

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UNA PRACTICA PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Jesús. G. González. C
Para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UNA PRACTICA PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE

Tutor: Ing. Luís Jacinto Fernández. PhD

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Jesús. G. González. C
Para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2017

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 23 de noviembre de 2017

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Jesús G. González C., titulado:

“DISEÑO DE UNA PRÁCTICA PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Lorena Núñez
Jurado


Prof. Francisco Varela
Jurado


Prof. Luis Fernández
Tutor Académico

DEDICATORIA

“El valor no es tener fuerza para seguir adelante, es continuar cuando ya no te quedan fuerzas”

Napoleón Bonaparte

“La mente que se abre a una nueva idea, jamás volverá a su tamaño original”

Albert Einstein

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, *Dominum Scientiarum* por todo lo que me ha dado.

A mi madre Lucila por su sacrificio a lo largo de mi educación secundaria y universitaria y por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. No me alcanzará la vida para pagarle lo que ha hecho por mí.

A mi tutor, Luis Fernández, por haberme empujado hacia un reto sin querer y por sus enseñanzas en este trayecto de mi carrera.

A María Auxiliadora Rojas, la verdadera Jefa del Departamento de Comunicaciones, por toda su guía, paciencia y comprensión con todos nosotros. No creo que tengamos como agradecerle.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica: María Eugenia Álvarez, Pedro Pinto, Carlos Moreno, Lorena Núñez, Ebert Brea, Wilmer Malpica, Simón Morales, Rashmir Orellana, Igor Arias, Freddy Brito, Francisco Varela, Servando Álvarez ... que contribuyeron en mi formación como Ingeniero.

A mis amigos y compañeros que me han acompañado gran parte de mi carrera: Manuel Guzmán, Tania Castillo, Alfredo Sandoval, Lourdes Berrios, Richard Marthus, Daniel León, Andrés Mujica, Jimbert Fuentes, Carlos Báez... gracias por toda la ayuda y los ánimos para seguir adelante.

A Laura Chacón, por su apoyo en un momento bastante crítico en la realización de este trabajo. Gracias de todo corazón.

Finalmente al personal del Centro de Informática Medica de la Facultad de Medicina de la Universidad Central de Venezuela, por su apoyo en la fase final de este trabajo y por su comprensión y mano amiga.

González C., Jesús G

“DISEÑO DE UNA PRACTICA PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE”

Tutor Académico: Prof. Luis .J. Fernández PhD. Tesis. Caracas. U.C.V Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Ingeniero Electricista. Opción Comunicaciones, 2017. 72h + anexos

Palabras Claves: Software Defined Radio, Practica, Laboratorio, Frecuencia Modulada, Bt878, Mandriva, Mandrake, Televisión Analógica, Convertidor Analógico Digital, Procesador Digital de Señales, Comunicaciones

Resumen. Debido a que los sistemas de comunicaciones están avanzando periódicamente, es necesario migrar hacia soluciones que optimicen el hardware que se posea a partir de un software diseñado para un fin determinado, garantizando una alta escalabilidad y reduciendo los costos de producción, siendo este el concepto general de la Radio Definida por Software. En este proyecto se desarrolló una práctica para el Laboratorio de Comunicaciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica donde los estudiantes puedan observar los beneficios de la tecnología de Radio Definida por Software al demodular señales en FM y de Televisión, y observar su espectro en frecuencia con la configuración de dos programas comunes que le permiten desplazarse por la banda VHF, consolidando sus conocimientos obtenidos en asignaturas anteriores. La práctica fue redactada en función al tiempo del estudiante en el laboratorio y bajo ambiente Linux para incentivar su familiaridad y sus beneficios tanto al analizar la señal como al trabajar con la terminal del sistema. Esto en aras de estimular al estudiantado a realizar trabajos e investigaciones en el área de la programación y la optimización del hardware orientada hacia las comunicaciones.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 Objetivo general y específicos.....	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos.	3
1.3 Justificación de la Investigación.	4
1.4 Limitación de la Investigación.....	5
1.5 Antecedentes del Estudio.	5
1.6 Planificación Metodológica	7
MARCO TEORICO	9
2.1.1. Generalidades.....	9
2.1.2. Arquitectura SDR.	12
2.1.3 Clasificación SDR.....	16
2.1.4 Modalidades de SDR.	20
2.1.5 Usos y aplicaciones de la tecnología SDR.....	21
METODOLOGIA	27
3.1 Caracterización del Hardware utilizado.	27
3.2 Conexión del hardware en el laboratorio	29
3.3 Configuración del sistema para efectuar el proyecto.....	30
3.4 Configuración del SDR.	34
ANALISIS DE RESULTADOS.	42
4.1: Análisis de los espectros obtenidos.....	42
4.1.1 Análisis del espectro de radio FM	42
4.1.2 Análisis de los espectros de televisión.	46
4.2 Caracterización de los chipset BT878A Fusion, RTL 2832U y CX2388. 51	
4.2.1 Chipset RTL2832U.....	51
4.2.2 Chipset BT878A Fusion.	53
4.2.3 Chipset CX23881	54

4.3 Comparación entre los Sistemas Operativos Usados en el proyecto.	55
4.4 Practica de Laboratorio.	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	58
REFERENCIAS	60
ANEXOS.....	62
<u> </u> Anexo A. Cuerpo de la Práctica de Laboratorio	62
Anexo B. Cuadro Nacional de Atribuciones de Bandas de Frecuencia (CUNABAF)	68
Anexo C: Diagramas electrónicos de Dispositivos SDR.....	69
Anexo D. Dispositivos y Aplicaciones SDR.	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Desarrollo de la Tecnología SDR en los ámbitos civiles y militares..	11
Figura 2.2: Diagrama de bloques de la arquitectura de un SDR ideal.....	14
Figura 2.3: Diagrama de bloques de un transceptor SDR.....	14
Figura 2.4: Arquitectura de un SDR típico.....	14
Figura 3.1: Tarjeta Avermedia Tv 98.....	27
Figura 3.2: Conexiones de entrada y salida. Tarjeta Avermedia Tv 98.....	28
Figura 3.3: Etapa de RF. Tarjeta Avermedia Tv 98y tuner Phillips 7000.....	28
Figura 3.4: Chip Brooktree 878A Fusion. Tarjeta Avermedia Tv 98.....	29
Figura 3.5: Falla en la carga del módulo btaudio. Ubuntu 15.10.....	31
Figura 3.6: Falla de compilación del módulo btaudio. Ubuntu 15.10.....	32
Figura 3.7: Falla en la carga del módulo btaudio. OpenMandriva.....	32
Figura 3.8: Falla en la carga del módulo btaudio. Mandrake 9.1.....	33
Figura 3.9: Carga correcta del módulo btaudio en el kernel. Mandrake 9.1.....	33
Figura 3.10: Listado de módulos en el kernel. Mandrake 9.1.....	33
Figura 3.11: Pantalla de login de Mandrake 9.1.....	35
Figura 3.12: Entradas de audio del sistema.....	35
Figura 3.13: Entradas de audio del sistema luego de ejecutar el módulo btaudio.....	36
Figura 3.14: Conexión de antena del equipo.....	36
Figura 3.15: Pantalla de inicio del programa Zapping.....	37
Figura 3.16: Editor de Canales del programa Zapping.....	37
Figura 3.17: Configuración del Editor de Canales para la banda FM.....	38
Figura 3.18: Configuración del Editor de Canales para la televisión.....	38
Figura 3.19: Archivo.wav obtenido durante la grabación.....	39
Figura 3.20: Configuración de Audacity al cargar el archivo.wav.....	39

Figura 3.21: Configuración de Audacity para el Análisis de Espectro.....	40
Figura 3.22: Análisis del espectro obtenido.....	40
Figura 4.1: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 88.1MHz.....	42
Figura 4.2: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 88.35 MHz.....	43
Figura 4.3: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 88.6 MHz.....	43
Figura 4.4: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 99.1 MHz.....	44
Figura 4.5: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 99.6 MHz.....	44
Figura 4.6: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 99.3 MHz.....	45
Figura 4.7: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 96.65 MHz.....	45
Figura 4.8: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 54 MHz.....	46
Figura 4.9: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 59.75 MHz.....	46
Figura 4.10: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 55.25 MHz.....	47
Figura 4.11: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 71.75 MHz.....	48
Figura 4.12: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 67.25 MHz.....	48
Figura 4.13: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 77.25 MHz.....	49
Figura 4.14: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 81.75 MHz.....	49
Figura 4.15: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 61.25 MHz.....	50
Figura 4.16: Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 65.75 MHz.....	50
Figura 4.17: Chipset RTL 2832U	52
Figura 4.18: Chipset Bt878A Fusion.....	54
Figura 4.19: Chipset CX23881.....	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fortalezas y Debilidades entre DSP y FPGA.	16
Tabla 2: Discriminación del parámetro 1 de la clasificación SDR.....	17
Tabla 3: Discriminación del parámetro 2 de la clasificación SDR.....	18
Tabla 4: Discriminación del parámetro 3 de la clasificación SDR.....	18
Tabla 5: Discriminación del parámetro 4 de la clasificación SDR.....	19
Tabla 6: Discriminación del parámetro 5 de la clasificación SDR.....	19
Tabla 7: Discriminación del parámetro 6 de la clasificación SDR.....	20
Tabla 8: Caracterización del Sistema Operativo Windows XP (SP1).....	53
Tabla 9: Caracterización de los Sistema Operativos Ubuntu 15.10 y Mandrake 9.1.....	54
Tabla 10: Caracterización del Sistema Operativo OpenMandriva.....	55

ACRONIMOS

ADC: Analogic Digital Converter. (Convertidor Analógico Digital).

ALSA: Advanced Linux Sound Architecture. (Arquitectura Avanzada para el Sonido en Linux).

AM: Amplitud Modulada.

ASIC: Applied Specific Integrated Circuit. (Circuito Integrado de Aplicación Específica).

COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing. (Multiplicación por División de Frecuencias Ortogonales Codificadas).

DAC: Digital Analogic Converter. (Convertidor Digital Analógico).

DDC: Digital Down Converter. (Convertidor Digital Descendente).

DMA: Direct Memory Access. (Acceso Directo a Memoria).

DoD: Department of Defense. (Departamento de la Defensa de los EE.UU).

DSP: Digital Signal Processor. (Procesador Digital de Señales).

DVB-T: Digital Video Broadcasting. (Difusión de Video Digital).

EDA: European Defense Agency. (Agencia de Defensa Europea).

FEC: Foward Error Correction. (Corrección de Errores hacia Adelante).

FIFO: First In, First Out. (Primero en Entrar, Primero en Salir).

FPGA: Field Programmable Gate Array. (Arreglo de Compuertas Programables)

FM: Frecuencia Modulada.

GNU: GNU's Not Unix (GNU no es Unix). Acrónimo recursivo.

GPL: General Public License. (Licencia Pública General).

IF: Intermediate Frequency. (Frecuencia Intermedia).

I/Q: In Phase /Quadrature. (Señal en Fase y Señal en Cuadratura).

ILS: Instrumental Landing System. (Sistema de Aterrizaje Instrumental).

ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting -Television (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados- Televisión).

LNA: Low Noise Amplifier. (Amplificador de Bajo Ruido)

LPT: Line Print Terminal. (Puerto Paralelo)

LTE: Long Term Evolution. (Evolución a Largo Término)

MIMO: Multiple Input, Multiple Output. (Múltiples Entradas, Múltiples Salidas)

NTSC: National Television Standard Comitee. (Comité Nacional de Estándar de Televisión)

OFDM: Orthogonal Frecuency Division Multiplexing. (Multiplicación por División de Frecuencias Ortogonales).

OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte.

PAL: Phase Alternating Line. (Línea de Fase Alternada).

PCI: Peripheral Component Interconnect. (Interconexión de Componentes Perifericos).

PLL: Phase-Locked Loop. (Lazo de Seguimiento de Fase).

RF: Radiofrecuencia.

RS-232: Recomendend Standard 232. (Estándar Recomendado 232).

RTL: Realtek.

SDR: Software Defined Radio. (Radio Definido por Software).

SECAM: Sequentiel Couleur a Memoire. (Color Secuencial con Memoria).

SNR: Signal to Noise Ratio. (Relación Señal a Ruido).

SRN: Software Radio Network. (Red controlada por Software Radio).

SSB: Single Side Band. (Banda Lateral Única).

TDT: Televisión Digital Terrestre.

USAF: United States Air Force. (Fuerza Aérea de los Estados Unidos).

INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología en la última mitad del siglo XX, en especial de la electrónica ha permitido que muchas ideas y conceptos que se habían concebido pudieran hacerse realidad. Desde la invención del transistor hasta las nanotecnologías de hoy en día, la tecnología no ha dejado de mejorar las prestaciones de su servicio a la humanidad, ya que la utilización para las acciones correctas o incorrectas depende solamente del usuario.

Las comunicaciones no han escapado a este avance. Hace sesenta años era impensable que un individuo pudiera poseer un teléfono que le permitiese comunicarse independientemente de su ubicación, o que pudiese navegar por el internet, o de poseer un computador en su propia casa. Este avance satisface una necesidad básica del ser humano: Comunicarse más rápido y mejor.

En muchos de los casos, el avance ha estado limitado por la propiedad de la infraestructura o hardware empleado, siendo una gran limitante para la arquitectura de las comunicaciones la compatibilidad de dos dispositivos de diferente fabricante, debido al fenómeno del hardware propietario. Esta tendencia se propagó al software cuando la programación y diseño se volvió más complejo, y más lucrativo desde el punto de vista económico debido a las demandas de la sociedad, en especial de las empresas que prestan servicios en las telecomunicaciones.

Al crecer las redes, esto supone un gran problema, ya que la compatibilidad exclusiva de los equipos o software de un fabricante con dispositivos o controladores de la misma marca, genera que la escalabilidad de las redes dependa de la disponibilidad y desarrollo que siga el fabricante, y de las licencias que pueda adquirir la organización, lo cual, por lo general, sigue una política de mercadeo.

Por lo tanto, las líneas de investigación actuales se orientan a la convergencia de la funcionalidad de los equipos, al aprovechamiento de los recursos físicos, haciendo énfasis en la programación del software para un

objetivo determinado, teniendo como resultado que muchos servicios que necesitan un número similar de equipos para su prestación, solo dependan de un número reducido de hardware, el cual es aprovechado eficientemente.

Por todas estas ventajas, se hace perentorio la realización de investigaciones, en especial en las casa de estudios superiores, sobre tecnologías que permitan la comunicación y el estudio de redes sin necesidad de depender de un software o hardware propietario, lo cual maximiza la comprensión de la comunidad académica y en especial de los estudiantes, sobre los principios que rigen las operaciones que se llevan a cabo dentro de un hardware, y estimulando el desarrollo de aplicaciones que involucren el desarrollo del software.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las ventajas que traen la definición de las redes y la radio definida por software (SDR) radican en la complejidad que pueda poseer el software que debe ser ejecutado para una tarea determinada. Esta complejidad puede ser un obstáculo dependiendo de las investigaciones en el área y de la familiaridad que posea el profesional con la tecnología, la cual se debe cultivar desde su etapa de formación en una casa de estudios.

Considerando lo antes planteado, el norte de este estudio será la programación de un dispositivo PCI, por medio de un computador, que permita el análisis de la demodulación de señales analógicas transmitidas en señal abierta, para posteriormente diseñar una práctica de laboratorio donde se evidencie el beneficio de la utilización de un radio definido por software para observar los parámetros de las señales en radiodifusión.

1.2 Objetivo general y específicos.

1.2.1 Objetivo General

Efectuar una práctica de laboratorio donde se evidencie los beneficios de la tecnología SDR aplicado a la demodulación y análisis de señales.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Indagar sobre los beneficios de la implementación de la tecnología SDR.
- Configurar el hardware elegido para el análisis de señales.

- Probar la eficacia de la tecnología SDR en la demodulación y análisis de señales analógicas.
- Diseñar y redactar el cuerpo de la práctica de laboratorio del departamento de comunicaciones que permitirá el uso real del dispositivo a nivel experimental.

1.3 Justificación de la Investigación.

El avance continuo de las comunicaciones debe ir de la mano con la teoría y la práctica que poseen los estudiantes en esta área, produciéndose así un estímulo en las investigaciones posteriores en el tema, potenciando el desarrollo de nuevas aplicaciones que puedan aprovechar las técnicas de SDR.

Para ampliar el horizonte de servicios que pueden aprovechar esta tecnología, es necesario efectuar investigaciones que permitan, no solo un mayor desarrollo de la tecnología, sino un estímulo a futuros profesionales del área de las comunicaciones por medio de sus prácticas académicas dentro de las casas de estudios, para observar de primera mano las propiedades y ventajas que posee la SDR y así orientar futuras investigaciones en el área.

A su vez, en el país se encuentra en fase de desarrollo la digitalización de la radiodifusión, siendo un primer paso el despliegue de la TV digital, que se encuentra en fase de prueba, lo cual implica una optimización del espectro radioeléctrico que necesariamente debe traducirse en la optimización de los equipos utilizados para el análisis, la transmisión y recepción de las señales.

Por lo tanto, el estudio del comportamiento de las señales a través de dispositivos controlados por software es imperativo para el entendimiento de las nuevas tecnologías que se están desarrollando, siendo el escenario natural para este desarrollo las casas de estudios.

Debido a esto, este estudio estará focalizado a exponer el beneficio de la utilización de la tecnología de radio definido por software por medio del desarrollo de una práctica de laboratorio que permita el análisis de las modulaciones de las señales analógicas a través de un dispositivo que utilice las técnicas de SDR debido a que no hay ninguna práctica de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Eléctrica que esté relacionada con el tema.

1.4 Limitación de la Investigación

El estudio estuvo dirigido a la redacción de la práctica del laboratorio donde se observen los beneficios y alcances de la Radio Definida por Software de la manera más pedagógica posible y observando la relación trabajo-tiempo de la cual depende el estudiante en el laboratorio.

En base a esto, la investigación se delimitó al estudio de la recepción de las señales de radiodifusión que se pueden captar en señal abierta, determinando características cualitativas y cuantitativas por medio del SDR.

En este trabajo solo se consideraron modulaciones analógicas como amplitud modulada, frecuencia modulada y banda lateral única, pero el desarrollo de este concepto y la implementación de la metodología utilizada pueden aplicarse a modulaciones digitales como QAM, OFDM y COFDM, permitiendo ampliar la investigación en el área por medio de otros trabajos.

1.5 Antecedentes del Estudio.

Algunos de los trabajos previos realizados en el área son los siguientes:

- El trabajo realizado por Miguel de Gouveia y Gerardo Quirós egresados de la Universidad de Carabobo (Venezuela), quienes efectuaron una modelación y simulación de antenas inteligentes usando tecnología SDR en el año 2015. [1]

- El trabajo de la ingeniero María Fuencisla Merino, quien era estudiante de postgrado en la Escuela de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) en los Estados Unidos, quien para el año 2002, investigo sobre los beneficios y las barreras que posee la tecnología SDR en las telecomunicaciones inalámbricas. [2]
- El trabajo de los Ingenieros Jaime Sánchez García y Viktor Rodríguez, pertenecientes al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Baja California (México), quienes para el año 2011 publicaron un artículo sobre el modelo de Radio Definido por Software en procesamiento de señales en banda base [3]
- El trabajo realizado por Roel Schiphorst egresado de la Universidad de Twente (Países Bajos), quien efectuó una investigación titulada “Demostración de los conceptos de la radio definida por software”, en el año 2000. [4]
- El trabajo del ingeniero Moise Salomon, quien era estudiante de maestría en la Escuela de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) (Estados Unidos) , para el año 2002, quien efectuó una investigación sobre la arquitectura de la tecnología SDR y su difusión en el mercado. [5]
- La investigación efectuada por el Ingeniero Alexander Galvis de la Universidad Pontificia Bolivariana en Medellín (Colombia), al realizar una trabajo sobre las alternativas a nivel físico que brinda el desarrollo de la Radio Definida por Software [6]
- El trabajo realizado por el Ingeniero Alejandro Ortaz, egresado de la Universidad Central de Venezuela, quien, en el 2016, diseñó un modulador digital variable usando la tecnología de sintetizadores digitales directos enmarcado en el principio de la Radio Definida por Software. [7]

1.6 Planificación Metodológica

Fase 1. Estudio Documental.

