



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

TITULO

Diseño en un entorno controlado de Modulación de Banda Lateral Única (SSB) Y Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC) en Frecuencia de HF mediante SDR

AUTOR

Tubay Lucas Alisson Yiroko

TRABAJO DE TITULACION

Trabajo complejo, previo a la obtención del título:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Ing. Amaya Fariño Luis Miguel, Mgtr

La libertad, Ecuador

2025

DEDICATORIA

Con toda gratitud dedico este logro a mis padres Gloria y Richard, quienes han sido mi fortaleza y sabiduría en cada trayecto de mi vida, su apoyo incondicional, sus deseos de salir adelante en busca de un futuro mejor han sostenido mi capacidad para confiar en mí, y ser ese reflejo de esfuerzo y aprendizaje

A mi abuelita Simonita, por enseñarme a ser una mujer valiente y capaz de vencer cada obstáculo de mi vida, enseñándome que con el tiempo cada sueño se cumple, quizás cuando no lo esperamos

A mis hermanos, por sus palabras de aliento y su apoyo durante este camino, su cariño ha sido fundamental en mi vida; gracias por comprender mis desvelos y por hacer de mis momentos de estrés, en risas compartidas

Alisson Tubay Lucas

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por ser mi guía y aquellos pilares firmes en mí y ser mi refugio de descanso y palabras de aliento que me han llenado de valor para seguir adelante, gracias por enseñarme con el ejemplo, el valor de la honestidad y la responsabilidad, a ustedes les celebro cada uno de mis logros.

A la Señora Anita por siempre darme ánimos y mostrarme su empatía cada que decaía, agradezco cada palabra de aliento y cada compañía silenciosa que siempre sostuvo de mí para nunca rendirme y bromear que el día de mi graduación debería ser lo más pronto, porque me prepare siempre para ese logro.

A mi pareja, Jonathan quien estuvo desde el día uno, desde el día en que todo inicio y empezamos a crecer dándonos cuenta de que teníamos muchos planes por delante, gracias por estar a mi lado, por ser mi sol en días lluvioso y ser mi abrigo en días fríos, agradezco cada palabra de aliento y cada momento de ánimos y risas que fueron parte de este trayecto, tu apoyo ha sido importante, gracias por escucharme sin prisa y por planear este momento como un logro y un gesto de amor al creer siempre en mí.

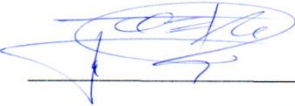
A ustedes les agradezco este gran logro, el primero de muchos, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, gracias por tanto y por más.

Alisson Tubay Lucas

TRIBUNAL DE SUSTENTACION



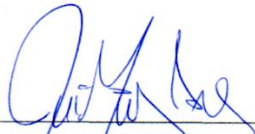
Ing. Ronald Rovira Jurado, Ph.D.
DIRECTOR DE LA CARRERA



Ing. Carlos Andrade. Mgtr
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Luis Miguel Amaya Fariño, Mgtr
DOCENTE TUTOR



Ing. Luis Miguel Amaya Fariño, Mgtr
DOCENTE GUIA UIC

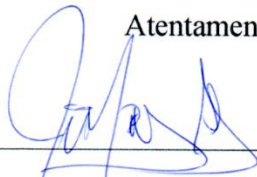


Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgtr
SECRETARIA

APROBACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente tutor del trabajo de integración curricular denominado: “Diseño en un entorno controlado de Modulación de Banda Lateral Única (SSB) Y Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC) en Frecuencia de HF mediante SDR” elaborado por Tubay Lucas Alisson Yiroko, estudiante de la carrera de telecomunicaciones; Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de ingeniería en Telecomunicaciones, me permito declarar que, tras supervisar el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos. En consecuencia, lo considero apto en todos sus aspectos y listo para ser evaluado por el docente especialista.

Atentamente



Ing. Luis Miguel Amaya Fariño, Mgtr

DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

El presente trabajo de Integración Curricular con el título “**Diseño en un entorno controlado de Modulación de Banda Lateral Única (SSB) Y Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC) en Frecuencia de HF mediante SDR**” declaró que la concepción análisis y resultados son originales a la actividad educativa en el área de telecomunicaciones.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, reading "Alisson Yiroko Tubay Lucas", positioned above a horizontal line.

Alisson Yiroko Tubay Lucas

CI: 2400177123

DECLARACIÓN DE DOCENTE ESPECIALISTA

En mi calidad de docente especialista del trabajo de Integración Curricular, "Diseño en un entorno controlado de Modulación de Banda Lateral Única (SSB) Y Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC) en Frecuencia de HF mediante SDR" elaborado por Tubay Lucas Alisson Yiroko, estudiante de la carrera de Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de ingeniería en Telecomunicaciones, me permitió declarar que, tras supervisar el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos. En consecuencia, lo considero apto en todos sus aspectos y listo para la sustentación del trabajo.

Atentamente



Ing. Carlos Andrade, Mgtr

DOCENTE ESPECIALISTA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Quienes suscriben, Tubay Lucas Alisson Yiroko con Cédula de Identidad 2400177123, estudiante de la carrera de Telecomunicaciones, declaramos que el trabajo de titulación denominado "Diseño en un entorno controlado de Modulación de Banda Lateral Única (SSB) Y Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC) en Frecuencia de HF mediante SDR" pertenece y es exclusiva responsabilidad del autor y pertenece al patrimonio intelectual de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Atentamente



Alisson Yiroko Tubay Lucas

CI: 2400177123

Resumen

El desarrollo de entornos controlado para la implementación y análisis de modulación en HF mediante Software Defined Radio, ha sido fundamental para la comparación de las técnicas de Banda Lateral Única y Banda Lateral Doble con Portadora Completa, cada una de las pruebas tiene como objetivo la evaluación de parámetros y variables que deben ser evaluadas para criterios de BBF y Lo ppm, entre otros, de esta manera el proceso de transmisión y recepción de señales moduladas, deben arrojar resultados favorables para realizar un análisis basado en tiempo real expuesto por parámetros críticos como la interferencia y la respuesta en frecuencia, por lo tanto, se consideró distintos escenarios de propagación, mediante variables como atenuación, el nivel de ruido y la variabilidad del canal, los resultados permitirán establecer criterios de optimización para la implementación de sistemas de modulación en HF con SDR, proporcionando evidencias relevantes para aplicaciones en comunicaciones de voz y datos, de esta manera, favorece al desarrollo de técnicas eficientes en radiocomunicaciones.

Palabras clave: LO ppm, SDR, propagación, atenuación

Abstract

The development of controlled environments for the implementation and analysis of HF modulation using Software Defined Radio, has been essential for the comparison of Single Sideband and Double Sideband techniques with Full Carrier, each of the tests aims to evaluate parameters and variables that must be evaluated for BBF and Lo ppm criteria, among others, in this way the process of transmission and reception of modulated signals must yield favorable results to perform an analysis based on real time exposed by critical parameters such as interference and frequency response, therefore, different propagation scenarios were considered, through variables such as attenuation, noise level and channel variability, the results will allow to establish optimization criteria for the implementation of HF modulation systems with SDR, providing relevant evidence for applications in voice and data communications, in this way, it favors the development of efficient techniques in radio communications.

Keyword: Lo ppm, SDR, propagation, attenuation.

INDICE

Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
Metodología	20
□ Revisión bibliográfica y preparación	20
□ Diseño y configuración	20
□ Ejecución y evaluación de los experimentos prácticos	20
CAPITULO I.....	21
1.1. Introducción	21
1.1.1. Identificación del problema.....	22
1.1.2. Justificación.....	23
1.1.3. Alcances	24
1.2. Revisión bibliográfica	24
1.2.1. Radio definida por software	24
1.2.2. Arquitectura definida por software	25
1.2.3. Aplicación de la filosofía en radio definida por software	26
1.2.3.1. Evolución en tecnologías SDR.....	26
1.2.3.2. Principios básicos de seguridad del SDR.....	27
1.2.3.3. Protocolos de cifrado en SDR.....	27
1.2.3.4. Normas de la industria para SDR.....	27
1.2.4. Modulaciones SSB	28
1.2.5. Receptor SSB	29
1.2.6. Medición de potencia de banda lateral única	29

1.2.7.	Variantes de modulación de banda lateral única	29
1.2.8.	Modulación Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC) 31	
1.2.9.	Recepción de modulación Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC)	32
1.2.10.	Audio.....	32
1.2.10.1.	Audio digital.....	32
1.2.10.2.	Código morse	33
1.2.11.	Parámetros de simulación	33
1.2.12.	Comparación de criterios para modulaciones SSB y DSB-FC	34
1.3.	Herramientas tecnológicas utilizadas.....	34
1.3.1.	Software de SDR.....	34
1.3.1.1.	SDRAngel	35
1.3.1.2.	Instalación del software.....	36
1.3.2.	Portapack Hack RF One H2.....	38
1.3.2.1.	Requisitos de instalación.....	39
1.3.2.2.	Instalación de herramientas.....	40
1.3.2.3.	Características del dispositivo Portapack Hack RF One H2	40
1.3.3.	Hack RF One.....	42
1.3.3.1.	Características del Hack RF One	42
CAPITULO II.....		44
DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ENTORNO		44
2.1.	Diseño del sistema.....	44
2.2.	Fase de preparación del entorno en SDRAngel	44
2.2.1.	Parámetros de entrada del Hack RF One H2	44
2.2.2.	Parámetros de salida del Hack RD One H2	45
2.2.3.	Parámetros del Hack RF One.....	46

2.3. Importancia de las modulaciones en comunicación.....	46
2.4. Modulación SSB	47
2.4.1. Emisión de señales SSB	47
2.4.2. Tipos de modulaciones SSB.....	48
2.4.3. Ventajas de modulaciones SSB	48
2.4.4. Aplicaciones de SSB en Comunicaciones HF.....	48
2.5. MODULACIONES DSB-FC.....	49
2.5.1. Transmisión de señales DSB-FC.....	49
2.5.2. Características	50
2.5.3. Ventajas y desventajas.....	50
2.5.3.1. Ventajas	50
2.5.3.2. Desventajas	50
2.5.4. Aplicaciones de modulación DSB-FC (AM) en Comunicaciones HF.....	51
2.5.5. Comparación de modulación DSB-FC (AM) y modulación SSB (LSB-USB).....	51
2.6. Conexión y compatibilidad para SDRAngel.....	52
2.7. Parámetros de modulaciones en SDRAngel	52
2.7.1. Transmisión mediante el Portapack Hack RF One h2 (modo hack)	52
2.7.1.1. Opciones automáticas dentro de la modulación.....	53
2.7.1.2. Opción de botones Fc e Int.....	53
2.7.2. Parámetros de recepción en SDRAngel	54
2.7.3. Interfaz y Herramientas Principales SDRAngel	55
2.7.3.1. Controles comunes del dispositivo.....	55
2.7.3.1.1. Barra superior.....	55
2.7.3.1.2. Barra inferior.....	59
2.7.3.2. Ventana de espectro.....	59

2.7.3.2.1. Barra superior.....	60
2.7.3.3. Ventana de canales	60
2.7.3.3.1. Barra superior.....	61
2.8. Programación y control del Hack RF (Portapack).....	64
2.8.1. Especificaciones del dispositivo	64
2.9. Parámetros para DSB-FC y SSB.....	64
2.9.1. Parámetros SSB (LSB-USB).....	65
2.9.2. Parámetros DSB-FC.....	66
2.10. Medición de parámetros.....	66
2.10.1. Velocidad de transmisión	66
2.10.2. Ancho de banda.....	67
2.10.3. Relación señal/ruido.....	67
2.11. Principales Problemas de Interferencia en HF	68
2.11.1. Interferencias Naturales (Tormentas, Ruido Solar).....	68
2.11.2. Interferencias Artificiales (Electrónica, Sistemas Cercanos).....	68
2.11.3. Métodos para Mitigar Interferencias.....	69
2.12. Calculo para frecuencias SSB (USB/LSB) y DSB-FC (AM).....	69
2.12.1. Zona de Fresnel.....	70
2.12.2. Ubicación de antena transmisora en zona de Fresnel.....	70
2.12.3. Mejoras en la propagación de señal para la zona de Fresnel	71
CAPITULO I I I.....	72
3.1. Proceso de ejecución.....	72
3.1.1. Preparación de pruebas	72
3.1.1.1. Conexión de dispositivos	73
3.2. Práctica 1-2 transmisión y recepción de señales SSB.....	75
3.2.1. Práctica 1: transmisión y recepción para modulaciones SSB en USB..	75

3.2.2.	Práctica 2 transmisión y recepción de modulación SSB en LSB.....	82
3.2.3.	Práctica 3: transición y recepción de modulación DSB-FC (AM).....	87
3.2.4.	Resultados	93
3.2.4.1.	Práctica 1: Transmisión y recepción en SSB modo USB.....	93
3.2.4.2.	Práctica 2: Transmisión y recepción en SSB modo LSB	94
3.2.4.3.	Práctica 3: Transmisión y recepción en DSB-FC modo AM	96
3.3.	Conclusiones	99
3.4.	Recomendaciones.....	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Normas y aplicaciones en SDR	28
Tabla 2:	Criterios de modulación SSB-DSB-FC.....	34
Tabla 3:	Compatibilidad (hack RF One -Portapack H2).....	43
Tabla 4:	Compatibilidad de SDRAngel.....	52
Tabla 5:	Resultados de modulación en pruebas (USB, LSB y AM).....	98
Tabla 6:	Resultados de demodulación en pruebas (UBS, LSB y AM)	98

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Arquitectura definida.....	26
Ilustración 2.	SDRAngel apertura y directriz.....	28
Ilustración 3.	Modos de modulación (LSB-USB).....	30
Ilustración 4.	Interfaz de SDRAngel.....	36
Ilustración 5.	Archivos de descarga	37
Ilustración 6.	Bienvenida de SDRAngel	37
Ilustración 7.	Licencias de SDRAngel.....	37

Ilustración 8. Patch de los programas de SDRAngel	38
Ilustración 9. Culminacion de instalacion	38
Ilustración 10. Interfaz del PortaPack H2	39
Ilustración 11. Icono (modo Hack)	39
Ilustración 12. Instalacion de Zadig	40
Ilustración 13. Dispositivo PortaPack	41
Ilustración 14. Dispositivo Hack RF One	42
Ilustración 15. Intervalos de Transmsion	53
Ilustración 16. Opciones principales	54
Ilustración 17. Controles SDRAngel.....	55
Ilustración 18. Barra superior SDRAngel	55
Ilustración 19. Configuracion.....	56
Ilustración 20. Cambio de dispositivos	57
Ilustración 21. Ajustes de dispositivos	58
Ilustración 22. Agregar Canales	58
Ilustración 23. Barra inferior.....	59
Ilustración 24. Ventana de espectro.....	59
Ilustración 25. Ventana de canales	61
Ilustración 26. Barra superior (ventana de canales)	61
Ilustración 27. Configuracion de canales	62
Ilustración 28. Barra Inferior (ventana de canales)	63
Ilustración 29: njcnejucndecv	72
Ilustración 30. Modo de uso (portapack)	73
Ilustración 31. concexion del portapack.....	73

Ilustración 32. Prueba en el CMD (conexión del portapack).....	74
Ilustración 33. búsqueda de herramientas (conexión portapack).....	74
Ilustración 34: conexión completa del portapack.....	74
Ilustración 35. Practica 1: interfaz SDRAngel (modulación SSB-USB).....	75
Ilustración 36. Practica 1-transmisión USB (selección del hack).....	75
Ilustración 37. Practica 1-transmisión USB (parámetros evaluados).....	76
Ilustración 38. Practica 1-transmisión USB (selección de modulación).....	76
Ilustración 39. Practica 1-transmisión USB, modo de modulación SSB	77
Ilustración 40. Practica 1-transmisión USB, interfaz de parámetros SSB en USB.	77
Ilustración 41. Practica 1-Recepción USB.....	78
Ilustración 42. Practica 1-Recepción USB, selección del dispositivo	78
Ilustración 43. Practica 1-Recepción USB, parámetros de modulación en LSB	79
Ilustración 44. Practica 1-Recepción USB, selección del demodulador.....	79
Ilustración 45. Practica 1-Recepción LSB, configuración de parámetros para USB demodulador.....	80
Ilustración 46. Practica 1-Recepción USB, opciones de eliminación de ruido.....	80
Ilustración 47. Practica 1- Resultados de transmisión USB.....	81
Ilustración 48. Practica 1-Resultados de recepción USB.....	81
Ilustración 49. Practica 2, transmisión en LSB, selección del dispositivo.....	82
Ilustración 50. Practica 2, transmisión en LSB, configuración de parámetros	82
Ilustración 51. Practica 2, transmisión en LSB, selección del modo de modulación	83
Ilustración 52. Practica 2, transmisión en LSB, configuración de parámetros para el modo LSB	83

Ilustración 53. Practica 2, recepcion en LSB	84
Ilustración 54. Practica 2, recepcion en LSB, seleccion de demodulador	84
Ilustración 55. Practica 2, recepcion en LSB, configuracion para demodulacion LSB	85
Ilustración 56. Practica 2, resultados de transmision en LSB	86
Ilustración 57. Practica 2, resultados de recepcion en LSB	86
Ilustración 58. Practica 3, transmision AM, seleccion de dispositivos	87
Ilustración 59. Practica 3, transmision AM, paramentos de configuracion	88
Ilustración 60. Practica 3, transmision AM, modo de modulacion	88
Ilustración 61. Practica 3, transmision AM paramentos de modulaci3n incluyendo que se desea transmitir	89
Ilustración 62. Practica 3, Recepcion AM, eleccion de equipos	89
Ilustración 63. Practica 3, recepcion AM, interfaz de configuracion.....	90
Ilustración 64. Practica 3, recepcion AM, opcion del demodualdor	90
Ilustración 65. Practica 3, recepcion AM, congiruracion de paramentos.....	91
Ilustración 66. Practica 3, resultados de transmision AM,	91
Ilustración 67. Practica 3, resultados de recepcion AM,	92
Ilustración 68. Practica 1: resultados de transmision SSB modo USB	93
Ilustración 69. Practica 1: resultados de recepcion SSB modo USB	94
Ilustración 70. Practica 2: resultados de transmision SSB modo LSB	95
Ilustración 71. Practica 2: resultados de recepcion SSB modo LSB.....	96
Ilustración 72. Practica 3: Resultados de transmision DSB-FC modo AM	97
Ilustración 73. Practica 3: Resultados de recepcion DSB-FC modo AM	98

Objetivos

Objetivo general

Analizar y desarrollar técnicas de laboratorio mediante modulaciones de Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC) y de Banda Lateral Única (SSB) en frecuencia HF, utilizando SDRAngel, con el objetivo de evaluar su rendimiento en términos de calidad de señal, ancho de banda, y resistencia a interferencias, empleando estos enfoques para mejorar entornos de telecomunicaciones.

Objetivos específicos

1. Implementar y configurar técnicas de modulación SSB y DSB-FC en SDRAngel utilizando el Hack RF One y el Portapack H2, evaluando las configuraciones y parámetros de transmisión para certificar una correcta generación y recepción de señales moduladas.
2. Realizar experimentos prácticos de recepción y transmisión de señales moduladas en radiofrecuencia empleando técnicas SSB y DSB-FC, determinando su desempeño en diferentes condiciones de operación.
3. Elaborar guías documentadas para estudiantes y docentes sobre el uso de SDRAngel y el Hack RF Portapack H2

Metodología

Este proyecto incluye:

- **Revisión bibliográfica y preparación**

En el siguiente apartado el autor es el encargado de revisar conceptos de suma importancia para la comprensión de las modulaciones SSB (USB - LSB) y modulación DSB-FC para que dichas pruebas sean correctas en su ejecución, de igual manera indagara programas para SDR que sea útiles y nos brinden el resultado que se espera en cada practica

- **Diseño y configuración**

Como siguiente item importante nos enfocaremos en el proceso de configuración para cada parámetro con el fin de adaptar cada una de las pruebas para cada modulación, demostrando el funcionamiento del hack dentro del programa que se usara, en este caso, SDRAngel debido a que cuenta con una interfaz muy didáctica.

- **Ejecución y evaluación de los experimentos prácticos**

En este proceso se ejecutarán las pruebas correspondientes a cada una de las modulaciones, las cuales son: SSB tanto para (USB - LSB) y la modulación DSB-FC, con el objetivo de evaluar y dar a conocer el comportamiento que tiene cada modulación, obteniendo consigo resultados dentro del programa que nos permita observar y obtener los mejores resultados.

CAPITULO I

1.1. Introducción

Las telecomunicaciones con el paso del tiempo han experimentado un notable crecimiento en las últimas décadas, debido a las bases tecnológicas digitales y de sistemas dentro de radiofrecuencia, SDR permite la implementación flexible y el estudio de modulaciones de una amplia gama de frecuencias, SDR es capaz de analizar diversas modulaciones mediante técnicas específicas con el objetivo de evaluar la calidad de señales y el ancho de banda permitiendo a quienes se encuentran en el mundo de la innovación modificar varias funciones dentro del hardware para optimizar el funcionamiento del software proporcionando aplicaciones de simulación y optimización para sistemas de radio, de esta manera dentro del campo educativo permite a los estudiantes desarrollar técnicas para mostrar sistemas de recepción y transmisión en tiempo real sin la necesidad de utilizar equipos de alta gama con precios de alto costo.

SDR dentro de sus aplicaciones nos permite realizar diseños y operaciones como técnicas de optimización del espectro, siendo esta, un aspecto positivo para la creación de bloques, debido a que pueden ser modificados y comparados ante nuevas tecnologías en el entorno de las telecomunicaciones, en este ámbito encontramos modulaciones de SSB, LSB y AM entre otras, estas son las más utilizadas por las características específicas que influyen en su desempeño.

La modulación SSB mantiene dos trayectorias, en ellas, modulaciones LSB (rango inferior) y modulaciones USB (rango superior) cada una actúa de manera diferente, dependiendo de las variables, obteniendo como resultados una mayor capacidad de transmisión dentro del limitado campo de espectro, ofreciendo consigo una mejor señal-ruido ideal para comunicación de distancias largas con bajas potencias, ya sea en radiocomunicaciones aeronáuticas o marítimas, Por otro lado, la modulación DSB-FC es un tipo de modulación en amplitud que tiende a conservar ambas bandas laterales y tiende a hacer una señal viable llegando a ser visualizadas y estudiadas mediante su eficiencia espectral.

El Portapack RF One h2 es muy conocido debido al gran alcance que tiene , con una interfaz didáctica y con aplicaciones que cumplen con los requisitos necesarios

para poder transmitir y receptor señales, cada una de las aplicaciones encontradas en el dispositivo cumplen un rol importante, por lo tanto se debe tomar en cuenta que hay aplicaciones que están desarrolladas solo para ciertos países, esto depende de la evolución de las tecnologías y el alcance que tienen para brindar mejores servicios.

Este trabajo tiene como objetivo principal el diseño de un entorno controlado para el análisis de la modulación SSB y DSB-FC en HF mediante SDR, utilizando el software SDRAngel, de esta manera se observaran los resultados de pruebas de modulación, tanto para SSB (LSB-USB) y AM, cada resultado se mostrara al final del proyecto y se visualizarán valores de potencia (actual, promedio, máxima, mínima, rango, desviación estándar y muestras), a su vez, este proyecto permite la simulación de sistemas comunicación, de esta manera, el estudiante basa su estudio de manera practica y didáctica innovando con pruebas y dando siempre a conocer el gran alcance que tienen potenciando sus capacidades de innovación técnica realizando pruebas de conocimiento para verificar o identificar modulaciones en distintos escenarios o con material agregado, de esta manera permitirá una comparación de pruebas mediante la metodología que ellos expongan, comparando resultados y como estudiantes mismos brindando conclusiones o recomendaciones a futuro.

1.1.1. Identificación del problema

Se considera que la falta de herramientas experimentales flexibles para la simulación y el análisis de estos sistemas, junto con la necesidad de mejorar la eficiencia espectral sin causar distorsión en el caso de que las antenas no sean las adecuadas, es necesario mantener un entorno controlado para comparar y optimizar estas técnicas de modulación en condiciones de prueba realistas, de esta manera el desarrollo de este proyecto justifica la optimización del uso de espectro radioeléctrico, de igual forma el interés de explorar nuevos métodos para la experimentación y la enseñanza en las telecomunicaciones

Es importante dar a conocer que puede existir una congestión del espectro y sería considerado como un problema, más aún, si son bandas de frecuencias que se encuentran limitadas como HF, a su vez la DBS-FC ocupan un ancho de banda en portadora y bandas laterales limitando una cantidad de canales, sin embargo, de ello también se puede evaluar la distancia que deben tener ambos hack mediante Fresnel, entre otros cálculos necesarios para usar una frecuencia capaz de cumplir con los objetivos del proyecto evaluando cada uno de los parámetros, por otro lado, SSB mejora en aspectos de eficiencia espectral requiriendo procesos de demodulación dando como resultado un mayor mantenimiento y a su vez una mayor complejidad

Tradicionalmente, el proceso de implementación de los sistemas de modulación utilizan hardware específicos, de esta manera, van generando y analizando señales, sin embargo, existe técnicas que actualmente han sido investigadas y desarrolladas pero pueden verse limitadas en diversas plataformas experimentales permitiendo un análisis por ello surge la implementación de SDR, el cual han permitido técnicas de modulación en diversos entornos controlados, sin embargo aunque dicha tecnología SDR ha ofrecido una gran flexibilidad sin precedentes, dentro de su implementación, si se presentan retos relacionados con la generación de señales, la calibración del dispositivo y la gestión de interferencia.

