

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RADIO
DEFINIDO POR SOFTWARE**

PRESENTADO POR:

KEVIN JOSIAS COMAYAGUA MARTINEZ

GERSON BENEDICTO ROMERO GRANADOS

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTINEZ CALDERON

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

TITULO:

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RADIO
DEFINIDO POR SOFTWARE**

PRESENTADO POR:

KEVIN JOSIAS COMAYAGUA MARTINEZ

GERSON BENEDICTO ROMERO GRANADOS

Trabajo de graduación aprobado por:

DOCENTE ASESOR:

ING WERNER DAVID MELENDEZ VALLE

SAN SALVADOR, AGOSTO DEL 2022

Trabajo de graduación aprobado por:

Docente asesor:

ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Jueves 21 de julio de 2022, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 1:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director


Firma

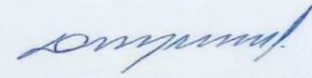


2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

Por: 
Firma

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE
(Docente Asesor)


Firma

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ


Firma

- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE

A cargo de los Bachilleres:

- COMAYAGUA MARTÍNEZ KEVIN JOSÍAS

- ROMERO GRANADOS GERSON BENEDICTO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.0
(OCHO PUNTO CERO)

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, agradezco a Jehová Dios, por permitirme llegar hasta este punto y por haberme dado las herramientas necesarias para librar todos los obstáculos que se presentaron en el camino. A mi padre, por impulsarme a iniciar una carrera en la Universidad de El Salvador y apoyarme económicamente durante gran parte de ella. A mi madre, por todo su esfuerzo y sacrificio para darme lo necesario para lograr llegar hasta aquí, por los ánimos que me dio durante cada día transcurrido desde el primer ciclo y hasta la defensa final de mi tesis. Gracias mamá por todo tu amor y tu guía para siempre hacer las cosas de la mejor manera posible, no hay duda que eres mi ejemplo a seguir.

A mi hermosa Beita, por apoyarme en la etapa más difícil y no dejar que me rindiera a pesar de las dificultades. Por respaldarme para terminar esta tesis, sacrificándose y luchando hombro a hombro conmigo para que nuestros hijos tengan a un padre ingeniero.

A mis hermanos, Jefry y Diego, porque entre bromas y regaños siempre me impulsaron a seguir adelante a pesar de los obstáculos, por ayudarme en las “pequeñas cosas”. Especialmente a Jefry, quien siempre me ha respaldado y cuidado, y ha demostrado ser el mejor amigo y hermano y a quien estoy seguro que pronto también tendré el orgullo de llamar colega.

Al personal académico, administrativo y encargados de laboratorio de la escuela. A los ingenieros que se esmeran por compartir sus conocimientos y formar buenos profesionales; A nuestro asesor, Ingeniero Werner Meléndez, por su guía durante este trabajo, por orientarnos y tener la paciencia necesaria. A Reinita Vides, que sin su ayuda este momento aún no llegaría, así como el de muchos otros, razón por la que yo también me uno al reconocimiento de su enorme labor, y en especial le agradezco porque cuando todo se me puso cuesta arriba me tendió una mano.

A mis compañeros de la EIE, personas en las que en las agotadoras horas de estudio siempre encontré un refugio entre bromas y palabras de aliento. En este punto, me parece totalmente relevante mencionar a Javier García, Julio López, Deiby Moreira, Juan Erazo, Karen Agreda, Jesús Díaz, Fidel Cortéz, Jocelyn Navas y Carlos Campos. Compañeros de quienes aprendí y que dejaron huella en mi paso por la escuela, haciéndome crecer como persona y contribuyeron a mi desarrollo, razón por la que siempre les guardaré especial cariño.

A mi compañero de tesis, Gerson Romero, gracias por trabajar de la mejor manera, por tu ayuda y respaldo. Gracias por haber llevado las buenas vibras todo el tiempo y haber dado el equilibrio a este grupo de trabajo, te deseo lo mejor para lo que viene.

A mi banda querida del pasillo, todos esos personajes que conocí desde mi llegada a la facultad y con quienes tengo probablemente la mayor cantidad de anécdotas épicas de mi paso por la universidad, cuyos acontecimientos “históricos” siguen sonando en las reuniones ocasionales que seguimos haciendo después de más de 10 años de amistad. A ellos, quienes me han visto crecer y desarrollarme en diferentes facetas, esos que siempre han estado alentándome y aconsejándome, gracias totales. ¡Aguante la conservita de coco!

Kevin Comayagua.

Primeramente, doy gracias a Dios por darme el privilegio de tener la oportunidad de haber llegado a estas instancias ya que siempre me ha dado la fortaleza y la bendición de la vida y las personas que me rodean para poder ver al frente y avanzar siempre.

Agradezco infinitamente a mi familia, que siempre han estado ahí apoyándome en las buenas y las malas, este logro es gran parte gracias a ellos y a quienes estaré siempre agradecido, quienes han sido el pilar fundamental para nunca rendirme.

Agradezco a Reina Vides, secretaria de la escuela de ingeniería eléctrica, a quien considero como mi familia, siempre ha tenido la paciencia para aconsejarme y orientarme en todo momento, siempre ha sido alguien que me ha brindado de su sabiduría para poder llegar a donde estoy.

A nuestro catedrático y asesor Werner Melendez que siempre estuvo para orientarnos durante nuestro proceso de trabajo de graduación y que sin importar la situación siempre nos orientó y nos guio para poder culminar este trabajo.

Gerson Romero

CONTENIDO.

Contenido

Glosario.....	1
Objetivos.....	3
Objetivo General:.....	3
Objetivos específicos:.....	3
Alcances:	4
Antecedentes:	4
Planteamiento del problema:	5
Justificación:.....	5
Resumen:.....	6
Capítulo 1: HISTORIA.....	7
El término "radio de software":	7
Aparece el termino Radio Definida por Software.....	9
SpeakEasy fase II.....	10
Años 2000.....	11
Capitulo 2: HackRF y Dongle RTL.....	12
HACK RF.....	12
Introducción.....	12
DONGLE RTL.....	13
Utilidad del SDR Dongle:.....	14
Capitulo 3: IMPLEMENTACION.....	16
MODULACION FM.....	16
Implementacion de MODULACION FM.....	20
FM BANDA ANCHA (WBFM).....	20
DEFINICION DE VARIABLES:.....	22
DEFINICION DE RANGOS:	22
DEFINICION DE PARAMETROS DE LOS BLOQUES DEL DIAGRAMA:.....	22
DEMOSTRACION DE RESULTADOS.....	25
FM BANDA ANGOSTA.....	26
AHORA SE MUESTRA EL DIAGRAMA DE LA MODULACION NBFM.....	26
DEFINICION DE VARIABLES:.....	28
DEFINICION DE RANGOS DE LA INTERFAZ:	28

DEMOSTRACION DE RESULTADOS:	31
IMPLEMENTACION DE LAS MODULACIONES AM.....	32
• DEFINICION DE VARIABLES Y RANGOS DE LA INTERFAZ	34
DEMOSTRACION DE RESULTADOS	37
Modulacion AM doble banda lateral con portadora suprimida.....	38
DEFINICION DE VARIABLES Y RANGOS DE LA INTERFAZ.....	40
DEMOSTRACION DE RESULTADOS.....	42
Modulacion banda lateral única.....	43
Modulacion LSB.....	44
DEMOSTRACION DE RESULTADOS.....	52
Modulacion USB.....	53
DEMOSTRACION DE RESULTADOS.....	61
Modulacion ASK.....	62
Transmisor:.....	62
Receptor:	63
DEMOSTRACION DE RESULTADOS.....	65
Modulacion FSK.....	66
DEMOSTRACION DE RESULTADOS.....	68
Modulacion QPSK.....	69
DEMOSTRACION DE RESULTADOS.....	74
Definicion de variables:	74
Definicion de rangos de interfaz de usuario:.....	74
CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFIA.....	77
ANEXOS	79

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 HACKRF ONE.....	13
Ilustración 2 RTL-DONGLE	15
Ilustración 3 SEÑAL FM	16
Ilustración 4 SEÑAL MODULADA EN FM	17
Ilustración 5 Diagrama de modulación WBFM	20
Ilustración 6 GENERADOR DE SEÑAL.....	21
Ilustración 7 BLOQUE MODULADOR	21
Ilustración 8 PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL	21
Ilustración 9 VARIABLES DEL DIAGRAMA.....	22
Ilustración 10 RANGOS EN ITERFAZ DE CONTROL	22
Ilustración 11 PARAMETROS DE SIGNAL SOURCE	22
Ilustración 12 PARAMETROS DE BLOQUE WBFM TRANSMIT	23
Ilustración 13 PARAMETROS DE BLOQUE RATIONAL RESAMPLER	23
Ilustración 14 PARAMETROS DE BLOQUE OSMOCOM SINK	24
Ilustración 15 Dominio de la frecuencia	25
Ilustración 16 Dominio en el tiempo	25
Ilustración 17 Recepción en RTL DONGLE	26
Ilustración 18 DIAGRAMA DE NBFM.....	26
Ilustración 19 GENERADOR DE LA SEÑAL	27
Ilustración 20 BLOQUE MODULADOR	27
Ilustración 21ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	28
Ilustración 22 DEFINICION DE VARIABLES	28
Ilustración 23 DEFINICION DE RANGOS.....	28
Ilustración 24 PARAMETROS DE SIGNAL SOURCE	29
Ilustración 25 PARAMETROS DE BLOQUE NBFM TRANSMIT.....	29
Ilustración 26 PARAMETROS DE BLOQUE RATIONAL RESAMPLER	29
Ilustración 27 PARAMETROS DE BLOQUE OSMOCOM SINK.....	30
Ilustración 28 Dominio de la frecuencia	31
Ilustración 29 Dominio en el tiempo	31
Ilustración 30 Recepcion en SDR#.....	32
Ilustración 31 DIAGRAMA DE MODULACION AM.....	33
Ilustración 32 DEFINICION DE MODULADORA Y PORTADORA	33
Ilustración 33 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL	33
Ilustración 34 BLOQUE QUE REPRESENTA AL HACKRF ONE	34
Ilustración 35	34
Ilustración 36 CONFIGURACION DE INTERFAZ.....	34
Ilustración 37 Señal moduladora.....	35
Ilustración 38 Señal Portadora	35
Ilustración 39 Parametros del Rastional Resample	36
Ilustración 40 PARAMETROS DE BLOQUE OSMOCOM SINK.....	36
Ilustración 41 Dominio de la frecuencia	37
Ilustración 42 Dominio del tiempo.....	37
Ilustración 43 Receptor AM en SDR#	38

Ilustración 44 Diagrama modulador.....	39
Ilustración 45 SEÑAL MODULADORA Y SEÑAL PORTADORA.....	39
Ilustración 46 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL	39
Ilustración 47 Definicion de variables.....	40
Ilustración 48 parametros de la moduladora.....	40
Ilustración 49 Parametros de la portadora	40
Ilustración 50 Parametros de rational resample.....	41
Ilustración 51 parametros de blooque rational resample	41
Ilustración 52 Dominio de la frecuencia.....	42
Ilustración 53 Dominio del tiempo.....	42
Ilustración 54 RECEPCION EN SDR#.....	43
Ilustración 55 Diagrama modulador.....	44
Ilustración 56 MODULADORA	44
Ilustración 57 PORTADORA.....	45
Ilustración 58 Sumidero de audio	45
Ilustración 59 Cambio de fase de 90°	46
Ilustración 60 Multiplicador	46
Ilustración 61 Conversor	47
Ilustración 62 Sumador.....	47
Ilustración 63 Repetidor.....	48
Ilustración 64 Repetidor.....	48
Ilustración 65 Conversor	49
Ilustración 66 Bloque transmisor.....	49
Ilustración 67 Sumidero de resultados.....	50
Ilustración 68 DEFICINION DE MODULADORA Y PORTADORA	50
Ilustración 69 RETRASO EN LA MODULADORA Y MULTIPLICACION DE SEÑALES	51
Ilustración 70 Interpolacion de la onda y paso a bloque transmisor	51
Ilustración 71 Dominio en la frecuencia.....	52
Ilustración 72 Receptor en SDR#	52
Ilustración 73 Diagrama modulador.....	53
Ilustración 74 Sumiderop de Audio.....	53
Ilustración 75 DEFINICION DE BLOQUE HILBERTH.....	54
Ilustración 76 Fuente de señal	54
Ilustración 77 Archivo .WAV	55
Ilustración 78 Conversor	55
Ilustración 79 Multiplicador	56
Ilustración 80 Comversor	56
Ilustración 81 Sumador.....	57
Ilustración 82 Repetidor.....	57
Ilustración 83 Repetidor.....	58
Ilustración 84 Bloque transmisor.....	58
Ilustración 85 Sumidero de resultados.....	59
Ilustración 86 Diagrama Modulador.....	59
Ilustración 87 Definicion de moduladora y portadora	60

Ilustración 88 USO DE BLOQUE HILBERTH	60
Ilustración 89 Dominio de la frecuencia	61
Ilustración 90 Dominio de la frecuencia	61
Ilustración 91 Receptor en SDR#	62
Ilustración 92 Diagrama Modulador	62
Ilustración 93 Diagrama Receptor	63
Ilustración 94 GENERADORES DE SEÑALES	63
Ilustración 95 MULTIPLICADOR	64
Ilustración 96 DEFINICION DE BLOQUE DE EMISION AL AIRE	64
Ilustración 97 Trasnmission ASK	65
Ilustración 98 Recepcion	65
Ilustración 99 DOMINIO DE LA FRECUENCIA	66
Ilustración 100 Diagrama modulador demodulador	66
Ilustración 101 DEFINICION DE LA FUENTE VECTORIAL	67
Ilustración 102 EMPAQUETADO DE DATOS EN FORMATO FLOAT	67
Ilustración 103 BLOQUES DE MODULACION Y DEMODULACION	68
Ilustración 104 Dominio del tiempo	68
Ilustración 105 Diagrama demodulador	69
Ilustración 106 Empaquetador de datos	70
Ilustración 107Modulador de constelaciones	70
Ilustración 108 DEFINICION DE BLOQUE CHANNEL MODE	71
Ilustración 109 DEFINICION DE POLYPHASE CLOCK SYNC	72
Ilustración 110 DEFINICION DE CMA EQUALIZER	72
Ilustración 111 DEFINICION DE COSTAS LOOP	73
Ilustración 112 DEFINICION DE CONSTELATION DECODER	73
Ilustración 113 Transmision QPSK	74
Ilustración 114 DEFINICION DE VARIABLES	74
Ilustración 115 DEFINICION DE RANGOS DE INTERFAZ DE USUARIO	74
Ilustración 116 PROCESIO DE EMPAQUETADO	74
Ilustración 117 DEFINICION DE PARAMETROS	75
Ilustración 118PROCESO DE DESEMPAQUETADO	75
Ilustración 119 Equipo transmisor y receptor	79
Ilustración 120 Equipo de transmisión	80
Ilustración 121 Equipo de recepción	80

Glosario.

SDR	RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE
AM	AMPLITUD MODULADA
FM	FRECUENCIA MODULADA
WBFM	FRECUENCIA MODULADA EN BANDA ANCHA
NBFM	FRECUENCIA MODULADA EN BANDA ANGOSTA
DSP	PROCESADOR DE SEÑALES DIGITALES
HPSDR	HIGH PERFORMANCE SOFTWARE DEFINED RADIO
ADC	CONVERTIDOR ANALOGO/DIGITAL
DAC	CONVERTIDOR DIGITAL/ANALOGICO
TRANSCEPTOR	DISPOSITIVO DE TRANSMISION Y RECEPCION
TRANSMISOR	DISPOSITIVO DE TRANSMISION
RECEPTOR	DISPOSITIVO DE RECPECION
VHF	VERY HIGH FREQUENCY
HF	HIGH FREQUENCY
PMC PROGRAMABLES	SISTEMAS DE COMUNICACIONES MODULARES
JTRS	SISTEMA DE RADIO TACTICO CONJUNTO
QAM	MODULACION DE AMPLITUS EN CUADRATURA
GRC	GNU RADIO COMPANION
HALFDUPLEX SIMULTANEO	ENVIO DE INFORMACION BIDIRECCIONAL PERO NO
FULLDUPLEX SIMULTANEO	ENVIO DE INFORMACION BIDIRECCIONAL Y

RF	RADIO FRECUENCIA
RTL	EQUIPOS RECEPTORES
SDR#	PROGRAMA DE RECEPCION
DSB	MODULACION DOBLE BANDA LATERAL
USB	BANDA LATERAL SUPERIOR
LSB	BANDA LATERAL INFERIOR
CW	ONDA CONTINUA
ADS-B	SISTEMA DE VIGILANCIA AUTOMATICA
PSK	MODULACION POR DESPLAZAMIENTO DE FASE
FSK	MODULACION POR DESPLAZAMIENTO POR
FRECUENCIA	
ASK	MODULACION POR DESPLAZAMIENTO DE
AMPLITUD	
QPSK	MODULACION POR DESPLAZAMIENTO DE FASE

Objetivos.