En esta fase se recopilará la información y documentación necesaria para alcanzar los objetivos planteados, utilizando investigaciones e información disponible en las Bibliotecas Virtuales de los centros de Investigación a nivel Mundial, así como en la Biblioteca Central de la Universidad Central de Venezuela y en las diversas bases de datos, tanto físicas como virtuales donde se encuentre información vinculada al tema en estudio.

Fase 2. Configuración del hardware.

En esta fase se configurará la tarjeta periférica destinada al análisis de las señales analógicas para efectuar la demodulación de dichas señales y permitir su observación en un analizador de espectro digital el cual estará configurado en el mismo computador.

Fase 3. Realización de pruebas experimentales

En esta fase se revisará el comportamiento de la tecnología SDR, en especial en la recepción y análisis de las señales en Frecuencia Modulada, Amplitud Modulada y Banda Lateral Única.

Además se observará el comportamiento del sistema ante las entradas de frecuencia y ancho de banda para determinar si el software puede demodular efectivamente las señales recibidas.

Fase 4. Redacción de la práctica de laboratorio

Durante esta fase se efectuará la redacción del cuerpo de la práctica de laboratorio, teniendo como guía la pedagogía que debe observarse en las actividades académicas de este estilo, los objetivos que debe lograr el estudiante y el conocimiento práctico que se quiere dar a conocer a través de la manipulación del dispositivo con tecnología SDR.

Fase 5. Elaboración del informe final

En esta fase se procederá a elaborar la recopilación de la documentación producto de la investigación, para la redacción del informe final que contendrá los resultados obtenidos en este proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Radio Definida por Software.

2.1.1. Generalidades.

La Radio Definida Por Software, tal como fue definida por Joe Mitola al comienzo de la década de 1990, es una clase de radios reconfigurables por software, que usan una interfaz física común para poder operar en los diversos tipos de modulaciones existentes. [8]

A través del tiempo, el concepto ha sufrido cambios considerables, debido a una mayor dependencia y sofisticación del software encargado de la modulación y demodulación, generándose una gama de SDR con diversas funcionalidades, ampliándose el concepto de esta tecnología a aquellas radios, en etapa de transmisión o de recepción, cuyas funciones de la capa física están definidas por software. [9]

Por su funcionalidad, se define a la Radio Definida por Software como [10]

- Un sistema multibanda, el cual puede soportar más de una banda de frecuencia usada por un estándar inalámbrico.
- Un sistema multi-estandar el cual puede soportar más de un standard, los cuales pueden pertenecer a la misma familia o atravesar diferentes redes con distintos estándares.
- Un sistema multiservicio el cual puede proveer diferentes servicios
- Un sistema multicanal, que soporta más de un canal de transmisión o recepción independientes entre sí al mismo tiempo.
- Un sistema multimodo, el cual es una combinación de los sistemas multibanda y multi-estandar.

El origen de esta tecnología parte de un desarrollo dentro de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos y de la OTAN, quienes observaron un problema frecuente al establecer comunicaciones entre los diversos componentes castrenses debido a que poseían equipos que transmitían en distintos tipos de modulaciones, en distintas bandas de frecuencias o sistemas de radiofrecuencia con circuitería compleja, lo que generaba una dificultad para la coordinación de operaciones conjuntas. [11]

A su vez, la *USAF* ya estaba desarrollando, desde finales de la década de 1970, el principio de módulos programables para funciones integradas dentro de la aviónica, para evitar el aumento de peso en las aeronaves al introducir mejoras en los sistemas de comunicaciones, de armas y de manejo de la misma, lo cual podía comprometer su desempeño. [12]

Esta preocupación se extendió hasta las instituciones civiles que prestan servicios de emergencia o de protección, por la falta de coordinación entre ellas para dirigir los esfuerzos en función de una misión común debido a la incompatibilidad de sus sistemas de comunicaciones. [11]

Debido a esto, el *DoD* decide crear los Sistemas de Radio Tácticos Conjuntos (*JTRS* por sus siglas en inglés), unificando los esfuerzos de todas las ramas castrenses, en donde se desarrollaron transmisores y receptores SDR para las fuerzas militares y otros SDR para aplicaciones civiles. [11]. Posteriormente en Europa la *EDA* desarrolla en el 2006 un proyecto similar al *JTRS*, con los mismos objetivos, denominado *ESSOR*.

Este desarrollo se asemejó a la evolución de la Internet, la cual, aunque ya existía por mucho tiempo en el sector militar y académico universitario, el avance tecnológico que permitió su masificación se dio a conocer a mediados de la década de 1990.

Los SDR permitieron la interoperabilidad entre las bandas de frecuencias usadas y las formas de onda que se usaban entre las unidades militares en América y Europa [11]. El pionero dentro de estos dispositivos militares fue el *SPEAKEasy*, el cual fue producto de las investigaciones de la *JTRS*, y en especial, de la *USAF*.

Posteriormente se desarrollaron transmisores SDR en el sector civil, respondiendo a requerimientos de calidad de servicio demandados por numerosas aplicaciones de datos, voz y video. [13]. La siguiente gráfica muestra el avance del desarrollo de esta tecnología en ámbitos civiles y militares.

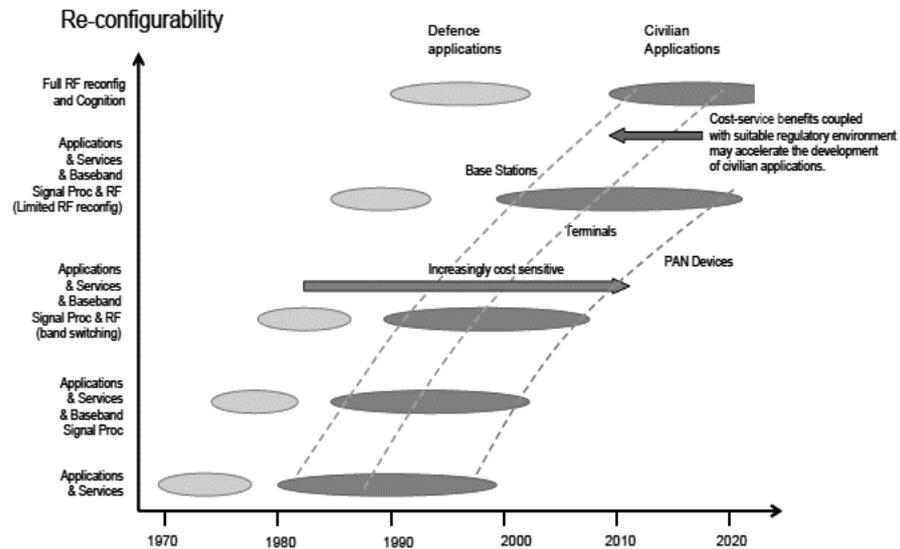


Figura 2-1. Desarrollo de la Tecnología SDR en los ámbitos civiles y militares

Según el Foro de Innovación Inalámbrica (WINNF), (Como se cita en [7]), se ha desarrollado niveles de Radios Definidos por Software en función a su adaptabilidad.

- Nivel 0. *Hardware Radio* (HR): Radio con funcionalidad fija, donde los parámetros no pueden ser cambiados. En esta categoría entran los equipos receptores tradicionales.
- Nivel 1. *Software Controlled Radio* (SCR). El trayecto de la señal es fijo, usando un hardware específico. Solo se pueden cambiar parámetros de potencia, mas no de operación.
- Nivel 2. *Software Defined Radio* (SDR). La interfaz de radiofrecuencia es fija, pero el software puede controlar y configurar parámetros de transmisión o recepción, como lo son la banda de operación, frecuencia, tipo de modulación, entre otros.

- Nivel 3. *Ideal Software Radio* (ISR). Se permite la configuración dinámica de la conversión analógica/digital en la interfaz de radiofrecuencia.
- Nivel 4: *Ultimate Software Radio* (USR). Es la última etapa antes de la radio cognitiva. Se permite configurar todos los parámetros, aceptar tráfico programable, operar sobre amplios rangos de frecuencias y conmutar rápidamente entre interfaces.

Después de este nivel, la tecnología se denomina Radio Cognitiva, donde la configuración de los nodos y equipos cambia dinámicamente sin necesidad de la intervención de los usuarios, solo del ambiente en el cual se desenvuelve mediante técnicas de *spectrum sensing* y de algoritmos de inteligencia artificial, permitiendo al software variar y adaptar su comportamiento en función de las necesidades de transmisión y recepción. [14]

2.1.2. Arquitectura SDR.

La versatilidad y la flexibilidad es lo que caracteriza a la arquitectura SDR, así como la facilidad de adaptación. Esta tecnología puede ser programada para estándares emergentes y usada de forma prominente en el desarrollo en comunicaciones celulares, como LTE, o en la optimización del espectro en las transmisiones de señales de radiofrecuencia, como TDT.

La arquitectura SDR ideal consiste, en el caso de un receptor, de tres principales unidades: Un Radio digital reconfigurable, un software sintonizable y el sistema de antena controlable por software. [15]

La principal responsabilidad del radio digital reconfigurable es controlar las funcionalidades, como la generación de diferentes formas de onda; optimización de los algoritmos y control de las unidades de antena y del software sintonizable.

El sistema de software sintonizable analógico es limitado por los componentes cuyas funcionalidades físicas no pueden ser efectuadas por un software, tales como los amplificadores de potencia, los amplificadores de bajo ruido y los convertidores de datos. Esta unidad posee un sintetizador de impedancias que es crucial para optimizar el desempeño de los sistemas del radio sintonizable. [15]

La unidad de antena, trabaja estrechamente con el sintetizador de impedancias, para que el desempeño sea óptimo en el acople de la misma y las otras unidades, respecto a algún ancho de banda especificado en la máquina cognitiva. Las unidades de antenas tipo MIMO, o las antenas inteligentes juegan un rol fundamental en la arquitectura ideal, siendo controladas de manera dinámica por medio de FPGA's. [15].

Como un SDR requiere de intervención humana, la máquina cognitiva es el usuario, quien envía los datos necesarios al radio digital reconfigurable, el cual reconfigura tanto el software como el radio configurable de acuerdo a la información. Estos parámetros pueden ser forma de onda, ancho de banda, y potencia. [15]

Luego de ello, el radio digital configurable usa la retroalimentación que posee con las unidades de antena y del software sintonizable, especialmente del sintetizador de impedancias, para controlar su posición. Al finalizar el proceso, el radio digital notifica que el sistema se desempeña en la configuración introducida [15]. Un diagrama de bloques, reflejado en la Figura 2-2, esboza el proceso entre los tres módulos.

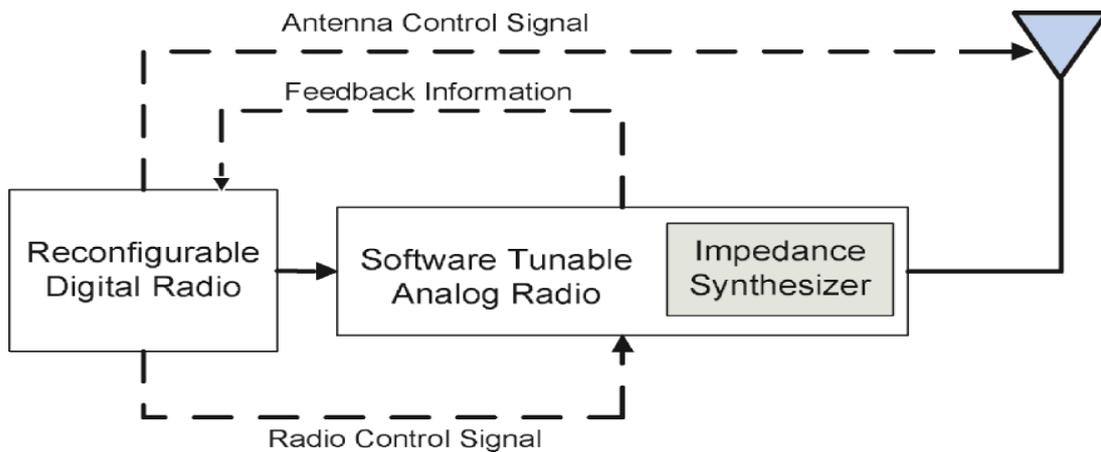


Figura 2-2. Diagrama de bloques de la arquitectura de un SDR ideal. [15]

Ahora bien, el diseño de un SDR ideal implica un alto costo, en especial en el hardware asociado y en la complejidad del software necesario para el control de las unidades, por lo que se encuentran topologías más comunes llamadas típicas o realistas. Para un transceptor típico, las etapas de transmisión y recepción son muy similares solo que el camino recorrido por la señal es un ramal distinto, y las conversiones son inversas en el ADC, como se observa en la figura 2-3. [16]

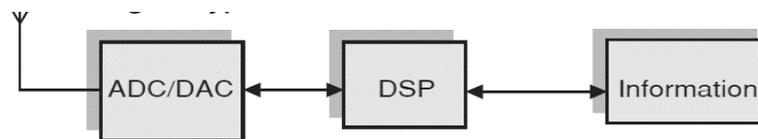


Figura 2-3. Diagrama de bloques de la arquitectura de un transceptor SDR. [11]

Un SDR típico en recepción está basado en cuatro módulos de forma básica. Una antena, la cual es pasiva y multibanda en la mayoría de los casos, un filtro RF, un ADC y un DSP. (Fig.2-4). [11]. También pueden encontrarse otros módulos que permiten mejorar la señal de entrada, como LNA, o filtros adicionales que están configurados para trabajar en la bandas de frecuencias de interés. [17].

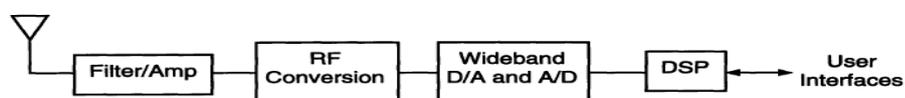


Figura 2-4. Arquitectura de un receptor SDR típico. [17]

En los SDR en general, se procura que el ADC, en recepción, y el DAC, en transmisión, estén lo más cerca posible a la antena [17]. En la etapa de recepción, la antena pasiva recibe la señal, la cual es tratada por un filtro RF, el cual deja pasar solo la banda de frecuencia de interés, rechazando las demás. También se puede encontrar un amplificador, el cual es LNA de alta ganancia, que aumenta el nivel de la señal para ser tratada en la siguiente etapa. [17]

Posteriormente, la señal pasa por la conversión de la señal de RF en IF. Para esto, se usan varios métodos, dependiendo del uso y diseño del SDR, todos ellos bajo el principio de la superheterodinación. Algunos SDR no usan la heterodinación por el tipo de señal que analizan, las cuales no son de radiodifusión.

La señal que se extrae de la conversión IF, entra al Convertidor Analógico Digital (ADC). Este convertidor se encarga del muestreo, cuantificación y codificación de la señal. El ADC es el núcleo de un sistema SDR junto con el DSP, y es el que limita la operatividad del mismo. Se pueden encontrar dispositivos electrónicos que poseen múltiples ADC configurados, en especial cuando se trabaja con señales I/Q compuesta. [15]

El rendimiento de un ADC depende mucho del sintonizador con el cual está asociado en el hardware, debido a que este último es el que determina la banda en la cual la frecuencia será sintonizada. A su vez, indica la frecuencia de muestreo, parámetro importante para cumplir con el Teorema de Nyquist. La cuantificación la efectúa dándole valores a la señal en símbolos de una longitud dada, la cual es conocida por los parámetros del ADC, y brinda información sobre el error en la cuantificación. [11]

El Procesador Digital de Señales es el último eslabón en la cadena SDR antes de ser reflejada la información que requiere el usuario. Usualmente, el DSP viene integrado dentro del mismo chip que posee al ADC, y es el que permite demodular las señales, sincronizar, codificar y decodificar. [16]

El DSP no es el único dispositivo que se puede utilizar, pudiéndose aprovechar las ventajas de los chips programables como los ASIC o los FPGA, los cuales son utilizados de forma corriente en sistemas que tienen alta

demanda, debido a las ventajas que ofrecen los FPGA respecto a la ejecución de órdenes de forma paralela [16]. Estos dispositivos tienen varios ítems a favor y en contra, los cuales se observan en la tabla 1.

Tabla 1. Fortalezas y Debilidades entre los DSP y los FPGA. [15]

FPGA	DSP
Arquitectura de procesamiento flexible.	Arquitectura de Procesamiento Fija
Alto consumo de Energía y Alto costo	Bajo consumo de energía y bajo costo
Construcción engorrosa de operaciones matemáticas	Contiene embebido operaciones lógicas y matemáticas.
Puede efectuar múltiples operaciones por usar el principio del paralelismo	Paralelismo limitado o nulo, lo que provoca un gran número de operaciones por ciclo de reloj.
Alto Costo de Mantenimiento	Bajo costo de mantenimiento

Por último, las interfaces de usuario son aplicaciones, software, que permiten que el usuario obtenga la información requerida de la señal, pudiéndose analizar el espectro y escuchar la señal, si posee audio, u observarla, si es de televisión. También se puede mapear las señales fijas, como las de los radiofaros, o las de las radio bases celulares.

2.1.3 Clasificación SDR.

En vista del creciente número de SDR que los radioaficionados han efectuado, se propuso una clasificación de los mismos en función de seis parámetros básicos. A pesar que muchos SDR son únicos en su diseño, si comparten características que permiten asemejarlos con otros proyectos. [18]

La clasificación se basa en el análisis de los siguientes parámetros:

- Tipo de señal muestreada.

- Categoría de dispositivo de muestreo.
- Tipo de dispositivo de mezclado analógico.
- Forma en la cual se efectúa la selección digital de los canales.
- Interfaz de transferencia de datos hacia el computador.
- Control externo del SDR.

A cada parámetro se le asigna un número o una letra dentro de su propia escala para identificar la categoría. El SDR luego de pasar por el análisis de los 6 parámetros, obtiene un código alfanumérico dividido en dos grupos de tres caracteres cada uno, separados los dos grupos por un guion. Los caracteres respetan el orden de parámetros esbozado en la lista anterior.

Parámetro 1. Tipo de señal muestreada.

Este parámetro describe si la señal muestreada es una señal “real” simple o si es una señal I/Q compuesta. Esto da a entender la complejidad del hardware SDR, debido a que una señal simple es más propensa al ruido, pero solo necesita un ADC para ser analizada, de lo contrario, se necesita un ADC multicanal o dos ADC. En caso que sea una señal compleja, la clasificación discrimina como se obtiene la misma.

Tabla 2. Discriminación del parámetro 1 de la clasificación.

Tipo de señal	Carácter asignado	Reseña
Señal Real	R	El muestreo se hace sobre una señal no desfasada en cuadratura
I/Q por un Detector de Cuadratura	Q	El muestreo se hace sobre una señal I/Q compleja.
I/Q por un dispositivo dedicado	D	El muestreo se hace sobre una señal I/Q compleja obtenida de un chip exclusivo para ello.
I/Q por un mezclador	M	El muestreo se efectúa sobre una señal I/Q obtenida por el tratamiento de dos mezcladores.

Parámetro 2: Dispositivo de muestreo.

Este parámetro clasifica que equipo realiza el muestreo, discriminando si es una tarjeta exclusiva o se usa la del computador.

Tabla 3. Discriminación del parámetro 2 de la clasificación.

Tipo Hardware	Carácter asignado	Reseña
Tarjeta de Sonido	1	El muestreo lo efectúa la tarjeta de sonido, sea interna o externa de la computadora.
Convertidor Analógico Digital dedicado	2	El muestreo se hace por medio de un ADC construido para tal fin.
Tarjeta dedicada adquirida	3	El muestreo lo efectúa una tarjeta dedicada que no es una de sonido.
Convertidor Analógico Digital en RF.	4	El muestreo se efectúa por un ADC en RF (estos SDR no poseen IF).
Chip dedicado complejo	5	Se efectúa por medio de un chip que tiene más funciones que las de ADC.

Parámetro 3: Tipo de dispositivo de mezclado analógico.

En este tópico se discrimina si existe, y de qué tipo es, el dispositivo que efectúa la conversión hacia abajo de forma analógica.(FPGA, PLL, etc). Cuando no está presente se asume que es por alguna razón técnica. Este parámetro no toma en cuenta la conversión a IF que efectúan algunos sintonizadores.

Tabla 4. Discriminación del parámetro 3 de la clasificación.

