rango de frecuencia de 400 MHz a 1 GHz esta antena



Figura 7-2: Antena logarítmica de 400MHz a 1 GHz

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Antena vertical: Esta antena como se puede observar en la figura 8-2 es una Dual Band de 2.4 a 2.48 GHz omnidireccional de 4.9 a 5.9 GHz con ganancia 3dBi existente en el laboratorio de la escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes.

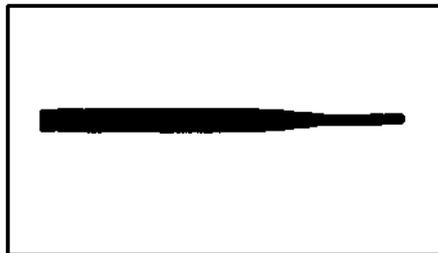


Figura 8-2: Antena vertical dualband 2.4 – 2.48 y 4.9 – 5.9 GHz

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

2.3 Características del software

2.3.1 *Ubuntu*

Distribución de GNU/Linux que ofrece un sistema operativo predominantemente enfocado a computadoras personales, aunque también proporciona soporte para servidores. Es una de las más importantes distribuciones de GNU/Linux a nivel mundial. Se basa en Debian GNU/Linux

y concentra su objetivo en la facilidad y libertad de uso la fluida instalación y los lanzamientos regulares. (Fernández, 2012, p. 4)

2.3.2 GNU Radio

Siendo un conjunto de archivos y aplicaciones agrupadas en librerías, que permiten manipular señales mediante procesado digital. Mediante estas librerías se puede realizar el diseño de sistemas radio definidos por software. (Pinar Domínguez, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José, 2011, pp.30- 31) Es por ello que se eligió la versión 3.7.11 para el modelamiento del algoritmo para ser usado conjuntamente en el USRP y construir el analizador de espectro radioeléctrico.

2.4 Instalación del sistema operativo Ubuntu con GNU Radio

Para manejar la portabilidad del prototipo se utilizó software GNU Radio 3.7.11 instalado en sistema operativo Ubuntu 16.04.2, los mismo que fueron usados en una memoria USB de 16 Gigas de forma LiveDVD mediante la imagen ISO que fue descargada de https://wiki.gnuradio.org/index.php/GNU_Radio_Live_SDR_Environment paso seguido se procedió a montar la imagen ISO en una memoria USB como se indica en los siguientes pasos.

1. Descargar la imagen ISO versión ubuntu-16.04.2-desktop-amd64-gnuradio-3.7.11
2. Descargar la herramienta Universal – USB – Installer
3. Ejecutar la herramienta Universal – USB – Installer y cargar la imagen ISO.
4. Seleccionar la distribución
5. Cargar la imagen ISO.
6. Seleccionar la unidad
7. Seleccionar formatear en Fat32
8. Asignar espacio adicional
9. Pulsar Create

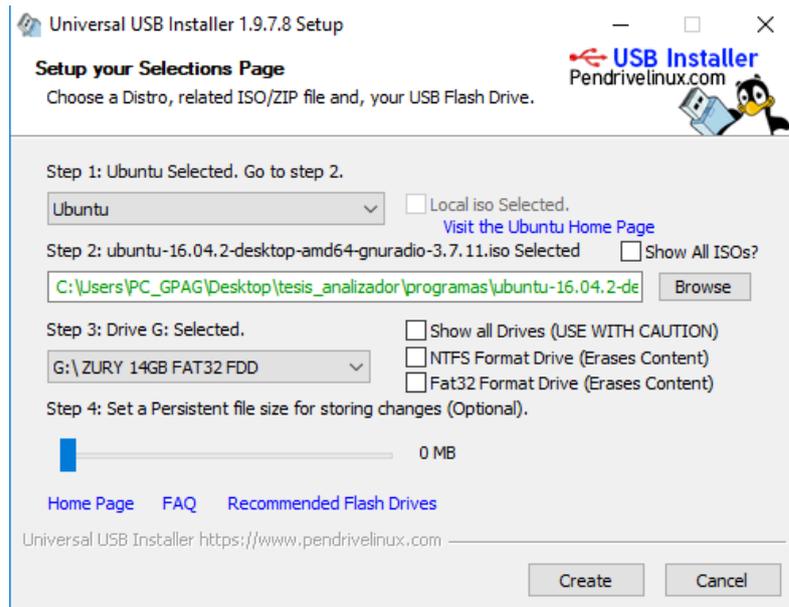


Figura 9-2: Herramienta Universal USB Installer

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

En la figura 9-2 se puede observar la asignación del sistema operativo Ubuntu donde se encuentra instalado GNU Radio en Universal USB Installer y mediante esta herramienta realizar el montaje de la imagen ISO en un pendrive de forma que se pueda usar el sistema operativo sin ser instalado en el ordenador.

Para la inicialización del sistema operativo desde la memoria USB se lo hizo conectando la memoria al ordenador y se procedió a encenderlo para luego ingresar al menú de opciones de arranque y de esta forma elegir la inicialización del sistema desde la memoria USB tal y como se muestra en la figura 10-2.

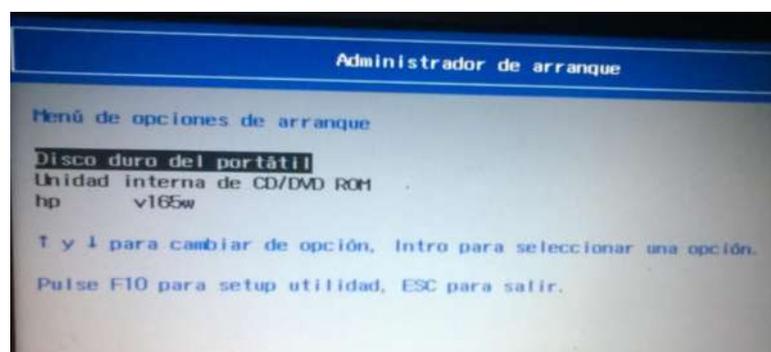


Figura 10-2: Menú de arranque del ordenador.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Al iniciar el ordenador desde la memoria USB emerge un menú en el cual la opción a escoger es *Try Ubuntu without installing* tal Como se muestra en la figura 11-2, en esta opción no existe la necesidad de instalar paquetes adicionales para el funcionamiento de GNU Radio de forma que una vez iniciado el sistema operativo se puede trabajar normalmente.



Figura 11-2: Inicialización del sistema operativo desde la memoria USB.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

En la figura 12-2 se presenta la pantalla principal de GNU Radio donde se implementará el algoritmo para el analizador de espectros.

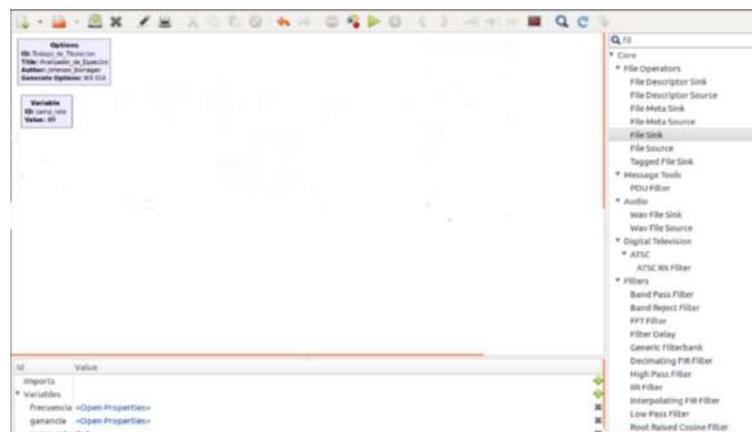


Figura 12-2: Pantalla principal de GNU Radio

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

2.5 Diseño del algoritmo del analizador de espectro en GNU Radio.

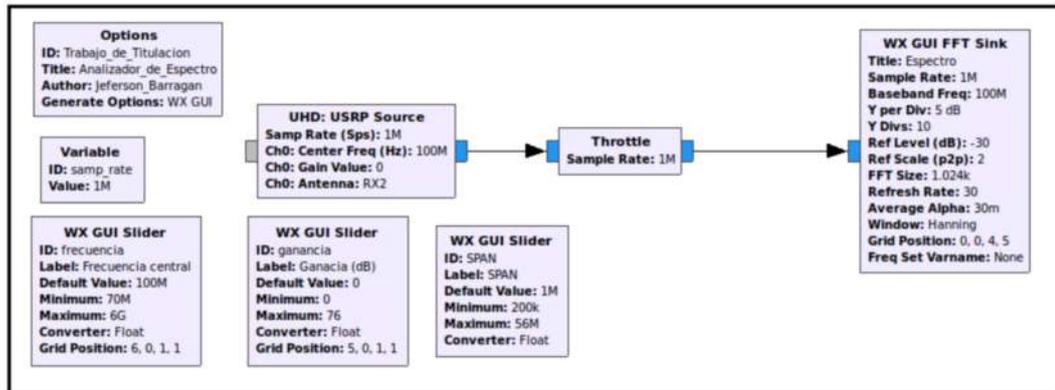


Figura 13-2: Algoritmo diseñado en GNU Radio.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Para implementar el diseño del algoritmo que se observó en la figura 13-2 se trabajó en GNU Radio en sus opciones GRC a continuación se detalla cada uno de los pasos seguidos para diseñar el algoritmo, cabe recalcar que, aunque no se programe en línea de código los bloques que son usados están programados en Python y cualquier modificación que se haga a estos también se hará en la línea de código automáticamente.

Bloque de Options: Para guardar y empezar la programación debemos asignar un nombre al programa y por derechos se introducirá el autor, así como la opción WX GUI ya que el cuadro de la Transformada rápida de Fourier (FFT) trabaja en formato WX GUI los demás parámetros serán por defecto tal y como se muestra en la figura 14-2.

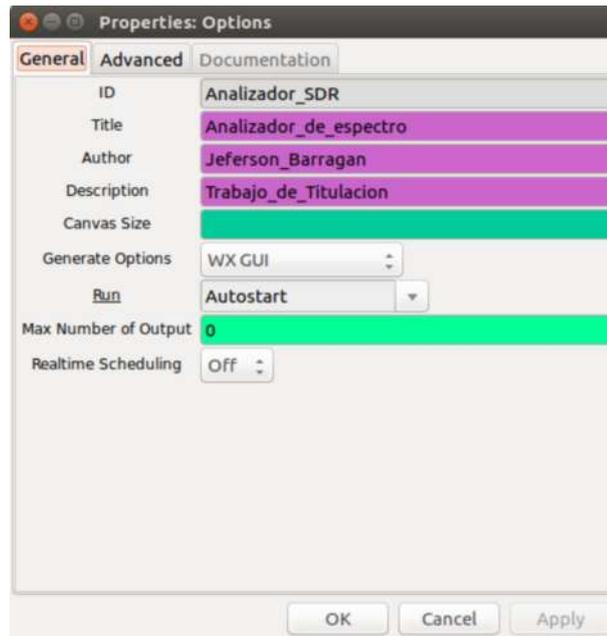


Figura 14-2: Asignación del título y autor al proyecto

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Bloque de Variable: En la figura 15-2 se define la frecuencia de muestreo: `samp_rate` que se asignara a la entrada para la antena del USRP estos valores se definen de acuerdo al rango de frecuencias de la misma que es 200 kHz - 56 MHz el mismo que está relacionado directamente con el SPAN del analizador de espectro.

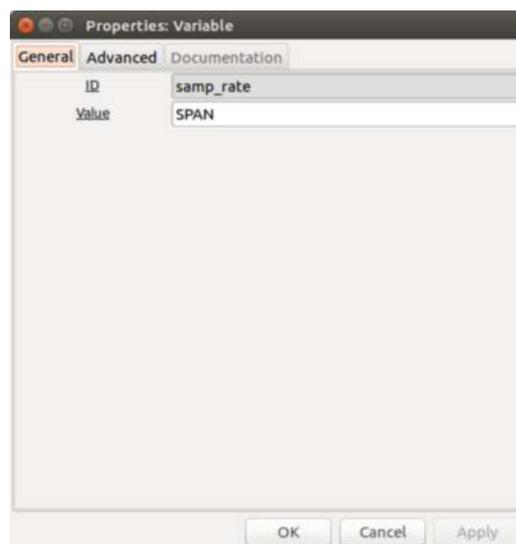


Figura 15-2: Definición de la frecuencia de muestreo.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Bloque de la UHD: USRP Source: La definición se lo hará en dos ventanas en la primera solo deberemos tener en cuenta que tenga la opción *Complex float32* ya que el sumidero FFT trabaja en con valores complejos, en la frecuencia de muestreo se asigna *samp_rate* del cuadro anterior llamado *Variable* los demás parámetros no se modifican como se detalla en la figura 16-2.