Objetivo General:

- Diseñar e implementar un sistema de radio definido por software, aplicado a sistemas de radiodifusión, incluyendo televisión análoga abierta, que permita interactuar con los principales bloques de procesamiento asociados a este tipo de sistemas.

Objetivos específicos:

- Construir un sistema transmisor-receptor completo (incluyendo radiación de energía al espacio), usando tecnología SDR
- Demostrar las variaciones de la información, en el dominio del tiempo y frecuencia, utilizando el sistema SDR propuesto
- Proponer prácticas de laboratorio que faciliten la enseñanza de los conceptos de modulación de amplitud, en todas sus variantes (doble banda lateral, banda lateral única, doble banda lateral con portadora), así como modulación en frecuencia y televisión análoga abierta

Alcances:

- Examinar las opciones de hardware más adecuadas, que permitan implementar sistemas de radio modulados en amplitud y frecuencia, utilizando SDR
- Evaluar las alternativas de software más apropiadas, para el desarrollo del presente trabajo
- Construir los elementos de hardware que sean necesarios, para transmitir y recibir información hacia y desde sistemas reales (por ejemplo, sistemas de radio comercial o de televisión abierta), sin interferir con estos sistemas
- Evaluar la aplicación del sistema propuesto, en sistemas de modulación de fase, y en aplicaciones de transmisión digital

Antecedentes:

Anteriormente, la aplicación o implementación, de los conceptos de transmisión/recepción de señales de radio, requería el uso de sistemas reales los cuales (a su vez), eran limitados a un uso específico, es decir, para trabajar con sistemas de televisión, era necesario un transmisor de ese tipo, y así para el resto de aplicaciones (transmisión AM, FM, etc.). O en su defecto, se podía tener un sistema de aplicaciones múltiples, pero de uso limitado en laboratorio. Las tecnologías SDR no son nuevas, sin embargo, los avances en la electrónica y procesos de construcción, han facilitado su expansión y reducido su costo, lo que las vuelve factibles de ser usadas en la EIE en la enseñanza de las telecomunicaciones.

Planteamiento del problema:

La enseñanza de los conceptos asociados a la transmisión/recepción de señales de radio, involucran fundamentos teóricos que difícilmente se pueden demostrar, sin el uso de sistemas reales (incluyendo dispositivos de medición); estos sistemas, a su vez, suelen ser poco adecuados para mostrar procesamientos específicos de señal. Los inconvenientes anteriores, se pueden superar, con el uso de tecnologías SDR y para ello, se hace necesario evaluar las opciones disponibles (hardware y software), así como la valoración de las interfaces necesarias para su interacción con servicios reales, lo que se pretende realizar en el presente trabajo.

Justificación:

Las tecnologías de transmisión vía radio, siguen siendo un componente de mucha importancia en el campo de las telecomunicaciones, ya que las podemos encontrar en casi todo lo que nos rodea y a diario interactuamos con ellas, es por ello que la enseñanza de estas tecnologías, sigue siendo necesaria en dicho campo. En ese sentido, también es importante buscar mecanismos que ayuden a fortalecer el proceso de enseñanza/aprendizaje en esta área. SDR permite construir sistemas flexibles y capaces de interactuar con servicios reales, permitiendo con ello, un análisis más completo de los conceptos teóricos asociados a este tipo de servicios

Resumen:

Las tecnologías de “Radio Definido por Software” o SDR (Software Defined Radio), por su acrónimo del inglés, permiten que algunos de los componentes típicos asociados a un sistema de radio, se puedan sustituir por programas en una computadora, de tal forma que se facilita y se flexibiliza el estudio de tecnologías, el diseño de sistemas o la comprensión de conceptos. Con el hardware y software apropiados, es posible implementar diversos tipos de tecnologías de radio, que van desde aplicaciones en las bandas de frecuencia de AM y FM comerciales, hasta transmisores radar, o radios de telefonía móvil.

Es importante señalar, que este tipo de implementaciones, no se limitan a simulaciones en laboratorio, ya que éstas, pueden interactuar con servicios reales (es decir, son capaces de radiar información real, y también recibirla y decodificar el mensaje original).

Las aplicaciones de software, facilitan la comprensión de los procesos de acondicionamiento de la información a transmitir (filtrado, multiplexación, encriptación, modulación, amplificación, etc.), así como la evaluación del desempeño de los sistemas bajo estudio (calidad de señal, probabilidad de error, relación señal a ruido, análisis de interferencias, etc.), lo que resulta de gran importancia en la enseñanza de las aplicaciones radio.

El presente trabajo tiene como finalidad, implementar un sistema SDR en la Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE), que permita el tratamiento, análisis, transmisión y recepción de señales moduladas en amplitud y frecuencia, incluyendo sistemas de televisión, de tal forma que permita interactuar con las etapas de procesamiento más importantes en este tipo de aplicaciones, y a partir de ello, fortalecer los procesos de enseñanza de este tipo de conceptos.

Capítulo 1: HISTORIA.

Antiguamente los equipos receptores y transmisores de radiocomunicaciones eran equipos construidos con componente electrónicos que constituían la etapa de radiofrecuencia, la de frecuencia intermedia, la de detección y el amplificador de baja frecuencia, etc. En los años 80 se introdujeron los microprocesadores para controlar funciones internas y para aportar nuevas prestaciones, también se introdujo la posibilidad de controlar los equipos de radio a través de un ordenador añadiendo al equipo de radio varios puertos de comunicación para su conexión a un ordenador.

En la década de los 90 se empezaron a desarrollar los chips DSP o Procesadores Digitales de Señal, los cuales permitían mediante técnicas digitales realizar filtros passabajos y de supresión de ruido. A pesar de estos adelantos todavía se trataba de "emisoras hardware".

Fue a mediados de los años 90 cuando Joseph Mitola III empezó a investigar y desarrollar un nuevo concepto de equipos de radiocomunicación denominado SDR (Software Defined Radio), creando los equipos de radio definidos por software.

A partir de este concepto se han definido varias iniciativas públicas de radio por software como la FLEX-5000, la GNU Radio, la HPSDR (High Performance Software Defined Radio), etc.

Esta evolución en la tecnología dio lugar, unos años más tarde, al desarrollo de la Radio Cognitiva. La Radio Cognitiva es capaz de hacer que el emisor y el receptor decidan automáticamente la frecuencia en la cual trabajarán, teniendo en cuenta la mejor opción en cada momento. A partir de este modo se obtiene una mejora en el aprovechamiento del ancho de banda.

El término "receptor digital" fue acuñado en 1970 por un investigador en un laboratorio del Departamento de Defensa de los Estados Unidos . Un laboratorio llamado Gold Room en TRW en California creó una herramienta de análisis de banda base de software llamada Midas, que tenía su funcionamiento definido en el software.

El término "radio de software":

El término "radio de software" fue acuñado en 1984 por un equipo de Garland, Texas , División de E-Systems Inc. (ahora Raytheon) para referirse a un receptor de banda base digital y publicado en el boletín de la empresa E-Team. El equipo de E-Systems desarrolló un laboratorio de 'prueba de concepto de software de radio' que popularizó el software de radio dentro de varias agencias gubernamentales. Esta Radio de software de 1984 era un receptor de banda base digital que proporcionaba cancelación y demodulación de interferencias programables para señales de banda ancha, generalmente con miles de derivaciones de filtro adaptativo , utilizando múltiples procesadores de matriz que accedían a la memoria compartida.

Mientras trabajaba bajo un contrato del Departamento de Defensa de EE. UU. en RCA en 1982, el departamento de Ulrich L. Rohde desarrolló el primer SDR, que usaba el chip COSMAC (computadora de matriz monolítica de simetría complementaria). Rohde fue el primero en presentar este tema con su charla de febrero de 1984, "Radio HF digital: una muestra de técnicas" en la Tercera Conferencia Internacional sobre Sistemas y Técnicas de Comunicación HF en Londres

En 1991, Joe Mitola reinventó de forma independiente el término radio software para un plan para construir una estación base GSM que combinaría el receptor digital de Ferdensi con los bloqueadores de comunicaciones controlados digitalmente de E-Systems Melpar para un verdadero transceptor basado en software. E-Systems Melpar vendió la idea del software de radio a la Fuerza Aérea de EE. UU. Melpar construyó un terminal táctico de comandantes prototipo en 1990-1991 que empleó Texas Instruments TMS320C30 procesadores y conjuntos de chips receptores digitales Harris con transmisión sintetizada digitalmente.

El prototipo de Melpar no duró mucho porque cuando la División ECI de E-Systems fabricó las primeras unidades de producción limitada, decidieron "tirar esas placas C30 inútiles", reemplazándolas con filtrado de RF convencional en transmisión y recepción, volviendo a una banda base digital. radio en lugar de SpeakEasy como IF ADC / DAC del prototipo de Mitola.

La Fuerza Aérea no permitió que Mitola publicara los detalles técnicos de ese prototipo, ni permitió que Diane Wasserman publicara las lecciones aprendidas del ciclo de vida del software relacionado porque lo consideraban una "ventaja competitiva de la USAF". Entonces, en cambio, con el permiso de la USAF, en 1991 Mitola describió los principios de la arquitectura sin detalles de implementación en un documento, "Software Radio: Survey, Cuando Mitola presentó el documento en la conferencia, Bob Prill de GEC Marconi comenzó su presentación siguiendo a Mitola con "Joe tiene toda la razón sobre la teoría de una radio de software y estamos construyendo una".

Prill presentó un artículo de GEC Marconi sobre PAVE PILLAR, un precursor de SpeakEasy. SpeakEasy, la radio de software militar fue formulada por Wayne Bonser, entonces del Rome Air Development Center (RADC), ahora Rome Labs; por Alan Margulies de MITRE Rome, NY; y luego la teniente Beth Kaspar, la gerente original del proyecto DARPA SpeakEasy y por otros en Roma, incluido Don Upmal.

Aunque las publicaciones IEEE de Mitola resultaron en la huella global más grande para la radio por software, Mitola atribuye en privado al laboratorio del Departamento de Defensa de la década de 1970 con sus líderes Carl, Dave y John por haber inventado la tecnología de receptor digital en la que basó la radio por software una vez que fue posible transmitir. a través del software.

Unos meses después de la Conferencia Nacional de Telesistemas de 1992, en una revisión del programa corporativo de E-Systems, un vicepresidente de E-Systems Garland Division se opuso al uso de Melpar (Mitola) del término "radio de software" sin crédito a Garland. Alan Jackson, vicepresidente de marketing de Melpar en ese momento, le preguntó al vicepresidente de Garland si su laboratorio o sus dispositivos incluían transmisores. El vicepresidente de Garland dijo: "No, por supuesto que no, el nuestro es un receptor de radio de software". Al respondió: "Entonces es un receptor digital pero sin un transmisor, no es

una radio de software". El liderazgo corporativo estuvo de acuerdo con AI, por lo que se mantuvo la publicación.

Muchos operadores de radioaficionados e ingenieros de radio HF se dieron cuenta del valor de digitalizar HF en RF y procesarlo con los procesadores de señal digital TI C30 de Texas Instruments.(DSP) y sus precursores durante la década de 1980 y principios de la de 1990. Los ingenieros de radio de Roke Manor en el Reino Unido y de una organización en Alemania habían reconocido los beneficios de ADC en RF en paralelo, por lo que el éxito tiene muchos padres. La publicación de Mitola del software de radio en el IEEE abrió el concepto a la amplia comunidad de ingenieros de radio.

Su número especial de mayo de 1995 de IEEE Communications Magazine con la portada "Software Radio" fue considerado un hito con miles de citas académicas. Mitola fue presentado por Joao da Silva en 1997 en la Primera Conferencia Internacional sobre Radio Software como "padrino" de la radio software en gran parte por su voluntad de compartir una tecnología tan valiosa "en el interés público".

Quizás el primer transceptor de radio basado en software fue diseñado e implementado por Peter Hoehner y Helmuth Lang en el Establecimiento de Investigación Aeroespacial Alemán (DLR , anteriormente DFVLR) en Oberpfaffenhofen , Alemania, en 1988. Tanto el transmisor como el receptor de un satélite digital adaptativo módem se implementaron de acuerdo con los principios de una radio de software, y se propuso una periferia de hardware flexible.

Aparece el termino Radio Definida por Software.

El término "radio definida por software" fue acuñado en 1995 por Stephen Blust, quien publicó una solicitud de información de Bell South Wireless en la primera reunión del foro Modular Multifunction Information Transfer Systems (MMITS) en 1996, organizado por la USAF y DARPA en torno a la comercialización de su programa SpeakEasy II.

Mitola se opuso al término de Blust, pero finalmente lo aceptó como un camino pragmático hacia la radio de software ideal. Aunque el concepto se implementó por primera vez con un IF ADC a principios de la década de 1990, las radios definidas por software tienen su origen en los sectores de defensa de EE. UU. y Europa a fines de la década de 1970 (por ejemplo, Walter Tuttlebee describió una radio VLF que usaba un ADC y un 8085 microprocesador), aproximadamente un año después de la Primera Conferencia Internacional en Bruselas. Una de las primeras iniciativas públicas de software de radio fue el proyecto militar DARPA-Air Force de EE. UU. denominado SpeakEasy .

El objetivo principal del proyecto SpeakEasy era usar el procesamiento programable para emular más de 10 radios militares existentes, operando en bandas de frecuencia entre 2 y 2000 MHz . Otro objetivo del diseño de SpeakEasy era poder incorporar fácilmente nuevos estándares de codificación y modulación en el futuro, para que las comunicaciones militares puedan seguir el ritmo de los avances en las técnicas de codificación y modulación.

En 1997, Blaupunkt introdujo el término "DigiCeiver" para su nueva gama de sintonizadores basados en DSP con Sharx en radios de automóviles como Modena y Lausanne RD 148.

SpeakEasy Fase I

De 1990 a 1995, el objetivo del programa SpeakEasy fue demostrar una radio para el grupo de control aéreo terrestre táctico de la Fuerza Aérea de los EE . FM , y SINCGARS), radios del Ejército del Aire (VHF AM), Radios Navales (teleimpresores VHF AM y HF SSB) y satélites (microondas QAM). Algunos objetivos particulares eran proporcionar un nuevo formato de señal en dos semanas desde un principio y demostrar una radio en la que varios contratistas pudieran conectar piezas y software.

El proyecto se demostró en el ejercicio de combate avanzado TF-XXI y demostró todos estos objetivos en una radio que no es de producción. Hubo cierto descontento con la falla de estas primeras radios de software para filtrar adecuadamente las emisiones fuera de banda, emplear más que los modos interoperables más simples de las radios existentes y perder conectividad o colapsar inesperadamente.

Su criptografía El procesador no podía cambiar el contexto lo suficientemente rápido como para mantener varias conversaciones de radio en el aire a la vez. Su arquitectura de software, aunque bastante práctica, no se parecía a ninguna otra. La arquitectura SpeakEasy se perfeccionó en el MMITS Forum entre 1996 y 1999 e inspiró al equipo de procesos integrados (IPT) del DoD para sistemas de comunicaciones modulares programables (PMCS) para proceder con lo que se convirtió en el Sistema de radio táctico conjunto (JTRS).

La disposición básica del receptor de radio usaba una antena que alimentaba un amplificador y un convertidor descendente (ver Mezclador de frecuencia) que alimentaba un control automático de ganancia , que alimentaba un convertidor de analógico a digital que estaba en una computadora VMEbus con una gran cantidad de procesadores de señales digitales. (Texas Instruments C40s). El transmisor tenía convertidores de digital a analógico en el bus PCI alimentando un convertidor ascendente (mezclador) que condujo a un amplificador de potencia y una antena.

El rango de frecuencia muy amplio se dividió en unas pocas subbandas con diferentes tecnologías de radio analógicas que alimentaban los mismos convertidores de analógico a digital. Desde entonces, esto se ha convertido en un esquema de diseño estándar para radios de software de banda ancha.

SpeakEasy fase II.

El objetivo era conseguir una arquitectura reconfigurable más rápidamente, *es decir*, varias conversaciones a la vez, en una arquitectura de software *abierta*, con conectividad entre canales (la radio puede "conectar" diferentes protocolos de radio). Los objetivos secundarios eran hacerlo más pequeño, más barato y con menos peso.

El proyecto produjo una radio de demostración solo quince meses después de un proyecto de investigación de tres años. Esta demostración fue tan exitosa que se detuvo un mayor desarrollo y la radio entró en producción con solo un rango de 4 MHz a 400 MHz.