Clase de dispositivo	Carácter asignado	Reseña
No hay mezclador analógico	N	No hay mezclador analógico en el SDR. (no se cuenta el sintonizador)
Mezclador con frecuencia local fija	L	Mezclador sin posibilidad de control por software.
Mezclador PLL.	P	Mezclador efectuado y controlado con un PLL.
Mezclador ASIC DDS.	A	Mezclador efectuado y controlado con un chip específico de sintonización
Mezclador FPGA DDS	F	Mezclador efectuado y controlado con un FPGA

Parámetro 4: Forma en la cual se efectúa la selección digital de los canales

Se discrimina si los canales, o las frecuencias, a sintonizar se efectúan de forma automática por medio de la programación de un FPGA, o de algún otro dispositivo, incluyendo el computador. Si posee dos formas por la cual se efectúe la selección, se puede colocar cualquiera.

Tabla 5. Discriminación del parámetro 4 de la clasificación.

Configuración	Carácter asignado	Reseña
Selección de canales por FPGA	F	Selección hecha por FPGA de forma digital
Selección de canales por ASIC	A	Selección hecha por un chip ASIC específico.
Selección de canales por ASIC Front -End.	S	Selección hecha por un chip ASIC que tiene funciones de ADC y DDC
Selección por Computador	H	Selección que se efectúa por medio de un software externo al SDR
Selección por un chip DSP	D	Selección digital hecha por un DSP
No hay selección de canales	N	Opción que ocurre cuando el canal a monitorear y la conversión IF tienen el mismo ancho de banda

Parámetro 5: Interfaz de transferencia de datos hacia el computador.

Se describe cómo son transferidas las señales digitalizadas al computador. Hay casos en los cuales no hay computador externo, ya que el SDR es en sí el mismo computador. En este caso, se indica que no hay transferencia.

Tabla 6. Discriminación del parámetro 5 de la clasificación.

Interfaz	Carácter asignado	Reseña
USB	U	Las muestras son transferidas por puerto USB
Ethernet	E	Las muestras se transfieren mediante cable de red
Serial	S	Transferencia por puerto serial
Interna	I	El equipo de computación es el mismo que muestreo la señal.
No hay	N	Todo el proceso se efectúa en un sola tarjeta

Parámetro 6: Control externo del SDR.

En este parámetro se indica si el SDR puede, o es, controlado de forma externa, permitiendo la operación del mismo por parte de varios usuarios, o por parte de un equipo distinto al propio computador.

Tabla 7. Discriminación del parámetro 6 de la clasificación.

Interfaz	Carácter asignado	Reseña
Serial	S	Control por puerto RS-232
Paralelo	P	Control por puerto LPT
Ethernet.	E	Control por red
USB	U	Solo el control por USB. No se toma en cuenta si el SDR está conectado por USB
Control Local	L	Control local. El computador SDR es esclavo de otro equipo exclusivo con conector especial.
No hay control remoto	N	No hay control remoto.

2.1.4 Modalidades de SDR.

Dependiendo de la configuración de hardware y software que se posea, el SDR puede trabajar en vivo o en diferido. [12]

2.1.4.1 SDR en vivo.

En esta modalidad de SDR, la cual es la más común, la recepción, demodulación, procesamiento y análisis de las señales se hacen en vivo, observándose el espectro de frecuencia de la señal que se está recibiendo en ese mismo instante. Esta modalidad SDR es típica cuando todos los elementos de hardware son compatibles entre sí y el software usado reconoce la señal en directo que le envía el ADC.

2.1.4.2. SDR en diferido.

Esta modalidad es útil cuando hay algún dispositivo cuyo controlador no es reconocido completamente, o porque la señal de salida del ADC no puede ser utilizada por el DSP de forma directa por alguna incompatibilidad en el sistema, como es el caso de la mayoría de las tarjetas sintonizadoras que no usan el RTL 2832U

En este caso, se efectúa la grabación de la señal de salida del ADC en un archivo .wav y este archivo, sin editar, se analiza con otro software dentro del

computador donde se pueden efectuar los análisis requeridos. Este análisis depende de la memoria del computador a usar y de las prestaciones del software analizador.

2.1.5 Usos y aplicaciones de la tecnología SDR.

El desarrollo de la tecnología SDR ha acelerado la innovación, el desarrollo y las nuevas ideas, las cuales son requeridas en una sociedad tecnológica donde la información es global y las comunicaciones van desarrollándose a la luz de las nuevas herramientas. [19]

En el ámbito militar, las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos, han firmado contratos para que a los soldados se les dote de un radio SDR configurable para las comunicaciones que deben hacer mientras están en el campo. El prototipo de este SDR incluso puede observar información sensible desde los servidores militares y puede rastrear la ubicación de sus compañeros en una misión, todo ello sin afectar la seguridad de la comunicación. [20]

En el plano civil, las universidades y los radioaficionados son los que más explotan las capacidades de esta tecnología. En el campo de la aeronáutica, se han ejecutado proyectos, como el SANDRA en los Estados Unidos, para efectuar por medio de la tecnología SDR, sistemas de telecomunicaciones aeronáuticos, probados incluso en aviones de pasajeros, así como la recepción de señales del ILS por medio de un dispositivo configurado por software. [21]

En el ámbito médico, las aplicaciones SDR han incursionado para optimizar la cantidad de hardware necesaria para el monitoreo de un paciente, en especial en zonas de hospitalización, quirófanos y salas de terapia intensiva, donde coexisten equipos de conexión alámbrica e inalámbrica. Los estudios, que se ejecutan en un rango entre los 2360 y los 2500 MHz podrían, incluso, brindar un campo de investigación propicio para la radio cognitiva, ya que muchos de los dispositivos estudiados son sensores para la vigilancia médica. [22]

A su vez, las investigaciones sobre la SNR han, permitido una alta escalabilidad de las redes con un bajo consumo de energía, a pesar de la densificación de las comunicaciones en línea. Este concepto está relacionado con la convergencia de los servicios y la nueva generación de los centros de información. [23]

Las aplicaciones, que han crecido en el mundo de los radioaficionados y de los programadores, han permitido optimizar el hardware, en especial cuando el mismo posee un chip RTL 2832U.

Este chip es manejado por una gran cantidad de software que permite su utilización en muchas áreas. Estos softwares permiten diferentes funcionalidades y son elegidas por cada usuario por motivación propia o para efectuar algún proyecto en general. Algunos de dichos software son:

SDR Sharp: Permite observar el espectro y escuchar señales demoduladas en AM, FM y SSB en ambiente Windows. También permite el análisis de archivos .wav mientras la señal sea I/Q compuesta.

FOXTELEM: Usado para modular, demodular y analizar la telemetría de satélites de televisión.

SDR TOUCH: Versión para Android que permite la demodulación FM, AM y SSB y observación del espectro.

WINRAD: Software que permite el análisis de archivos .wav en ambiente Windows y el análisis de señales que provengan de tarjetas de sonido dedicadas.

LINRAD: Software que trabaja similar a WINRAD pero en ambiente Linux.

GNU RADIO. Este es un paquete de programación en ambiente Linux que permite configurar receptores y transmisores SDR por medio de una programación de bloques, siempre y cuando el hardware esté reconocido completamente por el computador.

Puede reflejar espectros de frecuencias, simular transmisores y receptores de radiofrecuencia en general, permitiendo una alta configurabilidad y buen desempeño.

2.2. La educación en Ingeniería.

2.2.1 Concepciones generales.

La ingeniería, a pesar que es una disciplina que nació del empirismo y la práctica militar, se ha procurado, desde finales del siglo XVIII, darle un carácter formal a su enseñanza, estableciéndose escuelas, inicialmente para la ingeniería civil tanto en Europa como en América. [24].

Sin embargo, la ingeniería está ligada estrechamente a la tecnología, por lo que su aprendizaje es progresivo, a pesar que el individuo se haya graduado. Esto implica que la profesión se ha visto sujeta a innovación constante debido a que el ciclo de vida de las tecnologías se ha ido acortando gracias al desarrollo de la electrónica, la programación y la automatización de los procesos. [25] [26] Se estima, actualmente que este ciclo de vida está entre 3 y 5 años. [26]

Esta innovación constante, junto con los *tres shocks* que vive la educación actual, que son la mundialización, la sociedad de la información y la civilización científica y técnica hace que el estudiante de ingeniería deba comprender las situaciones que evolucionen de forma impredecible y desarrollar capacidades que le permitan crear, tener criterio y tomar decisiones. [25]

A pesar que los conocimientos básicos poseen mayor permanencia y son importantes para que el profesional entienda los avances que se producen a través del tiempo, el conocimiento práctico que adquiere el ingeniero en los últimos años de su carrera puede hacerse obsoleto, perdiendo así parte de su ventaja competitiva en el mercado laboral, produciendo cambios laborales y cambios en el interés por parte de aquellos que contratan los servicios de ingeniería. [26]

Una faceta importante de la profesión es el aprendizaje de por vida y la disposición a la versatilidad en los ambientes laborales, implicando un proceso de aprendizaje empírico en habilidades que, en muchos casos, no están directamente ligadas a la rama ingenieril. [26]. Esto se ha traducido en el cambio del perfil del ingeniero, el cual debe ser competente desde el punto de vista científico, técnico y socio humanístico. [25], [26]

La competencia de acción profesional se compone de cuatro componentes básicos: Técnica, metodológica, participativa y personal. Por lo tanto, el ser profesional implica poseer conocimientos especializados, saber aplicarlos para resolver alguna problemática en particular, encontrar soluciones a situaciones de forma autónoma, estar predispuesto a la comunicación intrapersonal por cualquier medio y seguir sus propias convicciones, teniendo un autocriterio claro [27]

Para desarrollar las etapas de aprendizaje y las competencias, y mitigar la obsolescencia, es indispensable que en las casas de estudios superiores se replantee periódicamente el contenido y los programas sinópticos en algunas asignaturas, los cuales en muchos casos tienen un alto nivel de rigidez, lo que produce un desacople entre lo dictado y la realidad social que vive el estudiante, perdiendo la noción de su constitución como asignatura. [25].

2.4.2 Importancia y constitución de las prácticas de laboratorio.

Dentro de la educación en la ingeniería, las prácticas de laboratorio tienen un papel fundamental en el proceso de enseñanza, debido a que permiten que el estudiante enlace los conocimientos teóricos con los empíricos. En los criterios que se deben manejar para el uso y diseño de las prácticas, se encuentran: [25]

1. Aplicabilidad de los conocimientos en otros contextos.
2. Integración del aprendizaje del estudiante con su entorno.
3. Cooperación entre pares.
4. Experiencia de aprendizaje en situaciones reales.

El desarrollo de modelos pedagógicos parte de la premisa del aprendizaje autónomo y el procesamiento activo en el estudiante. Estos modelos usan recursos del aprendizaje constructivista, tales como materiales visuales, programas de procesamiento, herramientas de búsqueda, entre otros, que permitan la comprensión de los conocimientos y su enlace con la base teórica. [28]

Debido a que la ingeniería siempre avanza junto a la tecnología, es necesario que las prácticas de laboratorio reflejen dichos avances, sin descuidar las bases en las cuales se cimienta la construcción del conocimiento. Los docentes logran efectuar este equilibrio cuando pueden adaptar la pedagogía a la tecnología y viceversa [25].

Para el diseño de una práctica de laboratorio, se debe concebir su estructura externa de acuerdo a lo que necesita el estudiante desarrollar en la ejecución del mismo, ya sea una comprobación de conocimientos, ejercitación de habilidades o ambas. En base a esto, se establecen las tres partes primordiales organizativas, que son la Introducción, el Desarrollo y la Conclusión dentro de la práctica [25].

Dentro de la introducción se encuentran la motivación y la fundamentación de la práctica, lo cual sustenta su existencia y da indicios de su vigencia a través del tiempo. Al efectuar un rediseñamiento de la misma, es pertinente observar la introducción, para determinar si lo correcto es una actualización, una modificación o la eliminación de la misma, para darle paso a una nueva. [29].

El desarrollo lo compone la experimentación, que es la ejecución de las acciones que permiten el cumplimiento de los objetivos planteados. La redacción de esta sección debe ser secuencial y explícita, así como los recursos que allí se esbozan, tales como imágenes o diagramas, deben ser claras. Debido a que la duración del desarrollo es directamente proporcional al tiempo que el estudiante permanecerá en el laboratorio, es perentorio su adecuación en función a la ventana temporal disponible para el uso de los recursos físicos. [29].

El reporte, el procesamiento y la interpretación de los resultados, así como la redacción del informe final, es parte de la etapa conclusiva de la práctica. En esta sección se puede observar si el estudiante ha logrado establecer comparaciones entre la componente teórica del objetivo y el trabajo que desarrolló en la práctica, si consiguió consolidar las habilidades planteadas, y lo más importante, si enlazó estos conocimientos con procesos reales de su entorno. [29].

En relación a los métodos, su elección depende en gran parte de los recursos disponibles, tanto materiales como humanos, pero, por el mismo avance de la tecnología, muchos de los equipos disponibles, en especial los informáticos, pueden quedar en la obsolescencia [30]. Debido a esto, impera una preparación docente que permita no solo la operatividad del laboratorio, sino su actualización progresiva en función de las tecnologías emergentes usando los recursos físicos que se disponen, lo cual implica una acción investigativa por parte del profesorado y, en cierto modo una reforma en los modos de actuación, tanto del docente como del estudiante. [25]

Por lo tanto, las prácticas de laboratorio deben abarcar tres aspectos importantes. El académico, el laboral y el investigativo. En el académico, deben proporcionar experiencias concretas o lo más cercanas a la realidad del estudiante, usando nuevas tecnologías para la actualización del contenido. [25]

Desde el punto de vista laboral, deben brindar la oportunidad de manipular, dentro de la capacidad de los recursos físicos disponibles, equipos, herramientas y software que posiblemente el estudiante encuentre en las empresas, aplicando un enfoque cooperativista entre pares. Desde el aspecto investigativo, deben ser diseñadas atendiendo al desarrollo del razonamiento lógico e interpretativo [25]. Esto sin descuidar el orden y la sucesión de las acciones que se ejecutan por parte del estudiante y del profesor, lo cual es vital para que el discente cumpla con los objetivos trazados, en aras de la eficiencia en el laboratorio.

CAPITULO III

METODOLOGIA

En este capítulo se describen los pasos realizados para cumplir con los objetivos generales y específicos planteados en el presente estudio.

3.1 Caracterización del Hardware utilizado.

El hardware del cual se disponía para la realización de este proyecto consistió de una tarjeta sintonizadora de televisión Avermedia TV 98, la cual estaba acompañada de un CD con el programa de instalación que permite la visualización de televisión en el formato NTSC o el formato PAL.



Figura 3.1 Tarjeta Avermedia Tv 98

Dicha tarjeta posee tres entradas para las señales. Una entrada denominada “Antena” para la conexión de un conductor coaxial, cuyo propósito

es conducir la señal desde una antena aérea, una entrada con conexión S-Video y una entrada de interfaz Jack de ¼ .A su vez, posee una salida de audio con interfaz MiniJack, de ¼. La conexión de este hardware se realiza a través de un bus PCI.



Figura 3.2 Conexiones de entrada y salida de la tarjeta Avermedia Tv 98

En la sintonizadora de televisión se observa una Jaula de Faraday que encierra una sección de la tarjeta. Esta protege al filtro RF que permite que las señales que ingresen al hardware estén en la banda de frecuencia de interés. La disposición de esta sección de esta forma permite la minimización de interferencias por parte de señales externas no deseadas, más aun cuando el hardware está diseñado para ser instalado dentro de un computador.



Figura 3.3 Etapa de RF. Tarjeta Avermedia Tv 98 y del tuner Phillips. 7000

Adicionalmente se observa un chip, correspondiente al Brooktree 878 A Fusion, que es el que realiza en la tarjeta las funciones del convertidor analógico

digital, acompañado de otro circuito integrado que corresponde al sintonizador, que en este caso, es un Phillips 7000.



Figura 3.4 Chip Brooktree 878A Fusion. Tarjeta Avermedia Tv 98

3.2 Conexión del hardware en el laboratorio

Esta tarjeta, con su respectivo CD, fue instalada en un computador asignado al Laboratorio de Comunicaciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela, y se ejecutó el controlador que contenía el CD, observando que dicho elemento no poseía el software necesario para que el sistema operativo del computador a usar pudiera, primeramente, reconocer la tarjeta sintonizadora de tv y permitir el uso para el cual estaba diseñada la misma, para confirmar su operatividad.

A raíz de esta problemática, generada por la incompatibilidad del controlador para trabajar con el sistema operativo del computador (Windows XP con Service Pack 1), se procede a efectuar una búsqueda web para encontrar un controlador que permita la compatibilidad. Este proceso se dilató mucho más de lo previsto debido a que los repositorios de la empresa diseñadora de la tarjeta no poseían este software por considerarlo innecesario y la tarjeta obsoleta.

Finalmente, se logra obtener dicho software y, al conectar la antena de la Escuela con la tarjeta y ejecutar el controlador, se observa que la tarjeta se encuentra operativa, visualizándose y escuchándose la señal de televisión.

3.3 Configuración del sistema para efectuar el proyecto.

Como ya se determinó en el capítulo anterior, el hardware de un SDR real está conformado, a grandes rasgos, por una antena, un filtro RF, un ADC y un DSP. En este caso, la tarjeta de televisión posee el filtro RF y el ADC, mientras que la antena es aquella que está instalada en el techo de la EIE y el DSP corresponde a la tarjeta madre, o de sonido, presente dentro de la computadora.

Por lo tanto, la configuración de la tarjeta no es propiamente como una sintonizadora de televisión, sino como un dispositivo que permita obtener las señales y digitalizarlas, para que el computador las logre procesar y el usuario pueda observar la información que requiere de ellas.

Debido a ello, se llega a la conclusión que el software que se utilizó para revisar la operatividad de la tarjeta, no es adecuado, de manera directa, para desarrollar el proyecto. En este caso, se trató de aplicar ingeniería inversa para determinar si se podría aprovechar alguna configuración o librería que estuviere dentro del controlador, pero al explorar el CD, fueron encontrados archivos de extensión *.ax*, los cuales no se pueden abrir individualmente. Estos archivos permiten la visualización, demodulación y control del sintonizador de la tarjeta. En vista de esta situación, se procedió a desarrollar otro software que permitiera el aprovechamiento del hardware.

Investigando sobre este desarrollo, se llega a la conclusión de que no existe ningún controlador raíz, compatible con Windows, que permita el aprovechamiento del chip Brooktree 878A fusión, como consecuencia la tarjeta no es reconocida por el sistema operativo y es perentorio migrar hacia otro sistema operativo, como lo es Linux.

Al efectuar el cambio de sistema operativo, se configuró el computador del laboratorio de Comunicaciones para que pudiera iniciar con Microsoft Windows o con Ubuntu15.10, que fue la distribución Linux escogida, lo cual es denominado *Arranque dual*.

Dentro del nuevo sistema operativo se detecta que la tarjeta sintonizadora sí es reconocida automáticamente como un dispositivo para ver televisión,

pudiendo observarla por medio de un visor de televisión de forma poco nítida. Al indagar cómo Ubuntu 15.10 controla el dispositivo, se observa que él usa un soporte de audio, el cual sí se escucha de forma correcta, denominado soporte ALSA, así como el módulo bttv que permite reconocer el tipo de chip en el hardware, pero respecto al video posee problemas por la compatibilidad del equipo con la tarjeta.

A pesar que la tarjeta es reconocida como tal, Ubuntu 15.10 no permite el aprovechamiento de las señales que salen del Bt878A, sucediendo algo similar que en Windows, pero en este caso sí existe en los repositorios, un módulo para que esto ocurra, denominado btaudio.

Primeramente se intentó la carga de dicho módulo hacia el *kernel* de la máquina, por medio del comando *modprobe*, para determinar si estaba embebido en el sistema Ubuntu y solo necesitaba ser llamado. Pero al ejecutar el comando, se obtiene la siguiente instrucción.

A terminal window screenshot showing a user switching to root with 'su' and then running 'modprobe btaudio'. The output shows a fatal error: 'FATAL: Module btaudio not found in directory /lib/modules/4.' The prompt returns to root@labcom1-pc labcom1#.