1.1.2. Justificación

La decisión de realizar pruebas en el Hack RF One, Portapack RF One h2 y el SDRAngel se da debido a la exposición de prácticas mediante la tecnología avanzada por SDR, puesto que existen ventajas operativas y técnicas que permiten a los dispositivos ofrecer un análisis de señales moduladas en el contexto de comunicaciones de alta frecuencia, mediante la versatilidad del equipo como del programa a usar, han dado a conocer una amplia frecuencia de operación, es decir, se ven expuestas desde frecuencias bajas hasta frecuencias de rango HF, siendo este un proceso para dar a conocer y aportar ideas dentro del mundo de las telecomunicaciones, todo bajo el respaldo de sus pruebas.

La capacidad que provee la personalización dentro de la adaptación del hack RF One y SDRAngel han permitido el uso de señales moduladas con el objetivo de extraer técnicas, a través, de métodos donde el uso de frecuencia y SDRAngel también cuenta con una excelente cobertura en el espectro de HF, proporcionando calidad de señal alta con excelente resolución especialmente en el rango de 24 MHz a 1.8 GHz, a su vez el uso del software en combinación con dispositivos han facilitado la implementación de nuevos algoritmos que se han personalizado en tiempo real, SDRAngel ha sido conocido por su alta sensibilidad y a su vez por su bajo nivel de ruido, manejando un rango dinámico amplio y una precisión completamente superior dentro de las mediciones haciendo un estudio más detallado para el evaluó de parámetros, estas prácticas han permitido el estudio de tasas de muestreo de 20 millones de muestras por segundo, esta capacidad busca la implementación de más equipos con el fin de avanzar estudios científicos, brindando un aporte o una solución para nuevas habilidades que mejore las posibilidades de mejorar o superar obstáculos, que tienden hacer prácticos o comunes requiriendo un alto nivel de tecnología en conjunto con el conocimiento para ofrecer a los estudiantes nuevas oportunidades de aprendizajes de pruebas o técnicas que sea necesarias para el desarrollo de su carrera, tomando en cuenta que el programa a usar es de suma importancia para evaluar incluso en tiempo real la

voz, y a su vez cuenta con un apartado de modulaciones en 3D para una mejor observación y por ende un mejor estudio del comportamiento.

1.1.3. Alcances

El objetivo de este proyecto es diseñar y analizar técnicas de modulaciones en sistemas de comunicaciones basados en alta frecuencia, mediante el diseño existirán pruebas donde implementen el Hack RF One, Portapack RF One y SDRAngel, cada uno de estos dispositivos cumple un rol importante, de esta manera, los resultados mostraran la comprobación de cada simulación, considerando factores como: condiciones de propagación e interferencias de ruido, en este proyecto se demostrarán pruebas para modulaciones y demodulaciones LSB , USB y AM, estas prácticas serán claras para el estudio de resultados para analizar los parámetros más comunes en pruebas de eficiencia y precisión bajo la configuración de señales moduladas, mediante la medición de impactos ante la calidad de transmisión, de esta manera se pueden proponer mejoras en los ajustes dentro de las técnicas que permitan la adaptación y el requerimiento de dispositivos de comunicaciones en HF.

1.2. Revisión bibliográfica

1.2.1. Radio definida por software

Sin duda alguna dentro del mundo de las telecomunicaciones existe un gran desarrollo y crecimiento continuo, el cual ha permitido al mundo despertar de una manera en el que la tecnología hoy en día es parte de su uso diario, ya sea para situaciones de salud, laboral, diversión o en lo que hoy se conoce como comunicación, dentro de todo este extenso conocimiento las telecomunicaciones han simbolizado una manera más de avanzar con el objetivo de mantener interacciones en la comunicación y que a su vez se encuentran acompañados de equipos o redes inalámbricas permitiendo consigo traer servicios a los usuarios, por lo tanto, estas tecnologías mantienen grandes velocidades con el fin de que todos seamos capaces de comunicarnos mediante redes, sin embargo existen dispositivos que han quedado obsoletos ante la gran demanda de producción y el avance tecnológico diario que invade a todos. [1]

Es importante dar a conocer que el surgimiento de la tecnología de SDR o Radio Definida por Software dentro de los últimos años ha sido parte del estudio desde las necesidades como profesionales de las comunicaciones, sin embargo en la actualidad, aun consideran que se debe tomar más en cuenta este tema y por ende hacen toda la cordial invitación a los estudiantes de ingeniería para que se unan a

este mundo y si existen dudas sean ellos mismos quienes desarrollen ideas de explicación para que de ello surjan grandes ideas.

Desde los inicios de la radio, mediante el medio de enlaces en la actualidad siempre han existido mejoras en entornos de diseños electrónicos, a su vez estas han brindado un manejo de circuitos que han sido elaborados, con el fin de recibir y transmitir, dichos avances tecnológicos siempre han sido observados en dispositivos físicos dando forma y vida a un equipo de radio, estos conceptos han cambiado de manera radical debido a que Joseph Mitola en los años 1990, dedicó su tiempo en investigaciones de elaboración de sistemas que a su vez, estas no tuvieran la dependencia del hardware, por ende, fueron reemplazadas a lo largo del tiempo con acciones por un ordenador, a partir de allí, se le da inicio a un nuevo concepto en radio. [2]

La SDR o radio definida por software es una de las mayores innovaciones tecnológicas que se han estado estudiando durante 20 años, si bien esto empezó como una aplicación, sin embargo, actualmente todas las radios que son usadas para pruebas avanzadas manejan diagrama de bloques de SDR, por lo tanto, esto trae consigo el planteamiento de señales analógicas y digitales, por ende, se visualizan en frecuencia de reloj, es decir, se convierten en muestras a frecuencia del reloj y se digitalizan (se transforman en valores numéricos). [3]

1.2.2. Arquitectura definida por software

Para comprender de mejor manera el sistema dentro de su arquitectura de los SDRs, es primordial dar a conocer primero las diferencias que existen entre los SDR considerados ideales (SR) y los SDR prácticos, por ende, los SDR ideales o también SR definidos por software, dispersos sobre procesadores mantienen un propósito general, que engloba cada uno de los aspectos dentro de las cadenas de recepción y transmisión para cada modulación y demodulación que pasan por un filtro y una selección de bandas para cada una de las frecuencias. [4]

El requerimiento que parte del hardware como plataforma han excedido especificaciones actuales por parte de los procesadores ante el propósito general, por ende en aplicaciones que son de alta frecuencia y a su vez de esquemas con un rango de modulación compleja, por otro lado, los SDR prácticos, son basados en limitaciones que parte de procesadores actuales, se definen como radio de multibanda, tiene la capacidad de llegar a soportar varios interfaces o protocolos, usando una apropiada mezcla para circuitos que cumplan con lo obtenido, incluido arreglos de compuertas que estén programadas, microprocesadores y procesadores digitales de señales, por lo tanto, la diferencia que existe entre ambas arquitecturas se muestran en la ilustración 1. En múltiples procesamientos de señales analógicas es recomendable realizar conversiones entre bandas que acompañan altas frecuencias

de transmisión incluidos bloques la mejorar la eficiencia en el estudio de la capa física. [5]

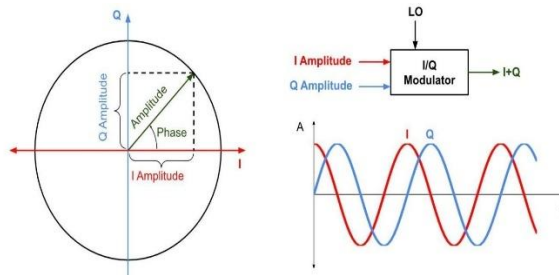


Ilustración 1. Arquitectura definida

Fuente: [5]

1.2.3. Aplicación de la filosofía en radio definida por software

El estudio que complementa la radio definida por software se acompaña mediante la integración de circuitos ASIC, estos circuitos mantienen un bajo consumo energético, sin embargo, mantiene una función fija, por ello también encontramos los circuitos DSP, estos circuitos son completamente programables, pero pueden tener ciertas limitaciones en cuanto a velocidad, pero con un alto precio.

Por ende, el desarrollo de técnicas de radio definido por software nos presenta aquella posibilidad de tener que sustituir los ASICs por los DPSs a través del desarrollando de herramientas basadas en protocolos y librerías para una programación eficiente. [6]

1.2.3.1. Evolución en tecnologías SDR

Los SDR han tenido un avance, puesto que se han adaptado gracias a la tecnología, sin embargo, esta evolución también ha implicado nuevos desafíos de seguridad, siendo crucial la gestión de claves criptográficas centrándose en tres aspectos claves de seguridad.

Arquitectura: en este aspecto el sistema se ha diseñado en el hardware proporcionando soluciones flexibles a nivel del software

- Versatilidad: Se ha incrementado la capacidad de adaptación a nuevos protocolos de comunicación
- Desafío de seguridad: enfrenta nuevas amenazas relacionadas con la gestión de claves y el análisis de vulnerabilidades.

1.2.3.2. Principios básicos de seguridad del SDR

La seguridad en un SDR es un aspecto muy importante, debido a que de ellos parte el funcionamiento de protocolos dentro de la comunicación, para garantizar un funcionamiento fiable a largo plazo, se consideran los siguientes aspectos.

- **Confidencialidad:** esta impide que varias personas no autoricen o escuchen conversaciones y se logra mediante el cifrado de información, el cual solo quienes posean pueden acceder al contenido del mensaje.
- **Integridad de datos:** Esto permite que dicha integridad no sea modificada durante el proceso de transmisión, y a su vez usan códigos de integridad y formas de digitalización para verificar entre ellos mismos
- **Autenticación de usuarios:** este proceso emplea sistemas de autenticación multifactorial, en este proceso se incluyen contraseñas, tokens y biometría para confirmar la identificación del usuario

1.2.3.3. Protocolos de cifrado en SDR

Es importante prevenir accesos que no han sido autorizados, debido a la garantía de la privacidad de datos los protocolos AES, ECC Y RSA han proporcionado un alto nivel de seguridad conforme a las normativas aplicables en SDR. [7]

Los protocolos dependen del cifrado y la seguridad que cada parámetro ofrece, en seguridad y resguardo de datos con el fin de garantizar la transmisión segura y responsable de los datos.

- AES (Advanced Encryption Standard): es un algoritmo que parte del cifrado simétrico y es utilizado en aplicaciones para asegurar las comunicaciones mediante la encriptación.
- RSA y ECC: son algoritmos de clave pública que permiten sesiones cifradas y aplican firmas digitales en mensajes. [8]

1.2.3.4. Normas de la industria para SDR

Norma	Descripción	Aplicación en SDR
IEEE P1900.5	Estándares basados en políticas y arquitecturas del software que contemplan sistemas de radio de configurabilidad	Establece pautas para un proceso de implementación de seguridad en SDR

ETSI TS 103 562	Especificaciones de tecnicismos para el uso del SDR en aplicaciones de seguridad o militancia	Requisitos de cumplimiento bajo seguridad normativa en entorno crítico para SDR
ARIB STD-T104	Este estándar es usado en Japón para radio definida por software	Regula el uso del SDR en el país, en ellos se incluyen métodos de seguridad

Tabla 1: Normas y aplicaciones en SDR

Las normas y protocolos al momento de transmitir y recibir mediante aplicaciones son pautas que deben ser consideradas, debido a estrategias y normativas que mantiene cada país, con el fin de no perjudicar pruebas expuestas para ambientes laborales, por lo tanto, el uso de cada modulación se basa mediante conceptos básicos ante frecuencias de transmisión y referencias ante una diminuta banda contigua, esta a su vez transmitirá de manera simultánea, ya sea ante el uso de un audio o micrófono para pruebas de audio y voz. [10]

1.2.4. Modulaciones SSB

Banda lateral única es una derivada de la modulación de amplitud, AM, esto sucede al momento de eliminar ciertos componentes de la señal AM que son consideradas ordinarias mejorando de manera efectiva su eficiencia, en el programa a usar SDRAngel es permitido realizar esta modulación, tal cual como se muestra en la ilustración 2, siempre y cuando debemos tomar en cuenta cada uno de los parámetros del programa para que se cumpla con la práctica.

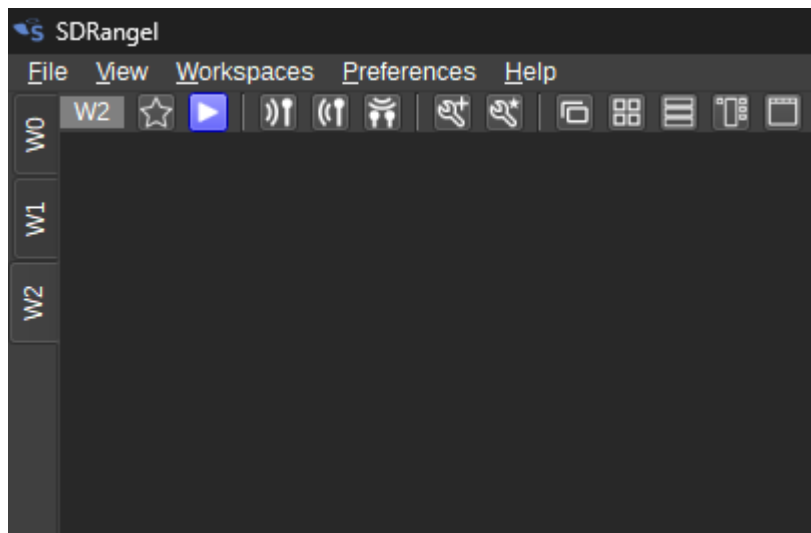


Ilustración 2. SDRAngel apertura y directriz

Fuente: autor

La modulación de banda lateral única, es capaz de mejorar la eficacia de la transmisión esto sucede al momento en que se deben eliminar varios elementos que no son necesarios en primero lugar de debe retirar el portador, tomando en cuenta que este se puede volver a integrar en la parte del receptor y como segundo punto, se debe extraer una banda lateral, por ende ambas bandas laterales se pueden ver es imagen espejo, una con la otra y trayendo consigo la misma información. [11]

1.2.5. Receptor SSB

En el caso de ejemplos de prácticas demoduladas cada una mantiene un nivel de complejidad, dependiendo de las prácticas, como la modulación SSB ha eliminado el portador, esto necesita ser reintroducido en el receptor para poder reconstituir el audio original, en el caso de demodular señales mediante el programa SDRAngel, este nos muestra variables entre ellas: el oscilador de frecuencia, su objetivo dentro del programa es corregir errores, y parámetros dependerá de lo preciso que sea la pieza de cristal dentro de los dispositivos, debido a que puede existir un margen de contraste, sin embargo puede ser modificada, otra variable que se modificara es LNA también conocido como amplificador de bajo ruido, este nos permitirá amplificar señales débiles para poder captar de manera clara y obtener resultados favorables. [12]

Por lo general, el propio detector SSB utiliza una opción de porcentaje, permitiendo conocer el nivel de modulación optimizando señales al 100% dependiendo de la amplificación y las variables BBF (filtro de frecuencia) que acompaña valores dentro del programa desde 1.75M a 5.000M, mientras más elevado es el valor, más estrecho será la señal. [13]

1.2.6. Medición de potencia de banda lateral única

Dentro del programa SDRAngel encontraremos como resultados el valor de potencia actual, promedio, máxima y mínima cada uno de estos valores indican resultados favorables de las prácticas para ello, en el caso de práctica para voz en tiempo real se considera que el valor promedio y actual deben asimilarse pues esta afirmación indica que la señal es estable en salida y entrada y el valor al ser una señal continua, la potencia máxima y mínima expresa la entrada y salida del audio, es decir, lo claro y estable que son las muestras de voz y el pico más alto que llega alcanzar para voz en tiempo real.

1.2.6.1. Variantes de modulación de banda lateral única

Existen varias modulaciones de banda lateral única, estas se explicarán a continuación.

- *LSB*: Conocida como banda lateral inferior, esta se visualiza en el momento de transmisión, cuando la señal es expuesta de la banda original, estas pruebas son muy comunes en prácticas de radioaficionados y su frecuencia es debajo de 9MHz.
- *USB*: Conocida como banda lateral superior, se da mediante la transmisión de su misma banda lateral, pero desde la señal original, es utilizada para aplicaciones de uso profesional por encima de 9MHz. [15]
- *DSB*: Banda lateral doble que parte de una señal AM y hace el retiro de una banda portadora con el objetivo de mostrar ambas bandas, es más, una modulación de comportamiento debido a que no siempre llega a mejorarse por la eficiencia del espectro.
- *SSB SC*: También conocida como portadora suprimida, permite eliminar la banda que se observa en una portadora reducida.
- *VSB*: Es conocida como banda lateral vestigial, esta banda se encuentra presente ante otra banda lateral debido a que se encuentra suprimida.
- *Soporte reducido SSB*: En esta forma de modulación SSB, una banda lateral está presente junto con una pequeña cantidad del portador.

En la ilustración 3 Se dará a conocer el ítem u opción de prueba que nos arroja el programa SDRAngel para las pruebas de modulaciones tanto para LSB y USB el cual hace la diferencia en el nivel superior e inferior de las gráficas que será arrojadas al final de las pruebas como resultados

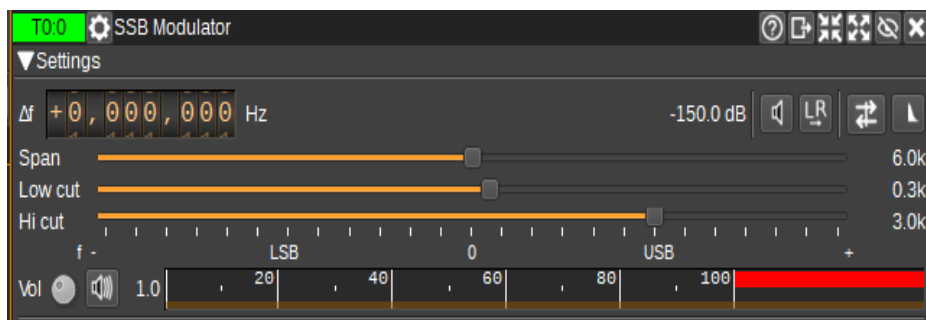


Ilustración 3. Modos de modulación (LSB-USB)

Fuente: Autor

1.2.7. Modulación Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC)

Se puede visualizar como una modulación de amplitud, debido a la técnica y el uso que tiene ante una señal portadora de frecuencia, por ende, es considerada como una de las modulaciones más comunes y de práctica sencilla el cual es bastante útil en sistemas de radiodifusión AM. Esta modulación es calificada como una modulación AM debido a la amplitud de la onda portadora, el cual tiende a cambiar una señal moduladora, mientras que, valores como la fase y la frecuencia permanecen constantes, dicha portadora es capaz de facilitar su demodulación para prácticas receptoras, debido a que puede ser utilizado con un diodo o detector envolvente, este medio nos permitirá recuperar la señal en orden original sin tener que sincronizar el valor de fase. [16]

Sin embargo, es importante conocer que, en aspectos de eficiencia y uso de espectros, existe una mayor parte de potencia centrada en la portadora, y a veces no siempre tienden a transmitir información útil, sin embargo, a pesar de esta desventaja hay que reconocer que es compatible y sencilla ante receptores de uso básico y, por lo tanto, han permitido el uso durante varios años para transmisiones de radios y sistemas analógicos en la comunicación.

La señal DSB-FC en AM es popular ante sistemas tradicionales, partiendo desde el proceso de mantener la portadora de manera completa hasta mantener su recepción de forma sincronizada extrayendo excelente información sin necesidad de procesos tediosos, reduciendo la complejidad para los equipos que transmite y recibe. [17]

1.2.8. Recepción de modulación Banda Lateral Doble con Portadora Completa (DSB-FC)

Este método de recepción es basado ante variaciones en el parámetro de la amplitud debido a la portadora transmitida, por lo tanto el proceso de demodulación es completamente sencillo y puede ser practicado de igual forma mediante un detector de envolvente extrayendo consigo información de importancia para tener claro la señal que se receptara, para una recepción tenga método de eficiencia, se considera necesario que se mantenga una amplitud suficiente para llegar al receptor de una manera clara y con calidad de recepción, aunque no siempre sea la práctica más eficiente entre los términos de potencia y energía. [18]

El receptor es usado en circuitos detectores debido a que, responden a cambios en amplitud ante una señal recibida, siendo esta nueva en el proceso de transmisión, por esta razón este método no requiere de sincronización compleja, debido a la simplicidad del manejo de equipos y los parámetros base para que sea más claro su práctica, e incluso muchas veces se tienden a simplificar diseños de los equipos y

mejor se permite el uso en sistemas comerciales, sin embargo la señal recibida puede llegar a verse afectada por el ruido y la interferencia, debido a que las modulaciones de amplitud son muy propensas a la sensibilidad y a variaciones de potencia ante condiciones de comunicación. [19]

1.2.9. Audio

El audio es considerado como una modulación de sonido permitiendo transmitir información en ella, el audio muestra pruebas mediante diferentes medios de comunicaciones entre ellos: la radio, las redes telefónicas y la televisión, a su vez se aplican para métodos de combinación de señales que contienen información para transmitir, de esta combinación nace una señal modulada el cual nos permite ser el medio de transmisión para un cable o una antena , por ende a su vez este se encuentra acompañado de un receptor de señales, el cual permite el uso de técnicas de recepción con el fin de extraer y guardar señales que puede ser reproducidos por sonidos. [20]

A su vez también de ello se considera que un audio es una señal completamente analógica, por lo tanto, en el ámbito eléctrico, esto equivale a lo que se conoce como: señal sonora, dicha señal se encuentre entre 20 y 20.000Hz, por lo tanto, es el rango que una persona puede aun oír

1.2.9.1. Audio digital

Cuando se habla de audio digital, se hace énfasis a aquella señal eléctrica analógica ,el cual es la encargada de dar a conocer una onda sonora pero en codificación digital , dicho formato es WAV, y es presente en totalidad para la información resultante, estos audios pueden llegar a ser comprimidos mediante un formato MP3, comprimiendo ciertos datos, por ende el formato que comparten dichos audios es basada en tecnologías de transmisión que ocasionan en ciertos aspectos complicaciones, debido a que a veces deben prestar atención en el proceso de compra de equipos como: adaptadores y conversores. [21]

1.2.9.2. Código morse

El código morse es un modo de comunicación que se encuentra presente desde épocas remotas con el fin de entablar conversaciones a largas distancias, este mensaje se ve representados mediante caracteres (rayas y puntos) cada símbolo indica una palabra, consonante o letra, a su vez esta acompañado de sonidos para personas que tengan discapacidad visual, este medio de comunicación se ha planteado desde el año 1791, donde fue estudiado por Samuel Morse y hoy en día sigue siendo usado para prácticas de estudio. [22]

1.2.10. Parámetros de simulación

- **Frecuencia de transmisión**

El uso de frecuencias dependerá del alcance de las antenas y el cálculo matemático de la distancia de los dispositivos, de esta manera, cada una de las frecuencias será un complemento fundamental para ser parte de un espectro electromagnético, loas frecuencias se miden en Hertz (Hz) indicando la cantidad de ciclos por segundo que completan las ondas.

- **Oscilador local**

Un oscilador electrónico es utilizado para generar una o varias señales dependiendo del objetivo que tiene cada señal de convertir una onda o el interés hacia un valor de frecuencia que se desea mezclar, dicho proceso se conoce como: heterodino, este produce un batido y es asociado con una banda lateral menor. Dichos osciladores se usan para métodos de recepción, sobre todo en circuitos de radio entre ellos controles de módems y decodificadores, entre otros. [23]

- **Ganancia**

El cálculo de la ganancia dentro de un circuito es importante para llegar a entender el comportamiento que tiene la señal ante los amplificadores, dicha ganancia es definida como la relación que existe entre la señal de entrada y la señal de salida, su término es expresado en decibelios dB.

- **Tasa de muestreo**

También conocido como frecuencia de muestre es el valor de muestras que por unidad de tiempo se tienden a tomar por parte de una señal continua de esta manera se llega a producir una señal completamente discreta, y de esta manera es probable la conversión de una señal analógica a digital.