La arquitectura de software identificó interfaces estándar para diferentes módulos de la radio: "control de frecuencia de radio" para administrar las partes analógicas de la radio, recursos administrados de "control de módem" para esquemas de modulación y demodulación (FM, AM, SSB, QAM, etc.) , los módulos de "procesamiento de formas de onda" en realidad realizaban las funciones del módem , el "procesamiento de claves" y el

"procesamiento criptográfico" administraban las funciones criptográficas, un módulo "multimedia" realizaba el procesamiento de voz, una "interfaz humana" proporcionaba controles locales o remotos, había un " módulo de enrutamiento" para servicios de red, y un módulo de "control" para mantener todo en orden.

Se dice que los módulos se comunican sin un sistema operativo central. En cambio, se envían mensajes a través del bus de la computadora PCI con un protocolo en capas.

Como proyecto militar, la radio distinguió fuertemente "rojo" (datos secretos no seguros) y "negro" (datos protegidos criptográficamente).

El proyecto fue el primero conocido en utilizar FPGA (matrices de puertas programables en campo) para el procesamiento digital de datos de radio. El tiempo para reprogramarlos era un problema que limitaba la aplicación de la radio. Hoy en día, el tiempo para escribir un programa para un FPGA sigue siendo significativo, pero el tiempo para descargar un programa FPGA almacenado es de alrededor de 20 milisegundos. Esto significa que un SDR podría cambiar los protocolos de transmisión y las frecuencias en una quincuagésima parte de un segundo, lo que probablemente no sea una interrupción intolerable para esa tarea.

Años 2000.

El sistema SpeakEasy SDR en 1994 utiliza un procesador de señal digital (DSP) CMOS TMS320C30 de Texas Instruments , junto con varios cientos de chips de circuitos integrados, con la radio llenando la parte trasera de un camión. A fines de la década de 2000, el surgimiento de la tecnología RF CMOS hizo que fuera práctico escalar un sistema SDR completo a un solo sistema de señal mixta en un chip , lo que Broadcom demostró con el procesador BCM21551 en 2007. El Broadcom BCM21551 tiene funciones prácticas aplicaciones comerciales, para uso en teléfonos móviles 3G .

Capítulo 2: HackRF y Dongle RTL.

HACK RF.

Introducción.

El HackRF One es un dispositivo de radio definido por software (SDR) con la capacidad de digitalizar señales de radio que son recibida o transmitida por el dispositivo. El dispositivo trabaja con frecuencias de 1MHz a 6 GHz, lo que incluye la mayoría de los dispositivos funcionan con Bluetooth, radio FM, comunicación de campo cercano (NFC) y tecnología celular. Su lanzamiento se dio en 2014.

El dispositivo se opera junto con una computadora y un software que puede procesar SDR, como GNU Radio Companion (GRC). El dispositivo HACKRF funciona en modo semidúplex, lo que significa que solo puede recibir transmisiones o transmitir señales una a la vez, en lugar de recibir y transmitir al mismo tiempo.

HackRF One de Great Scott Gadgets es un periférico de radio definido por software capaz de transmitir o recibir señales de radio de 1 MHz a 6 GHz. Diseñado para permitir la prueba y el desarrollo de tecnologías de radio modernas y de próxima generación, HackRF One es una plataforma de hardware de código abierto que puede usarse como un periférico USB o programarse para una operación independiente.

- Frecuencia de funcionamiento de 1 MHz a 6 GHz
- transceptor semidúplex
- hasta 20 millones de muestras por segundo
- Muestras en cuadratura de 8 bits (I de 8 bits y Q de 8 bits)
- compatible con GNU Radio, SDR# y más
- Ganancia RX y TX configurable por software y filtro de banda base
- alimentación del puerto de antena controlada por software (50 mA a 3,3 V)
- Conector de antena SMA hembra
- Entrada y salida de reloj SMA hembra para sincronización
- botones convenientes para la programación
- encabezados de pines internos para expansión
- USB 2.0 de alta velocidad
- alimentado por USB
- hardware de código abierto

HackRF One tiene una carcasa de plástico moldeado por inyección y se envía con un cable micro USB. Una antena no está incluida. Se recomienda ANT500 como antena de inicio para HackRF One.

HackRF One es un equipo de prueba para sistemas de RF. No se ha probado el cumplimiento de las normas que rigen la transmisión de señales de radio. Usted es responsable de usar su HackRF One legalmente.



Ilustración 1 HACKRF ONE

DONGLE RTL.

La Dongle RTL es un dispositivo multipropósito de gran utilidad, su tamaño físico es muy parecido al de un pendrive. Al ser un dispositivo perteneciente a la tecnología de Radios definidos por Software su funcionalidad se multiplica por cada aplicación informática que lo soporte; esta compuesto por un chipset RTL2832U, dispositivo que se puede convertir en un receptor SDR (RTL-SDR) que permite, entre otras cosas, experimentar en el amplio mundo del espectro radioeléctrico. Acceder este dispositivo SDR está al alcance de cualquiera debido a su pequeño tamaño y bajo costo, y tiene gran utilidad por los radioaficionados, al ser una excelente herramienta de recepción.

Su historia forma parte de la evolución vertiginosa a todo lo largo del siglo XX y comienzos del siglo XXI que ha tenido la informática y la electrónica. La digitalización y el continuo desarrollo de la informática, tanto del software como del hardware, que han permitido alcanzar capacidades muy altas de procesamiento, permitiendo realizar operaciones a velocidades casi impensables hace unas décadas. En el desarrollo y descubrimiento del RTLSDR Dongle se le atribuye al finlandés Antti Palosaari quien colabora en el proyecto Linux TV escribiendo código para que el kernel GNU/Linux soporte dispositivos tales como webcams, capturadoras de video y sintonizadoras de televisión analógica y digital, como así también los controles remotos que suelen traer estos dispositivos. En el año 2012, mientras trabajaba con una sintonizadora de TV digital de la marca Ezcab EzTV 668 DVB-T/FM/DAB, Antii descubrió que el chip Realtek RTL2832U de su interior tenía ciertos registros y comandos no documentados.

Con ellos podía llevarlo a un modo de funcionamiento donde transfiere las muestras I/Q en banda base sin procesar por el puerto USB 2.0 hacia la PC, estas muestras son la representación digital de la amplitud de la señal modulada (componente Q, de Quadrature) y su fase rotada 90 grados (componente I, de In phase) para un instante de tiempo dado. Dicho de una manera aún más simple, cada muestra I/Q es como una fotografía digital de

la señal modulada. Por medio de algún software en la computadora es posible demodular el flujo de muestras I/Q provenientes de la sintonizadora. Este modo de funcionamiento del RTL2832U es el que permite a estas placas (o dongles) brindar FM y DAB, a diferencia de DVB-T que se demodula generalmente por hardware.

Existen decenas de aplicaciones desarrolladas para el RTLSDR dongle, categorizadas de propósito general, permitiendo su uso como un radio receptor normal de banda ancha. Su diferencia estriba en las funcionalidades específicas de cada una de ellas, en su rendimiento en la práctica, el sistema operativo sobre el cual trabajan, si publican su código fuente o no y si son gratis o pagadas. De esta pléthora de aplicaciones el SDRSharp considera uno de los más completos en esta categoría: SDR# (Windows/Linux with Mono). Es conocido como SDRSharp y es uno de los más populares en la actualidad, permitiendo la recepción y demodulación de varios tipos de señales como NFM, WFM, AM, USB, LSB, DSB, CW.

Es muy sencillo de operar y se le han adicionado nuevas funcionalidades (plugins) que lo convierten en una gran herramienta. Permite visualizar simultáneamente un segmento del espectro de hasta 3,2 MHz, realizar grabaciones de todo el segmento en I/Q y del audio desmodulado de la estación seleccionada, conexión remota a través de la red de datos, escanear el espectro, crear bases de datos con las frecuencias de estaciones de interés, modificar el filtro pasa banda, etc. Se puede extender sus frecuencias de operación, adicionando un upconverter y un downconverter. Se recomienda, para obtener resultados satisfactorios en todas sus funcionalidades, el empleo de un PC Quad Core y cuatro Gigas de RAM. Aunque para lo más básico una configuración más ligera funciona perfectamente.

Utilidad del SDR Dongle:

- Receptor multimodo de AM, WFM, NFM, DSB, USB, LSB, DRM, CW, y de casi todos los modos digitales de radioaficionados.
- Visualizar de continuo 2 MHz de ancho de banda y grabar este espectro.
- Visualizar TV analógica en Blanco y Negro.
- Seguir diferentes tecnologías de los sistemas de Trunking.
- Demodular trunking (varios modos de voz digital).
- Recibir GPS en tiempo real. Recibir AIS (barcos), ADS-B y ACARS (aviones) y ubicarlos en un mapa.
- Convertirse en un analizador de espectro con múltiples funcionalidades, realizar monitoreo remotos a través de la red de datos.
- Recibir imágenes meteorológicas de los satélites de la NOAA.
- Conectarse a un teléfono móvil y monitorear el espectro desde el móvil. Realizar escaneos del espectro radioeléctrico, generando tablas de ocupación, etc.
- Recibir DAB y TV digital DVB-T (norma Europea de TV digital).
- Decodificar las señales de los beepers, globo sondas, telemetría de varios satélites, etc.

Aunque existen varios modelos, el RTL2832U es el que mayor intervalo de frecuencias cubre, entre 50MHz y 2200MHz, con una pequeña interrupción entre 1100 MHz y 1250 MHz. Se debe advertir que no todos los dongles de TV DVB-T sirven para ser utilizados para las funcionalidades como las que aquí se describen, existe una lista de marcas y modelos compatibles publicada en Internet. Los dongles que poseen el chip decodificador en cuadratura de Realtek RTL2832U y los Chips de sintonía Elonics 4000 o Raphael Micro

R820T si son compatibles, puesto que existen los drivers para manejarlos a nuestro antojo. La salida del RTL2832U nos brinda muestras de 8-bit de las señales I/Q, y su mayor frecuencia teórica de muestreo es de 3.2 MS/s, sin embargo, se pierde calidad o muestras con esta velocidad y se recomienda emplear una frecuencia de 2.56 MS/s o menor, lo que nos permite básicamente procesar simultáneamente 2 MHz del espectro radioeléctrico entre 50 MHz y 2200 MHz a través de los puertos USB de la Computadora.



Ilustración 2 RTL-DONGLE

Capítulo 3: IMPLEMENTACION.

En el presente trabajo abarcando todas las opciones de aplicación que nos da la oportunidad de evaluar la tecnología SDR nos enfocaremos en la modulación FM interactuando con el tipo de modulación de banda ancha así también como el de banda angosta. También se trabajara la modulación AM así como sus variantes en este caso serian doble banda lateral con portadora suprimida, banda lateral superior, banda lateral inferior y el AM comercial, así como la modulación digital ASK todo con pruebas al aire y al igual la modulación PSK, FSK Y QPSK a nivel de simulación explicando las limitantes.

MODULACION FM.

La frecuencia modulada posee varias ventajas sobre el sistema de modulación de amplitud (AM) utilizado alternativamente en radiodifusión. La más importante es que al sistema FM apenas le afectan las interferencias y descargas estáticas. Algunas perturbaciones eléctricas, como las originadas por tormentas o sistemas de encendido de los automóviles, producen señales de radio de amplitud modulada que se captan como ruido en los receptores AM.

Es el modo utilizado por las emisoras en VHF, Canales de TV y muchos "transceptores" portátiles (walkie-talkie, handy) . Modular en FM es variar la frecuencia de la portadora al "ritmo" de la información (audio), lo cual significa que en una señal de FM, la amplitud y la fase de la señal permanecen constante y la frecuencia cambia en función de los cambios de amplitud y frecuencia de la señal que se desea transmitir (audio).

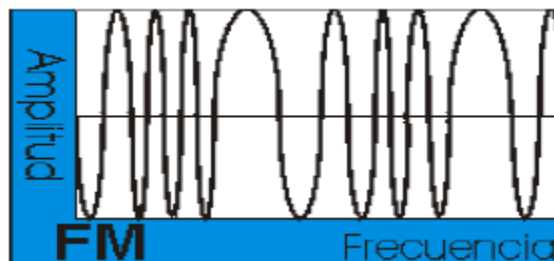
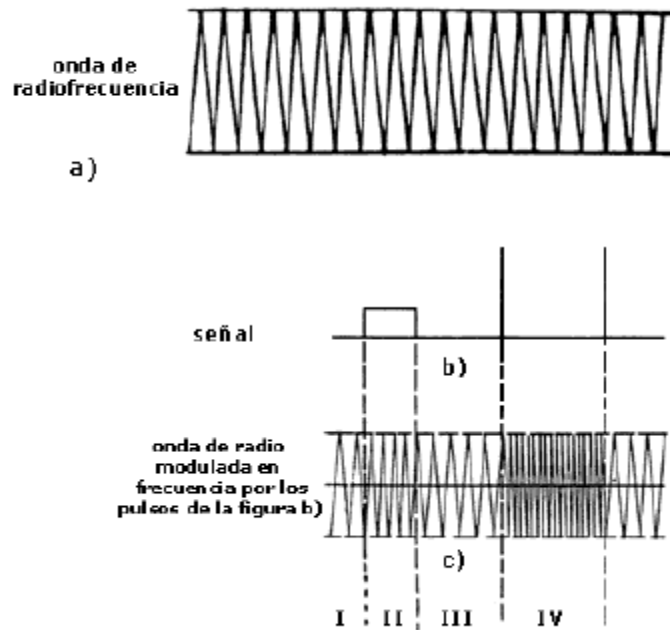


Ilustración 3 SEÑAL FM

UN HECHO de crucial importancia es reconocer que las ondas acústicas que creamos cuando hablamos tienen frecuencias relativamente bajas: nuestro oído es sensible a ondas acústicas cuyas frecuencias están comprendidas entre 20 y 20.000 Hz. Estas frecuencias son pequeñas si las comparamos con las frecuencias de la luz visible, por ejemplo, que son del orden de 10^{14} Hz (un uno seguido de catorce ceros).

Supongamos que se hacen interferir dos ondas, una de baja y otra de alta frecuencia . Si la diferencia de frecuencias es muy grande, entonces la onda resultante tiene la misma frecuencia que la onda de alta frecuencia, pero su amplitud va cambiando con la misma frecuencia que la onda de baja frecuencia. Se dice que la onda resultante está modulada en amplitud. Por tanto, si la señal es una onda de baja frecuencia, es posible incorporarla en una onda de alta frecuencia haciéndolas interferir.



La señal modula la frecuencia de la onda de radiofrecuencia.

Ilustración 4 SEÑAL MODULADA EN FM

En un receptor de FM hay un circuito que separa la señal a partir de los cambios de frecuencia, es decir, un circuito que es sensible a los cambios de frecuencia de la corriente entrante con respecto a la frecuencia de la onda del oscilador.

En un receptor de FM hay un circuito que separa la señal a partir de los cambios de frecuencia, es decir, un circuito que es sensible a los cambios de frecuencia de la corriente entrante con respecto a la frecuencia de la onda del oscilador.

La transmisión por FM, iniciada comercialmente en Estados Unidos en febrero de 1941, comparada con la forma arriba descrita de amplitud modulada (AM), tiene la ventaja de que sus transmisiones no se alteran con las perturbaciones, ya sean atmosféricas o producidas por el hombre, que afectan la amplitud de la onda pero no su frecuencia. En el sistema de FM no se presenta el llamado fenómeno de "estática", que es un ruido sistemático que se oye en emisiones de AM.

La radio como la conocemos en la actualidad fue la creación de tres hombres de genio, visión, determinación y de gran complejidad: Lee de Forest, autodenominado "padre de la radio", cuya invención del triodo hizo posible el nacimiento de la electrónica moderna; Edwin Howard Armstrong, inventor del circuito retroalimentador (y del oscilador) así como de la frecuencia modulada, que forman la base de la transmisión y recepción de los sistemas actuales de radio (y de televisión); finalmente, David Sarnoff, quien encabezó la Radio Corporation of America (RCA), sucesora de la filial estadounidense de la compañía establecida por Marconi, a quien se le debe que las invenciones mencionadas fueran llevadas a sus fases tanto industrial como comercial.

Los creadores de la radio experimentaron derrotas pasmosas así como victorias extraordinarias. Desafortunadamente la historia de las relaciones entre estas tres personas fue muy trágica. De Forest hizo y perdió tres veces fortuna, vio quebrar a la mayoría de sus

compañías y casi fue a la cárcel por acusaciones de fraude. Armstrong demandó a Forest por los derechos del circuito retroalimentador. A pesar de que Armstrong lo inventó, perdió en 1934 el juicio que duró más de 20 años y que llegó a la Suprema Corte de Justicia de Estados Unidos. Armstrong, que durante varios años fue el más grande accionista de la RCA, perdió casi toda su fortuna demandando, a partir de 1948, a la compañía por los derechos de la FM. En este otro juicio fue víctima de las maquinaciones de la corporación encabezada por Sarnoff. En 1954, acosado y empobrecido, Armstrong se suicidó.