Figura 3.5 Falla en la carga del módulo btaudio. Ubuntu 15.10

Lo cual indica que esta versión de Linux no posee dicho módulo dentro de su *header*, es decir, en la cabecera de módulos con los cuales cuenta inicialmente. Se procedió a descargar el módulo, el cual está escrito en C+, compilarlo por la terminal con el comando *gcc* y cargarlo en el conjunto de módulos en ejecución en la máquina. Al efectuar esto, se obtuvo la siguiente respuesta:

```
[labcom1@labcom1-pc ~]$ su
Contraseña:
[root@labcom1-pc labcom1]# modprobe btaudio
modprobe: FATAL: Module btaudio not found in directory /lib/modules/4.
[root@labcom1-pc labcom1]# gcc btaudio
gcc: error: btaudio: No existe el fichero o el directorio
gcc: error fatal: no hay ficheros de entrada
compilación terminada.
[root@labcom1-pc labcom1]#
```

Figura 3.6 Falla en la compilación del módulo btaudio. Ubuntu 15.10

Dando a entender que la compilación no fue exitosa, existiendo un error fatal en la misma. Al suceder esto, se investiga la razón por la cual no se efectuó la carga del módulo; y al revisar el mismo se observó esta instrucción.

btaudio - bt878 audio dma driver for linux 2.4.

(c) 2000-2002 Gerd Knorr <kraxel@bytesex.org>

Indicando que como el módulo estaba diseñado y programado para *kernel* de versión 2.4, el mismo no puede cargar en Ubuntu 15.10, porque esta versión posee *kernel* de versión 4.2, y posee el soporte ALSA, el cual es incompatible con el módulo btaudio. Esto trae como consecuencia otro cambio en el sistema operativo de Ubuntu a Mandriva, debido a que investigaciones sobre el mismo llevaron a la conclusión que esta distribución de Linux sí posee el módulo buscado. Al instalar el Open Mandriva, se obtuvo el siguiente mensaje al llamar el módulo btaudio con el mismo comando, *modprobe*.

```
[labcom1@labcom1-pc ~]$ su
Contraseña:
[root@labcom1-pc labcom1]# modprobe btaudio
modprobe: FATAL: Module btaudio not found in directory /lib/modules/4.
[root@labcom1-pc labcom1]#
```

Figura 3.7 Falla en la carga del módulo btaudio. OpenMandriva

Por consecuencia, tampoco tiene el módulo buscado en su *header*, a pesar de que se puede observar la señal televisiva por medio de programas libres, como Zapping y Xaw tv. Estos programas, hechos con licencia GPL, también poseen archivos que impiden efectuar ingeniería inversa, pero, el software Zapping permite sintonizar los canales de televisión y los canales de radio por medio de un cambio en su configuración.

Esta situación provoca que se haga un tercer cambio en el sistema operativo, optando por el Mandrake 9.1 (Bamboo) que posee un *kernel* 2.4.13 el cual, según la documentación, sí permite el módulo *btaudio*, solo que el soporte ALSA no está previamente descargado por las razones de incompatibilidad entre ambos. Al instalar el nuevo sistema operativo, y cargar al módulo *btaudio*, se refleja un mensaje en la consola.

```
[labcom1@labcom1-pc ~]$ su
Contraseña:
[root@labcom1-pc labcom1]# modprobe btaudio
modprobe: FATAL: Module btaudio not found in directory
[root@labcom1-pc labcom1]#
```

Figura 3.8 Falla en la carga del módulo *btaudio*. Mandrake 9.1

Esto trae como consecuencia que se debe compilar por el comando *gcc* del módulo y su carga en el sistema operativo, reflejándose lo siguiente.

```
root@localhost /root - Terminal - Konsole
Sesión Editar Vista Marcadores Preferencias Ayuda
[root@localhost root]# modprobe btaudio
[root@localhost root]#
```

Figura 3.9 Carga correcta del módulo *btaudio* en el kernel. Mandrake 9.1

Indicando que el módulo fue cargado correctamente. Esto provoca que el mismo se refleje en la lista que está usando el *kernel*, observado esto por el comando *lsmod*.

```
root@localhost /root - Terminal - Konsole
Sesión Editar Vista Marcadores Preferencias Ayuda
[root@localhost root]# modprobe btaudio
[root@localhost root]# lsmod
Module          Size  Used by    Not tainted
btaudio         12204  0 (unused)
sgpsant        40396  8 (autoclean)
parport_pc     25096  1 (autoclean)
lp              8096  0 (autoclean)
parport        34176  1 (autoclean) [parport_pc lp]
sg             34636  0 (autoclean) (unused)
st             29488  0 (autoclean) (unused)
sr_mod         16920  0 (autoclean) (unused)
sd_mod         13100  0 (autoclean) (unused)
scsi_mod      103284  4 (autoclean) [sg st sr_mod sd_mod]
ide-cd         33856  0 (autoclean)
cdrom          31648  0 (autoclean) [sr_mod ide-cd]
i810_audio     26248  1
ac97_codec     12488  0 [i810_audio]
nfsd           74256  8 (autoclean)
af_packet     14952  0 (autoclean)
Floppy         58132  0
supermount    15296  2 (autoclean)
tuner         11744  1 (autoclean)
btaudio       15068  0 (autoclean) (unused)
tty           78496  1
```

Figura 3.10 Listado de módulos en el kernel. Mandrake 9.1.

El objetivo de cargar el comando *btaudio*, es que el sistema reconozca a la tarjeta sintonizadora como un dispositivo de audio, adicional a la de la tarjeta de sonido que posee internamente el equipo.

A pesar que el sistema operativo Mandrake 9.1 reconoció el módulo btaudio, y la tarjeta sintonizadora como un dispositivo de audio, no reconoce la tarjeta de sonido interna de la computadora ni la tarjeta de red por estar instalado el sistema en un equipo generacionalmente más avanzado.

Esto implica un problema, debido a que en la estructura SDR, la tarjeta de audio es el DSP de la arquitectura, por lo tanto esto propició un estudio sobre las formas en la cual pudiera reconocerse la tarjeta de sonido. El obstáculo se acrecienta aún más cuando el sistema operativo no reconoce ningún dispositivo de almacenamiento extraíble, exceptuando los CD, y no se puede acceder a los repositorios en línea por no estar soportada la tarjeta de red.

La solución que se toma, luego de investigar, es la de cambiar de computador por uno que posea componentes de más vieja data y por lo tanto, tengan la probabilidad de ser más compatibles entre sí. Al encontrar dicho equipo, se coloca la tarjeta sintonizadora y se instala nuevamente el Mandrake 9.1, logrando reconocer la tarjeta de sonido, la tarjeta sintonizadora y cargar el módulo btaudio.

Para corroborar que el sistema fue configurado de forma correcta, se conectó la antena aérea a la tarjeta sintonizadora por medio de un cable coaxial escuchándose una señal de radio FM mediante el código:

```
#sox -w -r 32000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t ossdsp /dev/dsp
```

Se ignora el aviso del sistema sobre la tarjeta de sonido luego de ejecutado el comando y se reproduce el sonido, lo cual indica que se está digitalizando la señal que se obtiene de la antena y que el sistema se asemeja más a un SDR.

3.4 Configuración del SDR.

El módulo btaudio permite que la señal de audio obtenida por el Bt878A entre directamente al computador, así como la señal compuesta I²S. Ambas señales son usadas por los dispositivos de visualización de televisión *Zapping* y *Xaw Tv*, para mostrar la señal de video y de audio.

Pero estas señales, a excepción de estos módulos, no pueden ser aprovechadas por otros programas por la incompatibilidad del módulo btaudio, por lo que un programa externo no puede mostrar el espectro en frecuencia y demodular a la vez, ya que las estrategias y técnicas de programación que pueden usarse no son compatibles con el módulo que controla la tarjeta. Por esta razón, el SDR objeto de este proyecto fue hecho en diferido.

Inicialmente se inicia el computador en modo *root*, no es aconsejable en ambiente Linux pero es necesario para evitar problemas con permisos entre usuarios. Mandriva 9.1 al iniciar sesión en ciertas ocasiones, lo hace con un usuario común. Si esto ocurre, se debe cerrar la sesión e iniciar como *root*, observando la siguiente pantalla

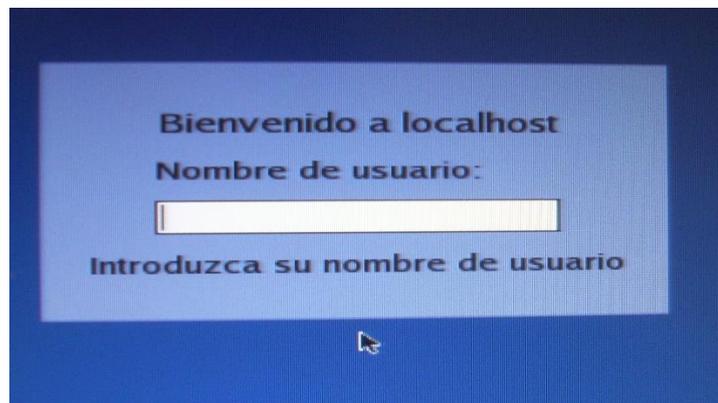


Figura 3.11 Pantalla de login de Mandrake 9.1

En este caso, el usuario es *root* y la contraseña *laboratorio*.

Posteriormente, se abrió la consola, la cual se encuentra en modo *root*, y se teclea el siguiente comando.

```
# ll /dev/dsp*
```

Esta instrucción permite que el sistema muestre sus entradas de audio.



Figura 3.12 Entradas de audio del sistema.

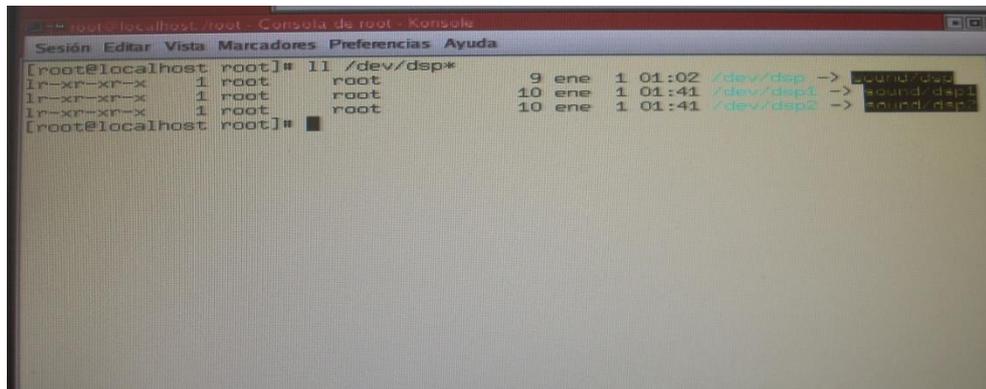
En caso de observar una sola, como se refleja en la imagen 3.12, el sistema solo está reconociendo la tarjeta de sonido y no la sintonizadora, por lo que, acto seguido, se debe introducir:

```
#modprobe btaudio
```

Lo cual permite la carga de dicho módulo. La confirmación de esta carga se puede efectuar con el comando *lsmod*. Se repite el comando

```
# ll /dev/dsp*
```

Lo cual debería arrojar un mensaje donde se reconozcan las tres entradas conectadas al computador (la de la tarjeta de sonido y las dos de la sintonizadora).



```
root@localhost:~# ll /dev/dsp*
9 ene 1 01:02 /dev/dsp -> sound/dsp
10 ene 1 01:41 /dev/dsp1 -> sound/dsp
10 ene 1 01:41 /dev/dsp2 -> sound/dsp
root@localhost:~#
```

Figura 3.13 Entradas de audio del sistema luego de ejecutar el módulo btaudio.

Posterior a esto, se conecta la entrada de la tarjeta sintonizadora a la antena aérea por medio de un cable coaxial.



Figura 3.14 Conexión de antena del equipo.

Para revisar que el sistema está trabajando de forma óptima, se ejecuta el siguiente comando, que permite la reproducción de la señal que entra de la tarjeta sintonizadora en los altavoces del equipo. Al ejecutar este comando surge una advertencia, la cual se ignora por solo ser una diferencia de compatibilidad entre los canales de la tarjeta de sonido y la de televisión.

```
#sox -w -r 32000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t ossdsp /dev/dsp
```

Al escuchar este sonido, se ejecuta el programa Zapping desde el menú del sistema, obteniendo la siguiente imagen sin cerrar el proceso que se ejecuta en la consola.

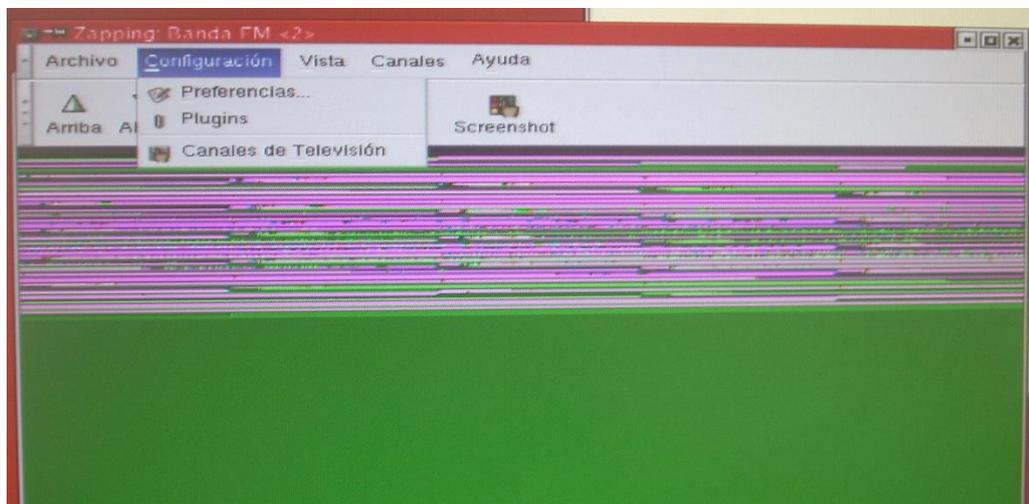


Figura 3.15 Pantalla de inicio del programa Zapping.

Se eligió Zapping por ser un programa usual en muchas distribuciones Linux de OpenMandriva y se puede conseguir en repositorios de Ubuntu, por lo que es accesible para todo usuario. Se ejecuta el menú de configuración de Zapping y se selecciona la opción de canales de televisión, observándose el despliegue de un editor de canales.

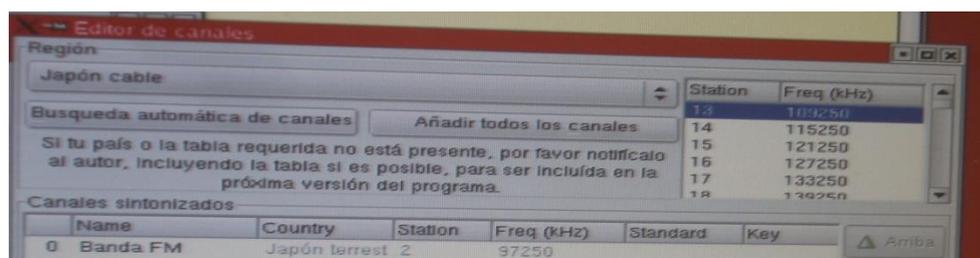


Figura 3.16 Editor de Canales de Zapping.

En este caso, si se desea escuchar la radio FM, se selecciona en la región, la opción *Japón terrestre*, y la estación 2, cuya frecuencia central es de 97250 kHz. Esta banda, la cual se puede ajustar por medio del selector de ajuste fino que se encuentra en la parte inferior de editor de canales o por medio de una frecuencia específica, comprende desde los 87250 kHz hasta los 107250 kHz. Al efectuar el ajuste, se escucharía la señal de radio de la estación que se desee.

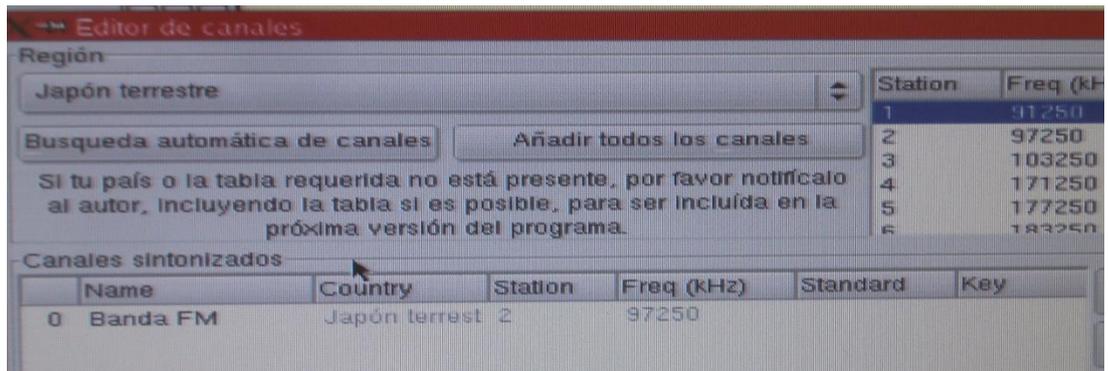


Figura 3.17 Configuración del editor de canales para la banda FM

Para escuchar el audio proveniente de los canales de televisión, se selecciona en la región la opción *EEUU terrestre*, y dependiendo de la estación que se desee escuchar, se selecciona del menú superior derecho, debiendo efectuar con el selector el ajuste fino para sintonizar mejor la estación radiodifusora.

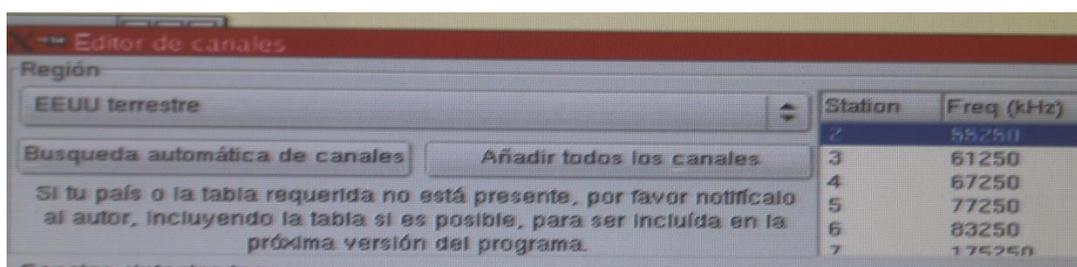


Figura 3.18 Configuración del editor de canales para la televisión.

Para observar el espectro en frecuencia, se usa el procedimiento de SDR en diferido. Para ello, se deja de reproducir el sonido usando sobre la consola la combinación de teclas CTRL+C y se procede a efectuar la grabación del archivo .wav. Este se grabará sobre el directorio raíz del usuario, que en este caso, es

file:/root. El archivo .wav tendrá la información de la señal. Para comenzar la misma, se teclea en la consola, el siguiente comando:

```
#sox -w -r 448000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t .wav nombre a colocar al archivo.wav
```

Y se deja grabar. Hay que considerar la capacidad del software que hará el análisis del espectro en frecuencia, el cual, si posee una alta capacidad, analizará más segundos de archivo. Para detenerlo se usa de nuevo la configuración de teclas CTRL+C

Al desplazarse hacia el directorio raíz, se observa el archivo .wav que ha sido grabado

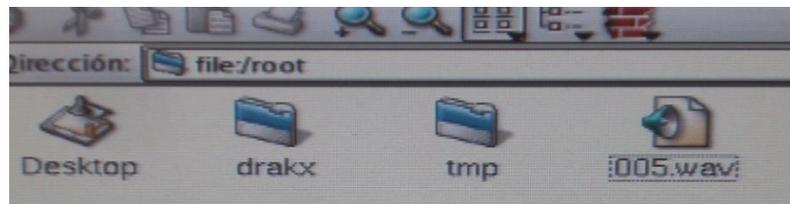


Figura 3.19 Archivo.wav obtenido luego de la grabación.

Este archivo es el que usará el programa analizador de espectro. En este caso, se usó Audacity por las mismas razones que Zapping, adicionalmente, puede encontrarse versiones para cualquier sistema operativo y es intuitivo de usar por cualquier usuario.

Para ello se ejecuta Audacity desde el menú de Mandrake. En Audacity, se selecciona en el menú *Archivo* la opción *Abrir Archivo*. Generalmente, Audacity permite al usuario efectuar una copia del archivo que se va a analizar, lo cual en este caso, se selecciona la opción que permite el análisis desde el archivo original.

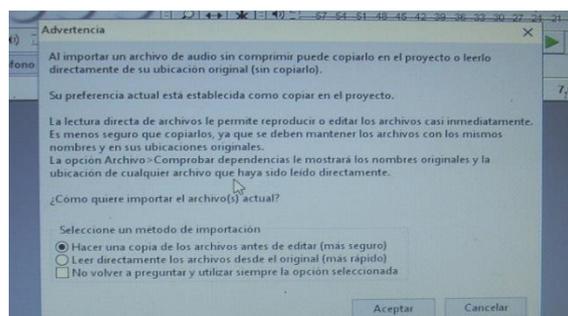


Figura 3.20 Configuración para Audacity al cargar el archivo .wav

Al efectuar esto, el archivo se abrirá, observándose el espectro de audio en la pista. Se selecciona en el menú Análisis, la opción Espectro de frecuencias.