- **VGA (Ganancia de amplificación variable)**

Un amplificador de ganancia variable, como su palabra mismo lo indica tiende a variar enfoques de ganancia de voltaje, este amplificador es controlado digitalmente ante el proceso de graduar un sistema escalonada que hacen del circuito un diseño para la selección de ganancias. [24]

1.2.12. Comparación de criterios para modulaciones SSB y DSB-FC

SSB	DSB-FC	
Usa solo una banda lateral (3 kHz para voz)	Debe implementar ambas bandas laterales (6 kHz para voz)	Consumo de ancho de banda
concentra toda la potencia en una sola banda	Destina parte de la potencia a una portadora que no sea útil	Potencia
Requiere de parámetros de LO ppm para corregir errores.	Mantiene una detección envolvente	Complejidad de receptor
Se transmite la información completa	Existe un desperdicio de energía y produce información fuera del rango	eficiencia energética
Excelente relación de señal/ruido	Susceptible al ruido debido al ancho de banda	Resistencia al ruido
Pruebas a largas distancias (marítimas, aéreas)	Radiodifusión comercial AM	Aplicaciones comunes

Tabla 2: Criterios de modulación SSB-DSB-FC

1.3. Herramientas tecnológicas utilizadas

A continuación, daremos a conocer las herramientas que se han empleado para realizar las respectivas prácticas de modulación y demodulación.

1.3.1. Software de SDR

El Hack RF One es un dispositivo muy llamativo dentro de quienes están en el mundo de las telecomunicaciones, y muchos quedan sorprendidos con la capacidad que tiene al cumplir con las expectativas de las prácticas, el término SDR significa “software defined radio” y como su significado mismo lo indica es utilizado para la comunicación de radio a través de la extracción de señales que pueden ser

moduladas y demoduladas, siempre indicando que para la implementación de estos aparatos es importante revisar protocolos de radio y seguridad, la mayoría de Hack o Portapack en modo Hack RF One maneja un rango de frecuencias de 1Mhz a 6Ghz, y para su mayor comprensión o uso es necesario de programas que permitan mostrar las señales a través del computador, entre los programas más comunes para su uso son: GNU radio , SDRangel, Airspy, entre otros, sin embargo es importante investigar cada uno de estos programas dependiendo de cuales sean las prácticas de estudio y hasta qué punto de la investigación se desea llegar sin errores, debido a que cada uno de estos programas maneja entornos o bloques de configuraciones distintas. [25]

Es importante que el software que se escoge sea compatible con los Hacks debido a que hay programas con interfaz de configuración el cual muchas veces no reconoces estos dispositivos, debido a los estándares de modulación y por ende es conveniente empezar por la instalación de drivers que permitan el uso del Hack en el computador.

1.3.1.1. SDRAngel

Es un software de código abierto que permite realizar modulaciones y demodulaciones mediante una interfaz práctica, este programa permite el evaluó de variables con el objetivo de captar señales de audio, voz (tiempo real) y código morse para verificar que los dispositivos que complementan dichas pruebas como los hacks cumplen con su aplicación.

Este software nos permite modular y demodular señales dependiendo de lo que se desea ejecutar, ya sea mediante código morse, audio o tonos. SDRAngel es muy utilizado debido a que es muy práctico y didáctico, puesto que nos brinda opciones rápidas y sencillas capaces de entender a primera impresión como las modulaciones más comunes como: AM, FM, SSB entre otras, muestras parámetros diferentes requiriendo una visualización de resultados para ver favorable el resultado de ejecución. [26]

SDRAngel es utilizado para complementos de origen que parte de muestras o recopilación de I/Q que surgen desde un dispositivos de hardware, para ello encontramos opciones de complementos para canales de recepción (demodulador y decodificador) con el objetivo de analizar espectros, gracias al interfaz práctico que tiene es fácil el evaluó de modulaciones, debido a las gráficas dadas en 3D, el cual nos sirve para conocer el comportamiento de ello, por otro lado, SDRAngel tiene cuenta con la capacidad de usar plugins de sumidero de igual forma para muestras, con el fin de enviar muestras I/Q, de igual forma para un dispositivo de hardware, y para la transmisión de diversos canales el cual pueden ser mezcladas en bandas con un rango de interpolación, su interfaz se encuentra organizada mediante

espacios de trabajo, tal y como se muestra en la ilustración 4 es decir , cuenta con pantallas pequeñas, en el cual cada pantalla cumple con una función, ya sea en la instauración de parámetros, en el comportamiento de la onda, o en el evaluó de datos que se intercalan para obtener mejor resultados.

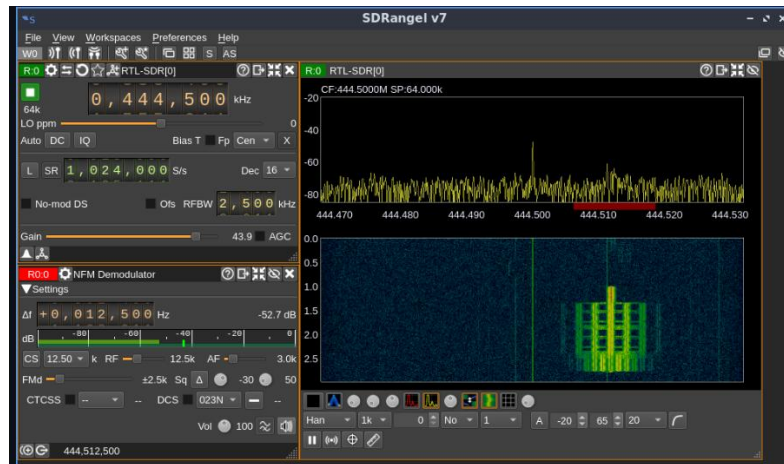


Ilustración 4. Interfaz de SDRAngel

Fuente: [27]

1.3.1.2. Instalación del software

Empezaremos descargando el link que se encuentra en una página de GitHub, en dicho enlace se encuentra las carpetas de proyectos y el archivo.exe, donde se encuentra todas las herramientas necesarias para hacer uso completo del programa, a continuación, se adjunta el link de descarga, esta página es considerada segura para adquirir información <https://github.com/f4exb/SDRAngel/releases>

En el apartado de abajo del link encontraremos archivos 8 archivos, en terminaciones de dmg, deb , exe y zip, el archivo donde se encuentra el programa es el siguiente: [sdrangel-7.22.6-win64.exe](#) , en la **ilustración 5** se muestran todas las opciones en caso de necesitar guías o proyectos.

 sdrangel-7.22.6-win64.exe	213 MB	Feb 2
 sdrangel-7.22.6_mac-13.7.2_x86_64.dmg	332 MB	Feb 2
 sdrangel-7.22.6_mac-14.7.2_arm64.dmg	316 MB	Feb 3
 sdrangel_7.22.6_amd64.snap	290 MB	Feb 2
 sdrangel_7.22.6_ubuntu-22.04_amd64.deb	35,5 MB	Feb 2
 sdrangel_7.22.6_ubuntu-24.04_amd64.deb	35,5 MB	Feb 2
 Source code (zip)		Feb 2
 Source code (tar.gz)		Feb 2

Ilustración 5. Archivos de descarga

Fuente: autor

Se da clic derecho para ejecutarlo como administrador y empieza el proceso de instalación. Para ello en la siguiente ilustración 6 se da a conocer la bienvenida del programa, acción: **siguiente**



Ilustración 6. Bienvenida de SDRAngel

Fuente: autor

En la siguiente ilustración 7 Se muestran los acuerdos de licencia, acción: **aceptar**



Ilustración 7. Licencias de SDRAngel

Fuente: autor

A continuación, en la siguiente ilustración 8 se da a conocer como es recomendable la instalación del programa para que este sea completo, acción: no agregue SDRAngel al parche del sistema



Ilustración 8. Patch de los programas de SDRAngel

Fuente: autor

Para ellos para culminar encontraremos se muestra la ubicación del programa y las aplicaciones que nos brinda, finalizando con el ítem de instalar, tal y como se muestra en la ilustración 9.



Ilustración 9. culminación de instalación

Fuente: autor

1.3.2. Portapack Hack RF One H2

El Portapack es un complemento para el uso de plataformas como SDR (Radio Definida por Software, este trae una pantalla táctil y cuenta con botones giratorios, este dispositivo trae agregado aplicaciones de transmisión y recepción, incluyendo el modo hack, el cual será utilizado para estas prácticas, este dispositivos mantiene la versión de Mayhemn y a su vez cada una fue creada por parte de diferentes fábricas, con distintas características, ya sea el tamaño de las pantallas o la

capacidad de carga incluyendo precios. Existen otros dispositivos sin embargo no siempre cuentan con versiones actuales, por ende, no lo hace compatible al momento de realizar pruebas, sin embargo, el uso del hardware es fundamental para que sea utilizado mediante un programa. [28]

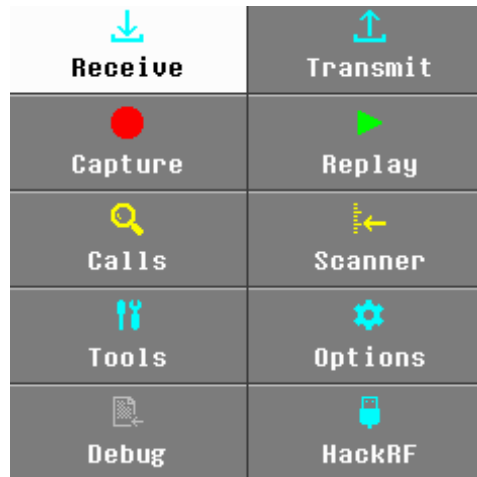


Ilustración 10. Interfaz del Portapack H2

Fuente: autor

1.3.2.1. Requisitos de instalación

Para la instalación del Portapack es primordial como primer punto tener nuestra porta pack en modo hack tal y como se muestra en la ilustración 11 de esta manera el Portapack solo cumplirá acciones como un hack normal



Ilustración 11. Icono (modo Hack)

Fuente: autor

Para ello también es importante instalar drivers de uso para que tanto el computador como el hack mantenga una compatibilidad y el hack sea reconocido como un dispositivo normal de entrada, para ello se instaló Zadig, tal y como se muestra en la ilustración 12, los drivers de instalaciones dependerán del modelo de equipo o lo que se desea conectar al computador. [29]

Zadig es una aplicación de Windows el cual permite la instalación de controladores, ya sean e USB genéricos, como libusbk o winUSB, de esta manera se pueden acceder a dispositivos que mantengan una conexión de puertos USB

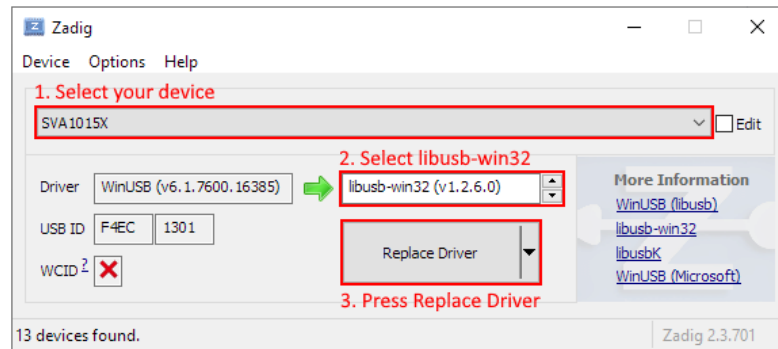


Ilustración 12. instalación de Zadig

Fuente: autor

1.3.2.2. Instalación de herramientas

Zadig no siempre incluye todas las capetas necesarias que complementan dicho programa, sin embargo existen complementos que amplían su funcionalidad, entre ellas se encuentran: Pothos SDR este complemento de driver es considerado como una suite que parte del desarrollo del hardware para radio definida por software y mantiene herramientas para el uso del Portapack en modo hack tal, estos drivers se encuentran pre-compilados para Windows, a continuación se adjunta el enlace de descarga [Downloads · pothosware/PothosCore Wiki · GitHub](#)

1.3.2.3. Características del dispositivo Portapack Hack RF One H2

El Portapack h2 para el hack RF One es un dispositivo SDR autónomo y para manejo de código abierto, el firmware MAYHEM que maneja proporciona funciones de gran nivel para prácticas entre ellas son: Jamming, ADS-B/AIS, Key-Fob, entre otros, este considerado como una carcasa de complemento ABS que se encuentra moldeado y montado sin la necesidad de tener un hardware o cables de soldadura, a continuación, se muestra en la ilustración 13, el dispositivo Portapack RF One H2.



Ilustración 13. Dispositivo Portapack

Fuente: autor

- Transceptor: half – dúplex
- Resolución: 8bits
- Frecuencias de muestreo: 2 a 20 msp/s
- Potencia máxima para tx:

10 a 2150 MHz: 5 a 15dBm, aumentando a medida que va disminuyendo la frecuencia

2150 a 2750 MHz: 13 a 15 dBm

2750 a 4000MHz: 0 a 5dBm, aumentando a medida que vaya reduciendo la frecuencia

4000 a 6000MHz: -10 a 0 dBm, aumentando a medida que disminuya la frecuencia

- Potencia máxima de Rx: -5 dBm, superar los -5dBm pueden existir daños, acepta hasta 10 dBm con seguridad ante el amplificador de recepción que este frontal pero que se encuentre inactivo.
- Onda de cuadratura de 10 MHz es decir (0v a 3v para una impedancia de carga alta)
- Frecuencia de operación: 1MHz a 6MHz por ende puede enviar y recibir señales de cualquier fuente.
- Conector de audio de 0.138 in
- Diseño compacto y portátil
- Auriculares/micrófono
- Antena conectora es un *SMA hembra*

- LED de estado del riel de 3,3 V
- Ranura para tarjeta MicroSD

1.3.3. Hack RF One

El Hack RF One es considerado como parte de un radio definido por software, permite enviar y recibir señales, este dispositivo maneja una frecuencia de 1MHz a 6GHz, es estudiado mediante el uso de código abierto y puede ser utilizado a través de programas de forma independiente o en puertos USB del computador, a continuación, en la ilustración 14 se muestra el diseño compacto del equipo. [30]



Ilustración 14. Dispositivo Hack RF One

Fuente: autor

1.3.3.1. Características del Hack RF One

- Transceptor semidúplex
- Maneja hasta 20 millones de muestras por segundo
- Frecuencia de 1MHz a 6GHz
- Cuadratura de 8 bits
- Compatibilidad con programas como: SDRAngel, Airspy, GNU Radio entre otros
- Alimentación de puerto de antena
- Alimentación por USB
- Código abierto
- Entrada y salida de reloj hembra SMA para que mantenga una sincronización

1.4. Conexión y compatibilidad (Portapack RF One H2 y Hack RF One)

En la tabla 3 se da muestra las recomendaciones que deben tomar en cuenta al momento de conectar los equipos, y compatibilidad de las antenas para receptor y transmitir las señales de manera correcta.

Elemento	Compatibilidad	Detalles / recomendaciones
Conexión física	Compatible	El Portapack H2 se conecta directamente al GPIO del Hack RF One.
Voltaje / Alimentación	Compatible	El Portapack adquiere energía de manera directa del Hack RF.
Hack RF original (Great Scott)	Compatible	Requiere de firmware compatible: Mayhem o Havoc
Antena externa	Requiere de la antena conectada al hack RF One	Ambas cuentan con antenas

Tabla 3: Compatibilidad (hack RF One -Portapack H2)

CAPITULO II

DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ENTORNO

2.1. Diseño del sistema

El diseño del sistema se ve estudiado mediante el alcance de las antenas que tienen tanto los dispositivos a usar como son: Hack RF One y Porta pack RF One H2, es un diseño sencillo debido a la implementación de los equipos, al ser solo Hack que se encontraran conectados a dos computadoras, sin embargo, es importante evaluar o verificar cada descripción de prueba para considerar que las respuestas y la compatibilidad será la opción clave para su evaluación mediante SDRAngel.

2.2. Fase de preparación del entorno en SDRAngel

A continuación, en la ilustración 29 se dará a conocer la preparación de los equipos para la integración de los dispositivos dentro del entorno.

2.2.1. Parámetros de entrada del Hack RF One H2

Para el funcionamiento que contempla el sistema SDR, ante una gran medida de configuración de parámetros permitirá determinar el proceso de captación y tramo de señales de radiofrecuencia que opera el equipo, a continuación, se explican los parámetros, que deben ser considerados para los equipos

1. Frecuencia de trabajo

- Mantiene un rango de 1 MHz a 6 GHz.
- Manejo de frecuencias de banda HF (3MHz a 30MHz)

2. Ancho de banda

- El ancho de banda es de hasta 20 MHz
- Tomar en cuenta la configuración típica en HF: 2.5 MHz
- Definir parte de la resolución espectral

3. Ganancia de recepción (RX Gain)

- Configuración manual del rango de 0 a 40 dB

4. Modo de modulación

- Modulaciones disponibles en el Portapack: NFM, AM, WFM, LSB, CW, USB entre otros

- Modulaciones para esta práctica
 USB y LSB = señales SSB.
 AM = señal DSB-FC.

2.2.2. Parámetros de salida del Hack RD One H2

A continuación, se explicarán los parámetros de configuración precisa, a través de un rango de frecuencia dentro del permitido, por lo tanto, se deben tomar en cuenta las técnicas ajuste del sistema

1. Frecuencia de transmisión

- Mantener un rango de salida de 1MHz a 6MHz
- Para la práctica se deben tomar en cuenta frecuencias entre 3MHz y 30MHz, de esta manera se llega a simular bajo condiciones reales en bandas de HF

2. Potencia de salida (TX Power)

- Debe mantener un rango típico de alrededor de +10 dBm (10 mW), sin embargo, este puede variar dependiendo de las condiciones
- Es importante conocer que, aunque se mantenga una potencia baja, es completamente suficiente ante pruebas a través de entornos controlados

3. Tipo de modulación

Formatos en transmisión que soporta el sistema:

- AM (DSB-FC)
- USB / LSB (SSB)
- CW
- FM

4. Ancho de banda transmitido

Valores estimados:

- AM (DSB-FC): entre 15 y 500 kHz.
- SSB (USB/LSB): aproximadamente 2.5 – 30 kHz.

5. Ganancia de transmisión (TX VGA Gain)

- Configuración vía software
- El rango dependerá de la herramienta que empleará dependiendo del software

2.2.3. Parámetros del Hack RF One

1. Ancho de banda

Frecuencia de 1 MHz a 6GHz

2. Tasa de muestreo

Máxima de 20 MSPS

3. Modo de operación

Es half dúplex, es decir, el dispositivo transmite o recibe, pero no al mismo tiempo

4. Modulación de señales

FM, AM, SSB, ADS-B etc.

5. Potencia de transmisión

Tiene una potencia de hasta +15 dBm (dependiendo de la frecuencia a evaluar).

2.3. importancia de las modulaciones en comunicación

La importancia del estudio de las modulaciones en la comunicación, parte de la adaptación de señales entre ellas: voz, video, audio) con el fin de que sean transmitidas de manera exacta mediante diferentes medios como lo son; ondas de radio, fibra o cable.

Entre los principales aspectos de la modulación, surge de la reducción de interferencias, debido que, al modular las señales en varias frecuencias, se hace posible transmitir las señales a través de distintas frecuencias, por eso posee una transmisión simultánea que pueden ser mezcladas y se interfieren entre sí, por ende, el principio de los fundamentos dentro de un sistema espectral. Las modulaciones tienden hacer optimizadas en el uso del espectro mediante las frecuencias y los recursos, dependiendo de las diferentes técnicas entre ellas: FDM (multiplexación por división de frecuencia, esta a su vez, permite que varias señales se comportan dentro del mismo espacio dependiendo de las bandas asignadas, siendo crucial en aplicaciones modernas como el uso de redes y sistemas satelitales. [31]

También se permite el uso de codificaciones con el fin de proteger la información que se ha transmitido, siendo vital para quienes estudiando los sistemas de comunicaciones críticos como lo son el estudio de pruebas de aviación, entre otras.

Finalmente, las modulaciones han sido parte de un estudio para el comportamiento de un sistema de comunicaciones, destacando que cada modulación cumple con su función y en ellos encontramos: modulaciones de amplitud AM, el cual es usada

para la radiodifusión, debido a que es simple y práctica al momento de transmitir audio, modulaciones en frecuencia FM que se adaptan a técnicas con el fin de mejorar la calidad en aspectos de señal/ruido.

2.4. Modulación SSB

Existen transmisores de radio que tienden a funcionar como una señal de RF mediante una frecuencia específica, en los transmisores AM, esta señal suele mantener un puesto en un RF final , por ende, es menos común y a su vez es menos eficiente hacer técnicas de mezcla a bajas potencias, cabe recalcar que cualquiera de estas técnicas es capaz de producir un conjunto de señales débiles , el cual se extienden por debajo y encima de la frecuencia portadora , dentro la frecuencia máxima de entrada , por lo tanto, así la señal de resultado mantiene un espectro el cual cuyo ancho de banda será el doble de la frecuencia máxima. [32]

SSB es capaz de aprovechar a la señal original en su proceso de codificación debido a que cada una de estas bandas , no necesariamente es útil que en ambas bandas laterales se transmita, debido a que maneja un receptor y este puede traer la señal original ya sea de la banda superior o inferior, es importante conocer que existen diferentes métodos para eliminar portadoras y una de las bandas que pertenezcan a la señal transmitida , a su vez la producción de este tipo de señales pueden mantener un alto nivel en el proceso de la etapa final correspondiente al amplificador, sin embargo , produce a un nivel bajo de potencia y se amplifica de manera lineal , por parte de la recepción, requieren una selectividad y estabilidad de frecuencia superiores ante los receptores de AM , por ende la emisora es usada en pocas ocasiones

2.4.1. Emisión de señales SSB

La modulación SSB en banda de HF (3 a 30Mhz) debido a su alta eficiencia energética y espectral , mantiene una técnica de transmisión se basa en la selección de una de las dos bandas laterales, sin portadora , reduciendo el ancho de banda y permitiendo un mayor alcance y con menos potencia, debido a estas características las señales SSB pueden estar propagadas ante largas distancias, además el solo hecho de concentrar toda la potencia en dicha banda lateral transmitida , ha ofrecido un gran rendimiento ante el ruido o pérdidas, el hecho de concentrar toda la potencia en dicha banda lateral transmitida ha ofrecido un gran rendimiento frente al ruido y a pérdidas por desvanecimientos , estas características ante técnicas mantiene su efectividad dependiendo de factores a evaluar y por estas razones es preferible el uso en aplicaciones de radiodifusión. [33]

2.4.2. Tipos de modulaciones SSB

Banda Lateral Superior (BLS o USB):

Se conoce como banda lateral superior cuando existe la onda de transmisión y esta a su vez es la portadora de su parte positiva ante la frecuencia de una señal de audio

Banda Lateral Inferior (BLI o LSB):

Se conoce como banda lateral inferior cuando solo se transmite la parte negativa de una frecuencia de audios

2.4.3. Ventajas de modulaciones SSB

- En el caso de existir señales débiles existe la probabilidad de oír, solo si al aumentar el volumen de su altavoz esta ayudaría a recibirlas
- Mantiene una eficiencia ante el ancho de banda que tiende a ser igual a la frecuencia alta de modulación, es decir, sobre 3 KHz mientras se transmita la voz.
- Tiene un uso eficiente de potencias, debido a que la potencia de transmisión es usada por una señal de audio, por ende, no existe transmisión, mientras no exista una voz
- La recepción puede ser más eficiente (selectividad) al ser este un ancho de banda pequeño.

2.4.4. Aplicaciones de SSB en Comunicaciones HF

En modulaciones SSB, solo se llega a transmitir una de las dos bandas laterales dadas por modulaciones de amplitud, debido a la reducción significativa del ancho de banda que se necesita para transmitir, por ello esto no solo optimiza el espectro, sino que permite que las señales sean menos susceptibles a interferencias o ruidos que se pueden dar en comunicaciones de distancias largas.

Entre las principales aplicaciones de SSB se destaca la comunicación marítima, debido a que los buques deben utilizar radios HF, de esta manera, ellos mantienen contacto en todo momento con las estaciones costeras y hacia otros barcos, y a su vez estas comunicaciones pueden ser lejos de las costas, la capacidad de la modulación SSB para prácticas del mar a largas distancias han aprovechado la propagación ionosférica, debido a que de esta manera, las embarcaciones se dirigen hacia su destino de una manera más segura y clara, sin embargo, debemos usar estas aplicaciones con seguridad debido a que en estas pruebas se corrobora la exactitud que se tiene al mismo de enviar coordenadas por lo tanto, esta información debe ser registrada de manera segura.