Sin embargo, su viuda logró, a fines de 1954, que la RCA llegara a un acuerdo fuera del juicio y recibió 1.050.000 dólares por derechos. Asimismo logró por medio de acuerdos fuera de la corte que casi todas las demás compañías electrónicas que usaban el sistema de FM le pagaran los derechos correspondientes. La única que se negó y fue llevada a juicio fue la Motorola, que finalmente perdió por una decisión dada en 1967 por la Suprema Corte de Justicia de Estados Unidos. Así, después de 53 años los litigios judiciales sobre los inventos de Armstrong, finalmente terminaron 13 años después de su muerte, con su reivindicación.

Las características principales de la frecuencia modulada son: su modulación y su propagación por ondas directas como consecuencia de su ubicación en la banda de frecuencia de VHF. La modulación en frecuencia consiste en variar la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la onda moduladora (información), permaneciendo constante su amplitud. A diferencia de la AM, la modulación en frecuencia crea un conjunto de complejas bandas laterales cuya profundidad (extensión) dependerá de la amplitud de la onda moduladora. Como consecuencia del incremento de las bandas laterales, la anchura del canal de la FM será más grande que el tradicional de la onda media, siendo también mayor la anchura de banda de sintonización de los aparatos receptores (especie de "puerta electrónica" de los aparatos receptores que permite que pase a la etapa de demodulación una determinada anchura de señal). La principal consecuencia de la modulación en frecuencia es una mayor calidad de reproducción como resultado de su casi inmunidad hacia las interferencias eléctricas. En consecuencia, es un sistema adecuado para la emisión de programas (música) de alta fidelidad.

Las características derivadas de su mayor anchura de canal no son consecuencia directa de la tecnología de FM (aunque este tipo de modulación necesita un mayor consumo de espectro), sino de una decisión política de comunicación. Cuando se desarrolló la frecuencia modulada, la banda de MF (tradicional en los servicios de radio) estaba completamente saturada, por lo que se adjudicó la banda de VHF, espectro que ofrecía grandes posibilidades de expansión para los nuevos servicios de radiodifusión. La televisión también se aprovechó de la saturación de media frecuencia. La ausencia de una limitación de la banda de VHF y el ánimo de otorgar a la FM la posibilidad de emitir programación de alta fidelidad, hizo que los canales de frecuencia modulada tuvieran una capacidad muy superior a sus necesidades. Aunque la anchura de los canales depende de decisiones concretas de cada Estado, la mayoría de las naciones han adjudicado a la FM unos canales con una anchura entre 100 y 200 KHz. Si consideramos que todo el espectro de audiofrecuencia necesita una amplitud de 20 KHz, podemos concluir que un canal de FM puede emitir simultáneamente por medio de una multiplexión de frecuencias entre cinco y diez canales completos de alta fidelidad (esta división no es exacta ya que se necesita la ubicación de frecuencias de separación entre cada una de las señales).

La propagación de la banda de VHF (al igual que la UHF y frecuencias superiores) se realiza por medio de las llamadas ondas directas o espaciales, que se caracterizan por su direccionalidad y, en consecuencia, su limitada cobertura (las ondas directas se pierden en el espacio cuando confluyen con la línea del horizonte). Esta direccionalidad hace que las señales de FM puedan ser fácilmente absorbidas o "apagadas" por los obstáculos que encuentra en su trayectoria. La banda de VHF tiene un índice de refracción atmosférica (pequeño declive que hace que su cobertura máxima sea superior al simple horizonte óptico) superior a las bandas de frecuencia más altas (UHF por ejemplo) y en consecuencia pueden alcanzar mayores coberturas. A pesar de la refracción troposférica, la propagación de la banda de VHF se caracteriza por su pequeña cobertura, comparada con la alcanzada por la AM, como consecuencia de la direccionalidad de las ondas directas o espaciales.

Su pequeña cobertura convierte a la frecuencia modulada en un servicio de radio fundamentalmente local (el empleo de repetidores puede incrementar su cobertura). La escasa longitud de onda de esta banda de frecuencia hace que las antenas sean de pequeñas dimensiones y consecuentemente tengan una polarización horizontal. Sus semejanzas con las antenas de televisión (en longitud y polarización) produce que en la mayoría de los hogares la antena de FM esté incorporada en la propia antena de TV, y en definitiva las antenas de televisión sirvan para la captación de señales de modulación en frecuencia.

Las dificultades de recepción de la FM en los automóviles (generalmente antenas de polarización vertical) ha motivado que las estaciones de frecuencia modulada empleen con frecuencia antenas diseñadas para radiar la señal en ambos planos, horizontal y vertical. Estas antenas, denominadas de polarización circular, permiten que los receptores capten la misma intensidad de señal independientemente de la polarización de la antena receptora.

La propagación de la señal de la frecuencia modulada debe ser en línea de vista. Las torres solo sirven para soporte de las antenas irradiantes. Deben normarse que las plantas transmisoras se ubiquen fuera del perímetro urbano.

Estas aplicaciones con los niveles bajos de la desviación se llaman, modulación de frecuencia en banda angosta (NBFM) y típicamente los niveles de ± 3 KHz o más son usados dependiendo del ancho de banda disponible. NBFM se utiliza generalmente para comunicaciones punto a punto. Para niveles de desviación mucho más altos se utilizan para broadcasting. Esto es llamado Wide Band FM (WBFM), FM de Banda Ancha, y es usado para broadcasting con niveles de desviación de ± 75 KHz.

Para recibir, un scanner FM puede tener dos diversos modos, uno etiquetado WBFM y el otro NBFM. El modo correcto se debe seleccionar obviamente para la recepción correcta. También si se anticipa que la recepción de ambos modos es requerida, entonces el receptor debe tener la capacidad de recibir a cada uno de ellos.

El funcionamiento y el costo van tomados de la mano. Las altas tasas de datos requieren altas anchuras de banda mientras que para las largas distancias la operación de banda estrecha es la manera a seguir. Las regulaciones alrededor del globo permiten el uso de la tecnología de banda ancha y de banda estrecha. Generalmente, confinamos nuestro interés a FM donde la banda estrecha (NBFM) se define como un sistema que funciona

sobre una anchura de banda entre 6.5 y 25KHz mientras que los sistemas banda ancha (WBFM) son éstos que funcionan con una anchura de banda ocupada que excede 50KHz.

Con los sistemas (WBFM) la rata de datos puede ser alta, pero esta tiene que ser negociada con respecto a inmunidad del ruido pues la cantidad de ruido que entra en un receptor es proporcional a la raíz cuadrada de su anchura de banda. Por lo tanto el sistema (WBFM) tienen típicamente sensibilidades de alrededor -100 a -102 dBm mientras que los sistemas de banda estrecha varían a partir de -107 a -125dBm. El sistema (WBFM) también por razones de economía es diseñado para funcionar con los osciladores de referencia menos estables (arriba de 100ppm sobre -20 a + 55) que requieren otra anchura de banda más amplia en el receptor, mientras que el sistema de banda estrecha de peor estabilidad tiene sobre la región de los 5ppm del mismo rango. En hecho ahora disponemos de la estabilidad de 1.5ppm en un número de productos sobre el rango de -30C + 70C, requerida bajo regulaciones del EN y de la FCC.

Implementacion de MODULACION FM.

FM BANDA ANCHA (WBFM).

En la implementación de la modulación FM en WBFM utilizaremos el programa GNU RADIO para implementar el transmisor y así como el software SDR# para implementar el receptor.

Primero mostraremos el diagrama de bloques utilizado en este tipo de modulación que como podemos observar es la WBFM banda ancha.

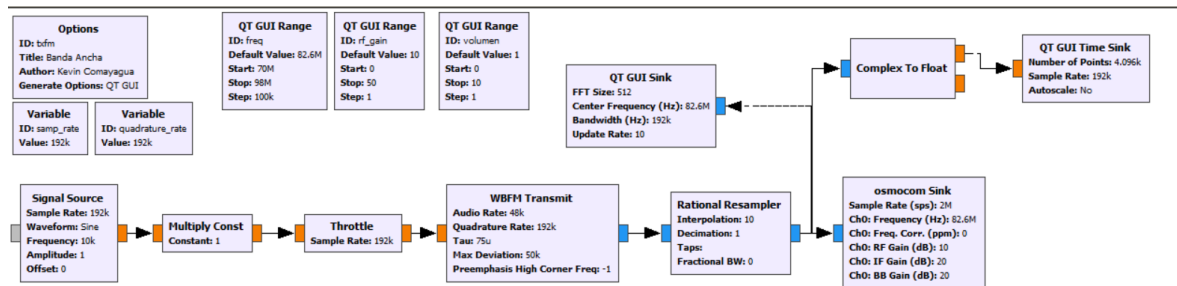


Ilustración 5 Diagrama de modulación WBFM

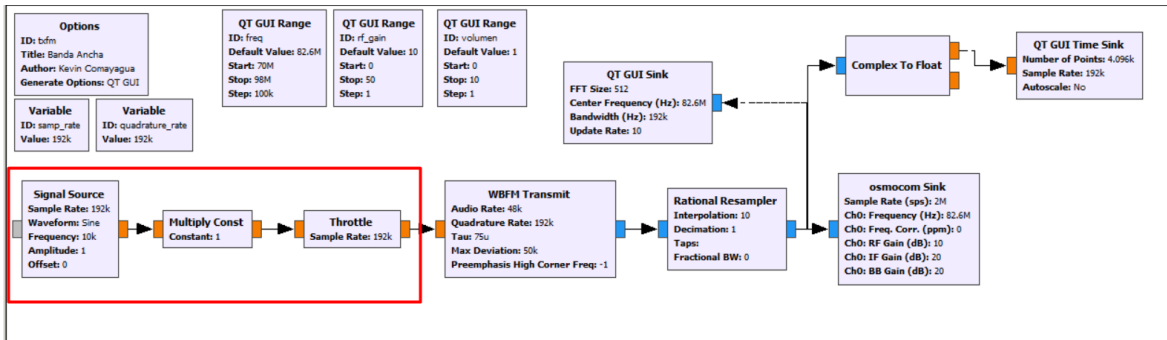


Ilustración 6 GENERADOR DE SEÑAL

En esta sección del diagrama podemos observar como se inicia el procesamiento de la señal utilizando los bloques multiply const que se utiliza para multiplicar la entrada en este caso el flujo generado por la signal source y luego ser utilizada por el bloque throttle que permite que el flujo de muestras que se están generando no exceda la taza especifica de datos que se han definido.

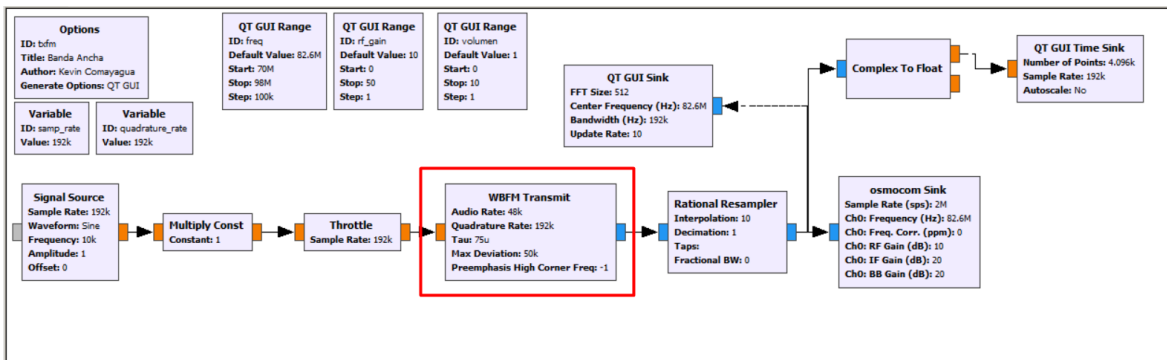


Ilustración 7 BLOQUE MODULADOR

En la ilustración 3 podemos ver la definición de parámetros que hacen el procesamiento de esta señal como una WBFM debido a los niveles de desviación que se utilizan para realizar esta modulación.

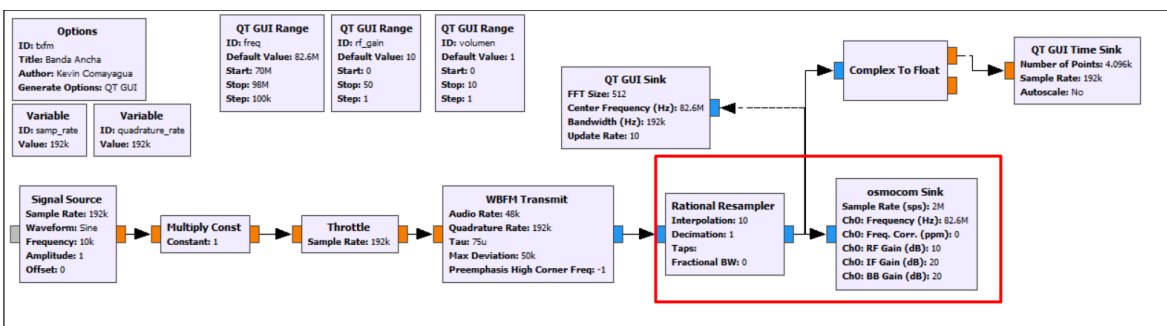


Ilustración 8 PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

En este caso el bloque rational resampler hace el cambio de la razón de muestreo para que la señal sea correctamente procesada y transmitida por el bloque que representa al hardware de transmisión.

- DEFINICION DE BLOQUES:

DEFINICION DE VARIABLES:

Variable ID: samp_rate Value: 192k	Variable ID: quadrature_rate Value: 192k
---	---

Ilustración 9 VARIABLES DEL DIAGRAMA

DEFINICION DE RANGOS:

QT GUI Range ID: freq Default Value: 82.6M Start: 70M Stop: 98M Step: 100k	QT GUI Range ID: rf_gain Default Value: 10 Start: 0 Stop: 50 Step: 1	QT GUI Range ID: volumen Default Value: 1 Start: 0 Stop: 10 Step: 1
---	---	--

Ilustración 10 RANGOS EN ITERFAZ DE CONTROL

DEFINICION DE PARAMETROS DE LOS BLOQUES DEL DIAGRAMA:

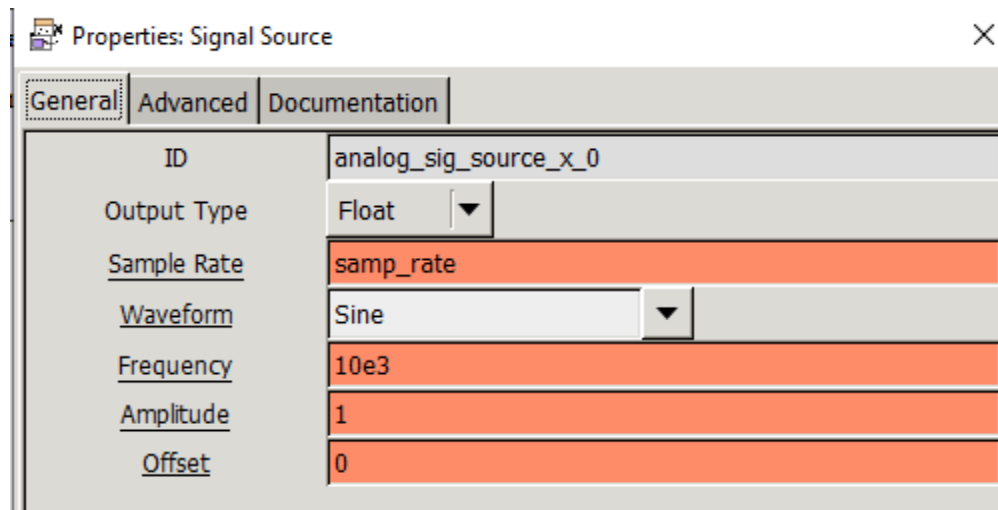


Ilustración 11 PARAMETROS DE SIGNAL SOURCE

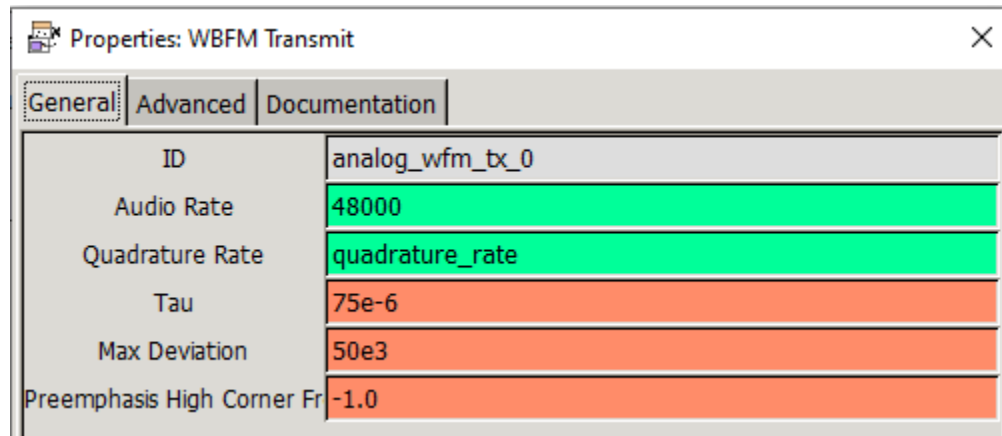


Ilustración 12 PARAMETROS DE BLOQUE WBFM TRANSMIT

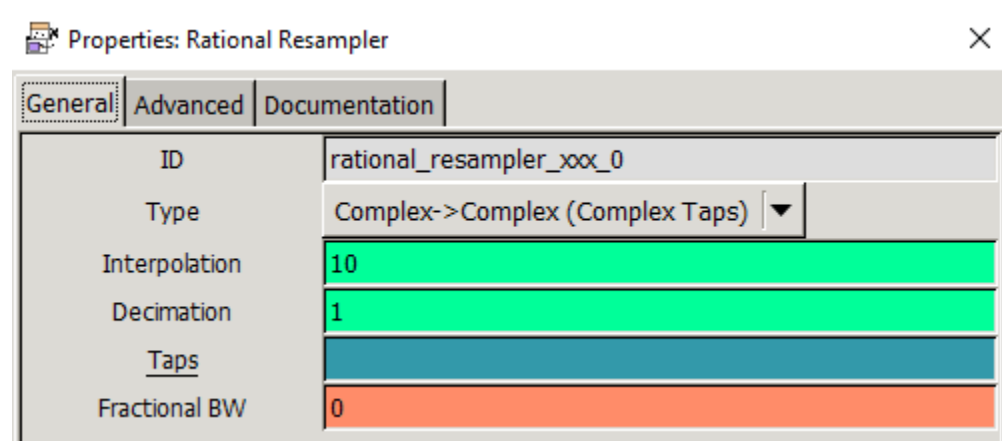


Ilustración 13 PARAMETROS DE BLOQUE RATIONAL RESAMPLER

Properties: osmocomb Sink

General | Advanced | Documentation

<u>ID</u>	osmosdr_sink_0
Input Type	Complex float32 ▼
Device Arguments	
Sync	don't sync ▼
Num Mboards	1 ▼
Mb0: Clock Source	Default ▼
Mb0: Time Source	Default ▼
Num Channels	1 ▼
<u>Sample Rate (sps)</u>	2e6
<u>Ch0: Frequency (Hz)</u>	freq
<u>Ch0: Freq. Corr. (ppm)</u>	0
<u>Ch0: RF Gain (dB)</u>	10
<u>Ch0: IF Gain (dB)</u>	20
<u>Ch0: BB Gain (dB)</u>	20
<u>Ch0: Antenna</u>	
<u>Ch0: Bandwidth (Hz)</u>	0

Ilustración 14 PARAMETROS DE BLOQUE OSMOCOM SINK

DEMOSTRACION DE RESULTADOS.

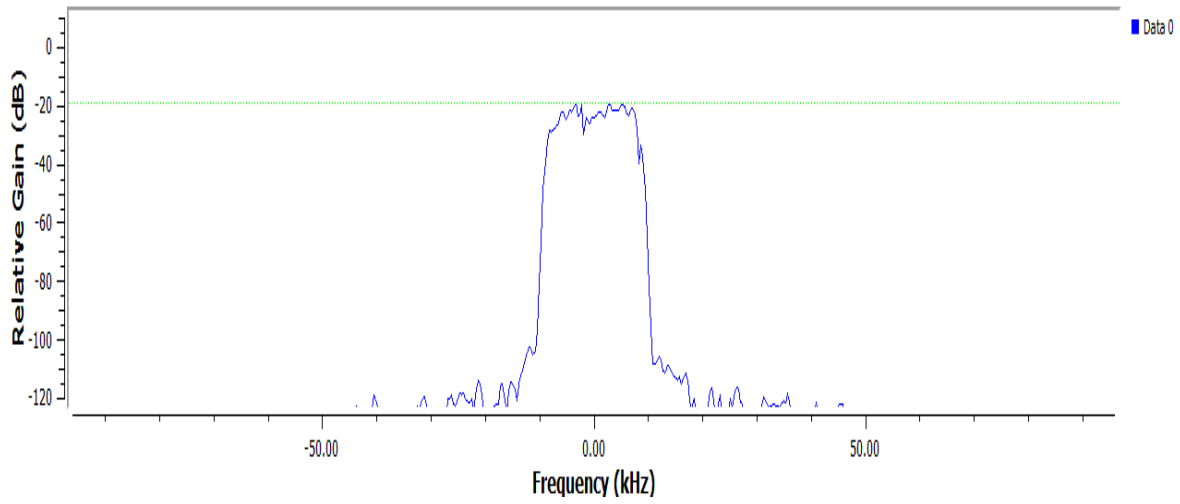


Ilustración 15 Dominio de la frecuencia

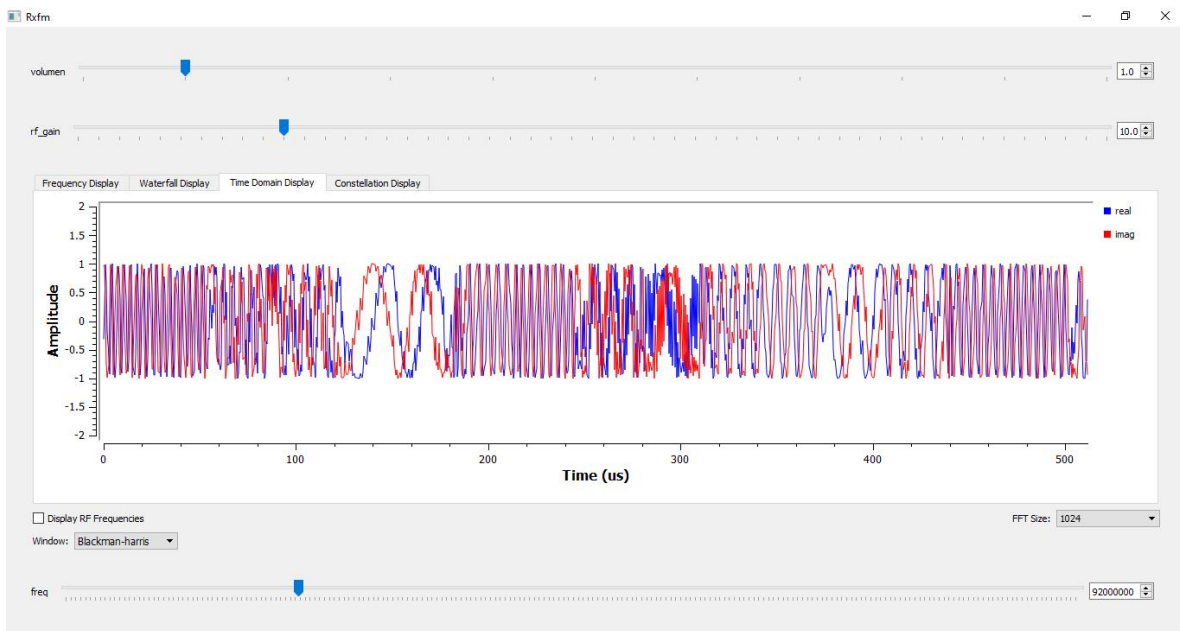


Ilustración 16 Dominio en el tiempo

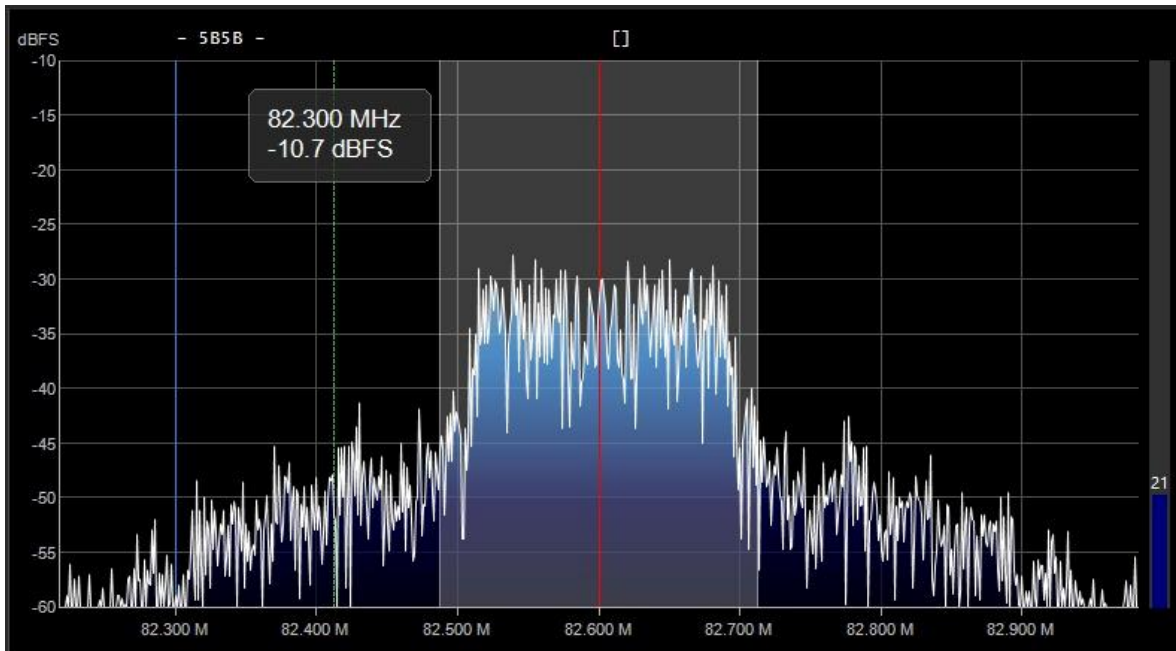


Ilustración 17 Recepción en RTL DONGLE

FM BANDA ANGOSTA.

AHORA SE MUESTRA EL DIAGRAMA DE LA MODULACION NBFM.

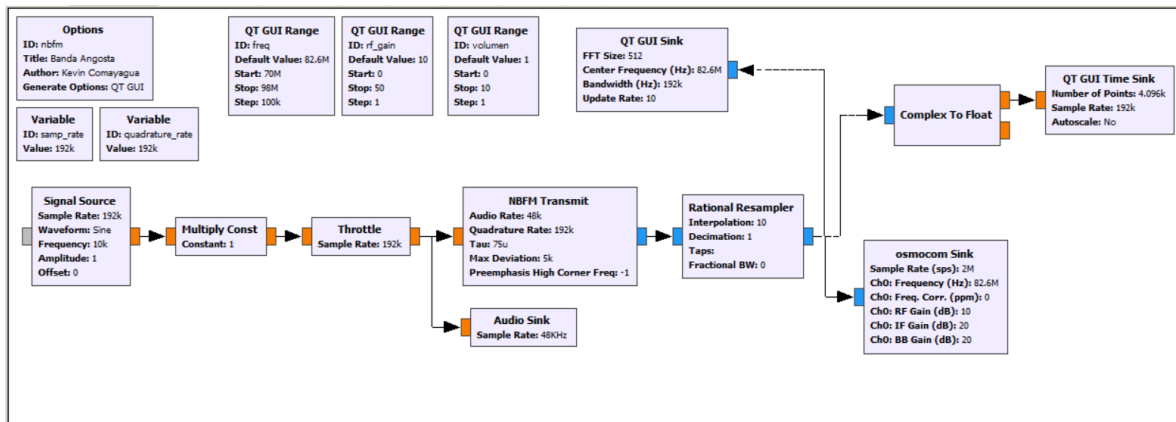


Ilustración 18 DIAGRAMA DE NBFM

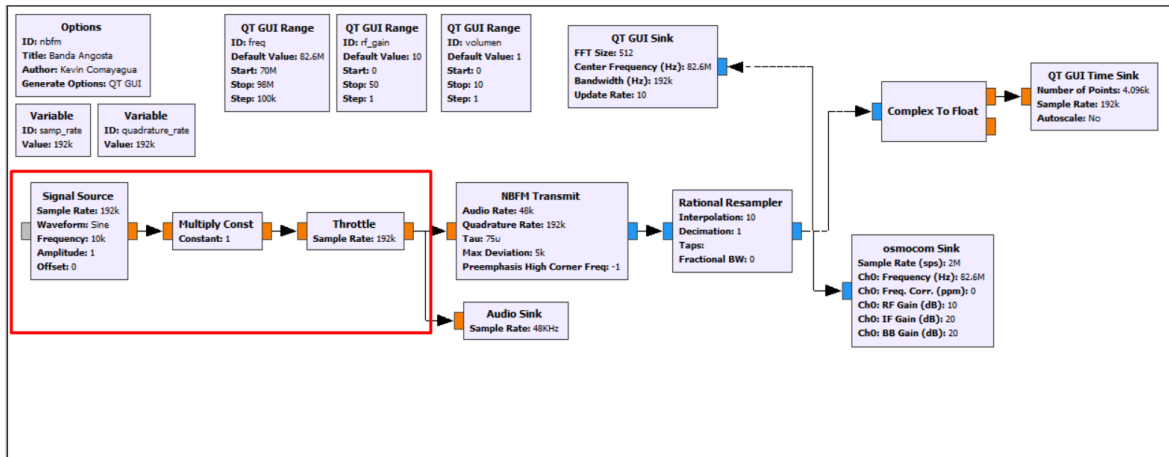


Ilustración 19 GENERADOR DE LA SEÑAL

En esta sección del diagrama podemos observar como se inicia el procesamiento de la señal utilizando los bloques multiply const que se utiliza para multiplicar la entrada en este caso el flujo generado por la signal source y luego ser utilizada por el bloque throttle que permite que el flujo de muestras que se están generando no exceda la taza especifica de datos que se han definido.

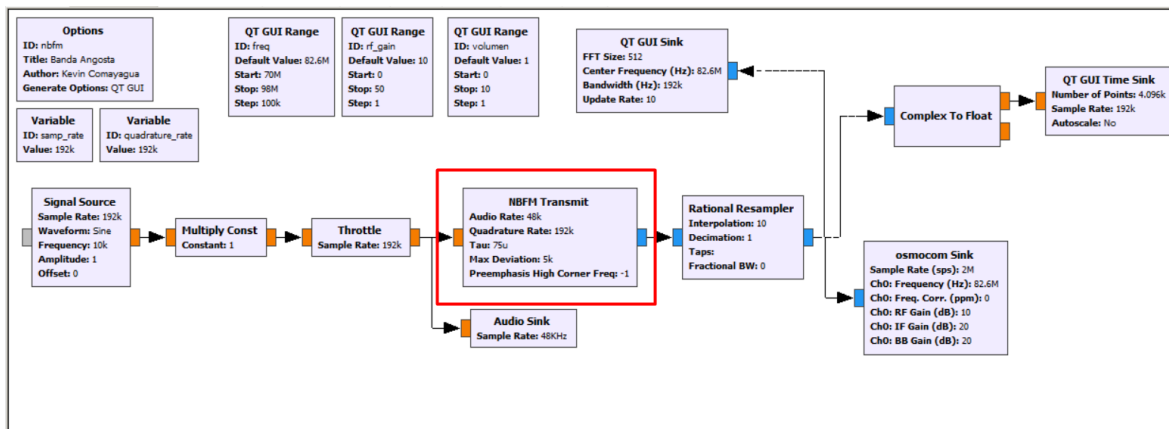


Ilustración 20 BLOQUE MODULADOR

Bloque NBFM que permite trabajar la señal con bajos niveles de desviación para poder simular lo que es la modulación NBFM.

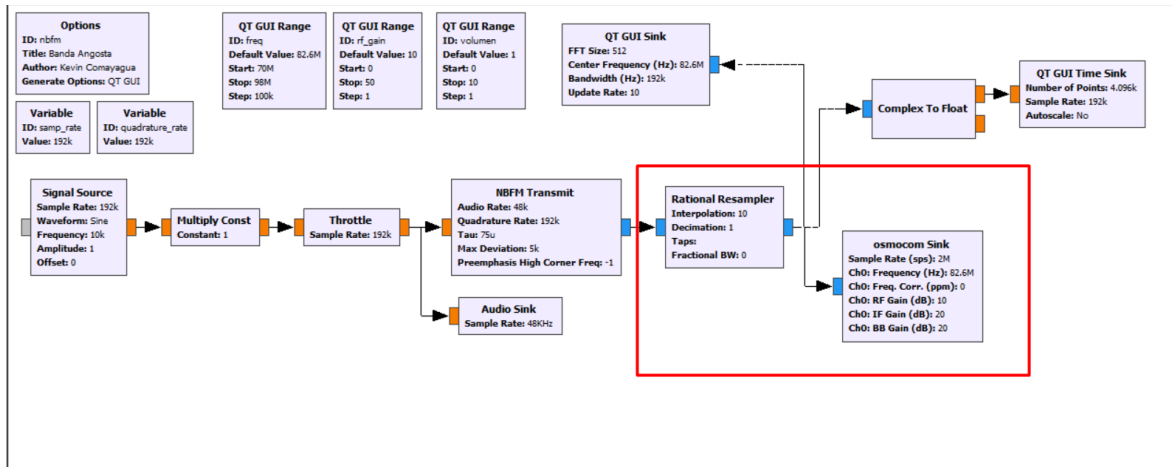


Ilustración 21 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

En este caso el bloque rational resampler hace el cambio de la razón de muestreo para que la señal sea correctamente procesada y transmitida por el bloque que representa al hardware de transmisión.