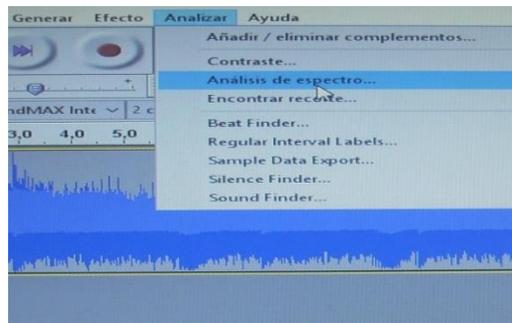


Figura 3.21 Configuración de Audacity para el Análisis de Espectro.

Audacity toma en cuenta los recursos del computador y del propio programa y da un límite de segundos de análisis del archivo. Si el archivo tiene una duración mayor a la establecida por Audacity, el programa corta el archivo y analiza lo máximo que puede. Generalmente, el análisis máximo es de 20 segundos, lo cual se considera suficiente.

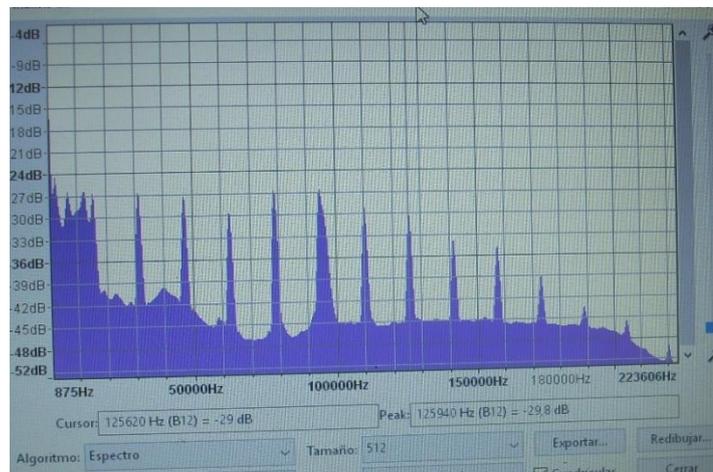


Figura 3.22 Análisis de Espectro obtenido.

3.4. Comparación entre los chips más usados, entre los sistemas operativos y la práctica de laboratorio.

Debido a la investigación realizada sobre los módulos necesarios para aprovechar el chip Bt878A embebido en la tarjeta sintonizadora, se decidió

efectuar una comparación entre los chips más usados en proyectos SDR, y sus características técnicas.

A su vez, por la migración hacia otros sistemas operativos, siendo los mismos manipulados y desechados por razones técnicas, se efectuó también una comparación entre los sistemas operativos Windows XP, Ubuntu 15.10, OpenMandriva y Mandrake 9.1 donde se esboza sus características, fortalezas y debilidades observadas. Ambas comparaciones se efectuarán en el capítulo siguiente de este proyecto.

Por último, y cumpliendo con el objetivo general del proyecto, se procedió a redactar la práctica que quedará en el Laboratorio de Comunicaciones de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCV, la cual fue diseñada de acuerdo al tiempo que posee el estudiante en el área de trabajo, las características del sistema SDR que se concibió y el objetivo fundamental de la misma, que es dar a conocer las ventajas de la tecnología SDR y enlazar el conocimiento de comunicaciones, ya obtenido, con esta tecnología. La explicación sobre las fases que componen dicha práctica está esbozada en el capítulo siguiente, y el cuerpo de la misma en los anexos de esta investigación.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1: Análisis de los espectros obtenidos.

Después de ejecutar de forma reiterada la metodología correspondiente a la configuración SDR en diferido en distintas frecuencias, se procedió a analizar el espectro de varias capturas.

Las mismas fueron realizadas en el Centro de Informática Medica de la Universidad Central de Venezuela, donde no existe una antena aérea para una mejor recepción de las señales, por lo tanto se conectó el cable coaxial y se empalmó con una estructura metálica para que hiciera las veces de antena.

4.1.1 Análisis del espectro de radio FM

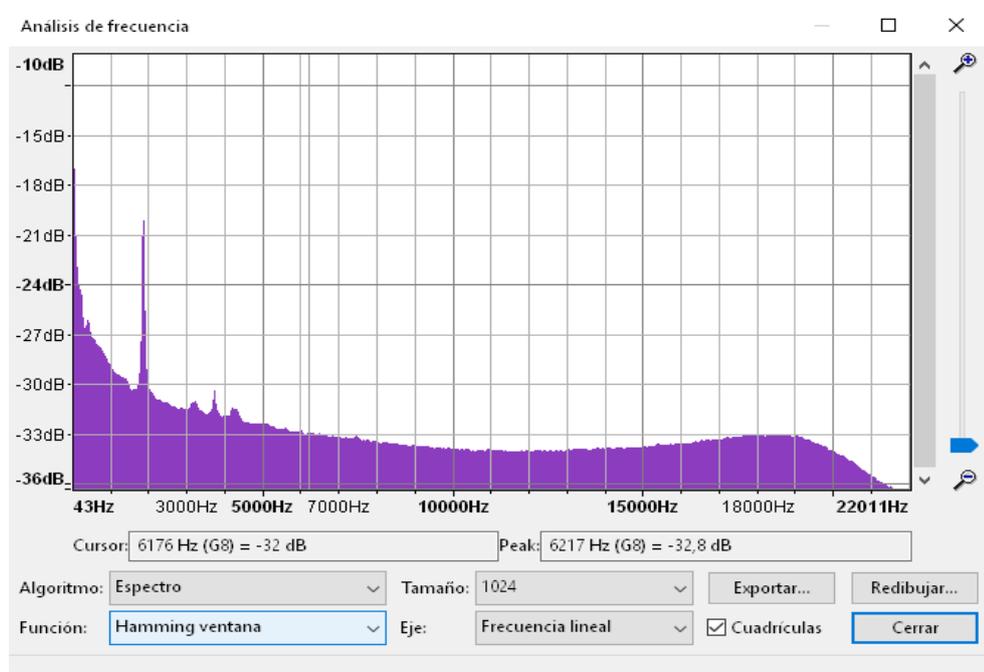


Figura 4.1: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 88.1MHz.

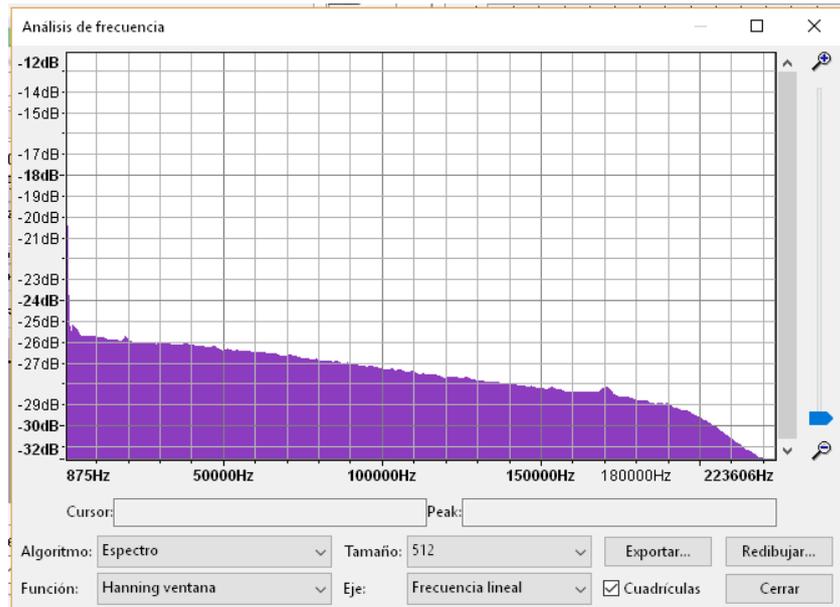


Figura 4.2: Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 88.350MHz.

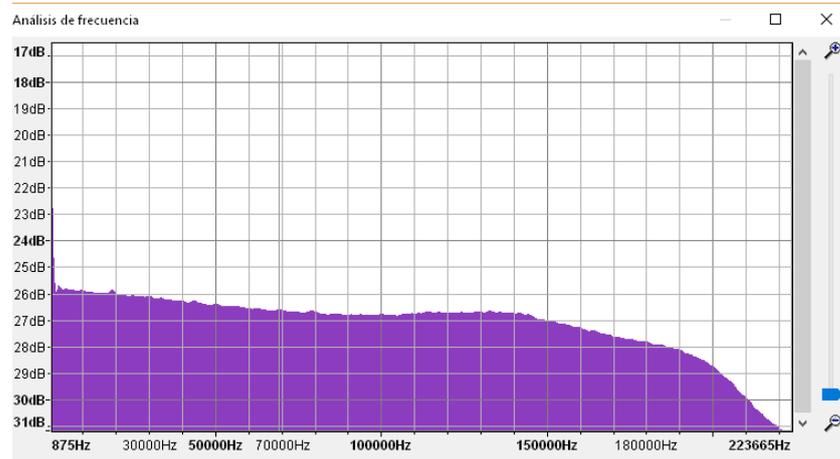


Figura 4.3. Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 88.6 MHz.

En la figura 4.1 se observa el pico de la señal de radio y los armónicos que genera la misma. Por disposición legal, ninguna emisora puede transmitir a menos de 400 kHz de una emisora de Clase A para no interferir con su operación y generar interferencias. En este caso, se observa en las figuras 4.2 y 4.3 que, como la 88.1 FM es clase A, no hay ninguna señal a 400 kHz, obteniéndose solamente ruido.

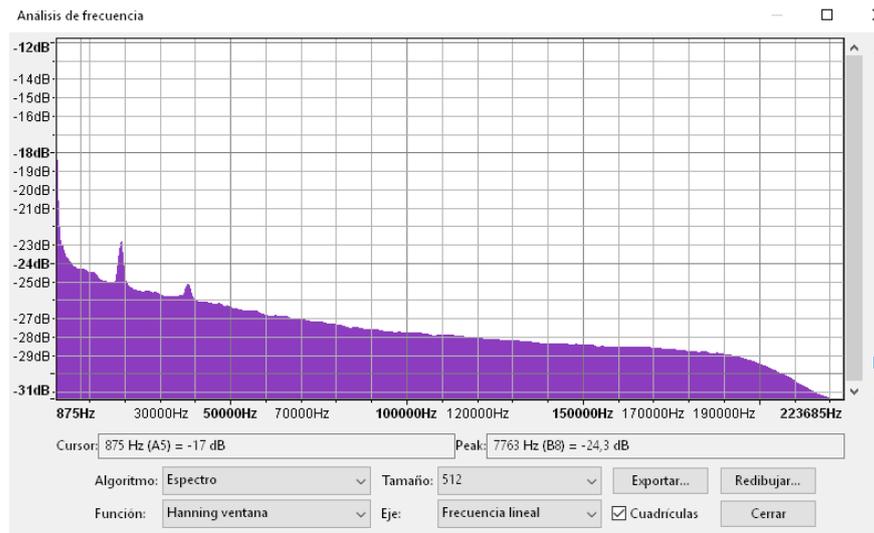


Figura 4.4. Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 99.1 Mhz.

Igualmente, en la figura 4.4 se observa la señal de radio correspondiente a la emisora 99.1 FM, junto con unas armónicas en el espectro. Por la forma en la cual se estaba recibiendo la señal, el ruido es bastante alto, y aunque se discrimina la voz, se recibe distorsionada.

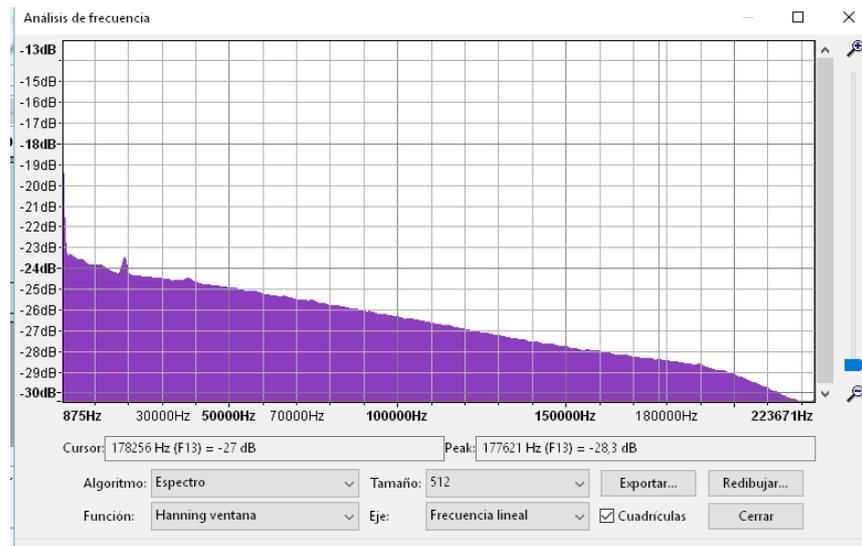


Figura 4.5. Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 99.6 Mhz.

Esta imagen ilustra que existe un pico de señal de radio cercana a los 99,6 FM la cual es baja respecto al ruido. Eso indica que existe una transmisión, pero no se sabe a qué potencia se transmite. Obteniendo la señal más nítida, se podría determinar si el pico de la emisora es realmente alto o es una emisora de clase B o C.

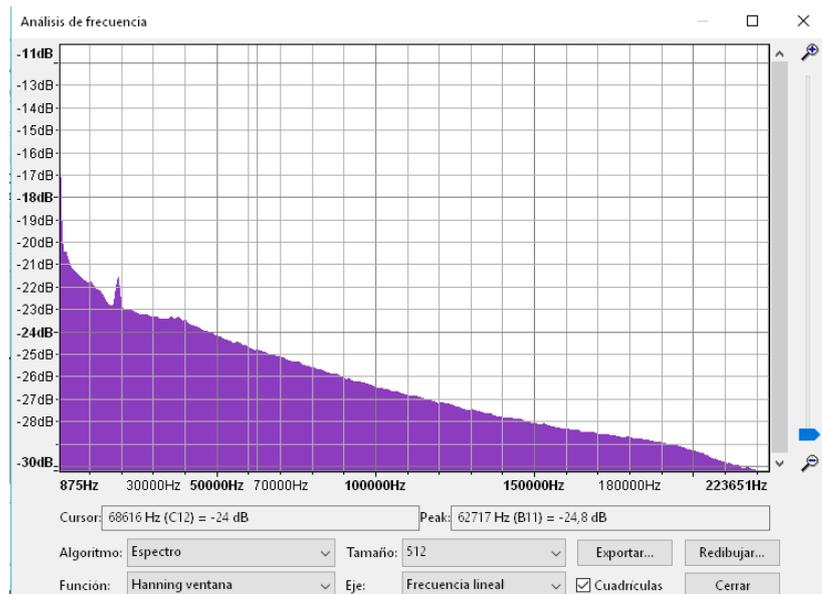


Figura 4.6. Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 96.3 Mhz.

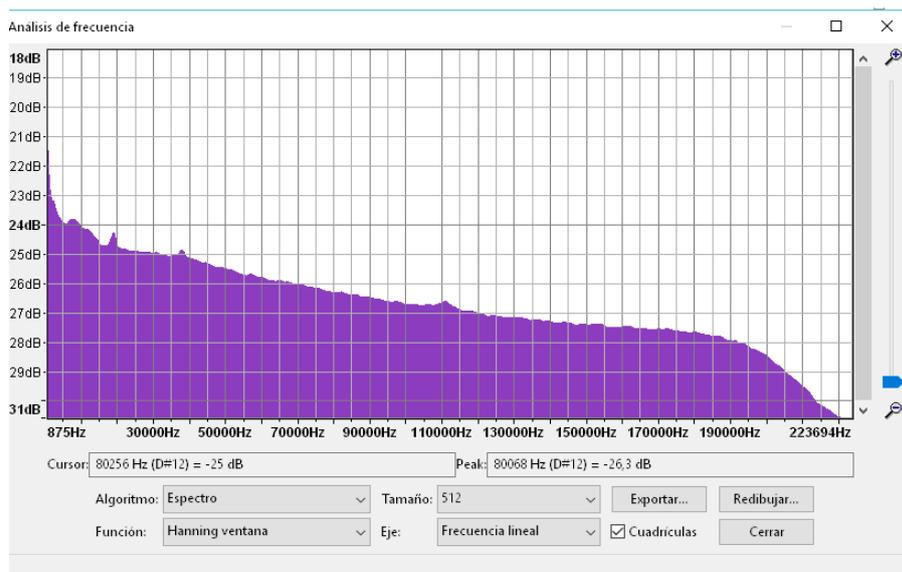


Figura 4.7. Espectro en Frecuencia. Señal de radio a 96.650 MHz.

Nuevamente, se observan picos de la señal muy tenues, pero que implica una transmisión de radiofrecuencia. Respecto al audio sí se escucha una señal de voz pero el ruido no permite que se discrimine totalmente, lo cual concuerda con la baja amplitud observada en ambas señales. Esto se debe a la forma en la cual se efectuó la captura de la señal por medio de una antena improvisada, generando distorsión.

4.1.2 Análisis de los espectros de televisión.

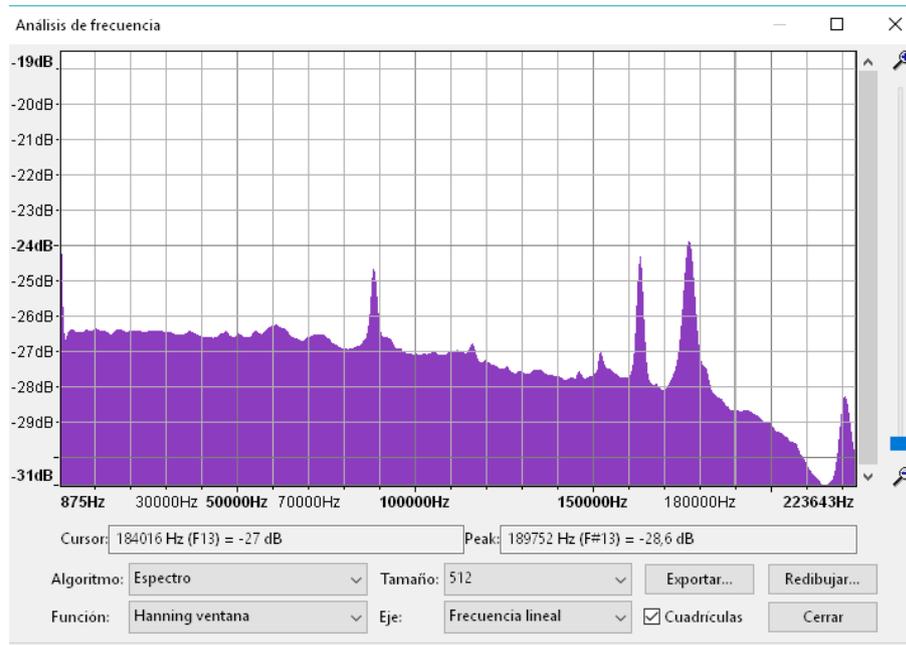


Figura 4.8. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 54 MHz.

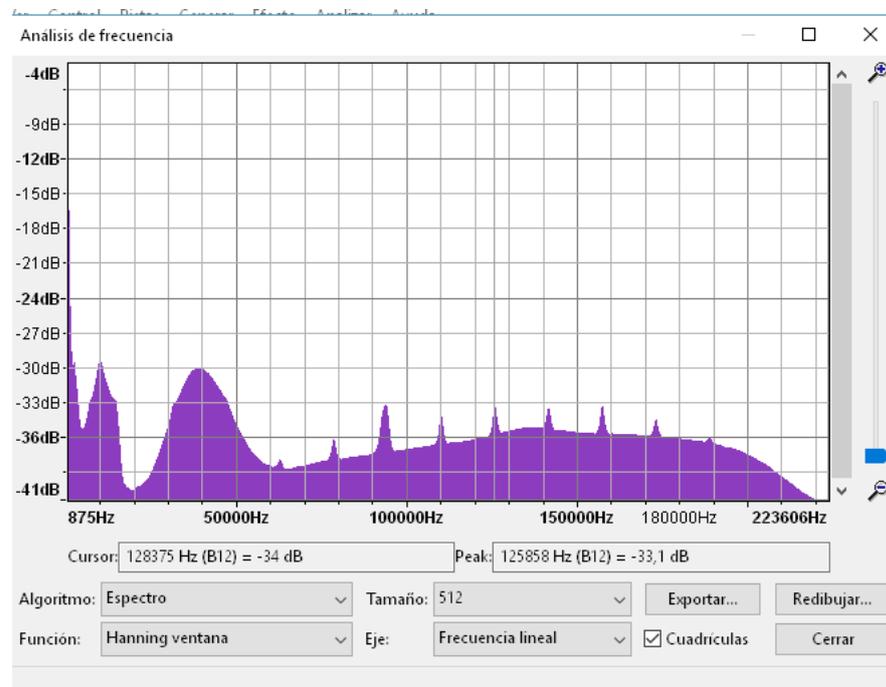


Figura 4.9. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 59.750 MHz.

