



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

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
ANALIZADOR DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO
UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE SOBRE RASPBERRY PI
PARA RADIO RIO FM

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTORES: GABRIEL SANTIAGO SANTAMARÍA ACOSTA
ORLANDO GEOVANNY CALLE SILVA

TUTOR: ING. WILLIAM LEOPOLDO CALVOPIÑA HINOJOSA

Riobamba – Ecuador

2016

@2016, Gabriel Santiago Santamaría Acosta y Orlando Geovanny Calle Silva

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 el Derecho de Autor.

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ANALIZADOR DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE SOBRE RASPBERRY PI PARA RADIO RIO FM, de responsabilidad de los señores Gabriel Santiago Santamaría Acosta y Orlando Geovanny Calle Silva, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay, PhD. DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. William Calvopiña DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Alex Troya MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

RESPONSABILIDAD DEL AUTOR

Nosotros, GABRIEL SANTIAGO SANTAMARÍA ACOSTA y ORLANDO GEOVANNY CALLE SILVA, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Gabriel Santiago Santamaría Acosta.

Orlando Geovanny Calle Silva.

DEDICATORIA

Al culminar esta etapa de mi vida dedico este trabajo de titulación principalmente a Dios, por haberme guiado en mi camino y ser la fortaleza que me permitió siempre seguir adelante, a mis padres por apoyarme en cada momento, estar pendientes de que no me falte nada y orientándome para ser una persona de bien, a mi papá Jorge quien es la persona que me dio los regalos más valioso en mi vida como es: el buen consejo, enseñanzas, amistad, comprensión, confianza y siempre diciéndome que se debe vivir feliz, convirtiéndose en mi ejemplo a seguir, a mi mamá Rosa por ser la persona que siempre ha estado pendiente de cómo me siento y preocupándose de cada paso que quiero dar, siempre brindándome su amor.

A mis hermanos Álvaro y Paúl, por siempre apoyarme incondicionalmente en cada proyecto que quiero emprender, demostrándome que siempre se debe tener buena actitud ante los problemas y que no hay imposibles en la vida, a mi ñaña Lidia porque desde que formó parte de mi familia siempre me apoyó y está pendiente de cuidarme, a mi primo Christian quien es como hermano y con quien recorrimos una vida académica desde el jardín apoyándonos en todo momento.

A mis sobrinas Edith y Marley, que son luz en mi vida y siempre con alguna travesura me hacen pasar buenos momentos y se ponen felices de mi llegada a casa, a mis tíos que siempre están pendientes de cada paso que doy, a todos mis primos con los que siempre se pasan buenos momento en cualquier cosa que se haga.

Finamente a mis amigos que conocí en la poli con quienes compartimos momentos memorables, logrando formar lazos de amistad y hermandad, ayudándonos tanto en el crecimiento personal como profesional, a mis profesores quienes impartieron su conocimiento de la mejor manera, construyendo la base para formar un buen profesional.

Gabriel

DEDICATORIA

A Dios, por bendecirme y guiarme siempre por el camino correcto y permitirme cumplir cada una de mis metas en el momento más adecuado de mi vida.

A mis padres Geovi y Ceci, por el esfuerzo realizado para que pueda culminar mi carrera universitaria, ellos han sido parte fundamental de este logro, quienes con sus consejos y enseñanza de valores han hecho de mí una persona de bien, quienes en el transcurso de mi vida han estado pendientes de que no me falte nada, corrigiendo mis fallas y celebrando mis triunfos.

A mi hermano Gabo, para que sea una persona de bien y ponga en práctica los buenos consejos y enseñanzas de nuestros padres, y para que continúe con sus estudios y llegué a ser un gran arquitecto.

A mi abuelita Peti, que con sus sabias palabras me aconsejó para conseguir mis metas, y por estar presente en los momentos más importantes de mi vida.

A mi familia, tanto de Cuenca como de Riobamba, por brindarme su apoyo y estar pendientes de mí en cada etapa y logro de mi vida.

A Katty, porque desde que llegó a mi vida siempre estuvo brindándome su amor y confianza, y por ser un apoyo incondicional en todo momento.

A Rafita, porque desde que llegó a este mundo ha traído felicidad a nuestra familia, con sus ocurrencias y travesuras ha estado siempre alegrándonos a todos.

A mis amigos, la familia que yo escogí, personas con las que compartí buenos y malos momentos, alegrías y tristezas, y sobretodo momentos inolvidables, siempre ayudándonos y apoyándonos incondicionalmente.

Orlando

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarnos en cada paso y brindarnos sabiduría e inteligencia para lograr culminar nuestra carrera.

A nuestros padres, porque día a día con su infinito amor y confianza han sido los cimientos para este logro, brindándonos su apoyo y dándonos la fortaleza para seguir adelante.

A nuestros maestros Ing. William Calvopiña e Ing. Alex Troya, quienes con responsabilidad supieron guiarnos e impartir sus conocimientos para la culminación del trabajo de titulación.

A todos nuestros familiares y amigos, por estar siempre pendientes de nosotros y por su apoyo incondicional.

A radio Rio FM, por darnos la apertura para desarrollar nuestro trabajo de titulación, en especial a la Lic. María Mercedes Fierro por el apoyo brindado.

Gabriel y Orlando

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN.
AM	Amplitud Modulada
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
ASK	Amplitude Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Amplitud)
BPS	Bits por segundo
CCIR	Consejo Consultivo Internacional de las comunicaciones de Radio
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada)
CPU	Central Processing Unit (Unidad Central de Procesamiento)
DAB	Digital Audio Broadcasting (Transmisión Digital de Audio)
dB	Decibelio
DSP	Digital Signal Processing (Procesamiento Digital de Señales)
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial (Difusión de Video Digital – Terrestre)
EHF	Extremely High Frequencies (Frecuencias Extremadamente Altas)
FCC	Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
FM	Frecuencia Modulada
FPGA	Field Programmable Gate Array (Arreglos de Compuertas Programables en Campo)
FSK	Frequency Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia)
Gbps	Gigabits por segundo
GHz	Gigahercio
GPIO	General Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General)
GSM	Global System for Mobile communications (Sistema Global para las comunicaciones Móviles)
HDMI	High-Definition Multimedia Interface (Interfaz Multimedia de Alta Definición)
HF	High Frequencies (Frecuencias Altas)
HSPA	High Speed Packet Access (Acceso a Paquetes a Alta Velocidad)
Hz	Hercios
kbps	Kilobits por segundo

kHz	Kilohercio
LF	Low Frequencies (Frecuencias Bajas)
LNA	Low-Noise Amplifier (Amplificador de Bajo Ruido)
LTE	Long Term Evolution (Evolución a Largo Plazo)
Mbps	Megabits por segundo
MF	Medium Frequencies (Frecuencias Medias)
MHz	Megahercio
NAS	Network Access Server (Servidor de Acceso a la Red)
NOOBS	New Out Of Box Software
PM	Modulación de Fase
PSK	Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura)
RBW	Resolution Bandwidth (Ancho de Banda de Resolución)
RFID	Radio Frequency Identification (Identificación por Radiofrecuencia)
RPI	Raspberry Pi
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
SACER	Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico
SDR	Software Defined Radio (Radio Definida por Software)
SHF	Super High Frequencies (Frecuencias Super Altas)
SPAN	Ventana de visualización horizontal
SPI	Serial Peripheral Interface (Interfaz Periférica Serial)
SUPERTEL	Superintendencia de Telecomunicaciones
TDF	Transformada Discreta de Fourier
THz	Terahercios
UHF	Ultra High Frequencies (Frecuencias Ultra Altas)
UIT	Unión Internacional de las Telecomunicaciones
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)
USB	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)
VHF	Very High Frequencies (Frecuencias Muy Altas)
VLF	Very Low Frequency (Frecuencia Muy Baja)
XRDP	Remote Desktop Protocol (Protocolo de Escritorio Remoto)

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
PORTADA	
DERECHO DE AUTOR.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vii
TABLA DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
INDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1 Espectro Radioeléctrico.....	6
1.1.1 Definición.....	6
1.1.2 Distribución del Espectro Radioeléctrico.....	6
1.1.3 Regulación del Espectro Radioeléctrico	7
1.1.4 Medición de Parámetros de Operación	8
1.1.4.1 Medición de Frecuencia.....	8
1.1.4.2 Medición del Ancho de Banda en base a las recomendaciones de la UIT	9
1.1.4.2.1 Medición Analógica.....	12
1.1.4.2.2 Medición Digital	12
1.1.4.3 Medición de Intensidad de Campo.....	13
1.1.5 Servicios del Espectro Radioeléctrico.....	14
1.1.6 Tipos de sistemas de telecomunicaciones entre 24Mhz y 1.7Ghz	16
1.2 Ondas Radioeléctricas	16
1.2.1 Definición.....	16
1.2.2 Clasificación de Señales Radioeléctricas	17
1.2.2.1 VLF Very Low Frequencies Banda 4	17

1.2.2.2	LF Low Frequencies Banda 5	17
1.2.2.3	MF Medium Frequencies Banda 6.....	18
1.2.2.4	HF High Frequencies Banda 7	18
1.2.2.5	VHF Very High Frequencies Banda 8	19
1.2.2.6	UHF Ultra High Frequencies Banda 9	19
1.2.2.7	SHF Super High Frequencies Banda 10.....	19
1.2.2.8	EHF Extremely High Frequencies Banda 11	19
1.2.3	Propagación de las Ondas	20
1.2.3.1	Propagación de ondas terrestres	20
1.2.3.2	Propagación de ondas directas o espaciales	20
1.2.3.3	Propagación de ondas celestes	20
1.2.4	Modulación de señales	21
1.2.4.1	Modulación Analógica.....	21
1.2.4.1.1	Amplitud Modulada AM.....	21
1.2.4.1.2	Modulación de Fase PM.....	21
1.2.4.2	Modulación en Frecuencia	21
1.2.4.3	Modulación Digital	22
1.3	Analizador de Espectro.....	23
1.3.1	Definición.....	23
1.3.2	Clasificación del Analizador de Espectro	23
1.3.2.1	Analizador de Espectro Analógico.....	23
1.3.2.2	Analizador de Espectro Digital	23
1.3.3	Funcionamiento.....	23
1.3.3.1	Frecuencia	24
1.3.3.2	Amplitud	24
1.3.3.3	Ventana de visualización horizontal SPAN	24
1.3.4	Aplicaciones.....	25
1.4	Receptor - Decodificador.....	25
1.4.1	Definición.....	25
1.4.2	Características del receptor - decodificador	25
1.4.3	Componentes del receptor - decodificador	25
1.4.3.1	Demodulador RTL2832U	25
1.4.3.1.1	Características	26
1.4.3.1.2	Aplicaciones	26
1.4.3.2	Tuner R820T	26
1.4.3.2.1	Características	26
1.4.3.2.2	Aplicaciones.....	27

1.5	Raspberry Pi	27
1.5.1	Definición.....	27
1.5.2	Generalidades técnicas de un Raspberry Pi	27
1.5.3	Modelos.....	28
1.5.4	Software compatible con Raspberry Pi	29
1.5.5	Aplicaciones.....	30
1.6	Software Libre	30
1.6.1	Introducción	30
1.6.2	Características	30
1.6.3	Ventajas y Desventajas	31
1.6.4	Comparación de software libre con software propietario	32
1.6.5	Sistema Operativo Raspbian	32
1.6.6	Software libre rtl-sdr	33
1.6.6.1	Utilidades	33
CAPÍTULO II		
2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ANALIZADOR DE ESPECTRO.....	34
2.1	Descripción General	34
2.2	Consideraciones para el diseño.....	37
2.2.1	Frecuencia Analizada.....	37
2.2.2	Ancho de Banda	37
2.2.3	SPAN	38
2.2.4	Demodulación	38
2.2.5	Software y Hardware	39
2.3	Arquitectura del Sistema.....	39
2.3.1	Raspberry Pi.....	39
2.3.2	Receptor - demodulador.....	40
2.3.3	Sistema de Control	41
2.3.4	Software Libre.....	41
2.3.5	Pantalla.....	42
2.4	Funcionalidad de los Materiales	43
2.4.1	Raspberry Pi.....	43
2.4.2	Receptor - Decodificador	44
2.4.3	Software libre aplicado	44
2.4.4	Conexión USB	46
2.5	Presentación del Prototipo	47
2.6	Ensamblaje del sistema.....	48

2.6.1	Alimentación de Energía.....	48
2.6.2	Puertos utilizados en Raspberry Pi.....	49
2.6.3	Conexión con el decodificador.....	50
2.6.4	Adaptación de la pantalla.....	51
2.6.5	Conexión Física del Prototipo.....	52
2.7	Instalación del sistema operativo Raspbian.....	52
2.8	Configuración del Raspberry Pi.....	55
2.9	Instalación de la pantalla LCD.....	58
2.10	Instalación del software libre rtl-sdr.....	63
2.11	Instalación de FreqShow.....	65
2.12	Instalación de complementos y software.....	67
2.13	Configuración software del analizador de espectro en Raspberry Pi.....	75
2.13.1	Archivos Freqshow.....	75
2.13.2	Archivos rtlizer.....	76
2.13.3	Archivos rtl-sdr.....	77
2.14	Instalación en Ubuntu.....	78
2.15	Acoplamiento al chasis.....	82

CAPÍTULO III

3.	EVALUACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	85
3.1	Pruebas del Analizador de espectro.....	85
3.1.1	Funcionamiento del prototipo construido.....	85
3.1.2	Patrón del Espectro Radioeléctrico.....	85
3.1.3	Frecuencias.....	86
3.1.4	SPAN.....	87
3.1.5	Demodulación FM.....	87
3.1.6	Max Hold y Average.....	88
3.1.7	Acoplamiento de la señal.....	88
3.1.8	Pruebas de comunicación con la PC.....	89
3.1.9	Comparación del Ancho de Banda en radio Rio FM.....	90
3.1.9.1	SACER.....	90
3.1.9.2	Analizador marca Anritsu modelo MS2661A.....	91
3.1.9.3	Prototipo del Analizador de Espectro.....	92
3.1.10	Mediciones de Ancho de banda.....	94
3.1.10.1	Anritsu y Prototipo de Analizador de Espectro.....	96
3.1.10.2	SACER y Prototipo de Analizador de Espectro.....	97
3.1.11	Características Generales de Operación.....	98

3.2	Resultados obtenidos	99
3.3	Manual de operación	102
3.3.1	Características del dispositivo.....	102
3.3.2	Encendido y conexión del dispositivo.....	102
3.3.2.1	ON/OFF	102
3.3.2.2	Puertos del dispositivo	103
3.3.3	Ejecución de las aplicaciones.....	105
3.3.3.1	Limpiar Memoria	106
3.3.3.2	Ejecutar el Analizador de Espectro.....	107
3.3.3.3	Análisis del espectro recibido	109
3.3.3.4	Demodulación de la Señal.....	110
3.3.4	Conexión con el computador	111
3.3.4.1	Ejecución de los programas	112
3.3.4.1.1	Analizador de Espectro	112
3.3.4.1.2	Cálculo del Ancho de Banda.....	116
	CONCLUSIONES.....	119
	RECOMENDACIONES.....	120
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Servicios del Espectro Radioeléctrico.	14
Tabla 1-2	Sistemas de telecomunicaciones entre 24Mhz y 1.7Ghz.	16
Tabla 1-3	Sub-bandas de High Frequencies.....	18
Tabla 1-4	Especificaciones Técnicas de los modelos de RPI.	28
Tabla 1-5	Libertades del Software Libre.....	31
Tabla 1-6	Ventajas del Software Libre.....	31
Tabla 1-7	Desventajas del Software Libre.	31
Tabla 1-8	Software libre vs. Software propietario	32
Tabla 3-1	Funcionalidades de los analizadores de espectros.	85
Tabla 3-2	Rango de frecuencias permitidas.	87
Tabla 3-3	Rango de SPAN permitido.	87
Tabla 3-4	Medición del ancho de banda.	94
Tabla 3-5	Comparación entre Anritsu y el Prototipo.	96
Tabla 3-6	Comparación entre SACER y el Prototipo.	97
Tabla 3-7	Características técnicas de los analizadores de espectro.....	98
Tabla 3-8	Funcionalidad del prototipo de analizador de espectro.....	99
Tabla 3-9	Características técnicas del prototipo de analizador de espectro.	100
Tabla 3-10	Descripción de la arquitectura del prototipo.....	101
Tabla 3-11	Ejemplo de la variación del ancho de banda.....	101
Tabla 3-11	Aplicaciones del analizador de espectro.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Banda de Frecuencias.....	7
Figura 1-2	Ancho de banda entre puntos a x dB.....	11
Figura 1-3	Medición del ancho de banda en presencia de interferencias.....	11
Figura 1-4	Componentes de las Ondas Radioeléctricas.....	17
Figura 1-5	Tipos de Modulación Digital.....	22
Figura 2-1	Descripción gráfica del analizador de espectro.....	34
Figura 2-2	Pantallas utilizadas en el analizador de espectro.....	35
Figura 2-3	Sistema de Control.....	36
Figura 2-4	Señales del espectro en la FFT.....	36
Figura 2-5	Antena receptora de señales.....	37
Figura 2-6	Ancho de banda.....	38
Figura 2-7	Arquitectura de un Raspberry Pi.....	39
Figura 2-8	Componentes del receptor – decodificador.....	40
Figura 2-9	Antena de recepción del demodulador.....	41
Figura 2-10	Parte posterior de la pantalla.....	43
Figura 2-11	Software utilizados en el Raspberry Pi.....	45
Figura 2-12	Conexión USB.....	46
Figura 2-13	Prototipo de analizador de espectro.....	48
Figura 2-14	Fuente de alimentación de energía.....	49
Figura 2-15	Vista frontal del RPi.....	49
Figura 2-16	Vista lateral derecha del RPi.....	50
Figura 2-17	Puerto GPIO del RPi.....	50
Figura 2-18	Puerto USB del decodificador.....	51
Figura 2-19	Puerto MCX del decodificador.....	51
Figura 2-20	Conexión entre pantalla LCD y RPi.....	51
Figura 2-21	Componentes del analizador de espectro.....	52
Figura 2-22	Presentación del software SDFormatter.....	53
Figura 2-23	Ítems de la ventana de inicio de NOOBS.....	54
Figura 2-24	Mensaje del proceso de instalación de Raspbian.....	55
Figura 2-25	Menú raspi-config.....	55
Figura 2-26	Confirmación del password.....	56
Figura 2-27	Herramientas de internalización.....	56
Figura 2-28	Pantalla principal de Raspbian.....	57
Figura 2-29	Configuración de la interfaz de red.....	58
Figura 2-30	Reinicio de la interfaz de red.....	58

Figura 2-31	Edición del archivo fbturbo para iniciar con pantalla LCD.	59
Figura 2-32	Ventana inicial de herramientas de configuración.	59
Figura 2-33	Selección de la opción SPI.	60
Figura 2-34	Habilitación de la interfaz SPI.	60
Figura 2-35	Edición del archivo raspi-blacklist.conf.	61
Figura 2-36	Instalación de los drivers del kernel de la pantalla.	61
Figura 2-37	Habilitación del módulo de la pantalla.	62
Figura 2-38	Inicio de la pantalla al arrancar el sistema.	62
Figura 2-39	Clonar el directorio rtl-sdr.	63
Figura 2-40	Ejecución de lsusb.	64
Figura 2-41	Ejecución del test del driver.	64
Figura 2-42	Edición de no-rtl.conf.	65
Figura 2-43	Clonar el directorio FreqShow.	66
Figura 2-44	Ejecución del analizador de espectro.	66
Figura 2-45	Ejecución del diagrama de cascada.	66
Figura 2-46	Software para acceso remoto.	67
Figura 2-47	Registro para acceso en xrdp.	67
Figura 2-48	Ejecución del teclado en pantalla.	68
Figura 2-49	Ejecución del demodulador.	69
Figura 2-50	Edición de /etc/asound.conf.	69
Figura 2-51	Proceso de instalación de rtlizer.	70
Figura 2-52	Ejecución del software rtlizer.	71
Figura 2-53	Descarga del directorio rtlizer.	71
Figura 2-54	Instalación del paquete libgtk.	72
Figura 2-55	Scripts del analizador de espectro.	72
Figura 2-56	Edición del archivo freqshow.py.	75
Figura 2-57	Edición del archivo views.py.	75
Figura 2-58	Edición del archivo rtlizer.c.	76
Figura 2-59	Edición del SPAN en el archivo rtlizer.c.	76
Figura 2-60	Edición del archivo librtlsdr.c.	77
Figura 2-61	Edición del archivo rtl_power.c.	77
Figura 2-62	Archivo de configuración rtl_sdr.c.	79
Figura 2-63	Archivo de configuración blacklist-rtl.conf.	81
Figura 2-64	Pantalla principal de GNU Radio.	82
Figura 2-65	Parte interna del prototipo.	83
Figura 2-66	Vista frontal del prototipo.	84
Figura 2-67	Diferentes vistas del prototipo.	84

Figura 3-1	Patrones del espectro en el dispositivo.....	86
Figura 3-2	Diagrama de cascada del dispositivo.....	86
Figura 3-3	Ítems Peak Hold y Average.....	88
Figura 3-4	Configuraciones varias del dispositivo.....	89
Figura 3-5	Conexión entre el dispositivo y el computador.	89
Figura 3-6	Gráfica del espectro en el SACER.	91
Figura 3-7	Gráfica del espectro en el Anritsu.	92
Figura 3-8	Gráfica del espectro en el prototipo.	93
Figura 3-9	Gráfica del espectro en la computadora.	93
Figura 3-10	Cálculo del ancho de banda en la computadora.	94
Figura 3-11	Arquitectura del analizador de espectro	100
Figura 3-12	Conexión de la fuente de alimentación.	102
Figura 3-13	Encendido del dispositivo.	103
Figura 3-14	Vista superior del prototipo.....	104
Figura 3-15	Vista lateral izquierda.....	104
Figura 3-16	Vista inferior del prototipo.....	105
Figura 3-17	Pantalla inicial.....	106
Figura 3-18	Ejecución de la aplicación 1-limpiar_memoria.sh.	106
Figura 3-19	Pantalla limpia.....	106
Figura 3-20	Ingreso a la carpeta Desktop.	107
Figura 3-21	Ejecución de la aplicación 2-analizador.sh.	107
Figura 3-22	Asignación de parámetros para visualizar la señal deseada.	108
Figura 3-23	Diagrama en cascada de la señal.....	108
Figura 3-24	Cierre del analizador de espectro.	109
Figura 3-25	Ejecución de la aplicación 3-Espectro.sh.....	109
Figura 3-26	Reproducción del video.....	110
Figura 3-27	Ejecución de la aplicación 4-sonido.sh.	110
Figura 3-28	Ingreso de la frecuencia.....	111
Figura 3-29	Logo de Ubuntu Trusty.	111
Figura 3-30	Conexión entre analizador de espectro y PC.....	112
Figura 3-31	Reconocimiento del Analizador de Espectro.	112
Figura 3-32	Ejecución del Analizador de Espectro.....	112
Figura 3-33	Configuración de la Ganancia en Ubuntu.	113
Figura 3-34	Activación del Peak Hold en Ubuntu.....	113
Figura 3-35	Configuración del Average en Ubuntu.....	114
Figura 3-36	Configuración de Persistence en Ubuntu.	114
Figura 3-37	Configuración de Trace en Ubuntu.	115

Figura 3-38	Configuración del número de divisiones de potencia.....	115
Figura 3-39	Configuración del nivel de referencia.	116
Figura 3-40	Activación de la gráfica en toda la pantalla.	116
Figura 3-41	Ejecución de la App para el Ancho de Banda.	117
Figura 3-42	Ventanas de la App Ancho_de_banda.sh.	117
Figura 3-43	Cálculo de la potencia de referencia.....	118
Figura 3-44	Pasos para el cálculo del ancho de banda.....	118

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Código de la Aplicación

Anexo B Código del Analizador de Espectro en Ubuntu

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó e implementó un prototipo de un analizador de espectro con software libre sobre Raspberry Pi en la radio Rio FM de la ciudad de Riobamba, cumpliendo los requerimientos específicos para visualizar señales radioeléctricas en el dominio de la frecuencia y determinar los parámetros que se encuentran presentes en el espectro radioeléctrico como: frecuencias, potencia, interferencias e intermodulaciones. Se encontró y diseñó las funcionalidades de cada parte del dispositivo y se pudo realizar la demodulación FM, identificar la relación señal a ruido, cálculo del ancho de banda y potencia máxima. Se tomó en cuenta los componentes de hardware para sintonizar las frecuencias con el chipset R820T y demodular la señal con el chipset RTL2832U que utiliza COFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada), las cuales permitieron recibir señales de la banda de radiodifusión FM entre los 88 y 108 MHz y los elementos de software rtl-sdr, rtlizer, pyrtlsdr, freqshow y GNU Radio, para formar un Radio Definido por Software (SDR), todos distribuidos e instalados en los sistemas operativos Raspbian y Ubuntu Trusty, lo que permitió implementar un dispositivo con componentes de bajo consumo de energía, pantalla táctil, puertos USB para comunicación de periféricos y conexión con la computadora, conectores MCX de antenas, SPAN de 240-300 kHz y 910-3200 kHz y activación de Max Hold para picos máximos y Average para el promedio de la señal. Además se realizó la comparación con otros analizadores de marcas como Rohde & Schwarz y Anritsu, obteniéndose variaciones de alrededor de 10 kHz con el prototipo desarrollado. Se concluye que la utilización de este prototipo permite realizar mediciones de ancho de banda con una aplicación desarrollada para la medición de este parámetro y ver los cambios que pueden existir en el patrón del espectro de las señales radioeléctricas para la detección de posibles interferencias, siendo recomendable utilizarlo en otras estaciones de radiodifusión FM y en la banda de 24 MHz hasta 1.85GHz para la cual opera el prototipo desarrollado.

Palabras Claves: <RASPERRY PI [HARDWARE]>. <SOFTWARE LIBRE>. <SEÑALES RADIOELÉCTRICAS>. <RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE [SDR]>. <FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA [COFDM]>. <PROCESAMIENTO DE SEÑALES>. <ANALIZADOR DE ESPECTRO>.

SUMMARY

In the present work it was designed and implemented a prototype of an analyzer spectrum with free software on Raspberry Pi in the Rio FM radio in the city of Riobamba, fulfilling the specific requirements for displaying radio-electrical signals in the frequency domain and determine the parameters that are present in the radio-electric spectrum, such as: frequency, power, interference and intermodulation. It was found and design the functionality of each part of the device and could perform FM demodulation; identify the relationship signal to noise, calculation of the bandwidth and maximum power. The hardware components is taken into account, to tune the frequencies with the chipset R820T and demodulating the signal with the chipset RTL2832U that use COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), which, allow to receive signals broadcasting band FM between 88 and 108 MHz and the software elements rtl-sdr, rtlizer, pyrtlsdr, freqshow and GNU Radio, to form a Software Defined Radio (SDR), all of them distributed and installed in the operating systems Raspbian and Ubuntu Trusty, allowing implement a device with components of low consumption of power, touch screen, USB ports for communication of peripherals and computer connection, MCX antenna connectors, SPAN of 240-300 kHz and of 910-3200 kHz, and activation of Max Hold, for maximum peak and average for the signal. Further comparison with other analyzers brands such as Rohde & Schwarz and Anritsu, obtaining variations around 10 kHz with the prototype developed. It was concluded that the use of this prototype allows to realize measurements of bandwidth with an application developed for the measurement of this parameter and see the changes that may exist in the pattern of the spectrum of the radio-electric signal, for the detection of possible interferences, which was recommended use it in other stations FM broadcasting and in the band of 24 MHz to 1.85GHz for which it operates the prototype developed.

Key Words: <RASPBERRY PI [HARDWARE]>. <FREE SOFTWARE>. <RADIOELECTRIC SIGNALS>. <SOFTWARE DEFINED RADIO [SDR]>. < CODED ORTHOGONAL FREQUENCY [COFDM]>. <SIGNAL PROCESSING >. <SPECTRUM ANALYZER >.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los analizadores del espectro radioeléctrico tienen su origen aproximadamente desde el año 1950 y la Transformada Rápida de Fourier (FFT) se empezó a utilizar en el campo de análisis del espectro desde 1965, es así que en 1967 se introducen los primeros analizadores basados en FFT. Estos equipos tienen como finalidad medir e indicar de manera gráfica la distribución de energía de una señal en el dominio de la frecuencia.

Con el paso del tiempo los analizadores de espectro han pasado de ser instrumentos de medida para expertos a ser herramientas precisas de medición que se utilizan universalmente para varias aplicaciones, teniendo como mercados: la industria manufacturera, ingeniería, servicio e instalación, investigación y desarrollo, aseguramiento de la calidad, mantenimiento, entre otros.

La evolución tecnológica de los sistemas para el análisis del espectro radioeléctrico han dado lugar a distintos tipos básicos de analizadores, siendo sus aplicaciones típicas la observación selectiva de frecuencia y la medición de señales reales y espurias, distorsión y armónicos, parámetros de modulación, monitoreo de frecuencia e intensidad de campo, mediciones de ancho de banda de señales moduladas, interferencias, emisión, identificación de señales. (Noroña, 2002. pp. 26-28)

Actualmente el analizador de espectro es utilizado para el control en áreas como la radiodifusión, telefonía móvil, televisión, entre otras, para el análisis de los componentes espectrales de las ondas, donde la sensibilidad de recepción del mismo dependerá del tipo o modelo a utilizar, juntamente con diferentes configuraciones aplicables para el mejoramiento de recepción.

Además se han creado diferentes aplicaciones y dispositivos móviles que requieren de un antena especializada y software adicional que realizan un análisis básico de la señal simulando a un osciloscopio, el mismo que realiza una función similar pero en el dominio del tiempo.

En nuestro país se debe gestionar la señal emitida, por lo cual la implementación de un analizador de espectro en una estación de radiodifusión será necesaria para controlar y monitorear las frecuencias en las bandas VHF y UHF, además para mantener limpio el canal de transmisión, evitando la existencia de mala calidad en la señal, así como distorsiones,

interferencias, detección de transmisores ilegales, por lo que puede generar sanciones, según las regulaciones establecidas por la ARCOTEL. (López y Villaruel, 2013)

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) se encarga del monitoreo del espectro radioeléctrico y establece parámetros técnicos de transmisión, en las concesiones emitidas, tanto para radiodifusión y televisión, por lo cual Radio Rio FM debe cumplir estos aspectos.

JUSTIFICACIÓN

Justificación Teórica

La presente investigación se enfoca en el diseño de un analizador de espectro mediante un sistema especializado como Raspberry Pi, que cuenta con hardware y software necesario para cumplir su función de analizar el espectro radioeléctrico.

Existen estudios como los realizados en la ciudad de Pamplona por David Bardera y Jesús Corres sobre el Analizador de espectro sobre FPGA (Field Programmable Gate Array), donde desarrollaron un analizador de espectro en el rango de frecuencia de 0 a 20 kHz mediante la programación de hardware digital implantado en un FPGA, sin embargo el presente proyecto propone diferentes funcionalidades con relación a la implementación y frecuencias de operación, además que se realizará sobre un ordenador de placa reducida y software libre. (Bardera, 2012. pp. 3-6.)

El espectro radioeléctrico es un recurso limitado para la transmisión de información, que puede presentar interferencias por el solapamiento de señales ajenas al sistema emisor, interferencias co-canal, canal adyacente, intermodulaciones o cualquier tipo de señales no deseadas, por tal motivo la utilización de un analizador de espectro es indispensable para determinar las señales recibidas y verificar distorsiones existentes, donde las mismas pueden causar varias sanciones dependiendo de la gravedad de infracción y pérdidas económicas a una empresa. (SUPERTEL, 2013)

En el mercado el costo de los analizadores de espectro es alto debido a su hardware y software propietario junto con la administración y mantenimiento de estos equipos, por tal motivo se propone un prototipo económico y de fácil manejo.

Una de las herramientas principales para el diseño del proyecto es el Raspberry Pi, el cual es un ordenador de placa reducida de bajo costo, conformado por un chip con procesador de gran capacidad, puertos USB, salida de audio y video HDMI para las conexiones a televisores y monitores, con un minijack para salida exclusiva de audio y finalmente con un puerto para la conexión a red Ethernet, convirtiéndose en una tecnología ideal que permita optimizar los recursos tanto en software como hardware del sistema, en la construcción del analizador de espectro. (Raspberry Shop, 2011)

Justificación Aplicativa

La implementación del analizador de espectro requiere en primera instancia de un diseño formado por un ordenador de placa reducida Raspberry Pi que cuenta con diferentes puertos para cumplir varias funciones y se instalará software libre rtl-sdr especializado en radiofrecuencia, dedicado a mostrar la gráfica del espectro recibido junto con un decodificador para la recepción y procesamiento de señales, donde se utilizará los componentes más adecuados para el correcto funcionamiento de este prototipo y su compatibilidad. (Raspberry Shop, 2011)

Es importante la configuración del sistema para que cumpla la función requerida, tomando en cuenta los modelos que pueden existir y las características operativas de cada equipo, adecuando al sistema planteado, además de diferentes tipos de software utilizados para la administración, control y monitoreo de las características propias del analizador de espectro, tomando en cuenta las dependencias que pueden existir al utilizar un sistema operativo Linux y con la opción de instalar un software similar en Windows.

Todo esto acoplado a un decodificador de señal que posean características de recepción FM y de conexión USB y en conjunto con lo anterior mostrará en pantalla la gráfica de Frecuencia vs. Amplitud del espectro radioeléctrico; el manejo de las propiedades del analizador será mediante un sistema de control.