SSB también es fundamental para las comunicaciones militares, puesto que su capacidad ofrece transmisiones a largas distancias y también con una seguridad impecable por ello su comunicación tanto hacia buques como aeronaves siempre se encuentran en contacto consigo para poder intercambiar información segura de estrategias o tácticas, por ello los canales puede ser manejados de manera simultánea sin tener que saturar las frecuencias siendo un escenario importante para destacar esta gran modulación, otro de los campos por el cual existe una afición, es la radioafición, esta aplicación es utilizadas en HF para establecer comunicaciones a largas distancias y a su vez su contacto va dirigido para todo el mundo, es considerada como una modalidad que garantiza maximizar la potencias TX y RX de una manera más clara, de esta manera tiende hacer útil y a guardar información de manera segura al momento de la comunicación sin que alguien este interceptando cada punto de riesgo.

2.5. MODULACIONES DSB-FC

En el mundo de las telecomunicaciones el término de modulación encierra un conjunto de métodos o técnicas para poder transportar un sin número de información sobre una onda portadora, esta onda es una onda sinusoidal, y parte de las técnicas que asumen un mejor aprovechamiento dentro del canal de comunicación, posibilitando la transmisión más información de una manera simultánea, de esta manera la protege ante posibles ruidos e interferencias.

Dicha modulación consiste en que un ítem de la onda portadora pueda cambiar de valor dependiendo de las variaciones de la señal moduladora el cual es información que se desea transmitir, por ende, se conoce que la modulación en doble banda lateral equivale a una modulación de rango AM, pero esta vez no mantiene la reinsertión de la portadora, sin embargo, mantiene una comunicación de punto a punto, en donde solo hay un receptor. [34]

2.5.1. Transmisión de señales DSB-FC

La transmisión de señales en doble banda lateral con portadora completa, es una de las modulaciones más sencillas, debido a que, es parte de una modulación AM, es decir, de amplitud por ende, se transmite mediante una portadora y dos bandas laterales, de esta manera, llega un sonido limpio, claro está, que al momento de empezar las pruebas cada uno debe establecer parámetros ubicados en el programa, sin embargo su señal es fácil de establecerla mediante tecnologías de radio definida por software, gracias a SDRAngel también se permitirá estudiar los valores

arrojados para conocer qué tan estable es dicha señal que se transmitirá, por otro lado su ocupación espectral es típica debido al doble ancho de banda que se da ante el mensaje original, por ende existen pruebas en donde la potencia de salida es baja dependiendo del entorno cerrado, para evitar interferencias

2.5.2. Características

- Ambas bandas laterales mantienen información completamente redundante, debido a que ambas se muestran como espejos entre sí, implicando el manejo de espectros
- Una parte de la potencia es destinada a la portadora, y esta, por ende, no transporta información tan útil, generando consigo la baja en ineficiencia hacia el uso de la potencia
- Es utilizada en sistemas de comunicación y radiodifusión comercial
- Su detección es envolvente, por ende, es compatible con un simple receptor

2.5.3. Ventajas y desventajas

2.5.3.1. Ventajas

- Este tipo de señal es recibida por una variedad de radios AM comerciales, por lo tanto, no requiere de circuitos costosos o complejos
- La portadora es capaz de facilitar el proceso de demodulación, ante ambientes con nivel bajo de ruido moderado
- Si una de las dos partes muestra afectación de pérdida o interferencia, existe la probabilidad que la otra parte aun mantenga información necesaria
- Es útil al momento de demostrar prácticas, pruebas o técnicas de enseñanzas bajo un concepto de modulación analógica
- Una transmisión continua dentro de la portadora puede ser útil como referencia en frecuencias para pruebas o sistemas receptores

2.5.3.2. Desventajas

- Al utilizar un ancho de banda mayor, existe la probabilidad de que la señal sea afectada por ruidos presentes en el canal
- Puede existir una pérdida de potencia y puede ser un desperdicio, por ende, no es adecuado para sistemas que requieren una alta eficiencia energética, ya sea para satélites o enlaces

2.5.4. Aplicaciones de modulación DSB-FC (AM) en Comunicaciones HF

Este tipo de modulaciones es ampliamente útil en transmisiones de radiodifusión de amplitud, puesto que mantiene una facilidad ante su implementación y a su vez el costo de ejecución es bajo, por otro lado, las emisoras de radio AM, el cual operan en bandas HF tienden a aprovechar esta modulación con el fin de cubrir grandes distancias ante transmisores sencillos. [35]

Otro de los usos más importantes, es mediante las comunicaciones aeronáuticas debido a él gran alcance que se debe tener debemos tomar en cuenta, que siempre estamos propensos a ruidos o interferencias, sin embargo, esta modulación trae además el alcance necesario para mantener comunicación entre señales, este método también es usado en comunicaciones marítimas, donde la simplicidad y la fiabilidad ante largas distancias, también hacia donde no tienen cobertura satelital o de telefonía

También es aplicado en radiodifusión, ante el número de operadores aficionados esta modulación puede establecer contacto entre usuarios del mundo manteniendo señales claras y en condiciones que sean completamente favorables, por lo tanto, hacen de esta técnica una de las más empleadas para grandes alcances en trabajos de comunicación.

2.5.5. Comparación de modulación DSB-FC (AM) y modulación SSB (LSB-USB)

Las modulaciones DSB-FC es conocida como AM, por ende, transmite tanto para la portadora como para dos bandas laterales, considerándola como una técnica simple de implementar y de modular, sin embargo, la hace ideal para métodos de recepción y de bajo costo, aunque a su vez puede presentar una ineficiencia en términos de energía y espectro debido a, la gran potencia que emplea a la hora de transmitir una portadora que no tenga información útil.

Por lo tanto, el contraste que existe con las modulaciones SSB ya sea LSB o USB es la manera en cómo transmite ya sea para una banda de las dos que la conforman, eliminando la portadora, debido a la potencia centrada en un mensaje correcto, sin embargo, su proceso de implementación es complejo y requiere de precisión para tener una sincronización clara. [36]

DSB-FC es perfecto para sistemas de facilidad de uso y bajo consumo, la modulación SSB es capaz de ofrecer ventajas significativas en cuanto a economía y eficiencia de energía a costa de una mayor complejidad en tecnología, por ello, la

opción entre ambas dependerá de los implementos y las condiciones de cada sistema.

2.6. Conexión y compatibilidad para SDRAngel

La arquitectura y el diseño para garantizar la conexión entre estos dispositivos ante el hardware y el software es claro ante un SDR, debido a que existen formas de como conectar y a su vez realizar pruebas confiables de modulaciones o demodulaciones para tener en claro el funcionamiento de ellas, a continuación, se muestra la tabla 3. de compatibilidad de los equipos al usar.

Componente	Compatible	Objetivo
Hack RF One	Portapack H2, SDR	Transmisión y recepción SDR
Portapack H2	Hack RF One	Operación autónoma
SDRAngel	Hack RF One (por USB)	Visualización y análisis de señales
Antena HF	Hack RF One	Captación o emisión de señales en HF

Tabla 4: Compatibilidad de SDRAngel

2.7. Parámetros de modulaciones en SDRAngel

A continuación, se darán a conocer los parámetros que se modificaran dentro del programa para cumplir con el evaluó de señales de transmisión y recepción para las prácticas

2.7.1. Transmisión mediante el Portapack Hack RF One h2 (modo hack)

En la ilustración 15 se darán a conocer las opciones o intervalos que hay que configurar para el proceso de transmisión de señales

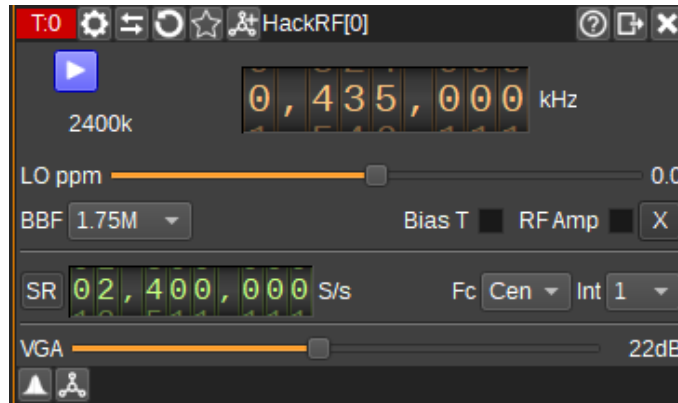


Ilustración 15. Intervalos de Transmisión

Fuente: [27]

1.-Frecuencia En este apartado encontramos el valor de la frecuencia central de dicha banda, esta puede ser dada dependiendo de las pruebas que se realizaran.

2.- LO ppm (oscilador local). - permite realizar ajustes de corrección con respecto a la desviación de frecuencia, de esta manera se compensa el error para que se transmita de manera correcta o con una mejor calidad de señal

2.7.1.1. Opciones automáticas dentro de la modulación

3.- BBF (filtro de banda base) es utilizado para eliminar el ruido y reducir interferencias

4.- Bias T.- esta opción solo es utilizada en el caso de enviar voltaje (4.5v a 5v) mediante un cable de antena, con el objetivo de alimentar los dispositivos

5.- RF Amp (amplificador de radio frecuencia) esta opción permite amplificar la señal de entrada para mejorar la recepción de señales débiles y aumentar la ganancia del sistema

6.- SR modo de entrada de frecuencia de muestreo expresada en S/s

7.- VGA permite el ajuste de ganancia de manera dinámica antes de ADC

2.7.1.2. Opción de botones Fc e Int

Fc. - alineamiento de frecuencias dentro del espectro

- CEN frecuencia sintonizada colocada junto en el centro del ancho de banda
- INF frecuencia colocada en el borde inferior
- SUP frecuencia colocada en el borde superior

INT. - aumento de valor de muestras por segundo

En la ilustración 16 tenemos las siguientes opciones agregadas a cada interfaz el cual corresponde a los pasos necesarios para realizar las prácticas.



Ilustración 16. Opciones principales

Fuente: [27]

La **opción 1** dependerá de la práctica en este caso sea transmisión o recepción

2.- **configuración**, reservación API

3.- **cambio** de dispositivo

4.- **recarga** del dispositivo

5.- **ajustes** preestablecidos

6.- **agregar** canales o modo de modulación

7.- **nombre** del dispositivo

A continuación, se explicará de manera detallada cada apartado de configuración y de las opciones anteriores, debido a que las opciones se asemejan y parten del mismo modo tanto en la recepción como en transmisión.

2.7.2. Parámetros de recepción en SDRAngel

Para los parámetros de recepción se comparten los mismos de transmisión, sin embargo, se añaden las siguientes

- **Auto:** modo automático
- **DC:** corriente continua de la señal, es utilizada para mantener la gama de frecuencias sin tener que eliminar alguna señal, más que todo las de baja frecuencia
- **IQ: componente** de fase y cuadratura

1.-I: es la señal real

2.-Q: es considerada como una señal imaginaria solo que se encuentra desplazada a 90 grados con referencia a la I

3.-BBF (filtro banda base)

4.-LNA: amplificador de bajo ruido es útil para la entrada de los sistemas de SDR, puesto que permite aumentar señales recibidas sin tener que introducir ruido

2.7.3. Interfaz y Herramientas Principales SDRAngel

2.7.3.1. Controles comunes del dispositivo

En la siguiente ilustración 17 encontramos la interfaz de dispositivos que se han conectado y depende de ello, nos permite varias o mantener los resultados, en la ilustración 17 tenemos el aparato de color amarillo, siendo esta la barra superior y el color celeste la barra inferior.



Ilustración 17. Controles SDRAngel

Fuente: [27]

2.7.3.1.1. Barra superior

En la ilustración 18, nos encontraremos con las opciones de:

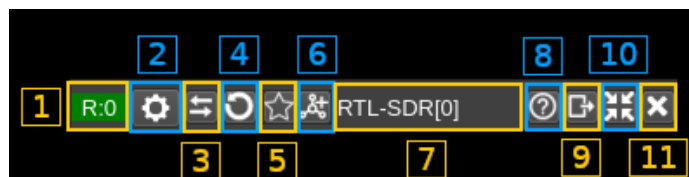


Ilustración 18. Barra superior SDRAngel

Fuente: [27]

1: Tipo de índice

- Receptor
- Transmisor
- Mimo

La información que se encuentra sobre las herramientas de muestra ante el tipo de dispositivos con el número de serie

2: Configuración

Todos los dispositivos manejan configuraciones prácticas, el cual ayudan a mantener el cuadro de diálogo limpio y actualizado tal y como se muestra en la ilustración 19, a su vez nos permite la configuración de opciones al momento de realizar las prácticas.



Ilustración 19. configuración

Fuente: [27]

2.1: función API (activar desactivar)

Esta casilla nos permite la activación y desactivación de la función API, la función API permite realizar cambios dentro de dispositivos que tiene la capacidad de reenviar una dirección, entre ellas están

- **2.2: dirección API**

Dirección IP del final de la API

- **2.3: Puerto API**

Puerto API del final de la API

- **2.4: índice del dispositivo**

Índice hacia el dispositivo destino

- **2.5: salir del diálogo y cancelación de cambios**

No registrar cambios y salir del cuadro de diálogo

- **2.6: validación del diálogo**

Guardar cambios (ya sea dentro de canal) salida de diálogo

3: Cambiar dispositivo

En la ilustración 20 nos muestra una ventana en donde nos permite seleccionar el hack en donde se ejecutarán las pruebas

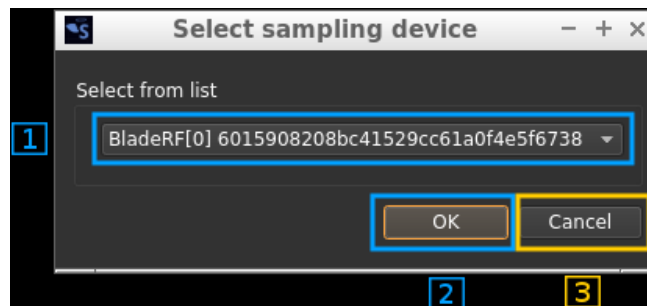


Ilustración 20. Cambio de dispositivos

Fuente: [27]

- **3.1: combinación para la selección de datos**

En este cuadro nos dará acceso al dispositivo que se desea vincular, como parte de un canal acompañado de secuencia

- **3.2: aceptación “ok”**

Guardar el cambio de la selección del canal

- **3.3: cancelar**

De esta manera no se guardará el dispositivo seleccionado

4: Recargar el dispositivo

Esta opción activa la secuencia donde va a iniciar y cancelar o también reiniciar el dispositivo, por ende, no será necesario mientras se deje de transmitir al realizar alguna pausa.

5: Ajustes del dispositivo

Detección de un cuadro de diálogo, para el almacenamiento de configuración que han establecido una conexión en relación con un solo dispositivo tal y como se muestra en la ilustración 21, estas son opciones que pueden variar dependiendo de las prácticas.

```

144.830 R Binaural
144.850 R D-Star
144.850 R D-Star_scope
144.880 R D Star NB
144.880 R D-Star demo
144.880 R D_Star NB UDP
145.192 R local Antibes
145.300 R test
145.400 R High band
145.535 R Simplex remote
145.560 R Local
145.560 R Mystery
145.610 R Repeaters 3072k
145.615 R Ste Maxime +YSF
145.620 R Ste Maxime

```

Ilustración 21. Ajustes de dispositivos

Fuente: [27]

6: Agregar el canal

En la ilustración 22, se da a conocer la opción de canales, en este caso, la opción de modulaciones o demodulaciones que se encuentran en el programa para realizar las prácticas que uno desea ejecutar, en esta opción encontramos: AM, DATV, SSB, AIS, ATV, entre otras

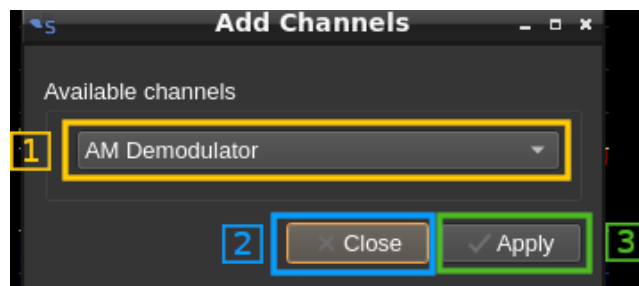


Ilustración 22. Agregar Canales

Fuente: [27]

- 6.1: selección del canal ya sea en transmisión como modular o recepción conmo demodulador, incluyendo que trae consigo varias opciones de modulaciones como: AM, FM, SSB entre otros
- 6.2: cerrar el cuadro de canales, por ende no se guardará la opción seleccionada
- 6.3: aplicar la selección para que nos muestre el cuadro de parámetros a establecer para la simulación

2.7.3.1.2. Barra inferior

En esta pantalla mostrada en la ilustración 23 muestra la barra inferior de la pantalla y de ello daremos explicación de cada opción.



Ilustración 23. Barra inferior

Fuente: [27]

1: Mostrar el espectro

Cuando la ventana principal se encuentre oculta, este mostrara el espectro.

2: Canales

En ello encontraremos los canales, que se permitan realizar modulaciones o demodulaciones.

3: Textos agregados

Mensajes de estado que se visualizan en caso de que se hallan ubicado.

2.7.3.2. Ventana de espectro

En la siguiente pantalla que se muestra en la ilustración 24 se muestra la barra superior e inferior en los controles de aspecto.

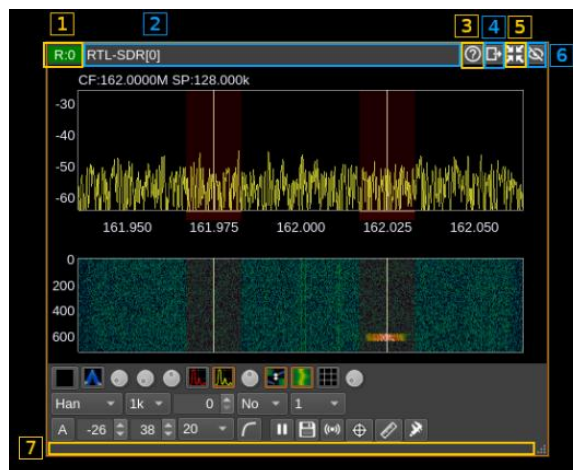


Ilustración 24. Ventana de espectro

Fuente: [27]

2.7.3.2.1. Barra superior

1: Índice del dispositivo

Se marcará dependiendo del modo de modulaciones que estemos realizando, es decir: RX, TX, MIMO.

2: Título

En este apartado se dará a conocer el tiempo de dispositivos y el número de secuencias por el cual se mostrará el espectro

3: Ayuda

Se visualizará una página de navegador para empezar a buscar información, en caso de tener alguna duda al momento de empezar a realizar las prácticas.

4: Deslizar

Se abrirá una ventana de diálogo y de esta manera se puede seleccionar un espacio para trabajar y mover dicha ventana, cabe recalcar que no sucede nada en caso de seleccionar el mismo espacio

5: Reducción de pantalla

Disminuir la pantalla

6: Ocultar

No mostrar la pantalla

7: área de desplazamiento

Clic en área para desplazar la ventana en otro espacio de trabajo

2.7.3.3. Ventana de canales

En la ilustración 25, se da a conocer la pantalla o ventana de canales que nos brinda opciones el cual se encuentran divididas de superior (A) e inferior (B)

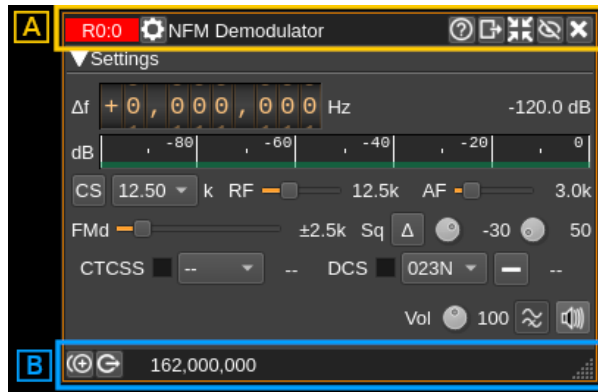


Ilustración 25. Ventana de canales en SDRAngel

Fuente: [27]

2.7.3.3.1. Barra superior

En la ventana de la ilustración 26, se muestran las opciones de barra superior el cual daremos a conocer las opciones para poder entender cada parámetro al momento de su simulación

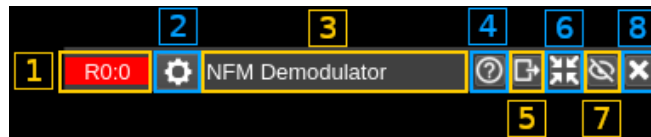


Ilustración 26. Barra superior (ventana de canales)

Fuente: [37]

1: Índice

Dependerá de la función que realizar el hack: TX, RX y MIMO

2: Configuración de canales

Configuraciones del canal, a continuación, en la ilustración 27, Se muestra el cuadro de configuración

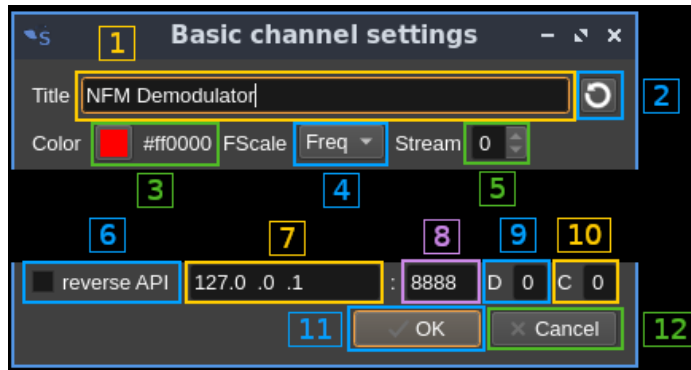


Ilustración 27. configuración de canales

Fuente: [37]

- **2.1: título**

Dependerá de la modulación que se halla seleccionado

- **2.2: dar reinicio al título para restablecerlo**
- **2.3: color del canal**

Cambia la superposición del espectro

- **2.4: forma de visualización de escala de frecuencia**

Estos parámetros pueden varias dependiendo de las siguientes opciones:

- Freq: frecuencia central absoluta
- Título: ventana titular
- AdSnd: puerto de envío y dirección UDP
- AdRcv: puerto de recepción y dirección USD
- **2.5: asignación de flujo**

Esto dependerá del tipo de dispositivo que se encuentre conectado, es decir, en este caso si es MIMO y su canal se basa en una TX, no es MIMO, por ende, el canal recibirá la entrada I/Q

- **2.6: función API**

Casillas que sirven para desactivar o activar las funciones de API de manera inversa, esto dependerá si la inversa activa del API mantiene cambios en la configuración de los canales que pueden reenviar ante un punto final especificando la dirección, y el puerto o el índice del canal

3: Título

Título del canal

4: Ayuda

Acceso a controles ante los canales que se explica en GitHub

5: Espacios en movimiento

Desliz del movimiento de ventanas para tener un mejor espacio de trabajo.

6: Ventana retráctil

Reducción de ventana

7: Ocultar ventana

No visualizar la ventana

8: Cerrar la ventana

Al darle clic, se cerrará la pantalla.

2.7.1.1.1. Barra inferior

En la ilustración 28 daremos a conocer las opciones que nos brinda la barra inferior



Ilustración 28. Barra Inferior (ventana de canales)

Fuente: [27]

1: Canal duplicado

Creación de canal nuevo con una misma configuración

2: Conecta el canal

Conexión del canal para seleccionar a otro dispositivo de destino, no existirá ningún cambio si dicho dispositivo de destino es el mismo del dispositivo actual

3: Frecuencia central

Frecuencia absoluta en Hz, es la suma de la frecuencia central del dispositivo y el desplazamiento del canal

4: Mensaje de estado

Se mostrará el mensaje que se ha colocado, siempre y cuando este expuesto.

2.8. Programación y control del Hack RF (Portapack)

- Captura señales sin la necesidad de procesar su reproducción de manera instantánea o para su análisis, demodulación o modificación sin que esté conectado
- Tiene la capacidad de reproducir señales directamente después de haber sido capturada o desde el uso de una tarjeta SD, entre otras fuentes
- Identifica y detecta frecuencias para fuentes que sean de transmisión cercana
- Escanea de manera simultánea el rango de configuración entre frecuencias ya sea de manera paralela o consecutiva
- Como parte de las aplicaciones integradas tiene un escáner ADBS y se puede manejar en tiempo real, entre ellas sirve para simulador GPS o decodificadores TPMS entre otros
- Genera señales que han sido entradas o también salidas de espectro con el objetivo de probar dispositivos, e incluso permite realizar “fuzzing”
- Conserva el acceso directo al Hack RF a través de un soporte completo para herramientas de uso común como el SDR, GNU Radio, etc.

2.8.1. Especificaciones del dispositivo

- Pantalla: Pantalla táctil LCD de 3,2 pulgadas 240x320
- Controles táctiles: Rueda giratoria, botones de selección
- Micrófono: entrada de 3.5mm
- Batería interna recargable
- Ranura para tarjeta microSD: Importar o exportar datos

2.9. Parámetros para DSB-FC y SSB

A continuación, se dará a conocer los parámetros claves para que esta modulación cumpla su función de manera correcta.