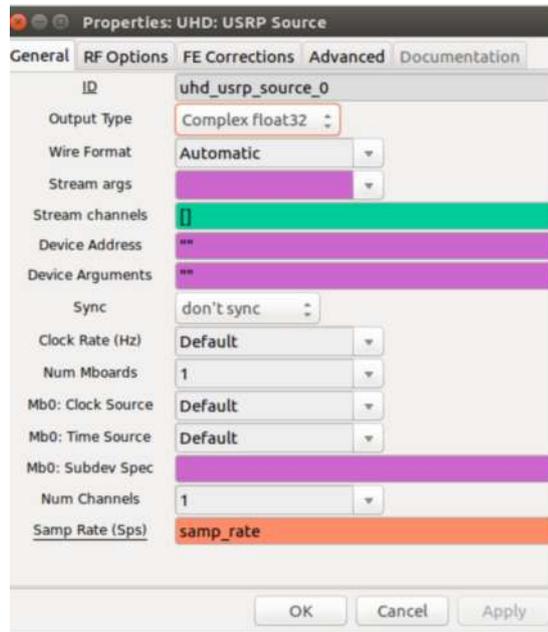


Figura 16-2: Parámetros de la fuente

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

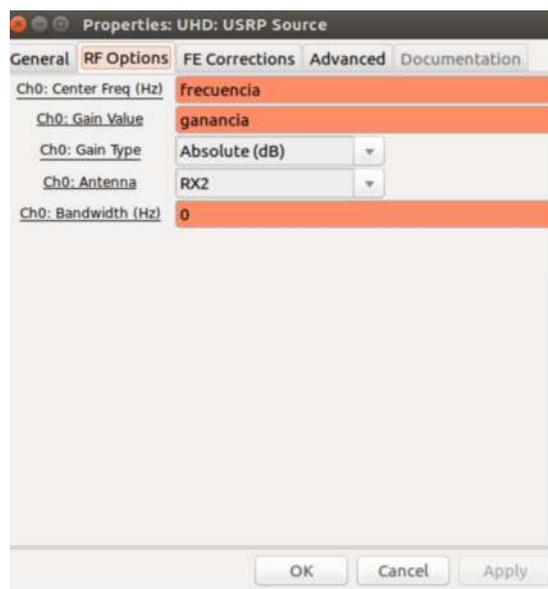


Figura 17-2: Parámetros de la fuente de RF

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

En la figura 17-2 se representa los parámetros como: la frecuencia central asignado por la variable *frecuencia*, así como la ganancia que está representada por la variable *ganancia* estas dos inconstantes se determinaran y se puntualizaran posteriormente, además el tipo de ganancia será absoluta para la antena cuya entrada es RX2.

Bloque de WX GUI Slider (frecuencia): En este bloque en el identificar se asigna el nombre de frecuencia para que este se conecte con el bloque de *UHD: USRP Source* donde se definió esta variable, la frecuencia por defecio de es 100 MHz (100e6) debido a que tenemos un rango en el USRP de 70 MHz a 6 GHz como tal el mínimo será de 70 MHz (70e6) y para un máximo de 6 GHz y el número de pasos será de uno los demás parámetros no se ajustaran como se muestra en la figura 18-2.

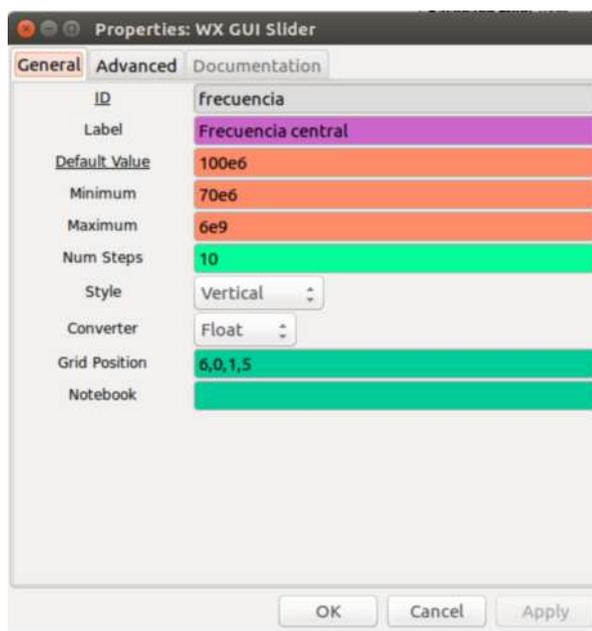


Figura 18-2: Parámetros de la variable frecuencia

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Bloque de WX GUI Slider (Ganancia): Para este paso se debe definir la ganancia, debemos tener en cuenta que: tanto el canal de RX como el canal TX tienen distintas ganancias, para este caso el canal RX del USRP B210 cuenta con una ganancia de 76 dB sabiendo esto el fabricante de este dispositivo recomienda trabajar con al menos la mitad de la ganancia disponible para obtener un rango dinámico razonable, los demás parámetros serán por defecto como se detalla en la figura 19-2.



Figura 19-2: Parámetros de la variable ganancia.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Bloque Throttle: Este bloque se lo asigno para reducir el consumo de recurso del ordenador portátil durante la ejecución de la simulación, en la figura 20-2 se muestra su única configuración que es mantener el *Samp_rate*.

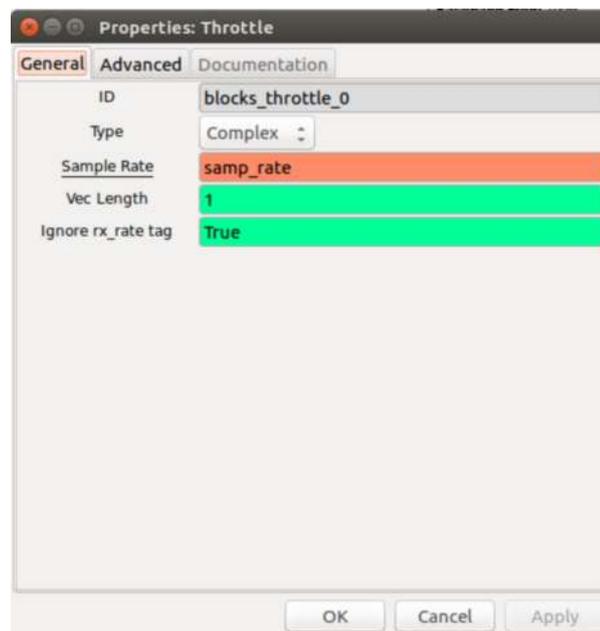


Figura 20-2: Parámetros del bloque throttle

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017.

Bloque de WX GUI Chooser (SPAN): En este bloque se debe considerar el ancho de banda analógico propio del USRP que para la B210 es de 200 KHZ a 56 MHZ, se definirá con un identificador SPAN para que el mismo se conecte con el bloque de *Bloque de WX GUI FFT Sink*, como se muestra en la figura 21-2 el SPAN puede asumir cualquier valor que se encuentre dentro del rango sin embargo se recomienda trabajar sólo pares entre 8 y 512 en el SPAN, por temas de eficiencia, potencias de 2 (para algoritmos como FFT).



Figura 21-2: Parámetros del bloque SPAN.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Bloque de WX GUI FFT Sink: En la figura 22-2 se muestra la modificación los siguientes parámetros: se le asigna un título a la gráfica para la frecuencia de muestreo se llama a la variable SPAN que ya se definió, para que en la interfaz gráfica se centre en la frecuencia sintonizada se indica el identificador frecuencia, por último se define el nivel de referencia que en este caso por comparaciones con el analizador se asignó el valor de 60 dB el resto de parámetros están asociados a la visualización: escala, número de puntos de la FFT, tasa de refresco, posición de la gráfica en pantalla.



Figura 22-2: Parámetros del sumidero FFT.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

2.6 Ensamblaje del prototipo de analizador de espectro

2.6.1 Suministro de energía del prototipo

El cable USB 3.0 tiene como objetivos de suministrar energía para su funcionamiento, así como la transmisión de los datos así el ordenador siendo suficiente este medio de alimentación de energía para la tarjeta USRP.

2.6.1 Puertos del USRP y del ordenador utilizados para el prototipo.

Los puertos que fueron usados para el montaje y funcionamiento del analizador de espectro son el puerto USB 3.0 del USRP que servirá como conexión al puerto USB 3.0 del Pc, así como para su respectiva alimentación de la tarjeta USRP y el puerto Canal 2 RX para la conexión de las antenas tal como se muestra en la figura 23-2.



Figura 23-2: Puertos utilizados para ensamblaje del prototipo.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

2.6.2 *Conexión antena, USRP y ordenador portátil.*

2.6.2.1 *Conexiones de la antena*

La antena seleccionada para realizar las mediciones se encontrará en el rango de trabajo del analizador deberá ser con conexión mediante cable SMA, se emparejará la antena y USRP por el puerto RF A: RX2 como se muestra en la figura 24-2.



Figura 24-2: Conexión antena y USRP.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.6.2.2 *Conexión USRP y ordenador*

La conexión se lo realiza por medio del cable USB, se conecta en el puerto del USRP y este se acopla a un puerto USB 3.0 del ordenador como se puede apreciar en la figura 25-2, es

necesario que sea puerto USB 3.0 ya que este voltaje es suficiente para alimentar a todo el USRP.



Figura 25-2: Conexión USRP y el ordenador por medio cable USB.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

En la figura 26-2 se muestra la conexión física total de todo el prototipo de analizador donde está ensamblado la antena, USRP y ordenador, la antena es diferente demostrando así que el prototipo funciona con diversas antenas.



Figura 26-2: Conexión física del prototipo.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1 Funcionamiento

3.1.1 *Ejecución del analizador de espectro*

Para ejecutar el analizador de espectro se lo hizo dando un clic en el icono de iniciar como se ve en la figura 1-3, este procederá a reconocer el a la USRP.



Figura 1-3: Inicialización del analizador de espectro.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.1.2 *Pruebas de conexión por medio del cable USB con el ordenador*

Una vez echo la respectiva conexión de la antena y el debido enlace entre los puestos USB 3.0 del ordenador – USRP por medio del cable USB, se ejecutó el algoritmo del analizador de espectro dando paso a verificar la comunicación entre el ordenador y el USRP el mismo será correcto si no se muestra algún tipo de error durante la ejecución del módulo UHD tal y como se muestra en la figura 2-3.

```

Executing: /usr/bin/python2 u /home/ubuntu/Desktop/Trabajo_de_Titulacion.py
linux; GNU C++ version 5.4.0 20160609; Boost 105800; UH-D 001.009.006-D-g127d5f8e

- Loading firmware image: /usr/local/share/uhd/images/usrp_b200_fw.hex...
  Detected Device: B210
- Loading FPGA image: /usr/local/share/uhd/images/usrp_b710_fpga.bin... done
- Operating over USB 2.
- Detecting internal CPSDD... No CPSDD found
  Initialize CODEC control...
  Initialize Radio control...
- Performing register loopback test... pass
- Performing register loopback test... pass
- Performing CODEC loopback test... pass
- Performing CODEC loopback test... pass
- Asking for clock rate 16.000000 MHz...
- Actually got clock rate 16.000000 MHz...
  Performing timer loopback test... pass
- Performing timer loopback test... pass
- Setting master clock rate selection to 'automatic'.
- Asking for clock rate 32.000000 MHz...
- Actually got clock rate 32.000000 MHz...
- Performing timer loopback test... pass
- Performing timer loopback test... pass

```

Figura 2-3: Comunicación correcta USRP – ordenador.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.1.3 Prueba de las funciones del prototipo de analizador de espectro.

Con la conexión realizada con éxito se procedió a ingresar una frecuencia para poder verificar que las funciones del analizador de espectro las cuales se desempeñan correctamente tal como se muestra en la figura 3-3.