La implementación de un prototipo de analizador de espectro brindará la posibilidad de poseer un sistema de fácil adquisición, manejable, sin equipamiento complejo y costoso, que analizará las señales presentes en un determinado lugar mostrando una gráfica del espectro, ayudando a monitorear manualmente los diferentes parámetros como ancho de banda, relación señal a ruido, potencia, los mismos que serán referenciados mediante una medición inicial en equipos estandarizados, permitiendo medir de manera eficiente las posibles interferencias y propiedades

de la señal emitida, para aplicar las correcciones del caso, además de contar con la opción de demodular la señal para poder escuchar el audio. (Electronicam, 2014)

Al tener un analizador de espectro con software y hardware libre, se dará mayor comodidad para el análisis de señales recibidas con un sistema comprimido, donde la utilización de software libre permitirá emplear programas que realicen mediciones en diferentes frecuencias variando la frecuencia central y la ventana de visualización, lo que facilitará observar todas las frecuencias existentes en un determinado punto en un rango determinado de acuerdo a la necesidad del análisis requerido.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de analizador de espectro radioeléctrico utilizando software libre sobre Raspberry Pi para radio Rio FM.

Objetivos Específicos

- Estudiar la operación y funcionamiento del analizador de espectro para determinar su arquitectura funcional y cualidades propias del sistema.
- Analizar el espectro radioeléctrico y los componentes necesarios que permitan el funcionamiento del prototipo.
- Diseñar la arquitectura funcional para el analizador de espectro a implementarse en el ordenador de placa reducida Raspberry Pi.
- Implementar el prototipo configurando el equipamiento e instalando el software requerido según las especificaciones técnicas y operativas dentro del sistema.
- Evaluar y comprobar la recepción de las señales del espectro radioeléctrico y realizar las pruebas necesarias para verificar su funcionamiento.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible construir un analizador de espectro para medir señales de radiodifusión FM, utilizando software libre sobre Raspberry Pi?

SISTEMATIZACIÓN

¿Cómo se puede analizar los componentes espectrales de las señales en el espectro radioeléctrico?

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

¿Qué propiedades del Raspberry Pi permite elaborar el sistema?

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

¿Cómo influirá el desarrollo de un analizador de espectro en la estación de radiodifusión Rio FM?

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Espectro Radioeléctrico

1.1.1 *Definición*

El espectro radioeléctrico es un recurso natural que se encuentra presente en el medio, siendo parte del espectro electromagnético, el cual sirve como vía de comunicación en la transmisión de información de un sistema electrónico, a través de ondas electromagnéticas y sin la necesidad de un medio guiado, permitiendo utilizar como referencia frecuencias inferiores a 3000 GHz en la comunicación, convirtiéndose en un concepto fundamental y necesario en las telecomunicaciones. (Llanos, 2013, pp.13-14)

1.1.2 *Distribución del Espectro Radioeléctrico*

Los servicios ofrecidos sobre el espectro radioeléctrico son varios, los cuales pueden ser diferenciados por las características del sistema, juntamente con la frecuencia, cobertura, tecnología, instrumentación, equipos, antenas, entre otros, por tal motivo existe una distribución del espectro radioeléctrico establecido por el Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR) en 1953, donde se establecen diferentes bandas de frecuencias para obtener mejores prestaciones en calidad, minimizar las interferencias y por los requerimientos necesarios para cada servicio en la transmisión de voz, video, datos y más. (Ramírez, 2015, pp. 9-12)

Frecuencias	Nombre	Servicios
3-30 KHz	VLF (Muy baja frecuencia)	Navegación, Enlaces de radio a larga distancia
30-300 KHz	LF (Baja frecuencia)	Ayuda a la navegación, Enlaces de radio a larga distancia
0.3-3 MHz	MF (Media Frecuencia)	Radiodifusión AM, Servicios marítimos
3-30 MHz	HF (Alta frecuencia)	Comunicación de todo tipo a media y larga distancia
30-300 MHz	VHF (Muy alta frecuencia)	Televisión, Enlaces de radio a corta distancia, FM
0.3-3 GHz	UHF (Ultra alta frecuencia)	Enlaces de radio, Televisión, Radar, comunicaciones satelitales
3-30 GHz	SHF (Súper alta frecuencia)	Radar, enlaces de radio
30-300 GHz	EHF (Extremadamente alta frecuencia)	Radar, localización de misiles

Figura 1-1 Banda de Frecuencias.
Fuente: RECOMENDACIÓN UIT-R V.431-7.

1.1.3 *Regulación del Espectro Radioeléctrico*

El espectro radioeléctrico dentro del país se ha convertido en un factor importante en el crecimiento y desarrollo económico nacional, donde la gestión, administración y control es competencia de cada estado por ser un sector estratégico, intangible, inalienable e imprescindible, además con una correcta asignación de frecuencias por medio de una agencia de regulación y control de las telecomunicaciones encargada de realizar todas estas funciones dentro del país.

Como la propagación de ondas no conoce fronteras en su transmisión es necesaria una gestión internacional a cargo de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), la cual emite diferentes recomendaciones en las conferencias mundiales de radiocomunicaciones realizadas, para manejar de forma equitativa, eficaz, racional, económica y uniforme el espectro radioeléctrico y comunicaciones satelitales, las mismas que son acogidas por los estados.

El proceso de regulación del espectro radioeléctrico se realiza por métodos técnicos para la medición, cumpliendo funciones específicas en control, planificación y asignación de frecuencias, todas estas se realiza para cumplir objetivos que emite la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones en nuestro país, como son los siguientes:

- Resolver interferencias perjudiciales para la operación de los diferentes sistemas de telecomunicaciones inalámbricas.
- Garantizar la calidad de los servicios de telecomunicaciones, radiocomunicaciones, radiodifusión y televisión.
- Proporcionar datos y estadísticas de comprobación técnica.

La regulación y control del espectro radioeléctrico requiere de mediciones periódicas para que los prestadores de servicios de telecomunicaciones se mantengan dentro del Marco Regulatorio establecido por la ley, por lo cual la ARCOTEL debe usar métodos especializados para detectar alguna anomalía, heredando así las herramientas y mecanismos de gestión y control, utilizados por la desaparecida Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL).

El Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico (SACER), es un equipo de monitoreo automático con características de portabilidad, movilidad y automatización, además cumple con los estándares y recomendaciones internacionales de la UIT para realizar monitoreo dentro del Ecuador, ayudando con el aprovechamiento eficaz del espectro.

Con el SACER se pueden detectar interferencias y señales transmisoras, juntamente con trasmisores ilegales e incumplimiento de los parámetros establecidos en las concesiones emitidas por la Agencia, satisfaciendo las necesidades de los usuarios en cuanto se refiere a una buena calidad de señal en la recepción. (SUPERTEL, 2013)

1.1.4 *Medición de Parámetros de Operación*

La señal recibida por un sistema receptor de telecomunicaciones debe poseer características de potencia y sensibilidad adecuada para una eficiente decodificación y modulación. Se puede realizar mediciones de una señal en diferentes dominios dentro del análisis, dependiendo de los requerimientos y datos de parámetros a obtener.

Los dominios para trabajar pueden ser de tiempo, frecuencia y fase, los cuales se realizan mediante equipamiento y métodos técnicos, establecidos en los documentos de la UIT, colaborando en la operación adecuada de la señal emitida.

1.1.4.1 *Medición de Frecuencia*

Un aspecto importante para el análisis del espectro radioeléctrico es conocer los parámetros que se presenta en las señales emitidas, por lo que se toma como base la detección de frecuencias

del espectro y se considera cada valor recibido mediante una gráfica en el dominio de la frecuencia, permitiendo determinar los parámetros ideales de funcionamiento, lo que facilita observar ciertas características como: ocupación del canal, interferencia, armónicos y emisiones no esenciales dentro del espectro radioeléctrico.

Para la realización de mediciones, se acoge especificaciones establecidas por la UIT, como el Manual de Comprobación Técnica del Espectro, que fue emitido en 2012 y establece parámetros técnicos para ejecutar mediciones de frecuencia.

Dependiendo de las características que posea el analizador de espectro junto con el desarrollo de técnicas de procesamiento digital como sintetizadores de frecuencias, implementación de la transformada de Fourier discreta, procesadores de señales digitales, entre otros, se puede cubrir un amplio campo de funciones dentro del proceso de análisis tomando siempre como referencia la Recomendación UIT-R SM.377.

Dentro de los parámetros para realizar mediciones se debe considerar la distancia de la estación transmisora, logrando obtener una buena señal con la ayuda de receptores, los cuales deben cumplir ciertas especificaciones y características como: obtener una buena sensibilidad en la entrada, buen nivel de repuesta al presentarse niveles bajos de modulación cruzada e intermodulación, filtros adecuados en la entrada para proteger la banda de frecuencia utilizada, además debe poseer bajo ruido de fase en los osciladores internos.

1.1.4.2 *Medición del Ancho de Banda en base a las recomendaciones de la UIT*

Para realizar estas mediciones se debe tomar en cuenta definiciones establecidas en la UIT-R, la cual establece de conformidad con el número 1152 del Artículo 1 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y la Recomendación UIT-R SM.328, la definición actualmente utilizada para los anchos de banda son las siguientes:

“Anchura de banda necesaria: Para una clase de emisión dada, anchura de banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requerida en condiciones especificadas.”

“Anchura de banda ocupada: Anchura de la banda de frecuencia tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan potencias medias iguales a cada una de las potencias especificadas en $\frac{1}{2}$, de la potencia media total de emisión dada.”

Un factor que puede afectar la medición técnica es el solapamiento de señales y al finalizar, se puede lograr un funcionamiento eficaz a nivel global de todo el sistema, al no sobrepasar el ancho de banda asignado, y si existiera algún factor precario que afecte la señal se debería tomar acciones correctivas con estas mediciones.

Para realizar mediciones de ancho de banda existen algunas recomendaciones como UIT-R-REC-SM.443-3 la cual establece ciertas especificaciones para realizar una correcta medición, dependiendo de las características y condiciones que se presenten en el medio, entre las que se mencionan:

➤ **Medición del Ancho de banda Ocupada, Método %**

Existen algunos conceptos emitidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones como en el UIT-R SM.328, el cual establece afirmaciones desde el punto de vista de la eficacia de utilización del espectro, donde este se alcanza cuando el ancho de banda ocupado es igual al ancho de banda necesario, con esta afirmación para realizar mediciones de ancho de banda ocupada, las estaciones de comprobación técnica deben utilizar el método %, el cual debe ajustarse de la siguiente forma:

- Se debe tener una frecuencia central a la que se estará transmitiendo, teniendo un margen de medición de 1.5 a 2 veces a la anchura de banda estimada para la medición.
- Al tener un Ancho de banda de Resolución (RBW), debe ser menos del 3% del margen de medición.
- Ancho de banda de video debe ser 3 veces al ancho de banda de resolución.
- Nivel de atenuación debe ser ajustada de tal forma que la relación de S/N sea superior a 30dB.
- Debe poseer un detector de cresta o de muestreo con un tiempo de barrido automático.

➤ **Medición del Ancho de Banda entre puntos a x dB**

Las mediciones realizadas a través de este método consisten en fijar un punto de referencia en la cresta superior de alguna señal captada por un receptor implementado, como puede ser un analizador de espectro que muestra la señal en gráficas, para un posterior análisis de sus componentes, donde la obtención del ancho de banda se logra definir en frecuencias que tengan límites superior e inferior.

Se establece un valor de referencia superior, generalmente a 0 dB en el punto de mayor potencia y los límites inferiores se establecen a x dB, colocados en referencia de los componentes discretos o la densidad de potencia del espectro en puntos bajos de la señal recibida, permitiendo la utilización eficiente del espectro recibido en el análisis.

En la medición realizada se presentan ciertas condiciones para establecer mayor precisión de resultados, de los cuales se puede destacar los siguientes: la forma de la señal espectral debe tener rápidas transiciones desde los puntos más altos y bajos en los bordes de los canales, la resolución del ancho de banda debe ser menor, debe existir una gama baja de frecuencias a ser medidas, el nivel de ruido e interferencia deben ser prudentes en relación a la emisión analizada.

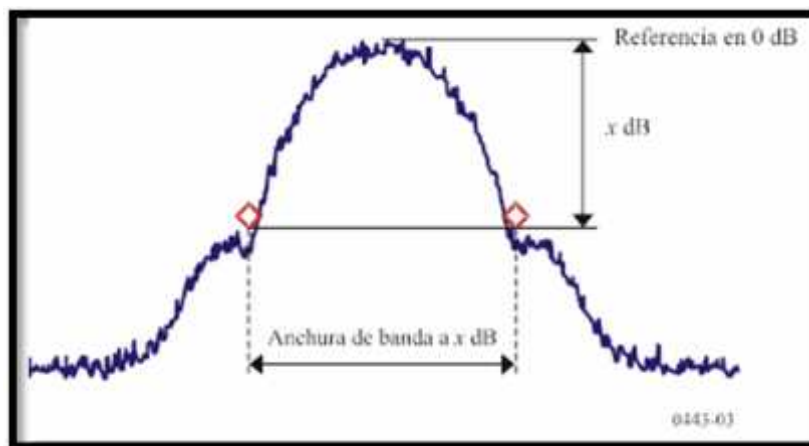


Figura 1-2 Ancho de banda entre puntos a x dB.

Fuente: Recomendación UIT-R SM.443-3, 2005, p 6.

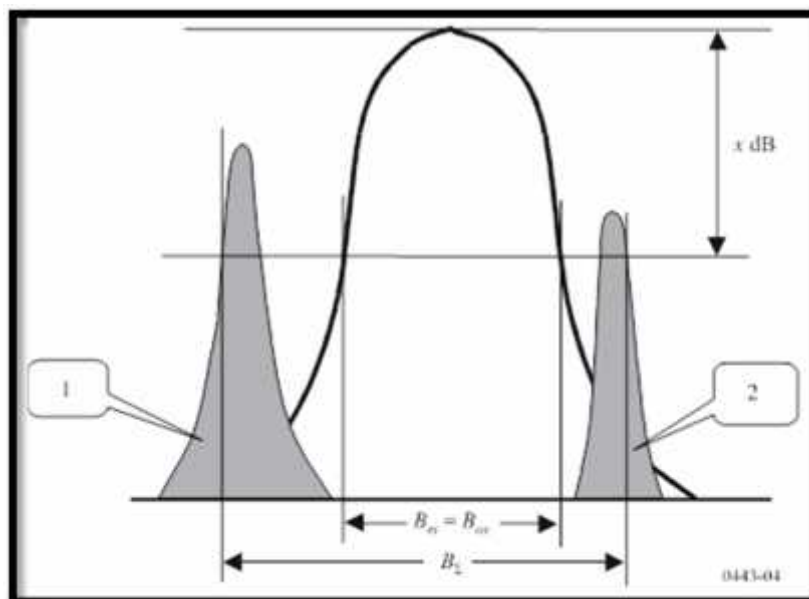


Figura 1-3 Medición del ancho de banda en presencia de interferencias.

Fuente: Recomendación UIT-R SM.443-3, 2005, p 7.

➤ **Banda Ocupada**

Dentro del procedimiento especificado de medición del ancho de banda, se tiene en cuenta un punto relevante para el análisis como el ancho de banda ocupado o necesario dentro de la comunicación, donde existen ciertas circunstancias limitantes para hallarlo con otros métodos, como niveles de interferencias superiores a la señal deseada o el equipamiento utilizado no posee soporte para utilizar el método %, no permitiendo medir así directamente el ancho de banda ocupada, se podrá utilizar dos métodos distintos para encontrarlo como son:

- Realizar mediciones del ancho de banda en puntos a -26 dB, aplicando un factor de conversión.
- Realizar mediciones de la señal en valores específicos de x dB a partir de la medición realizada previamente.

1.1.4.2.1 Medición Analógica

Esta medición está enfocada en todos los transmisores inalámbricos de comunicación, la unidad de medida básica son los Hercios (Hz), pero en un ámbito aplicativo y realista el ancho de banda suele usar términos de Kilohercio (kHz), Megahercio (MHz), Gigahercio (GHz), dependiendo de la capacidad que posea el canal para transmitir y de la tecnología que se esté utilizando, el cual se puede determinar por un análisis teórico a partir de una señal temporal mediante el análisis de Fourier.

Los sistemas analógicos que realizan mediciones presentan casos donde el valor transitorio del ancho de banda ocupado varía rápidamente con la modulación que se aplique, entre las que pueden ser AM, FM siendo las más utilizadas en estaciones de señales de audio, por tal motivo es necesario tener un tiempo de observación durante un periodo prudente para detectar el ancho de banda máximo y así determinar cuál es el ancho de banda que se está ocupando en la transmisión.

1.1.4.2.2 Medición Digital

La medición realizada en estos sistemas se enfoca parcialmente en el uso del internet, el cual tiene como unidad de medida los bits por segundo (bps), que se enfoca en la medición de la cantidad de datos que se puede enviar por una conexión de red en una cierta cantidad de tiempo,

determinando así términos de medida utilizados, dependiendo de la capacidad de transferencia del canal como son kilobits por segundo (kbps), Megabits por segundo (Mbps), Gigabits por segundo (Gbps), los cuales son utilizados como sinónimos de la tasa de transferencia de datos.

En estos sistemas durante el desarrollo de mediciones, el ancho de banda ocupado permanece constante durante un periodo prolongado, a razón de que la transmisión de datos que se realice durante la comunicación, se tiene una velocidad de símbolo constante, por tal motivo la anchura de banda medido será constante en toda la traza registrada, presentándose la posibilidad de que puede existir valores registrado de ancho de banda distintos en cada traza transmitida, por lo que se debe incrementar el tiempo de barrido, para una mayor facilidad de registro.

1.1.4.3 *Medición de Intensidad de Campo*

La intensidad de campo es un parámetro que permite determinar la potencia que tiene una señal radiada en $\text{dB}\mu\text{V/m}$, que es un dB referido a un micro voltio sobre una longitud de un metro, desde un sistema transmisor que ofrecen algún determinado servicio de telecomunicaciones, hasta uno o varios receptores en distintos puntos.

Existe ya establecido por la UIT ciertos parámetros en el desarrollo de mediciones efectuadas generalmente en las estaciones de comprobación técnica a través de las recomendaciones emitidas de este organismo, informando que uno de los parámetros para la medición es la frecuencia, comprendida entre los 9 kHz y 2.7 kHz de la recomendación UIT-R P.684-3.

El valor de intensidad de campo es un parámetro que se puede medir mediante un analizador de espectro o algún sistema digital especializado, el cual ofrece varios beneficios para su análisis, como las interferencias producidas por una emisión radioeléctrica entre transmisores vecinos o por la emisión de un sistema transmisor ilegal, además de encontrar datos sobre el ruido radioeléctrico que se puede presentar en una transmisión y verificar la eficacia de un modelo de propagación.

Este parámetro permite a una Agencia de Regulación dar un correcto cumplimiento de todas las disposiciones emitidas en el reglamento de radiocomunicaciones, llevando un control eficaz de todos los sistemas radiantes, además es un punto importante para evaluar el comportamiento de las radiaciones no ionizante.

1.1.5 *Servicios del Espectro Radioeléctrico*

Los servicios que se pueden montar en el espectro radioeléctrico son varios, los cuales facilitan la transmisión, comunicación y difusión de información para un desarrollo y explotación sustentable en las telecomunicaciones, a continuación se presentarán y detallarán todos los servicios radioeléctricos que se encuentran presentes en el Plan Nacional de Frecuencias en nuestro país.

Tabla 1-1 Servicios del Espectro Radioeléctrico.

SERVICIO	DESCRIPCIÓN
Servicio de Radiocomunicación	Comprende todos los servicios específicos de radiocomunicación, en su transmisión y recepción de ondas.
Servicio Fijo	Radiocomunicación entre estaciones fijas.
Servicio Fijo por Satélite	Radiocomunicación de estaciones terrenas dentro de una zona determinada, en el rango de cobertura de uno o más satélites.
Servicio entre Satélite	Radiocomunicación entre satélites artificiales.
Servicio de Operación Espacial	Radiocomunicación para el monitoreo de los vehículos espaciales y su funcionamiento correcto.
Servicio Móvil	Radiocomunicación simultanea entre estaciones móviles-terrestres, o solo estaciones móviles.
Servicio Móvil por Satélite	Radiocomunicación entre estaciones terrenas móviles a través de estaciones espaciales o con las mismas estaciones espaciales.
Servicio Móvil Terrestre	Servicio móvil entre estaciones de base y estaciones móviles terrestres o entre estaciones móviles terrestres
Servicio Móvil Terrestre por Satélite	Servicio móvil por satélite para estaciones terrenas móviles.
Servicio Móvil Marítimo	Servicio móvil entre estaciones de barco, estaciones costeras y estaciones de barco, dispositivos de salvamento y comunicaciones a bordo asociadas.
Servicio Móvil Marítimo por Satélite	Similar a servicio móvil marítimo pero con radiocomunicación por satélite.
Servicio de Operaciones Portuarias	Servicio móvil marítimo en un puerto o en sus cercanías, para estaciones costeras y estaciones de barco.
Servicio de Movimiento de Barcos	Servicio de seguridad embebido en el servicio móvil marítimo.
Servicio Móvil Aeronáutico	Servicio Móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave o solo estaciones de aeronave y dispositivos de salvamento.

Continuará:...

Continúa:

Servicio Móvil Aeronáutico (R)	Para las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos.
Servicio Móvil Aeronáutico (OR)	Para asegurar las comunicaciones.
Servicio Móvil Aeronáutico por Satélite	Similar a servicio móvil aeronáutico, pero las estaciones móviles terrenas se encuentran en las aeronaves.
Servicio Móvil Aeronáutico (R) por Satélite	Similar a servicio móvil aeronáutico (R) pero con comunicación satelital.
Servicio Móvil Aeronáutico (OR) por Satélite	Similar a servicio móvil aeronáutico (OR) pero con comunicación satelital.
Servicio de Radiodifusión	Sistema de Radiocomunicación en audio y video destinado para el sector público.
Servicio de Radiodifusión por Satélite	Similar al servicio de radiodifusión, con transmisión de estaciones espaciales.
Servicio de Radiodeterminación	Servicio de radiocomunicación utilizado en la radiodeterminación.
Servicio de Radiodeterminación por Satélite	Similar al servicio de radiodeterminación pero con estaciones espaciales.
Servicio de Radionavegación	Servicio de radiocomunicación utilizado en la Radionavegación.
Servicio de Radionavegación por Satélite	Similar a servicio de radionavegación pero por satélite.
Servicio de Radionavegación Marítima	Servicio de radiocomunicación enfocado a los barcos.
Servicio de Radionavegación Marítima por Satélite	Similar a servicio de radionavegación marítima pero las estaciones terrenas se encuentran en los barcos.
Servicio de Radionavegación Aeronáutica	Servicio de radionavegación para las aeronaves.
Servicio de Radionavegación Aeronáutica por Satélite	Similar al servicio de radionavegación aeronáutica pero las estaciones terrenas encuentran en las aeronaves.
Servicio de Radiolocalización	Servicio de radiodeterminación para radiolocalización.
Servicio de Radiolocalización por Satélite	Similar a servicio de radiolocalización pero con la utilización de satélites.
Servicio de Ayudas a la Meteorología	Radiocomunicación para la observación y sondeos para la meteorología.
Servicio de Exploración de la Tierra por Satélite.	Radiocomunicación entre estaciones terrenas y satélites, para la obtención de datos de los fenómenos naturales en la Tierra.
Servicio de Meteorología por Satélite	Exploración de la tierra para la meteorología.
Servicio de Frecuencias Patrón y de Señales Horarias	Radiocomunicación para transmitir frecuencias especificadas y horarias.
Servicio de Frecuencias Patrón y de Señales Horarias por Satélite	Similar a la anterior pero con estaciones espaciales.
Servicio de Investigación Espacial	Radiocomunicación para investigación científica.

Continuará:...

Continúa:

Servicio de Aficionados	Servicio de radiocomunicación para aficionados sin fines de lucro.
Servicio de Aficionados por Satélite	Similar a servicios de aficionados pero con estaciones espaciales.
Servicio de Radioastronomía	Utilizado para la radioastronomía
Servicio de Seguridad	Enfocado en garantizar la seguridad de la vida humana.
Servicio Especial	Cualquier otro servicio no definido anteriormente.

Fuente: (Dirección General de Gestión del Espectro Radioeléctrico, 2012).

1.1.6 *Tipos de sistemas de telecomunicaciones entre 24Mhz y 1.7Ghz*

Tabla 1-2 Sistemas de telecomunicaciones entre 24Mhz y 1.7Ghz.

Fijo, móvil salvo móvil aeronáutico	Ayuda a la meteorología, fijo y móvil	Frecuencias patrón y señales horarias por satélite
Fijo, móvil terrestre	Fijo, móvil	Exploración de la tierra por satélite (tierra-espacio)
Aficionados, aficionados por satélite	Operaciones espaciales, fijo móvil, investigación espacial	Radiolocalización
Frecuencias patrón y señales horarias	Radionavegación aeronáutica	Radionavegación por satélite
Móvil marítimo	Móvil aeronáutico (r)	Investigación espacial (activo)
Radioastronomía	Móvil por satélite (espacio-tierra)	
Radiodifusión	Móvil por satélite (tierra-espacio)	

Fuente: (Dirección General de Gestión del Espectro Radioeléctrico, 2012).

1.2 **Ondas Radioeléctricas**

1.2.1 *Definición*

Las ondas radioeléctricas son señales con impulsos de energía electromagnética que posee características propias como longitud, amplitud, frecuencia y potencia, las cuales permiten su propagación sin fronteras por el espacio vacío y sin la necesidad de algún medio guiado, transmitiendo información de todos los transmisores presentes en el espectro radioeléctrico, el cual se encuentra dividido en diferentes bandas de frecuencias dependiendo del servicio ofertado.

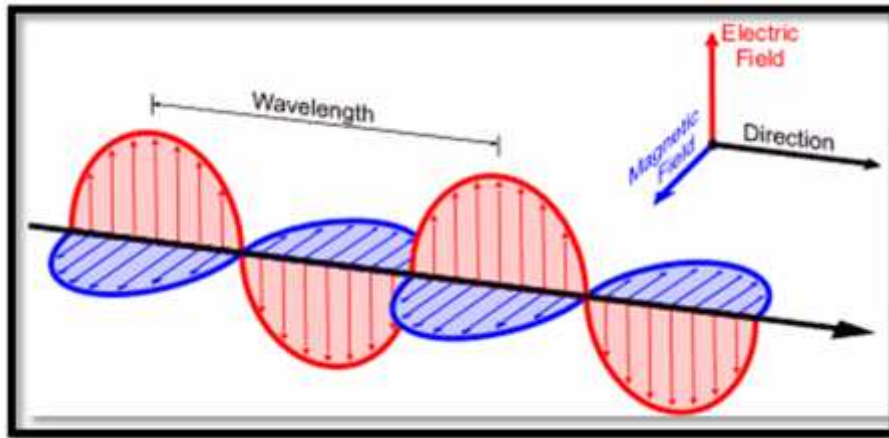


Figura 1-4 Componentes de las Ondas Radioeléctricas.
 Fuente: (López Xabier, 2013)

1.2.2 *Clasificación de Señales Radioeléctricas*

Para la prestación de servicios de telecomunicaciones, anteriormente se mencionó la emisión de un documento con las bandas de frecuencias asignadas para una mejor distribución del espectro radioeléctrico, aportando el desarrollo y operación eficiente de los medios de transmisión, esta clasificación de bandas permite tener frecuencia que abarcan desde los 3 kHz hasta unos pocos Terahercios (THz), a continuación se detalla cada uno de las bandas del espectro radioeléctrico.

1.2.2.1 *VLF Very Low Frequencies Banda 4*

El método de propagación en esta banda de frecuencia es por onda de superficie con baja atenuación y mayor cobertura, lo que permite tener radioenlaces a gran distancia, pero con el inconveniente de que solo se puede realizar la transmisión de pocos datos a bajas velocidades a razón del reducido ancho de banda que posee, es utilizado en servicios de radionavegación con la transmisión de mensajes alfanuméricos, comunicación entre submarinos cerca de la superficie del mar, radiobalizas, señales horarias y estudios geofísicos electromagnéticos, con características de alcance de profundidad dentro del agua entre los 10 y 40 metros.

1.2.2.2 *LF Low Frequencies Banda 5*

Es similar a la banda VLF en cuanto se refiere a características de propagación, permitiendo obtener baja atenuación y mayor distancia de propagación entre otras, abarcando la mayoría de servicios mencionados anteriormente en la banda inferior a esta, además ayudando a la navegación marítima, aeronáutica, señales horarias, técnicas de etiquetado RFID, servicios

meteorológicos y radioaficionados, y sistemas de radiodifusión AM dentro de las bandas 148.5 a 283.5 kHz.

1.2.2.3 *MF Medium Frequencies Banda 6*

Esta banda tiene como método de propagación onda de superficie y onda ionosférica, donde esta última tiene diferentes características de propagación en el día y en la noche, en referencia a la atenuación, además puede ser afectada por otros factores como el clima: lluvia, neblina, etc. convirtiéndose en un elemento importante para la distancia de propagación de la comunicación.

Esta banda abarca algunos servicios tales como comunicaciones marítimas cercanas a las costas en radiobalizas y emergencias marítimas, aeronáuticas y radiotelefonía, además en servicios de radiodifusión sonora para radioaficionados en amplitud modulada (AM) trabajando en frecuencias entre 526.5 y 1606.5 kHz.

1.2.2.4 *HF High Frequencies Banda 7*

En esta banda de frecuencias existe propagación por onda ionosférica, la cual posee algunas limitaciones y condiciones para alcanzar la eficiencia máxima de transmisión como hora del día y estación del año en que se encuentre, juntamente con el clima, entre otras, permitiendo alcanzar en condiciones óptimas una cobertura mundial y en las peores algunos kilómetros.

Entre los servicios utilizados por esta banda se tiene los radioaficionados, etiquetado RFID y un servicio especial utilizado como la banda ciudadana, la cual posee una longitud de onda de 11 metros con una frecuencia de 27 MHz.

Las marcadas condiciones para la transmisión conllevan a una distribución en sub-bandas como las siguientes:

Tabla 1-3 Sub-bandas de High Frequencies.

Bandas	Frecuencias	Cualidad
Bandas Altas o Diurnas	14 MHz – 30 MHz	Su propagación mejora en días de verano.
Bandas bajas o nocturnas	3 MHz – 10 MHz	Su propagación mejora en noches de invierno.
Bandas intermedias	10 MHz – 14 MHz	Posee características de las dos anteriores

Fuente: (Luque, 2010. pp. 22-23).

1.2.2.5 *VHF Very High Frequencies Banda 8*

Esta banda utiliza como método de propagación la onda de superficie, la cual permite trabajar en comunicaciones a corta distancia como la radiodifusión sonora FM a frecuencias comprendidas entre 88 MHz y 108 MHz, radioaficionados y otros servicios similares como ayuda al aterrizaje, control de tráfico aéreo, juntamente con servicios actuales como la televisión analógica.

1.2.2.6 *UHF Ultra High Frequencies Banda 9*

El método de propagación utilizado en esta banda es la onda espacial troposférica en línea de visión para los sistemas de radiocomunicación, al trabajar con estas frecuencias se puede utilizar una óptima adaptación de antenas para los servicios móviles por el tamaño de la longitud de onda en UHF que permite tener antenas reducidas.

El conjunto de características presentes en la banda permiten tener servicios radioeléctricos de voz bidireccionales, acoplándose para ser utilizado en telefonía móvil terrestre en tecnologías GSM, UMTS, HSPA, LTE, entre otras, además de presentar acogimiento para servicios de televisión digital terrestre, WiFi, Bluetooth.

1.2.2.7 *SHF Super High Frequencies Banda 10*

En esta banda se trabaja con altas frecuencias que tiene como método de propagación la trayectoria de óptica directa y permiten acoger servicios en radares, en comunicaciones satelitales para los enlaces ascendentes y descendentes, radioenlaces del servicio fijo y en variantes que tiene los servicios inalámbricos Wi-Fi 802.11n.

1.2.2.8 *EHF Extremely High Frequencies Banda 11*

Los métodos de propagación que se producen en esta banda son afectados directamente por factores climáticos y atenuación atmosférica, delimitando su utilización para servicios en radioastronomía, comunicaciones con satélites, comunicaciones de corto alcance, entre otros, pero esta banda no ha sido explotada en su totalidad por limitaciones tecnológicas, por tal razón la Unión Internacional de Telecomunicaciones y Radioenlaces efectúa una regulación hasta los 275 GHz. (Luque, 2010. pp. 22-23)

1.2.3 *Propagación de las Ondas*

Para transmitir información irradiada por una antena con ondas terrestres, es necesario que la onda electromagnética tenga facilidad de propagación por la atmósfera terrestre dentro de un rango de cobertura de difusión de información, a todo este proceso se conoce como propagación de onda en el espacio libre, teniendo cualidades como velocidad de propagación igual a 300000000 metros por segundos, frecuencia, longitud de onda, energía, frente de onda, condiciones de frontera, reflexión, difracción, entre otros, lo que permite establecer diferentes parámetros en la propagación y tipo de ondas a difundir.

Las radiocomunicaciones terrestres permiten difundir servicios y la comunicación entre dos o más puntos de la Tierra, utilizando como forma de propagación la atmósfera y la Tierra misma como las siguientes:

1.2.3.1 *Propagación de ondas terrestres*

Esta propagación permite que las ondas viajen por la superficie de la Tierra, con polarización vertical de la antena, existiendo inconvenientes al momento de no encontrar una superficie poco conductora con un desierto, por resistencia del medio y aumentando la distancia de propagación en medios con buena conductividad como el agua salada, presentando la posibilidad de propagarse por toda la circunferencia de la Tierra por características propias.

1.2.3.2 *Propagación de ondas directas o espaciales*

En este tipo de propagación las ondas espaciales viajan pocos kilómetros más abajo de la atmósfera terrestre con la energía radiada de la antena, permitiendo la transmisión en dos formas, por ondas directas para la comunicación con línea de vista entre el trasmisor y receptor que estará limitada por la curvatura de la Tierra y por ondas reflejadas en el suelo, que al transmitirse se reflejan en la superficie terrestre para llegar del transmisor al receptor.