DEFINICION DE VARIABLES:

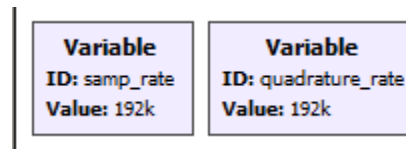


Ilustración 22 DEFINICION DE VARIABLES

DEFINICION DE RANGOS DE LA INTERFAZ:

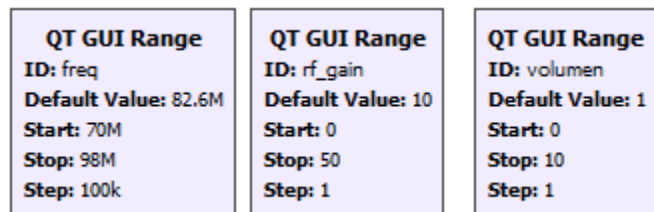


Ilustración 23 DEFINICION DE RANGOS

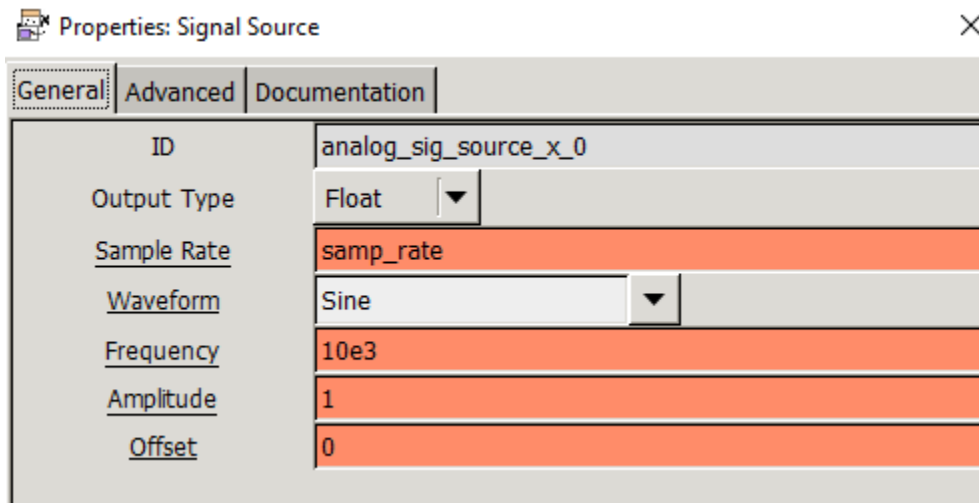


Ilustración 24 PARAMETROS DE SIGNAL SOURCE

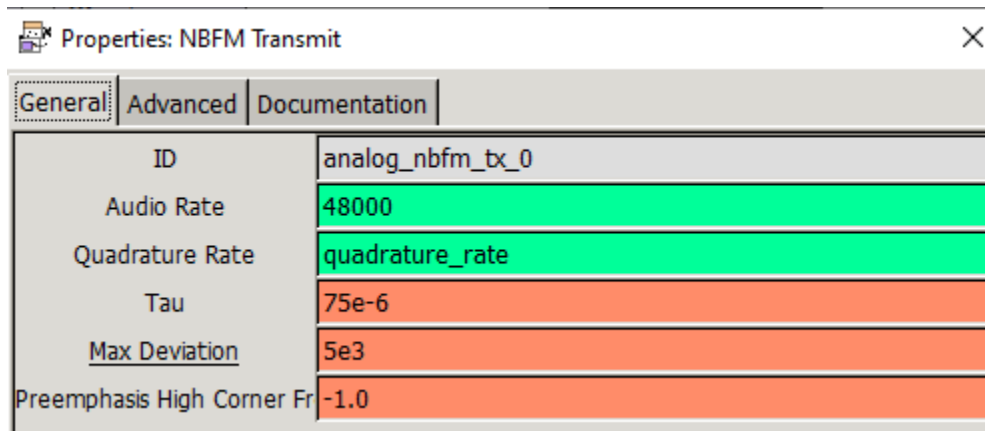


Ilustración 25 PARAMETROS DE BLOQUE NBFM TRANSMIT

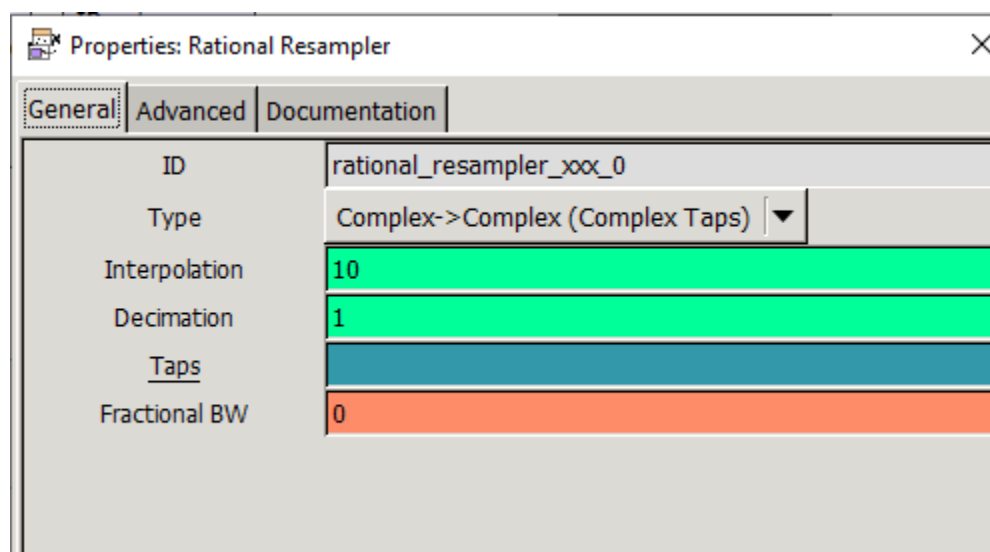


Ilustración 26 PARAMETROS DE BLOQUE RATIONAL RESAMPLER

Properties: osmocom Sink

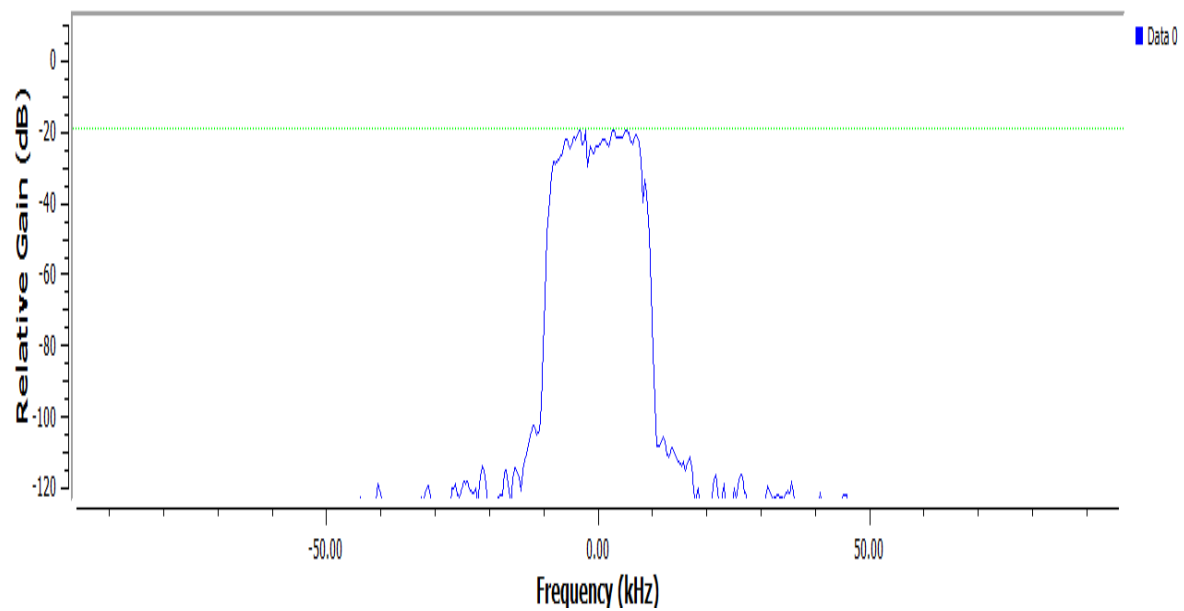
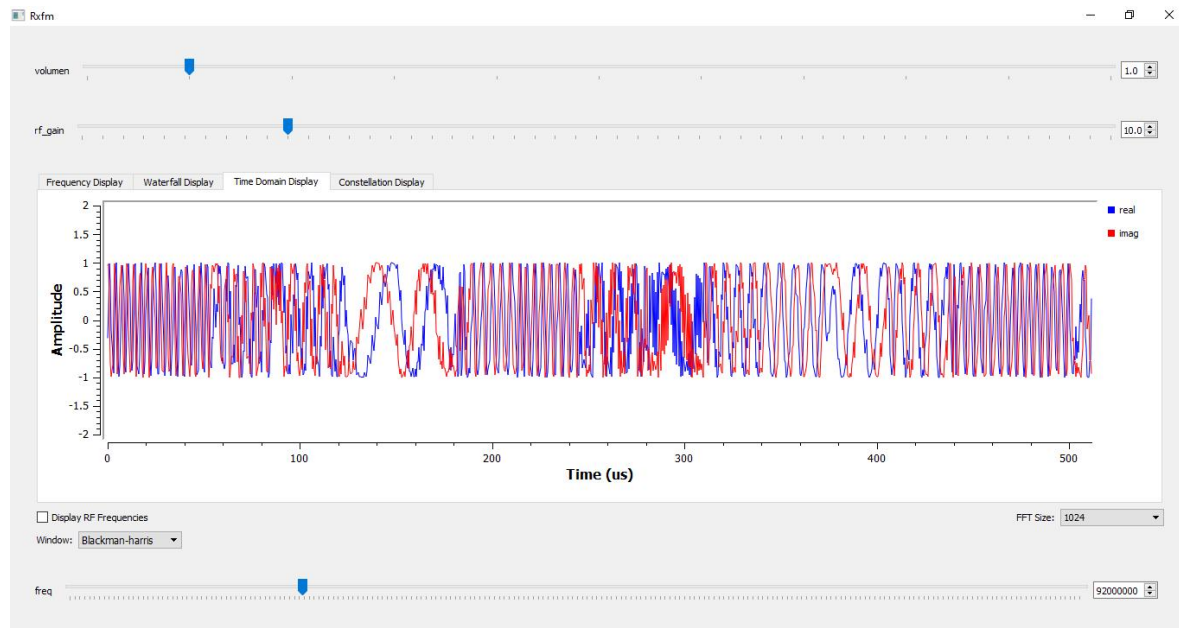
General | Advanced | Documentation

ID	osmosdr_sink_0
Input Type	Complex float32
Device Arguments	
Sync	don't sync
Num Mboards	1
Mb0: Clock Source	Default
Mb0: Time Source	Default
Num Channels	1
Sample Rate (sps)	2e6
Ch0: Frequency (Hz)	freq
Ch0: Freq. Corr. (ppm)	0
Ch0: RF Gain (dB)	10
Ch0: IF Gain (dB)	20
Ch0: BB Gain (dB)	20
Ch0: Antenna	
Ch0: Bandwidth (Hz)	0

OK Cancel Apply

Ilustración 27 PARAMETROS DE BLOQUE OSMOCOM SINK

DEMOSTRACION DE RESULTADOS:

*Ilustración 28 Dominio de la frecuencia**Ilustración 29 Dominio en el tiempo*

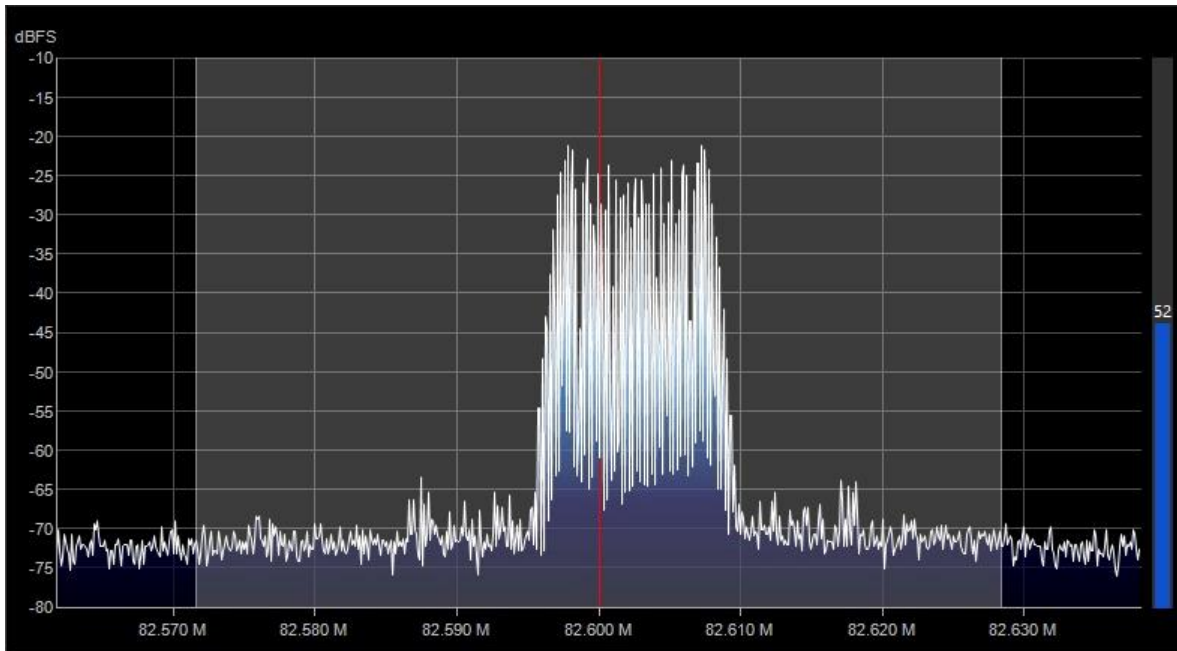


Ilustración 30 Recepcion en SDR#

IMPLEMENTACION DE LAS MODULACIONES AM.

Una gran ventaja de AM es que su demodulación es muy simple y, por consiguiente, los receptores son sencillos y baratos. Otras formas de AM como la modulación de banda lateral única o la modulación de doble banda lateral son más eficientes en ancho de banda o potencia, pero en contrapartida los receptores y transmisores son más caros y difíciles de construir, ya que además deberán reinsertar la onda portadora para conformar la AM nuevamente y poder demodular la señal transmitida.

La AM es usada en la radiofonía, en las ondas medias, ondas cortas, e incluso en la VHF: es utilizada en las comunicaciones de radio entre los aviones y las torres de control de los aeropuertos. La onda media comercial, capaz de ser captada por la mayoría de los receptores de uso doméstico, abarca un rango de frecuencia que va desde 500 kHz a 1700 kHz.