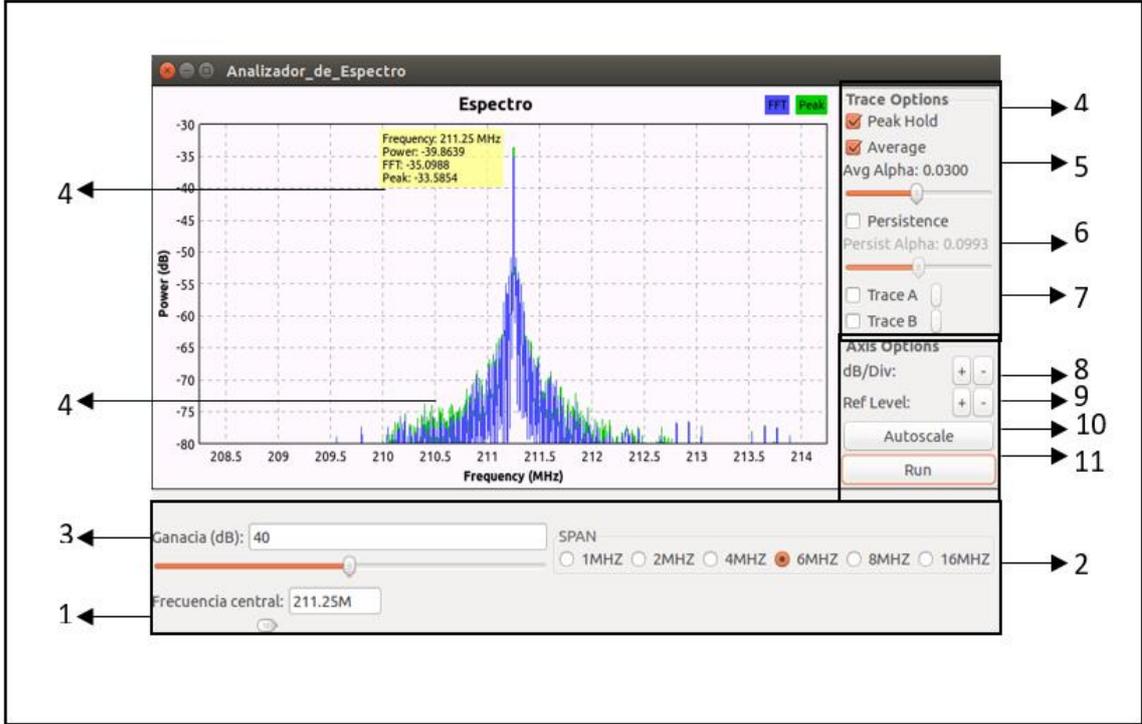


Figura 3-3: Funciones del prototipo de analizador de espectro.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

1. **Frecuencia central:** Aquí se ingresó la frecuencia a ser analizada, teniendo en cuenta el rango de frecuencias que es de 70 MHz a 6 GHz, dando una auto escala para que la imagen se actualice en pantalla.
2. **SPAN:** Se eligió el valor adecuado para la visualización del espectro de la señal ingresada respetando el rango de 200 KHz a 56 MHz del ancho de banda de la tarjeta USRP.
3. **Ganancia:** Por recomendaciones del fabricante de la tarjeta USRP en los puertos de entrada, así como los de salida se debe consideren utilizar al menos la mitad de la ganancia disponible (76 dB ganancia en las entradas) para obtener un rango dinámico razonable, de ser el caso que dese un valor diferente la ganancia está disponible en un rango de 0 dB a 76 dB.

Área de Trazos

4. **Peak hold:** Esta opción permite obtener los picos más altos en cuanto a la ganancia de una señal, luego de activar esta opción se puede usar la opción STOP de esta forma se hizo una captura de la señal y con el cursor marca la frecuencia exacta que se analizó.
5. **Average:** Realiza la función de sacar el promedio de la señal recibida la misma que se puede variar de acuerdo a su necesidad.
6. **Persistence:** Controla el tiempo que se puede visualizar la gráfica del espectro de una señal con respecto a otra.
7. **Trace:** Captura momentáneamente en pantalla el espectro de una señal para ser guardada en store y luego de usar la opción stop pueda ser visualizada es por ello que cuenta con dos opciones el trace A y B.

Área de gráfica

8. **dB / Div.:** Con esta opción se cambia las divisiones por cuadro en el eje de la potencia por defecto se encuentra en 5 dB/Div. Para su control esta un “+” y un “-”.

9. **Ref. Level:** Función para mover el espectro de la señal en eje de la potencia, pero sin alterar el número por divisiones y de esta forma centrar la gráfica en la ventana del analizador de espectro.
10. **Autoscale:** Su función es la de “refrescar” la señal como también la de central en la ventana del analizador.
11. **Stop/Run:** Congela la imagen para poder realizar una mejor lectura de nuestros datos.

3.1.4 *Grafica del Espectro Radioeléctrico*

El espectro radioeléctrico de una señal recibida debe ser representada en el dominio de la frecuencia siendo así este prototipo está en la capacidad de mostrar el patrón del espectro radioeléctrico como se pauta en la figura 4-3, para su mejor visualización de debe dar una auto escala para que este se ajuste a la pantalla.

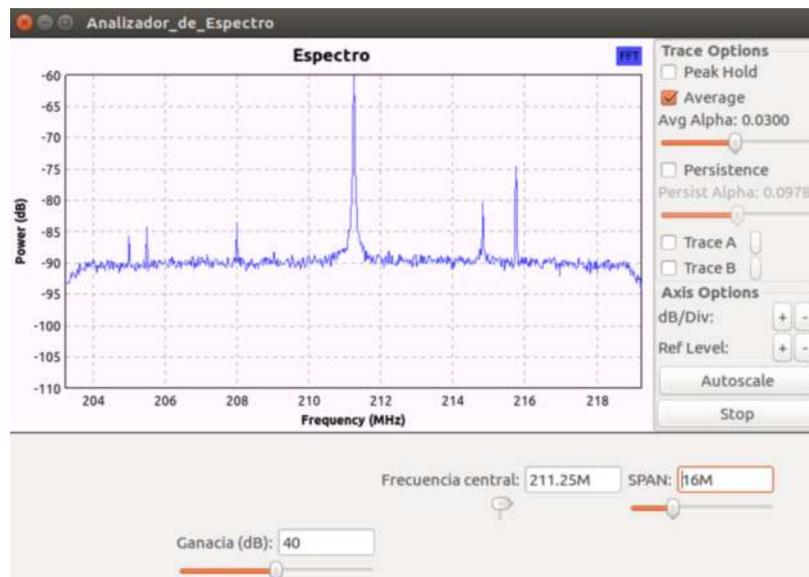


Figura 4-3: Espectro radioeléctrico del canal 13 mostrado en el prototipo.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.2 Mediciones

3.2.1 Comparación de la potencia en frecuencias de radio y televisión.

Para esta comparación se realizó mediciones de señales de radio y televisión, las señales de televisión se desglosaron en la portadora de video, así como en su portadora de audio todas estas mediciones se hicieron con el analizador de espectro comercial de marca Anritsu modelo MS2724C y el prototipo de analizador de espectro que se realizaron en el laboratorio de radiocomunicaciones.

3.2.2 Analizador de espectros ANRITSU

Analizador de espectro comercial portátil empleado en la observación de las señales del espectro radioeléctrico este analizador contiene características como:

- Rango de frecuencia de 9 KHz a 3GHz
- Span de 1KHz a 3.1 GHZ
- Pantalla full color

Tabal 1-3: Parámetros de medición analizador Anritsu.

Frecuencia central	Frecuencias de FM y televisión
SPAN	6 MHz
Ref. Level	-30dBm
dBm/Div	10

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

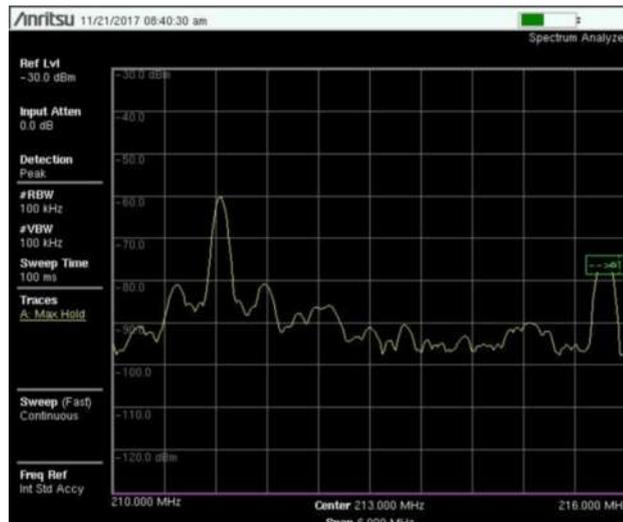


Figura 5-3: Grafica del espectro en el analizador Anritsu.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017.

3.2.3 Prototipo de Analizador de Espectro

Tabal 2-3: Parámetros de medición prototipo de analizador de espectro.

Frecuencia central	Frecuencias de FM y televisión
SPAN	6 MHz
Ref. Level	-30dB
dB/Div	10
Peak Hold	Activado

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017



Figura 6-3: Grafica del espectro en el Prototipo.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017.

3.2.4 Mediciones de la potencia en dB y dBm

Estas mediciones se realizaron en el laboratorio de radiocomunicaciones de la Escuela en Ingeniería Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, se hizo las mediciones de las radios FM, estaciones de televisión, señales de celular móvil que tienen cobertura en la ciudad de Riobamba y señales de red wi-fi existentes en el laboratorio utilizando el analizador de marca Anritsu y el prototipo implementado arrojando como resultados mostrados en las tablas 3-3, 4-3, 5-3, 6-3.

Tabla 3-3 Resultados de las mediciones de Potencia en dBm y dB de las frecuencias FM.

ESTACIONES DE RADIO FM		
Frecuencias	Anritsu	Prototipo
Frecuencia (MHz)	Potencia (-dBm)	Potencia (-dB)
88.1	-53	-20
88.5	-60	-38
88.9	-63	-38
89.3	-53	-35
89.7	-60	39
90.1	-62	-37
90.5	-61	-24
91.3	-53	-23
91.7	-53	-19
92.1	-60	-32
92.5	-63	-25
93.3	-43	-27
93.7	-54	-32
94.5	-48	29
95.3	-58	-26
95.7	-57	-26
96.1	-50	-27
96.5	-49	-21
97.3	-78	-33
97.7	-40	-17
98.5	-60	-34
98.9	-57	-31
99.7	-65	-37
101.3	-66	-40
101.7	-57	-35

Continuará....

102.1	-48	-23
102.5	-61	-38
102.9	-50	-36
103.7	-70	-38
104.1	-44	-25
104.5	-47	-39
104.9	-57	-36
105.3	-39	-28
106.1	-47	-31
106.9	-43	-28
107.3	-47	-30

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Tabla 4-3 Resultados de las mediciones de Potencia en dBm y dB de señales de televisión.

ESTACIONES DE TELEVISIÓN				
			Anritsu	Prototipo
			Potencia (- dBm)	Potencia (- dB)
canal 5	portadora de video (MHz)	77.25	-58	-35
	portadora sonido(MHz)	81.75	-72	-40
canal 7	portadora de video (MHz)	175.25	-66	-37
	portadora sonido(MHz)	179.75	-69	-44
canal 9	portadora de video (MHz)	187.25	-84	-44
	portadora sonido(MHz)	191.75	-71	-52
canal 13	portadora de video (MHz)	211.25	-52	-34
	portadora sonido(MHz)	215.75	-70	-45
canal 23	portadora de video (MHz)	525.25	-74	-41
	portadora sonido(MHz)	529.75	-83	-61
canal 27	portadora de video (MHz)	549.25	-56	-33
	portadora sonido(MHz)	553.75	-68	-34
canal 29	portadora de video (MHz)	561.25	-55	-25
	portadora sonido(MHz)	565.75	-74	-45
canal 31	portadora de video (MHz)	573.25	-66	-44
	portadora sonido(MHz)	577.75	-71	-43
canal 33	portadora de video (MHz)	585.25	-62	-32
	portadora sonido(MHz)	589.75	-76	-37
canal 35	portadora de video (MHz)	597.25	-65	-36
	portadora sonido(MHz)	601.75	-77	-35
canal 48	portadora de video (MHz)	675.25	-69	-36
	portadora sonido(MHz)	679.75	-77	-46

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Cabe mencionar que los canales 2 y 4 no son tomados en cuenta en la tabla 4-3 por motivo que sus frecuencias se encuentran por debajo de la frecuencia mínima de uso del analizador que es de 70 MHz.

Tabla 5-3 Resultados de las mediciones de Potencia en dBm y dB de la señal celular.

OPERADORA CLARO (CONECEL S.SA) BANDA GSM			
		Anritsu	Prototipo
	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)	Potencia (dB)
Móvil base	890	-100	-75
Base móvil	880	-92	-69

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Tabla 6-3 Resultados de las mediciones de Potencia en dBm y dB de señal Wifi.

SEÑALES DE REDES WIFI TECNOLOGIA 180.11g		
	Anritsu	Prototipo
Frecuencia (GHz)	Potencia (dBm)	Potencia (dB)
2.41	-76	-66
2.46	-92	-83

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.2.5 Comparaciones de medidas para determinar la variación entre los dispositivos.

Siendo los dB unidades de medida relativa estas serán convertidas a mW, así como los dBm para determinar la variación que existe entre las medidas del analizador comercial Anritsu y el prototipo de analizador implementado para esta comparación se procedió hacerlo solo con las frecuencias de FM como se muestra en la tabla 6-3.

El dBW es una unidad de potencia en decibelios escala, esta unidad esta referenciado a 1 vatio (W) lo que 1W es igual a 0dBW y 1 mW es igual a 0.001 W y es to llegando a ser -30 dBW.

Tabla 7-3 Mediciones en mW con 40 dB de ganancia en el prototipo de analizador de espectro.