1.2.3.3 *Propagación de ondas celestes*

La propagación por este medio permite la radiación de las ondas con ángulos relativamente grandes con la superficie terrestre en dirección del cielo, lo que permite que exista una reflexión o refracción hacia la Tierra por la ionósfera que está entre los 50 y 400 km sobre el suelo. La calidad de propagación por este medio depende de aspectos climáticos, estación del año, hora

del día, ya que la onda presentará mayor atenuación bajo estos aspectos, además la distancia de alcance dependerá de la frecuencia de transmisión. (Tomasi, 2003, pp. 359-363.)

1.2.4 *Modulación de señales*

Al transmitir información por un determinado canal es necesario que se utilice una serie de técnicas para transportar la información a una onda portadora por los inconvenientes que se puede presentar si no se utiliza modulación, como reducidas distancia de transmisión, incapacidad de propagarse en el vacío, entre otras, y tener aspectos técnicos positivos como reducida longitud de la antena, calidad en la transmisión, optimización del espectro radioeléctrico, interferencias, confidencialidad y más.

1.2.4.1 *Modulación Analógica*

Este tipo de modulación tiene como objetivo transmitir una señal analógica dentro de una portadora, ya sea analógica o digital, dependiendo del canal de transmisión, utilizando la alteración de algunos parámetros de señal portadora como amplitud, frecuencia o fase.

1.2.4.1.1 Amplitud Modulada AM

Este tipo de modulación consiste en variar la amplitud de la señal portadora, de acuerdo a los niveles de la señal de información, siendo un tipo de modulación simple, con fácil desarrollo del transmisor y receptor.

1.2.4.1.2 Modulación de Fase PM

Este tipo de modulación consiste en variar la fase de la señal portadora de acuerdo a la moduladora, conservando los demás parámetros de la señal sin ninguna variación en un ámbito aplicativo, posee algunos requerimientos adicionales como equipos de recepción más complejos que la FM y problemas de ambigüedad.

1.2.4.2 *Modulación en Frecuencia*

Este tipo de modulación consiste en variar la frecuencia de la señal portadora de acuerdo a la amplitud de la señal moduladora, manteniendo todos los demás parámetros de la señal

constantes para la transmisión de señales de datos, siendo muy utilizada en la radiodifusión con frecuencias muy altas, por la fidelidad que ofrece este tipo de modulación exponencial.

La modulación FM tiene como características: propagación de ondas directas en las bandas de frecuencias VHF, necesita una potencia de modulación mucho menor que la amplitud, tiene menor afectación del ruido y señales externas, la modulación de la señal es de abajo hacia arriba en frecuencia para crear la señal correspondiente.

1.2.4.3 Modulación Digital

La modulación digital es utilizada para cambiar los símbolos digitales (cero y uno) en una forma de onda que sea compatible con el espectro de un canal paso banda, generalmente con una señal analógica, los cuales tiene como función propagarse y difundirse en la transmisión como cuando se desea transmitir datos entre dos computadoras, que en un principio están en formato digital pero al pasar por el canal en este caso cable, necesita ser modulada en una señal analógica para llevar con éxito la comunicación.

Dentro de la modulación digital existen tres parámetros que se pueden modificar como la frecuencia, amplitud y fase, lo que da origen a los mecanismos utilizados para la modulación digital que son: la Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK), Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK), Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK), pero existe un mecanismo mejor a los anteriores citados que fusiona cambios en amplitud y fase, denominado Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM). (Miranda, 2012)

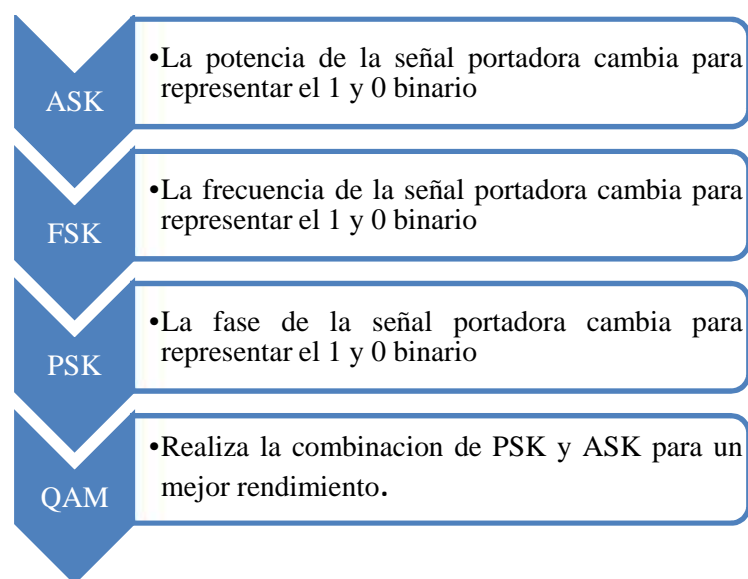


Figura 1-5 Tipos de Modulación Digital.
Fuente: (Miranda, 2012).

1.3 **Analizador de Espectro**

1.3.1 ***Definición***

El analizador de espectro es un dispositivo electrónico que permite tener una representación gráfica de la potencia en espectro de una frecuencia, con la relación de amplitud vs frecuencia, este dispositivo electrónico recibe a su entrada una señal sinusoidal con pico en amplitud, presentando información para un análisis posterior de los componentes, teniendo como base tres funciones principales como: centrado de frecuencia, rango de frecuencias en la pantalla y amplitud.

1.3.2 ***Clasificación del Analizador de Espectro***

1.3.2.1 *Analizador de Espectro Analógico*

Este tipo de analizador de espectro para desempeñar sus funciones utiliza un banco de filtros que pueden ser superheterodinos para determinar los componentes armónicos, además son costosos por los materiales con lo que está formado, siendo de gran dimensiones y pesados, logrando cumplir solo una función específica, la manipulación es un poco compleja por lo cual requiere conocimientos previos y sin la posibilidad de almacenar información en una memoria interna.

1.3.2.2 *Analizador de Espectro Digital*

Los analizadores de espectro digitales para cumplir todo el desarrollo de estudio se basan en el Procesamiento Digital de Señales (DSP), la cual debe cumplir una serie de pasos como: realizar un muestreo de la señal de interés, luego con la información receptada se debe aplicar un algoritmo de la Transformada Discreta de Fourier (TDF) para poder procesar todos los datos, a diferencia de los dispositivos analógicos se almacena toda la información evaluada para un posterior análisis. (Soberanis, 2008, p.2)

1.3.3 ***Funcionamiento***

El funcionamiento de los analizadores de espectro se enfoca en los modelos digitales a razón de ser los más utilizados y comerciales actualmente, el funcionamiento que desempeñan todos los analizadores de espectro digitales son similares en todos los modelos, teniendo el siguiente proceso: selección de una señal proveniente de un transmisor, la cual posee una ganancia en

amplitud establecida por el atenuador, además de otros parámetros como el ancho de banda y la Ventana de visualización horizontal (SPAN) para acondicionar la señal, luego se realiza una conversión analógica a digital de la señal obtenida para el análisis a posterior.

1.3.3.1 *Frecuencia*

Este componente es el principio fundamental en el que se enfoca el analizador de espectro, teniendo diferentes parámetros, como puede ser frecuencia inicial, frecuencia central, frecuencia final, amplitud, entre otros, todos estos valores son obtenidos mediante un análisis de Fourier sobre la frecuencia, las cuales sirven como variables para establecer la exactitud del análisis.

Con una frecuencia central se puede obtener características de la descomposición de su espectro, dando lugar al espectro de frecuencia, la cual será representada en un eje de coordenadas donde el eje de las abscisas tendrá el valor de la frecuencia, mientras que el eje de las ordenadas poseerá la amplitud de la señal.

1.3.3.2 *Amplitud*

Es un valor que representa los picos altos de la señal recibida con la variación máxima en la propagación, el analizador de espectro muestra la amplitud de cada armónico de la señal como una función de la frecuencia, obteniendo dos valores: la amplitud fundamental que será la de mayor potencia recibida y la amplitud de todos los armónicos con niveles inferiores.

El analizador de espectro permite manipular el nivel de amplitud deseado teniendo cuidado en que la señal ocupe toda la pantalla, pero sin sobrepasar los límites visibles para tener una mejor perspectiva de todo el espectro recibido.

1.3.3.3 *Ventana de visualización horizontal SPAN*

Este parámetro es el margen de frecuencias que permite dar un rango de visualización horizontal por el establecimiento de una frecuencia inicial con una frecuencia final, generalmente el SPAN es un valor fijo y coloca automáticamente el límite inferior y superior, permitiendo que todo el espectro se encuentre distribuido simétricamente alrededor de la frecuencia central.

El analizador de espectro debe tener este parámetro como un valor netamente configurable para ser ajustado según las necesidades del usuario.

1.3.4 *Aplicaciones*

Los analizadores de espectro permiten realizar un análisis espectral de las señales emitidas en el espectro radioeléctrico, existiendo diferentes modelos que pueden abarcar rangos de frecuencias diferentes, permitiendo conocer las características para mejorar la efectividad de transmisión.

Generalmente son utilizados en el control del espectro radioeléctrico por parte de una agencia reguladora para el monitoreo de las estaciones de radiodifusión, televisión, fijo, móvil, detección de interferencias, entre otras, pero también son utilizados en campos de estudio e investigación, permitiendo caracterizar frecuentemente amplificadores, filtros, osciladores y mezcladores. (Arteaga, 2012, pp. 1-11)

1.4 **Receptor - Decodificador**

1.4.1 *Definición*

El receptor - decodificador es un dispositivo que cumple las funciones de sintonización, demodulación y descompresión de señales.

1.4.2 *Características del receptor - decodificador*

El receptor - decodificador capta la señal tanto digital como analógica y separa las señales de video, audio y datos que viajan en la señal portadora captada por la antena. Además realiza varias operaciones que son necesarias para convertir las señales de frecuencia de radio en audio y video, para esto primero sintoniza la señal, la demodula o demultiplexa, la descomprime o decodifica y finalmente envía el audio, video y datos a la salida.

1.4.3 *Componentes del receptor - decodificador*

1.4.3.1 *Demodulador RTL2832U*

El RTL2832U pertenece a la empresa Realtek, es un demodulador Multiplexado por División de Frecuencia Ortogonal Codificada (COFDM) de televisión digital terrestre DVB-T, con puerto USB 2.0. Incluye soporte de radio para FM, DAB y DAB+. El RTL2832U es el primer modulador y esto nos lleva al concepto de RTL-SDR, ya que es la pieza clave para que un receptor de TV pase a ser un receptor SDR. (Puerto, 2014, pp. 10-13)

1.4.3.1.1 Características

- Soporta múltiples frecuencias IF (4.57MHz o 36.167MHz) y la inversión de espectro.
- Soporte de radio FM, DAB, DAB+.
- Incluye ISDB-T (SBTV-D-T) 1-Seg (televisión japonesa para dispositivos móviles).
- Soporta entrada de Zero-IF.
- Cristal de bajo costo para la generación de la señal de reloj.
- Modo de transmisión automática y detección de intervalo de guarda.
- Circuito de cancelación de ruido de impulsos.
- Recuperación automática de portadora en un amplio rango de desplazamiento.
- Circuito de rechazo de interferencia adyacente y co-canal.
- Puerto infrarrojo para el mando a distancia.
- Ocho puertos de E/S para uso general.
- Interfaz UB 2.0 de alta velocidad.
- Alimentación externa de 3.3V.
- 48 pines.

1.4.3.1.2 Aplicaciones

- Dispositivos portátiles
- Dispositivos USB
- MiniCard

1.4.3.2 *Tuner R820T*

El R820T pertenece a la empresa Rafael Micro, es un sintonizador de silicio altamente integrado que se basa en un Amplificador de Bajo Ruido (LNA), mezclador, VGA, regulador de voltaje y filtro de seguimiento; eliminando la necesidad de filtros externos. Gracias a la arquitectura LNA, el R820T ofrece el menor costo y una alta solución de rendimiento para aplicaciones de televisión digital. (Puerto, 2014, pp. 10-13)

1.4.3.2.1 Características

- Soporta todos los estándares de televisión digital: DVB-T, ATSC, DTMB e ISDB-T.
- Bajo costo en una aplicación de TV Digital.

- Menor costo, sin filtros externos de ondas acústicas de superficie, LNA, y partes ajustables.
- Cumple con las normas: EN 300 744, Nordig 2.2, D-BOOK 7.0, ARIB B21, ABNT 15604, ATSC A74 y GB20600-2006.
- Cumple con la norma EN-55020, EN55013 y FCC.
- Consume menos de 178 mA y necesita una alimentación de 3,3 V.
- Interfaz cableada.
- 24 pines.

1.4.3.2.2 Aplicaciones

- Televisión Digital Terrestre.
- PCTV, mini-card, y periféricos USB.
- Set Top Box.
- Reproductor de medios portátil.

1.5 **Raspberry Pi**

1.5.1 *Definición*

Raspberry Pi o RPI es un ordenador de placa reducida de bajo costo y de bajo consumo de energía, que posee las mismas características y funcionalidades de un ordenador de mesa.

1.5.2 *Generalidades técnicas de un Raspberry Pi*

El Raspberry Pi es una placa base que posee una dimensión de 85 x 53 milímetros, en su interior encontramos un chip integrado Broadcom BCM2835, el cual contiene un procesador ARM11 de hasta 1GHz de velocidad, además un procesador gráfico VideoCore IV y una memoria RAM de 512Mb, en el caso del Raspberry Pi 2 cuenta con 1GB de memoria RAM.

Para su funcionamiento se necesita de un medio de almacenamiento que serán las tarjetas de memoria SD o microSD, luego conectarlo a la corriente utilizando cualquier cargador microUSB y si lo deseamos, guardarlo todo utilizando una carcasa. En función del modelo se dispondrá de más o menos opciones de conexión, aunque siempre se tendrá al menos un puerto de salida de video HDMI y otro de tipo RCA, un mini jack de audio y puertos USB para conectar el teclado y ratón.

Para la conexión de red dispone de un puerto Ethernet 10/100 para enchufar el cable RJ-45 directo al router o utilizar cualquier adaptador inalámbrico WiFi compatible. Para comunicarse con el exterior, tanto para activar elementos como para leer el estado de los mismos consta de un bus de expansión llamado General Purpose Input/Output (GPIO), el cual posee 40 pines, trabaja con 3.3V y puede suministrar hasta 16 mA. (Raspberry Shop, 2011)

1.5.3 Modelos

Existen cinco modelos de Raspberry Pi:

Tabla 1-4 Especificaciones Técnicas de los modelos de RPI.

	RPI Modelo A	RPI Modelo A+	RPI Modelo B	RPI Modelo B+	RPI 2 Modelo B
SoC	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2836
CPU	ARM11 ARMv6 700 MHz.	ARM11 ARMv6 700 MHz.	ARM11 ARMv6 700 MHz.	ARM11 ARMv6 700 MHz.	ARM11 ARMv7 ARM Cortex-A7 4 núcleos @ 900 MHz.
GPU	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0
RAM	256 MB LPDDR SDRAM 400 MHz.	256 MB LPDDR SDRAM 400 MHz.	512 MB LPDDR SDRAM 400 MHz.	512 MB LPDDR SDRAM 400 MHz.	1 GB LPDDR2 SDRAM 450 MHz.
USB 2.0	1	1	2	4	4
Salidas de vídeo	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles
Almacenamiento	SD/MMC	microSD	SD/MMC	microSD	microSD
Ethernet	No	No	Sí, 10/100 Mbps	Sí, 10/100 Mbps	Sí, 10/100 Mbps
Tamaño	85,60 x 56,5 mm	65 x 56,5 mm	85,60 x 56,5 mm	85,60 x 56,5 mm	85,60 x 56,5 mm
Peso	45 g.	23 g.	45 g.	45 g.	45 g.

Fuente: (Raspberry Shop, 2011).

1.5.4 *Software compatible con Raspberry Pi*

El Raspberry Pi es entregado sin ningún sistema operativo, para esto deberíamos descargarnos e instalarlo sobre la tarjeta de memoria SD o microSD que se introduce en la ranura del Raspberry Pi. Raspbian es la distribución Linux más conocida para Raspberry Pi, es un sistema operativo basado en Debian que ofrece un entorno en modo consola y en modo escritorio.

Lista de sistemas operativos:

1. Sistemas operativos completos:
 - Windows 10
 - Windows CE
 - AROS
 - Linux
 - Android
 - Arch Linux ARM
 - Debian Whezzy Soft-Float
 - Firefox OS
 - Gentoo Linux
 - Google Chromium OS
 - Kali Linux
 - Open webOS
 - PiBang Linux
 - Pidora
 - QtonPi
 - Raspbian
 - Slackware ARM
 - Plan 9 from Bell Labs
 - RISC OS 5
 - Unix
 - FreeBSD
 - NetBSD
2. Distribuciones ligeras multipropósito:
 - Moebius
 - Squeezed Arm Puppy
 - Minibian

3. Distribuciones ligeras de único propósito:

- Instant WebKiosk
- IPFire
- Micro Elastix
- OpenELEC
- Raspbmc
- Xbian

1.5.5 *Aplicaciones*

Gracias al Raspberry Pi se pueden realizar varios proyectos, entre las aplicaciones más interesantes que se pueden llevar a cabo están:

- Montar un Servidor de Acceso a la Red (NAS) para poder compartir archivos en red.
- Montar un Media Center para reproducir películas en HD, ya que reproduce videos de alta resolución.
- Emulador de juegos, ya que es capaz de ejecutar consolas de juegos.
- Robótica, para conectar sensores y acoplarlos a diferentes sistemas.
- Domótica, para la automatización de una casa por medio de sensores y controlarlos por computadoras o celulares.

1.6 **Software Libre**

1.6.1 *Introducción*

Al hablar de software libre no estamos hablando de precio sino de libertad, la libertad de elegir, compartir y utilizar las herramientas que deseamos. Este software respeta la libertad, privacidad y derecho a construir conocimiento, no tiene restricciones de uso de ningún tipo. Cualquier persona lo puede usar, mejorar y compartir, también puede distribuir las copias que desee sin tener problemas legales, ya que cuentan con licencias con permisos. (Vega, 2012)

1.6.2 *Características*

Un software es libre si garantiza las siguientes libertades:

Tabla 1-5 Libertades del Software Libre.

Libertad 0	La libertad de usar el programa con cualquier propósito, sea privado, educativo, público, comercial, militar, etc.
Libertad 1	La libertad de estudiar cómo funciona el programa y adaptarlo a tus necesidades, para lo que es necesario poder acceder al código fuente.
Libertad 2	La libertad de distribuir copias, para poder ayudar a quien sea.
Libertad 3	La libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie.

Fuente: (Stallman, 2004, p. 45).

1.6.3 *Ventajas y Desventajas*

Tabla 1-6 Ventajas del Software Libre.

Bajo costo	El costo de adquisición del software puede ser gratis o de costo muy reducido.
Independencia total	No está atado a las condiciones de mercado impuestas por empresas de software.
Seguridad y privacidad	Gracias al código fuente, se conocerá el funcionamiento interno, se encontrarán y corregirán los posibles errores y fallos de seguridad.
Adaptabilidad	Las modificaciones y correcciones de posibles errores se realizan de forma inmediata.
Calidad	Al ser de dominio público, es usado y depurado por varios desarrolladores que añaden y demandan constantemente nuevas funcionalidades.
Respecto a los estándares	El uso de software libre y sistemas abiertos facilita la interoperabilidad entre distintas organizaciones.
Predistribución	Cualquier cambio que se introduzca en programas de licencia libre debe ser incluido en versiones posteriores y añadido al código fuente.
No hay restricción legal de uso	No hay limitación en el número de licencias ni de copias dentro de la organización.
Continuidad	Se garantiza el derecho de cualquier usuario a continuar el desarrollo.
Facilidad	Se pueden iniciar nuevos proyectos basados en el código de un programa libre.

Fuente: (Stallman, 2004, p. 45).

Tabla 1-7 Desventajas del Software Libre.

Costumbre y formación	Tratar de superar la tendencia de los usuarios a seguir usando el entorno de sistema operativo y aplicaciones que han venido usando hasta ahora.
Software desarrollado	Existe gran cantidad de software corporativo desarrollado internamente a lo largo del tiempo para entornos Windows que no funcionan en otros sistemas operativos.
Cantidad de aplicaciones	El número de aplicaciones comerciales disponibles para entornos como Windows es superior al de las aplicaciones libres.
Conjunto de hardware soportado	No todos los dispositivos hardware del mercado (monitores, impresoras, tarjetas de video, escáneres) disponen de drivers que permitan su funcionamiento en Linux.

Continuará:...

Continúa:

Falta de garantía y soporte	Si se encuentran problemas con el uso de software libre, no se garantiza por parte del autor la resolución de los mismos ya que no se establece ningún vínculo contractual.
-----------------------------	---

Fuente: (Stallman, 2004, p. 45).

1.6.4 *Comparación de software libre con software propietario*

Tabla 1-8 Software libre vs. Software propietario

	Software Libre	Software Propietario
Limitaciones	Libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar el software y distribuirlo modificado.	Es todo programa informático en el que el usuario tiene limitaciones para usarlo, modificarlo o redistribuirlo.
Libertades del software	Debe cumplir con cuatro tipos de libertades para que un programa pueda ser considerado libre.	Si una o varias libertades de un programa son restringidas por algún motivo es considerado propietario.
Seguridad	Hay más seguridad y fiabilidad.	Generalmente son menos seguras.
Interfaz gráfica	Suele ser muy sencilla y por tanto poco amigable.	Es más completa por lo que es considerada de avanzada.
Costo	Es muy bajo y mayormente gratuito.	Las aplicaciones tienen un costo mayor.
Aplicaciones compatibles con varias plataformas	Compatible con todas las plataformas	Compatibilidad de aplicaciones limitada
Dependencia del productor del software	No depende del creador del software.	Depende del creador del software.

Fuente: (Vega, 2012).

1.6.5 *Sistema Operativo Raspbian*

Raspbian es un sistema operativo libre y gratuito que está basado en Linux en su distribución Debian y fue perfeccionado para el hardware del Raspberry Pi, viene con más de 35 mil paquetes pre-compilados para la fácil instalación en el Raspberry Pi.

Raspbian está en desarrollo para dar estabilidad y buen desempeño a los paquetes. Raspbian no está afiliado con la Fundación Raspberry Pi, fue creado por un grupo de desarrolladores que son apasionados por el Raspberry Pi y por el sistema operativo Debian. (López Manuel, 2012)

1.6.6 *Software libre rtl-sdr*

Rtl-sdr es una radio definida por software muy barato, utiliza un sintonizador de TV DVB-T y está basada en el chipset RTL2832U y un sintonizador. Con la combinación de Antti Palosaari, Eric Fry y Osmocom se encontró que la señal de datos I/Q se puede acceder directamente, por lo que el sintonizador de TV DVB-T puede convertirse en una radio definida por software de banda ancha a través de un nuevo controlador de software. (RTL-SDR.COM, 2014)

1.6.6.1 *Utilidades*

- Escucha conversaciones de control de tráfico de aeronaves.
- Escaneado de conversaciones por radio abiertas.
- Análisis en busca de teléfonos inalámbricos y monitores para bebés.
- Seguimiento y recepción de datos de agencias meteorológica en globos meteorológicos.
- Recepción de los sensores de temperatura inalámbricos y sensores de medidor de potencia inalámbricos.
- Escucha VHF, UHF y parte de HF de radioaficionados.
- Recepción de TV analógica y digital.
- Sniffing de señales GSM.
- Usa el rtl-sdr en dispositivos Android como un escáner de radio portátil.
- Recepción de señales GPS.
- Usar rtl-sdr como un analizador de espectro.
- Radioastronomía.
- Escuchar la radio FM y decodificación de la información RDS.
- Señales de los terminales de datos móviles de taxis.
- Escucha de conversaciones policía, ambulancia, bomberos.

CAPÍTULO II

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ANALIZADOR DE ESPECTRO

2.1 Descripción General

El espectro radioeléctrico es un recurso limitado que necesita ser controlado y administrado para evitar inconvenientes con otros transmisores, por tal motivo el uso de un analizador de espectro es necesario para ver el comportamiento de la señal y detectar alguna anomalía que afecte la calidad de transmisión. Tomando en cuenta estas consideraciones se diseñó un prototipo de analizador de espectro con una estructura funcional en todos sus componentes, cumpliendo parámetros de recepción, procesamiento, visualización y análisis de la señal captada. Para el diseño del prototipo de analizador de espectro se realizó cuatro bloques esquemáticos.

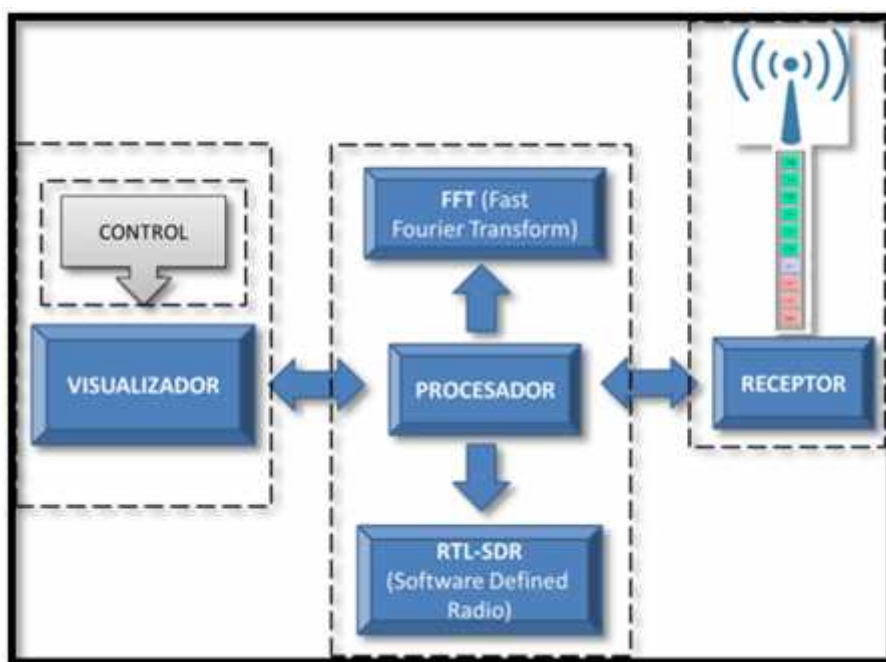


Figura 2-1 Descripción gráfica del analizador de espectro.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

El primer bloque está constituido por una interfaz gráfica, mediante una pantalla LCD y/o un monitor de computador, lo que facilita ver los registros obtenidos del espectro para un posterior análisis, tanto local como remotamente, lo cual permite observar la señal mediante una interfaz gráfica a través de un eje de coordenadas, donde el eje de las abscisas poseerá la frecuencia, mientras que la amplitud se encontrará en el eje de las ordenadas, esto para un análisis manual de los datos obtenidos en pantalla con la comparación de resultados con datos ya obtenidos del analizador de espectro.



Figura 2-2 Pantallas utilizadas en el analizador de espectro.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

El segundo bloque corresponde al control del sistema, el cual permite ingresar y editar los datos necesarios para capturar la frecuencia deseada, además de todos los parámetros que facilitan la visualización del espectro.

Este bloque trabaja como un periférico de entrada, permitiendo la interacción entre usuario y dispositivo.

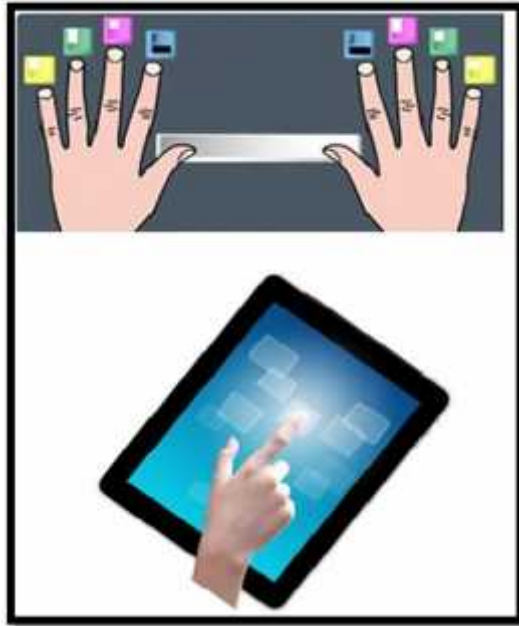


Figura 2-3 Sistema de Control.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

El tercer bloque tiene la función de procesamiento de todas las señales entrantes, juntamente con mecanismos para trabajar en el dominio de la frecuencia como es la Transformada Rápida de Fourier (FFT), además trabaja con los datos obtenidos para construir la gráfica de amplitud-frecuencia y existe la posibilidad de demodular la señal recibida, utilizando el trabajo en conjunto de un chipset RTL y las características que ofrece la radio definida por software.

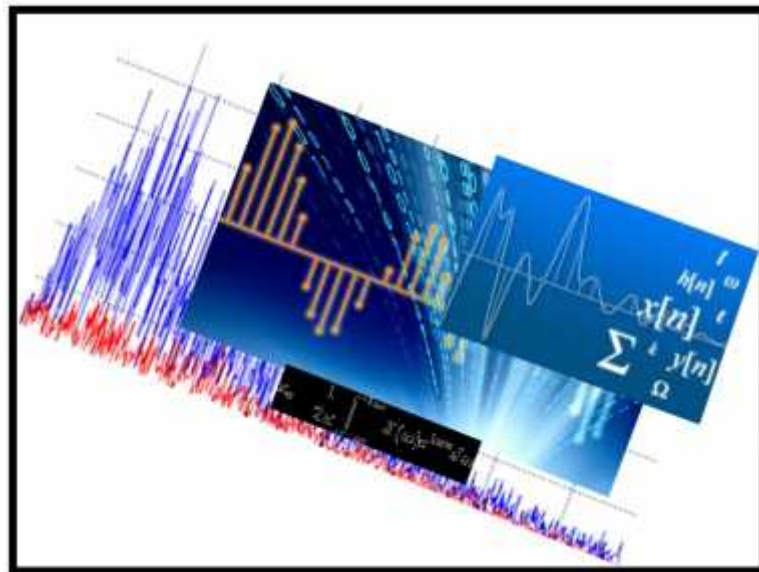


Figura 2-4 Señales del espectro en la FFT.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

El cuarto bloque trabaja en la recepción física de señales, con parámetros ajustados a la característica técnicas del sistema, tomando en cuenta los niveles de ganancia de la antena y el ancho de banda admitido por el chipset utilizado como es RTL2832U de la familia Realtek, permitiendo realizar trabajos de medición tanto en ambientes indoor como outdoor.

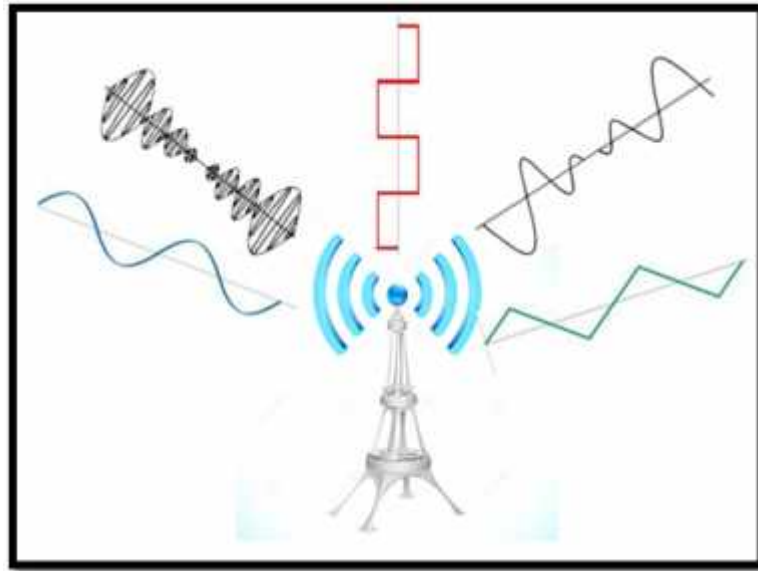


Figura 2-5 Antena receptora de señales.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

2.2 Consideraciones para el diseño

2.2.1 *Frecuencia Analizada*

El dispositivo debe tener la capacidad de recibir señales de toda la banda FM del espectro radioeléctrico correspondiente a la radio comercial, que posee el rango de frecuencias 88 a 108 MHz, dentro de este rango se puede encontrar la frecuencia de la estación de radio Rio FM, poseedora de la frecuencia 95.7 MHz, con niveles de recepción óptimos para la modulación y procesamiento de datos, por lo que la estación de radio debe transmitir a la potencia adecuada para tener un área de cobertura principal y secundaria con esta frecuencia y cumplir los valores mínimos de recepción en buena calidad.

2.2.2 *Ancho de Banda*

La Norma Técnica Reglamentaria para Radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica Resolución No. ARCOTEL-2015-00061 del 8 de Mayo de 2015, establece que el ancho de banda de la señal debe ser de 220 kHz para estéreo y 180 kHz para monofónica, con una

tolerancia de hasta un 5%. Además se establece una serie de requisitos como tener una cresta superior del valor máximo de la frecuencia central y frecuencias adyacentes, todo el sistema en conjunto debe cumplir estas especificaciones para poder realizar una medición de este parámetro apegado a estas condiciones.