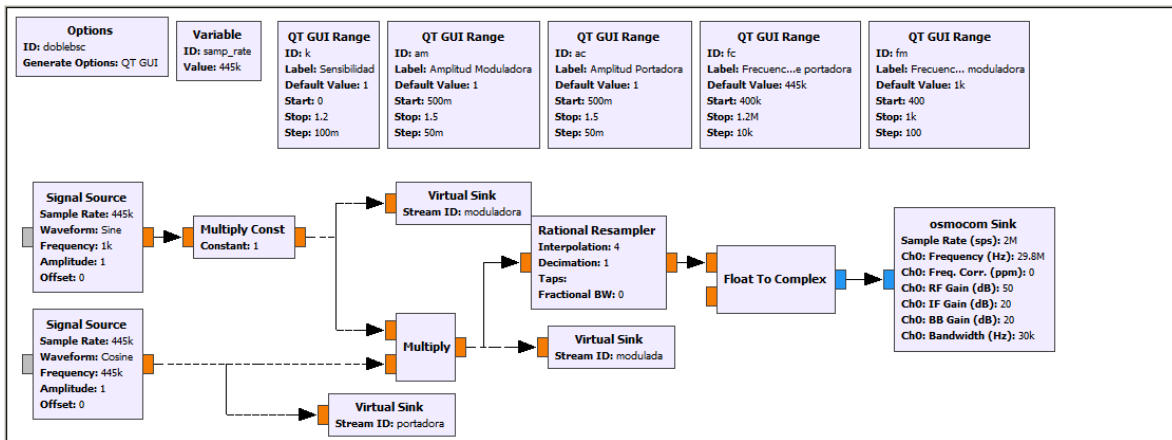


Ilustración 31 DIAGRAMA DE MODULACION AM

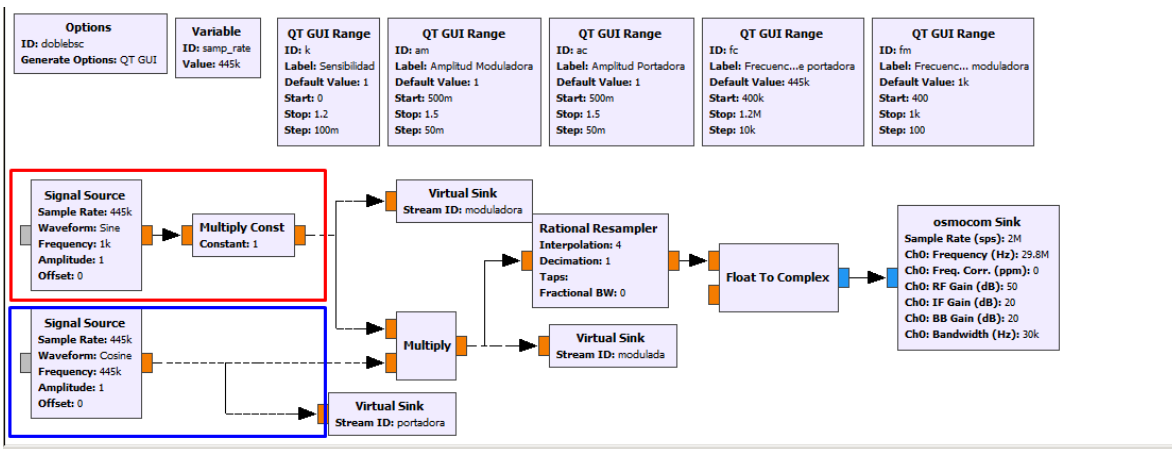


Ilustración 32 DEFINICION DE MODULADORA Y PORTADORA

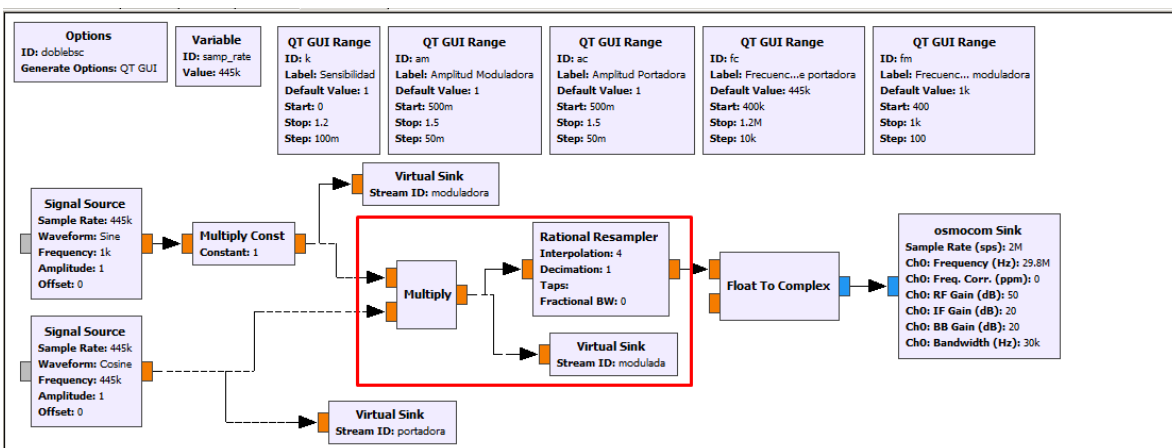


Ilustración 33 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

En esta sección del diagrama se hace lo que es la multiplicación de la moduladora con la portadora mediante el bloque Multiply, por lo que como siguiente paso es que el bloque Rational resample realiza el muestreo adecuado para poder pasar la señal al bloque de Osmocom Sink lo que permitirá la transmisión de la señal.

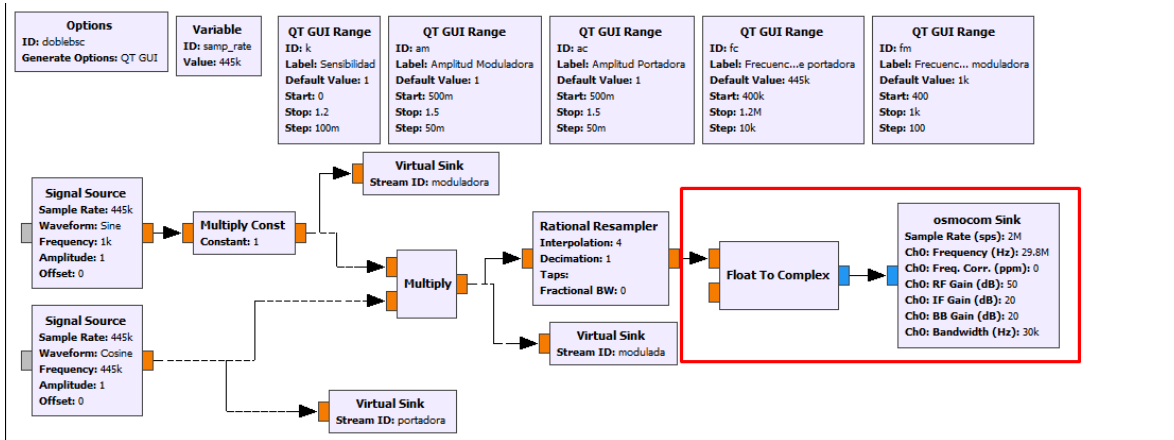


Ilustración 34 BLOQUE QUE REPRESENTA AL HACKRF ONE

En la ilustración 30 se puede ver la conversión de tipo de datos de la salida del bloque rational resample, debido a que su salida es flotante pero la entrada del bloque que representa el transmisor es de entrada compleja, motivo por el cual se hace dicho proceso.

- DEFINICION DE VARIABLES Y RANGOS DE LA INTERFAZ:

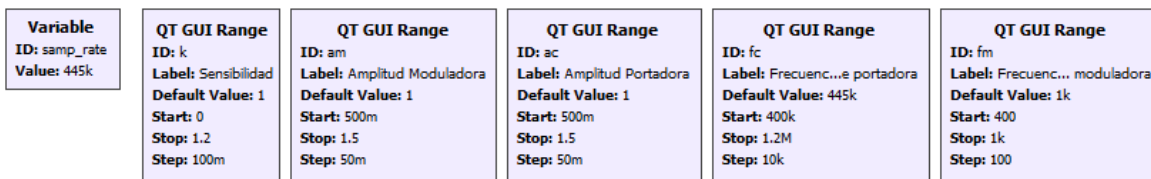


Ilustración 35

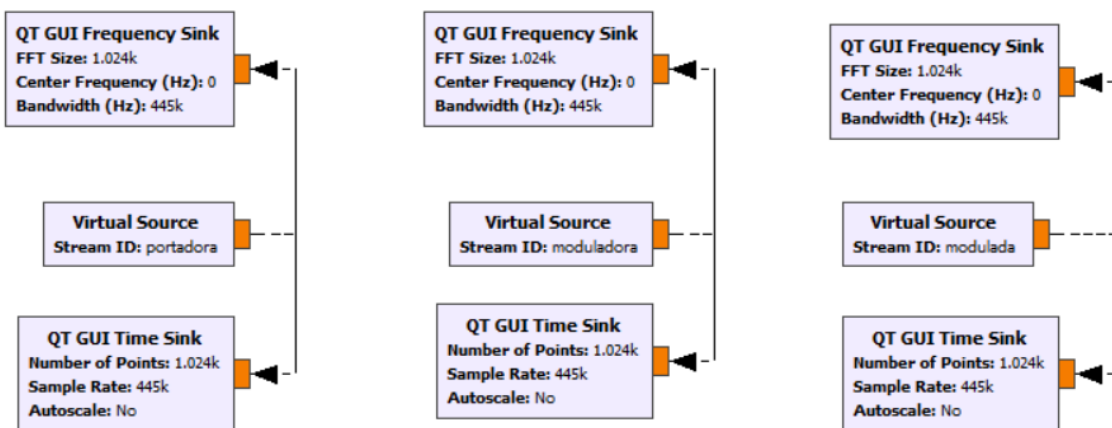


Ilustración 36 CONFIGURACION DE INTERFAZ

En la ilustración 32 se puede apreciar el uso de los bloques Virtual Source que permite poder observar las señales portadoras, moduladora y modulada ya que estas fueron identificadas en el diagrama.

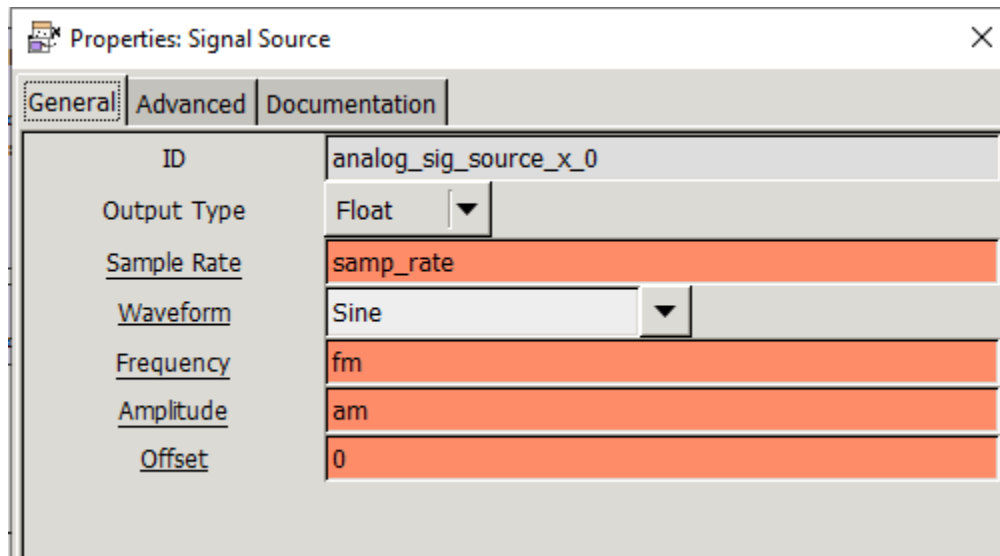


Ilustración 37 Señal moduladora

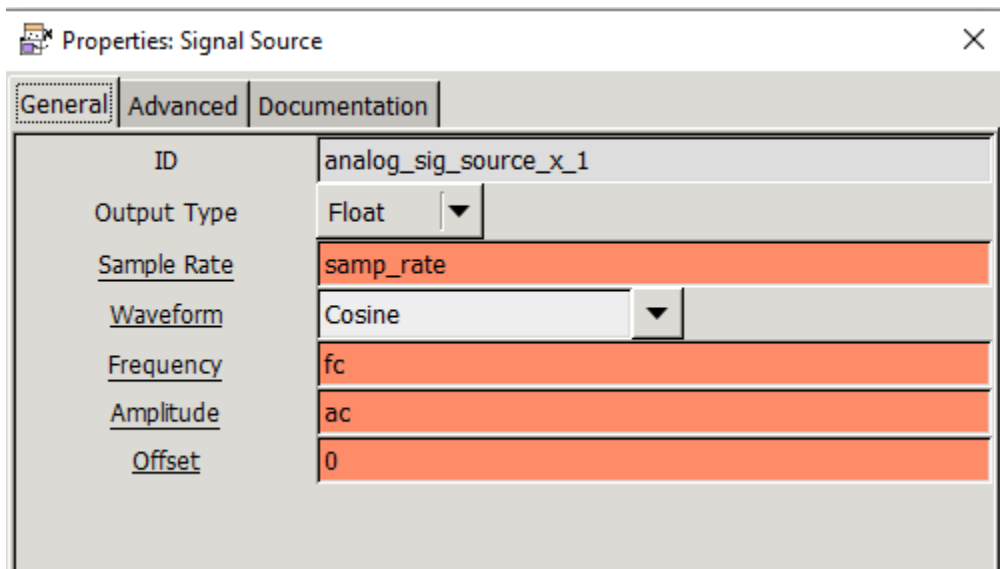


Ilustración 38 Señal Portadora

Properties: Rational Resampler

General | Advanced | Documentation

ID	rational_resampler_000_0
Type	Float->Float (Real Taps)
Interpolation	4
Decimation	1
Taps	
Fractional BW	0

Ilustración 39 Parametros del Rastional Resample

Properties: osmocomb Sink

General | Advanced | Documentation

ID	osmosdr_sink_0
Input Type	Complex float32
Device Arguments	
Sync	don't sync
Num Mboards	1
Mb0: Clock Source	Default
Mb0: Time Source	Default
Num Channels	1
Sample Rate (sps)	2e6
Ch0: Frequency (Hz)	29.8e6
Ch0: Freq. Corr. (ppm)	0
Ch0: RF Gain (dB)	50
Ch0: IF Gain (dB)	20
Ch0: BB Gain (dB)	20
Ch0: Antenna	
Ch0: Bandwidth (Hz)	30000