Estaciones de radio FM			
frecuencias	Anritsu	Prototipo	
Frecuencia (MHz)	Potencia (mW)	Potencia (mW)	Divergencia
88,1	0,000005	10	9,999995
88,5	0,000001	0,158489	0,158488
88,9	0,000001	0,158489	0,158488
89,3	0,000005	0,316228	0,316223
89,7	0,000001	0,125893	0,125892
90,1	0,000001	0,199526	0,199525
90,5	0,000001	3,981072	3,981071
91,3	0,000005	5,011872	5,011867
91,7	0,000005	12,589254	12,589249
92,1	0,000001	0,630957	0,630956
92,5	0,000001	3,162278	3,162277
93,3	0,000005	1,995262	1,995212
93,7	0,000004	0,003981	0,003977
94,5	0,000016	1,258925	1,258909
95,3	0,000002	2,511886	2,511884
95,7	0,000002	2,511886	2,511884
96,1	0,000001	1,995262	1,995252
96,5	0,000013	7,943282	7,943269
97,3	1,24E-08	0,501187	0,501187
97,7	0,0001	19,952623	19,952523
98,5	0,000001	0,398107	0,398106
98,9	0,000002	0,794328	0,794326
99,7	0,0000025	0,199526	0,199524
101,3	0,0000025	0,1	0,099998
101,7	0,000002	0,316228	0,316226
102,1	0,000016	5,011872	5,011856
102,5	0,000001	0,158489	0,158488
102,9	0,000001	0,251189	0,251179
103,7	0,000001	0,158489	0,158488
104,1	0,000004	3,162278	3,162238
104,5	0,000002	0,125893	0,125873
104,9	0,000002	0,251189	0,251187
105,3	0,000126	1,584893	1,584767
106,1	0,000002	0,794328	0,794308
106,9	0,000005	1,584893	1,584843
107,3	0,000002	1	0,999980

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Como se puede observar en la tabla 6-3 las mediciones con ganancia de 40 dB poseen una diferencia muy alta es por eso que se hicieron nuevas mediciones con 20 dB como se muestra en la tabla 7-3 y con ganancia de cero en la tabla 8-3 cabe mencionar que solo se varió el parámetro de la ganancia en el prototipo de analizador de espectro los demás parámetros no se hizo ninguna variación.

Tabla 8-3 Mediciones en mW con 20 dB de ganancia en el prototipo de analizador de espectro.

Estaciones de radio FM			
frecuencias	Anritsu	Prototipo	
Frecuencia (MHz)	Potencia (mW)	Potencia (mW)	Divergencia
88,1	0,000005	0,125893	0,125888
88,5	0,000001	0,000251	0,000250
88,9	0,000001	0,001585	0,001584
89,3	0,000005	0,002512	0,002507
89,7	0,000001	0,000063	0,000062
90,1	0,000001	0,003981	0,003980
90,5	0,000001	0,079433	0,079432
91,3	0,000005	0,398107	0,398102
91,7	0,000005	0,630957	0,630952
92,1	0,000001	0,079433	0,079432
92,5	0,000001	0,158489	0,158488
93,3	0,000005	1	0,999950
93,7	0,000004	0,001585	0,001581
94,5	0,000016	1,995262	1,995246
95,3	0,000002	0,199526	0,199524
95,7	0,000002	0,031623	0,031621
96,1	0,000001	0,1	0,099990
96,5	0,000013	0,199526	0,199513
97,3	1,24E-08	0,025119	0,025119
97,7	0,0001	0,501187	0,501087
98,5	0,000001	0,079433	0,079432
98,9	0,000002	0,251189	0,251187
99,7	0,0000025	0,015849	0,015847
101,3	0,0000025	0,007943	0,007941
101,7	0,000002	0,199526	0,199524
102,1	0,000016	0,398107	0,398091
102,5	0,000001	0,1	0,099999
102,9	0,00001	0,063096	0,063086

Continuará...

103,7	0,000001	0,003981	0,003980
104,1	0,00004	0,501187	0,501147
104,5	0,00002	0,158489	0,158469
104,9	0,000002	0,001995	0,001993
105,3	0,000126	1,995262	1,995136
106,1	0,00002	0,015849	0,015829
106,9	0,00005	1,258925	1,258875
107,3	0,00002	0,501187	0,501167

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Tabla 9-3 Mediciones en mW con 0 ganancia en el prototipo de analizador de espectro.

Estaciones de radio FM			
frecuencias	Anritsu	Prototipo	
Frecuencia (MHz)	Potencia (mW)	Potencia (mW)	Divergencia
88,1	0,000005	0,001	0,0010
88,5	0,000001	0,000002	0,000001
88,9	0,000001	0,000063	0,000062
89,3	0,000005	0,00004	0,000035
89,7	0,000001	0,000003	0,000002
90,1	0,000001	0,0001	0,000099
90,5	0,000001	0,000794	0,000793
91,3	0,000005	0,005012	0,005007
91,7	0,000005	0,01	0,009995
92,1	0,000001	0,000631	0,00063
92,5	0,000001	0,001995	0,001994
93,3	0,00005	0,007943	0,007893
93,7	0,000004	0,000016	0,000012
94,5	0,000016	0,01	0,009984
95,3	0,000002	0,001585	0,001583
95,7	0,000002	0,000501	0,000499
96,1	0,00001	0,001	0,00099
96,5	0,000013	0,001585	0,001572
97,3	1,24E-08	0,000631	0,000630988
97,7	0,0001	0,00631	0,00621
98,5	0,000001	0,000794	0,000793
98,9	0,000002	0,003162	0,00316
99,7	0,0000025	0,000316	0,0003135
101,3	0,0000025	0,000126	0,0001235
101,7	0,000002	0,003162	0,00316
102,1	0,000016	0,00631	0,006294

Continuará...

102,5	0,000001	0,001	0,000999
102,9	0,00001	0,000251	0,000241
103,7	0,000001	0,000025	0,000024
104,1	0,00004	0,019953	0,019913
104,5	0,00002	0,002512	0,002492
104,9	0,000002	0,001995	0,001993
105,3	0,000126	0,019953	0,019827
106,1	0,00002	0,015849	0,015829
106,9	0,00005	0,025119	0,025069
107,3	0,00002	0,012589	0,012569

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.2.6 Comparaciones de ancho de banda entre el analizador de espectro Anritsu y el prototipo de analizador de espectro

Una vez determinado los parámetros para una comparación equilibrada de los datos entre los analizadores se procedió a realizar las mediciones de ancho de banda tanto de las estaciones de radio como se observa en la tabla 9-3 así como las señales de televisión que se muestran en la tabla 10-3 los anchos de banda encontrados tanto en el analizador comercial como en el prototipo.

Tabla 10-3 Comparación de los anchos de banda de las radios FM.

Estaciones de radio FM				
Frecuencia (MHz)	Ancho de banda (kHz)			
	Anritsu	Prototipo	Diferencia	Error%
88,1	207,272	189,9	17,3720	8,4
88,5	149,09	123	26,0900	17,5
88,9	220	212,3	7,7000	3,5
89,3	216,363	167,6	48,7630	22,5
89,7	214,545	170,5	44,0030	20,5
90,1	198,181	193,6	4,5810	2,3
90,5	192,181	180,5	11,7250	6,1
91,3	138,181	134,1	4,0810	3,0
91,7	181,818	178,8	3,0180	1,7
92,1	167,272	216	48,7280	29,1
92,5	196,363	201,1	4,7370	2,4
93,3	207,272	193,7	13,5720	6,5
93,7	145,454	145,2	0,2540	0,2

Continuará...

94,5	187,272	163,9	23,3720	12,5
95,3	187,272	186,3	0,9720	0,5
95,7	213,636	216	2,3640	1,1
96,1	218,181	218,2	0,0190	0,0
96,5	165,454	208,6	43,1460	26,1
97,3	127,272	127,8	0,5280	0,4
97,7	176,363	208,6	32,2370	18,3
98,5	194,545	194	0,5450	0,3
98,9	200	193,7	6,3000	3,2
99,7	192,727	190	2,7270	1,4
101,3	218,181	209	9,1810	4,2
101,7	205,454	201	4,4540	2,2
102,1	198,181	231	32,8190	16,6
102,5	200	208	8,0000	4,0
102,9	187,272	215	27,7280	14,8
103,7	180	168	12,0000	6,7
104,1	174,545	179	4,4550	2,6
104,5	170,909	168	2,9090	1,7
104,9	178,181	168	10,1810	5,7
105,3	180	215	35,0000	19,4
106,1	190,909	190	0,9090	0,5
106,9	140,909	180	39,0910	27,7
107,3	194,545	179	15,5450	8,0

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Tabla 11-3 Comparación de los anchos de banda de las de las señales de televisión.

Mediciones de las señales de televisión						
			Ancho de banda (kHz)		Diferencia	Error%
			Anritsu	Prototipo		
Canal 5	Portadora de video (MHz)	77.25	392,727	387,4	5,3	1,4
	Portadora sonido(MHz)	81.75	316,363	305,1	11,3	3,6
Canal 7	Portadora de video (MHz)	175.25	727,272	648,0	79,3	10,9
	Portadora sonido(MHz)	179.75	378,181	345,0	33,2	8,8
Canal 9	Portadora de video (MHz)	187.25	327,272	358,0	30,7	9,4
	Portadora sonido(MHz)	191.75	345,454	335,0	10,5	3,0
Canal 13	Portadora de video (MHz)	211.25	927,272	950,0	22,7	2,5
	Portadora sonido(MHz)	215.75	345,454	268,0	77,5	22,4
Canal 23	Portadora de video (MHz)	525.25	596,363	335,0	261,4	43,8
	Portadora sonido(MHz)	529.75	363,636	179,0	184,6	50,8
Canal 27	Portadora de video (MHz)	549.25	527,272	500,0	27,3	5,2
	Portadora sonido(MHz)	553.75	509,090	529,0	19,9	3,9

Continuará...

Canal 29	Portadora de video (MHz)	561.25	378,181	149,0	229,2	60,6
	Portadora sonido(MHz)	565.75	465,454	208,0	257,5	55,3
Canal 31	Portadora de video (MHz)	573.25	563,636	178,0	385,6	68,4
	Portadora sonido(MHz)	577.75	309,090	261,0	48,1	15,6
Canal 33	Portadora de video (MHz)	585.25	720,000	149,0	571,0	79,3
	Portadora sonido(MHz)	589.75	392,727	358,0	34,7	8,8
Canal 35	Portadora de video (MHz)	597.25	392,727	238,0	154,7	39,4
	Portadora sonido(MHz)	601.75	240,000	148,0	92,0	38,3
Canal 48	Portadora de video (MHz)	675.25	425,454	268,0	157,5	37,0
	Portadora sonido(MHz)	679.75	349,090	208,0	141,1	40,4

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.3 Resultados obtenidos en el prototipo de analizador de espectro.

Un analizador de espectro requiere la capacidad de trabajar con la señal recibida en el dominio de la frecuencia siendo así el prototipo de analizador de espectro que se implementó reúne las funciones básicas de un analizador profesional comercial, estas funciones son mostradas en las tablas 11-3,12-3, 13-3 respectivamente.

Tabla 12-3 Funciones del prototipo del analizador de espectro.

Rango de frecuencias	70 MHz a 6 GHz
SPAN	200 kHz hasta 56 MHz
Visualización de la señal	Tiempo real, Max hold, Average, dB/div, nivel de referencia, auto escala, RUN/STOP.
Parámetros de medición	Potencia, Potencia de la FFT
Ganancia	0 a 76
Medio de visualización	Pantalla del ordenador

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Tabla 13-3 Características del prototipo del analizador de espectro.

Puerto RX-TX para antenas	SMA
Conexión con el ordenador	USB 3.0
Voltaje	2.5V
Amperaje	500mA
Software	Libre (Ubuntu, GNU Radio)
Tamaño	21.5 x 16.5 x 9 cm (USRP)

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Tabla 14-3 Arquitectura del prototipo del analizador de espectro.

Antenas	Receptor
USRP	Ganancia, Ancho de Banda, Convertidor A/D, FPGA Spartan6.
Ordenador	Software libre (Ubuntu, GNU Radio)
GNU Radio	Algoritmo del Analizador

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

Una vez realizado las mediciones respectivas, es importante mencionar que la ganancia en el prototipo se usó de 40 dB y en el analizador Anritsu la ganancia fue automática, se determinó que la variación es de 2,525 mW con respecto al analizador Anritsu dado este resultado se tomó nuevas mediciones con ganancia 0 y ganancia de 20 dB en el prototipo de analizador de espectro.

Los resultados que arrojaron las nuevas mediciones dio que al usar el prototipo de analizador a una ganancia de 20 dB la variación es de 0,308 mW mientras que la usar una ganancia de 0 su variación se dio de 0,0045 mW con estos resultados se determina que la ganancia que se debe usar para tener datos aproximados al analizador Anritsu es de 0.

De la misma forma en los anchos de banda de obtuvo un error de 8,4% con referencia al analizador comercial Anritsu en cuanto a las señales de FM mientras que en las señales de televisión se produjo un error de 27,7%, dando como resultado un error total del 15,7% en referencia a los anchos de banda.

3.4 Guía de usuario

3.4.1 Características del dispositivo

- Dimensiones del equipo 21.5 x 16.5 x 9 cm (USRP)
- 4 puertos dos RX y dos TX/RX
- Puertos para conexión SMA
- Conexión por USB 2.0 y USB 3.0 esta última recomendada para una mayor velocidad de trabajo.
- Sistema operativo libre para instalar en cualquier ordenador o usarlo en una memoria USB.
- Span 200 kHz hasta 56 MHz recomendable trabajar desde 1 MHz
- Rango de frecuencias de 70 MHz hasta 6 GHz

3.4.2 Instalación de la imagen ISO de Ubuntu y GNU Radio

Para instalar el sistema operativo Ubuntu 16.04.2 que contiene GNU en una memoria USB (recomendable de 16 Gigas) de forma LiveDVD mediante la imagen ISO, debe descargar la imagen desde https://wiki.gnuradio.org/index.php/GNU_Radio_Live_SDR_Environment paso seguido debe montar la imagen ISO en una memoria USB como se indica en los siguientes pasos.