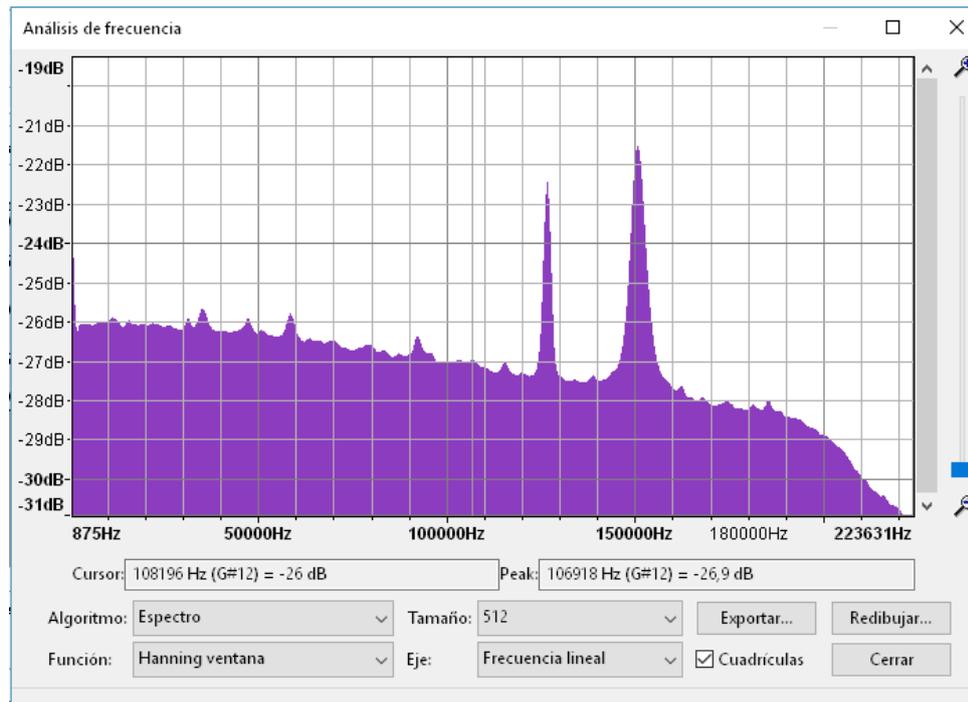


Figura 4.10. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 55.250 MHz.

Las figuras 4.8 y 4.10, muestran la señal de imagen de la televisión que se emiten en Venezuela por el canal 2, que comprende desde los 54 hasta los 60 MHz. Se puede identificar la portadora de imagen que es la que posee mayor amplitud. Los otros picos observados son armónicos de la señal, que se encuentran espaciados entre si 15625 Hz. Estos armónicos disminuyen su amplitud a medida que se va recorriendo la banda asignada para este canal de televisión.

Respecto a la figura 4.9, se observa la portadora de sonido en el centro de la gráfica y parte de la información de color correspondiente a la señal al lado izquierdo de la imagen del espectro, la cual posee una modulación QAM.

En las siguientes dos figuras, se observan las características de la señal perteneciente al canal 4 en televisión analógica abierta, la cual comprende desde los 66 hasta los 72 MHz.

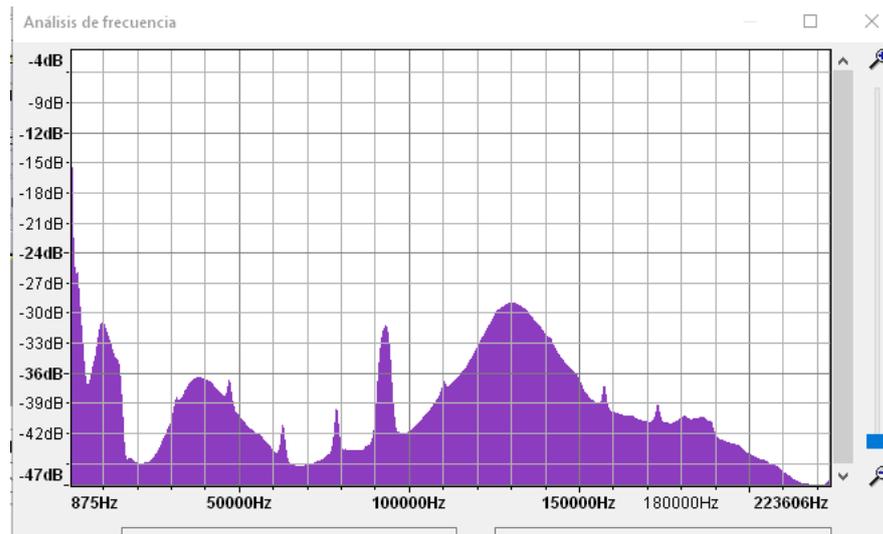


Figura 4.11. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 71.750 MHz.

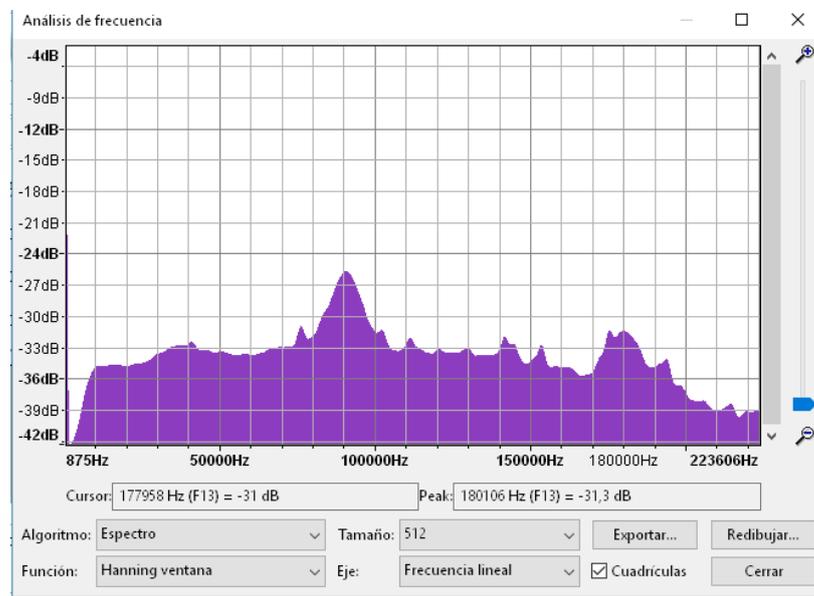


Figura 4.12. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 67.250 MHz.

Las figuras, las cuales fueron tomadas a la frecuencia de la portadora de imagen y de sonido de dicho canal, poseen características similares que las observadas en el canal dos, incluyendo la presencia notable de los armónicos de la portadora de imagen, y la información de color del canal.

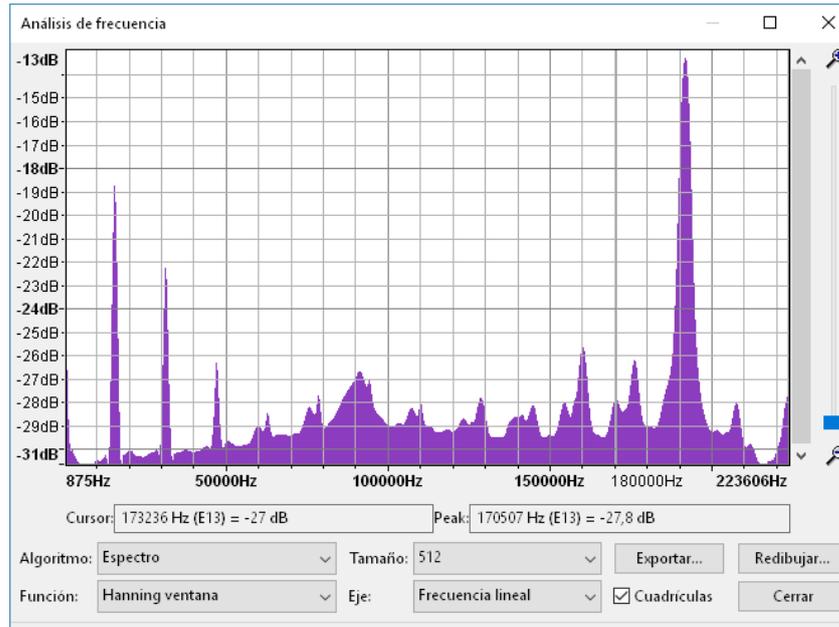


Figura 4.13. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 77.250 MHz.

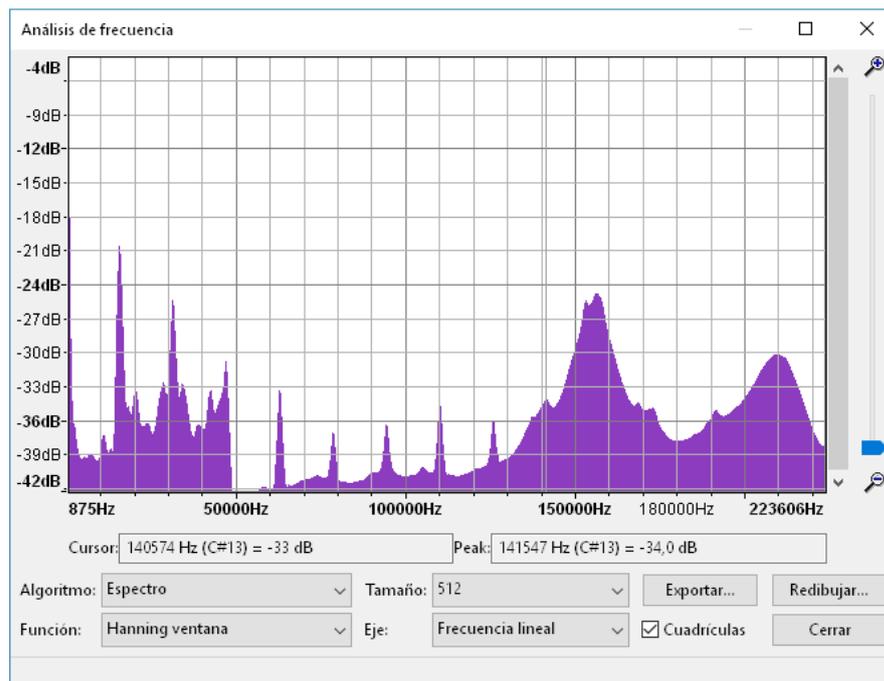


Figura 4.14. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 81.750 MHz.

Las figuras 4.13 y 4.14, corresponden a la señal del canal 5, que se encuentra entre las frecuencias de 76 MHz y 82 MHz. En este caso se observan más detalladamente, los armónicos, la señal portadora de sonido y la señal que posee la información de color.

Las figuras, las cuales fueron tomadas a la frecuencia de la portadora de imagen y de sonido de dicho canal, poseen características similares que las observadas en los otros dos canales.

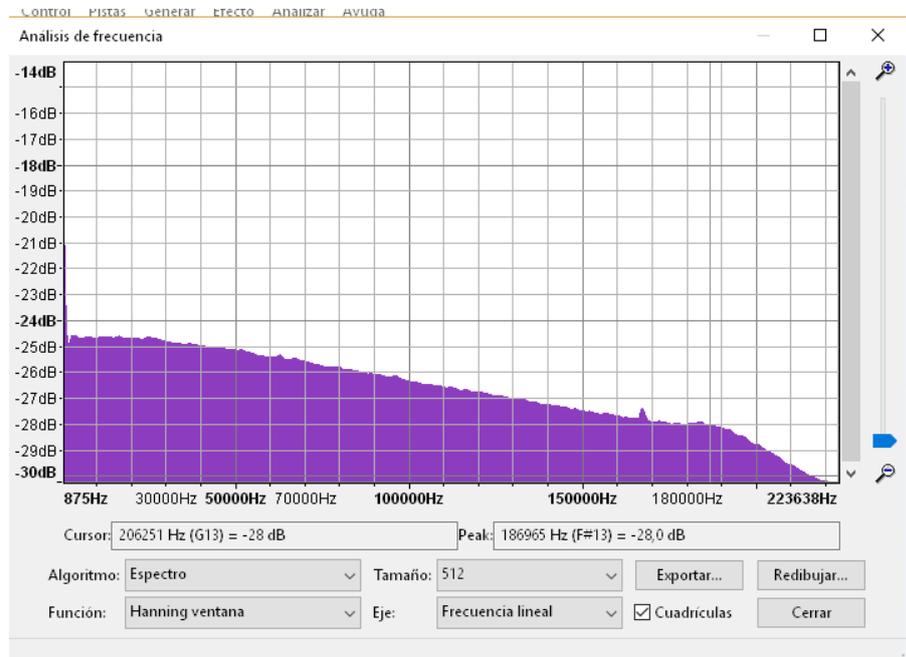


Figura 4.15. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 61.250 MHz.

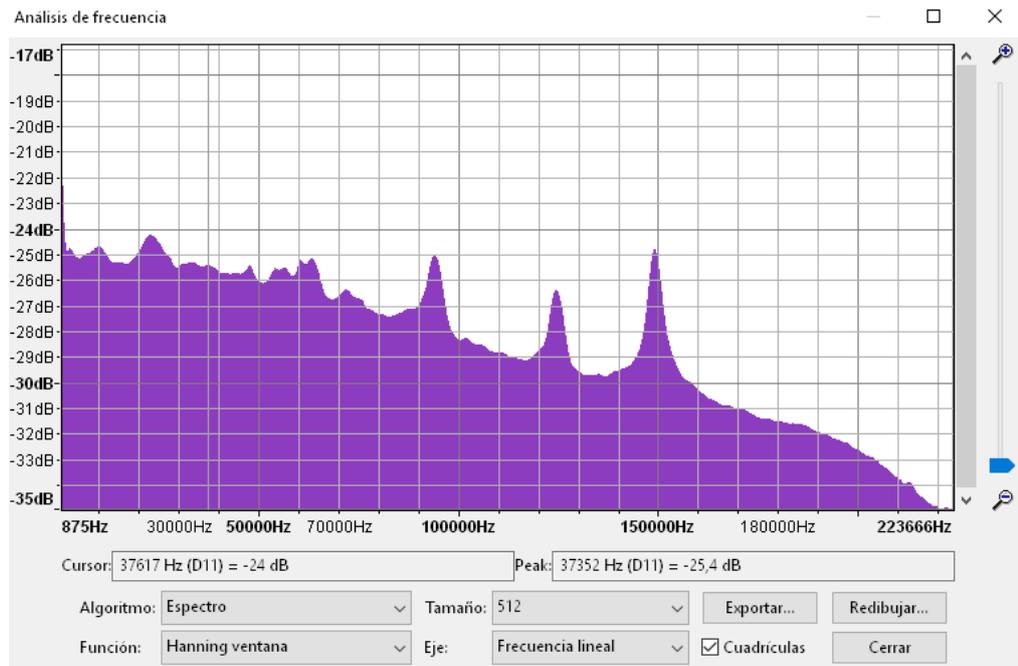


Figura 4.16. Espectro en Frecuencia. Señal de televisión a 65.750 MHz.

En este caso, la señal obtenida es del canal 3 de televisión, comprendida entre los 60 y 66 MHz, y es totalmente distinta a las demás, debido a que este canal de televisión no está asignado a ninguna televisora, debido a que fue dejado libre por el ente regulador, por ende, lo que se observa en esta señal predominantemente es ruido.

4.2 Caracterización de los chipset BT878A Fusion, RTL 2832U y CX23881.

El corazón del hardware asociado a un SDR, es el ADC junto con el sintonizador. Comercialmente existen varios de estos chips que se encuentran en dispositivos con conexión USB tipo *pendrive (dongles)* o en tarjetas sintonizadoras de tv analógica y digital.

Muchos se diseñan tipo *dongle* para evitar el ruido proveniente de la computadora y así abaratar costos referentes a blindaje. Las tarjetas sintonizadoras sí poseen este blindaje, en especial en la etapa de recepción de RF. Un chip, dependiendo de su uso original para el cual fue dispuesto, se puede usar en mayor o menor medida como un SDR funcional. Esta comparación se realiza en aras de una optimización en las aplicaciones SDR en futuros trabajos de investigación.

4.2.1 Chipset RTL2832U.

Este chip es el más popular entre los radioaficionados relacionados con el SDR. La letra “U” en el nombre indica que su conexión es vía USB. Originalmente fue concebido para la demodulación COFDM para el estándar DVB-T de televisión digital y para el estándar ISDB-T, aunque también incluye soporte para radio FM. Debido a este uso, el chip, por medio de una codificación de software adecuado, puede efectuar sincronización de símbolos, decodificación Viterbi, FEC, rechazo de interferencia co-canal, medición de

niveles de radiofrecuencia, medición de SNR, así como detección automática de parámetros de modulación.

Posee ocho entradas de propósito general e incluye, además de un ADC, un DSP. Efectúa una conversión digital hacia banda base por medio de señales I y Q de ocho bits, que son las que recibe el computador por el puerto USB. Posee una frecuencia de muestreo de 3,2MHz, y un ancho de banda de 8 MHz.

Actualmente se le ha encontrado algunas aplicaciones para su uso, como lo son:

- La sintonización de la banda FM, la banda AM y la banda de radioaficionados
- Monitoreo de aviones.
- Escaneo de radio bases, donde se puede observar los parámetros esenciales de la misma.
- Monitoreo de radio faros.

Todos estos usos están limitados por el uso del sintonizador que posea el dispositivo. Los más comunes para el RTL2832U son el E4000 y el R820T, por el rango de frecuencias que soporta. (Desde los 500KHz hasta los 2100MHz). El RTL 2832 es un demodulador OFDM nativo.

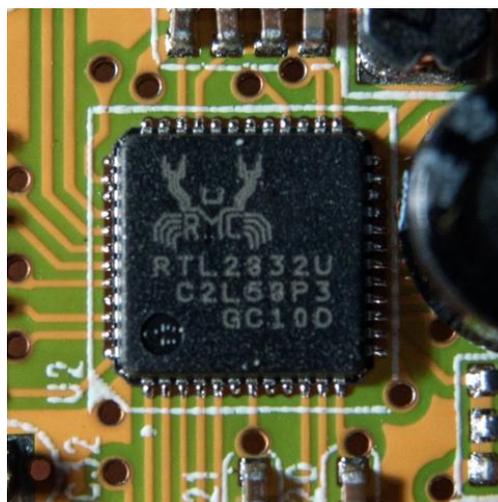


Figura 4.17. Chipset RTL 2832U

4.2.2 Chipset BT878A Fusion.

El chip BT878 Fusión es mayormente usado en tarjetas sintonizadoras de televisión analógica, tanto NTSC como PAL/SECAM y la banda FM en general. Este chip no es usado en las aplicaciones SDR de forma directa por problemas de compatibilidad entre el software usado para demodular y el módulo btaudio que permite, en Linux, aprovechar el ADC del Bt878 y reconocer la salida de la tarjeta sintonizadora como una entrada de audio. Este módulo no es compatible con el software existente SDR. El Bt878 no se encuentra en *dongles*, considerándose un chip para interfaz PCI.

En Windows, existen controladores pero para reconocer la tarjeta como sintonizadora de tv, pero no para aprovechar la misma como una entrada de audio o el ADC que se encuentra dentro del chip. Adicionalmente, el módulo btaudio está diseñado para un kernel 2.4 o 2.6. Para versiones superiores, el soporte ALSA es sustituto del módulo btaudio, pero no permite utilizar la salida del ADC, lo que sí permite el módulo btaudio.

El ADC de este chip trabaja con 8 y 16 bits a 448000 muestras por segundo para captura de audio y grabación del mismo. El chip también tiene una interfaz digital de audio. Cada fabricante de tarjetas decide, en función a la aplicación, cuales entradas aprovechar del chip. Para transportar del bus PCI hacia el PC, la señal usa un empaquetador de audio digital y un buffer FIFO para transporte de audio DMA. El ancho de banda que soporta es de 8 MHz.