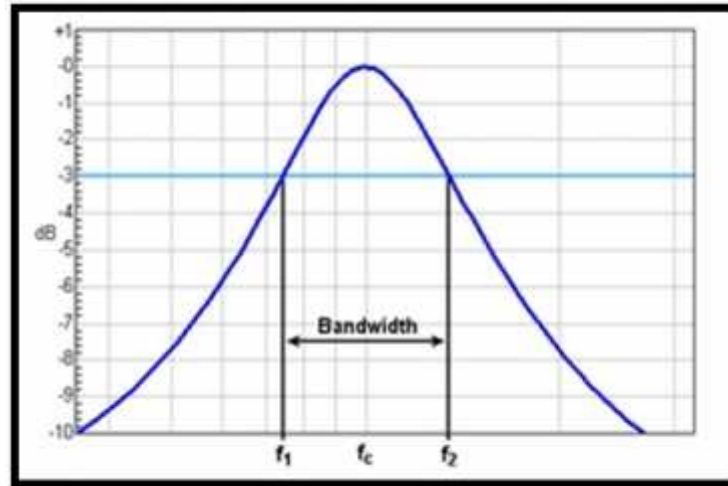


Figura 2-6 Ancho de banda.
Fuente: (Jácome, 2011).

2.2.3 *SPAN*

El SPAN permite tener una ventana de visualización adecuada para el análisis de la señal receptada, brindando los detalles del espectro en una imagen, este parámetro debe tener un rango visible óptimo para poder monitorear la frecuencia receptada, recomendablemente se debe iniciar desde los 200 kHz, de acuerdo a ciertos aspectos técnicos que debe cumplir la radio como el ancho de banda, la separación entre canales, frecuencia de muestreo y más.

2.2.4 *Demodulación*

La información que se transmite por el espectro radioeléctrico se encuentra modulada de acuerdo a diferentes técnicas para la transmisión en un canal, por lo que el dispositivo debe tener la capacidad de demodular las señales de audio que viajan en el espectro radioeléctrico, este parámetro es importante para verificar posibles fallos en la recepción por diversos motivos como: ruido, interferencias, intermodulaciones, frecuencias adyacentes transmitiendo en el mismo canal, entre otras.

2.2.5 *Software y Hardware*

El componente software debe poseer cualidades técnicas para abastecer los requerimientos de un analizador de espectro y presentar las señales en forma visual a través de una gráfica, entre los elementos necesarios que deben implementarse en software se encuentran: mezcladores, filtros, moduladores, demoduladores, detectores, amplificadores, etc.

El componente hardware debe dar soporte a todos los programas que se instalen, cumpliendo todas las dependencias en memoria, velocidad de procesamiento, versión del dispositivo y complementos que requiera el sistema para un correcto funcionamiento, además todos los dispositivos que se encuentre relacionados con el prototipo deben poseer compatibilidad entre ellos.

2.3 **Arquitectura del Sistema**

2.3.1 *Raspberry Pi*

La arquitectura básica de cualquier ordenador, en este caso el Raspberry Pi está compuesto por un procesador, memoria RAM, disco duro, dispositivos de entrada/salida y el software.

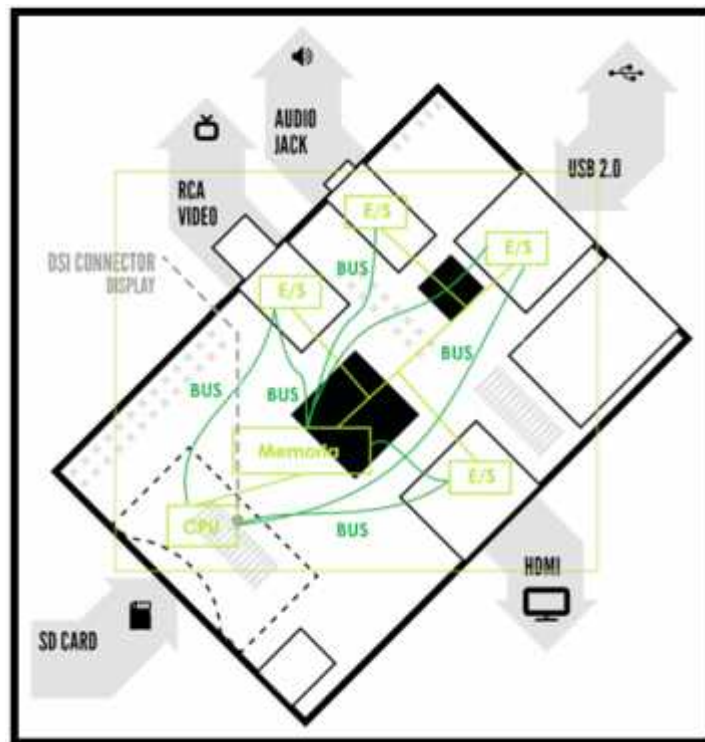


Figura 2-7 Arquitectura de un Raspberry Pi.

Fuente: (Vargas, 2015)

La Unidad Central de Procesamiento (CPU) se encarga del funcionamiento de todos los elementos del ordenador, dentro de su estructura constan la Unidad de Control, la Unidad Aritmética Lógica y los Registros Internos, que es el lugar donde se almacenan los resultados de las instrucciones, en el Raspberry Pi es la tarjeta SD la que realiza el papel de disco duro. (Vargas, 2015)

La memoria almacena los datos que el CPU va a ejecutar, en el caso del Raspberry Pi 2 la memoria RAM es de 1GB. Los dispositivos de entrada/salida necesitan su propio entorno de funcionamiento para poder interactuar con el usuario ya que son componentes externos y de tecnología distinta.

El Raspberry Pi está diseñado para ejecutar el sistema operativo Linux que soporte procesadores ARM, la distribución más estable para el usuario es Raspbian, pero existen otras como Debian, Pidora, Fedora Remix y Arch Linux, todas estas tienen algo en común: son de código abierto.

2.3.2 *Receptor - demodulador*

El receptor – demodulador consta de las siguientes partes:

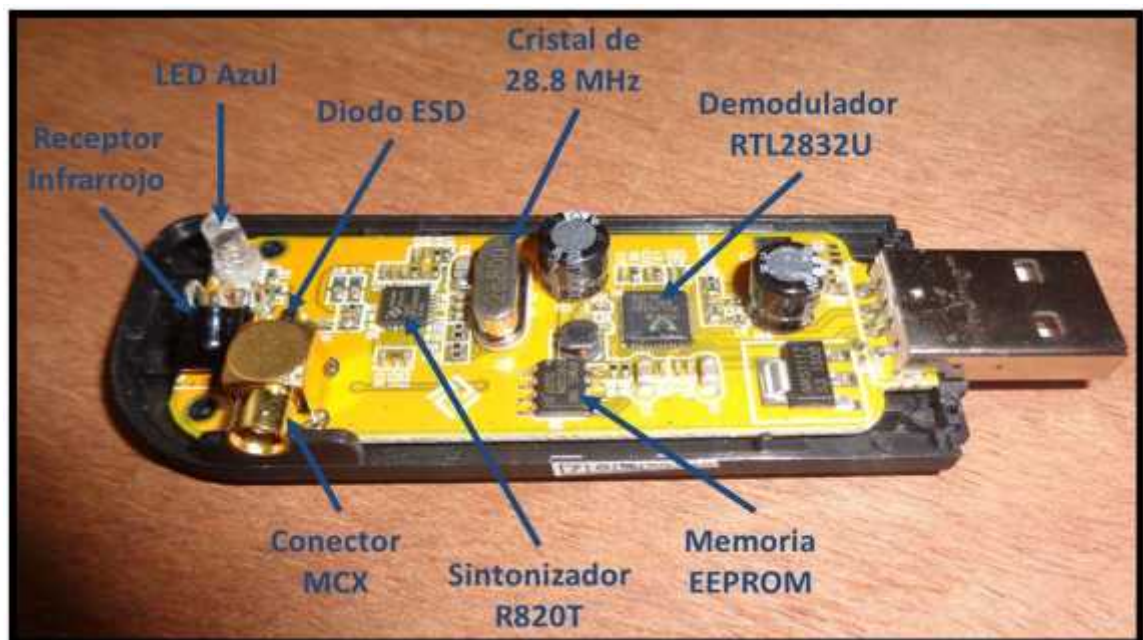


Figura 2-8 Componentes del receptor – decodificador.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- El RTL2832U es un demodulador COFDM de televisión digital terrestre.
- El R820T es un sintonizador de TV digital que permite un rango continuo de sintonización y además muy amplio, opera desde 24MHz a 1850MHz.
- El cristal de 28.8 MHz sirve para la generación de la señal de clock.
- La memoria EEPROM serial mantiene la configuración del fabricante para el RTL2832U.
- El LED emite una luz azul al conectarse la placa en el USB.
- El receptor infrarrojo recibe los comandos emitidos por el control remoto.
- El diodo ESD es un diodo de protección contra descargas electrostáticas.
- El conector MCX sirve para acoplar la antena que viene incluida:



Figura 2-9 Antena de recepción del demodulador.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

2.3.3 *Sistema de Control*

El sistema con el que se controla es la pantalla táctil o touch screen, que es la superficie por la cual desplazamos un dedo o puntero para controlar el movimiento del cursor en la pantalla, esto es, imita las funciones de un mouse. Las pantallas táctiles resistivas pueden ser usadas con cualquier objeto, son económicas, fiables y versátiles.

La pantalla táctil está formada por dos capas de material conductor transparente, con una separación entre ambas capas y con una pequeña resistencia a la corriente eléctrica. Al momento de tocar la capa exterior, un sistema electrónico detecta el contacto entre las dos capas conductoras, mide la resistencia y calcula el punto de contacto. (Llamazares, 2008)

2.3.4 *Software Libre*

- **Raspbian:** es un sistema operativo libre basado en Debian, está optimizado para el hardware del Raspberry Pi, es decir para la arquitectura ARMv6. Cuenta con aplicaciones pre-instaladas como los navegadores Midori, Dillo y NetSurf, herramientas como IDLE

para Python, juegos con módulos Pygame y el menú raspb-config que permite configurar el sistema operativo sin modificar archivos de configuración manualmente.

- **rtl-sdr:** es un código base cuyos paquetes de nivel de usuario se basan en la biblioteca librtlsdr y en líneas de comando como rtl_test, rtl_sdr, rtl_tcp, y rtl_fm, las cuales utilizan la biblioteca para comprobar la existencia de dispositivos RTL2832 y realizar las funciones básicas de transferencia de datos. El código base rtl_sdr contiene un programa de recepción FM básico que opera desde la línea de comandos.
- **rtlizer:** es un programa desarrollado por OZ9AEC basándose en las librerías rtl_sdr y kiss_fft. Se utiliza para convertir el Raspberry Pi en un sencillo analizador de espectro, originalmente fue creado para BeagleBone. (Cacharreo, 2013)
- **pyrtlsdr:** es una interfaz sencilla de Python para dispositivos que soportan el proyecto RTL_SDR usando el chipset RTL2832U de bajo costo. (GitHub, 2013)
- **Freqshow:** es un software que funciona una vez que RTL-SDR esté instalado en el Raspberry Pi, se puede cambiar la frecuencia central, la frecuencia de muestreo y la ganancia. Muestra en la pantalla TFT el espectro de RF en tiempo real de la zona sintonizada y además puede mostrar el espectro en forma de cascada.
- **GNU Radio:** es una herramienta de desarrollo libre que provee de bloques de procesamiento de señal para implementar sistemas de radio definida por software, las aplicaciones se construyen mediante un entorno gráfico GNU Radio Companion o Python.

2.3.5 *Pantalla*

La pantalla táctil TFT posee las siguientes características:

- Está diseñado para Raspberry Pi.
- Es una alternativa ideal para monitores HDMI.
- Tecnología IPS de alta calidad y perfecta visualización.
- Resolución de 320×480.
- Interfaz Hombre-Máquina amigable.

- Soporta sistema Raspbian
- Permite reproducir videos, tomar fotos.
- Interacción del sistema sin teclado y sin ratón.



Figura 2-10 Parte posterior de la pantalla.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

2.4 **Funcionalidad de los Materiales**

2.4.1 *Raspberry Pi*

La función que cumple el ordenador de placa reducida es trabajar como una unidad central de procesos, dando a disposición sus múltiples plataformas de soporte para varios programas y sistemas operativos, permitiendo la interoperabilidad entre diferentes familias de programas como rtl-sdr, rtlizer, sox, osmosdr y python, instalados sobre el sistema operativo Raspbian.

Existe la facilidad de almacenar información de todos los software instalados y cubrir las dependencias que estos requieran para su correcto funcionamiento, además la capacidad de almacenamiento dependerá de la memoria micro SD que tenga insertado el dispositivo Raspberry Pi y las particiones de memoria que se encuentren presentes.

Este dispositivo permite interconectar todos los componentes adicionales como sintonizador, pantalla LCD con touch screen embebido, conexiones USB y parlantes, logrando trabajar en un entorno adecuado para cumplir las funciones de un analizador de espectro en referencia a elementos hardware.

El dispositivo posee cualidades de procesamiento y administración de datos para que toda la información recibida tenga el respectivo tratamiento por los componentes del SDR que se encuentran instalados en software (filtros, conversor A/D, amplificadores, osciladores, mezcladores), permitiendo adecuar la señal a su respectivo espectro para una posterior visualización.

2.4.2 *Receptor - Decodificador*

Este dispositivo permite como función principal receptar todas las señales que se encuentren presentes en el espectro radioeléctrico, dentro del rango de recepción permitido por el chipset contenido en su interior, que comprende desde los 24 MHz hasta los 1850 MHz, tomando en cuenta que puede existir interferencia por distintos medios, que se encuentren en el mismo canal de frecuencia afectando la señal origen.

El puerto Universal Serial Bus (USB) del decodificador permite tener una conexión fácil en los dispositivos actuales que posean un conector del mismo tipo, actualmente en la mayoría de los sistemas, lo que evita el requerimiento de puertos especializados para la transferencia de información.

El receptor tiene incluido un puerto MCX permitiendo la conexión de una antena de aire con el mismo puerto, pero se puede adaptar fácilmente para otro tipo de antena, con la antena portable de recepción que ya viene incluido en el receptor-decodificador permite receptar eficientemente las ondas de radio en las bandas FM para el análisis del espectro.

Los datos recibidos por el decodificador permiten tener procesamiento de estos para aplicar diferentes funciones como decodificación de las señales recibidas por las memorias internas que posee tanto en RAM, procesador y tarjeta VGA.

2.4.3 *Software libre aplicado*

La implementación de diversos software permite formar un conjunto de aplicaciones orientadas a cumplir la funcionalidad de un analizador de espectro en el ámbito digital, lo cual al trabajar como un SDR la mayoría de procesos se desarrollan lógicamente, todo esto acorde a las librerías y dependencias instaladas junto con la llamada al sistema de las funciones ejecutadas para la convivencia de procesos.



Figura 2-11 Software utilizados en el Raspberry Pi.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

El paquete de rtl-sdr permite incorporar las funciones esenciales del SDR junto con todo el paquete de librerías necesarias para compilar los procesos, entre las funciones principales de todos los paquetes incluidos se pueden encontrar:

Librerías para capturar información de tráfico aéreo cuando transmiten en modo S, estos son utilizados para evitar colisiones y tráfico aéreo, además permite verificar la versión y características del equipo que se está utilizando para la captura de datos con comandos insertados en el intérprete de comandos, finalmente se puede probar el correcto funcionamiento del dispositivo con un test general a través de rtl_test en el ordenador que se encuentre trabajando.

Una de las funciones principales utilizadas e implementadas en el prototipo de analizador de espectro es la demodulación en audio de la señal recibida, lo que facilita reconocer que tipos de datos se encuentra transmitiendo por el canal e identificar la emisora, siempre y cuando se encuentre modulado en FM, además se debe implementar a la par con un reproductor compatible con el comando como sox para su reproducción.

El núcleo para la captura y ejecución de datos para el analizador de espectro reside en las librerías de rtl_sdr, la cual permite capturar datos de las señales aleatorias que se encuentren presentes en el espectro radioeléctrico, además permite modificar la ganancia y el samplerate del dispositivo facilitando la visualización de la gráfica, todos estos procesos son mejorados con la librería de rtl_power que provee mayor capacidad en la recepción de datos.

Requeridas a la par con las librerías implementadas de rtl-sdr, es rtlizer el cual es similar a un analizador de espectro pero con administración mediante consola, con una interfaz gráfica pobre para la interacción con el usuario, pero con alta potencia en recepción y procesamiento de datos, siendo una dependencia para otros programas que cumplen la misma finalidad.

Es importante la implementación de un lenguaje de programación de alto nivel para poder ejecutar programas, lo que facilita la visualización, edición y desarrollo de aplicaciones como Python, instalándose automáticamente en el Raspberry Pi al momento de instalar Raspbian, lo que permite la ejecución de diversas aplicaciones en un entorno gráfico, casi todas las aplicaciones para Raspberry Pi son desarrolladas en Python.

Una aplicación desarrollada para Raspberry Pi es Freqshow en Python, la cual permite visualizar el espectro de frecuencias, utilizando esta plataforma la aplicación requiere una edición del código fuente por ser open source para repotenciar la visualización e ingreso de datos logrando obtener las funciones necesarias y requiriendo de varios software adicionales para cumplir los objetivos de un prototipo de analizador de espectro.

2.4.4 *Conexión USB*

Para obtener una administración y control eficiente del bloque de recepción y procesamiento de señales es necesaria una conexión mediante el estándar USB, el cual permite interconectar con un computador para un análisis más exhaustivo de los datos recibidos, permitiendo pasar directamente los datos a la máquina sin la necesidad de que se procesen en el Raspberry Pi.

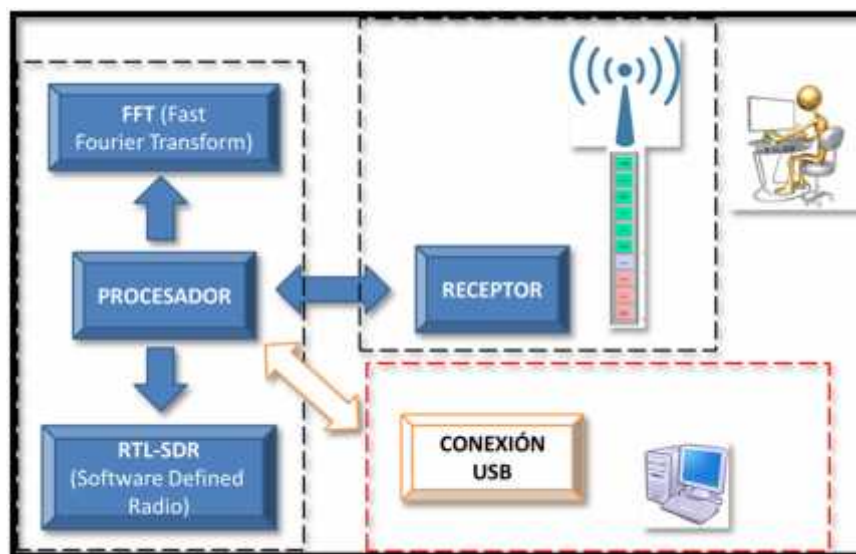


Figura 2-12 Conexión USB.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

La ventaja de tener conexión a un procesador de mayor capacidad es que se puede implementar funciones adicionales a las que se encuentran en el dispositivo origen Raspberry Pi, permitiendo mejorar el entorno de trabajo y análisis del espectro con administración remota y ejecución de diversos software, facilitando la interoperabilidad entre dos sistemas operativos Windows y Linux.

2.5 **Presentación del Prototipo**

Con todos los requerimientos y características tomadas a consideración en el cumplimiento de funciones de recepción para señales en el dominio de la frecuencia, se establece algunos dispositivos tanto software como hardware para forman un conjunto funcional y flexible, el cual tiene como unidad central de procesos un ordenador de placa reducida como Raspberry Pi, siendo soporte en los demás materiales.

El ordenador de placa reducida tiene instalado diferentes software, instalados para cumplir funciones de SDR y FFT, además posee conexiones establecidas como las siguientes: se conecta mediante USB un receptor SDR, el mismo conectado a una antena por un conector MCX, otro dispositivo conectado es la pantalla LCD a través de los puertos GPIO, la cual posee como características la comunicación y el control del touch screen.

Además se puede establecer una conexión directa a través del protocolo de comunicación USB con algún computador para un análisis más exhaustivo, esta conexión posee la facilidad de permitir conexión a alta velocidad.

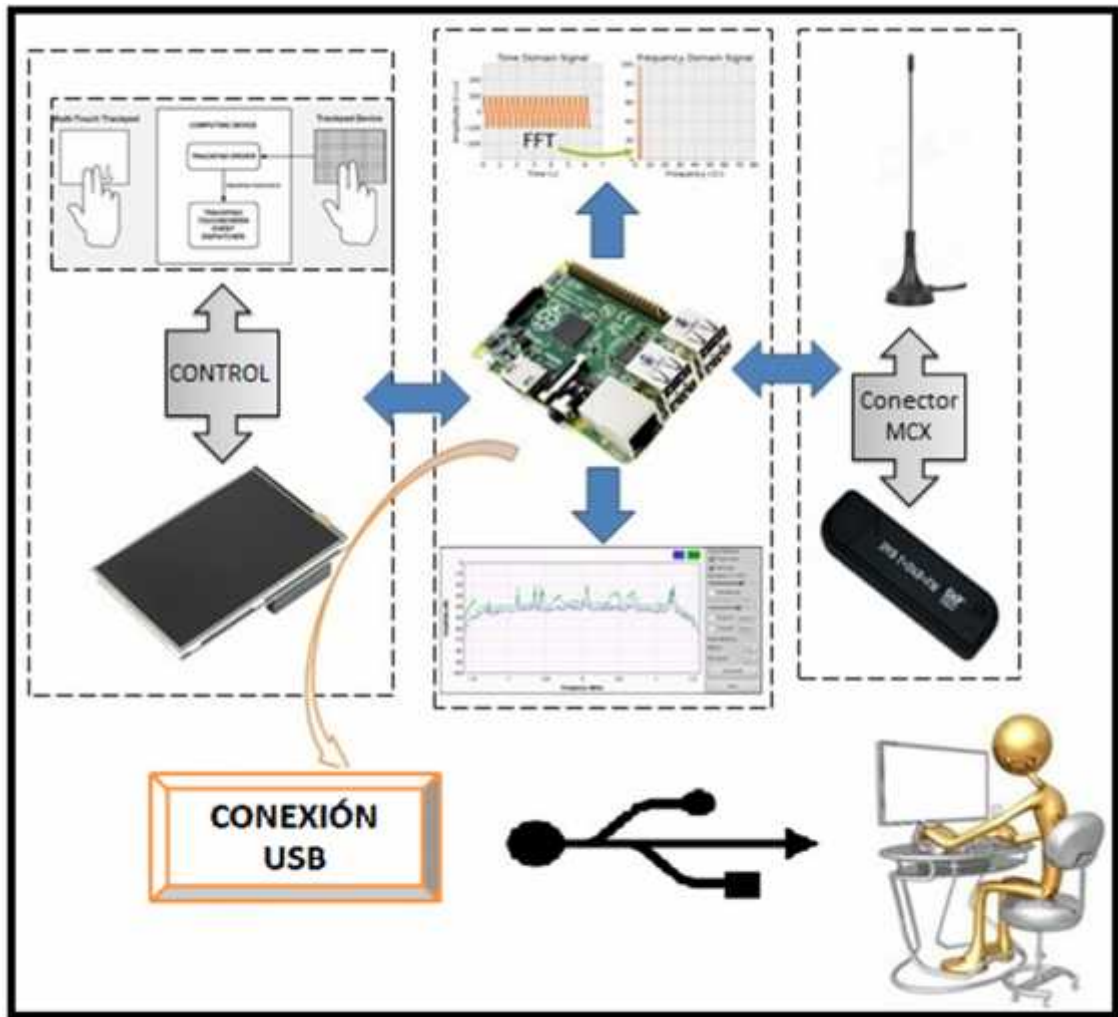


Figura 2-13 Prototipo de analizador de espectro.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

2.6 Ensamblaje del sistema

2.6.1 Alimentación de Energía

Todo el sistema está alimentado por una fuente de alimentación con las siguientes características:

Modelo:	DCAR-052A5
Entrada de voltaje:	100 – 240 V AC 50 – 60 Hz / 0.5 A
Salida de voltaje:	5 V DC
Salida de corriente:	2.5 A
Puerto de conexión:	Toma micro USB

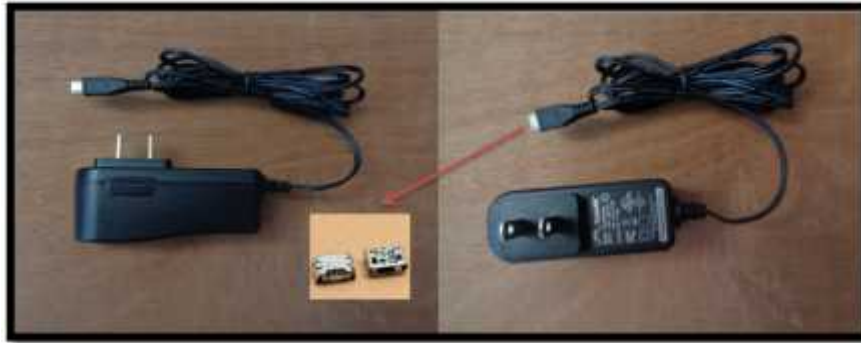


Figura 2-14 Fuente de alimentación de energía.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.6.2 *Puertos utilizados en Raspberry Pi*

Las funciones que cumple cada puerto en el proyecto son las siguientes:

Energía: Permite alimentar de energía al Raspberry Pi y a los demás componentes que se conecten a éste mediante USB, Jack, GPIO.

HDMI: Su función es conectar con un monitor para visualizar, en primera instancia es necesario para realizar las configuraciones.

Jack Socket: Salida de audio para conectar parlantes o audífonos.



Figura 2-15 Vista frontal del RPi.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Ethernet: Permite establecer una conexión con un router a través de cable.

USB 2.0: Los cuatro puertos existentes permiten realizar diferentes conexiones con varios dispositivos, a una tasa de transferencia unidireccional de datos de hasta 480 Mbit/s, utilizados de la siguiente forma:

- **USB_1:** Conectado a un receptor Wireless USB para establecer comunicación con el dispositivo y poder realizar acceso remoto para facilidad en la configuración.
- **USB_2:** Conectado a un teclado para ingreso de datos.
- **USB_3:** Conectado a un mouse.
- **USB_4:** Conectado al decodificador para la recepción de señales radioeléctricas en el análisis.



Figura 2-16 Vista lateral derecha del RPi.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

GPIO: Es un puerto de E/S de propósito general, con varias entradas y salidas para usos múltiples.



Figura 2-17 Puerto GPIO del RPi
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.6.3 *Conexión con el decodificador*

Puerto USB: Permite establecer comunicación con otros dispositivos.



Figura 2-18 Puerto USB del decodificador.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Puerto MCX: Establece la conexión con la antena receptora.



Figura 2-19 Puerto MCX del decodificador.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.6.4 *Adaptación de la pantalla*

El puerto GPIO del Raspberry Pi permite recibir conexiones de pantallas LCD, la característica de esta pantalla es que posee una interfaz SPI (Serial Peripheral Interface) para la comunicación con el procesador principal y coordinar con las funciones del touch screen.

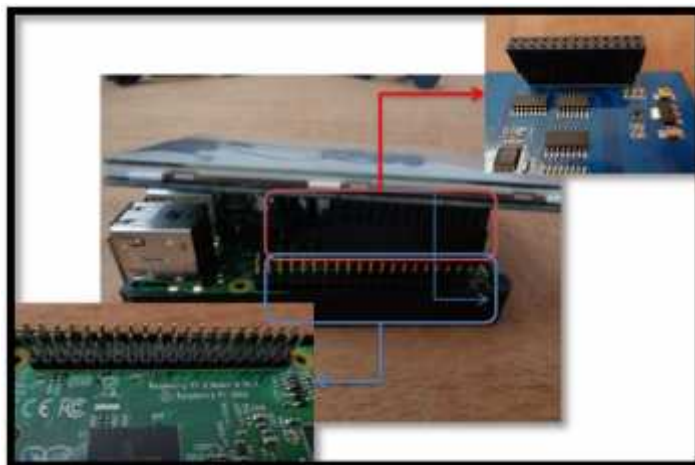


Figura 2-20 Conexión entre pantalla LCD y RPi.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.6.5 *Conexión Física del Prototipo*

El prototipo de analizador de espectro consta de un ordenador de placa reducida, el cual se alimenta mediante la fuente de alimentación de 5V a 2.5A. En los puertos USB se conectan el receptor Wireless USB, el teclado y el decodificador con su respectiva antena, mientras que a los puertos GPIO se conecta la pantalla LCD para la visualización del espectro recibido.



Figura 2-21 Componentes del analizador de espectro.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.7 **Instalación del sistema operativo Raspbian**

Preparación de la Tarjeta SD

La tarjeta SD debe estar formateada antes de realizar cualquier operación, por lo cual se utiliza un software que permite aprovechar toda la capacidad de la tarjeta como SDFormatter, esta aplicación es fácil de utilizar requiriendo solo un clic en *Format* para iniciar.

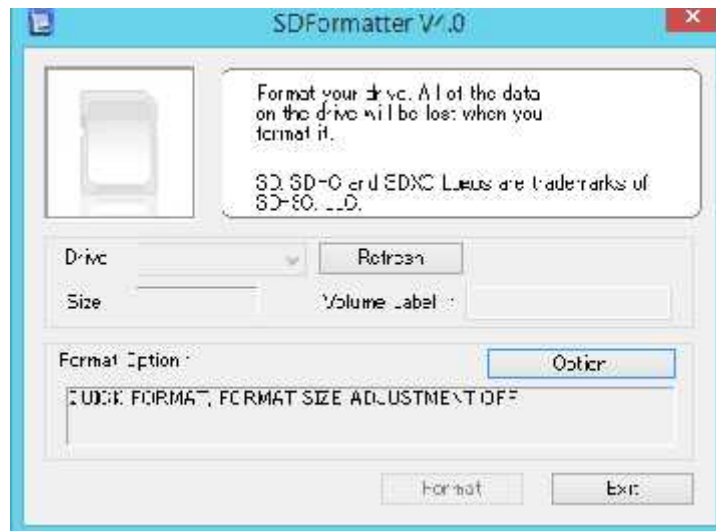


Figura 2-22 Presentación del software SDFormatter.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Herramienta NOOBS e Instalación de Raspbian

Para instalar el sistema operativo Raspbian es necesario contar con NOOBS, que es un instalador de sistemas operativos de esta plataforma, requiriendo tarjetas SD con al menos 8GB de memoria y contará con dos opciones para descargar:

- **NOOBS Offline and network install:** Esta opción es más pesada pero con la ventaja de requerir menor conexión a internet para instalarse.
- **NOOBS LITE Network install only:** Esta opción es más ligera, pero para instalarse es necesario requerir una conexión de internet constante.

Pasos para la instalación:

1. Descargar y descomprimir NOOBS.
2. Colocar la tarjeta SD formateada.
3. Copiar la carpeta NOOBS a la tarjeta y luego expulsar.
4. Insertar la tarjeta SD en el Raspberry Pi junto con un mouse, teclado y cable HDMI.
5. Conectar el cable de energía eléctrica y empezar a crear las particiones necesarias, presentando una pantalla de inicio.
6. En esta pantalla se observan varias opciones para iniciar la configuración:

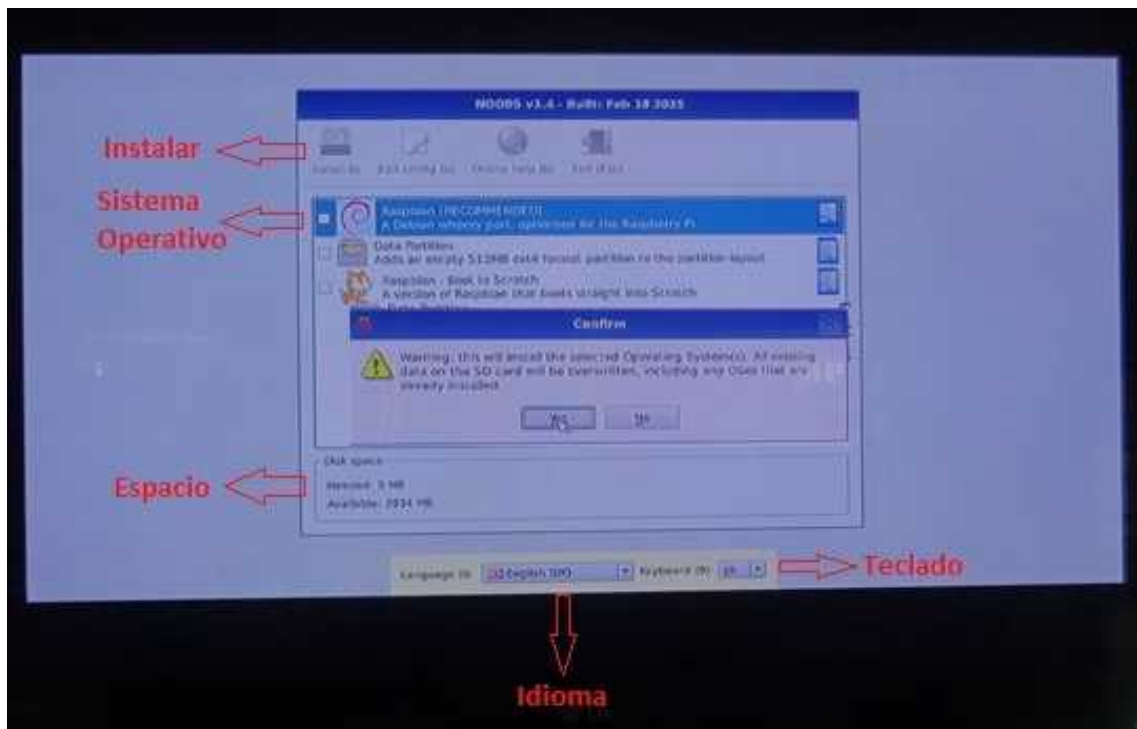


Figura 2-23 Ítems de la ventana de inicio de NOOBS.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

- **Language**, permite establecer el idioma de configuración, seleccionando *US*, ya que no existe español.
- **Keyboard**, permite establecer el idioma del teclado, el cual se establece con *es*, pero este dependerá del teclado que se tenga.
- **Disk space**, dependiendo de los casilleros marcados se puede observar el espacio de memoria ocupado.
- **Raspbian**, es el sistema operativo que se instalará, marcando en el ítem que se encuentra libre, además existe otras opciones para dejar espacio libre de memoria para otras particiones y aplicaciones.
- **Install**, este ítem permite iniciar la instalación del sistema operativo y demás casilleros marcados.