1. Descargar la imagen ISO versión ubuntu-16.04.2-desktop-amd64-gnuradio-3.7.11
2. Descargar la herramienta Universal – USB – Installer
3. Ejecutar la herramienta Universal – USB – Installer
4. Seleccionar la distribución
5. Cargar la imagen ISO.
6. Seleccionar la unidad
7. Seleccionar formatear en Fat32
8. Asignar espacio adicional
9. Pulsar Create

En la figura 7-3 se puede observar la asignación del sistema operativo Ubuntu donde se encuentra instalado GNU Radio en Universal USB Installe y mediante esta herramienta realizar el montaje de la imagen ISO en un pendrive de forma que se pueda usar el sistema operativo sin ser instalado en el ordenador.

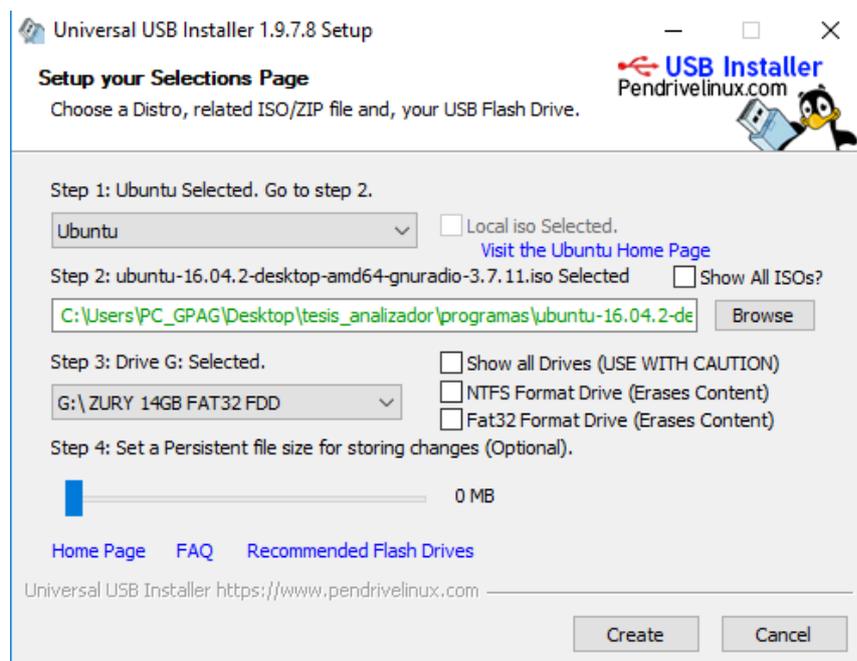


Figura 7-3: Creación de USB live con la herramienta Universal USB Installer

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017

3.4.3 Conexiones del equipo

3.4.3.1 Conexiones de la antena

La antena seleccionada deberá ser con conexión mediante cable SMA, se emparejará la antena y USRP por el puerto RF A: RX2 como se muestra en la figura 8-3.



Figura 8-3: Conexión antena y USRP.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson, 2017.

3.3.3.2 Inicialización del software

Para la inicialización del sistema operativo desde la memoria USB conecte memoria al ordenador y proceda a encenderlo para luego ingresar al menú de opciones de arranque y de esta forma elegir la inicialización del sistema desde la memoria USB tal y como se muestra en la figura 9-3.

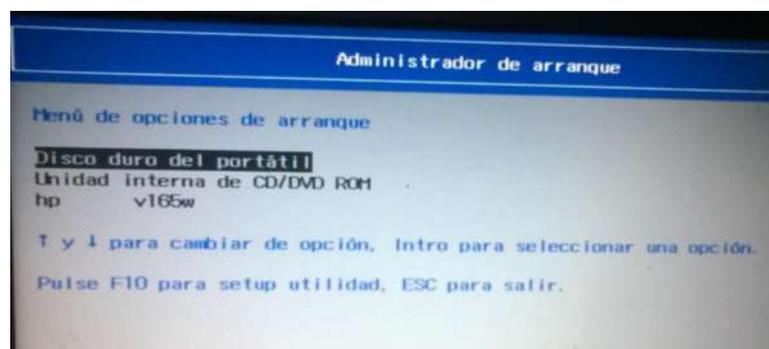


Figura 9-3: Menú de arranque del ordenador.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson, 2017

Una vez dentro se debe elegir la opción Try Ubuntu without installing tal y como se muestra en la figura 10-3.



Figura 10-3: Inicialización del sistema operativo desde la memoria USB.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson, 2017.

Una vez echo una de las dos opciones el sistema operativo está listo para ser usado conjuntamente con el software GNU Radio.

3.4.3.3 Conexión USRP y ordenador

La conexión se lo realiza por medio del cable USB, se conecta en el puerto del USRP y este se acopla a un puerto USB 3.0 del ordenador como se puede apreciar en la figura 11-3, es necesario que sea puerto USB 3.0 ya que este voltaje es suficiente para alimentar a todo el USRP.



Figura 11-3: Conexión USRP y el ordenador por medio cable USB.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson, 2017.

3.4.3.4 Ejecución del analizador de espectro

El programa deberá ser descargado desde https://www.dropbox.com/s/hroyde3g527g2bu/Trabajo_de%20titulacion_Analizador_de_Espectros.rar?dl=0 y copiado para su ejecución, al trabajar en una memoria USB el programa no se guardará si no se asignó un espacio en la memoria USB

Para ejecutar el analizador de espectro se lo hará dando doble clic en el programa y luego con un clic en el icono de iniciar como se ve en la figura 12-3, este procederá a reconocer el a la USRP tardará unos minutos en aparecer la venta del analizador en donde encuentra las siguientes opciones como se muestra en la figura 13-3.



Figura 12-3: Inicialización del analizador de espectro.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson, 2017.

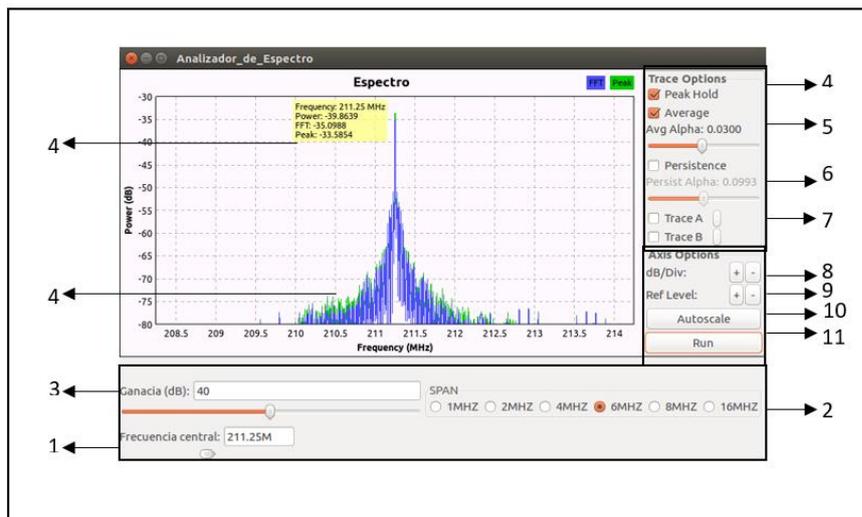


Figura 13-3: Funciones del prototipo de analizador de espectro.

Realizado por: BARRAGAN Jeferson. 2017.

1. **Frecuencia central:** Aquí se debe ingresar la frecuencia a ser analizada, se debe tener en cuenta el rango de frecuencias que es de 70 MHz a 6 GHz, para que la señal se actualice se debe dar un auto escala.
2. **SPAN:** Se debe elegir el valor que considere pertinente usar para la visualización del espectro de la señal ingresada.
3. **Ganancia:** Por recomendaciones del fabricante de la tarjeta USRP en los puertos de entrada, así como los de salida se debe consideren utilizar al menos la mitad de la ganancia disponible (76 dB ganancia en las entradas) para obtener un rango dinámico razonable, de ser el caso que dese un valor diferente la ganancia está disponible en un rango de 0 dB a 76 dB.

Trace de opciones

4. **Peak hold:** Esta opción permite obtener los picos más altos en cuanto a la ganancia de una señal, luego de activar esta opción se puede usar la opción STOP de esta forma se hará una captura de en la pantalla de la señal y con el cursor marca la frecuencia exacta que se está analizando.
5. **Average:** Realiza la función de sacar el promedio de la señal recibida la misma que se puede variar de acuerdo a su necesidad.
6. **Persistence:** Controla el tiempo que se puede visualizar la gráfica del espectro de una señal con respecto a otra.
7. **Trace:** Captura momentáneamente en pantalla el espectro de una señal para ser guarda en store y luego de usar l opción stop pueda ser visualizada es por ello que cuenta con dos opciones el trace A y B.

Área de gráfica

8. **dB / Div.:** Con esta opción se cambia las divisiones por cuadro en el eje de la potencia por defecto se encuentra en 5 dB/Div. Para su control esta un “+” y un “-”.

9. **Ref. Level:** Función para mover el espectro de la señal en eje de la potencia, pero sin alterar el número por divisiones y de esta forma centrar la gráfica en la ventana del analizador de espectro.
10. **Autoscale:** Su función es la de “refrescar” la señal como también la de central en la ventana del analizador.
11. **Stop/Run:** Congela la imagen para poder realizar una mejor lectura de nuestros datos.

Recomendaciones de uso

- Antes de realizar cualquier tipo de conexión y uso del analizador asegurarse que el área de trabajo sea el óptimo libre de humedad, exceso de luz solar ya que estos factores causaran daño en el dispositivo.
- Para proceder con las medidas es recomendable hacerlas en espacios amplios por motivos que los resultados tendrán más validez que los obtenidos en lugares cerrados o con demasiada interferencia.
- Acogerse a las indicaciones que tiene el equipo ya que cualquier cambio en el mismo afectara en las mediciones de igual manera podría verse afectado el hardware.
- Al trabajar con frecuencias de televisión de use un ancho de banda de 16 MHz y una ganancia de 40 dB ya que eso facilita la visualización de la portadora de video, aportadora de croma y la portadora de sonido en un asola grafica de espectro en la pantalla del analizador.

CONCLUSIONES

Durante la investigación sobre la operación y funcionamiento del analizador de espectro se determina que estos dispositivos trabajan con una señal analógica para luego ser transformada a una digital y mediante la FFT desglosar sus componentes espectrales para ser visualizadas.

Para la construcción del prototipo de analizador se diseñó el algoritmo en el software libre GNU Radio logrando un diseño funcional con funciones básicas de un analizador de espectro como son la frecuencia central, Sapan, Peak hold y control de la gráfica que en el prototipo funcionan sin presentar erro alguno.

Le acoplamiento de la tarjeta USRP y el ordenador es eficiente ya que se trabajó bajo las especificaciones dadas por el fabricante de la tarjeta, como la comunicación no presenta ningún tipo de problemas el algoritmo del analizador es implementado de manera correcta en el sistema SDR dando, así como resultado un prototipo funcional.

Las pruebas realizadas muestran que el prototipo de analizador implementado llega a valores aproximados en una ganancia de 0 demostrando así que este prototipo está en la capacidad de trabajar a un nivel aproximado a la de un analizador comercial con un error en las mediciones de anchos de banda de 15,7% este error de debe al bajo rango del ancho de banda de la tarjeta USRP.

Los analizadores de espectro son necesarios en la formación académica de un estudiante de la carrera de Telecomunicaciones ya que con este dispositivo y entre las clases teóricas amplían sus conocimientos que ayudaran a desenvolverse en el campo laboral. A pesar del porcentaje de error existente el prototipo fue implementado con fines de entrenamiento para educadores y estudiantes.

RECOMENDACIONES

Para mejorar el error obtenido en este prototipo se recomienda implementar el algoritmo del analizador de espectros en la nueva generación de la tarjeta USRP la cual trabaja con un ancho de banda mucho mayor a la USRP B210.

Investigar acerca de los dispositivos que se pueden implementar con el sistema SDR y así aportar a compañeros de la carrera de Telecomunicaciones con sus conocimientos y experiencias con este tipo de sistemas.

La tarjeta USRP es un dispositivo multifuncional, pero se recomienda buscar nuevas versiones para mejorar este prototipo y así producir un dispositivo que logre trabajar al mismo nivel de un analizador comercial.

Se recomienda que al trabajar con frecuencias de televisión de use un ancho de banda de 16 MHz y una ganancia de 40 dB ya que eso facilita la visualización de la portadora de video, aportadora de croma y la portadora de video en una sola gráfica de espectro en la pantalla del analizador.