2.9.1. Parámetros SSB (LSB-USB)

- **Span**

Ancho total del espectro que pueden ser visible en la demodulación, en SSB comúnmente sus bandas tienden a ser estrechas.

- **Low cut**

Conocido como filtro de corte inferior de audio, dicho filtro se encuentra por debajo de la portadora, con el objetivo de eliminar ruidos de frecuencias bajas entre ellas: ruido de fondo o zumbido, está expresado en kHz.

- **Hi cut**

Conocido como filtro de corte superior de audio, sirve para limitar el audio que se encuentra en la parte superior, con el fin de evitar ruidos y distorsiones de frecuencias altas, está expresado en kHz.

En este apartado se encuentra el selector de banda, ya sea USB o LSB, para USB se usan frecuencias por encima de 10 MHz y para LSB se usan para frecuencias por debajo de los 10 MHz.

- **AGC**

Es el control automático de ganancia, sirve para ajustar los niveles de volumen que parten desde una señal recibida automática, con el fin de mantener la constante, ya sea mientras la señal varíe o se encuentre débil.

- **NR**

Reducción de ruido digital, sirve para suprimir el ruido y, por ende, tener una compresión más definida de la voz o de la señal que se desea receptor

- **Vol**

Control de volumen de salida, sirve para ajustar que tan fuerte se desea escucha el audio, ya sea en, auriculares o parlantes.

- **Mute**

Silenciar el audio de salida

- **LR**

Selección del canal izquierdo o derecho, sirve para procesar señales estéreo o en este caso que se encuentre divididas en canales distintos.

2.9.2. Parámetros DSB-FC

- **RF BW**

También conocido como el ancho de banda de radiofrecuencia el cual recibe y procesa mediante la frecuencia central, permite controlar cuanto espectro se desea capturar, entre el valor típico se encuentra de 5 a 10kHz

- **Vol**

Control del volumen de salida

- **Sq**

Conocido como silenciador automático, sirve para reducir el ruido, cuando existe alguna señal débil.

- **AF BW**

Ancho de banda de audio filtrado.

- **Mute**

Silenciar el audio

2.10. Medición de parámetros

2.10.1. Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión o también conocida como tasa de transmisión hace referencia a la cantidad de valores que pueden ser enviados o transmitidos mediante una unidad de tiempo, es considerada como la cantidad de bits que pasa sobre un canal de comunicación, a su vez determina lo rápido que se pueden enviar datos en dispositivos

El uso de SDR en la modulación y codificación son un papel importante debido a los modos de determinación, puesto que cada modulación cumple un fin ser evaluado y entender la práctica propuesta por cada prueba de esta manera ya sea, en sistemas de radio, televisión al existir una mayor velocidad la transmisión permite que se pueden enviar mayor cantidad de datos en menor tiempo, sin embargo también se debe tomar en cuenta que alcanzar altas tasas de transmisión no siempre se considera sencillo, debido a que depende de factores como: ancho de banda, interferencias y calidad de señal, debido a que a medida que la demandas de datos escala de manera fiable y rápida es crucial para poder entender las diferentes limitaciones del sistema con el finde encontrar una manera de maximizar su eficiencia

A su vez la velocidad de transmisión tiende a verse influenciada por lo que se conoce como latencia, debido al tiempo de retraso que puede existir al mismo de enviar datos a su destino, más que todo si es un proceso realizado en tiempo real ya sea en controles de drones o videoconferencias, ante la distribución de canales al no ser uniforme, por ende estos sistemas requieren compensaciones ante el poder de la señal y el ancho de banda garantizando el uso de tecnologías para una mejor recepción de mensaje, todo dependerá de la práctica y los parámetros que se evalúan.

2.10.2. Ancho de banda

Es un concepto principal dentro de las redes y las telecomunicaciones, hace referencia a la cantidad de datos que un canal puede transmitir, es expresada en hercio Hz y parte del dominio de la frecuencia, o también en bits por segundo, el ancho de banda es capaz de terminar cuando de información se puede llegar a transmitir mediante un canal o conexión, muchos consideran que mientras mayor sea el ancho de banda, mayor es la capacidad de cal canal para la recepción de datos, es importante conocer que en el estudio de SDR, donde mantiene un ancho de banda la señal se la define mediante el ancho del espectro, sin embargo este apartado también puede verse saturado dependiendo de interferencias y congestión de redes que tiene una limitación de hardware, dependiendo del programa y los equipos.

2.10.3. Relación señal/ruido

Es un parámetro esencial para los sistemas de comunicaciones, esta a su vez permite medir la proporción que existe entre la potencia de ruido de fondo y la potencia de la señal utilizada, dicha relación es expresada en dB (decibelios) y se diferencia de una señal frente a la perturbación o interferencias, cuando el SNR se encuentra alto significa que la señal es más potente que el ruido, sugiriendo que baje para que la señal no se vea distorsionada. [38]

La relación de señal-ruido es considerado como un indicador para la calidad del canal influyendo con a precisión que puede decodificar o interpretar debido a e nivel de ruido o errores de transmisión, por ende, esta métrica se interpreta en ciertas veces con valores binarios y puedes ser resultados de fallos de transmisión. El SNR según lo que establece la teoría de Shannon, que describe la tasa máxima a la que uno puede transmitir, pero con un nivel de ruido sin tener que cometer errores, haciendo énfasis al espectro del canal que se impone en la velocidad de transmisión.

2.11. Principales Problemas de Interferencia en HF

En la actualidad estamos expuestos a fenómenos climáticos que perjudican nuestro entorno y se propagan mediante interferencias que obstruyen prácticas de estudio, a continuación, se darán a conocer conceptos de interferencias comunes en prácticas de telecomunicaciones.

2.11.1. Interferencias Naturales (Tormentas, Ruido Solar)

Las interferencias naturales son consideradas como fenómenos electromagnéticos que a su vez son de origen no artificial, sin embargo afectan la calidad y propagación de señales, estas interferencias no siempre dependen de equipos electrónicos o humanos, sin embargo, a veces provienen de procesos astronómicos y atmosféricos, entre los ejemplos relevantes están: las descargas eléctricas y el ruido solar (emisiones solares), ambos fenómenos son capaces de degradar la señal y por ende el apartado de recepción se verá bastante distorsionado, tanto para comunicaciones satelitales como comunicaciones de radio y sistemas de navegación.

El ruido solar es causado mediante la radiación del sol el cual en la actualidad se lo conoce como eventos de llamaradas solares, dicho fenómeno es capaz de alterar el estado de la ionosfera causando desvanecimiento y pérdida de propagación o atenuación, a su vez también emiten comunicaciones satelitales con el fin de generar o saturar falsos ecos en aparatos de radares, por ende, ambas formas que parten de lo natural han presentado desafíos al momento de transmitir en el diseño de sistemas mitigando estrategias que aporte filtros o técnicas para corregir errores e incluso muchas veces se ayudan de predicciones para tomar en cuenta cada parámetro.

2.11.2. Interferencias Artificiales (Electrónica, Sistemas Cercanos)

Dentro de las interferencias artificiales el ser humano juega un papel importante debido a que en ello se encuentran aparatos electrónicos como: computadora, teléfono, o aparatos eléctricos que se encuentren en casa de todo tipo, este ruido a veces se lo denomina “ruido parásito” y es una de las principales causas de degradación de señales en entornos urbanos [39]

Entre los dispositivos más comunes que pueden causar estas distorsiones a veces se encuentra en dispositivos electrónicos domésticos como ya se mencionó

anteriormente, puesto que debido a la frecuencia de una señal que se desea transmitir este hará interferencias o cortes extrayendo parte de esa señal para otros aparatos, debido a que cuando varios sistemas operan en la misma frecuencia o entre el mismo espectro sin tener una separación o un filtro esto produce interferencia por intermodulación y llega a sobrecargar los receptores dificultando la correcta recepción

2.11.3. Métodos para Mitigar Interferencias

La mitigación de interferencias se basa en un conjunto de técnicas y estrategias que son orientadas con el fin de reducir un impacto de señales, se considerarán deseadas sobre un sistema de comunicación si dichas interferencias tanto artificiales como naturales, se pueden ver afectadas desde la calidad de señal y la precisión, por ende, es necesario tener un control de saturación para garantizar la comunicación fiable en entornos críticos.

Unas de los métodos de mitigación utilizados es el filtrado selectivo, este tipo de filtros de banda pasante de corte o notch son capaces de atenuar frecuencia dependiendo de un rango que sea útil, de esta manera, eliminara el ruido o la interferencia que se cuente fuera de la banda, por ello, para los sistemas digitales, los filtros pueden estar aplicados en tiempo real limpiando la señal, siendo esta una técnica clave para minimizar el impacto del ruido.

Otra técnica utilizada en este ámbito es el apantallamiento electromagnético, consiste en proteger los equipos físicos y los cables que son materiales conductores ante estructuras metálicas, debido a que estas bloquean las ondas electromagnéticas, por lo tanto, recurren a una puesta a tierra y al enrutado de cables, ante esta separación física las instalaciones se vuelven prácticas en recintos blindados.

2.12. Cálculo para frecuencias SSB (USB/LSB) y DSB-FC (AM)

Antena Monopolo 17 cm

$$\frac{\lambda}{4} = 17 \text{ cm}$$

$$\lambda = 17(4) = 68 \text{ m}$$

λ = longitud de onda

f = frecuencia en Hz

c = velocidad de la luz

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Cálculo de frecuencia

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 * 10^8}{0.68} = 4.41 * 10^8 Hz$$

Conversión de Hz a MHz

$$= \frac{4.41 * 10^8}{10^6} = 441.18 Mhz$$

Conversión de MHz a kHz

$$441.18 Mhz * 1000 = 441.180 kHz$$

2.12.1. Zona de Fresnel

Se denomina zona de Fresnel al volumen de espacio que existe entre el emisor de ondas, ya sean acústicas o electromagnéticas, para los sistemas inalámbricos su manejo en frecuencias de 2.4 GHz en la zona de Fresnel debe ser considerado importante con el fin de mantener limpia la señal, esta zona dentro de los enlaces de calidad es crucial para las comunicaciones debido a la eficiencia de transmisión, tomando en cuenta la magnitud en gran medida de la frecuencia que se desea trabajar. [40]

$$\frac{2(D)^2}{\lambda} = \frac{2(17 * 10^{-2})^2}{68 * 10^{-2}} = \frac{5.78}{68 * 10^{-2}} = 0.085 m$$

2.12.2. Ubicación de antena transmisora en zona de Fresnel

Es muy importante conocer dicha zona debido a que cualquier obstáculo que se encuentre dentro del tramo puede verse afectado por la propagación de la señal, por ende, al especificar una ubicación esta debe ser libre de obstáculos y debe ser una zona adecuada para que garantice una transmisión de calidad, dentro de la investigación cada uno de los parámetros fue evaluado empezando por reconocer el tipo de antenas que se está utilizando, en este caso, es una antena monopolo, esta

antena es parte de hitos importantes dentro del campo de telecomunicaciones, considerándola una pieza clave y que se encuentra presente en todo, está compuesta por un único elemento conductor, ya sea, cable o varilla y se encuentra situada en un plano de tierra, su longitud están diseñadas para resonar ante una señal transmitida o recibida, dependiendo de lo que se desea exponer en la práctica. [41]

2.12.3. Mejoras en la propagación de señal para la zona de Fresnel

Es necesario considerar medidas en aumento de altura para el alcance de las antenas, entre una de las opciones esta disminuir la distorsión que se llegase a producir, es importante tomar en cuenta la obstrucción máxima y está dentro de este campo no hay obstrucción basado en un 35% de la primera zona , por otro lado, tenemos la obstrucción máxima, es recomendable que este en 18-20%, sin embargo debemos tomar en cuenta que existe el factor K, también conocido como “factor de curvatura” por lo tanto, debemos considerar factores de espacio, entorno y obstáculos. [42]

CAPITULO III

3.1. Proceso de ejecución

A continuación, se dará a conocer de manera detallada los procesos para cada una de las pruebas: SSB (LSB-USB) y DSB-FC (AM).

3.1.1. Preparación de pruebas

Para las prácticas 1,2 y 3 en la ilustración 29, se encuentra la arquitectura de conexión, para las 3 pruebas, se utilizan dos computadoras, el hack RF One y el Portapack en modo hack, cada uno de los hack tiene antenas y está conectado por un cable USB, para estas pruebas se utilizará un hack para transmitir desde una computadora y otro hack para recibir con el otro computador.

Para garantizar su conexión, tanto el hack, y el Portapack (modo hack) debe ser reconocido como un dispositivo de entrada, tomando en cuenta la instalación de drivers, el cual adelante se mostrará paso a paso la instalación y los procesos a seguir, en el caso de usar otro programa, es necesario su instalación con el fin de obtener las herramientas necesarias para la ejecución del programa.



Ilustración 29: Modo de conexión de hack RF One – Portapack H2 en PC1 y PC2

Fuente: autor

En el caso del Portapack RF One en modo hack en la ilustración 30, Se muestra la opción hack daremos clic allí y de inmediato se conectará al computador y para el caso del hack RF One, es cuestión de conectarla mediante el cable USB y será reconocido de inmediato



Ilustración 30. Modo de uso (Portapack)

Fuente: autor

Es importante conocer que tanto para la PC1 y la PC2 se consideró necesario instalar los drivers debido a que se siguen extrayendo o receptando información mediante ambos dispositivos, de esta manera no existe errores al momento de ejecutar cada práctica, por ende, debes tener espacio y saber manejar cada equipo.

3.1.1.1. Conexión de dispositivos

Para la instalación del Portapack es recomendable instalar drivers que se encuentra dentro del instalador de Zadig y seguir con los siguientes pasos

En la ilustración 31, se muestra como ya viene por defecto el complemento de instalación, igual debemos tomar en cuenta que la opción de driver sea win USB, tal y como se muestra en la ilustración, de ello dependerá la conexión que exista entre el Portapack y la PC

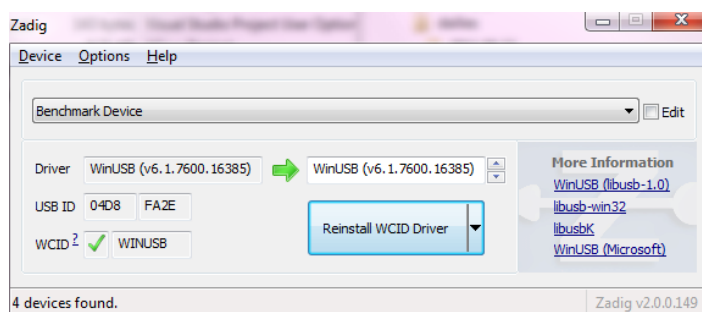


Ilustración 31. conexión del Portapack

Fuente: autor

Luego de la instalación de Zadig es recomendable realizar los siguientes pasos para conectar el hack a la PC, a continuación, el paso a paso para la conexión de quipos:

Paso 1: descargar el siguiente paquete de herramientas para del Hack RF One (hack 1 -Portapack h2), este es el link de descarga:

<https://github.com/mossmann/hackrf/releases>

Paso 2: En el siguiente enlace se encuentra un archivo que terminará en .zip (última versión) hackrf-tools-x.x.x-win.zip (última versión), esta será la carpeta que se extraerá

Paso 3: Abrir el CMD del computador y navegamos en la carpeta que extraemos, tal y como se muestra en la ilustración 32.

```
cd C:\Users\TuNombre\Descargas\hackrf-tools-x.x.x-win
```

Ilustración 32. Prueba en el CMD (conexión del Portapack)

Fuente: autor

Paso 4: Escribir el siguiente comando tal y como se muestra en la ilustración 33.

```
hackrf_info
```

Ilustración 33. búsqueda de herramientas (conexión Portapack)

Fuente: autor

Paso 5: Para verificar que los paquetes han sido instalados correctamente dentro de las carpetas, nos debe arrojar las siguientes líneas de código, tal y como se muestran en la ilustración 34.

```
Found HackRF board.  
Board ID Number: 2  
Firmware Version: 2018.01.1  
Serial Number: xxxxxxxx
```


Ilustración 34: conexión completa del Portapack

Fuente: autor

Paso 6: En el caso de que exista algún error debido a que en la carpeta **hack rf info**, no se encuentran las herramientas, se recomienda instalar el programa GQRX SDR, de esta manera este programa nos permitirá el acceso a las herramientas dentro del programa SDRAngel.

3.2. Práctica 1-2 transmisión y recepción de señales SSB

3.2.1. Práctica 1: transmisión y recepción para modulaciones SSB en USB

Paso 1: Empezaremos iniciando el programa que tiene como presentación el siguiente icono , procedemos a ir conectando los equipos como se visualiza en la ilustración 29, a su vez nos mostrará la pantalla principal del programa tal y como se observa en la ilustración 35, en estas prácticas 1 y 2 nuestro dispositivo de hack a usar para transmitir será la porta hack en modo hack.

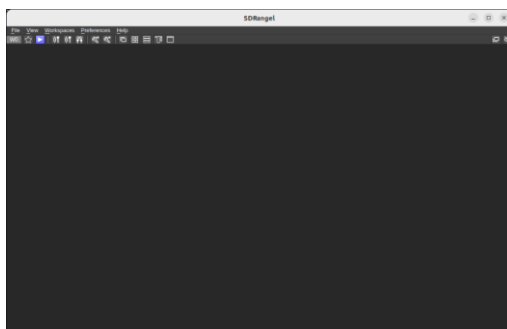



Ilustración 35. Práctica 1: interfaz SDRAngel (modulación SSB-USB)

Fuente: autor

Paso 2: Procedemos a darle clic en la siguiente opción  (transmitir), esta nos permite añadir el dispositivo de transmisión, al darle clic en dicha opción se desplegará la siguiente ventana, tal y como se muestra en la ilustración 36, el cual nos permitirá escoger el dispositivo a usar y para ello se escogerá el que tiene por nombre Hack RF [0], daremos clic en ok, de esta manera ya tendremos seleccionado el equipo que cumplirá con la función de transmitir dentro del programa.

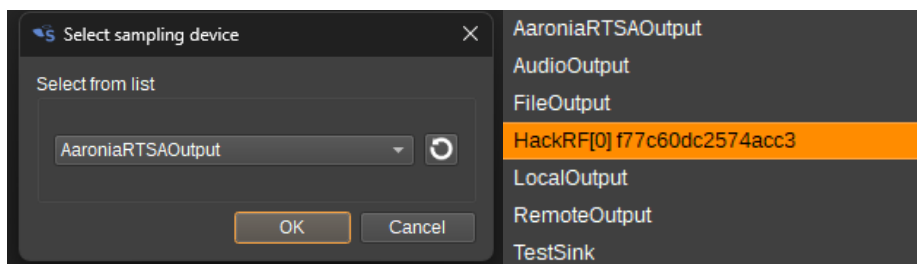


Ilustración 36. Práctica 1-transmision USB (selección del hack)

Fuente: autor

Paso 3: A continuación, en la ilustración 37, se mostrará la interfaz del programa para completar de acuerdo con las pruebas que ejecutaran en práctica, para ello se trabajara con una frecuencia de 0.007.055 kHz y como prueba 1 estará en modulación SSB para modo USB, siendo superior por ende en FC su opción a usar es CEN (centro), el valor de LO ppm es 0.0, el valor de BBF es de 1.75M, esto se da debido a que es todo lo que se dejara pasar al momento de extraer la señal para que no se escuche tan distorsionado, para SR el valor es 01,200.000 S/s debido a que al ser una señal estrecha se debe trabajar en un rango amplio por ende, es útil capturar mediante este SR una porción suficiente ante un espectro grande y el VGA es de 30dB, este valor es suficiente para mejorar la relación SNR, debido a que valores altos puede distorsionar la señal al no ser lineal.

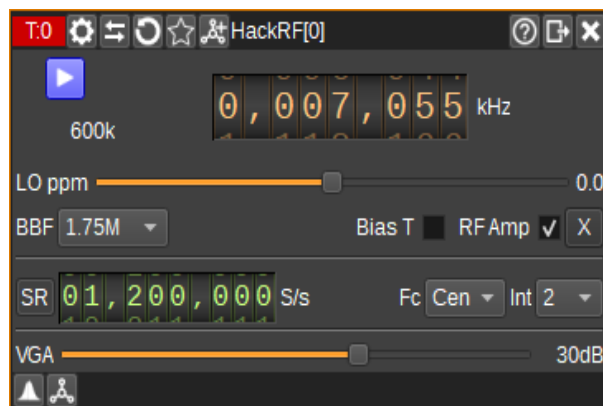



Ilustración 37. Práctica 1-transmision USB (parámetros evaluados)

Fuente: autor

Paso 4: Luego de ello, para el evaluó de nuestra primera y segunda prueba iremos a la opción de añadir canales  en ella se desplegarán opciones, tal y como se muestra en la ilustración 38, para acordar en base a que modulación se estará transmitiendo y receptando

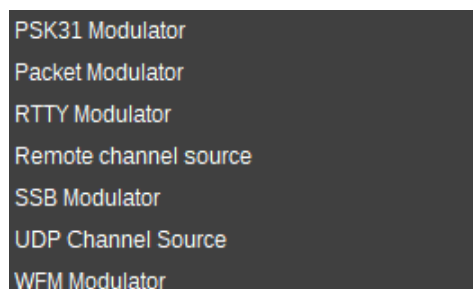


Ilustración 38. Práctica 1-transmision USB (modo de modulación)

Fuente: autor

Daremos clic en la opción de SSB modulador tal y como se muestra en la ilustración 39, daremos clic en aplicar de esta manera se abrirá una nueva ventana que contempla parámetros claves para el proceso de transmisión.

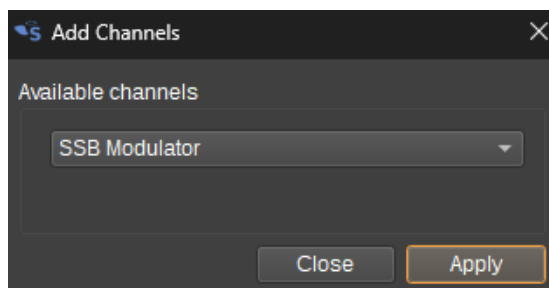


Ilustración 39.Práctica 1-transmision USB, modo de modulación SSB

Fuente: autor

Paso 5: A continuación, se mostrará en la ilustración 40, la interfaz de modulación SSB y los parámetros que podemos ir modificando, incluyendo lo que se desee transmitir con el apartado del espectro para ver la onda, en este caso está en UBS ya que será frecuencia superior, al ser una prueba de voz, solo se activa el micrófono, también podemos activar la opción de escuchar para tomar en cuenta lo claro que está siendo el audio, aparte de ello procedemos a modificar la opción Span a 6.0k debido a que es transmitida en banda lateral , no portadora y a su vez aumenta la resolución visual de la señal, low cut 0.0k este valor define la frecuencia mínima que dejara pasar para tener claro el audio final eliminado componentes de ruido, es importante conocer que este valor variara dependiendo del entorno en el que realicemos la prueba. A partir de aquí daremos una pausa para ir hacia el otro computador y abrir el programa para empezar a configurar recepción.

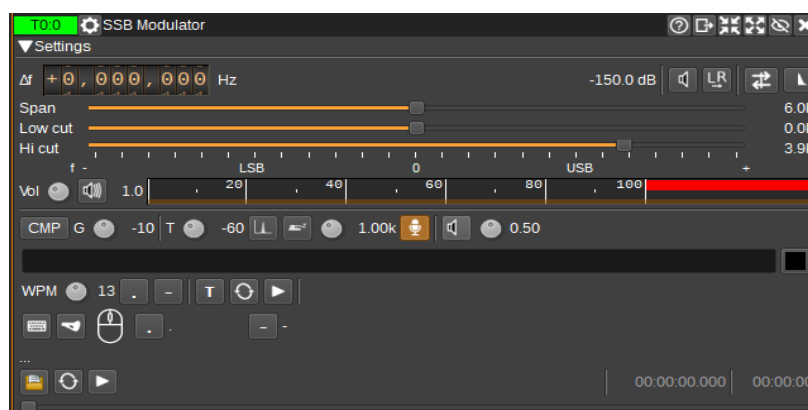



Ilustración 40.Práctica 1-transmision USB, interfaz de parámetros SSB en USB

Fuente: autor

Paso 6: Se da clic en el programa para dar inicio al proceso de recepción desde el otro computador conectado al Hack, dependiendo del equipo que se desee escoger (hack o Portapack) de esta manera, nos encontramos con la ilustración 41, de la pantalla principal y se da clic en la opción  (recepción), el cual nos permitirá empezar añadir parámetros para la función de demodulación.