Al dar clic en *Install* aparecerá un mensaje de alerta, informando que todos los datos que se encuentren en la tarjeta SD se borrarán, confirmando con *yes* para iniciar la instalación, al concluir la misma se presentará un mensaje de confirmación, dando *OK*.

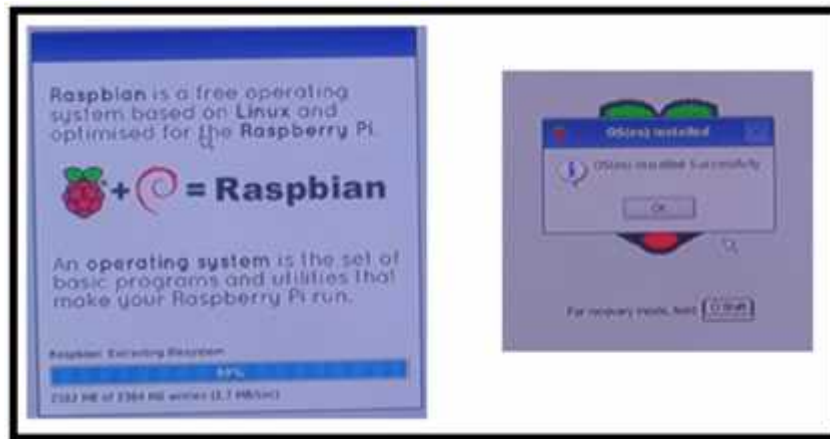


Figura 2-24 Mensaje del proceso de instalación de Raspbian.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.8 Configuración del Raspberry Pi

La configuración de raspi-config tiene el siguiente menú:

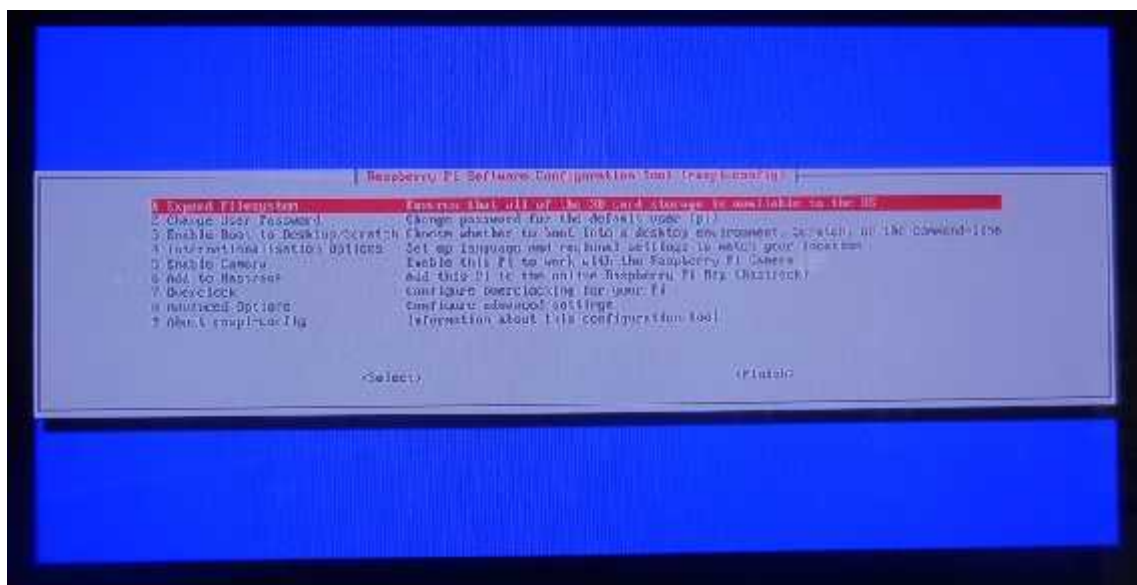


Figura 2-25 Menú raspi-config.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Editar las siguientes herramientas de configuración:

- **Expand Filesystem:** Permite al sistema de archivos de Raspbian ocupar todo el espacio de la tarjeta microSD. Dar enter en *OK*.
- **Change User Password:** El usuario por defecto es *pi* y el password *raspberry*. La contraseña puede cambiarse a nuestro gusto.



Figura 2-26 Confirmación del password.

Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

- **Enable Boot to Desktop/Scratch:** Para que el Raspberry Pi inicie en modo escritorio se selecciona “*Desktop Log in a user ‘pi’ at the graphical desktop*” y luego enter en *OK*.
- **Internationalisation Options:** El sistema y el teclado por defecto vienen en inglés, si se desea utilizar un teclado español, en este menú se puede cambiar las opciones.

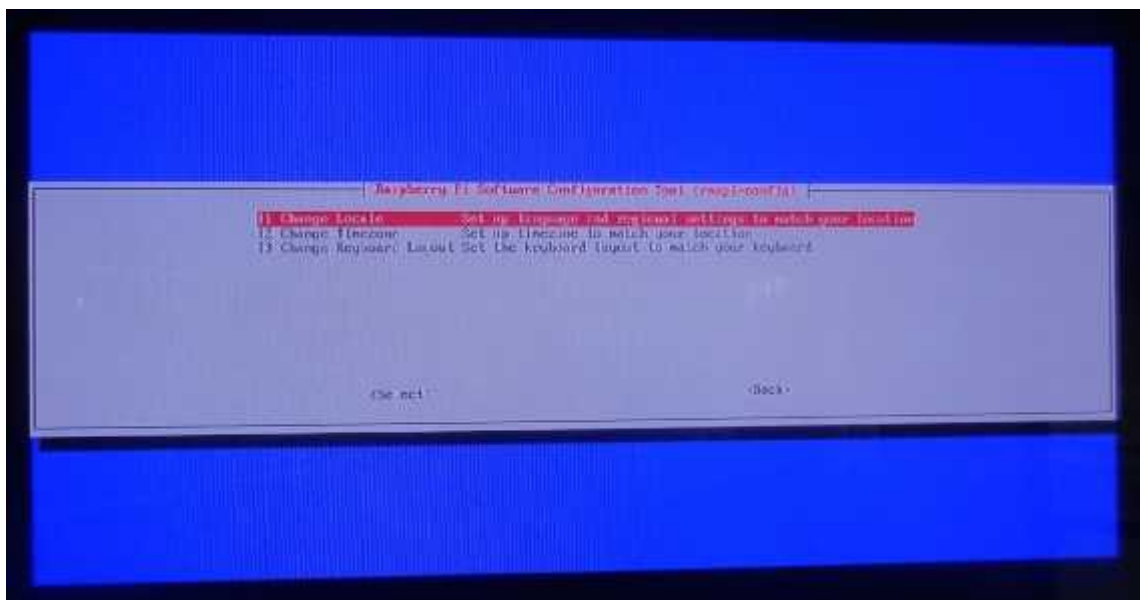


Figura 2-27 Herramientas de internalización.

Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Change Locale. Elegir *es_EC ISO-8859-1* y luego *es_EC*.

Change Timezone. Elegir *América* y luego *Guayaquil*.

Change Keyboard Layout. Elegir *Generic 105-key (Intl) PC, Other, Spanish (Latin American), Spanish (Latin American), The default for the keyboard layout, No compose key* y *Yes*.

- **Advanced Options.** Configurar algunos ajustes:

SSH. Protocolo que se utiliza para conectar el Raspberry Pi desde otro ordenador para modificar, actualizar o instalar. Lo activamos con *Enable*.

Audio. Por defecto viene configurado por HDMI, si se desea obtener el audio por el jack de 3.5mm se elige esa opción.

Una vez terminado de editar, dar enter en *Finish*, reiniciar y aparece la pantalla principal:

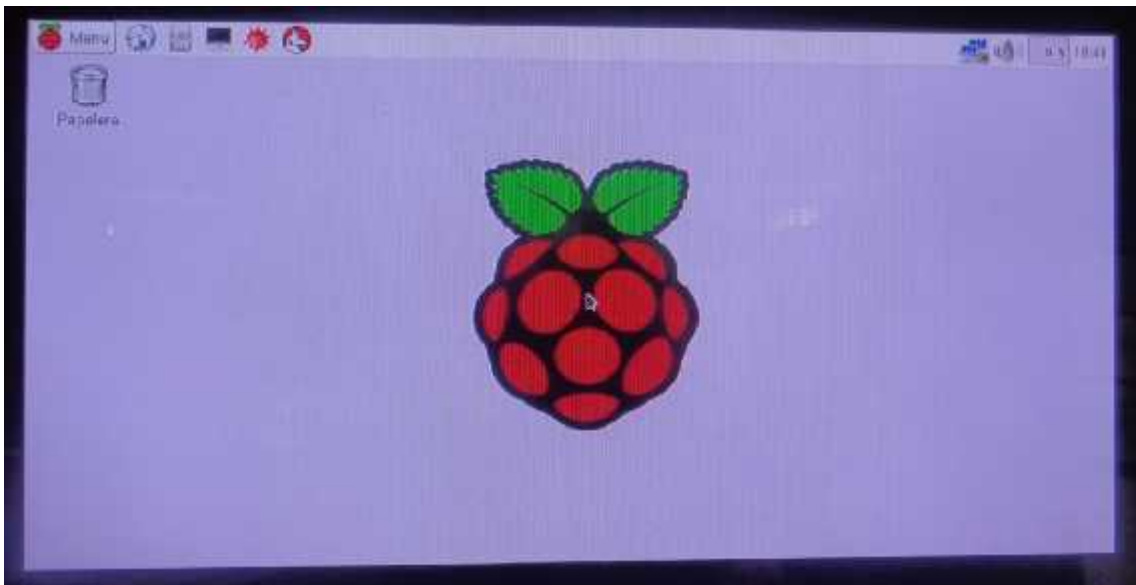


Figura 2-28 Pantalla principal de Raspbian.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Configuración de la interfaz de red

Abrir un terminal *LXterminal*.

Ingresar en el archivo de configuración */etc/network/interfaces*.

Editar la configuración que se encuentra por defecto con los siguientes parámetros:

```
auto wlan0
allow-hotplug wlan0
iface wlan0 inet dhcp
    wpa-ssid "Nombre de la Red"
    wpa-psk "Clave"
```

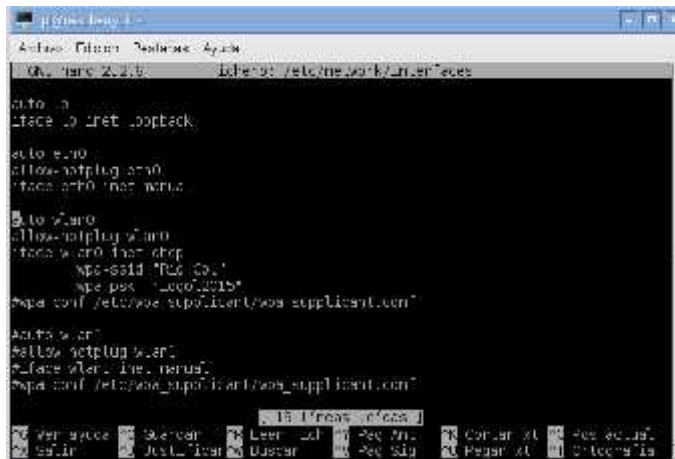


Figura 2-29 Configuración de la interfaz de red.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Presionar *Ctrl-c* para guardar los cambios realizados.

Presionar *Ctrl-x* para salir.

Finalmente dar un *sudo service networking restart*.

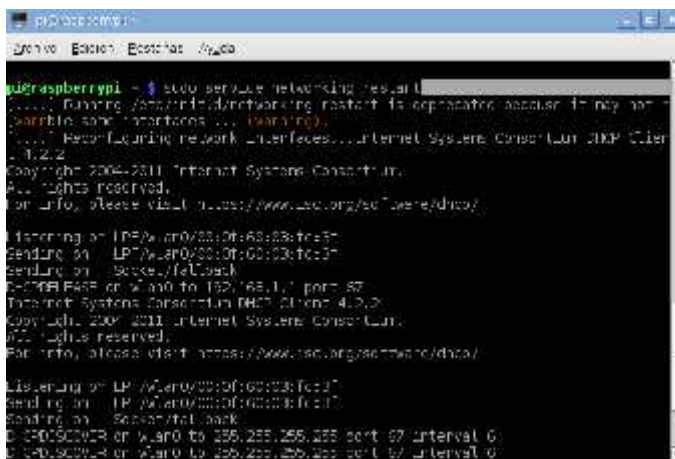


Figura 2-30 Reinicio de la interfaz de red.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.9 Instalación de la pantalla LCD

La pantalla que utilizamos es 4INCH 3.5". Para iniciar la instalación de la pantalla LCD como tal, se debe proceder con los siguientes comandos y configuraciones:

1. Se debe ingresar al archivo de configuración del controlador *fbturbo* para permitir que la salida de video salga por el bus SPI al encender el Raspberry Pi y ya no por el HDMI, con la siguiente línea:

```
$ sudo nano /usr/share/X11/xorg.conf.d/99-fbturbo.conf
```


Cambiar en la línea que dice *Option "fbdev" "/dev/fb0"*, la parte de *fb0* por *fb1*.
Para salir del editor presionamos *Ctrl-o* para guardar y *Ctrl-x* para salir.

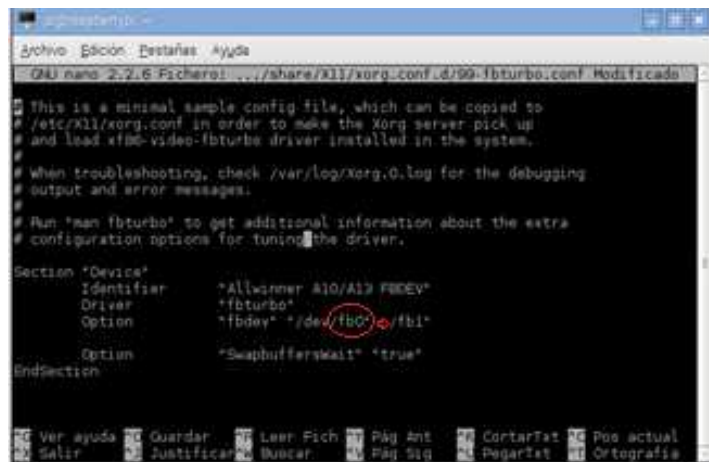


Figura 2-31 Edición del archivo fbturbo para iniciar con pantalla LCD.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2. Para el funcionamiento se debe activar la opción SPI en el kernel de nuestro Raspbian, por lo cual ejecutamos los siguientes pasos:

```
$ sudo raspi-config
```

Seleccionar *Advanced Options* en la opción 8.

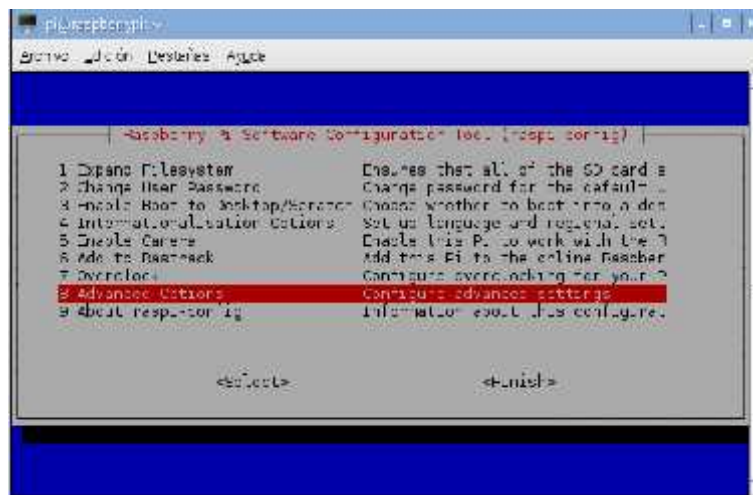


Figura 2-32 Ventana inicial de herramientas de configuración.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Dar enter en SPI.

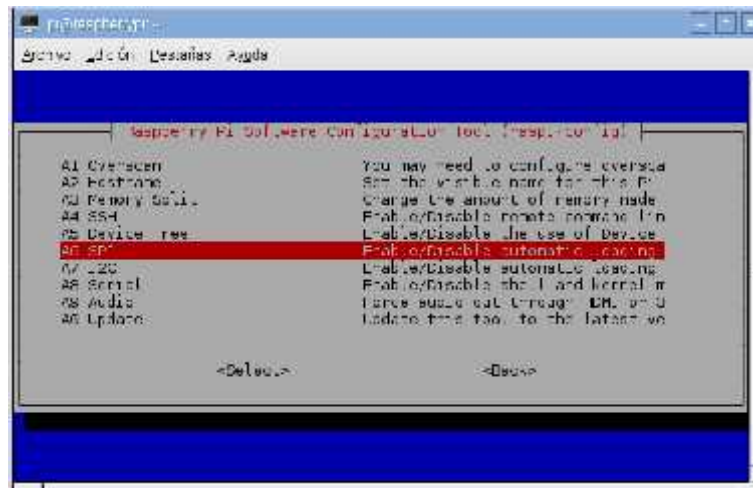


Figura 2-33 Selección de la opción SPI.
 Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Habilitar la interfaz SPI, aceptando todas las peticiones que se presenten. Al finalizar con la configuración seleccionamos *si* para que se reinicie el sistema.

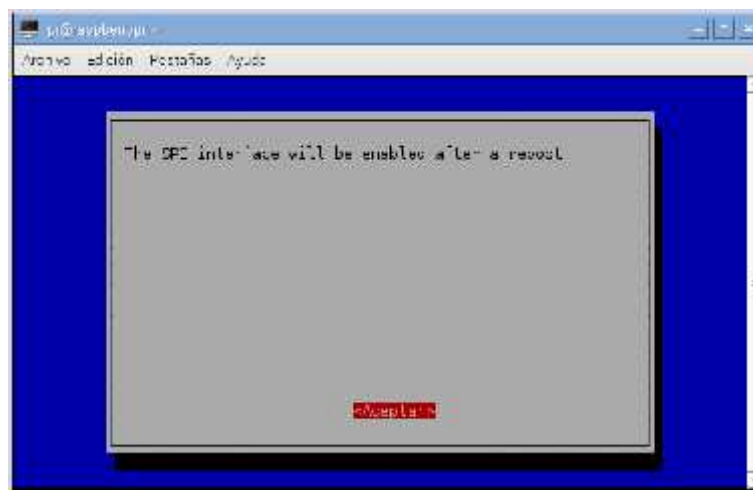


Figura 2-34 Habilitación de la interfaz SPI.
 Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

- Al iniciar el sistema procedemos a configurar *blacklist.conf* para permitir el correcto funcionamiento de SPI, ubicado en el archivo */etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf*, removiendo el controlador *spi-bcm2708*, a través del símbolo numeral *#* antes de la línea de código y presionando *Ctrl-o* para guardar los cambios y *Ctrl-x* para salir:



Figura 2-35 Edición del archivo raspi-blacklist.conf
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

4. Descargar los drivers para el funcionamiento de la pantalla LCD, con el siguiente comando `sudo REPO_URI=https://github.com/notro/rpi-firmware rpi-update`, este permite instalar automáticamente todos los controladores y modulo del kernel de la pantalla, después de la instalación se debe reiniciar el sistema.

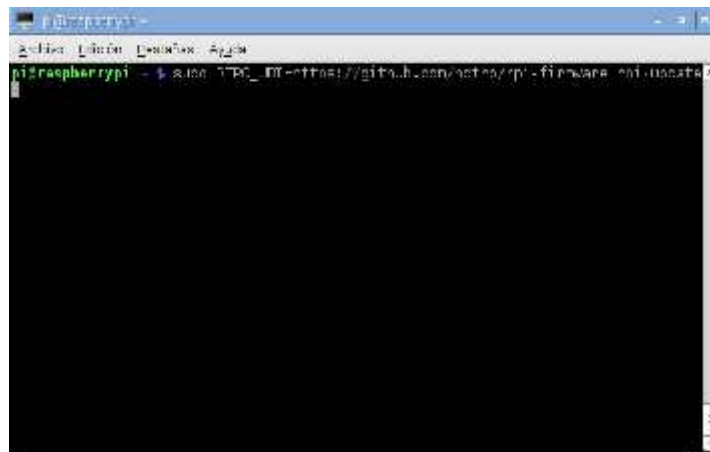


Figura 2-36 Instalación de los drivers del kernel de la pantalla
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

5. Ahora se debe configurar el modulo del kernel tanto para la pantalla como para el touch screen, con `sudo nano /etc/modules`, donde se debe colocar el siguiente código:

```
spi-bcm2708
flexfb nobacklight regwidth=16 init=-1,0xb0,0x0,-1,0x11,-2,250,-1,0x3A,0x55,-
1,0xC2,0x44,-1,0xC5,0x00,0x00,0x00,0x00,-
1,0xE0,0x0F,0x1F,0x1C,0x0C,0x0F,0x08,0x48,0x98,0x37,0x0A,0x13,0x04,0x11,0x0D,0x0
0,-
1,0xE1,0x0F,0x32,0x2E,0x0B,0x0D,0x05,0x47,0x75,0x37,0x06,0x10,0x03,0x24,0x20,0x00
,-
1,0xE2,0x0F,0x32,0x2E,0x0B,0x0D,0x05,0x47,0x75,0x37,0x06,0x10,0x03,0x24,0x20,0x00
,-1,0x36,0x28,-1,0x11,-1,0x29,-3 width=480 height=320
fbtft_device name=flexfb speed=16000000 gpios=reset:25,dc:24
```

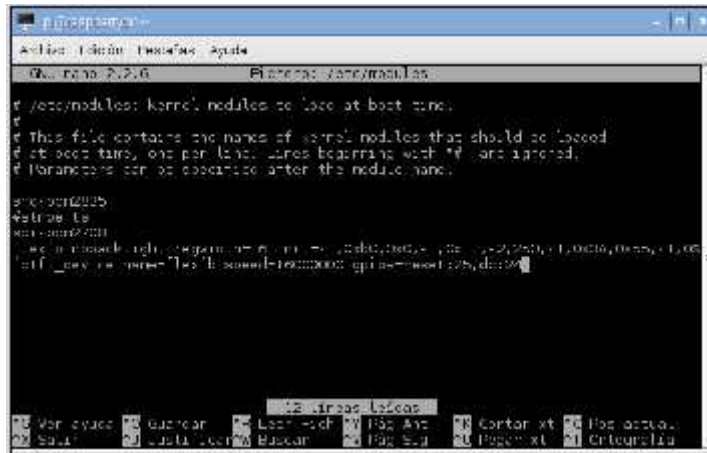


Figura 2-37 Habilitación del módulo de la pantalla.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Donde el primer término es el nombre del módulo del kernel que se iniciarán al encender el sistema y las demás líneas son los parámetros que permiten ajustar las propiedades del módulo.

6. Para completar la instalación de la pantalla, se procede a configurar el archivo ubicado en */boot/cdmline.txt*, el cual cumple casi las mismas funciones de la BIOS en otros sistemas operativos, permitiendo configurar opciones en el arranque del sistema.

```
dwc_otg.lpm_enable=0 console=ttyAMA0,115200 console=tty1 root=/dev/mmcbk0p6
rootfstype=ext4 elevator=deadline rootwait fbcon=map:10 fbcon=font:VGA8x8
fbcon=map:1 fbcon=font:ProFont6x11
```



Figura 2-38 Inicio de la pantalla al arrancar el sistema.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.10 Instalación del software libre rtl-sdr

Actualizar completamente el sistema operativo del Raspberry Pi:

```
$ sudo apt-get update  
$ sudo apt-get dist-upgrade
```

Instalar *git*:

```
$ sudo apt-get install git
```

Clonar el directorio de las fuentes en el sistema:

```
$ git clone git://git.osmocom.org/rtl-sdr.git
```

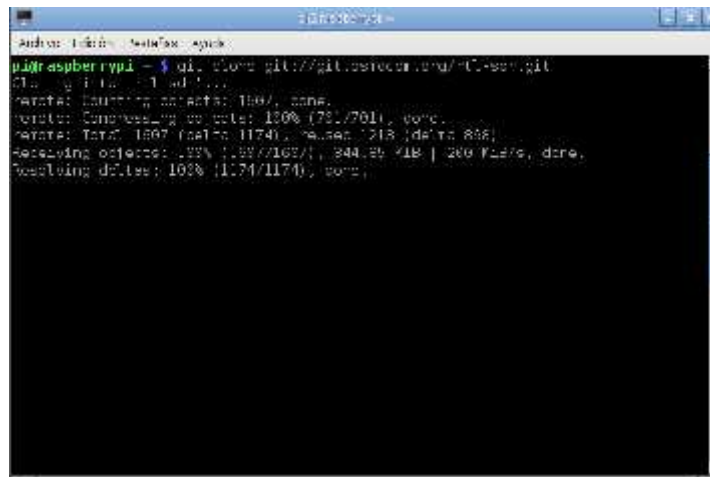


Figura 2-39 Clonar el directorio rtl-sdr.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Luego de cargar el directorio, entrar en *rtl-sdr*, crear e ingresar en el directorio *build*

```
$ cd rtl-sdr/  
mkdir build  
cd build
```

Se debe tener instaladas en el sistema las herramientas y librerías:

```
sudo apt-get install cmake  
sudo apt-get install build-essential  
sudo apt-get install libusb-1.0-0.dev
```

Se inicia el proceso de compilación e instalación de los drivers:

```
cmake ../ -DINSTALL_UDEV_RULES=ON
make
sudo make install
sudo ldconfig
```

Para ver si el sistema lo reconoció usamos:

```
lsusb
```

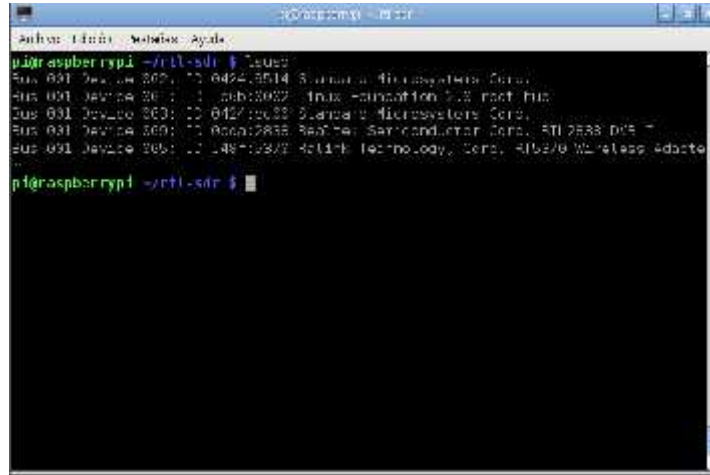


Figura 2-40 Ejecución de lsusb.

Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Se hace un test del driver

```
rtl_test
```

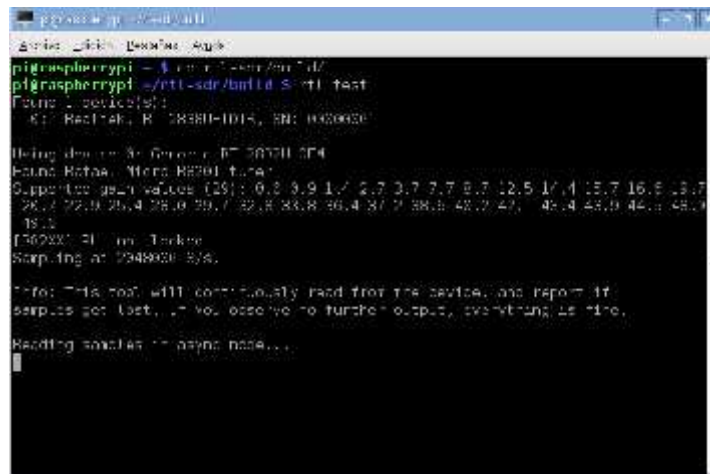


Figura 2-41 Ejecución del test del driver.

Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

En caso de dar un error, se entra en */etc/modprobe.d* y se crea un nuevo archivo llamado “*no_rtl.conf*”, donde se agregan tres líneas de comando:

```
cd /etc/modprobe.d
nano no-rtl.conf
```

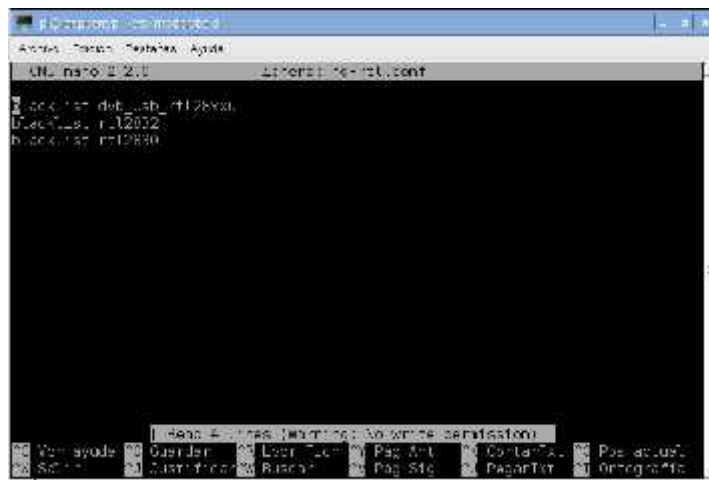


Figura 2-42 Edición de no-rtl.conf.

Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Para cargar las configuraciones se reinicia el Raspberry Pi:

```
sudo reboot
```

2.11 Instalación de FreqShow

Instalar *pip*

```
$ sudo apt-get install python-pip
```

Instalar *RTL-SDR Python*

```
$ sudo pip install pyrtlsdr
```

Descargar desde la fuente

```
$ git clone https://github.com/adafruit/FreqShow.git
```

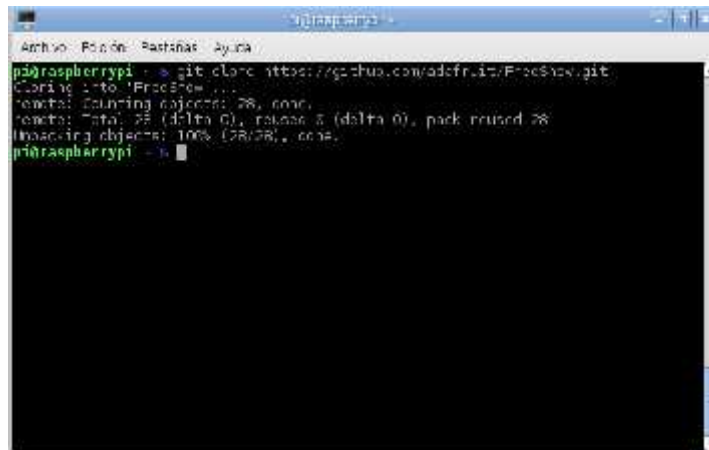


Figura 2-43 Clonar el directorio FreqShow.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Ingresar a *FreqShow* y ejecutar:

```

cd FreqShow
sudo python freqshow.py

```



Figura 2-44 Ejecución del analizador de espectro.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

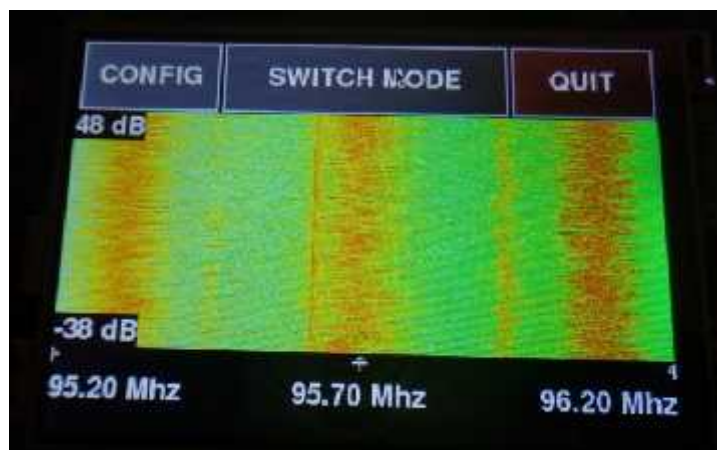


Figura 2-45 Ejecución del diagrama de cascada.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

2.12 Instalación de complementos y software

Acceso Remoto

Como primer punto en la instalación de la pantalla necesitamos utilizar acceso remoto a nuestro Raspberry Pi para mayor facilidad de configuración, lo cual se puede realizar con Escritorio remoto de Windows y con el programa xrdp en el Raspberry Pi.



Figura 2-46 Software para acceso remoto.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Se presenta una pantalla de inicio en la cual se debe ingresar los datos de acceso, siempre con el usuario *pi* y la contraseña que se estableció en la instalación.