BIBLIOGRAFÍA

Analizador de espectros, Definición, Tipos y Características. INGENIERÍA ELECTRONICA.ORG [en línea]. 13 de septiembre de 2016. [Consulta: 22 de mayo de 17]. Disponible en: <https://ingenieriaelectronica.org/analizador-de-espectros-definicion-tipos-y-caracteristicas/>

AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES - ECUADOR. *Cuadro de Frecuencias* [en línea]. [Consulta: 22 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/CNDF-2012.pdf>

AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES - ECUADOR. *Espectro Radioeléctrico* [en línea]. [Consulta: 22 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>.

CONSTITUCIÓN - ECUADOR. *Ley Orgánica de Telecomunicaciones v Competencias del Gobierno Central* [en línea]. Quito: miércoles 18 de febrero de 2015. [Consulta: 22 de mayo de 17]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Orgánica-de-Telecomunicaciones.pdf>

Fernández Escudero, Félix. *Curso básico de Ubuntu – GNU/Linux* [en línea], 2013, Madrid – España, pp. 4. [Consulta: 26 de octubre 2017]. Disponible en: <http://www.maderapaloma.com/pdf/Curso-ubuntu-12-13.04.pdf>

GONZALEZ, D. *Software libre en los institutos* [en línea], 2004, España volumen (1), pp. 9 [Consulta: 26 de octubre 2017]. Disponible en: https://www.cs.upc.edu/~tonis/daniel_gonzalez_pinyero.pdf

MARTINEZ, P. *“Software libre, Linux y Ubuntu”*. EUBACTERIA [línea], España, pp. 23. [Consulta: 26 de octubre 2017]. Disponible en: <http://www.um.es/eubacteria/eubacteria2/softwarefree.pdf>

PINAR DOMINGUEZ, Iván; & Murillo Fuentes, Juan José. *Laboratorio de Comunicaciones Digitales Definida por Software* [en línea]. Sevilla – España: 2011. [23 de mayo 2017], pp.11- 31. Disponible en: <http://alojoptico.us.es/murillo/LibroSDRV7USv8.pdf>

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. *Teoría de la señal y comunicaciones*, Equipos de Medida [en línea], España, pp. 6. [Consulta 23 de mayo de 17]. Disponible en: <http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/ittst/lcom/apuntes/Pract0-equipos%20de%20medida.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. DATASHEET DE LA USRP B210

Spec	Typ.	Unit
Power		
DC Input	6	V
Conversion Performance and Clocks		
ADC Sample Rate (max)	61.44	MS/s
ADC Resolution	12	bits
ADC Wideband SFDR	78	dBc
DAC Sample Rate (max)	61.44	MS/s
DAC Resolution	12	bits
Host Sample Rate (16b) **	61.44	MS/s
Frequency Accuracy	±2.0	ppm
W/ GPS Unlocked TCXO Reference	±75	ppb
W/ GPS Locked TCXO Reference	< 1	ppb

*All specifications are subject to change without notice.

** See benchmark results for sample rates in various configurations.

Spec	Typ.	Unit
RF Performance (single channel)		
SSB/LO Suppression	-35/50	dBc
3.5 GHz	1.0	deg RMS
6 GHz	1.5	deg RMS
Power Output	>10	dBm
IIP3 (@ typ NF)	-20	dBm
Receive Noise Figure	<8	dB
Physical		
Dimensions	9.7x15.5x1.5	cm
Weight	350	g

ANEXO B. CÓDIGO PYTHON DEL ALGORITMO DEL PROTOTIPO DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS.

```
#!/usr/bin/env python2
# -*- coding: utf-8 -*-
#####
# GNU Radio Python Flow Graph
# Title: Analizador_de_Espectro
# Author: Jeferson_Barragan
# Generated: Fri Nov 10 15:41:56 2017
#####

if __name__ == '__main__':
    import ctypes
    import sys
    if sys.platform.startswith('linux'):
        try:
            x11 = ctypes.cdll.LoadLibrary('libX11.so')
            x11.XInitThreads()
        except:
            print "Warning: failed to XInitThreads()"

from gnuradio import blocks
from gnuradio import eng_notation
from gnuradio import gr
from gnuradio import uhd
from gnuradio import wxgui
from gnuradio.eng_option import eng_option
from gnuradio.fft import window
from gnuradio.filter import firdes
from gnuradio.wxgui import fftsink2
from gnuradio.wxgui import forms
from grc_gnuradio import wxgui as grc_wxgui
from optparse import OptionParser
import time
import wx

class Trabajo_de_Titulacion(grc_wxgui.top_block_gui):

    def __init__(self):
        grc_wxgui.top_block_gui.__init__(self, title="Analizador_de_Espectro")
        _icon_path = "/usr/share/icons/hicolor/32x32/apps/gnuradio-grc.png"
        self.SetIcon(wx.Icon(_icon_path, wx.BITMAP_TYPE_ANY))

        #####
        # Variables
        #####
        self.SPAN = SPAN = 1e6
        self.samp_rate = samp_rate = SPAN
        self.ganancia = ganancia = 0
        self.frecuencia = frecuencia = 100e6

        #####
```

```

# Blocks
#####
_ganancia_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._ganancia_text_box = forms.text_box(
    parent=self.GetWin(),
    sizer=_ganancia_sizer,
    value=self.ganancia,
    callback=self.set_ganancia,
    label='Ganacia (dB)',
    converter=forms.float_converter(),
    proportion=0,
)
self._ganancia_slider = forms.slider(
    parent=self.GetWin(),
    sizer=_ganancia_sizer,
    value=self.ganancia,
    callback=self.set_ganancia,
    minimum=0,
    maximum=76,
    num_steps=10,
    style=wx.SL_HORIZONTAL,
    cast=float,
    proportion=1,
)
self.GridAdd(_ganancia_sizer, 5, 0, 1, 1)
_frecuencia_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._frecuencia_text_box = forms.text_box(
    parent=self.GetWin(),
    sizer=_frecuencia_sizer,
    value=self.frecuencia,
    callback=self.set_frecuencia,
    label='Frecuencia central',
    converter=forms.float_converter(),
    proportion=0,
)
self._frecuencia_slider = forms.slider(
    parent=self.GetWin(),
    sizer=_frecuencia_sizer,
    value=self.frecuencia,
    callback=self.set_frecuencia,
    minimum=70e6,
    maximum=6e9,
    num_steps=10,
    style=wx.SL_VERTICAL,
    cast=float,
    proportion=1,
)
self.GridAdd(_frecuencia_sizer, 6, 0, 1, 1)
_SPAN_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._SPAN_text_box = forms.text_box(
    parent=self.GetWin(),
    sizer=_SPAN_sizer,
    value=self.SPAN,
    callback=self.set_SPAN,
    label='SPAN',
)

```

```

        converter=forms.float_converter(),
        proportion=0,
    )
    self._SPAN_slider = forms.slider(
        parent=self.GetWin(),
        sizer=_SPAN_sizer,
        value=self.SPAN,
        callback=self.set_SPAN,
        minimum=200e3,
        maximum=56e6,
        num_steps=100,
        style=wx.SL_HORIZONTAL,
        cast=float,
        proportion=1,
    )
    self.Add(_SPAN_sizer)
    self.wxgui_fftsink2_0 = fftsink2.fft_sink_c(
        self.GetWin(),
        baseband_freq=frecuencia,
        y_per_div=5,
        y_divs=10,
        ref_level=-30,
        ref_scale=2.0,
        sample_rate=SPAN,
        fft_size=1024,
        fft_rate=30,
        average=True,
        avg_alpha=0.03,
        title='Espectro',
        peak_hold=False,
        win=window.hanning,
    )
    self.GridAdd(self.wxgui_fftsink2_0.win, 0, 0, 4, 5)
    self.uhd_usrp_source_0 = uhd.usrp_source(
        ", ".join((" ", "")),
        uhd.stream_args(
            cpu_format="fc32",
            channels=range(1),
        ),
    )
    self.uhd_usrp_source_0.set_samp_rate(samp_rate)
    self.uhd_usrp_source_0.set_center_freq(frecuencia, 0)
    self.uhd_usrp_source_0.set_gain(ganancia, 0)
    self.uhd_usrp_source_0.set_antenna('RX2', 0)
    self.blocks_throttle_0 = blocks.throttle(gr.sizeof_gr_complex*1, samp_rate, True)

#####
# Connections
#####
self.connect((self.blocks_throttle_0, 0), (self.wxgui_fftsink2_0, 0))
self.connect((self.uhd_usrp_source_0, 0), (self.blocks_throttle_0, 0))

def get_SPAN(self):
    return self.SPAN

```

```

def set_SPAN(self, SPAN):
    self.SPAN = SPAN
    self.set_samp_rate(self.SPAN)
    self._SPAN_slider.set_value(self.SPAN)
    self._SPAN_text_box.set_value(self.SPAN)
    self.wxgui_fftsink2_0.set_sample_rate(self.SPAN)

def get_samp_rate(self):
    return self.samp_rate

def set_samp_rate(self, samp_rate):
    self.samp_rate = samp_rate
    self.uhd_usrp_source_0.set_samp_rate(self.samp_rate)
    self.blocks_throttle_0.set_sample_rate(self.samp_rate)

def get_ganancia(self):
    return self.ganancia

def set_ganancia(self, ganancia):
    self.ganancia = ganancia
    self._ganancia_slider.set_value(self.ganancia)
    self._ganancia_text_box.set_value(self.ganancia)
    self.uhd_usrp_source_0.set_gain(self.ganancia, 0)

def get_frecuencia(self):
    return self.frecuencia

def set_frecuencia(self, frecuencia):
    self.frecuencia = frecuencia
    self._frecuencia_slider.set_value(self.frecuencia)
    self._frecuencia_text_box.set_value(self.frecuencia)
    self.wxgui_fftsink2_0.set_baseband_freq(self.frecuencia)
    self.uhd_usrp_source_0.set_center_freq(self.frecuencia, 0)

def main(top_block_cls=Trabajo_de_Titulacion, options=None):

    tb = top_block_cls()
    tb.Start(True)
    tb.Wait()

if __name__ == '__main__':
    main()

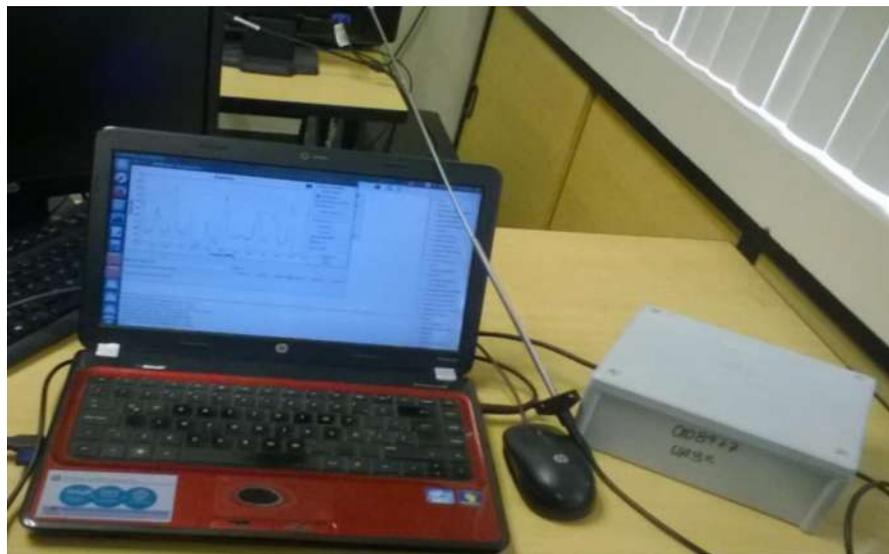
```

ANEXO C. FOTOGRAFÍAS DE MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR ANRITSU Y EL PROTOTIPO.