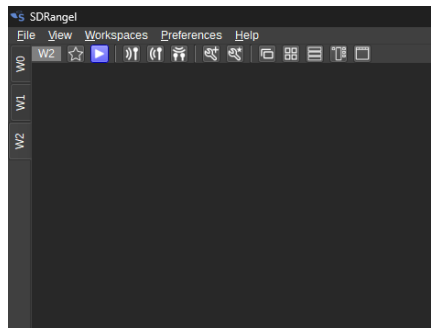


Ilustración 41. Práctica 1-Recepcion USB

Fuente: autor

Paso 7: Luego de darle clic a dicha opción, se mostrará una pantalla, tal y como se observa en la ilustración 42, en ella debemos seleccionar el aparato que se empleara para la práctica, en este caso es la opción Hack RF y procedemos darle clic en OK

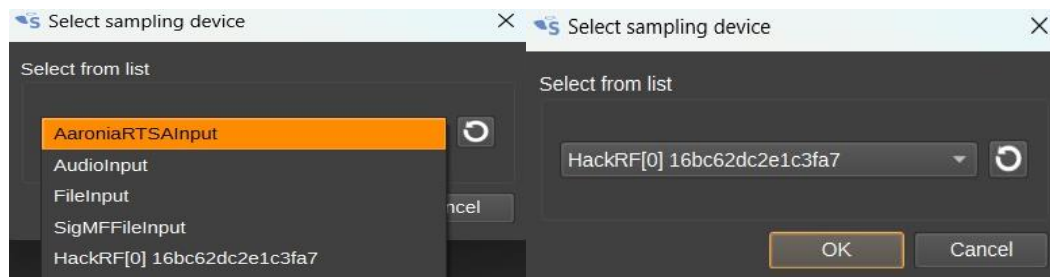


Ilustración 42. Práctica 1-Recepcion USB, selección del dispositivo

Fuente: autor

Paso 8: Se mostrará una ventana, tal y como se observa en la ilustración 43, en dicha figura se encuentran los parámetros que se debe ir modificando para completar el proceso de demodulación en este caso la frecuencia debe ser la misma, es decir, 0.007.055kHz el valor de LO ppm es de 0.0, SR valor es de 01,000,000 al ser una modulación USB su FC post es central y el BBF es de 1.75M, el LNA y el VGA varía dependiendo del entorno y la distancia de los equipos que contemple

cada prueba, en este caso el valor de LNA es de 30 dB y el del VGA es 25 dB de esta manera se mantuvo un audio claro para la simulación.

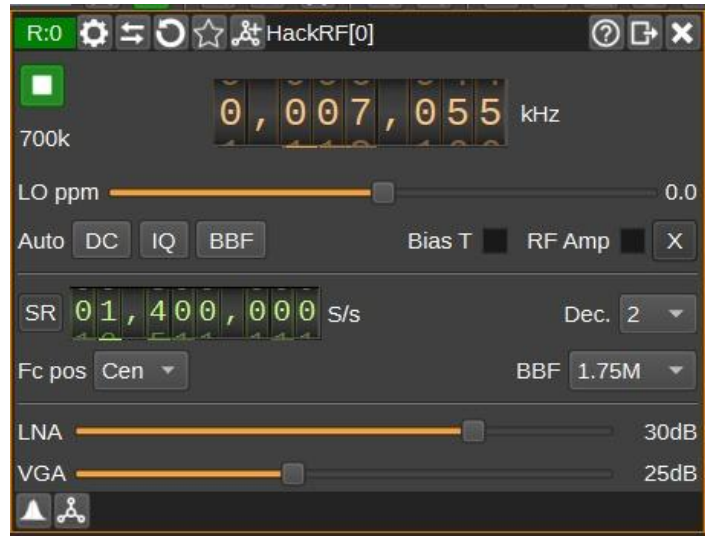



Ilustración 43. Práctica 1-Recepcion USB, parámetros de modulación en USB

Fuente: autor

Paso 9: Luego de ello nos dirigimos a la opción de “agregar canales”  y se mostrara una pantalla, tal y como se observa en la ilustración 44, el cual permite seleccionar la demodulación que se implementara, en este caso es SSB demodulador

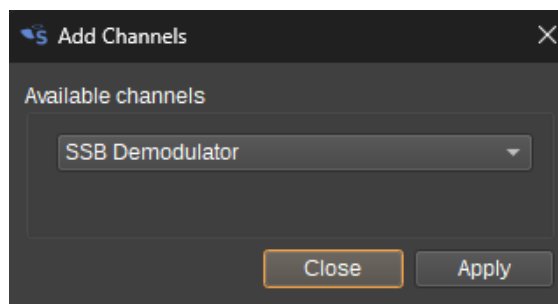


Ilustración 44. Práctica 1-Recepcion USB, selección del demodulador

Fuente: autor

Paso 10: Se abrirá una ventana tal y como se muestra en la ilustración 45, el cual complementa la modificación de los parámetros principales, y a su vez son editados dependiendo de la frecuencia y de lo que se logre escuchar, en este caso al ser una demodulación SSB para USB debe estar bajo el mismo rango y los valores a

modificar son: Span de 6.0k, low cut de 0.0k, hi cut de 4.0k, no olvidar deslizar para la opción USB.

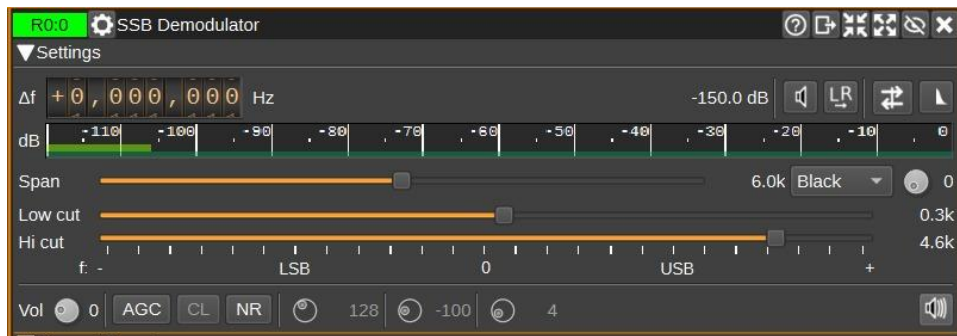


Ilustración 45. Práctica 1-Recepcion SSB, configuración de parámetros para USB demodulador

Fuente: autor

Paso 11: Al ser una prueba de voz podemos habilitar la opción de NR tal y como se muestra en la Ilustración 46, el cual nos permite eliminar algo del ruido, es recomendable tener un volumen moderado y activar el audio para escuchar e ir modificando o variando los parámetros de acuerdo con el audio.

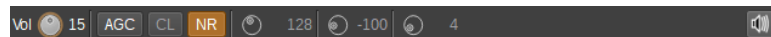



Ilustración 46. Práctica 1-Recepcion USB, opciones de eliminación de ruido

Fuente: autor

Paso 12: Para finalizar con la primera prueba, se da clic en la siguiente opción  para visualizar los resultados, en la ilustración 47 se muestra cómo se representa la modulación y de qué manera se encuentra transmitiendo nuestra voz con éxito, a su vez este programa nos permite la visualización en 3D para mayor estudio.

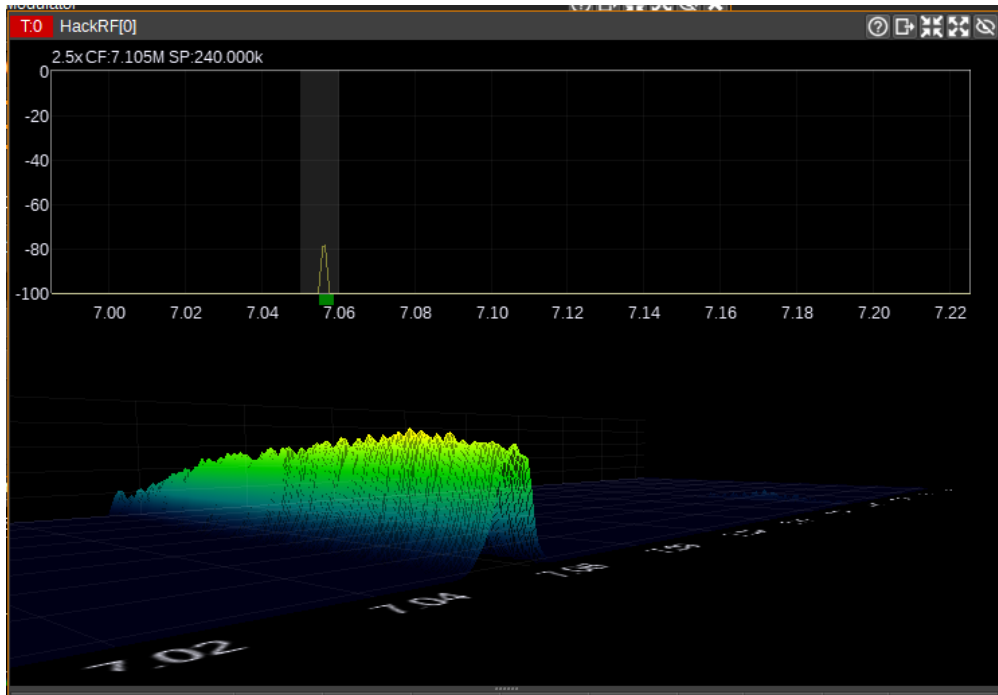


Ilustración 47. Práctica 1- Resultados de transmisión USB

Fuente: autor



Se da clic en la siguiente opción para visualizar los resultados de recepción tal y como se muestra en la Ilustración 48, se observa cómo se recibe de manera correcta nuestra prueba de voz, bajo la misma frecuencia en rango superior, permitiendo también observar la demodulación en 3D de manera correcta.

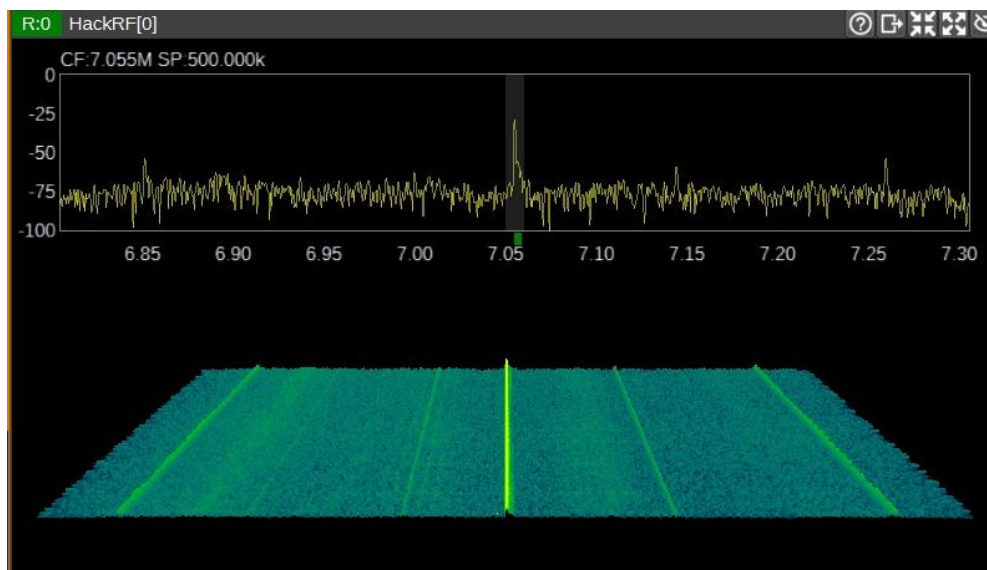




Ilustración 48. Práctica 1-Resultados de recepción USB

Fuente: autor

3.2.2. Práctica 2 transmisión y recepción de modulación SSB en LSB

Paso 1: En la práctica 2 se ingresa nuevamente al programa  seleccionamos la opción  “transmitir” y a continuación, se selecciona el aparato en donde se trabajará dicha modulación, tal y como se muestra en la ilustración 49, este apartado trae consigo varias opciones sin embargo en ello el aparato a usar es el hack, por ende, se da clic en hack y luego de seleccionarlo, se da clic en ok.

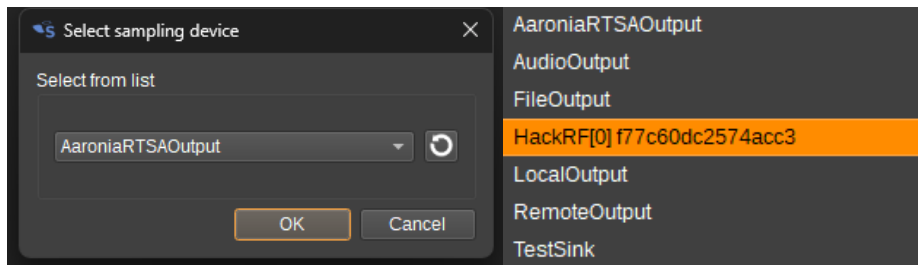


Ilustración 49. Práctica 2, transmisión en LSB, selección del dispositivo

Fuente: autor

Paso 2: Luego de ello se mostrara una ventana tal y como se observa en la ilustración 50, en donde se deberán completar de manera correcta los parámetros y las opciones debido a que de ello dependerán las pruebas en este caso, el valor de frecuencia a trabajar es de 400.000khz, valor de LO ppm es de 0.0, el valor de BBF es de 1.75M, el valor de SR es de 02,400,000 S/s, en la opción de frecuencia central FC es inferior, manteniendo un VGA de 29 dB de esta manera podemos observar que dichos valores si permiten seguir con el proceso de transmisión.

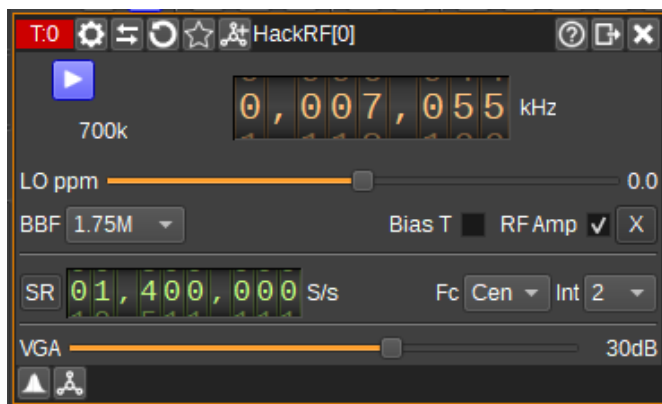



Ilustración 50. Práctica 2, transmisión en LSB, configuración de parámetros

Fuente: autor

Paso 3: Procedemos a darle clic en la opción “agregar canales” , se desplegará una ventana, en donde debemos seleccionar que modulación deseamos implementar tal y como se muestra en la ilustración 51, en este caso es la opción SSB modulador, luego de a ver seleccionado dichos parámetros, procedemos a darle clic en apply.

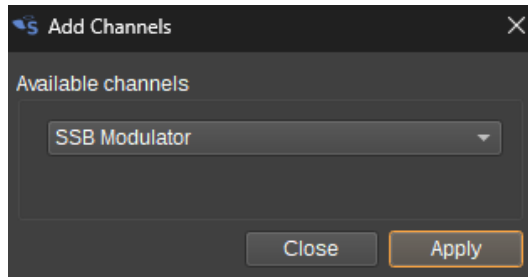


Ilustración 51. Práctica 2, transmisión en LSB, selección del modo de modulación

Fuente: autor

Paso 4: Se visualizará una ventana tal y como se muestra en la ilustración 52, en donde se encuentran opciones y parámetros ajustables según los valores requeridos para una correcta transmisión, en este caso encontramos parámetros de Span con un valor de 6.0k, low cut de 0.0k, hi cut (valor direccionado a la opción LSB) y para ello debemos seleccionar que se desea transmitir en este caso, será una señal de audio, por lo tanto, se deben tener activa la opción de audio.

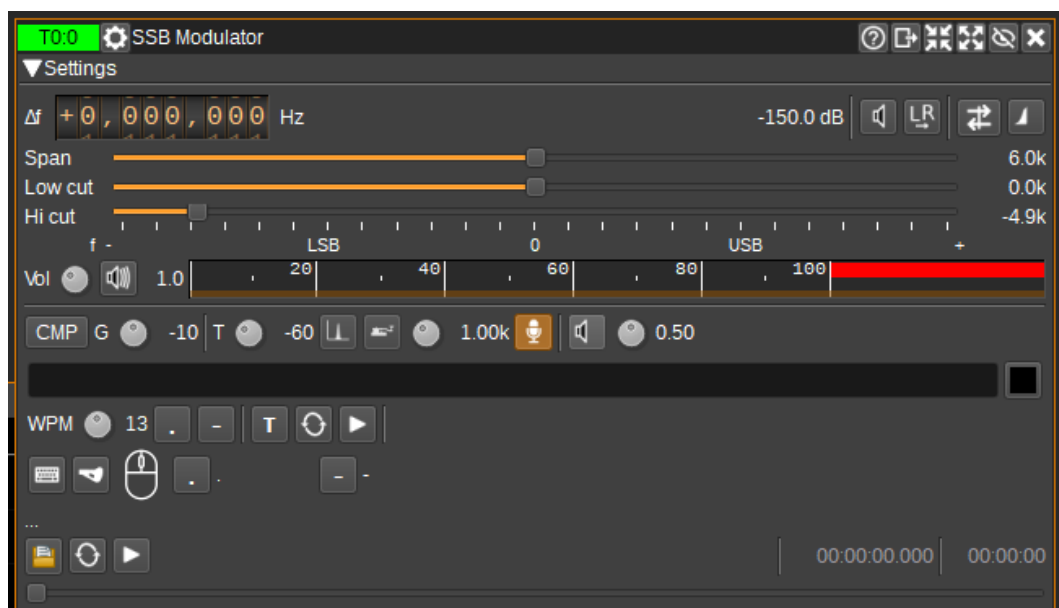



Ilustración 52. Práctica 2, transmisión LSB (configuración de parámetros)

Fuente: autor

Paso 5: Para empezar con el proceso de recepción daremos clic en la opción de  (recepción), de esta manera se mostrará una pantalla tal y como se presenta en la ilustración 53, y dichos valores variaran dependiendo del manejo que se tengan en la señal para ser receptada de manera correcta, para ello se trabajara con la misma frecuencia de tx, porque es el mismo canal en el que se receptorá, con un valor de LO ppm de 0.0, activar la opción de BBF, SR de 03,500,000S/s, BBF de 2.50M, al ser SSB en LSB es inferior, y los valores del LNA y VGA varían entre para LNA es de 16 dB y para VGA es de 34 Db.

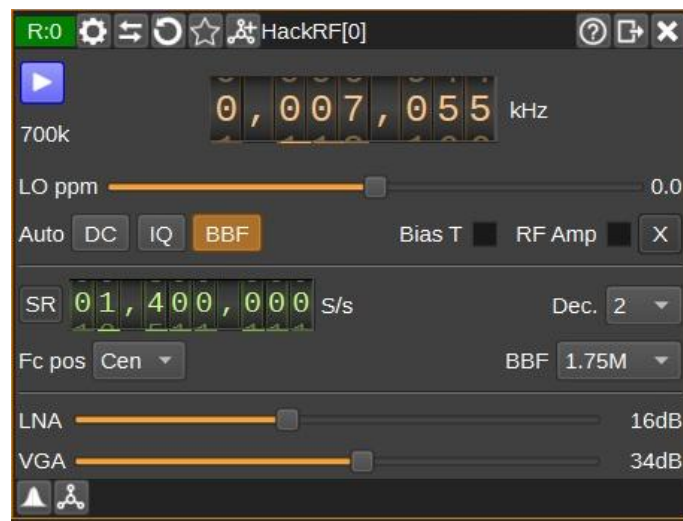



Ilustración 53.Práctica 2, recepción en LSB

Fuente: autor

Paso 6: Luego de ello para el evaluó de nuestra segunda prueba iremos a la opción de añadir canales  en ella se desplegarán opciones, tal y como se muestra en la ilustración 54, en esta ventana debemos seleccionar la opción SSB Demodulador y se da clic en apply.

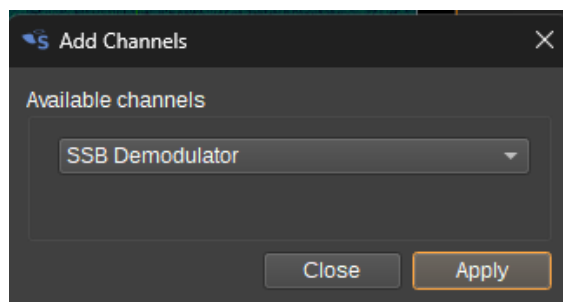


Ilustración 54. Práctica 2, recepción en LSB, selección de demodulador

Fuente: autor

Paso 7: Al darle clic en apply, automáticamente se mostrará una ventana, tal y como se observa en la ilustración 55, esta ventana permitirá seguir con el proceso de recepción, dicha pantalla cuenta con la opción de span de 6.0k, low cut de 0.0k, hi cut: LSB (-3.0k), no olvidar ubicar en hi cut la opción de LSB, es importante también seleccionar que señal se enviará, ya sea audio, texto o código morse, para esta prueba se tomó como ejemplo transmitir y recibir audio, tomando en cuenta las opciones que se deben aplicar para recibir el audio de manera correcta.

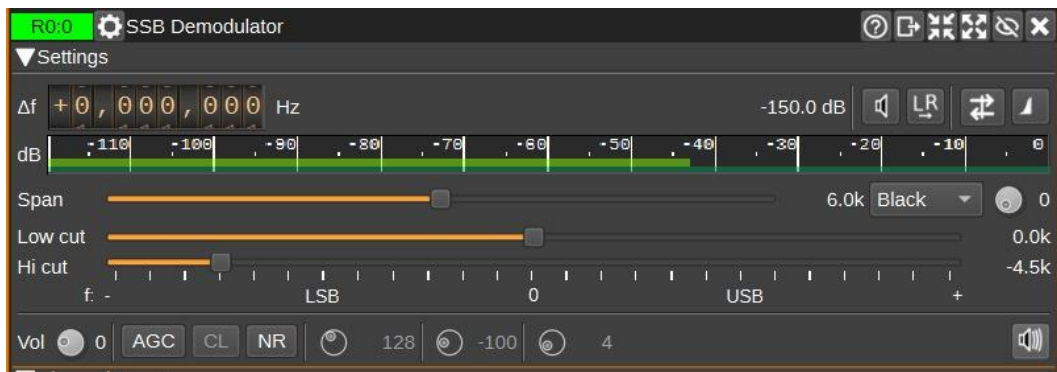



Ilustración 55. Práctica 2, recepción en LSB, configuración para demodulación LSB

Fuente: autor

Paso 8: Se da clic en la siguiente opción  para visualizar los resultados, podemos observar en la ilustración 56, cómo se transmite de manera correcta, mediante los parámetros modificados, e incluso se escucha la voz que se transmite desde el computador comprobando que está siendo transmitida como un mensaje claro.

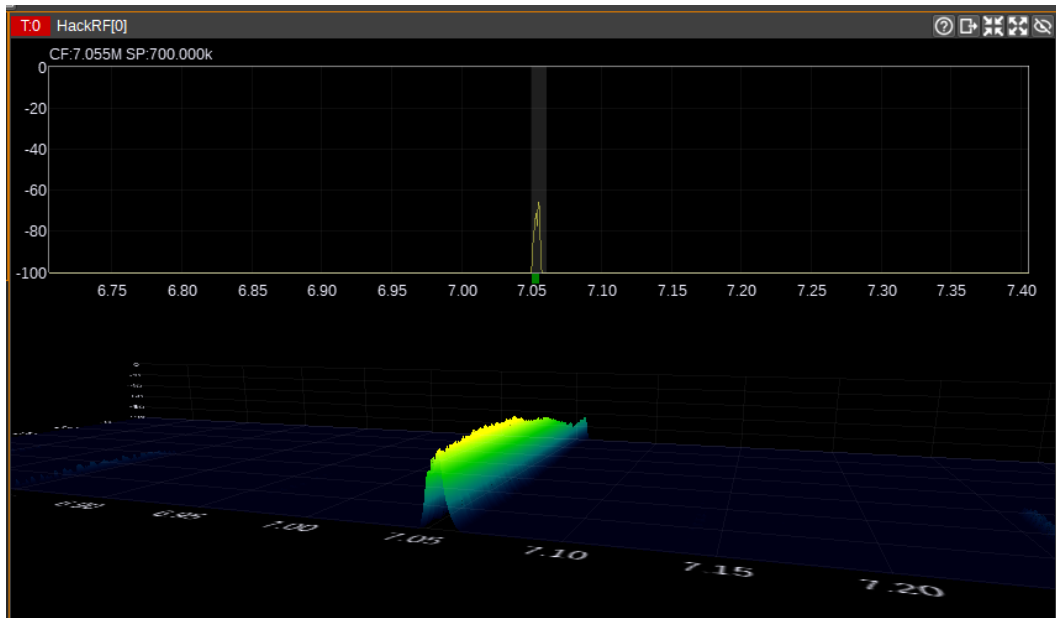


Ilustración 56. Práctica 2, resultados de transmisión en LSB

Fuente: autor



De igual manera se da clic en la siguiente opción para visualizar los resultados de recepción, en la ilustración 57, se puede observar cómo se recibe de manera correcta en la misma frecuencia y se capta la señal de audio, escuchándose de manera clara y visualizando las ondas.