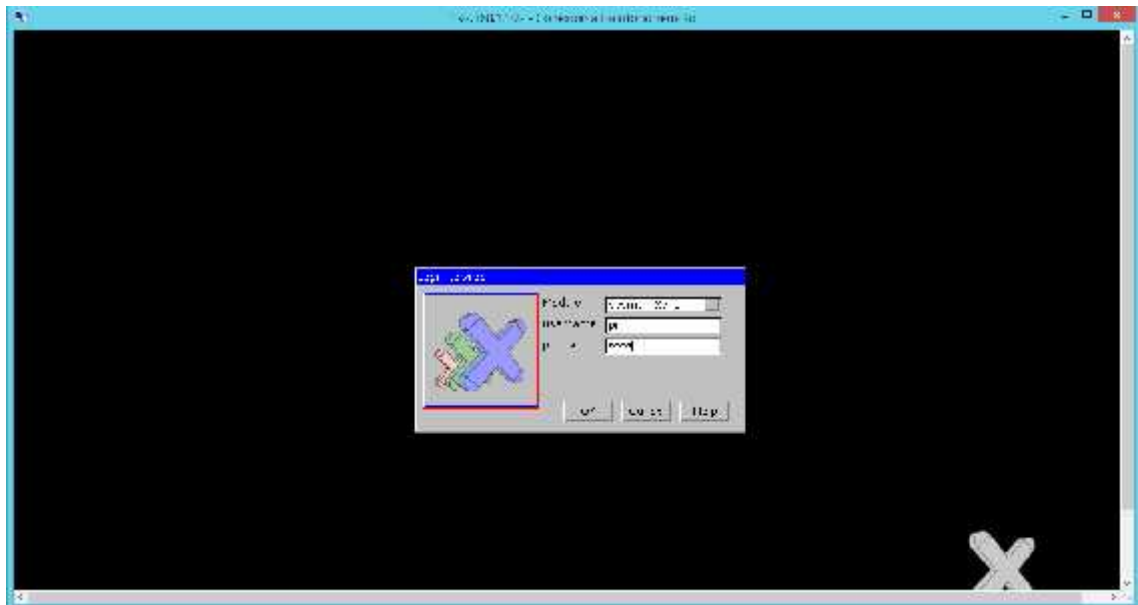


Figura 2-47 Registro para acceso en xrdp.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Teclado en pantalla

Instalar los prerequisites

```
$ sudo apt-get install libfakekey-dev -y
$ sudo apt-get install libpng-dev -y
$ sudo apt-get install libxft-dev -y
$ sudo apt-get install autoconf -y
$ sudo apt-get install libtool -y
```

Instalar y compilar

```
$ git clone https://github.com/mwilliams03/matchbox-keyboard.git
$ cd matchbox-keyboard/
./autogen.sh
make
sudo make install
```

Instalar la librería que se necesita después de la instalación

```
$ sudo apt-get install libmatchbox1 -y
```

Se carga el teclado



Figura 2-48 Ejecución del teclado en pantalla.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

recordMyDesktop

Para analizar la señal recibida se utiliza la línea de comando:

```
$ sudo apt-get install recordMyDesktop
```

Audio

Instalar *sox* para grabar cualquier sonido.

```
$ sudo apt-get install sox
```

Para reproducir audio

```
$ rtl_fm -M wbfm -f 95.7M | play -r 32k -t raw -e s -b 16 -c 1 -V1 -
```

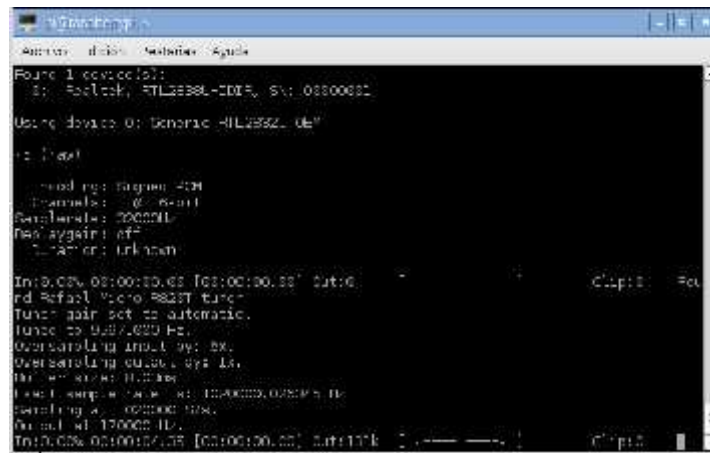


Figura 2-49 Ejecución del demodulador.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Instalar *alsa*

```
$ sudo apt-get install alsa-utils
```

Para inicializar el controlador de sonido se ejecuta:

```
$ sudo modprobe snd_bcm2835
```

Al editar el archivo de configuración */etc/asound.conf* permite reproducir el audio sin interferencias entre *rtl_fm* y VLC.

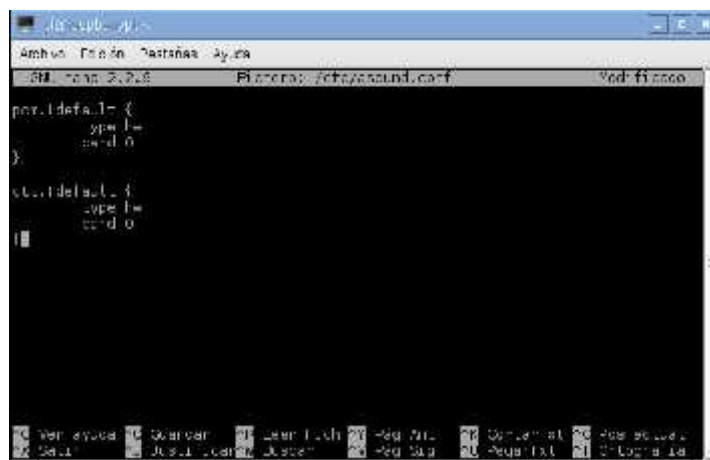


Figura 2-50 Edición de */etc/asound.conf*.

Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Otra forma es clonar el directorio *rtlizer* remoto a nuestro dispositivo Raspberry Pi.

```
$ git clone https://github.com/csete/rtlizer.git
```

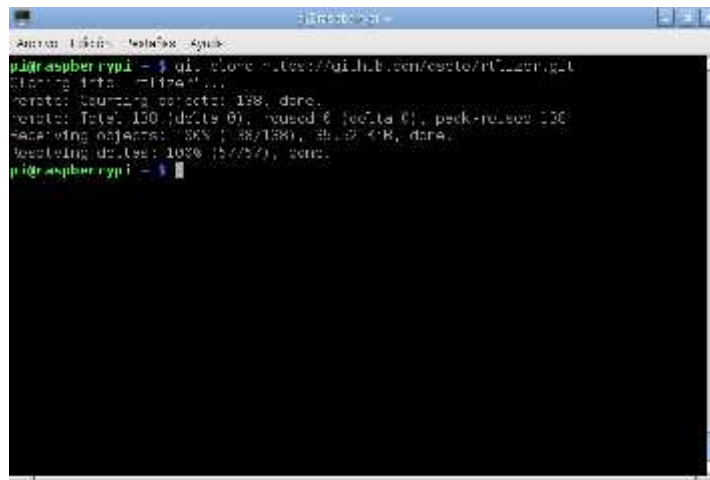


Figura 2-53 Descarga del directorio *rtlizer*.

Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Así se copia la carpeta que tiene el programa fuente en el directorio local y luego se entra en la carpeta y se ejecuta el script de instalación.

```
$ cd rtlizer  
$ ./build
```

Colocar el comando *ls* para ver los archivos y ejecutar el analizador de espectro.

```
$ ls  
$ ./rtlizer
```

Instalación de *libgtk*

Abrir un terminal *LXterminal* e ingresar el comando:

```
$ sudo apt-get install libgtk2.0-dev
```

Confirmar la instalación con *yes*

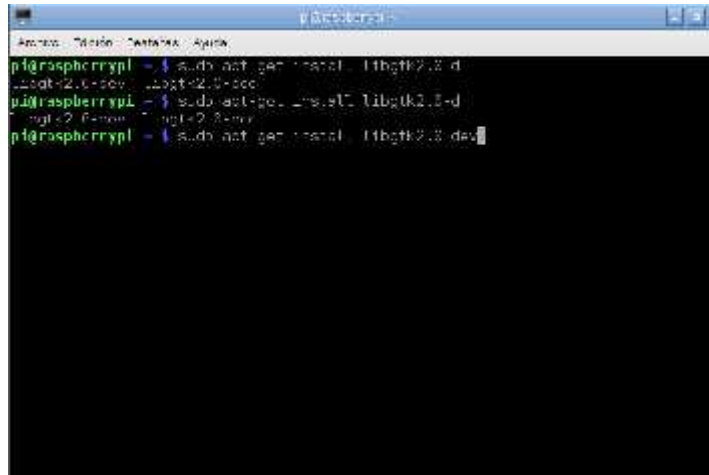


Figura 2-54 Instalación del paquete libgtk.
Fuente Calle O., Santamaría G. (2016).

Scripts



Figura 2-55 Scripts del analizador de espectro.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- Limpiar memoria

Este script permite borrar todos los datos innecesarios que se encuentren presentes, además de terminar procesos que se encuentren en background y puedan afectar la reutilización de la memoria.

```
#!/bin/sh
#Inicio del Script
#Borrar todos los datos

rm -rf /home/pi/Desktop/out*
killall play
killall rtl_fm
killall matchbox-keyboard
killall -9 pmanfm

#Terminar script
#REMOVE
#Fin
```

- Ejecutar analizador

Inicia el analizador de espectro modificado *freqshow*, junto con la grabación de los datos obtenidos al sintonizar una frecuencia.

```
#!/bin/sh
#Inicio del Script para analizar el espectro

sudo /usr/bin/python /home/pi/FreqShow/freqshow.py &
sleep 35
recordmydesktop --no-sound &
sleep 59
killall recordmydesktop

#Terminar script
#Fin
```

- Análisis de Datos

Permite abrir un reproductor de video para tener un análisis más exhaustivo de la señal obtenida.

```
#!/bin/sh
#Inicio del Script
#Análisis de la información obtenida

vlc /home/pi/Desktop/out.ogv

#Terminar script
#VLC
```

- Demodulación del Espectro

Permite abrir un teclado en pantalla para digitar la frecuencia a demodular, junto con un cuadro de diálogo presentando la información requerida.

```
#!/bin/bash
#Inicio del Script
#RTLFM para capturar el audio de frecuencias FM
#rtl_fm -M wbfm -f 95.7M | play -r 32k -t raw -e s -b 16 -c 1 -V1 -

matchbox-keyboard -s 75 numpad-extended &
echo " "
echo " "
echo "SINTONIZADOR DE FRECUENCIA"
read -p "Ingrese la frecuencia: " freq
if [ $freq -le 108000000 ]
then
echo "Frecuencia Correcta"
rtl_fm -f $freq -s 200000 -r 48e3 - | aplay -r 48k -f S16_LE -t raw
else
echo "Frecuencia Incorrecta"
fi

#Terminar script
#RTLFM
#Fin
```

- Ejecución de Scripts

Permite modificar los permisos de ejecución del script para abrirlos automáticamente.

```
sudo chmod +x 1-limpiar_memoria.sh
sudo chmod +x 2-analizador.sh
sudo chmod +x 3-Espectro.sh
sudo chmod +x 4-sonido.sh
```

2.13 Configuración software del analizador de espectro en Raspberry Pi.

2.13.1 Archivos *Freqshow*

Comandos:

```
cd Freqshow/src/
sudo nano freqshow.py
```

Para activar las funcionalidades del touch screen del prototipo de analizador de espectro se procede a realizar cambios en la línea de código `pygame.mouse.set_visible(False)`, reemplazando *False* por *True*, guardando los cambios con *Ctrl-o* y *Ctrl-x*.


```

os.putenv('SDL_MOUSEDEV', '/dev/input/touchscreen')
pygame.display.init()
pygame.font.init()
pygame.mouse.set_visible(True)

```

Figura 2-56 Edición del archivo freqshow.py.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

```

cd Freqshow/src/
sudo nano views.py

```

En este archivo se modifica el idioma de vista de los botones, reemplazando los *labels* de texto de acuerdo a nuestros requerimientos, en general en este archivo modificará la presentación del software, guardando los cambios con *Ctrl-o* y *Ctrl-x*.

```

# create button labels with current model values.
center_freq_text = 'FREQ CENTRAL: {0:0.2f} MHz'.format(model.get_center_freq())
sample_rate_text = 'FREQ: {0:0.2f} MHz'.format(model.get_sample_rate())
gain_text = 'GAIN: {0} dB'.format(model.get_gain())
min_freq_text = 'MIN: {0} dB'.format(model.get_min_string())
max_freq_text = 'MAX: {0} dB'.format(model.get_max_string())

# create buttons.
self.buttons = ui.ButtonGrid(model.width, model.height, 4, 5)
self.buttons.add(0, 0, center_freq_text, colspan=4, click=self.center_freq_click)
self.buttons.add(0, 1, sample_rate_text, colspan=4, click=self.sample_rate_click)
self.buttons.add(0, 2, gain_text, colspan=4, click=self.gain_click)
self.buttons.add(0, 3, min_freq_text, colspan=2, click=self.min_click)
self.buttons.add(0, 3, max_freq_text, colspan=2, click=self.max_click)
self.buttons.add(0, 4, 'ATRAS', click=self.controller.change_to_rain)

def init (self, model, controller):
    self.model = model
    self.controller = controller
    self.buttons = ui.ButtonGrid(model.width, model.height)
    self.buttons.add(0, 0, 'CONFIG', click=self.controller.config_click)
    self.buttons.add(1, 0, 'CASCADA', click=self.controller.cascade_click)
    self.buttons.add(3, 0, 'SALIR', click=self.quit_click)
    self.button = freqshow.CANCEL_BTN
    self.overlay.enabled = True

```

Figura 2-57 Edición del archivo views.py.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

2.13.2 Archivos rtlizer

Comandos:

```

cd rtlizer-2.1/src/
sudo nano rtlizer.c

```

Para partir el análisis desde una frecuencia determinada o sugerida por la radio Rio FM, se debe cambiar la línea de código `static uint32_t frequency = 98000000`, reemplazando `98000000` por `97500000`.

```

static uint8_t *buffer;
static uint32_t dev_index = 0;
static uint32_t frequency = 95700000;
static uint32_t samp_rate = DEFAULT_SAMPLE_RATE;
static uint32_t buf_len = 2048;
static int par_error = 0;

```

Figura 2-58 Edición del archivo rtlizer.c.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Para controlar el SPAN, es necesario realizar cambios en la estructura case de *GDK_KEY_UP*, reemplazando los valores de *samp_rate +=256000* por *50600* y en la estructura case de *GDK_KEY_DOWN* en la línea *if {samp_rate > 1024000}* reemplazar *1024000* por *500000*, además el valor de *samp_rate += 256000* por *50600*

```

case GDK_KEY_Up:
    /* increase bandwidth with 256 kHz */
    if (samp_rate < 256000)
    {
        samp_rate += 50600;
        r = rtl_set_sample_rate(dev, samp_rate);
        if (r < 0)
            fprintf(stderr, "WARNING: Failed to set sample rate.\n");
    }
    break;

case GDK_KEY_Down:
    /* decrease bandwidth with 256 kHz */
    if (samp_rate > 500000)
    {
        samp_rate -= 50600;
        r = rtl_set_sample_rate(dev, samp_rate);
        if (r < 0)
            fprintf(stderr, "WARNING: Failed to set sample rate.\n");
    }
    break;

```

Figura 2-59 Edición del SPAN en el archivo rtlizer.c.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Compilación

```

cd rtlizer-2.1/
make -C src
sudo cp src/rtlizer /usr/local/bin/

```

2.13.3 Archivos rtl-sdr

Comandos

```

cd rtl-sdr/src/
sudo nano librtlsdr.c

```

Para controlar los valores mínimos y máximos de velocidad de muestreo que controla todo el sistema, es necesario modificar el archivo *librtlsdr.c*, con los siguientes cambios en la líneas *{{samp_rate > 80000} && {samp_rate <= 200000}}*

```

if ((smp_rate < 220000) | (smp_rate > 3200000) |
    (smp_rate > 80000) && (smp_rate < 200000)); {
    fprintf(stderr, "Invalid sample rate: %u Hz\n", smp_rate);
    return -EINVAL;
}

```

Figura 2-60 Edición del archivo librtlsdr.c.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

```

cd rtl-sdr/src/
sudo nano rtl_power.c

```

Para completar la configuración y que el sistema funcione sin errores, es necesario modificar el archivo `rtl_power.c` en las líneas de código `#define MAXIMUM_RATE 3200000` por `2800000` y `#define MINIMUM_RATE 1000000` por `200000`.

```

#define MAXIMUM_RATE 2800000
#define MINIMUM_RATE 200000

```

Figura 2-61 Edición del archivo rtl_power.c.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Compilación

```

cd rtl-srd/
cd build/
make
sudo make install
sudo ldconfig

```

2.14 Instalación en Ubuntu

GNU Radio en Ubuntu

Instalar dependencias

```

sudo apt-get -y install git-core cmake g++ python-dev swig pkg-config libfftw3-dev
libboost1.55-all-dev libcppunit-dev libgsl0-dev libusb-dev libsdl1.2-dev python-wxgtk2.8
python-numpy python-cheetah python-lxml doxygen libxi-dev python-sip libqt4-opengl-dev
libqwt-dev libfontconfig1-dev libxrender-dev

```

Establecer la siguiente variable de entorno para utilizar *PyQT*

```

export PYTHONPATH=/opt/qt/lib/python2.7/dist-package

```

Instalar dependencias

```
sudo apt-get install gr-iqbal
```

Instalación de rtl-sdr

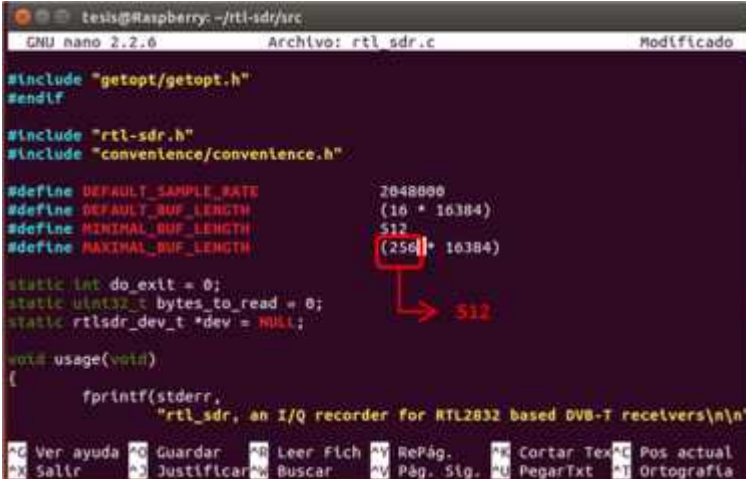
Clonar el repositorio

```
git clone git://git.osmocom.org/rtl-sdr.git
```

Antes de instalar los paquetes, se debe configurar la longitud del buffer para la transmisión de la siguiente forma:

```
cd rtl-sdr/src/  
sudo nano rtl_sdr.c
```

Editar el archivo con el siguiente valor:



```
tesis@raspberrypi: ~/rtl-sdr/src  
GNU nano 2.2.6 Archivo: rtl_sdr.c Modificado  
  
#include "getopt/getopt.h"  
#endif  
  
#include "rtl-sdr.h"  
#include "convenience/convenience.h"  
  
#define DEFAULT_SAMPLE_RATE 2048000  
#define DEFAULT_BUF_LENGTH (16 * 16384)  
#define MINIMAL_BUF_LENGTH 512  
#define MAXIMAL_BUF_LENGTH (256 * 16384)  
  
static int do_exit = 0;  
static uint32_t bytes_to_read = 0;  
static rtl_sdr_dev_t *dev = NULL;  
  
void usage(void)  
{  
    fprintf(stderr,  
            "rtl_sdr, an I/Q recorder for RTL2832 based DVB-T receivers\n\n")  
}
```

Figura 2-62 Archivo de configuración rtl_sdr.c.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Crear directorio

```
cd rtl-sdr/  
mkdir build  
cd build/  
sudo cmake ../ -DINSTALL_UDEV_RULES=ON
```

Instalar

```
make  
sudo make install  
sudo ldconfig
```

Instalación de gr-osmosdr

Clonar el repositorio

```
git clone git://git.osmocom.org/gr-osmosdr
```

Crear directorio

```
cd gr-osmosdr
mkdir build
cd build
cmake ../
```

Instalar

```
make
sudo make install
sudo ldconfig
```

Clonar el repositorio

```
git clone --recursive http://git.gnuradio.org/git/gnuradio.git
```

Configurar y construir *GNU Radio*:

```
cd gnuradio
sudo mkdir build
cd build
sudo cmake ../
sudo make
```

Ejecutar el software de auto-comprobación GNU Radio

```
sudo make test
```

Instalar *GNU Radio*

```
sudo make install
```

HackRF

Instalar dependencias *HackRF*

```
sudo apt-get install build-essential
sudo apt-get install cmake
sudo apt-get install libusb-1.0-0-dev
sudo apt-get install libboost-dev
sudo apt-get install libboost1.54-dev
sudo apt-get install liblog4cpp5-dev
sudo apt-get install libboost-system-dev
sudo apt-get install libboost-thread-dev
sudo apt-get install libboost-program-options-dev
sudo apt-get install swig
```

Clonar el repositorio *HackRF*

```
git clone https://github.com/mossmann/hackrf.git
```

Crear el directorio y usar *cmake* para crear el archivo de construcción.

```
cd hackrf
cd host
mkdir build
cd build
cmake ../ -DINSTALL_UDEV_RULES=ON
```

Instalar *HackRF*

```
make
sudo make install
sudo ldconfig
```

Al igual que en RPi se debe crear un *blacklist.conf* y colocar el siguiente código en el archivo:

```
cd /etc/modprobe.d/
sudo nano blacklist-rtl.conf
```



Figura 2-63 Archivo de configuración *blacklist-rtl.conf*.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Finalmente se procede a dar permisos de acceso al archivo *grc.conf*, que contiene propiedades de la interfaz gráfica del usuario.

```
$ sudo chmod 666 /home/tesis/.gnuradio/grc.conf
```

Ejecutar el editor de gráficos

```
gnuradio-companion
```

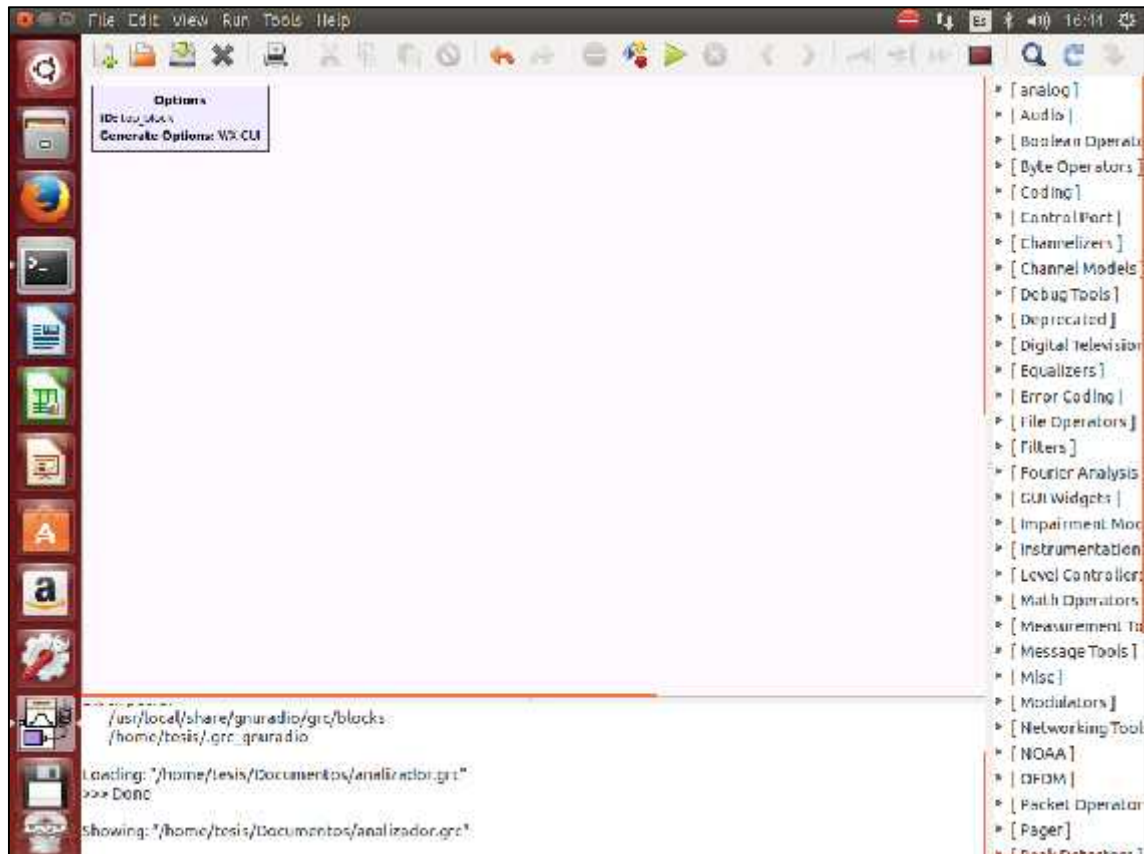


Figura 2-64 Pantalla principal de GNU Radio.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Servidor OpenSSH

Instalar cliente y servidor OpenSSH

```
sudo apt-get install openssh-client  
sudo apt-get install openssh-server
```

2.15 Acoplamiento al chasis

El ensamblaje del analizador de espectro se realiza luego de comprobar el correcto funcionamiento de todos los materiales tanto en software como en hardware, dicho elementos que se encuentran dentro del chasis son:

- Raspberry Pi.
- Pantalla.
- Hub USB de 4 puertos.
- Unión USB hembra.
- Decodificadores de señales.
- Antenas.



Figura 2-65 Parte interna del prototipo.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Una vez terminado el ensamblaje, el prototipo quedará de la siguiente manera:

- En la parte frontal está colocada la pantalla.
- En la parte superior se encuentran los conectores para las antenas, la fuente de alimentación, puerto hembra HDMI, 3.5mm jack de audio.
- En la parte izquierda del chasis se encuentra un puerto USB hembra para establecer conexión con un computador.
- En la parte inferior del prototipo se encuentran puertos USB, para diferentes periféricos.

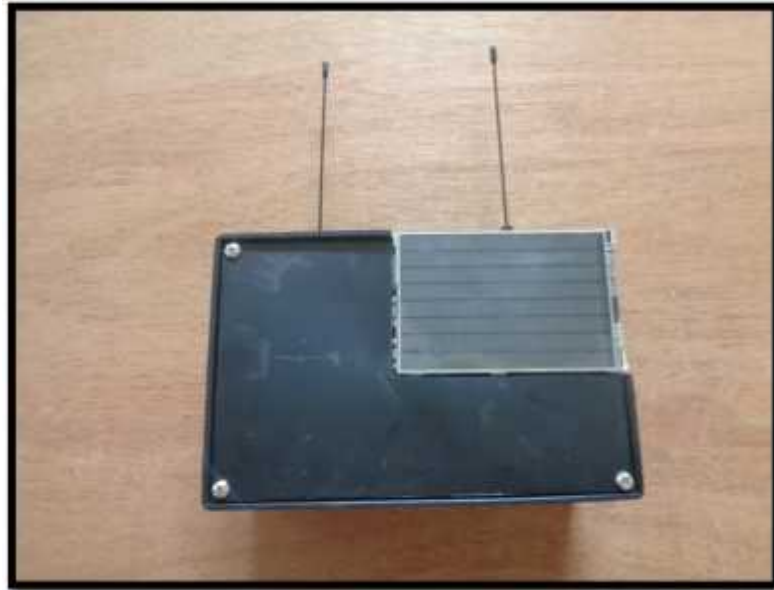


Figura 2-66 Vista frontal del prototipo.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

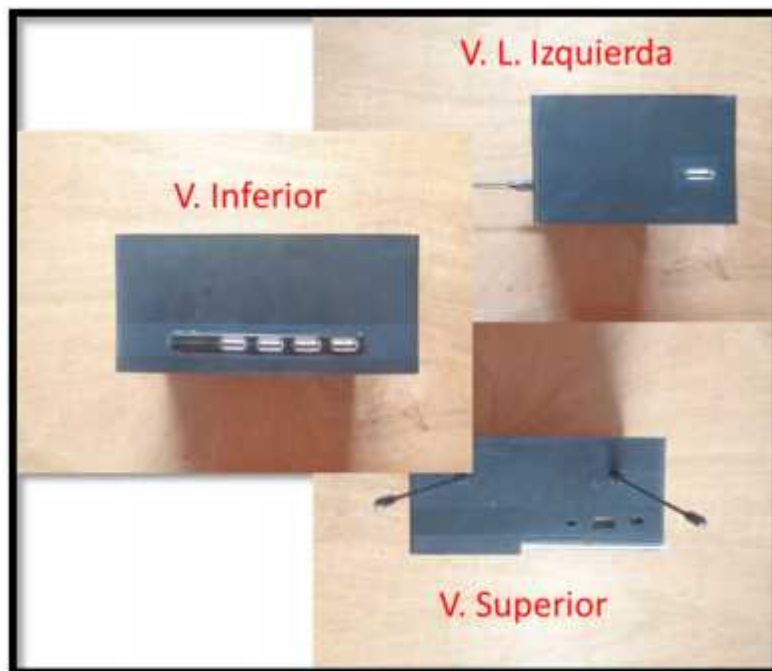


Figura 2-67 Diferentes vistas del prototipo.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1 Pruebas del Analizador de espectro

3.1.1 *Funcionamiento del prototipo construido*

Se consideraron las siguientes características propias de un analizador de espectro para determinar la funcionalidad del prototipo.

Tabla 3-1 Funcionalidades de los analizadores de espectros.

Características	Prototipo	SACER	Anritsu
Gráfica en el dominio de la frecuencia	SI	SI	SI
Diagrama de cascada	SI	SI	SI
Demodulación FM	SI	SI	SI
Medición del Ancho de Banda	SI	SI	SI
Medición de Potencia	SI	SI	SI
Medición de Intensidad de Campo	NO	SI	NO
Max Hold	SI	SI	SI
Ganancia de IF	SI	SI	SI
Touch Screen	SI	NO	NO

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.2 *Patrón del Espectro Radioeléctrico*

El espectro recibido de la señal debe presentarse en una gráfica en el dominio de la frecuencia, por lo cual en el prototipo de analizador de espectro se pueden visualizar de dos formas

diferentes, a través de la pantalla LCD del dispositivo y en la computadora como se muestra a continuación, donde se puede distinguir el patrón de la señal recibida.

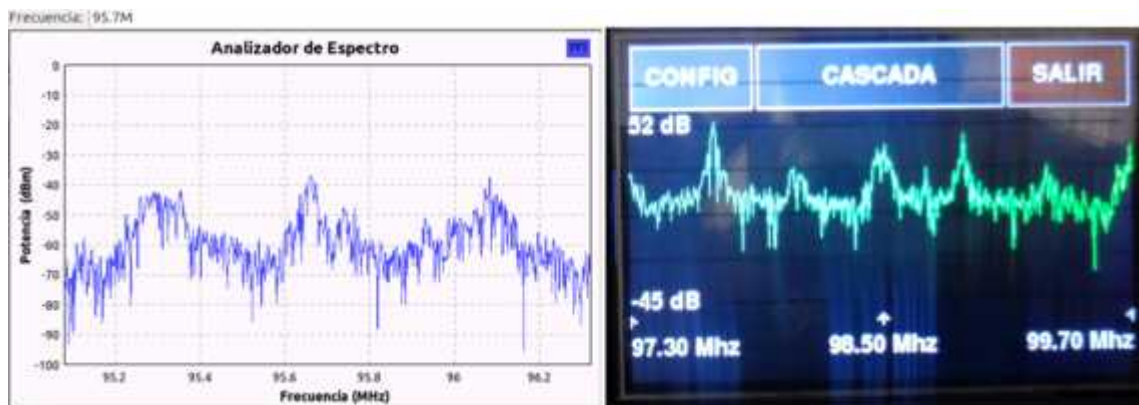


Figura 3-1 Patrones del espectro en el dispositivo.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Para visualizar la mayor concentración de potencia de la señal en una forma más notoria, se puede activar el Diagrama de Cascada, que permite diferenciar donde se concentra más la energía de cada señal recibida con la escala de colores visualizados, siendo el rojo el de mayor potencia y el verde el de menor potencia.

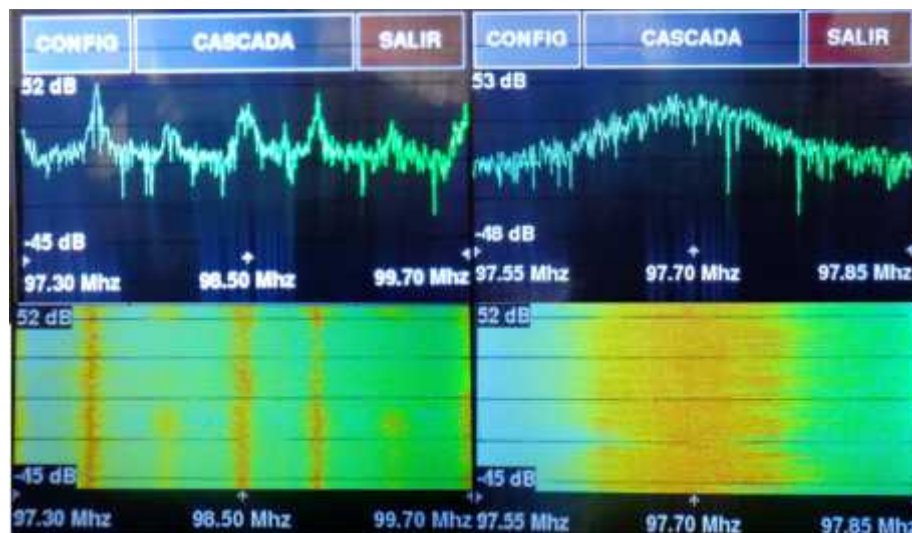


Figura 3-2 Diagrama de cascada del dispositivo.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.3 Frecuencias

Dentro del espectro radioeléctrico existen tecnologías transmitiendo en diferentes bandas de frecuencias, por lo cual la sintonización de las mismas depende de las características del

dispositivo utilizado, por esta razón con el prototipo de analizador de espectro se puede verificar la recepción en frecuencia de las señales con la siguiente tabla.

Tabla 3-2 Rango de frecuencias permitidas.

Frecuencia	Analizador de Espectro
< 24 MHz	NO
24 – 1850 MHz	SI
> 1850 MHz	NO

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.4 *SPAN*

Se puede variar el SPAN del dispositivo, lo que permite tener una visión más larga del espectro recibido para identificar señales adyacentes de otros transmisores o configurarlo para tener una señal más angosta y poder identificar diferentes parámetros, cabe recalcar que en el computador el valor del SPAN no es configurable.