Mediciones de las estaciones FM con el analizador Anritsu



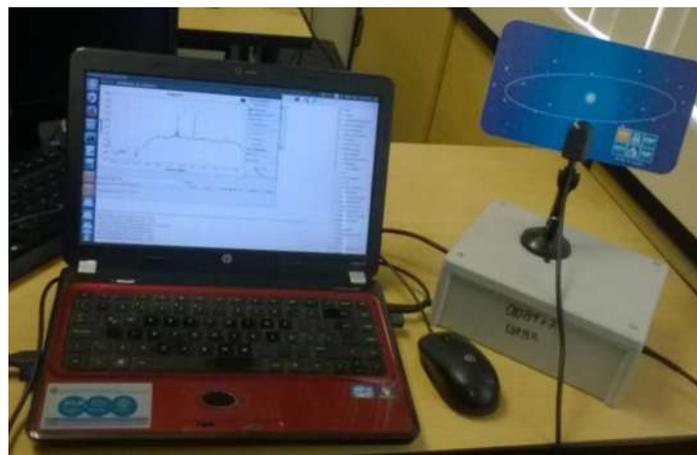
Mediciones de las estaciones FM con el Prototipo



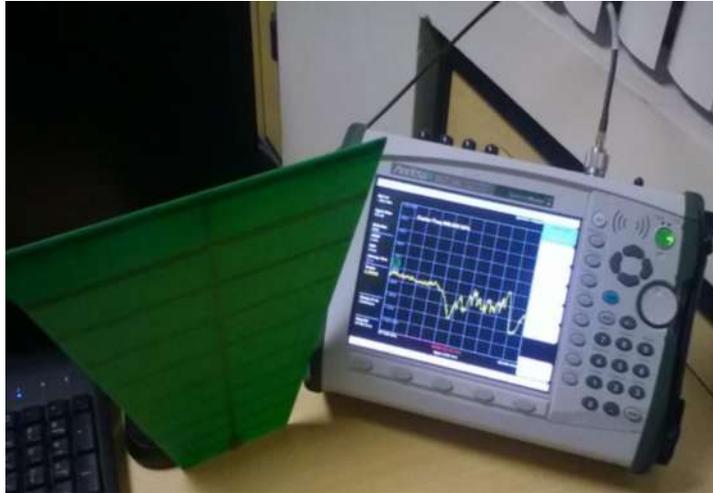
Mediciones de las señales de televisión con el analizador
Anritsu



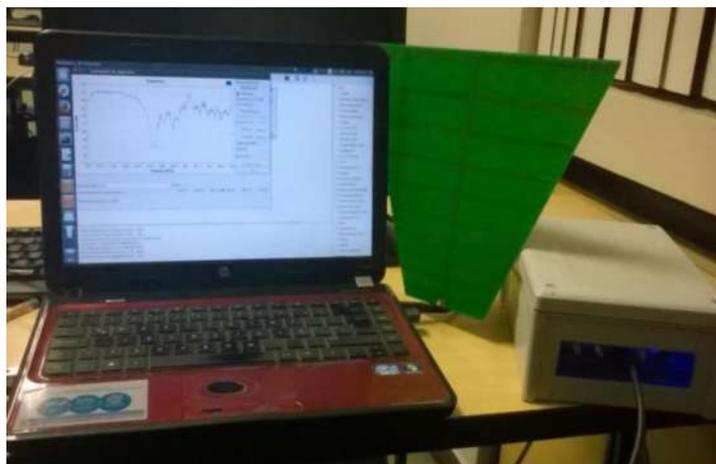
Mediciones de las señales de televisión con el Prototipo



Mediciones de la señal celular en la banda GSM con el
analizador Anritsu



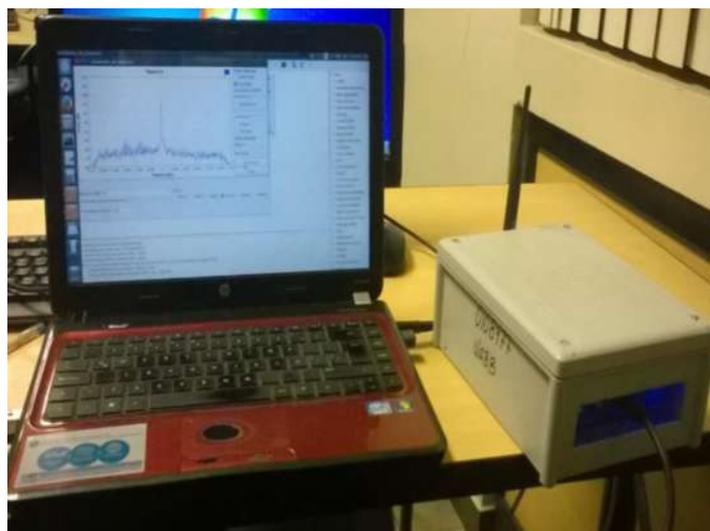
Mediciones de la señal celular en la banda GSM con el
prototipo



Mediciones de las señales Wifi con el analizador Anritsu

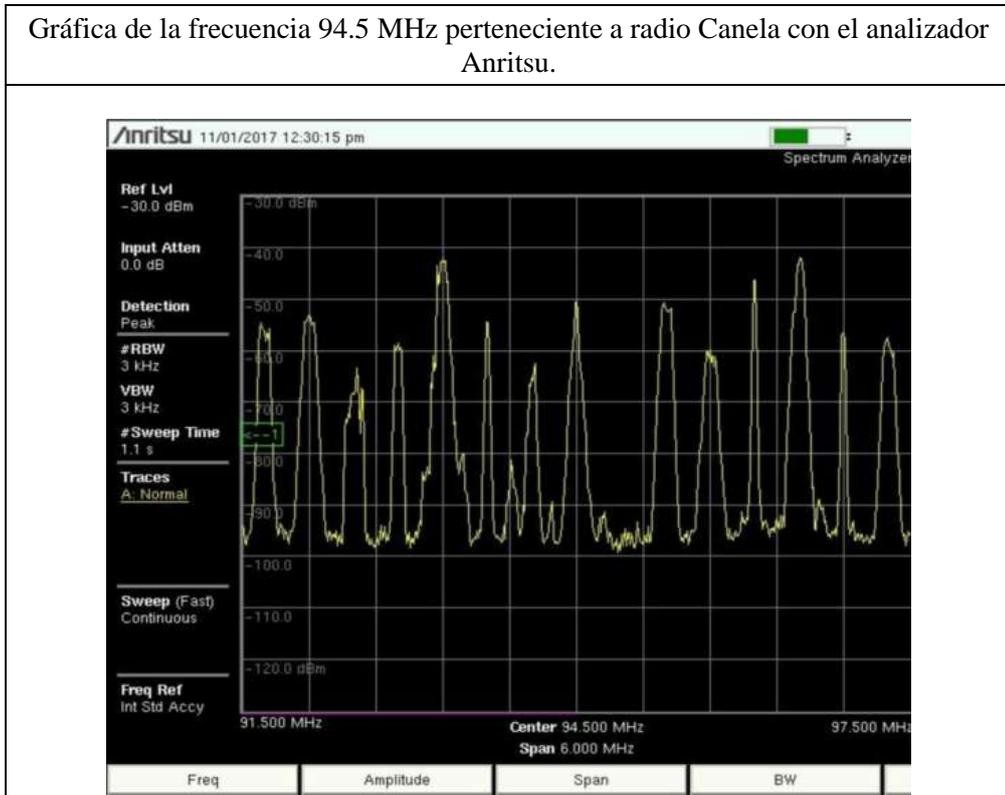


Mediciones de las señales Wifi con el prototipo

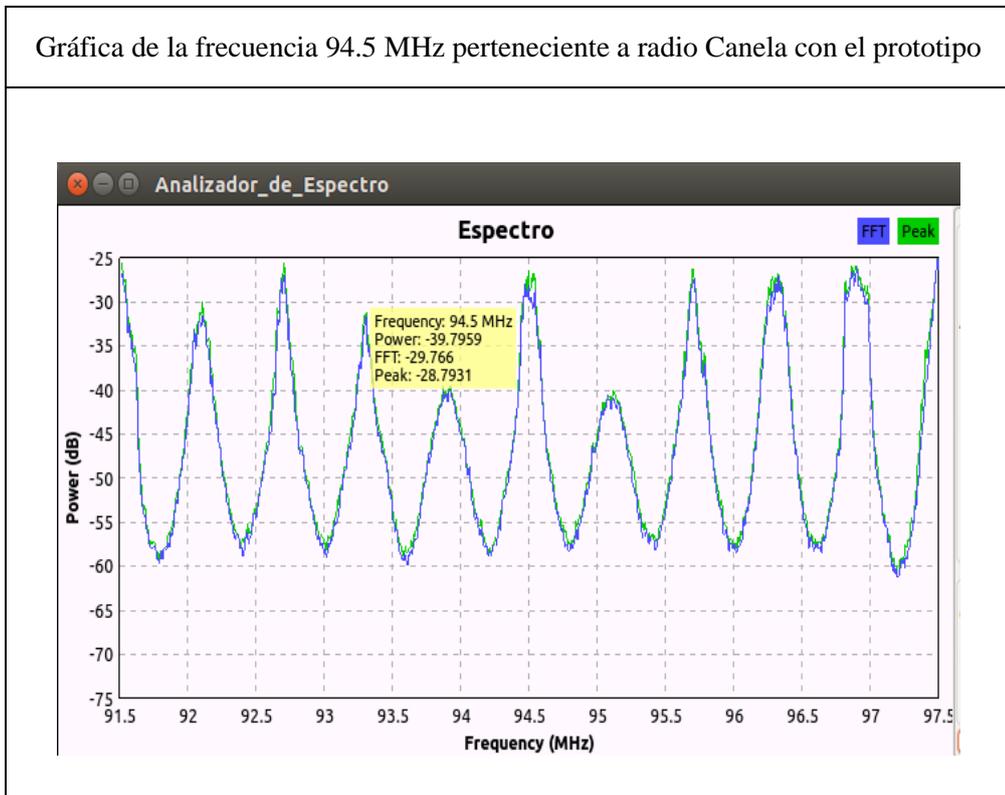


ANEXO D. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS

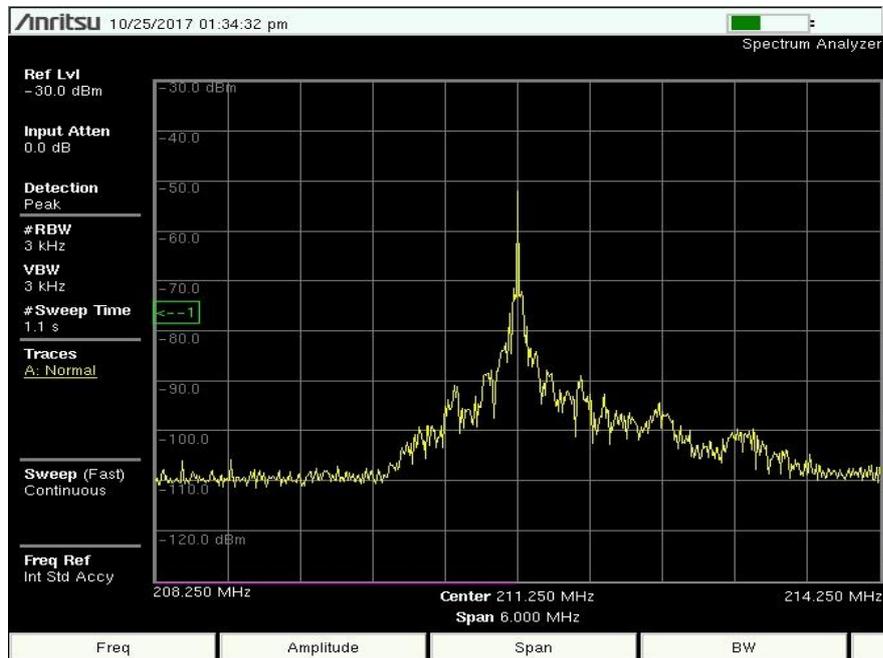
Gráfica de la frecuencia 94.5 MHz perteneciente a radio Canela con el analizador Anritsu.



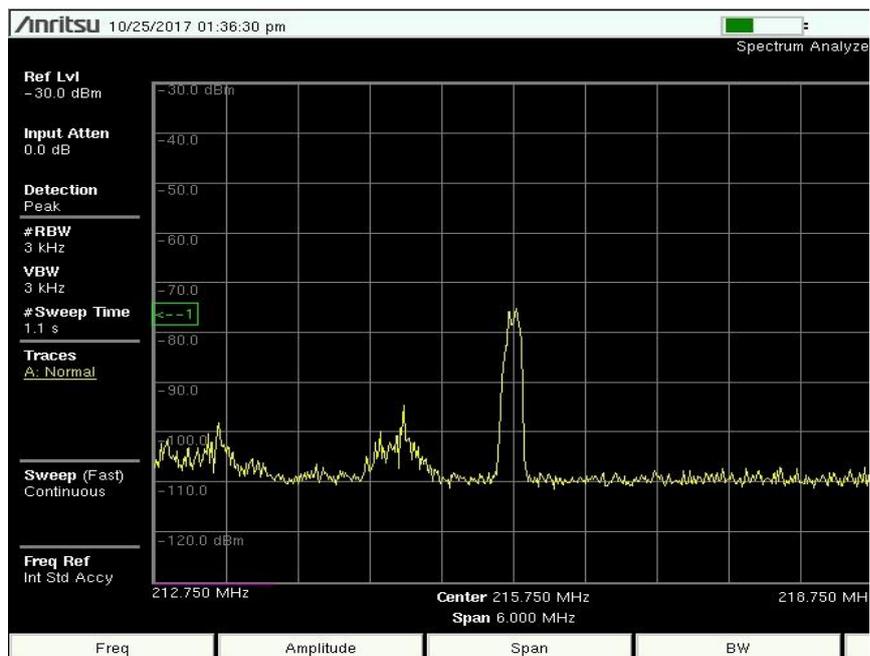
Gráfica de la frecuencia 94.5 MHz perteneciente a radio Canela con el prototipo