Posee tres entradas analógicas, una de ellas perteneciente al micrófono y dos para el audio de la televisión y la radio FM. También posee tres entradas digitales donde se usa el protocolo I²S, propietario de Phillips. Este protocolo es también el responsable de su bajo uso en SDR, debido a que tiene problemas de compatibilidad, especialmente en el vídeo, con los módulos del kernel.

Las aplicaciones para su uso son como sintonizadora de televisión. Los radioaficionados e investigadores amateurs prefieren usar el RTL2832U para

desarrollos. Este chip suele usar un sintonizador Phillips 7000 o Phillips 7130. Los SDR en este caso, son efectuados en proceso diferido.



Figura 4.18. Chipset Bt878A Fusion.

4.2.3 Chipset CX23881

EL chip CX23881 y su familia (CX23882, CX23883), son los sustitutos naturales del Bt878. Es usado generalmente en las tarjetas sintonizadoras de televisión analógica para NTSC y PAL/SECAM. Es más usado que el Bt878 por la compatibilidad de los módulos que permiten el aprovechamiento del ADC. Esto permite que existan códigos escritos en Python para la de modulación FM, los cuales son compatibles con GNU Radio. La particularidad de este chip es que posee dos ADC que pueden muestrear a 30Mhz con 8 bits. El ancho de banda es de 8Mhz.

Se han documentado SDR de bajo costo con este chip haciendo una modificación electrónica en la conexión entre el sintonizador y el chip CX23881 en las tarjetas sintonizadoras, efectuando procesos de SDR en diferido. Igualmente, los sintonizadores que usan las tarjetas que contiene este chip, son el Phillips 7000 y Phillips 7130

Existen otros chips de bajo costo que contienen el hardware necesario, pero la dificultad se presenta en la compatibilidad entre sus interfaces, sus módulos controladores y el resto del computador en general.



Figura 4.19. Chipset CX23881

4.3 Comparación entre los Sistemas Operativos Usados en el proyecto.

Debido a la migración de sistemas operativos que se efectuó al desarrollar el proyecto, se consideró adecuado efectuar una comparación entre los mismos para exponer las fortalezas y las debilidades que podrían tener, en especial con parámetros vinculados a la tecnología SDR.

Tabla 8. Caracterización del sistema operativo Windows XP SP1.

	Fortalezas	Debilidades
Windows XP (Service Pack 1)	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz gráfica conocida y muy amigable. • Manejo de .dll y formatos ejecutables que pueden facilitar labores de ingeniería inversa.. • Existen muchos softwares SDR configurados para este sistema operativo. • Fácil acceso a los archivos y directorios. • Fácil descarga e instalación de drivers. 	<ul style="list-style-type: none"> • No posee paquetes de compilación de archivos C nativos ni lector para los mismos. • Limitados chips usados como SDR se pueden conectar en Windows y operar, entre ellos el RTL 2832U. • No posee controladores genéricos de dispositivos. • Más complicado de instalarlo como segundo Sistema Operativo que otras distribuciones. • Es software propietario. • Se debe instalar para poder usarse. (no admite Live CD) • Para instalar GNU Radio debe hacerse por máquina virtual.

Tabla 9. Caracterización de los sistemas operativos Ubuntu 15.10 y Mandrake 9.1.

	Fortalezas	Debilidades
Ubuntu 15.10	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz gráfica amigable • Acceso a repositorios por medio del sistema si está conectado a internet • Carga de archivos y módulos desde la consola. • Interfaz de arranque dual amigable. • Monta automáticamente los dispositivos de almacenamiento extraíble. • Posee lector y editor de archivos C • Puede usarse con un CDLive o instalarlo en el computador • Permite Cargar GNU Radio. 	<ul style="list-style-type: none"> • No posee compatibilidad con comandos de otras distribuciones • Al instalarse puede no cargar todos los headers necesarios en el kernel • No indica si un hardware periférico no está configurado completamente. • No tiene soporte por parte de Ubuntu. • No tiene compatibilidad para algunos archivos Windows. • Suele no encontrar soporte para hardware de vieja data. • Se debe ser usuario root para efectuar cualquier cambio. • Es muy estricto con los permisos de usuario
Mandrake 9.1	<ul style="list-style-type: none"> • Posee lector y editor de archivos C. • Carga de archivos y módulos desde la consola. • Interfaz de arranque dual amigable. • Indica desde la instalación si un hardware periférico no está configurado completamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • No es posible usarlo desde el CD Live. Se debe instalar. • No posee compatibilidad con muchas tarjetas de sonido generalmente nuevas. • No tiene soporte ni comunidad en línea. • Es engorroso para montar los dispositivos de almacenamiento extraíble. • No se puede acceder a repositorios. • Tiene un árbol de dependencia de módulos que exige la actualización de uno antes que otro. • No permite cargar GNU Radio.

	Fortalezas	Debilidades
OpenMandriva	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz gráfica amigable • Posee lector y editor de archivos C. • Acceso a repositorios por medio del sistema si está conectado a internet • Carga de archivos y módulos desde la consola. • Interfaz de arranque dual amigable. • Monta automáticamente los dispositivos de almacenamiento extraíble. • Puede usarse con un CD Live o instalarlo en el computador • Permite Cargar GNU Radio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee muchos comandos únicos para esta distribución. • Al instalarse puede no cargar todos los headers necesarios en el kernel • No indica si un hardware periférico no está configurado completamente.. • No tiene compatibilidad para algunos archivos Windows. • Es estricto con los permisos de usuario. • Tiene un árbol de dependencia de módulos que exige la actualización de uno antes que otro.

Tabla 10. Caracterización del sistema operativo OpenMandriva.

4.4 Practica de Laboratorio.

El objetivo general de la investigación, que fue la realización de una práctica para el laboratorio de comunicaciones, usando tecnologías de Radio Definido por Software, fue redactada siguiendo el procedimiento descrito en la metodología para la obtención de señales.

A su vez, se observó el balance entre el tiempo y el trabajo que debe efectuar el estudiante dentro y fuera del laboratorio. El cuerpo de la misma se encuentra en el Anexo A de este trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La tecnología de Radio Definido por Software brinda un nuevo aspecto en la forma como son apreciadas las telecomunicaciones. Como en muchas ramas de la ciencias, tanto puras y aplicadas, el uso de software ha permitido que los recursos físicos sean optimizados, reduciendo costos de operación, mantenimiento y aumentando la escalabilidad de los sistemas, lo cual se sincroniza con la tendencia a la convergencia de los equipos de redes.

Por otra parte, la tecnología SDR permite que las personas que deseen aprender, sean estudiantes de ingeniería, personas del común o docentes, lo hagan sin necesidad de aproximarse o pertenecer a una escuela de forma física, debido a que la información esta globalizada y, gracias a esta tecnología, los recursos físicos también. Esto implica el desplazamiento de la escuela hacia el estudiante, contrastando con la tesis conservadora que el estudiante va hacia la escuela.

Por medio de este proyecto se indagó sobre la arquitectura SDR y los diferentes software y hardware que existen para estudiar el espectro radioeléctrico. A pesar que esta tecnología propugna que cualquier hardware es funcional para poder convertirse en parte de un SDR, se observó que hay ciertos chips y tarjetas que, por su propia configuración, limitan mucho la operatividad de la arquitectura, teniendo ya los propios radioaficionados unos chips ADC que usan con más regularidad, que, al observar el sintonizador que acompaña a este chip, brinda posibilidades enormes para la observación y el estudio de las señales en radiofrecuencia.

Estas observaciones fueron validadas experimentalmente, al obtenerse varias muestras del espectro en frecuencia de la señal que se lograba grabar en el archivo.wav, observándose características propias de la señal, tanto de televisión como de radio, y acoplando la información reflejada por el analizador de espectro con el conocimiento previo obtenido en otras asignaturas.

Posteriormente se validó la práctica de laboratorio, observando el tiempo que dispone el estudiante para ejecutarla y efectuando la misma para entender si las instrucciones dadas, así como las imágenes reflejadas, realmente son claras y sin ambigüedades.

Por último, este proyecto pretende, humildemente, ser el comienzo de una modernización y adecuación de las prácticas de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Eléctrica para evitar un desfase entre los avances de las telecomunicaciones a nivel mundial y lo que se imparte dentro de un área tan importante como es un Laboratorio, donde el estudiante aprende de forma práctica, siendo el ambiente propicio para ser estimulado a investigar en alguna rama de su carrera.

Como recomendaciones para futuros trabajos en el área se tienen:

- Usar el chip RTL 2832 para efectuar diseños SDR que impliquen modulación OFDM, debido a que este chip es un demodulador nato de OFDM.
- Explorar la tecnología SDR en las modulaciones digitales, desaconsejando para ello las tarjetas sintonizadoras de televisión.
- Poseer equipos, tarjetas, *dongles* y sistemas operativos que estén generacionalmente cerca, para evitar incompatibilidades entre los componentes.
- Ampliar el espectro electromagnético de estudio e incluir en la práctica de laboratorio objeto de este proyecto, o en otra a diseñar, la modulación AM y la SSB. Al permitir demodular esta señal AM, se podría analizar no solo la radiodifusión, sino las señales de aeronavegación.
- Apoyar, por parte de todos los docentes que pertenecen a la Escuela de Ingeniería Eléctrica, cualquier mejora que impacte directamente en el aprendizaje significativo del estudiante tanto en las aulas de clase como en los laboratorios.

REFERENCIAS

- [1] S. Pino Gallardo y H. Arguello Fuentes, «Diseño e implementacion de un banco de pruebas inalámbrico con radio definido por software,» Ciudad de Mexico, 2013.
- [2] The Wireless Innovation Forum, «Wireless Innovation,» 2011. [En línea]. Available: http://wirelesinnovation.org/introduction_to_sdr. [Último acceso: 13 05 2016].
- [3] F. Jondral, «Software Defined Radio. Basics an evolution to cognitive radio.,» Karlsruhe, Alemania, 2005.
- [4] M. Sadiku, «Software defined radio. A brief overview,» Prairie View, Texas, EE.UU, 2004.
- [5] S. Gultchev, «Evaluacion de la Tecnologia SDR.,» 2006.
- [6] T. Roupheal, RF and digital signal processing software defined radio., Oxford, United Kingdom: Newnes, 2009.
- [7] A. Ortaz, «Diseño de un modulador digital variable usando tecnologia de sistetizador digital directo,» Caracas, 2016.
- [8] J. H. Aguilar Renteria y A. Navarro, «Radio Cognitiva. Estado del arte.,» Cali, Colombia, 2011.
- [9] H. Arslan, Cognitive radio, software defined radio an adaptative wireless systems, Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007.
- [10] V. Mares Rodriguez, «Diseño e implementacion de un transmisor AM, FM y ATSC en radio definida por software para docencia,» Ciudad de Mexico, 2016.
- [11] A. Shah, «Software Bases Implementation of a Frecuency Hopping two way Radio,» Masachusetts, EE.UU, 1997.
- [12] C. Fadan, «Radiologicielle. Fr,» 07 06 2007. [En línea]. Available: <http://f4dan.free.fr/>. [Último acceso: 05 08 2017].
- [13] P. Jovanovic, «Implementation of RF signal generator for demodulation receiver testin y SDR design,» Belgrado, Serbia., 2011.

- [14] J. Keller, «Army awards contract for rifleman infantry software defined radio,» *Military and aerospace electronics*, pp. 28-31, 2015.
- [15] Y. Cheng, «Technology demonstrator of a novel software defined radio-based aeronauticals communications systems.,» *IET Science*, vol. 8, nº 6, pp. 370-380, 2014.
- [16] A. Mateska, «Applications of software defined radio technology in a hospital environment,» Osaka, Japon, 2013.
- [17] R. Alhumaima, «Evaluating the energy efficiency of software defined-based cloud radio access networks.,» *IET communications*, vol. 10, nº 8, pp. 987-997, 2015.
- [18] Instituto Nacional de Tecnología Industrial, «Historia de la ingeniería,» Buenos Aires, Argentina, 2013.
- [19] Y. Alvarado y J. Antunes, «METODOLOGÍA PARA PRÁCTICAS EN LABORATORIOS DE DISEÑO MECÁNICO EN LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA,» *Actualidades investigativas en educacion.*, vol. 11, nº 1, pp. 1-18, 2011.
- [20] L. R. Vega-Gonzalez, «La educación en ingeniería en el contexto global: propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del Siglo XXI,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 14, nº 2, pp. 177-190, 2013.
- [21] A. Echavarría, «Configuración actual de la profesionalidad,» *Letras de Deusto*, vol. 91, nº 31, pp. 35-55, 2001.
- [22] B. Wilson, «What is constructivist learning environment».
- [23] I. Kaloshina, «La organización de la actividad docente cognoscitiva productiva de los alumnos durante la realización de las prácticas de laboratorio,» *Revista Educación Superior Contemporánea*, vol. 1, nº 21, pp. 89-105, 2006.
- [24] C. Alvarez de Zayas, «Tendencias de la enseñanza de la Física para Ingenieros en Cuba,» *Revista Cubana de Educación Superior*, 1986.

ANEXOS.

Anexo A. Cuerpo de la Práctica de Laboratorio

PRACTICA DE LABORATORIO.

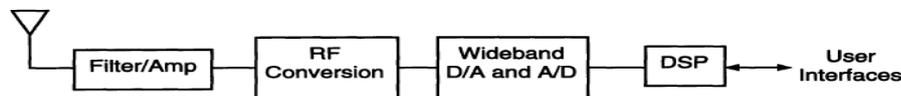
RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE

Consideraciones teóricas.

El avance progresivo de las comunicaciones en los últimos años se ha orientado a la convergencia de la funcionalidad de los equipos, al aprovechamiento de los recursos físicos para la programación del software para un objetivo determinado. Las operaciones de modulación, cuantificación, corrección de errores, entre otras, en un sistema se limitan a ecuaciones que pueden ser resueltas mediante software, aprovechando eficientemente el hardware que se tenga disponible.

Las ventajas que trae la radio definida por software (SDR) se limitan a la complejidad que pueda poseer el software que debe ser ejecutado para una tarea determinada. Esta complejidad puede ser un obstáculo dependiendo de las investigaciones en el área y de la familiaridad que posea el profesional, la cual se debe cultivar desde su etapa de formación.

Un SDR típico está basado en tres módulos de forma básica. Una antena, la cual es pasiva y multibanda en la mayoría de los casos, un convertidor analógico digital y un procesador digital de señales. También pueden encontrarse otros módulos que permiten mejorar la señal de entrada, como amplificadores o filtros que están configurados para trabajar en la bandas de frecuencias de interés como se observa en el siguiente esquema:



Cuando la señal entra por la antena, el filtro de radiofrecuencia es el que limita el ancho de banda que se estudiara, la cual es tratada por medio del principio de la superheterodinación en la etapa de Frecuencia Intermedia, y posteriormente el convertidor A/D efectúa la conversión al dominio digital por medio de los tres pasos básicos: Muestreo, Cuantificación y Codificación. Por último, el procesador digital de señales aplica las operaciones de interés para que el usuario pueda observar y oír la señal en el computador.

El objetivo de esta práctica es que el estudiante observe que las operaciones de modulación y demodulación de señales, muestreo, codificación, cuantificación, análisis de espectro entre otras, pueden realizarse mediante un software, usando solamente un hardware genérico de bajo costo.

1. Trabajo de Prelaboratorio.

El estudiante debe, antes de entrar al laboratorio:

- Investigar sobre las bandas de radiodifusión FM y el ancho de banda de la señal de acuerdo a la potencia de cada una.
- Indagar sobre las características de la señal de televisión en VHF, en especial a cuantos Hz esta cada portadora respecto al comienzo de la banda de frecuencias de cada canal.
- Leer los servicios que están autorizados en la banda VHF en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia (CUNABAF).

2. Trabajo de Laboratorio.

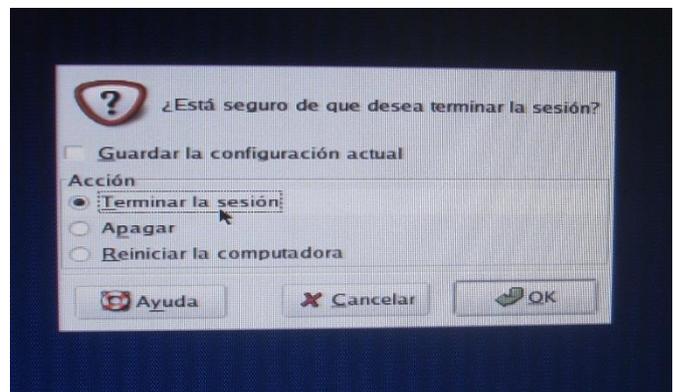
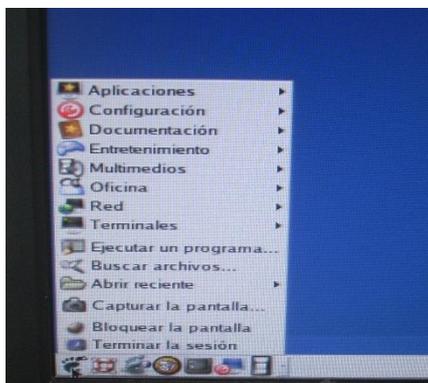
2.1. Acondicionamiento de los equipos.

1. Inicialmente, se debe encender el computador en el cual va a realizar la práctica y conectar un cable coaxial entre la conexión de antena aérea existente en el laboratorio y el computador.

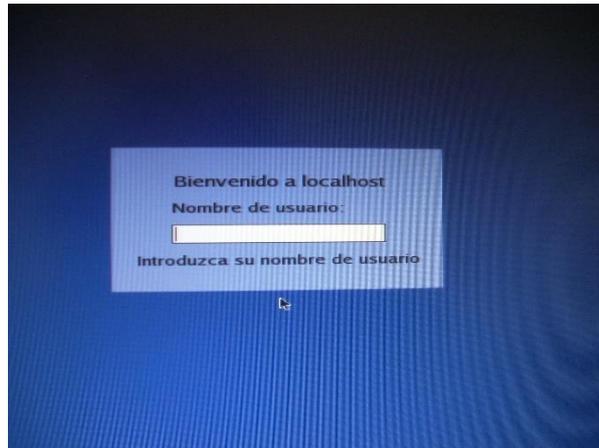
2. Esta práctica se desarrollará en ambiente Linux por lo que debe acceder al sistema operativo Mandrake 9.1. Para ello usted seleccionará el sistema operativo Linux del gestor de arranque. En caso tal que no aparezca, deje que el sistema se inicie automáticamente

3. Para un mejor desempeño de la práctica, usted deberá acceder como administrador al sistema. Para ello, usted deberá terminar la sesión que se abrió automáticamente tal como se observa en las siguientes imágenes.

(Nota: No apagar el computador, sino terminar la sesión en el menú).



4. Luego de terminar la sesión, le aparecerá la siguiente pantalla.



En el nombre de usuario usted colocara: **root**. Presione enter.

En la contraseña: **laboratorio**. Presione enter de nuevo.

El sistema iniciara y la pantalla se colocara de color rojo.

5. Abra la terminal del sistema operativo. La misma se puede abrir en el menú, en la esquina inferior izquierda, en la pestaña que dice *Terminales*. Ejecute la que dice *Konqueror*. Le aparecerá el siguiente mensaje: *root@localhost root*.

6. Teclee el siguiente comando en la consola y pulse enter.

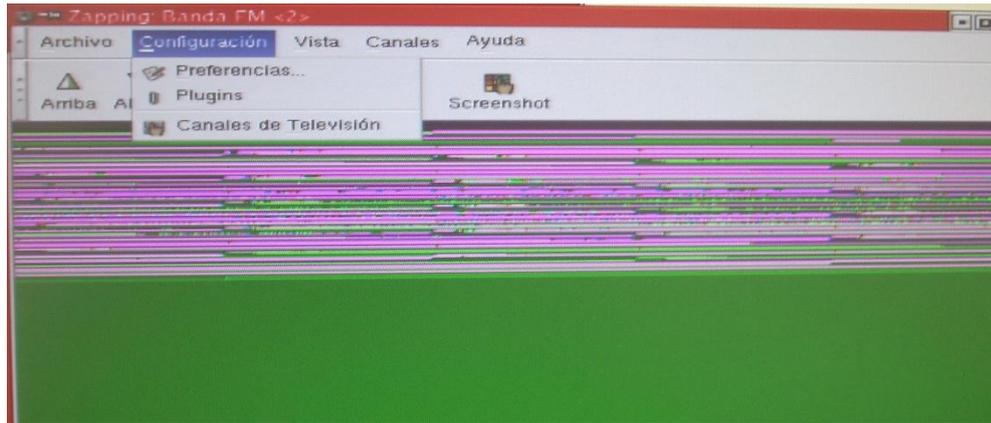
```
# modprobe btaudio
```

Si el comando fue exitoso, volverá a ver el mensaje de la misma forma en que estaba anteriormente. **No cierre la terminal**. En este momento, el equipo está configurado para efectuar la práctica.