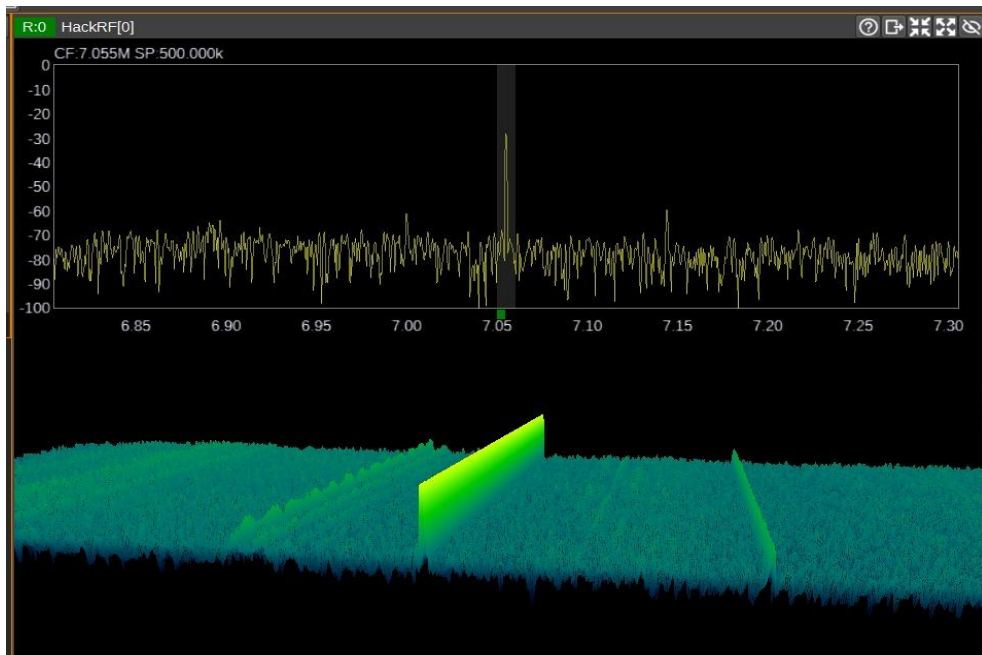




Ilustración 57. Práctica 2, resultados de recepción en LSB

Fuente: autor

3.2.3. Práctica 3: transmisión y recepción de modulación DSB-FC (AM)

Para la representación de modulación en DSB-FC hemos seleccionado la modulación AM, esta modulación es considerada más convencional, debido a que no requiere de potencias altas, ni gran ancho de banda, siempre la más opcional para realizar la prueba.

La conexión de los equipos es tal y como se encuentran conectados para la práctica 1 y 2, cada uno con su computador conectado y su propio dispositivo.

Paso 1: Ingresamos al programa SDRAngel , nos dirigimos a la opción de transmitir , en ello se mostrará una ventana que consistirá en seleccionar el hack o equipos que este a disposición para transmitir, en este caso, seleccionamos la opción hack, tal y como se muestra en la ilustración 58, es importante seleccionar correctamente el equipo, para luego de ello darle clic en OK.

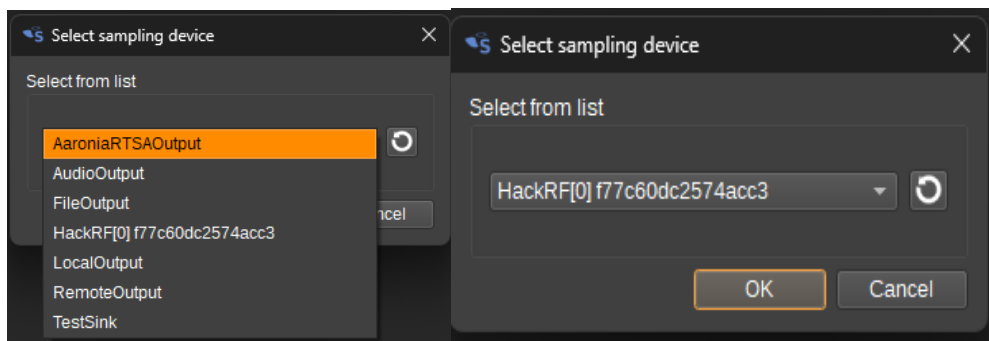


Ilustración 58. Práctica 3, transmisión AM, selección de dispositivos

Fuente: autor

Paso 2: A continuación, se muestra la siguiente interfaz, visualizada en la ilustración 59, en esta ventana se muestran los siguientes parámetros: frecuencia con un valor de 450,700 kHz, Lo ppm de 0.0, BBF de 1.75M, SR de 03,500,000S/s, VGA de 46dB, fc (central) int (1) bias T, y Amp puede ser habilitada dependiendo de la prueba.

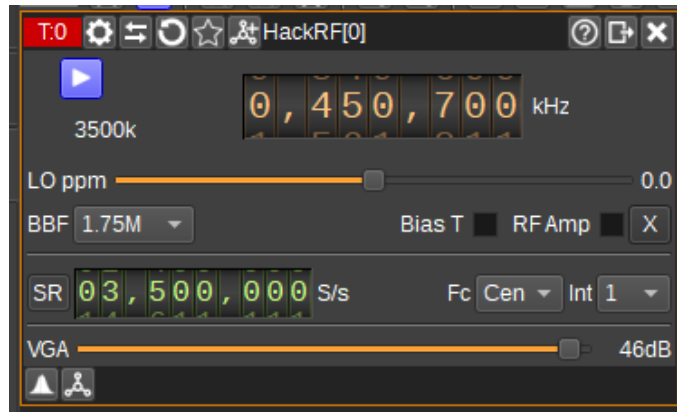



Ilustración 59. Práctica 3, transmisión AM, parámetros de configuración

Fuente: autor

Paso 3: Daremos clic en la opción “agregar canales” , en ella se mostrará una ventana de las diferentes opciones de modulaciones que se pueden emplear, tal y como se presenta en la ilustración 60, para esta práctica le daremos clic en modulación AM y procedemos a darle clic en apply

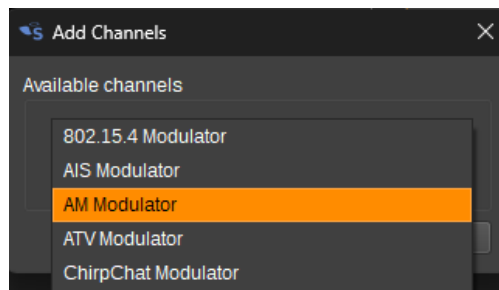


Ilustración 60. Práctica 3, transmisión AM, modo de modulación

Fuente: autor

Paso 4: Luego de ello, se desplegará la siguiente ventana visualizada en la ilustración 61, estos parámetros también puede ser editados mientras se busca mejorar la señal y a su vez en esta pantalla se muestra la opción de aquello que uno desee transmitir ya sea texto, audio o código morse, en este caso la prueba se basará con la palabra casa y será transmitida y recibida mediante el código morse, entre las opciones que tenemos para transmitir de manera correcta esta: RFBW con un valor de 25.0 kHz y un mod% de 95, se da clic en morse y se habilitan las opciones de T, bluce e inicio.

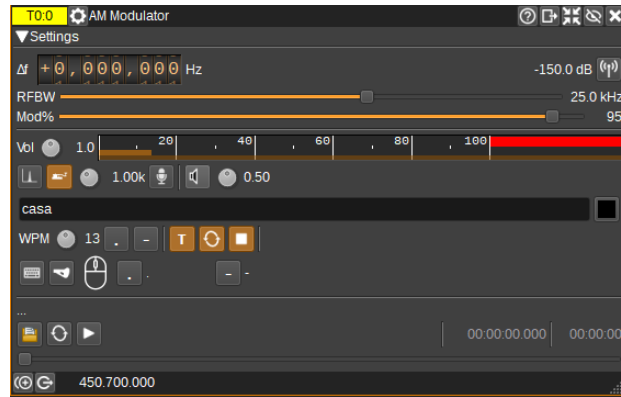



Ilustración 61. Práctica 3, transmisión AM parámetros de modulación incluyendo que se desea transmitir

Fuente: autor

Paso 5: Para el proceso de recepción, se da clic en la opción de  (recepción), se visualizará una pantalla, tal y como se muestra en la ilustración 62, empezaremos seleccionando el equipo de transmisión en este caso será el hacka7, luego se da clic en OK.

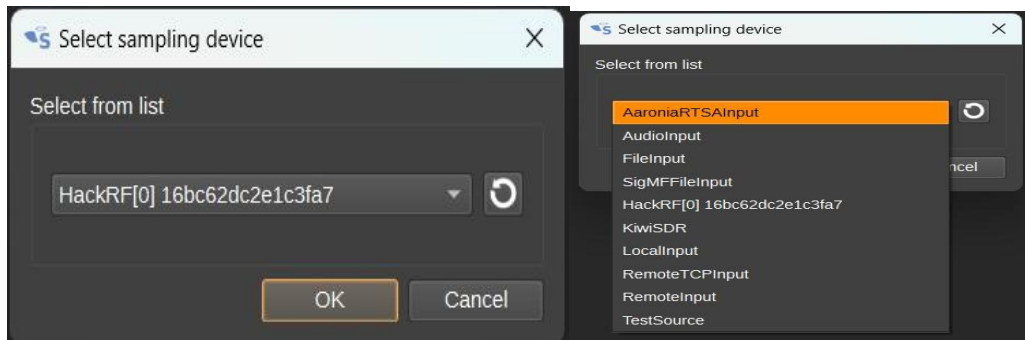


Ilustración 62. Práctica 3, recepción AM, elección de equipos

Fuente: autor

Paso 6: en la siguiente ventana, debemos conocer los parámetros que se deben modificar para tener una recepción clara, en este caso, la frecuencia es 435,700 kHz, se habilitará la opción BBF, el valor de SR es 02,400,000S/s, FC (central), el valor de BBF es 1.75M y el LNA y VGA variaran dependiendo de la distancia y en entorno, en este caso LNA es 15 dB y VGA es 24 dB, tal y como se muestra en la ilustración 63.

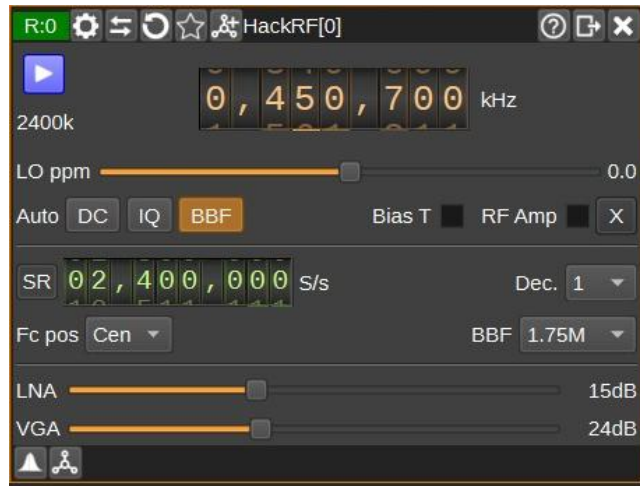



Ilustración 63. Práctica 3, recepción AM, interfaz de configuración

Fuente: autor

Paso 7: Luego de ello, se da clic en la opción de “agregar canales” , en esta opción se nos permite elegir el tipo de demodulación que se debe obtener para receptor de manera clara el mensaje, en la ilustración 64, se muestra la opción que debemos seleccionar, en este caso, es la opción AM Demodulador.

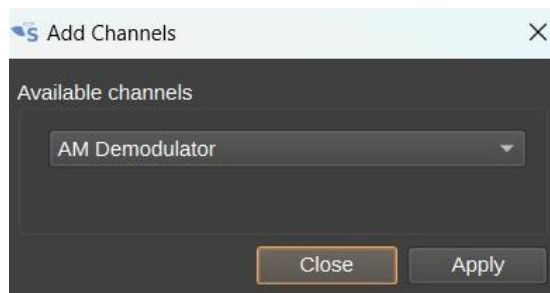


Ilustración 64. Práctica 3, recepción AM, opción del demodulador

Fuente: autor

Paso 10: En la ilustración 65, se muestra una ventana en donde dichos parámetros serán modificados hasta captar el mensaje en morse, en dicha ventana tenemos los valores de RF BW, su valor es de 23.5 kHz, AF BW es de 2.5 kHz, vol. de 6.0 y Sq de -50 dB.

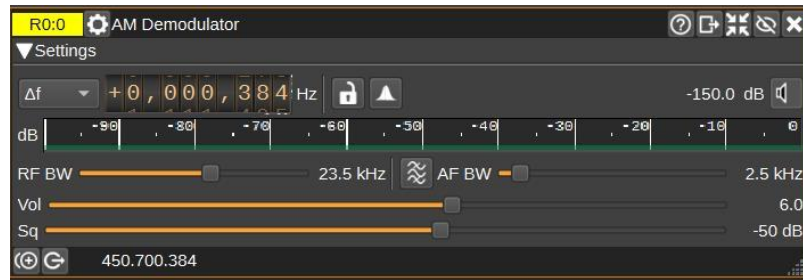



Ilustración 65. Práctica 3, recepción AM, configuración de parámetros

Fuente: autor

Paso 11: Procedemos a darle clic en la opción  (inicio) de esta manera en la ilustración 66 se observa cómo se transmite la señal de texto en código morse, a su vez, podemos escuchar el audio de como lee la palabra en código morse de manera clara, se puede visualizar en 3D las ondas y bajo que frecuencia se está trabajando.

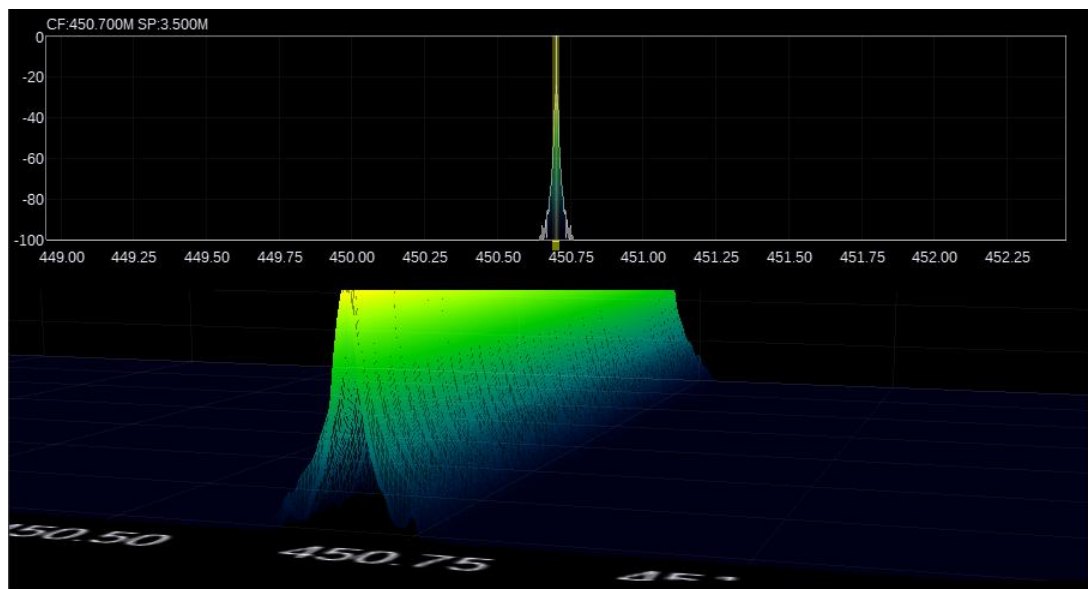



Ilustración 66. Práctica 3, resultados de transmisión AM

Fuente: autor

Se da clic en la siguiente opción  para visualizar los resultados de recepción, en la ilustración 67, se observa como el mensaje llega de manera clara y se recepta en código morse, escuchando de manera clara el sonido y visualizando de manera correcta la onda al momento de recibir el mensaje.

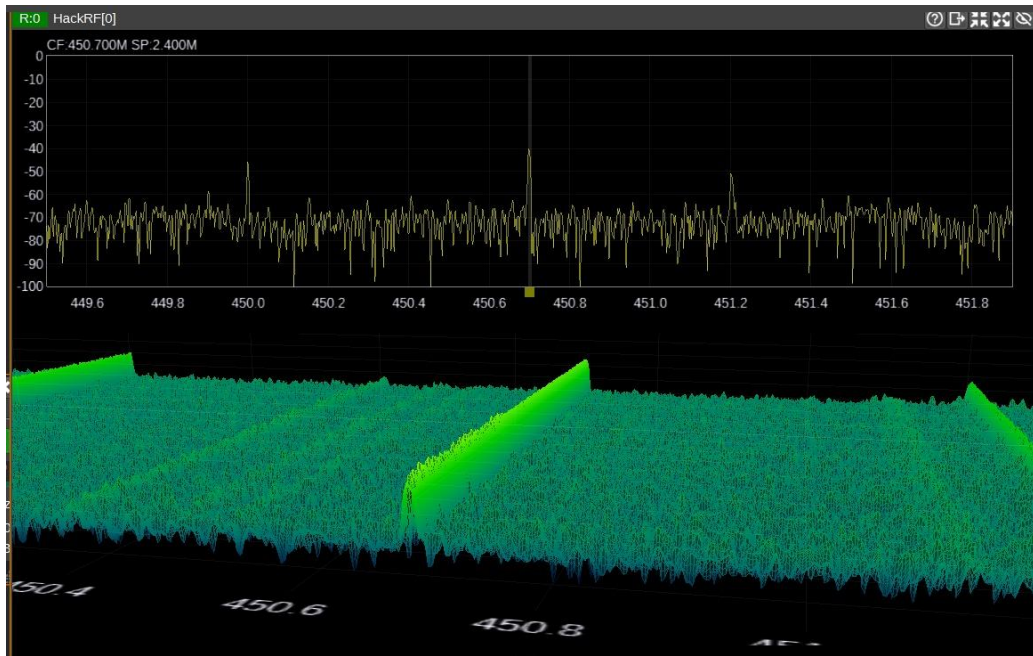


Ilustración 67. Práctica 3, resultados de recepción AM

Fuente: autor

3.2.4. Resultados

3.2.4.1. Práctica 1: Transmisión y recepción en SSB modo USB

En la ilustración 68, para transmisión se muestran los siguientes datos: potencia actual de -75.4dB, un valor que está dentro del rango funcional para SSB es USB, potencia promedio es de -40.0 dB, es un valor coherente esperado en transmisión USB, potencia mínima de -1506.0 dB valor mínimo en modulación, Max es de -12.8 dB: valor máximo de modulación, siendo un buen nivel de pico, rango de 137.2 dB alta variabilidad al ser audio, desviación estándar de 28.3 dB valor medio alto, normal al ser audio dinámico y 1007 muestras para considerar su análisis

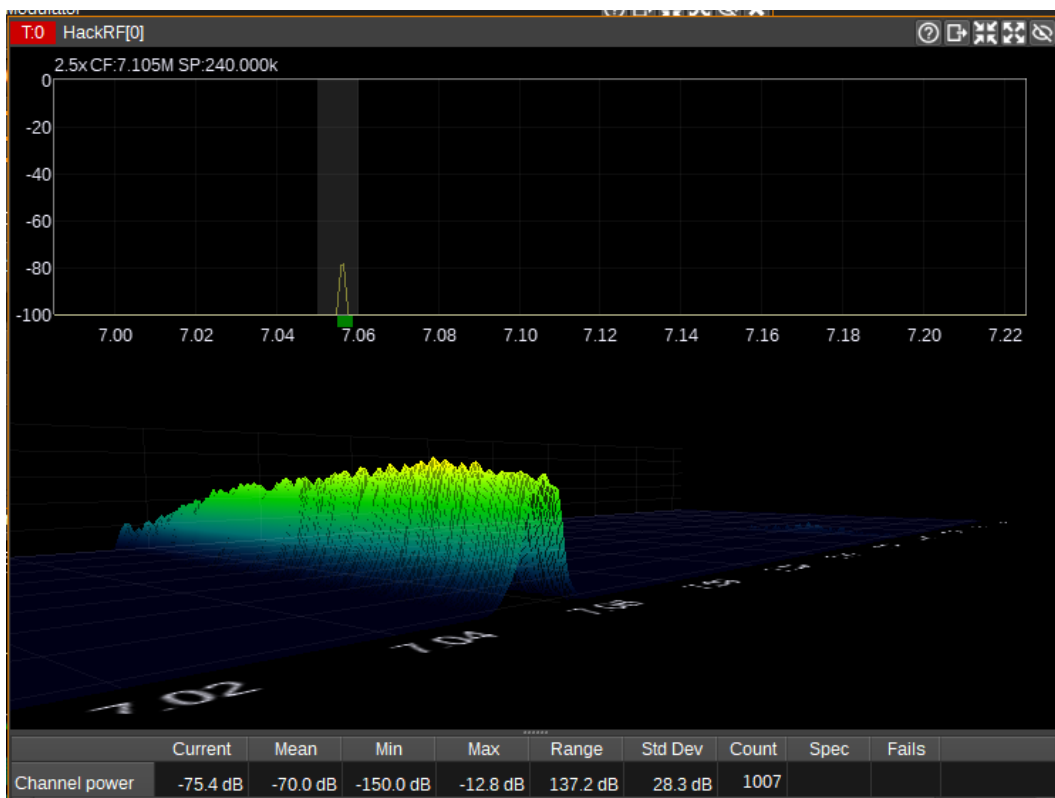


Ilustración 68. Práctica 1: resultados de transmisión SSB modo USB

Fuente: autor

En la ilustración 69, como respuesta en la recepción se visualizan los siguientes datos: potencia actual de -27.2 dB, es un nivel de potencia típico en una buena recepción de SSB, potencia promedio de -26.5 dB es estable y esta cerca del valor actual por ende indica una recepción constante, potencia mínima de -27.2 dB, potencia máxima de -24.7 dB, buena señal sin picos extremos, ni saturación, rango de 2.5 dB valor estable sin cambios bruscos, desviación estándar de 0.3 dB recepción limpia y 187 muestras para un excelente base de análisis

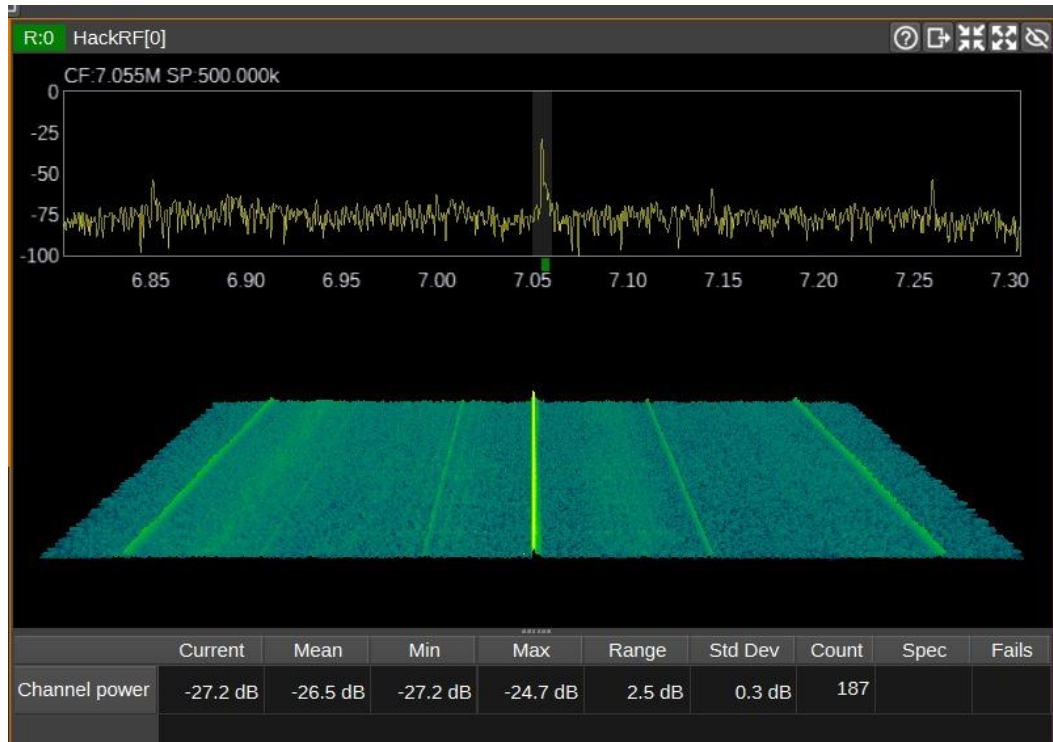


Ilustración 69. Práctica 1: resultados de recepción SSB modo USB

Fuente: autor

3.2.4.2. Práctica 2: Transmisión y recepción en SSB modo LSB

En la ilustración 70, se muestran los siguientes datos: Potencial actual (-62.2 dB) y potencia promedio (-53.7 dB), el valor de la potencia mínima es de -85.6 dB, el valor de la potencia máxima es de -10.7dB el valor del rango es 74.9 dB y la desviación estándar es 19.2 dB son altos debido a la variabilidad de voz, es decir que en un momento se escuchaba muy fuerte y en otros muy débil, debido a que no siempre se mantiene un mismo tono de voz, con 867 muestras es confiable su resultado.