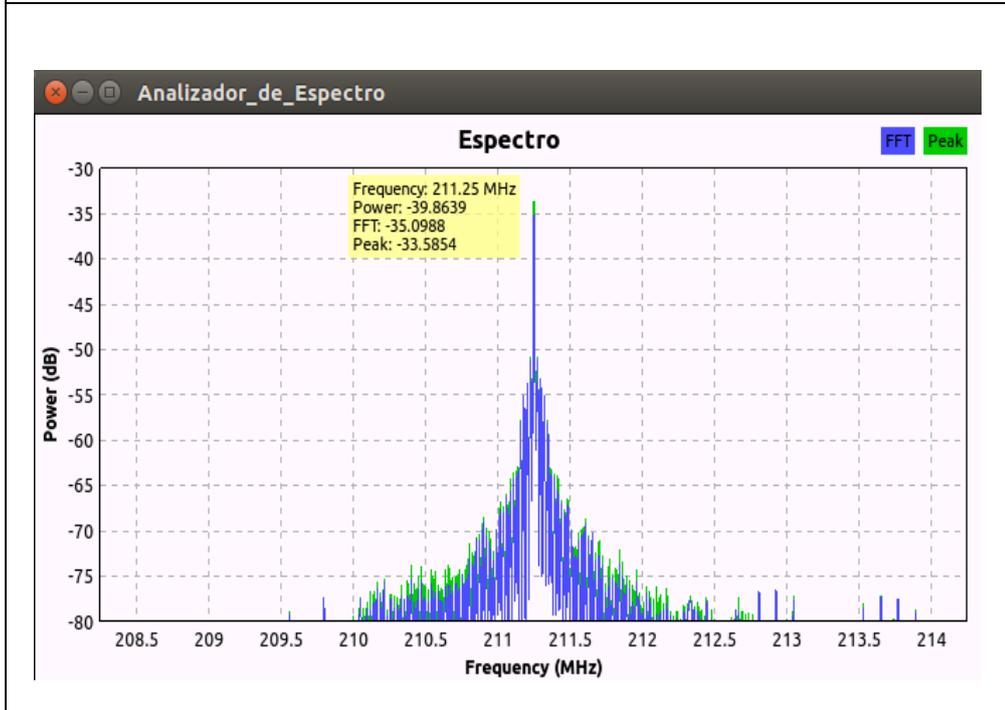
Gráfica de la frecuencia 211.25 MHz perteneciente a la portadora de video del canal 13 con el analizador Anritsu.



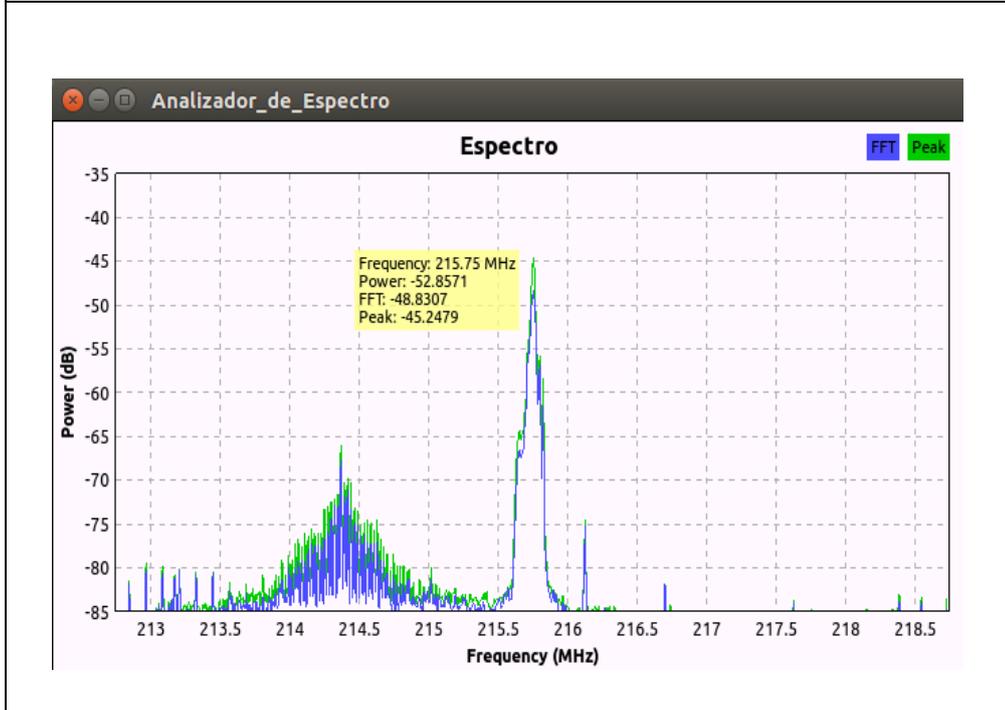
Gráfica de la frecuencia 215.75 MHz perteneciente a la portadora de audio del canal 13 con el analizador Anritsu.



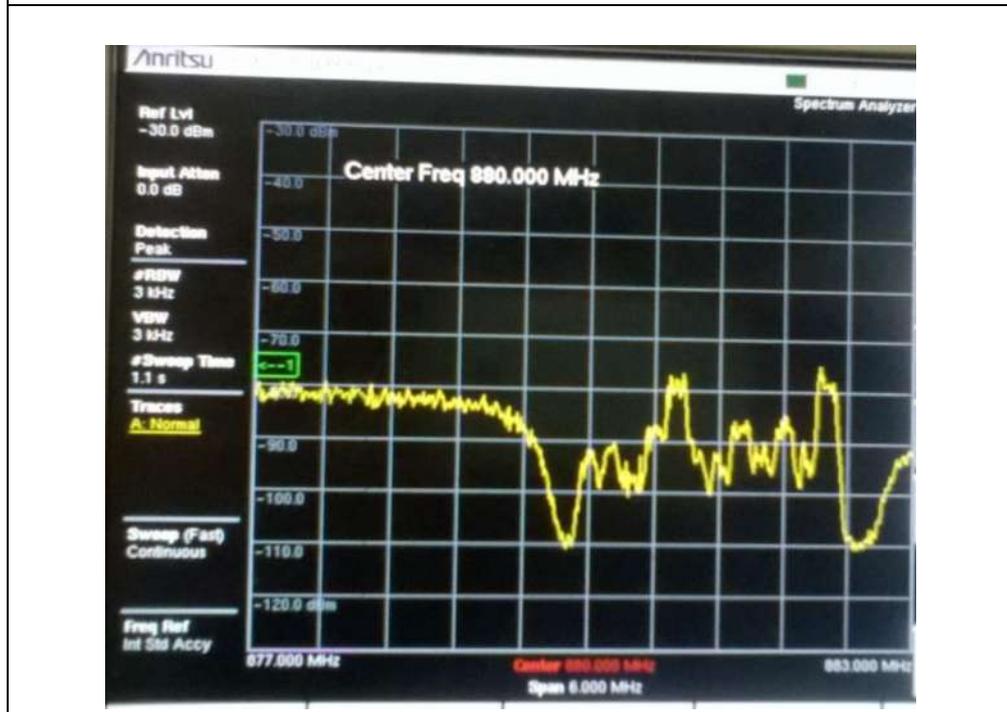
Gráfica de la frecuencia 211.25 MHz perteneciente a la portadora de video del canal 13 con el prototipo



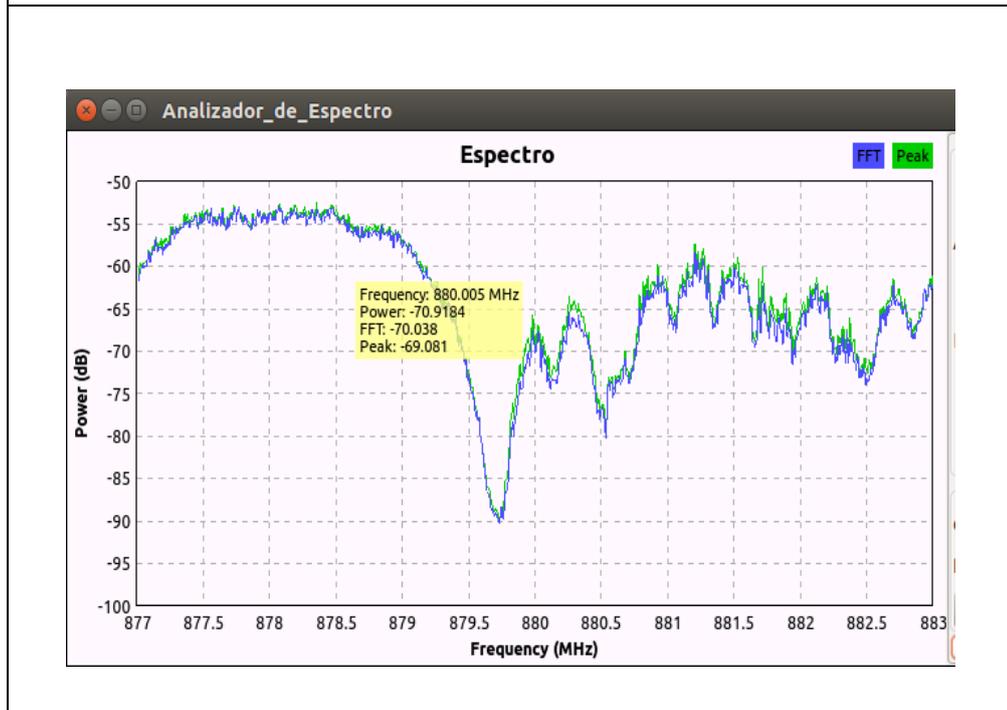
Gráfica de la frecuencia 215.75 MHz perteneciente a la portadora de audio del canal 13 con el prototipo.



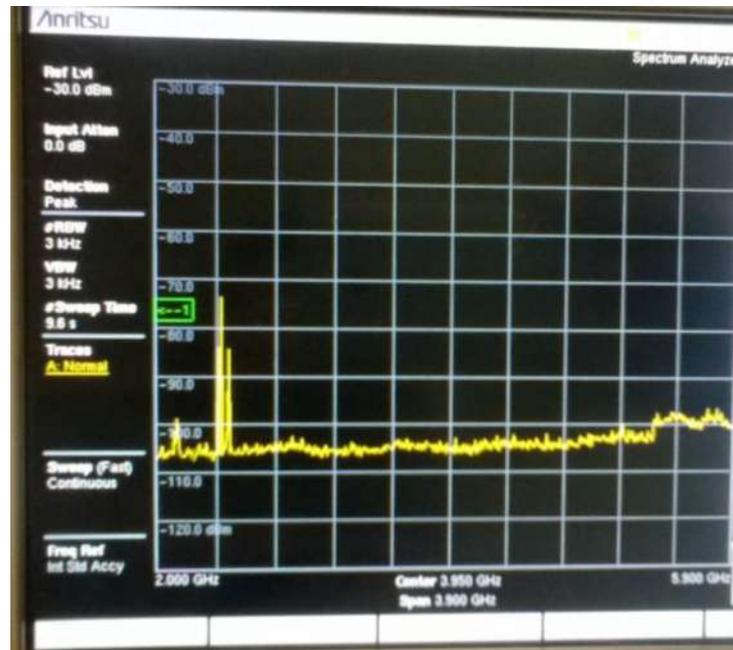
Gráfica de la frecuencia 880 MHz del enlace base – móvil de la banda GSM con el analizador Anritsu.



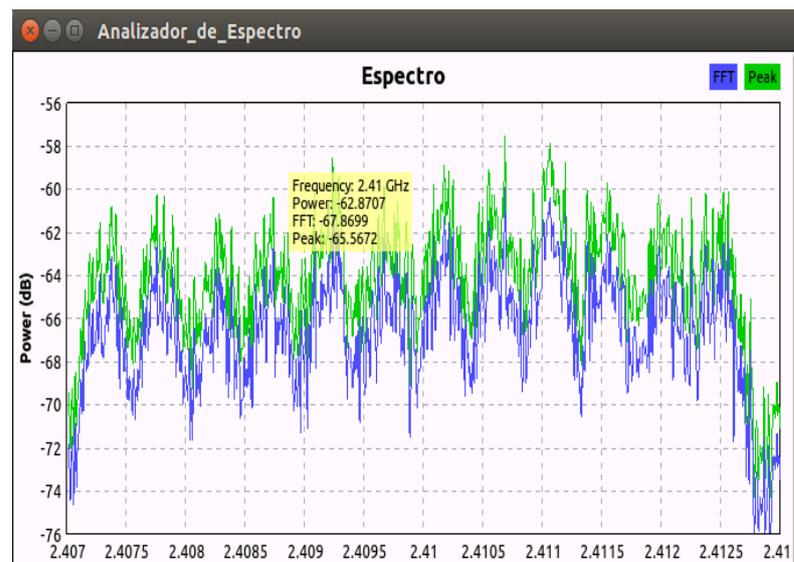
Gráfica de la frecuencia 880 MHz del enlace base – móvil de la banda GSM con el prototipo.



Gráfica de las frecuencias 2.41 y 2.46 GHz con el analizador Anritsu.



Gráfica de las frecuencias 2.41 GHz con el prototipo.



Gráfica de las frecuencias 2.46 GHz con el prototipo.