Los rangos permitidos se dividen de la siguiente forma:

Tabla 3-3 Rango de SPAN permitido.

SPAN	Analizador de Espectro
< 240 kHz	NO
240 – 300 kHz	SI
300 – 910 kHz	NO
910 – 3.2 kHz	SI
> 3.2 kHz	NO

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.5 *Demodulación FM*

La demodulación de la señal se la realiza con la aplicación implementada en el dispositivo, la cual tiene como configuración demodular frecuencias específicas de WFM (Wide Frequency Modulation), teniendo inconvenientes para demodular otro tipo de frecuencias como AM, NFM (Narrow Frequency Modulation) por las técnicas de modulación utilizada.

3.1.6 *Max Hold y Average*

Para verificar los valores más altos de potencia en cada medición, es necesaria una función que cumpla este objetivo, el cual es denominado como Max Hold para los picos máximos, el mismo que viene incluido en todos los analizadores de espectro junto con otra función denominada Average, que permite tener los promedios de la señal recibida.

Para cumplir estos requerimientos es necesario conectar el dispositivo con un computador y ejecutar la aplicación ANALIZADOR_DE_ESPECTRO para comprobar que cumple lo expuesto, seleccionando los ítems Peak Hold y Average.

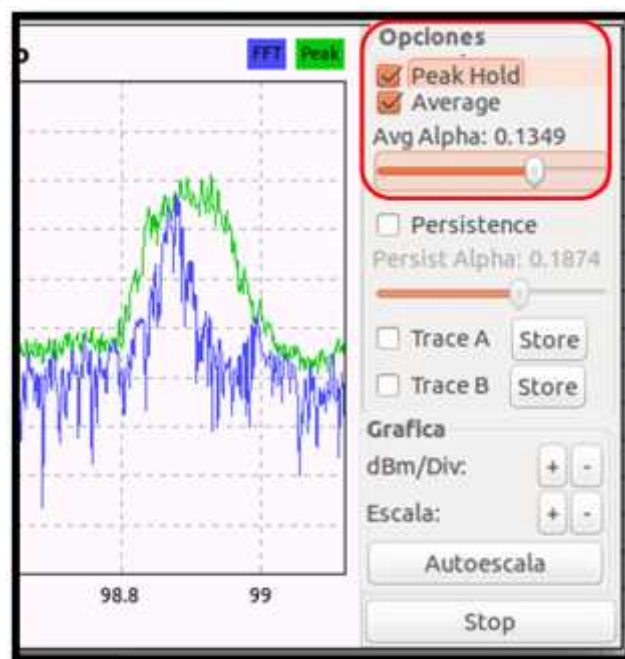


Figura 3-3 Ítems Peak Hold y Average.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.7 *Acoplamiento de la señal*

Para mejorar la visualización del espectro se debe verificar en el dispositivo que funcionen correctamente las opciones de configuración como: frecuencia central, SPAN, ganancia, valor mínimo de potencia y valor máximo de potencia, mientras que en el computador se puede manipular la señal con opciones como: frecuencia central, ganancia, número de divisiones por dBm y nivel de referencia de la gráfica.

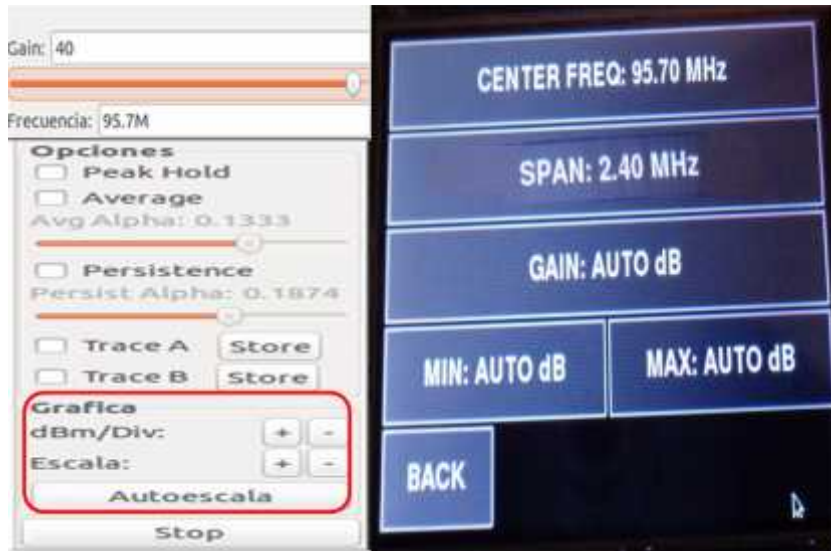


Figura 3-4 Configuraciones varias del dispositivo.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Cada una de las opciones mostradas cumple su objetivo dependiendo del tipo de dispositivo utilizado como puede ser en el analizador de espectro o en la computadora, las cuales no presentan errores al momento de activarlas.

3.1.8 *Pruebas de comunicación con la PC*

El analizador de espectro se comunica con un computador a través del puerto USB, que es exclusivo para esa conexión y está ubicado en la parte lateral izquierda, el mismo que permite que el computador reconozca al dispositivo para procesar las señales radioeléctricas, mejorando la visualización y manipulación de la señal.



Figura 3-5 Conexión entre el dispositivo y el computador.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

En la figura anterior se puede observar el espectro de la señal de la estación de radiodifusión Rio FM en la frecuencia 95.7 MHz, donde la gráfica presentada posee características de potencia, frecuencia central, SPAN y ganancia.

3.1.9 *Comparación del Ancho de Banda en radio Rio FM*

Se realizó una comparación con otros analizadores de espectro, los cuales son utilizados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) como: Anritsu modelo MS2661A y Rohde & Schwarz modelo DDF-255 del SACER, para realizar monitoreos periódicos de las ondas radiadas en el espectro radioeléctrico.

3.1.9.1 *SACER*

El Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico es el más utilizado y principal medio para realizar mediciones en radiodifusión y televisión del Ecuador por parte de la ARCOTEL, siendo una herramienta que cumple con los estándares y recomendaciones internacionales de la UIT. Las labores de control que realiza el SACER en la ARCOTEL son las siguientes:

- Monitoreo de estaciones de radiodifusión sonora en AM, FM y Televisión Abierta.
- Monitoreo de ocupación de sistemas fijo-móvil UHF.
- Observaciones auditivas y visuales de señales.
- Medición de frecuencia.
- Medición de Intensidad de campo.
- Medición de anchura de banda.
- Registro de ocupación del espectro.
- Verificación de parámetros administrativos asignados.
- Radiogoniometría.
- Eliminación de interferencias.
- Cobertura de estaciones radioeléctricas.
- Identificación, localización y eliminación de estaciones no autorizadas.

La medición de los parámetros de la estación de radio Rio FM 95.7 MHz presenta las siguientes características y gráficas del espectro:

SPAN: 1MHz
 Limite izquierdo: 95.2 MHz
 Limite derecho: 96.2 MHz
 Frecuencia Central: 95.7 MHz
 Max Hold: Activado
 Rango de Muestreo: 300 kHz
 Ancho de Banda medido: 223 kHz

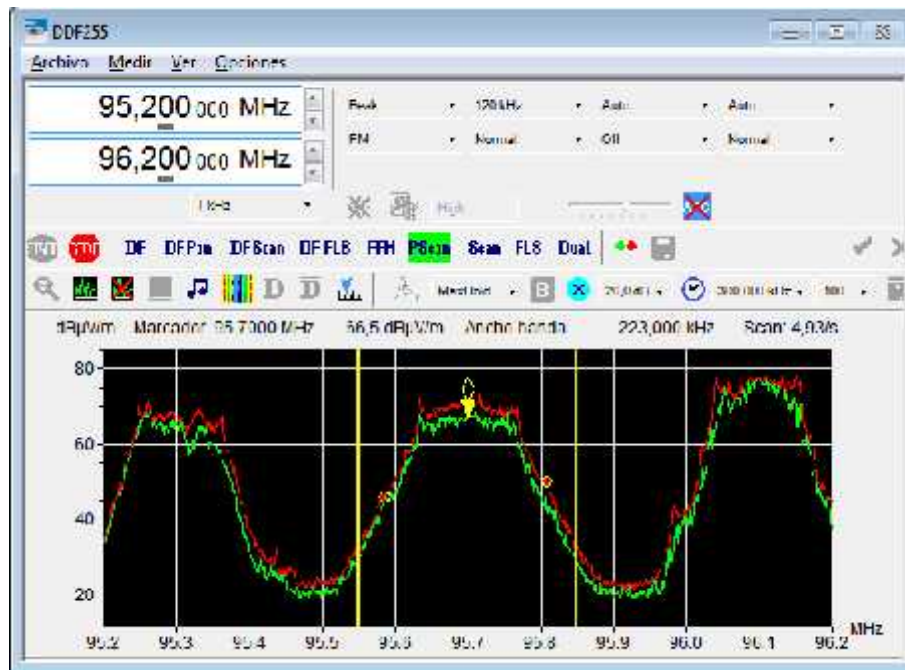


Figura 3-6 Gráfica del espectro en el SACER.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.9.2 *Analizador marca Anritsu modelo MS2661A*

Es un analizador de espectro portátil para el análisis de las señales de radio, posee las siguientes características:

- Rango de frecuencia de 9 kHz a 3 GHz.
- Demodulación FM.
- Cuenta con SPAN de 0 Hz, 1kHz a 3.1 GHz.
- Contador de frecuencia con 1 Hz de resolución.
- Pantalla Full-color LCD-TFT de 5.7''
- Capacidad de control remoto utilizando el software Spectre.

- Permite monitoreo en tiempo casi real.

La medición realizada con el analizador marca Anritsu de los parámetros de la estación de radio Rio FM 95.7 MHz, presenta las siguientes características y gráficas del espectro:

SPAN: 500 kHz
Frecuencia Central: 95.7 MHz
Max Hold: Activado
Numero de muestras: 10
Ancho de Banda medida: 192 kHz



Figura 3-7 Gráfica del espectro en el Anritsu.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.9.3 Prototipo del Analizador de Espectro

La medición con el prototipo de Analizador de Espectro de los parámetros de la estación de radio Rio FM 95.7 MHz, presenta las siguientes características y gráficas del espectro:

SPAN: 1 MHz
Frecuencia Central: 95.7 MHz
Max Hold: Activado
Ancho de Banda medido: 210 kHz
Potencia: -21.2253 dBm

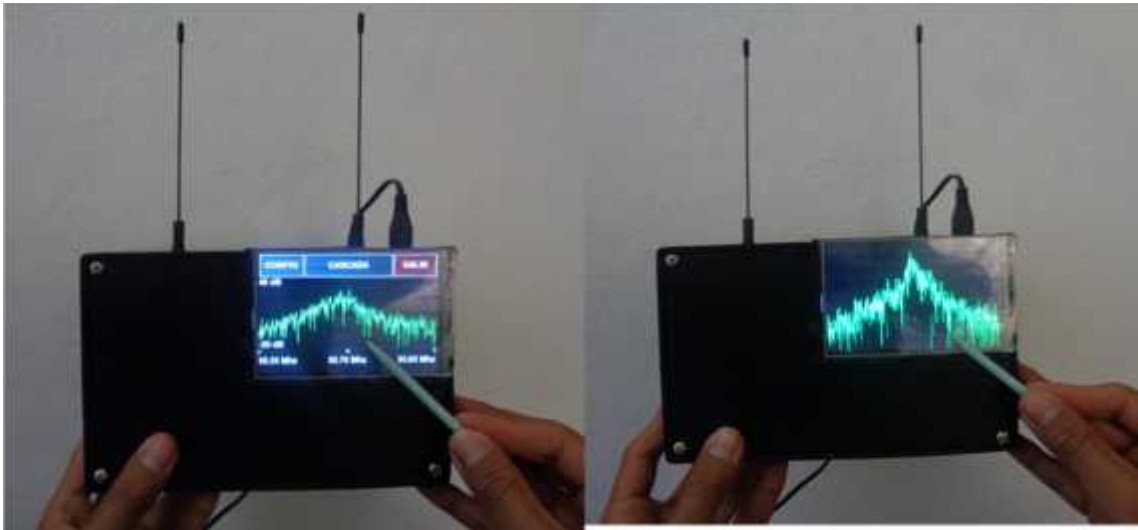


Figura 3-8 Gráfica del espectro en el prototipo.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- Gráfica de la computadora

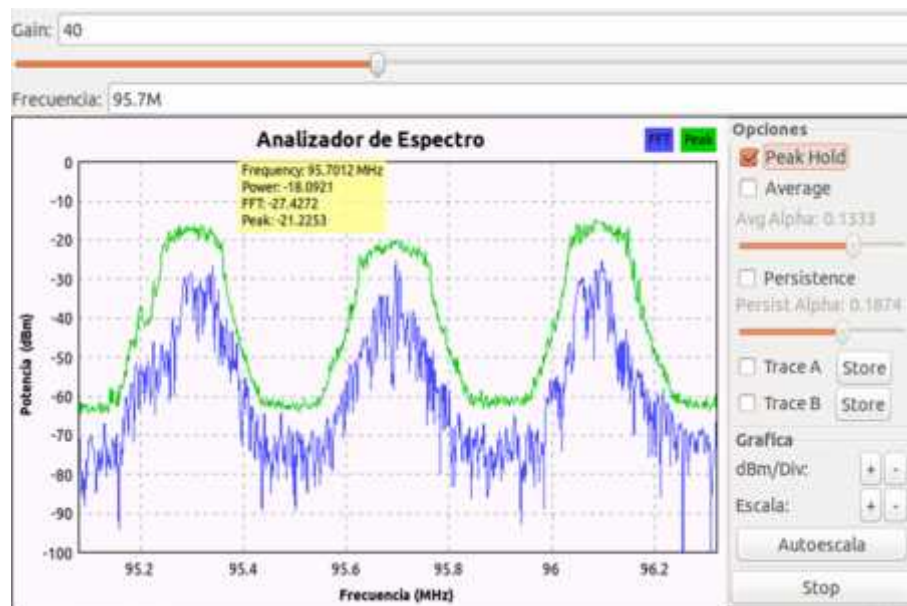


Figura 3-9 Gráfica del espectro en la computadora.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).



Figura 3-10 Cálculo del ancho de banda en la computadora.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.10 Mediciones de Ancho de banda

Se realizó una medición del ancho de banda de todas las estaciones radiodifusoras comprendidas entre 88 y 108 MHz con los tres analizadores de espectro, utilizando técnicas de estadística para ver el desempeño que tiene el analizador de espectro con otros analizadores usados por la ARCOTEL, donde se utilizó una aplicación adicional para calcular el ancho de banda con el prototipo, dando como resultado los siguientes datos:

Tabla 3-4 Medición del ancho de banda.

Frecuencias MHz	Analizador Anritsu	Prototipo	SACER
88,1	173	200	191
88,5	132	150	151
88,9	127	110	184
89,3	166	170	178
89,7	185	200	208
90,1	162	190	179
90,5	170	210	204
90,9	0	0	0
91,3	163	130	135
91,7	141	170	191

Continuará:...

Continúa:

92,1	180	210	189
92,5	185	210	210
92,9	0	0	0
93,3	185	170	179
93,7	113	150	165
94,1	154	190	179
94,5	152	180	210
94,9	0	0	0
95,3	158	180	191
95,7	191	210	223
96,1	161	180	174
96,5	156	180	188
96,9	194	190	183
97,3	0	0	0
97,7	173	150	153
98,1	0	0	0
98,5	180	190	196
98,9	114	180	187
99,3	0	0	0
99,7	181	200	201
100,1	0	0	0
100,5	0	0	0
100,9	0	0	0
101,3	202	210	218
101,7	129	150	159
102,1	168	190	210
102,5	188	230	228
102,9	148	170	185
103,3	0	0	0
103,7	202	180	204
104,1	88	130	148
104,5	184	190	189
104,9	135	180	199
105,3	121	180	190
105,7	199	200	199
106,1	156	190	180
106,5	0	0	0
106,9	129	150	152
107,3	161	190	215
107,7	0	0	0

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.10.1 Anritsu y Prototipo de Analizador de Espectro

Tabla 3-5 Comparación entre Anritsu y el Prototipo.

Frecuencias MHz	ANCHO DE BANDA		Anritsu-Prototipo		
	Anritsu	Prototipo	Media Aritmética	Varianza	Desviación Estándar
88.1	173	200	186.50	364.50	19.09
88.5	132	150	141.00	162.00	12.73
88.9	127	110	118.50	144.50	12.02
89.3	166	170	168.00	8.00	2.83
89.7	185	200	192.50	112.50	10.61
90.1	162	190	176.00	392.00	19.80
90.5	170	210	190.00	800.00	28.28
90.9	0	0	0.00	0.00	0.00
91.3	163	130	146.50	544.50	23.33
91.7	141	170	155.50	420.50	20.51
92.1	180	210	195.00	450.00	21.21
92.5	185	210	197.50	312.50	17.68
92.9	0	0	0.00	0.00	0.00
93.3	185	170	177.50	112.50	10.61
93.7	113	150	131.50	684.50	26.16
94.1	154	190	172.00	648.00	25.46
94.5	152	180	166.00	392.00	19.80
94.9	0	0	0.00	0.00	0.00
95.3	158	180	169.00	242.00	15.56
95.7	191	210	200.50	180.50	13.44
96.1	161	180	170.50	180.50	13.44
96.5	156	180	168.00	288.00	16.97
96.9	194	190	192.00	8.00	2.83
97.3	0	0	0.00	0.00	0.00
97.7	173	150	161.50	264.50	16.26
98.1	0	0	0.00	0.00	0.00
98.5	180	190	185.00	50.00	7.07
98.9	114	180	147.00	2178.00	46.67
99.3	0	0	0.00	0.00	0.00
99.7	181	200	190.50	180.50	13.44
100.1	0	0	0.00	0.00	0.00
100.5	0	0	0.00	0.00	0.00
100.9	0	0	0.00	0.00	0.00
101.3	202	210	206.00	32.00	5.66
101.7	129	150	139.50	220.50	14.85
102.1	168	190	179.00	242.00	15.56
102.5	188	230	209.00	882.00	29.70

Continuará:...

Continúa:

102.9	148	170	159.00	242.00	15.56
103.3	0	0	0.00	0.00	0.00
103.7	202	180	191.00	242.00	15.56
104.1	88	130	109.00	882.00	29.70
104.5	184	190	187.00	18.00	4.24
104.9	135	180	157.50	1012.50	31.82
105.3	121	180	150.50	1740.50	41.72
105.7	199	200	199.50	0.50	0.71
106.1	156	190	173.00	578.00	24.04
106.5	0	0	0.00	0.00	0.00
106.9	129	150	139.50	220.50	14.85
107.3	161	190	175.50	420.50	20.51
107.7	0	0	0.00	0.00	0.00
Promedio	160.68	180	170.34	417.18	17.90

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.10.2 SACER y Prototipo de Analizador de Espectro

Tabla 3-6 Comparación entre SACER y el Prototipo.

Frecuencias MHz	ANCHO DE BANDA		SACER-Prototipo		
	SACER	Prototipo	Media Aritmética	Varianza	Desviación Estándar
88.1	191	200	195.50	40.50	6.36
88.5	151	150	150.50	0.50	0.71
88.9	184	110	147.00	2738.00	52.33
89.3	178	170	174.00	32.00	5.66
89.7	208	200	204.00	32.00	5.66
90.1	179	190	184.50	60.50	7.78
90.5	204	210	207.00	18.00	4.24
90.9	0	0	0.00	0.00	0.00
91.3	135	130	132.50	12.50	3.54
91.7	191	170	180.50	220.50	14.85
92.1	189	210	199.50	220.50	14.85
92.5	210	210	210.00	0.00	0.00
92.9	0	0	0.00	0.00	0.00
93.3	179	170	174.50	40.50	6.36
93.7	165	150	157.50	112.50	10.61
94.1	179	190	184.50	60.50	7.78
94.5	210	180	195.00	450.00	21.21
94.9	0	0	0.00	0.00	0.00
95.3	191	180	185.50	60.50	7.78

Continuará:...

Continúa:

95.7	223	210	216.50	84.50	9.19
96.1	174	180	177.00	18.00	4.24
96.5	188	180	184.00	32.00	5.66
96.9	183	190	186.50	24.50	4.95
97.3	0	0	0.00	0.00	0.00
97.7	153	150	151.50	4.50	2.12
98.1	0	0	0.00	0.00	0.00
98.5	196	190	193.00	18.00	4.24
98.9	187	180	183.50	24.50	4.95
99.3	0	0	0.00	0.00	0.00
99.7	201	200	200.50	0.50	0.71
100.1	0	0	0.00	0.00	0.00
100.5	0	0	0.00	0.00	0.00
100.9	0	0	0.00	0.00	0.00
101.3	218	210	214.00	32.00	5.66
101.7	159	150	154.50	40.50	6.36
102.1	210	190	200.00	200.00	14.14
102.5	228	230	229.00	2.00	1.41
102.9	185	170	177.50	112.50	10.61
103.3	0	0	0.00	0.00	0.00
103.7	204	180	192.00	288.00	16.97
104.1	148	130	139.00	162.00	12.73
104.5	189	190	189.50	0.50	0.71
104.9	199	180	189.50	180.50	13.44
105.3	190	180	185.00	50.00	7.07
105.7	199	200	199.50	0.50	0.71
106.1	180	190	185.00	50.00	7.07
106.5	0	0	0.00	0.00	0.00
106.9	152	150	151.00	2.00	1.41
107.3	215	190	202.50	312.50	17.68
107.7	0	0	0.00	0.00	0.00
Promedio	187.5	180	183.75	151.01	8.47

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.1.11 Características Generales de Operación

Tabla 3-7 Características técnicas de los analizadores de espectro.

Características Técnicas	Prototipo	SACER	Anritsu
Tipo de Pantalla	LCD-TFT		Color LCD-TFT
Tamaño de pantalla	3.5''	8''	5.7''

Continuará:...

Continúa:

Voltaje	5 VDC	110 VAC	12 VDC
Amperaje	2.5 A	4 A	4 A
Software	Libre	Propietario	Propietario
Tamaño	16.5 x 7.5 x 10.5 cm	4 unidades por 19’’	17.7 x 32 x 35.1 cm
Rango de frecuencia	24 MHz y 1850 MHz	20 MHz a 3.6 GHz y más	9 kHz a 3 GHz
SPAN	240 - 300 kHz y 910 - 3200 kHz	10 kHz a 20 kHz	0 Hz, 1kHz a 3.1 GHz
Conector para Antena	MCX	Múltiples entradas para VHF y UHF	GPS, RF
Conexiones Externas	USB	USB, LAN, Disco Externo.	LAN, USB

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.2 Resultados obtenidos

La característica principal de un analizador de espectro es trabajar en el dominio de la frecuencia utilizando diferentes bloques de procesamiento de señales, por lo que se verificó que el prototipo implementado cumpla los parámetros básicos que tiene un analizador de espectro.

- El prototipo posee las siguientes funcionalidades:

Tabla 3-8 Funcionalidad del prototipo de analizador de espectro.

Gráfica	Dominio de la frecuencia / Diagrama en cascada
Señal	Max Hold, Average y señal en tiempo real
Demodulación	FM
Medición de parámetros	Ancho de banda, potencia, relación S/N
Rango de Frecuencia	24 – 1850 MHz
SPAN	240 – 300 kHz 910 – 3200 kHz
Ganancias dB	Auto 1 a 50 dB
Visualización	Touch screen (pantalla LCD compatible con Raspberry Pi) y computadora

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

➤ Características técnicas del prototipo

Tabla 3-9 Características técnicas del prototipo de analizador de espectro.

Tipo de Pantalla	LCD TFT
Tamaño de pantalla	3.5''
Voltaje	5 VDC
Amperaje	2.5 A
Software	Libre (rtl-sdr, rtlizer, sox, Freqshow, GNU Radio)
Tamaño del prototipo	16.5 x 7.5 x 10.5 cm
Conector para Antena	MCX
Demodulador	RTL2832U
Conexiones Externas	USB

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

➤ Componentes del analizador de espectro

- 1 Raspberry Pi 2 Model B 1GB
- 1 Demodulador RTL2832U
- 1 Sintonizador R820T
- 2 Antenas
- 1 Cable USB hembra

➤ Arquitectura del prototipo en base al diagrama de bloques de un analizador de espectro

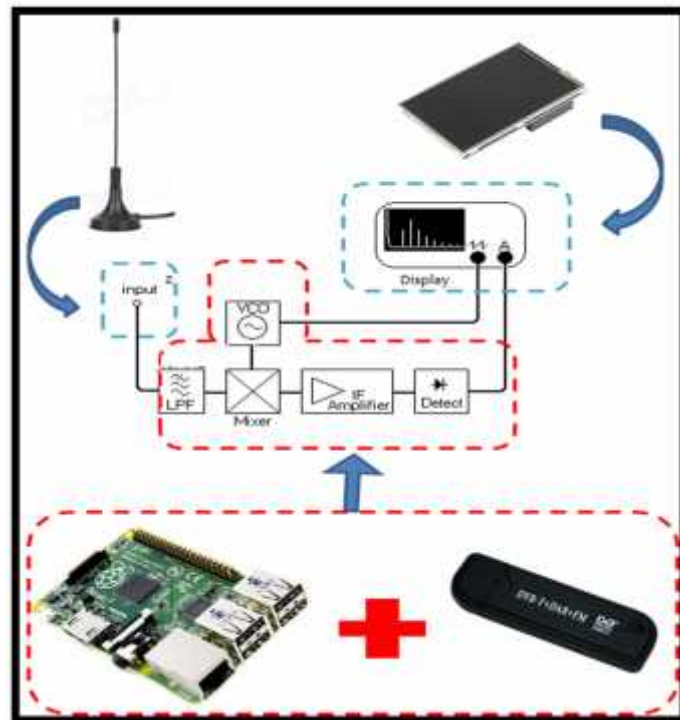


Figura 3-11 Arquitectura del analizador de espectro

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Tabla 3-10 Descripción de la arquitectura del prototipo.

Antena	Receptor Input
Decodificador RTL2832U y Raspberry Pi	Contiene mezclador, detector, oscilador, sintonizador, filtros, demodulador, amplificador y ganancia todo en software.
Pantalla LCD TFT	Display

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Para realizar las mediciones mediante la utilización de una computadora se debe conectar mediante un cable USB hembra, previamente debe estar instalado el sistema operativo Ubuntu Trusty y nuestra aplicación llamada ANALIZADOR_DE_ESPECTRO.

Con respecto a las mediciones de anchos de banda de las estaciones de radiodifusión FM de la ciudad de Riobamba comprendidas en la banda 88 a 108 MHz realizadas con los analizadores de espectro Anritsu, SACER y el prototipo se obtuvo los siguientes resultados:

- Con respecto al SACER existe una variación promedio de 8 kHz.
- Con respecto al Anritsu existe una variación promedio de 17 kHz.

Es decir que si se mide una señal utilizando el prototipo, en el SACER será de ± 8 kHz, mientras que en el Anritsu el valor deberá ser de ± 17 kHz. Por ejemplo:

Tabla 3-11 Ejemplo de la variación del ancho de banda.

Frecuencia	Prototipo	SACER	Anritsu
95.7 MHz	210 kHz	223 kHz	191 kHz
96.9 MHz	190 kHz	183 kHz	194 kHz
92.5 MHz	210 kHz	210 kHz	185 kHz

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Estos valores tendrán relación y validez si las mediciones se realizan en el mismo lugar y al mismo tiempo.

3.3 Manual de operación

3.3.1 Características del dispositivo

- Posee una pantalla LCD TFT touch screen de 3.5”.
- Las dimensiones son: 16.5 x 7.5 x 10.5 cm.
- Posee 4 puertos USB.
- Permite sintonizar frecuencias entre los 24 MHz y 1850 MHz.
- Cuenta con dos conectores MCX para las antenas.
- El SPAN que se puede configurar están comprendidos en los rangos de 240-300 kHz y de 910 a 3200 kHz.
- Se puede demodular frecuencias de radio FM.
- Permite establecer conexión con un computador para la recepción de señales.
- Tiene una estructura compacta y de fácil manejo.

3.3.2 Encendido y conexión del dispositivo

3.3.2.1 ON/OFF

Para encender el dispositivo se debe conectar la fuente de alimentación al analizador de espectro, el cual mostrará en pantalla la carga del sistema operativo, junto con la activación de los diferentes servicios y dispositivos conectados a los puertos USB. La fuente de alimentación brinda un voltaje de 5V DC a 2.5 A.



Figura 3-12 Conexión de la fuente de alimentación.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).



Figura 3-13 Encendido del dispositivo.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Para apagar el dispositivo se debe seleccionar en la opción *Menú*, el ícono *Shutdown*, el cual muestra un cuadro de información para confirmar la acción que se desea realizar, que son: apagar mediante *Shutdown*, reiniciar con *Reboot* y cambiar de usuario con *Logout*.

3.3.2.2 Puertos del dispositivo

Se puede conectar diferentes dispositivos al analizador de espectro por la variedad de puertos que posee como HDMI, USB, 3.5 mm jack, MCX, especificados a continuación:

➤ Vista superior

- Puerto micro USB, en el cual se conecta la fuente de energía.
- Puerto HDMI, para conectar el analizador de espectro a una pantalla de mayor dimensión y poder visualizar imágenes en alta definición (HD).
- Conector 3.5 mm jack, permite conectar ya sea parlantes o audífonos, para escuchar la demodulación de las señales recibidas, mediante la aplicación instalada.

NOTA: Si se realiza la conexión de parlantes, estos deben tener una fuente de alimentación independiente, ya que con la conexión USB para alimentación de los parlantes provocará falla en el dispositivo por déficit de energía.

- Conectores MCX, permiten conectar las antenas para receptor señales del espectro radioeléctrico.



Figura 3-14 Vista superior del prototipo.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

➤ **Vista Lateral izquierda**

Posee un solo puerto USB, el cual es estrictamente para conexión con un computador, que tiene instalado las dependencias necesarias para complementar la funcionalidad del analizador de espectro, juntamente con la aplicación denominada *ANALIZADOR_DE_ESPECTRO* que se ejecuta con GNU Radio, para mostrar el espectro recibido, detallado más adelante.



Figura 3-15 Vista lateral izquierda.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

➤ Vista Inferior

Posee 4 puertos USB, estos puertos tiene la función de propósito general, permitiendo conexiones de diferentes periféricos, siendo los más importantes los siguientes:

- Teclado y mouse, que se utilizarán cuando se establezca una comunicación HDMI para gestionar el dispositivo.
- Adaptador Wi-Fi, que permite conectarse al internet, para realizar acceso remoto al dispositivo o actualizaciones varias.



Figura 3-16 Vista inferior del prototipo.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.3 Ejecución de las aplicaciones

Una vez encendido el dispositivo, en la pantalla inicial aparecerán las siguientes aplicaciones:

Tabla 3-12 Aplicaciones del analizador de espectro.

APLICACIONES	FUNCIÓN
1-limpiar_memoria.sh	Borra archivos innecesarios que se crean en el escritorio, termina procesos en background.
2-analizador.sh	Inicia el analizador de espectro.
3-Espectro.sh	Abre el reproductor de video para un análisis más exhaustivo de la señal obtenida.
4-sonido.sh	Abre un teclado en pantalla para digitar la frecuencia a demodular, junto con un cuadro de diálogo.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).



Figura 3-17 Pantalla inicial.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.3.1 *Limpiar Memoria*

Dar doble clic en la aplicación *1-limpiar_memoria* y a continuación clic en *Ejecutar*. Los archivos innecesarios que se crean en el escritorio son eliminados del dispositivo.

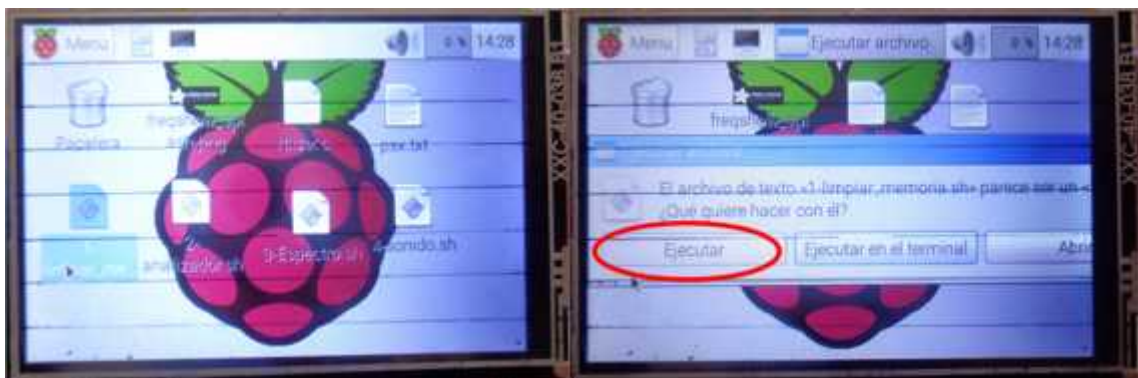


Figura 3-18 Ejecución de la aplicación *1-limpiar_memoria.sh*.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

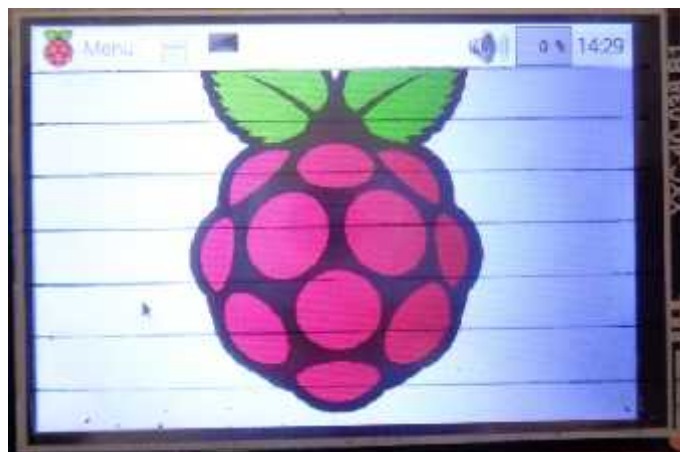


Figura 3-19 Pantalla limpia.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.3.2 Ejecutar el Analizador de Espectro

Para ejecutar el analizador de espectro hacer clic en *Menú*, *Accesorios* y *Gestor de archivos*, e ingresar en la carpeta *Desktop*.