2.2. Estudio de las señales por medio de SDR.

2.2.1. Estudio de la banda de Frecuencia Modulada.

1. Ejecute el programa Zapping. Éste se encuentra en el menú, pestaña *Multimedia*. Luego de ejecutarlo, le aparecerá una pantalla de televisión. Diríjase al menú del programa, en la pestaña que dice Configuración. Dentro de esta pestaña seleccione Canales de Televisión.



2. Seleccione en el editor de canales que se le acaba de desplegar en la opción *Región*, la que enuncia *Japón terrestre*. Luego de efectuar esto, seleccione el canal 2 en la lista que se encuentra en la esquina superior derecha. Este canal posee una frecuencia de 97250 kHz.

3. En la consola *Konqueror*, la cual permanecerá abierta toda la práctica, teclee el siguiente comando

```
#sox -w -r 32000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t ossdsp /dev/dsp
```

Inmediatamente usted oirá por los altavoces del equipo un sonido. Por medio del selector de ajuste fino, que se encuentra más abajo en la pantalla, y en base a lo que usted investigo en el prelaboratorio sobre la banda radio en Frecuencia Modulada, seleccione una emisora de radio FM tecleando su frecuencia en el ajuste fino, sumándole el error de sintonización del programa Zapping, que son 7650 kHz para la radio FM.

4. Mueva el selector horizontal 150 kHz hacia la derecha. ¿Qué escucha? ¿Hay alguna diferencia entre la señal que escuchaba originalmente y la que escucha en este momento? ¿Todavía discrimina la señal? Justifique en su informe el porqué de la diferencia en caso de existir e indague el ancho de banda de una señal de radio FM.

5. En función de su investigación previa, ¿Cuántas emisoras en Frecuencia Modulada puede observar en la banda en la cual usted se encuentra? Justifique su respuesta. Seleccione al menos tres más, en caso de haber, en función a lo investigado y averigüe el nombre de las emisoras.

2.2.2 Estudio de la señal de Televisión

1. Seleccione en el editor de canales de Zapping, en la opción *Región*, la que enuncia *EEUU terrestre*. Luego de efectuar esto, seleccione el canal 2 en la lista que se encuentra en la esquina superior derecha. Este canal posee una frecuencia de 55250 kHz.

2. Calcule a cuántos kHz debe estar la portadora de sonido de la televisión del inicio de la banda de frecuencia. Súmele estos kHz a la medida de ajuste fino (55250kHz) que está en la pantalla. ¿Logra oír la señal de audio? ¿A que canal le corresponde esta frecuencia?

3. Repita la anterior experiencia con el canal 3 (de frecuencia 61250 kHz) y el canal 4 (de frecuencia 67250 kHz). ¿Escucha señal de audio en ambos casos? Justifique su respuesta.

4. El programa Zapping posee un error de sintonización de 1250 kHz por encima del valor real para la banda de televisión. En base a esto, haga un cuadro con el valor de la frecuencia de la portadora de sonido de los canales 2, 3 y 4, y determine el límite superior de la banda de cada canal. Esboce esta información en su informe.

2.2. Estudio de los espectros en frecuencia por medio de SDR.

2.2.1. Estudio del espectro en la banda VHF

1. En la terminal *Konqueror*, la cual permanecerá abierta toda la práctica, pulse las teclas CTRL+C. Volvera a ver el mensaje *root@localhost root*.

2. Seleccione en el editor de canales del programa Zapping, en la opción *Región*, la que enuncia *Japón terrestre*. Luego de efectuar esto, seleccione el canal 2 en la lista que se encuentra en la esquina superior derecha. Este canal posee una frecuencia de 97250 kHz.

3. Desplace el selector de ajuste fino hasta que escuche de forma clara una estación de radio.

4. Teclee la siguiente instrucción en la terminal.

```
#sox -w -r 448000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t .wav 001.wav
```

Y espere de 15 a 20 segundos. Luego, pulse en la terminal *Konqueror*, las teclas CTRL+C. Volverá a observar el mensaje *root@localhost root*.

5. Diríjase al directorio */root*. Para ello, abra el menú en la esquina inferior izquierda y seleccione la pestaña personal. El directorio se abrirá inmediatamente. Allí observará el archivo 001.wav.

6. Ejecute el programa Audacity. Para esto, abra nuevamente el menú, pestaña *Multimedia*. Con este programa, abra el archivo 005.wav. Observara una pista de sonido. Reprodúzcala para oírla en el botón play, de color verde.

7. En la pestaña *Análisis*, del programa Audacity, seleccione analizador de espectro. Si sale algún mensaje, presione el botón aceptar. Luego de que termine de analizar el archivo, aparecerá el análisis de espectro. ¿Qué puede concluir usted de este espectro? ¿Coincide con una señal de radio? Tome una foto de la misma y añádala a su informe.

8. Desplace la señal en el ajuste fino 200kHz hacia la derecha en el programa Zapping y teclee la siguiente instrucción en la terminal.

```
#sox -w -r 448000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t .wav 002.wav
```

Y espere de 15 a 20 segundos. Luego, pulse en la terminal *Konqueror*, las teclas CTRL+C. Repita los pasos del 5 al 7. ¿Qué observa en el análisis de espectro? ¿A qué se debe la pendiente en la gráfica?

9. Seleccione en el editor de canales de Zapping, en la opción *Región*, la que enuncia *EEUU terrestre*. Luego de efectuar esto, seleccione el canal 2 en la lista que se encuentra en la esquina superior derecha. Este canal posee una frecuencia de 55250 kHz

10. Teclee la siguiente instrucción en la terminal.

```
#sox -w -r 448000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t .wav 003.wav
```

Y espere de 15 a 20 segundos. Luego, pulse en la terminal *Konqueror*, las teclas CTRL+C. Volverá a observar el mensaje *root@localhost root*. Repita los pasos del 5 al 7. ¿Qué observa en el análisis de espectro? ¿A que corresponde este espectro?

11. Desplace la señal en el ajuste fino hasta que pueda escuchar la señal de televisión. Teclee la siguiente instrucción en la terminal.

```
#sox -w -r 448000 -t ossdsp /dev/dsp2 -t .wav 004.wav
```

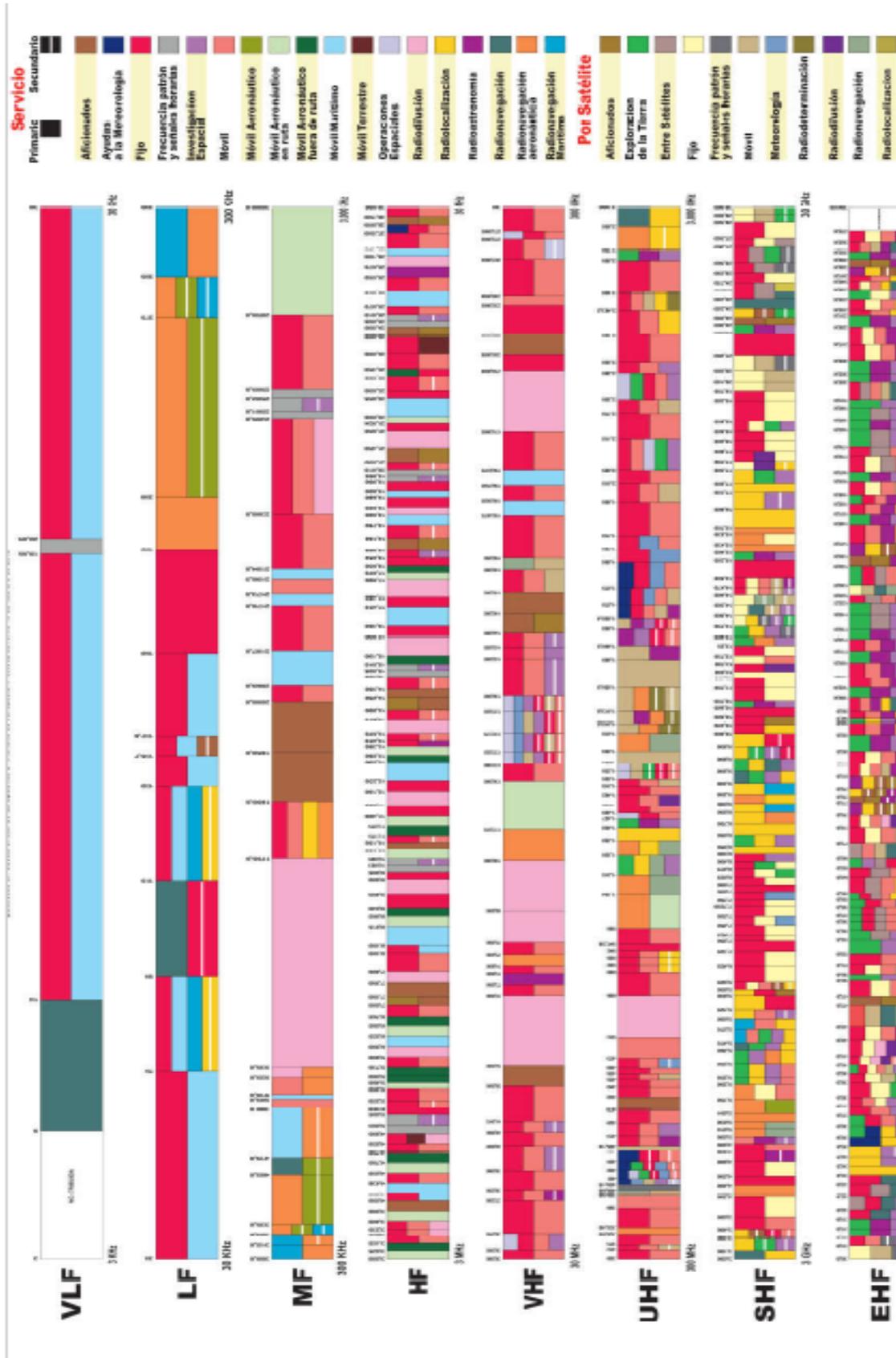
Y espere de 15 a 20 segundos. Luego, pulse en la terminal *Konqueror*, las teclas CTRL+C. Volverá a observar el mensaje *root@localhost root*. Repita los pasos del 5 al 7. ¿Qué observa en el análisis de espectro? ¿A que corresponde este espectro? ¿A qué se debe esos picos de señal con esa separación en el espectro? ¿Cuánto es la separación en frecuencia de estos picos en la señal?

12. Borre todos los archivos de audio que grabó, y apague el computador de manera regular.

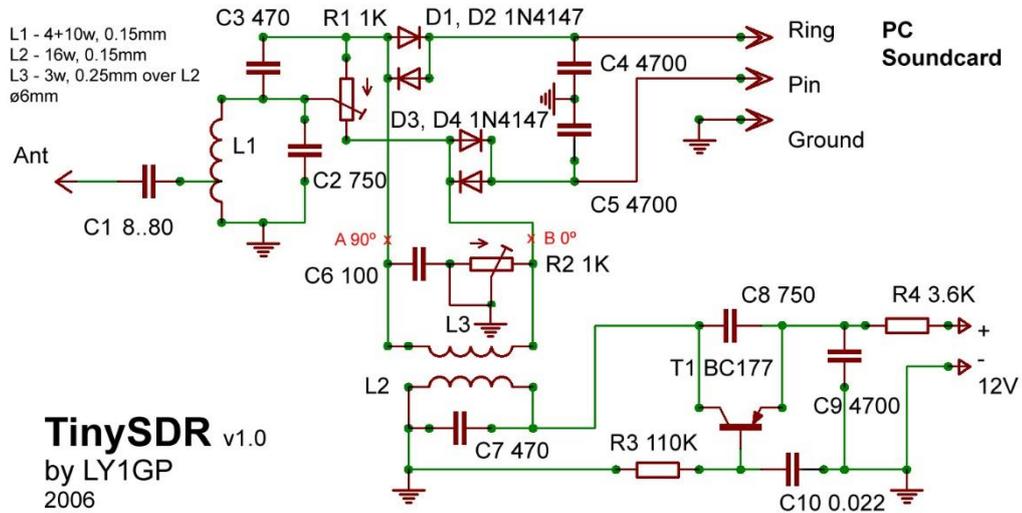
Referencias

1. F. Jondral, «Software Defined Radio. Basics an evolution to cognitive radio.,» Karlsruhe, Alemania, 2005.
2. M. Sadiku, «Software defined radio. A brief overview,» Prairie View, Texas, EE.UU, 2004.
3. S. Gultchev, «Evaluacion de la Tecnologia SDR.,» 2006.
4. T. Roupael, RF and digital signal processing software defined radio., Oxford, United Kingdom: Newnes, 2009.

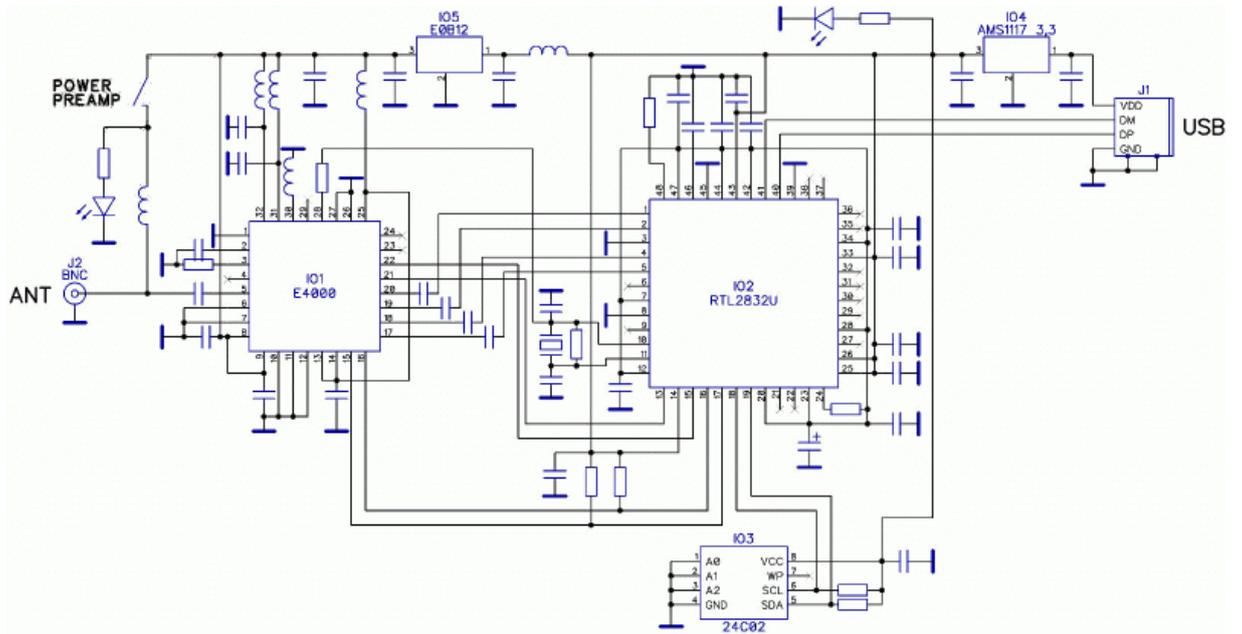
Anexo B. Cuadro Nacional de Atribuciones de Bandas de Frecuencia (CUNABAF)



Anexo C: Diagramas electrónicos de Dispositivos SDR.



C-1: Diagrama de un dispositivo Tiny SDR.

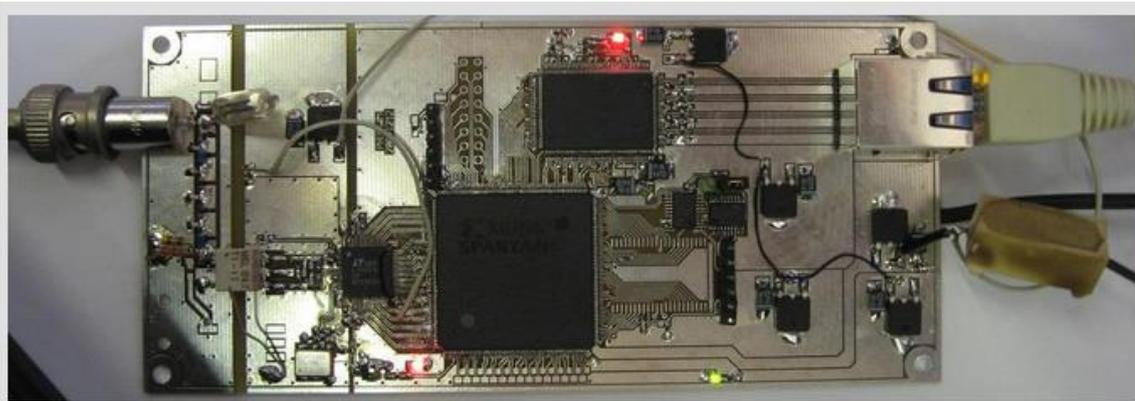


C-2: Diagrama de un dispositivo con un chip RTL 2832.

Anexo D. Dispositivos y Aplicaciones SDR.



D-1: Dispositivo dongle SDR con chip RTL 2832U.



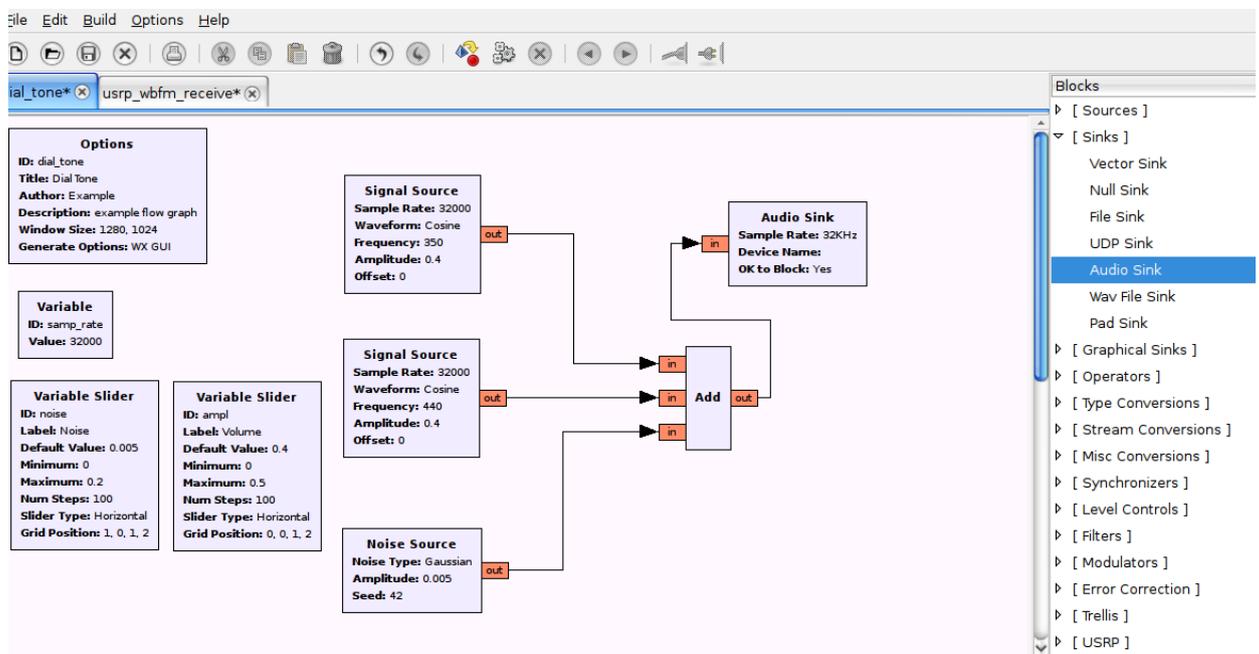
D-2: Receptor SDR con acceso por Internet.



D-3: Dispositivo casero SDR.



D-4: Dispositivo casero SDR Flexradio.



D-5: Aplicación GNU Radio