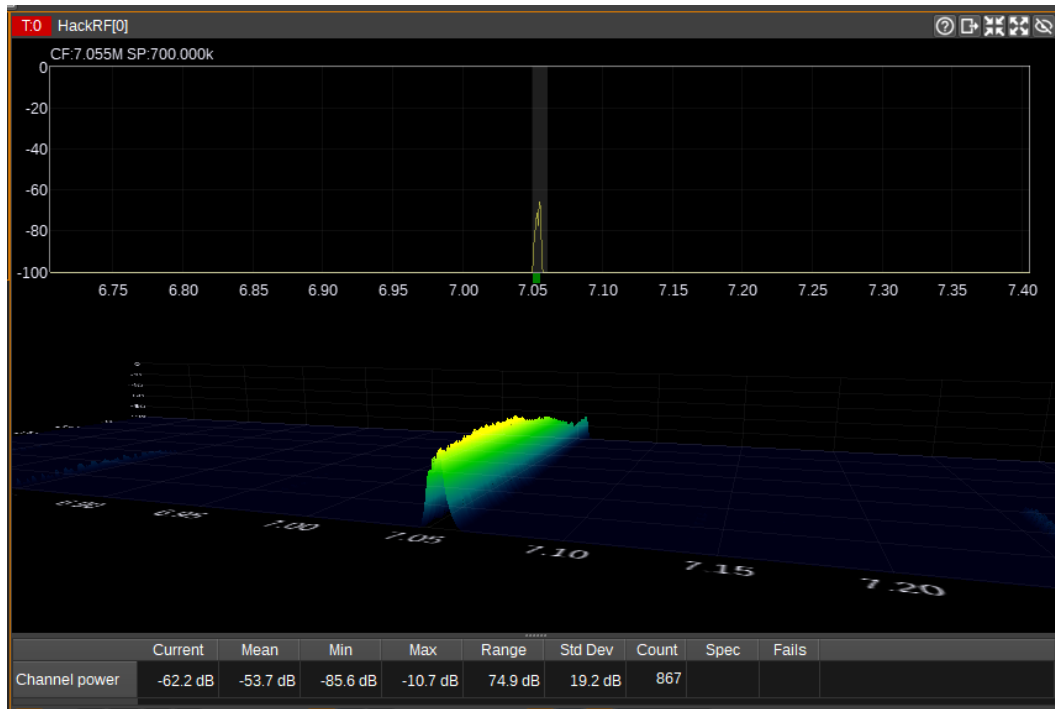


Ilustración 70. Práctica 2: resultados de transmisión SSB modo LSB

Fuente: autor

En la ilustración 71, se muestran los datos de recepción siendo los siguientes: potencia actual es de -26.5 dB mostrando que el sistema de recepción está captando una señal continua y no se encuentra silenciosa, la potencia promedio de -26.6 dB es un valor cercano al valor actual indicando que la señal es estable y constante, potencia mínima de -26.7 dB , indica el ruido de fondo más bajo, siendo una buena referencia de base, valor máximo de -26.2 dB , pico más alto de la señal recibida, rango de 0.5 dB relativamente estrecha, indicando buena estabilidad, la desviación estándar es de 0.0 dB al ser baja indica una señal limpia y no hay ruido errático y el valor de muestras es de 234, siendo el valor de cantidad de datos recopilados para considerar una medición representativa y confiable.

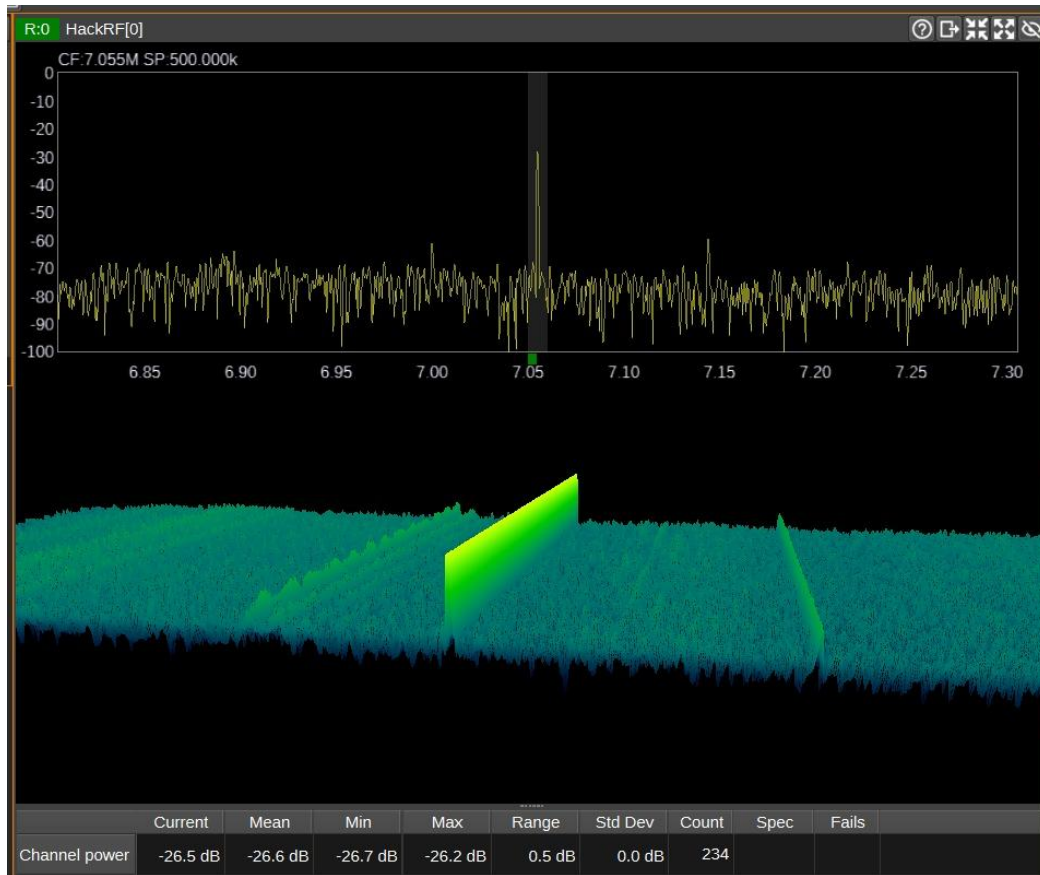


Ilustración 71. Práctica 2: resultados de recepción SSB modo LSB

Fuente: autor

3.2.4.3. Práctica 3: Transmisión y recepción en DSB-FC modo AM

En la ilustración 72, se muestran los datos arrojados de la prueba de transmisión, dichos valores son los siguientes: potencia actual de -18.5 dB ,dando a conocer que la señal está siendo transmitida de manera correcta , la potencia promedio es de -17.4 dB , dando a conocer un valor consistente, siendo positivo en modulaciones AM, potencia mínima de -150.0 dB es considerado como el punto más bajo de la señal, potencia máxima de -6.2 dB, pico más alto ideal para que el receptor capte la señal, rango de 143.8 dB, desviación estándar de 18.9 dB y muestras 751 siendo considerable para la validez de la señal.

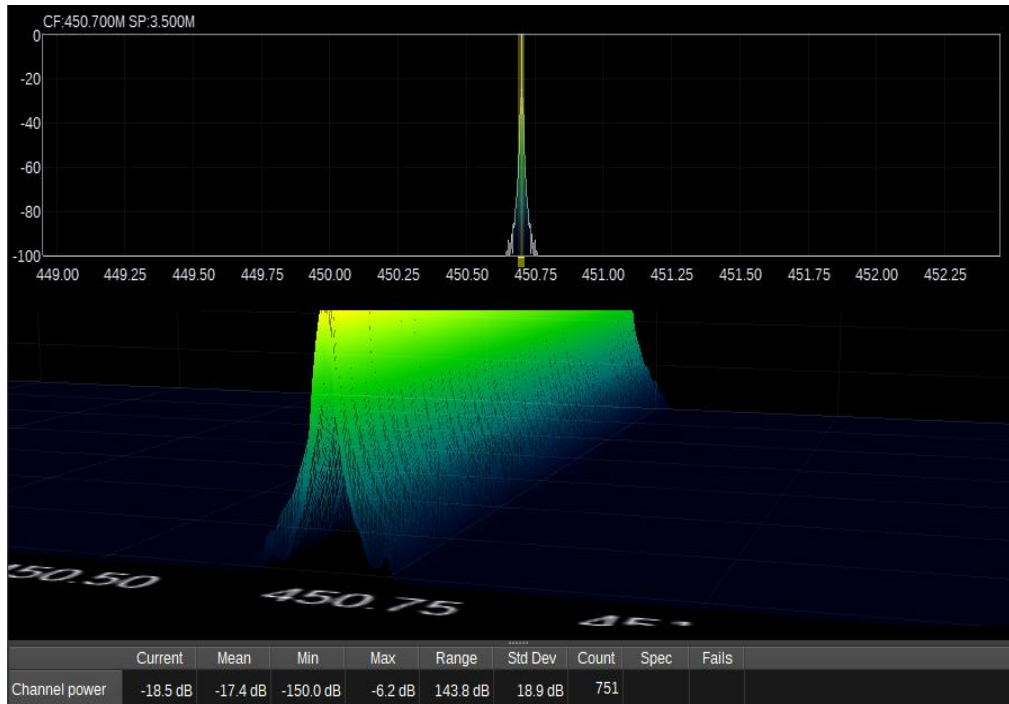


Ilustración 72. Práctica 3: Resultados de transmisión DSB-FC modo AM

Fuente: autor

Ilustración 73, se muestran los valores de recepción: potencia actual de -37.1 dB significa que está recibiendo la señal de manera fuerte y moderada, potencia promedio de -37.5 dB valor estable y continuo sin grandes pérdidas, potencia mínima -42.1 dB no expresa caída drástica, valor máximo -32.8 dB pico alto, captó de manera correcta la señal, rango de 9.4 dB la señal es estable sin cambios bruscos, desviación estándar de 2.5 dB baja variación, dando una señal constante y número de muestras de 136, perfecto para tener muestras confiables.

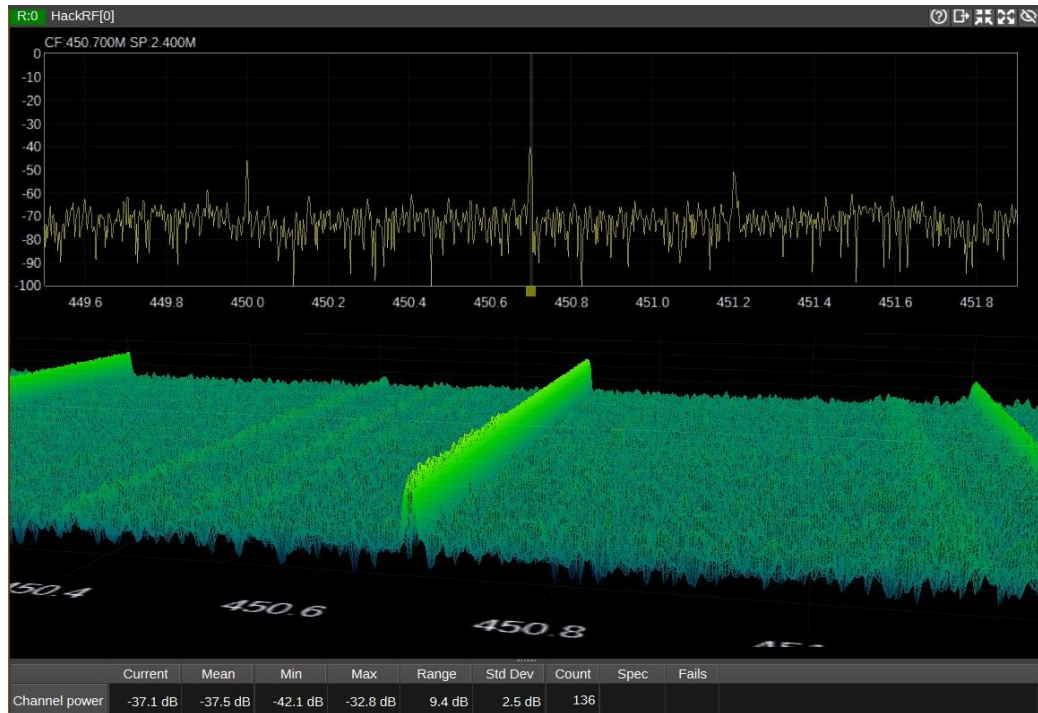


Ilustración 73. Práctica 3: Resultados de recepción DSB-FC modo AM

Fuente: autor

	Potencia actual	Potencia Promedio	Potencia mínima	Potencia máxima	Rango	Desviación estándar	Muestras
USB	-75.4 dB	-70.0 dB	-150 dB	-12.8dB	137.2 dB	28.3 dB	1007
LSB	-62.2 dB	-53.7 dB	-85.6 dB	-10.7 dB	74.9 dB	19.2 dB	867
AM	-18.5 dB	-17.4 dB	-150 dB	-6.2 dB	143.8 dB	18.9 dB	451

Tabla 5: Resultados de modulación en pruebas (USB, LSB y AM)

	Potencia actual	Potencia Promedio	Potencia mínima	Potencia máxima	Rango	Desviación estándar	Muestras
USB	-27.2 dB	-26.5 dB	-27.2 dB	-24.7 dB	2.5 dB	0.3 dB	187
LSB	-26.5 dB	-26.6 dB	-26.7 dB	-26.2 dB	0.5 dB	0.0 dB	234
AM	-37.1 dB	-37.5 dB	-42.1 dB	-32.8 dB	9.4 dB	2.5 dB	336

Tabla 6: Resultados de demodulación en pruebas (UBS, LSB y AM)

3.3. Conclusiones

- El diseño de entorno para las simulaciones de modulación y demodulaciones tanto en hacks compatibles fue un proceso de evaluación, debido a que tanto en modulación SSB (LSB-USB) y DSB-FC (AM) se hizo uso de la instalación de drivers y programas para tener completas las herramientas al momento de conectar la porta pack en modo hack, luego de su instalación existen respuestas favorables, pues ambos equipos son compatibles y a su vez muestran compatibilidad con el programa SDRAngel.
- Los datos obtenidos en cada modulación y demodulaciones para las tres prácticas permitieron el análisis cuantitativo validando el uso del SDR ante plataformas de medición, tanto para las pruebas de SSB y AM cada una refleja valores distintos, sin embargo, sus resultados arrojados por porcentajes de potencias son favorables, pues existe un análisis de datos afirmando que se cumple con los objetivos.
- La medición de los parámetros mediante su espectro demostró que la potencia que se transmite para pruebas en SSB se ha centrado en una porción compacta del espectro, por posicionamiento de filtros, aunque es más fácil de demodular para receptores analógicos.

3.4. Recomendaciones

- Es recomendable la separación de los dos hacks, tanto del aparato transmisor y receptor, de esta manera se evita la retroalimentación de interferencia directa y fenómenos de eco en entorno controlados, la distancia máxima es de 5m, dependiendo de la banda en que se vaya a realizar las prácticas.
- Los valores de los parámetros y el uso de las antenas que proveen los equipos son de suma importancia, de ello dependerá si se transmite en bandas de UHF y VHF dirigida para una sola trayectoria manteniendo un enlace.

Bibliografía

- [1] S. Burrell, "*wraycastle*", 5 noviembre 2024. [En línea]. Disponible en: <https://wraycastle.com/es/blogs/knowledge-base/software-defined-radio>.
- [2] Amateur, "*Software Defined Radios (SDRs) for Beginners*", [En línea]. Disponible en: <https://hamradiodx.net/software-defined-radio-sdr-for-beginners>. [Último acceso: 16 junio 2025].
- [3] A. Mejias, "*la radio definida por software*", 11 septiembre 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/29187/RadioDefinidaSoftwareIngRadio.pdf?sequence=1>.
- [4] I. Onate, "*Guía para ingenieros sobre la radio definida por software SDR*", 4 octubre 2022. [En línea]. Disponible en : <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/guia-para-ingenieros-sobre-la-radio-definida-por-software-sdr/>.
- [5] M. P. Oruste, "*curso de extension del dea radio definido por software*", 12 marzo 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fi.unsj.edu.ar/noticias/noticia/772/curso-de-extension-del-dea-radio-definido-por-software>.
- [6] LUMIL, "*Todo-SDR*", 25 mayo 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.todo-sdr.com/funcionamiento-sdr/>.
- [7] R. Roch, "*Lovtechnology*", 26 Noviembre 2024. [En línea]. Disponible en: <https://lovtechnology.com/seguridad-en-comunicaciones-de-radio-definida-por-software-sdr/>.
- [8] Juan, "*PreyProject*", 27 junio 2024. [En línea]. Disponible en: <https://preyproject.com/es/blog/tipos-de-cifrado-simetrico-o-asimetrico-rsa-o-aes>.
- [9] R. Uppal, "*Software Defined Radio (SDR) standards for commercial and Military*", 6 mayo 2022. [En línea]. Disponible en: <https://idstch.com/technology/ict/software-defined-radio-sdr-standards-for-commercial-and-military/>. [Último acceso: 16 junio 2025].
- [10] srcejon, "*AM/FM/SSB forum*", [En línea]. Disponible en: <https://sdrangel.org/forum/viewtopic.php?t=20>.
- [11] R. Erick, "*Transistores*", 15 mayo 2024. [En línea]. Disponible en: <https://transistores.info/guia-completa-modulacion-tipos-aplicaciones-en-comunicaciones/>.
- [12] A. Zebiane, "*Generation of Analog -Digital Modulation Schemes*", diciembre 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/384225623_Generation_of_Analog_-_Digital_Modulation_Schemes.
- [13] R. Echolink, "*red echolink*", 25 Marzo 2025. [En línea]. Disponible en: <https://echolinkchile.cl/index.php/2025/03/25/comprendiendo-la-banda-lateral-unica-bleu-o-ssb/>.

- [14] M. Arriola, "*Alfadelta*", 24 Mayo 2022. [En línea]. Disponible en: <https://alfadelta.org/2022/05/24/entendiendo-la-banda-lateral-unica-ssb/>.
- [15] D. Herres, "*Single-sideband modulation and its measurement*", 14 Junio 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.testandmeasurementtips.com/single-sideband-modulation-and-its-measurement-faq/?utm_source=chatgpt.com.
- [16] Á. Sierra, "*Modulación: Tipos, usos y ejemplos en señales*", 29 agosto 2024. [En línea]. Disponible en: <https://wowmania.es/modulacion-tipos-usos-y-ejemplos-en-senales/>.
- [17] i. Krisna, "*What is Amplitude Modulation Complete Guide with Formula, Circuit Diagram & Practical Demo*", [En línea]. Disponible en: <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/what-is-amplitude-modulation-complete-guide-formula-circuit-diagram-practical-demonstration>. [Último acceso: 10 junio 2025].
- [18] abcxperts, "*abcxperts*", 3 enero 2024. [En línea]. Disponible en e: <https://abcxperts.com/las-modulaciones-digitales-como-funcionan-y-por-que-son-importantes/>. [Último acceso: 4 junio 2025].
- [19] Arthur, "*herdaradio*", 27 marzo 2023. [En línea]. Disponible en: <https://herdaradio.com/fr/blog/radioknowledge/modulation-techniques-unveiled/>. [Último acceso: 12 junio 2025].
- [20] I. Galicia, "*El auge del audio en la comunicación digital y la generación de experiencias*", 30 septiembre 2022. [En línea]. Disponible en: <https://insiderlatam.com/el-auge-del-audio-en-la-comunicacion-digital-y-la-generacion-de-experiencias/>.
- [21] A. digital, "*TechEdu*", 26 octubre 2022. [En línea]. Disponible en: <https://techlib.net/techedu/audio-digital/>.
- [22] Ambiental, "*ambientum*", 23 octubre 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ambientum.com/ambientum/curiosidades/que-es-el-codigo-morse-y-para-que-sirve.asp>.
- [23] Matan, "*electricity*", 11 Junio 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricity-magnetism.org/es/cuales-son-los-diferentes-tipos-de-osciladores-y-sus-aplicaciones/>.
- [24] J. C. G, "*Amplificadores*", 5 noviembre 2024. [En línea]. Disponible en: <https://amplificadores.info/amp-op/integrador>. [Último acceso: 22 mayo 2025].
- [25] Edu, "*SDR News*", 16 Enero 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sdr.news/latest/open-source-sdr-software-best-free-tools-for-enthusiasts-and-professionals/>. [Último acceso: 26 mayo 2025].
- [26] Ea1uro, "*EAIURO*", 4 Enero 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ea1uro.com/radio/sdrangel2022/>. [Último acceso: 21 mayo 2025].
- [27] Edouard Griffiths, "*HackRF input plugin*", [En línea]. Disponible en: <https://github.com/f4exb/sdrangel/blob/master/sdrgui/device/readme.md>. [Último acceso: 26 mayo 2025].
- [28] E. d. experiencia, "*europa-connection*", 2 abril 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.europa-connection.fr/blog/conseils-et-expertise/hackrfone-r9-r10-h4m-comparatif-meilleurs-packs-2025.html>. [Último acceso: 24 mayo 2025].

- [29] J. Delgado, "Computer Hoy", 1 julio 2024. [En línea]. Disponible en: <https://computerhoy.20minutos.es/tecnologia/hackrf-one-alternativa-flipper-zero-hackear-interceptar-senales-radio-1392731>. [Último acceso: 28 mayo 2025].
- [30] hackrfone, "SDR with HackRF One (Lesson 1: Welcome)", 22 agosto 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hackrfone.com/course/lesson1/>. [Último acceso: 10 junio 2025].
- [31] ee-diary, "Understanding SSB Modulation: Frequency Discrimination", 26 Marzo 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ee-diary.com/2023/03/understanding-ssb-modulation-frequency.html>. [Último acceso: 23 mayo 2025].
- [32] Pascal, "modulation ssb", 4 Febrero 2024. [En línea]. Disponible en: <http://lvp71.fr/2024/02/04/la-modulation-ssb-cest-quoi/>. [Último acceso: 24 mayo 2025].
- [33] J. Ellison, "what Is Tx and Rx Signals: A Brief Introduction", 12 julio 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blinksandbuttons.net/what-is-tx-and-rx-signals/>. [Último acceso: 23 mayo 2025].
- [34] P. Pandey, "Types of Transmission Media", 18 septiembre 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scaler.in/types-of-transmission-media/>. [Último acceso: 25 mayo 2025].
- [35] D. Fisher, "Television transmission and reception", 14 mayo 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/television-technology/Television-transmission-and-reception>. [Último acceso: 27 mayo 2025].
- [36] J.-P. VsV, "All About Circuits", 3 julio 2024. [En línea]. Disponible en: <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/am-vs-ssb-vs-dsb-sc-vs-fm-in-practical-sense.201761/>. [Último acceso: 1 junio 2025].
- [37] Edouard Griffiths, "Main spectrum window", [En línea]. Disponible en: <https://github.com/f4exb/sdrangel/blob/master/sdrgui/mainspectrum/readme.md>. [Último acceso: 26 mayo 2025].
- [38] E. Otero, "SNR: Qué es y cómo influye la Relación Señal-Ruido en la calidad del sonido", 8 mayo 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.geeknetic.es/Guia/3185/SNR-Que-es-y-como-influye-la-Relacion-Senal-Ruido-en-la-calidad-del-sonido.html>. [Último acceso: 2 junio 2025].
- [39] R. Ricardo, "studyando", 22 marzo 2022. [En línea]. Disponible en: <https://estudyando.com/relacion-senal-ruido-s-n-definicion-y-formula/>. [Último acceso: 10 junio 2025].
- [40] L. Alegsa, "Definición de Zona de Fresnel", 11 junio 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.alegsa.com.ar/Dic/zona_de_fresnel.php#gsc.tab=0. [Último acceso: 13 junio 2025].
- [41] C. Wolff, "Zona de Fresnel", 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.radartutorial.eu/07.waves/wa18.es.html>. [Último acceso: 14 junio 2025].
- [42] Matan, "Fórmula Difracción Fresnel | Uso y Cálculo", 21 marzo 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricity-magnetism.org/es/formula-difraccion-fresnel-uso-y-calculo/>. [Último acceso: 14 junio 2025].