Figura 3-20 Ingreso a la carpeta Desktop.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Dar doble clic en *2-analizador.sh* y luego clic en *Ejecutar*.

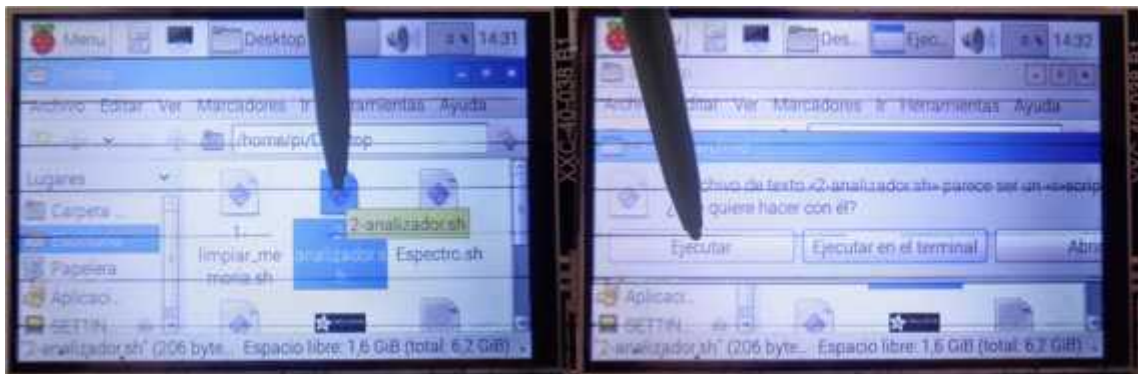


Figura 3-21 Ejecución de la aplicación 2-analizador.sh.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

A continuación aparece la interfaz del analizador de espectro para observar la señal receptada, existen 3 opciones:

- **CONFIG:** Permite establecer parámetros para visualizar la señal, los cuales son:
 - **FREC CENTRAL:** se ingresa la frecuencia a analizar.
 - **FREC MUESTREO:** tamaño de la ventana de visualización horizontal (SPAN).
 - **GAIN:** indica la ganancia que pueden ser automática o en el rango de 1 y 50 dB.
 - **MIN:** valor mínimo para visualizar la señal de manera automática o manual.

- MAX: valor máximo para visualizar la señal de manera automática o manual.

Al dar clic en la opción ATRÁS se visualizará la señal de acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente.



Figura 3-22 Asignación de parámetros para visualizar la señal deseada.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- **CASCADA:** Muestra un diagrama en cascada de la señal receptada.



Figura 3-23 Diagrama en cascada de la señal.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- **SALIR:** Cierra la aplicación del analizador de espectro.



Figura 3-24 Cierre del analizador de espectro.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.3.3 *Análisis del espectro recibido*

Al dar clic en el archivo *3-Espectro.sh* y seleccionar el botón *Ejecutar*, se abre un video de la última medición realizada para un análisis más exhaustivo.



Figura 3-25 Ejecución de la aplicación 3-Espectro.sh.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

El video se guarda por defecto en formato *ogv* en el directorio */home/pi/Desktop/out.ogv*, si se realiza una nueva medición ésta se reemplaza con la última medición, si se desea guardar el video se debe copiar en otro directorio y cambiarlo de nombre.

El tiempo máximo de duración del video es de un minuto.



Figura 3-26 Reproducción del video.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.3.4 Demodulación de la Señal

Para demodular una frecuencia específica dar clic en `4-sonido.sh` y seleccionar “Ejecutar en el terminal”.

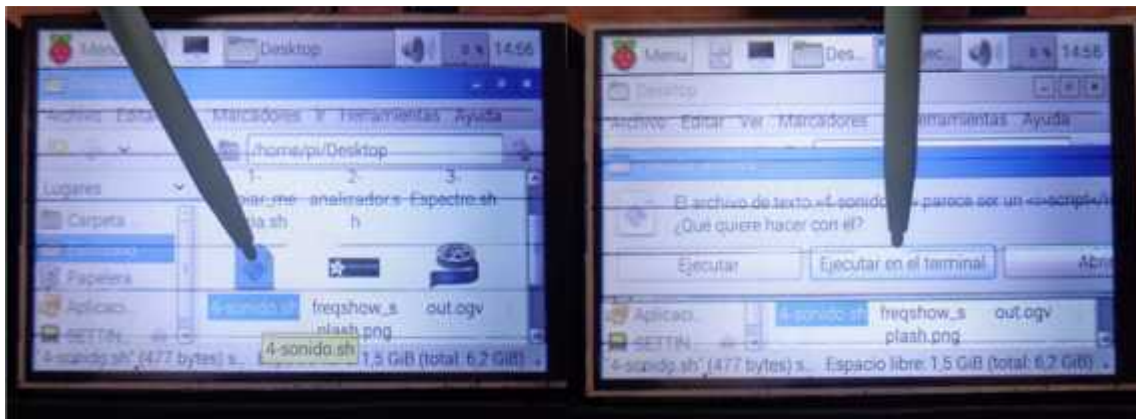


Figura 3-27 Ejecución de la aplicación `4-sonido.sh`.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

A continuación aparecerá un teclado y un terminal, ingresar la frecuencia en Hz, por ejemplo Radio Rio FM 95.7 MHz se digita de la siguiente manera 95700000.

Utilizando el teclado en pantalla, dar enter para demodular el audio de la señal, las señales a demodularse son estaciones de Frecuencia Modulada.

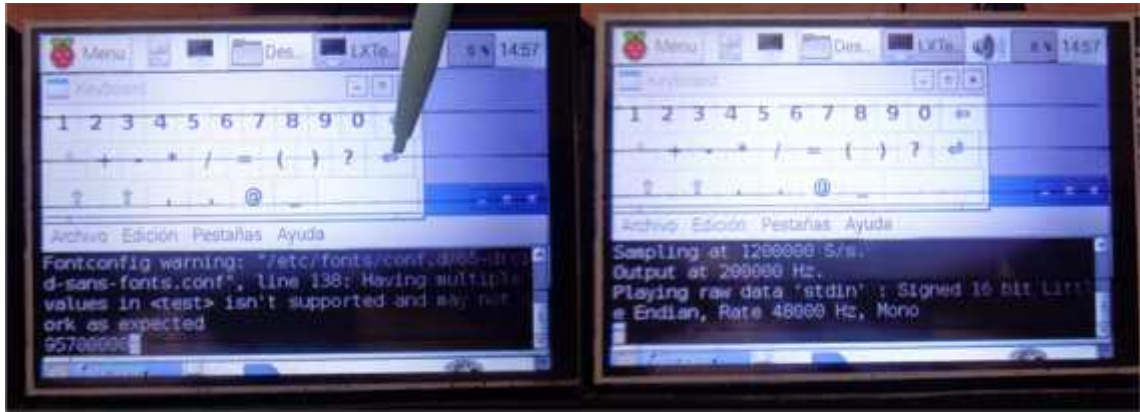


Figura 3-28 Ingreso de la frecuencia.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.4 *Conexión con el computador*

El sistema es compatible con diferentes sistemas operativos como Windows o Linux, los cuales deben tener el software adecuado para poder visualizar el espectro. El sistema operativo más completo que permite realizar una construcción mediante bloques de procesamiento de señales es Ubuntu en la versión 14.04.3 LTS (Trusty Tahr), a través de GNU Radio, el cual con las dependencias necesarias instaladas funciona correctamente.



Figura 3-29 Logo de Ubuntu Trusty.

Fuente: (Pomeyrol, 2014).

La conexión entre el analizador de espectro con el computador es mediante USB, entre el puerto del lado izquierdo, con cualquier puerto disponible de la computadora.



Figura 3-30 Conexión entre analizador de espectro y PC.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.4.1 Ejecución de los programas

Para verificar que se encuentra conectado correctamente, en un terminal de Ubuntu se procede a realizar el comando *lsusb*, el cual mostrará el reconocimiento del dispositivo.

```

tests@Raspberrypi:~$ lsusb
Bus 001 Device 003: ID 0bda:2838 Realtek Semiconductor Corp. RTL2838 DVB-T
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 002 Device 004: ID 0eef:0008 VMware, Inc.
Bus 002 Device 003: ID 0eef:0002 VMware, Inc. Virtual USB Hub
Bus 002 Device 002: ID 0eef:0003 VMware, Inc. Virtual Mouse
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
tests@Raspberrypi:~$
  
```

Figura 3-31 Reconocimiento del Analizador de Espectro.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.4.1.1 Analizador de Espectro

Luego procedemos a abrir la aplicación *ANALIZADOR_DE_ESPECTRO*, que mostrará la ventana principal de GNU Radio e iniciamos el programa con *play*, ubicado en la parte de la barra de herramientas del software.

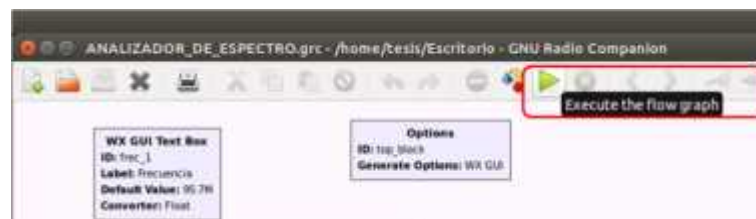


Figura 3-32 Ejecución del Analizador de Espectro.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Esta aplicación permite configurar diferentes parámetros como son la ganancia y frecuencia. La ganancia se puede seleccionar mediante un slider de acuerdo a como mejora la calidad de la señal, mientras que la frecuencia tiene un cuadro de diálogo, en donde se ingresa la frecuencia que se desea visualizar.



Figura 3-33 Configuración de la Ganancia en Ubuntu.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Esta aplicación cuenta con diferentes opciones necesarias para el análisis del espectro recibido como *Peak Hold*, *Average* y *Persistence*.

Peak Hold: Permite guardar los máximos niveles de potencia recibidos, en una gráfica de color verde, necesario para calcular el ancho de banda con la aplicación adicional.



Figura 3-34 Activación del Peak Hold en Ubuntu.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Average: Permite realizar un promedio de la señal recibida.



Figura 3-35 Configuración del Average en Ubuntu.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Persistence: La configuración de este parámetro permite modificar el tiempo que una imagen se visualice con respecto a otra, en ocasiones se podrían sobreponer entre las dos, dando una apariencia de distorsión.

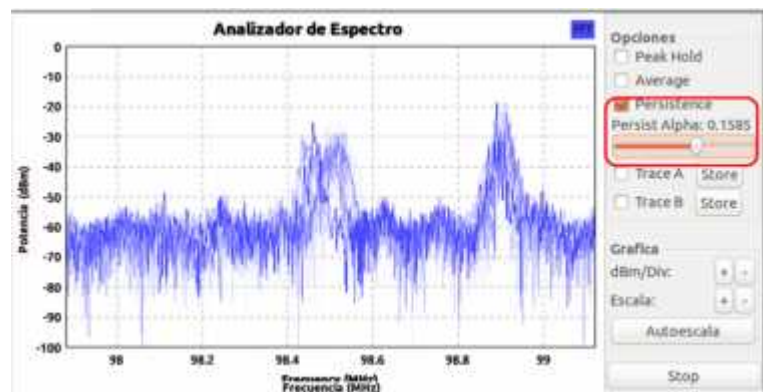


Figura 3-36 Configuración de Persistence en Ubuntu.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Las opciones *Trace* permiten realizar una captura de pantalla en el instante que se activa, almacenándola momentáneamente con *store*, para visualizar las gráficas luego de que se detenga el analizador con *Stop*, en este caso cuenta con dos *tracer* A y B.

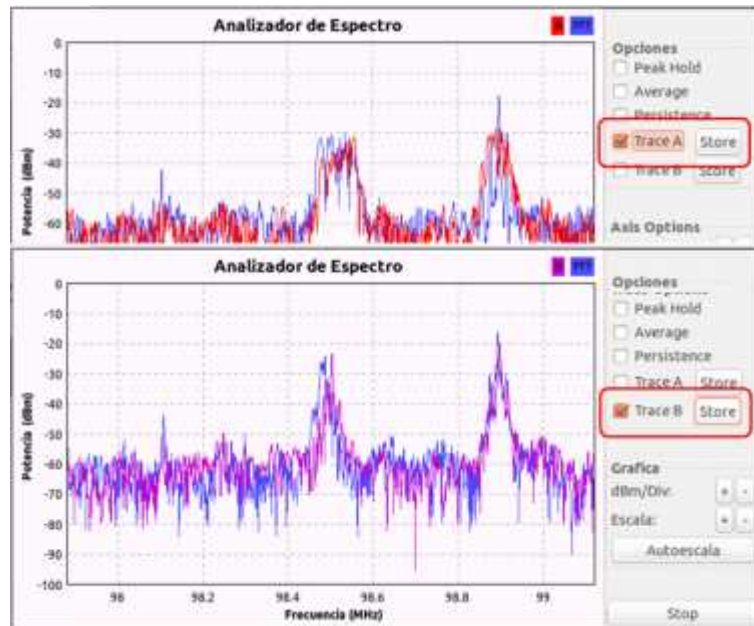


Figura 3-37 Configuración de Trace en Ubuntu.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

También se puede manipular la escala de divisiones de la potencia en el eje de las ordenadas; con la opción “+” se puede aumentar el número de divisiones, mientras con la opción “-” se puede reducir el número de divisiones.



Figura 3-38 Configuración del número de divisiones de potencia.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Para elegir una mejor posición de la gráfica se puede utilizar la opción *Ref Level*, que mueve la señal en el eje de las ordenadas para poder centrar en la ventana, sin alterar el número de divisiones.



Figura 3-39 Configuración del nivel de referencia.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

La opción *Autoscale*, ajusta la señal en toda la ventana del analizador de espectro para una visión más amplia de la señal.



Figura 3-40 Activación de la gráfica en toda la pantalla.
Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

3.3.4.1.2 Cálculo del Ancho de Banda

Una vez funcionando el analizador de espectro se ejecuta la aplicación “Ancho_de_Banda.sh”, desarrollada en este trabajo para encontrar el ancho de banda, con el trabajo en conjunto de técnicas manuales para buscar ciertos datos y técnicas automáticas para calcular los diferentes parámetros del ancho de banda, mediante los siguientes pasos:

- Abrir con doble clic la aplicación denominada *Ancho_de_Banda.sh*.
- En la ventana emergente seleccionar *Ejecutar*.



Figura 3-41 Ejecución de la App para el Ancho de Banda.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- Se abrirán dos ventanas, la primera tendrá la aplicación para ingresar los datos y encontrar el ancho de banda y la segunda tendrá información de las instrucciones de cómo funciona la aplicación.

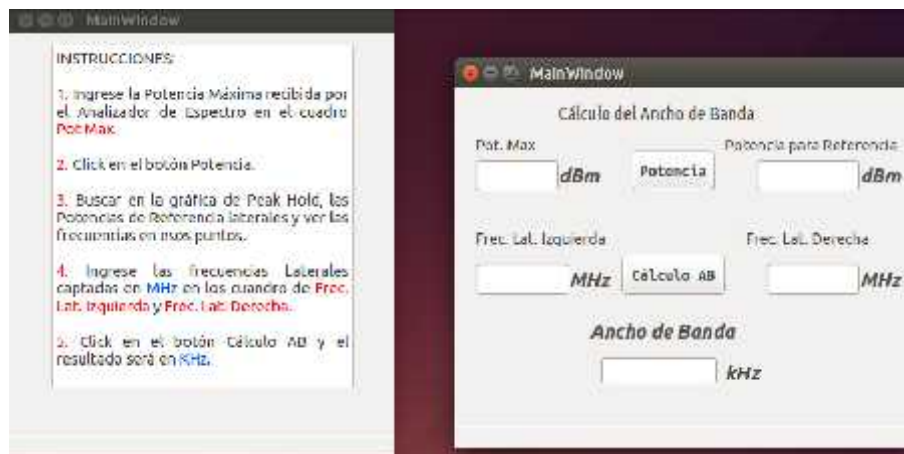


Figura 3-42 Ventanas de la App Ancho_de_banda.sh.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- Se debe ingresar la Potencia Máxima recibida en el analizador de espectro y presionar el botón *Potencia*, para tener una potencia de referencia.



Figura 3-43 Cálculo de la potencia de referencia.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

- En la gráfica de *Peak Hold* de color verde, se debe buscar las potencias de referencia laterales, para proceder a ver la frecuencia en esos puntos.
- Se debe ingresar las dos frecuencias visualizadas anteriormente en los cuadros de texto denominados *Frec. Lat. Izquierda* y *Frec. Lat. Derecha*, y presionar el botón *Cálculo AB*, dando el ancho de banda en kHz de la estación de radio FM analizada.

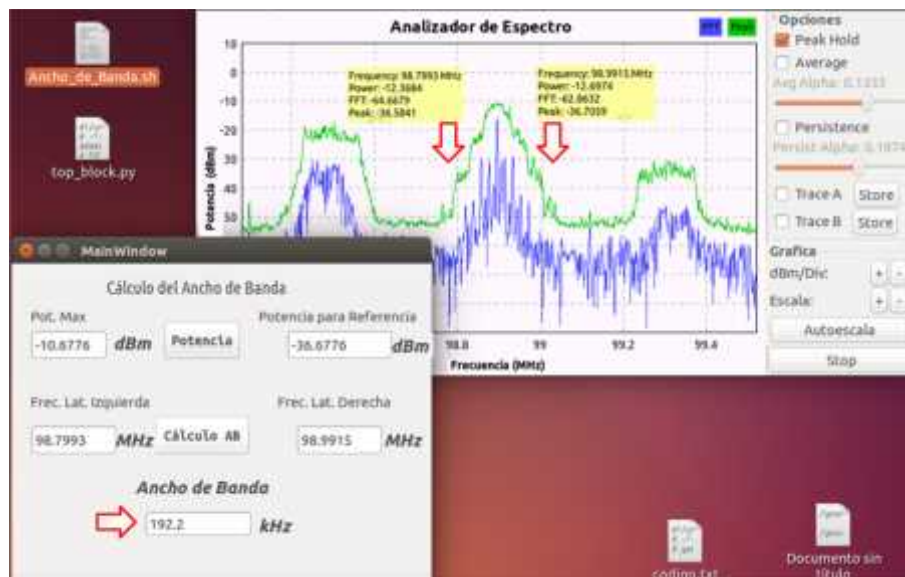


Figura 3-44 Pasos para el cálculo del ancho de banda.

Fuente: Calle O., Santamaría G. (2016).

Precauciones de uso

- Es recomendable conocer las características de los dispositivos que se va a utilizar como Raspberry Pi, porque el requerimiento de memoria para ejecutar alguna aplicación puede presentar problemas.
- Se debe verificar la compatibilidad del software a instalarse con el sistema operativo, ya que las diferentes versiones que existe de Ubuntu requiere de otras dependencias o no permite su instalación, por tal motivo hay que revisar la página oficial para verificar su validez.
- Se recomienda sacar respaldos de los archivos que se va a configurar, sobre todo los de código fuente para poder restaurarlos, porque al ocurrir algún incidente puede provocar la inutilidad de todo el sistema.
- Para tener valores precisos de la señal recibida se debe realizar las mediciones en campo abierto para evitar interferencias de edificios, árboles, transmisores adyacentes, construcciones, entre otros factores que afecten a la recepción de la señal, considerando la sensibilidad de las antenas.
- Es necesario utilizar el manual de usuario para evitar daños accidentales por desconocimiento de alguna función o mala manipulación.

CONCLUSIONES

- Los analizadores de espectro poseen diferentes elementos de hardware como: receptor, oscilador, amplificador, demodulador, filtros, detectores de potencia y pantalla, que pueden ser remplazados por elementos de software, formando una Radio Definida por Software (SDR), el que cumplirá la misma función y permitirá realizar cálculos del ancho de banda, potencia, relación señal a ruido, todos implementados en los dispositivos Raspberry Pi y el demodulador con los chipset RTL2832U Y R820T.
- El espectro radioeléctrico es un recurso limitado que puede presentar inconvenientes al momento de realizar una transmisión como: ruido, intermodulaciones, interferencias y frecuencias adyacentes, las cuales pueden ser visualizadas en el prototipo de analizador de espectro mediante una pantalla LCD y en una computadora que posea la aplicación ANALIZADOR_DE_ESPECTRO en Ubuntu Trusty con software previamente instalado.
- El prototipo de analizador de espectro consta de los siguientes elementos: el dispositivo receptor con un demodulador y sintonizador de señales para el procesamiento de las señales, la antena recepta las señales, el Raspberry Pi contiene todo el software y aplicaciones que permitan crear el analizador de espectro, la pantalla permite visualizar las imágenes y como la interfaz de control del dispositivo.
- Las aplicaciones rtl-sdr, rtlizer, sox, freqshow y GNU Radio permiten implementar un dispositivo con características propias de un analizador de espectro, requiriendo de cambios en los archivos de configuración de código fuente para potenciar las cualidades de recepción y procesamiento de señales en el rango de frecuencia desde los 88 MHz hasta 108 MHz.
- Las señales radioeléctricas receptadas por los analizadores de espectro marca Anritsu modelo MS2661A, el analizador Rohde & Schwarz modelo DDF-255 del SACER y el prototipo permitieron identificar las características del patrón de espectro y comparar las mediciones del ancho de banda para establecer la variación que se puede presentar entre los tres dispositivos, siendo de 17 kHz entre el prototipo y Anritsu, mientras que entre el prototipo y SACER es de 8 kHz.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable potenciar las funcionalidades del prototipo de analizador de espectro para calcular el ancho de banda y potencia mediante la investigación, programación y automatización de procesos al momento de analizar la señal.
- Se puede realizar una investigación sobre el tipo de antena que se puede construir, teniendo en cuenta valores de impedancia y potencia aceptados para evitar dañar los componentes del dispositivo y aumentar la ganancia.
- Se recomienda probar otros tipos de decodificadores y receptores de señal para comparar la eficiencia del dispositivo utilizado en el análisis de las señales del espectro radioeléctrico.
- Se debe realizar una investigación para implementar el analizador de espectro en dispositivos inteligentes como tablets, smarth phones, iphone, entre otros, para mejorar la portabilidad y compatibilidad.
- Es recomendable que este prototipo sea utilizado por las estaciones radiodifusoras para controlar el patrón de la señal que emiten y así poder realizar controles periódicos de su señal, cumpliendo los parámetros establecidos por la normativa legal vigente y controlada por la ARCOTEL.

BIBLIOGRAFÍA

ARTEAGA, Adriana. “*Arquitectura de un Sistema de Monitoreo Radioeléctrico usando Software Defined Radio*”. [en línea]. Grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones, Universidad Icesi, Cali, Colombia. 2012. Pp. 1-11. [Consulta: 2015-05-26]. Disponible en:

https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_teleomatica/article/viewFile/1370/1775

BARDERA, David & CORRES, Jesús. “*Analizador de Espectro sobre FPGA*”. (Tesis Pregrado) Universidad Pública de Navarra, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Pamplona, España. 2012. pp. 3-6. [Consulta: 2015-03-02]. Disponible en:

<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5729/577804.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CACHARREO. *Analizador de espectro con Raspberry Pi*. [en línea]. 2013. [Consulta: 2015-11-16]. Disponible en:

<http://www.cacharreo.es/?q=Analizador%20de%20espectro%20en%20Raspberry%20Pi%20y%20Rtlizer>

DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO. “*Plan Nacional de Frecuencias*”. Quito, Ecuador. 2012. p. 18-20.

ELECTRONICAM. *El analizador de espectros*. España. 2014. [Consulta: 2015-03-10]. Disponible en: http://www.electronicam.es/analizador_espectros.html

GITHUB. *pyrtlsdr*. 2013. [Consulta: 2015-11-23]. Disponible en: <https://github.com/roger-/pyrtlsdr>

JÁCOME, Richard. *Comunicaciones I*. 2011. [Consulta: 2015-10-12]. Disponible en: <https://rijaco.wordpress.com/page/4/>

LLAMAZARES, Juan. *¿Cómo funciona?: Pantallas y ratones táctiles o "touchpad"*. [Consulta: 2015-11-09]. Disponible en: <http://www.ecojoven.com/dos/05/tactil.html>

LLANOS, Alonso. *“Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador. Nueva modalidad para radiodifusión y televisión abierta”*. (Tesis Pregrado). Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador. 2013. pp. 13-14. [Consulta: 2015-10-10]. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3833/1/SM138-Llanos-Gestion.pdf>

LÓPEZ, Manuel. *Raspbian: Sistema operativo gratuito para la Raspberry Pi*. 2012. [Consulta: 2015-08-03]. Disponible en: <https://www.unocero.com/2012/08/02/raspbian-sistema-operativo-gratuito-para-la-raspberry-pi/>

LÓPEZ, Marcelo & VILLARUEL, Carlos. *“Diagnóstico de la situación actual de los Servicios de Radio y Televisión en el sur del país mediante el análisis de información del Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico (SACER) de la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL) y planteamiento de soluciones técnicas para las irregularidades de mayor incidencia”*. (Tesis Pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela en Electrónica y Telecomunicaciones, Cuenca, Ecuador. 2013. pp. 31-34.

LÓPEZ, Xabier. *Hágase la luz” y la luz se hizo...onda electromagnética (II)*. 2013. [Consulta: 2015-05-04]. Disponible en: <https://xabierjota.wordpress.com/2013/02/13/hagase-la-luz-y-la-luz-se-hizo-onda-electromagnetica-ii/>

LUQUE, Javier. *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. Autores Científico-Técnicos y Académicos. 2010. pp. 22-23. [Consulta: 2015-05-04]. Disponible en: http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf

MIRANDA, Pablo. *Modulaciones FSK, ASK, PSK Y QAM*. Montevideo, Uruguay. 2012. [Consulta: 2015-05-11]. Disponible en: http://es.slideshare.net/pmiranda21/8-modulaciones-ask-fsk-psk-y-qam-13186349?next_slideshow=1

NOROÑA, Leonardo. *“Desarrollo de un sistema automático de medición y adquisición de datos para el monitoreo de la banda de 9KHz a 1GHz realizadas mediante el analizador de espectro ANRITSU MS2661A con almacenamiento en medios magnéticos”*. (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería, Quito, Ecuador. 2002. pp. 26-28.

PUERTO, Manuel. *“Estudio piloto de los demoduladores de la serie RTL de Realtek para la Radio Definida por Software”*. (Tesis Pregrado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería,

Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 2014. pp. 10-13. [Consulta: 2015-06-01]. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12174/fichero/pfc_Manuel_Puerto.pdf

RAMÍREZ, Ramón. “*Sistema de Radiocomunicaciones*”. Madrid, España. Editorial Paraninfo SA. 2015. pp. 9-12.

RASPBERRY SHOP. *Raspberry Pi en español*. 2011. [Consulta: 2015-03-09]. Disponible en: <http://www.raspberrystore.com/>

RTL-SDR.COM. *About rtl-sdr*. 2014. [Consulta: 2015-10-05]. Disponible en: <http://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>

SOBERANIS, Alejandro. “*Diseño y construcción de un analizador de espectros usando una plataforma basada en FPGA*”. (Tesis Pregrado) Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México DF, México. 2008. p.2. [Consulta: 2015-05-18]. Disponible en: http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/456/1/Tesis_Analizador_Espectros.pdf

STALLMAN, Richard. *Software libre para una sociedad libre*. Madrid, España. 2004. Traficantes de Sueño. p. 45. [Consulta: 2015-07-06]. Disponible en: https://www.gnu.org/philosophy/fsfs/free_software2.es.pdf

SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (SUPERTEL). *Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico (SACER)*. Quito, Ecuador. 2013. [Consulta: 2015-03-09]. Disponible en: http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/cuadernillo_6.pdf

TOMASI, Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. 4a. ed. México DF, México. Pearson Educación. 2003. pp. 359-363.

VARGAS, Darío. *Sistemas Operativos*. 2015. [blog] [Consulta: 2015-10-26]. Disponible en: <http://1db3so.blogspot.com/p/raspberry-pi.html>

VEGA, Daniel. *Software libre y Software propietario: cuadro comparativo*. [blog] Lima, Perú. 2012. [Consulta: 2015-06-15]. Disponible en: <http://sis19upt.blogspot.com/2012/03/software-libre-y-software-propietario.html>

ANEXOS

Anexo A: Código de la Aplicación

```
#!/usr/bin/env python2
# -*- coding: utf-8 -*-
#####
# GNU Radio Python Flow Graph
# Title: Top Block
# Generated: Wed Feb 3 17:19:39 2016
#####

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

class top_block(grc_wxgui.top_block_gui):
```

```

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

#####
# Variables
#####
self.samp_rate = samp_rate = 1240000
self.gain = gain = 40
self.frec_1 = frec_1 = 95.7e6
self.bw = bw = 220000

#####
# Blocks
#####
_gain_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._gain_text_box = forms.text_box(
    parent=self.GetWin(),
    sizer=_gain_sizer,
    value=self.gain,
    callback=self.set_gain,
    label="Gain",
    converter=forms.float_converter(),
    proportion=0,
)
self._gain_slider = forms.slider(
    parent=self.GetWin(),
    sizer=_gain_sizer,
    value=self.gain,
    callback=self.set_gain,
    minimum=0,
    maximum=100,
    num_steps=100,
    style=wx.SL_HORIZONTAL,
    cast=float,
    proportion=1,
)

```

```

)
self.Add(_gain_sizer)
self._frec_1_text_box = forms.text_box(
    parent=self.GetWin(),
    value=self.frec_1,
    callback=self.set_frec_1,
    label="Frecuencia",
    converter=forms.float_converter(),
)
self.Add(self._frec_1_text_box)
self.wxgui_fftsink2_0 = fftsink2.fft_sink_c(
    self.GetWin(),
    baseband_freq=frec_1,
    y_per_div=10,
    y_divs=10,
    ref_level=-30,
    ref_scale=2,
    sample_rate=samp_rate,
    fft_size=1024,
    fft_rate=15,
    average=False,
    avg_alpha=None,
    title="Analizador de Espectro",
    peak_hold=False,
)
self.Add(self.wxgui_fftsink2_0.win)
def wxgui_fftsink2_0_callback(x, y):
    self.set_time(x)

self.wxgui_fftsink2_0.set_callback(wxgui_fftsink2_0_callback)
self.rtlsdr_source_0 = osmosdr.source( args="numchan=" + str(1) + " " + "400" )
self.rtlsdr_source_0.set_sample_rate(samp_rate)
self.rtlsdr_source_0.set_center_freq(frec_1, 0)
self.rtlsdr_source_0.set_freq_corr(0, 0)
self.rtlsdr_source_0.set_dc_offset_mode(2, 0)
self.rtlsdr_source_0.set_iq_balance_mode(2, 0)
self.rtlsdr_source_0.set_gain_mode(False, 0)

```

```

self.rtlsdr_source_0.set_gain(gain, 0)
self.rtlsdr_source_0.set_if_gain(20, 0)
self.rtlsdr_source_0.set_bb_gain(20, 0)
self.rtlsdr_source_0.set_antenna("", 0)
self.rtlsdr_source_0.set_bandwidth(200000, 0)

#####
# Connections
#####
self.connect((self.rtlsdr_source_0, 0), (self.wxgui_fftsink2_0, 0))

def get_samp_rate(self):
    return self.samp_rate

def set_samp_rate(self, samp_rate):
    self.samp_rate = samp_rate
    self.rtlsdr_source_0.set_sample_rate(self.samp_rate)
    self.wxgui_fftsink2_0.set_sample_rate(self.samp_rate)

def get_gain(self):
    return self.gain

def set_gain(self, gain):
    self.gain = gain
    self._gain_slider.set_value(self.gain)
    self._gain_text_box.set_value(self.gain)
    self.rtlsdr_source_0.set_gain(self.gain, 0)

def get_freq_1(self):
    return self.freq_1

def set_freq_1(self, freq_1):
    self.freq_1 = freq_1
    self._freq_1_text_box.set_value(self.freq_1)
    self.rtlsdr_source_0.set_center_freq(self.freq_1, 0)
    self.wxgui_fftsink2_0.set_baseband_freq(self.freq_1)

```

```
def get_bw(self):
    return self.bw

def set_bw(self, bw):
    self.bw = bw

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

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

if __name__ == '__main__':
    main()
```

Anexo B: Código del Analizador de Espectro en Ubuntu Trusty

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding: utf-8 -*-

# Convierte temperaturas
# www.pythondiario.com

import sys
from PyQt4 import QtCore, QtGui, uic

# Cargar nuestro archivo .ui
form_class = uic.loadUiType("/home/tesis/Escritorio/Analizador/tempconv.ui")[0]

class MyWindowClass(QtGui.QMainWindow, form_class):
    def __init__(self, parent=None):
        QtGui.QMainWindow.__init__(self, parent)
        self.setupUi(self)
        self.Pot.clicked.connect(self.Pot_clicked)
        self.C_AB.clicked.connect(self.C_AB_clicked)
        # Evento del boton Pot
    def Pot_clicked(self):
        pm = float(self.Pot_Max.text())
        pr = pm - 26
        self.Pot_R.setText(str(pr))

        # Evento del boton C_AB
    def C_AB_clicked(self):
        abi = float(self.AB_I.text())
        abd = float(self.AB_D.text())
        abt = (abd - abi) * 1000
        self.AB.setText(str(abt))

app = QtGui.QApplication(sys.argv)
MyWindow = MyWindowClass(None)
MyWindow.show()
app.exec_()
```