Ilustración 40 PARAMETROS DE BLOQUE OSMOCOM SINK

DEMOSTRACION DE RESULTADOS

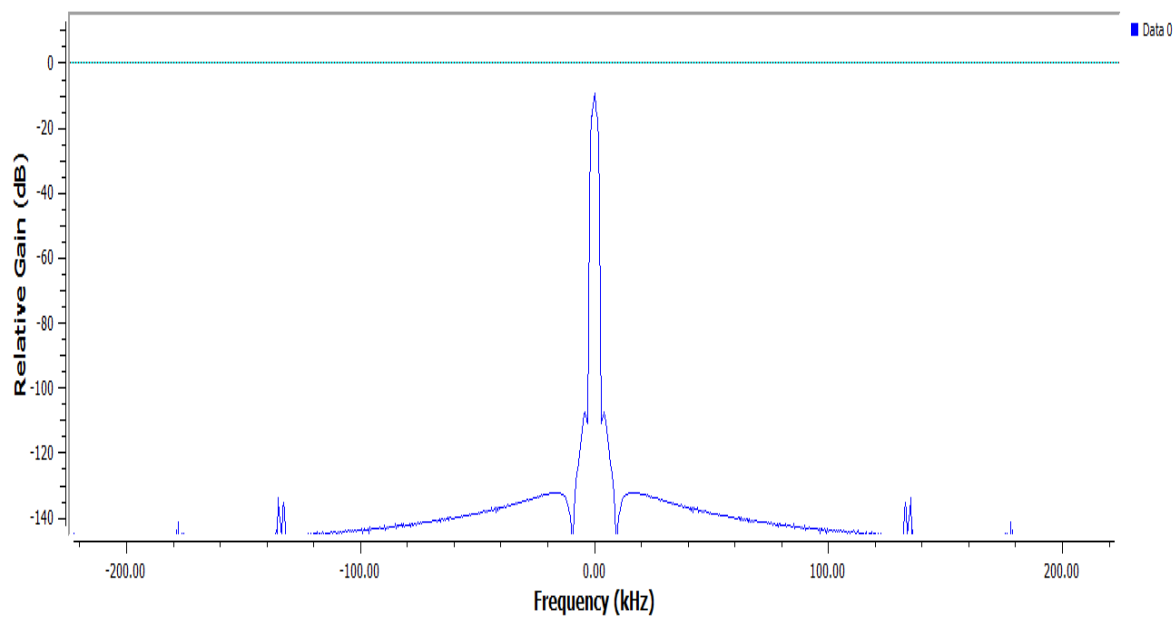


Ilustración 41 Dominio de la frecuencia

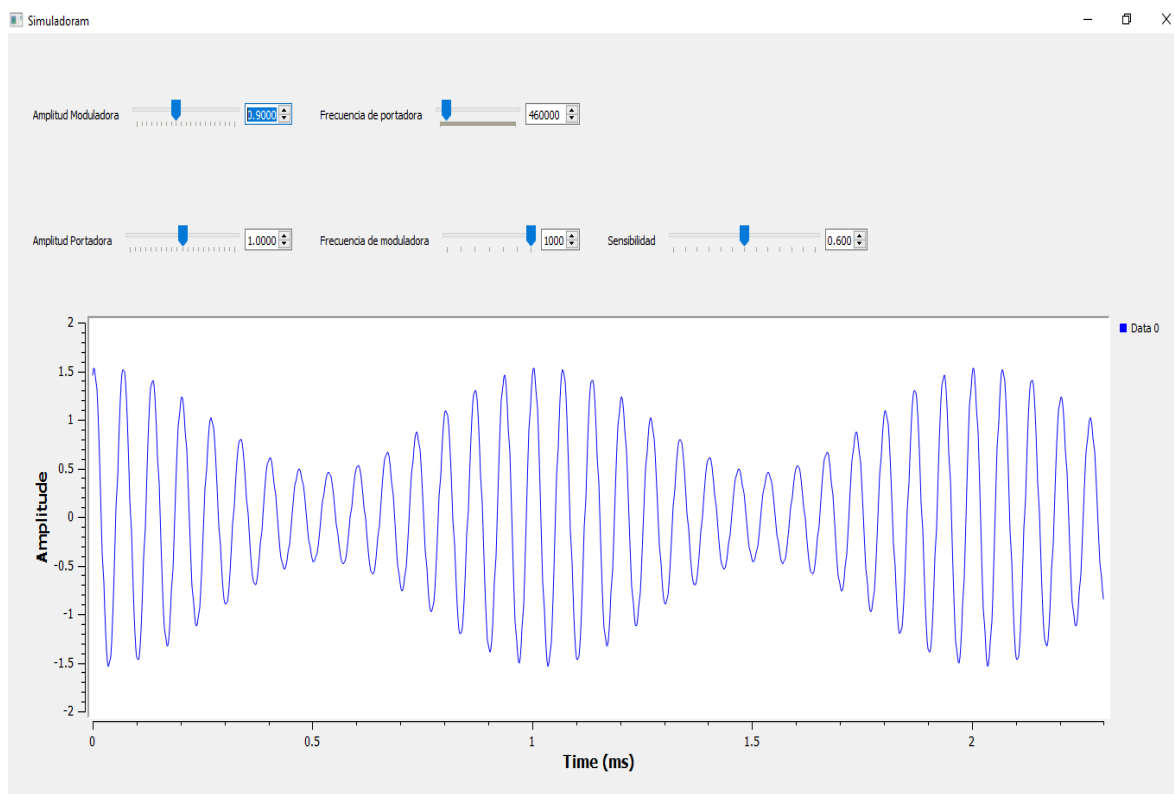


Ilustración 42 Dominio del tiempo

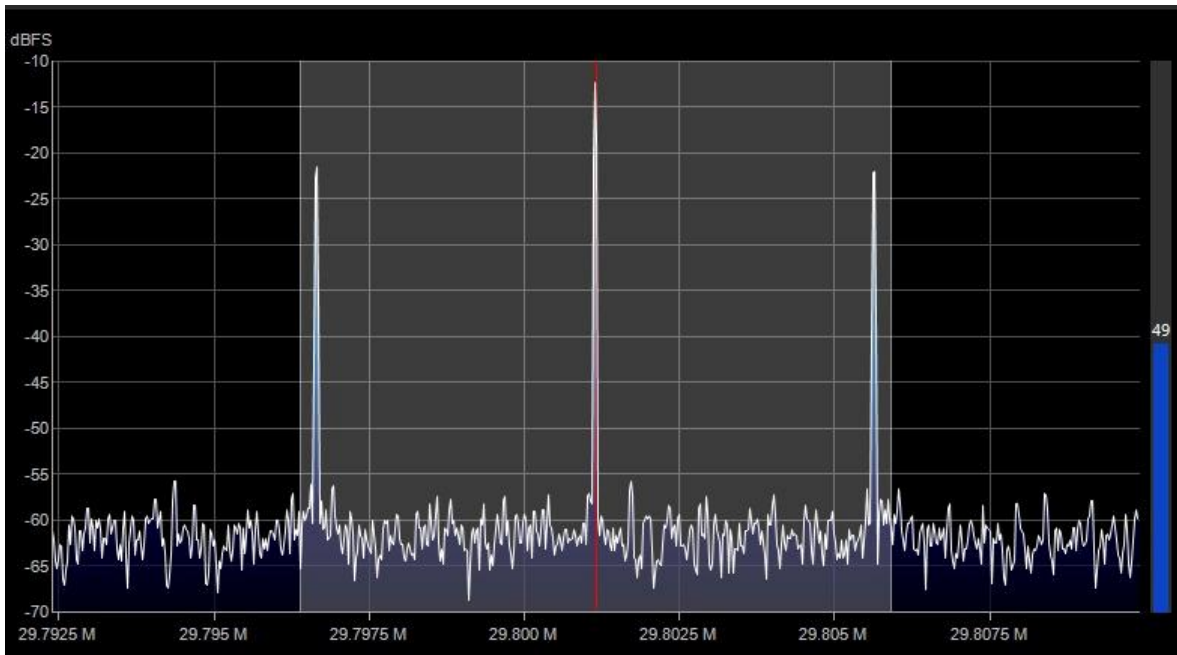


Ilustración 43 Receptor AM en SDR#

Modulación AM doble banda lateral con portadora suprimida.

La transmisión de portadora suprimida de doble banda lateral (DSB-SC) es una transmisión en la que las frecuencias producidas por la modulación de amplitud (AM) están espaciadas simétricamente por encima y por debajo de la frecuencia de la portadora y el nivel de la portadora se reduce al nivel práctico más bajo, idealmente suprimido por completo.

En la modulación DSB-SC, a diferencia de la AM, no se transmite la portadora de onda; así, gran parte de la potencia se distribuye entre las bandas laterales, lo que implica un aumento de la cobertura en DSB-SC, en comparación con AM, para el mismo consumo de potencia.

La transmisión DSB-SC es un caso especial de transmisión de portadora reducida de doble banda lateral . Se utiliza para sistemas de datos de radio . Este modo se usa con frecuencia en comunicaciones de voz de radioaficionados , especialmente en bandas de alta frecuencia.

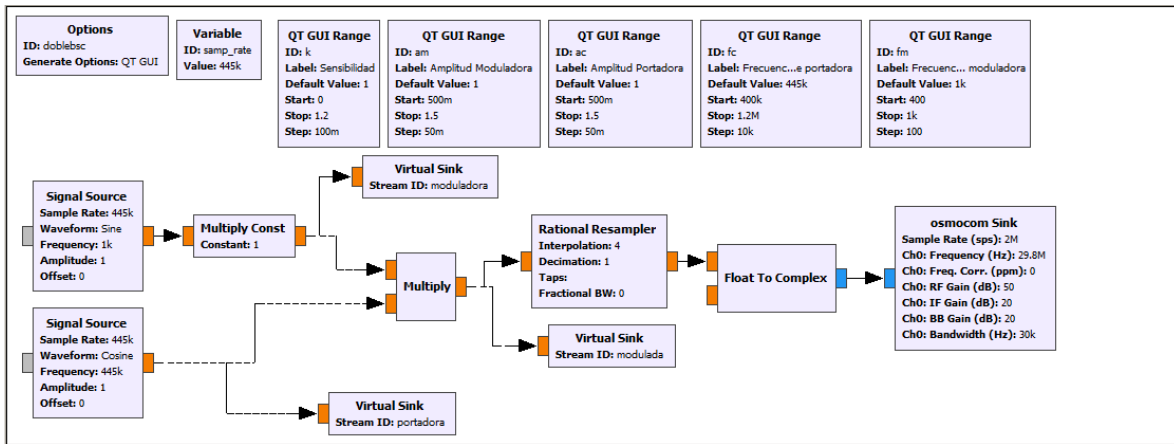


Ilustración 44 Diagrama modulator

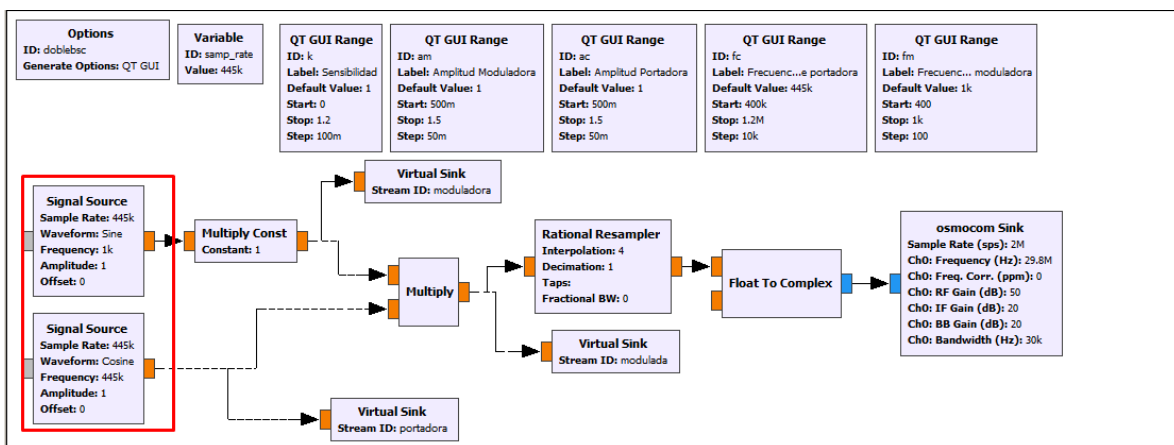


Ilustración 45 SEÑAL MODULADORA Y SEÑAL PORTADORA

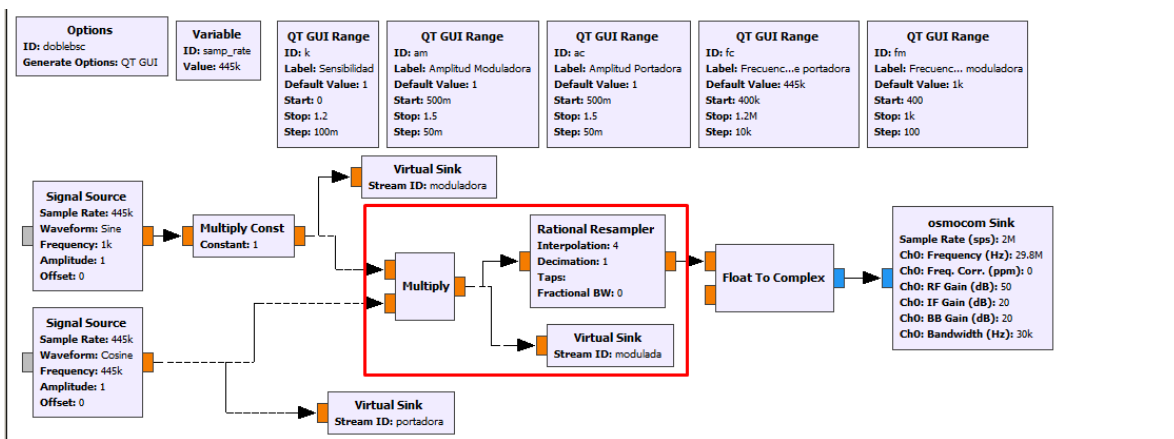


Ilustración 46 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

Multiplicación de la moduladora con la portadora para poder obtener la modulada y el adecuamiento de el resultado de la multiplicación mediante el rational resample para poder adecuar de mejor manera la señal.

DEFINICION DE VARIABLES Y RANGOS DE LA INTERFAZ.

Variable ID: samp_rate Value: 445k	QT GUI Range ID: k Label: Sensibilidad Default Value: 1 Start: 0 Stop: 1.2 Step: 100m	QT GUI Range ID: am Label: Amplitud Moduladora Default Value: 1 Start: 500m Stop: 1.5 Step: 50m	QT GUI Range ID: ac Label: Amplitud Portadora Default Value: 1 Start: 500m Stop: 1.5 Step: 50m	QT GUI Range ID: fc Label: Frecuenc...e portadora Default Value: 445k Start: 400k Stop: 1.2M Step: 10k	QT GUI Range ID: fm Label: Frecuenc... moduladora Default Value: 1k Start: 400 Stop: 1k Step: 100
---	--	--	---	---	--

Ilustración 47 Definición de variables

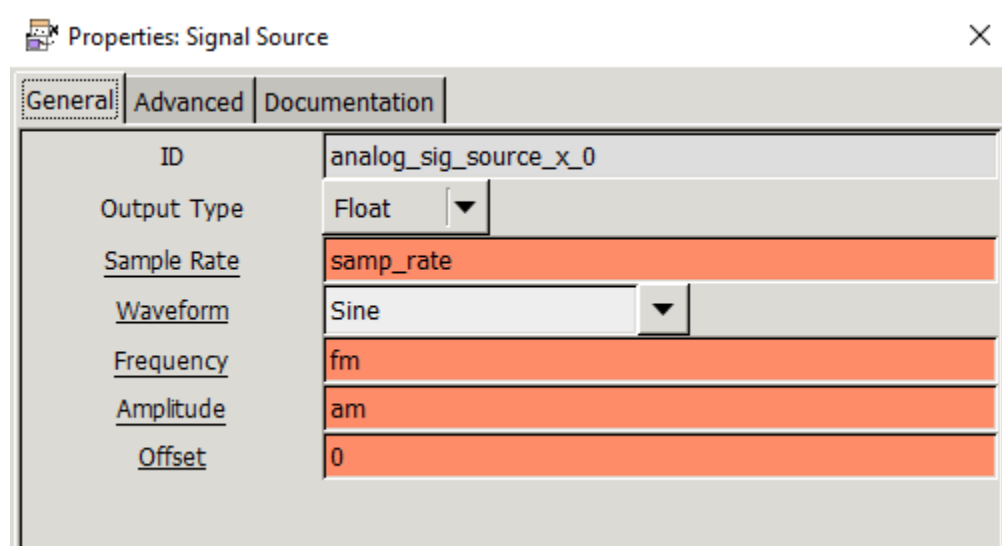


Ilustración 48 parametros de la moduladora

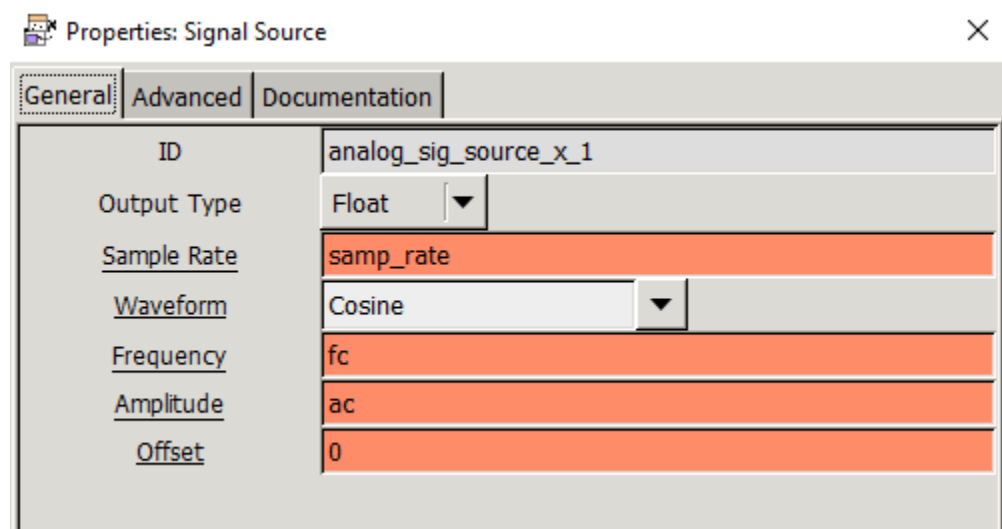


Ilustración 49 Parametros de la portadora

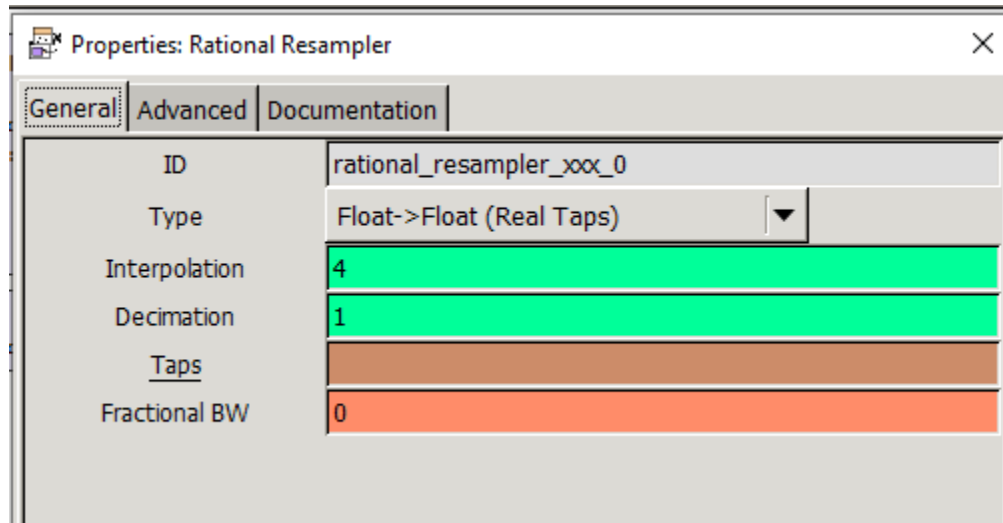


Ilustración 50 Parametros de rational resample

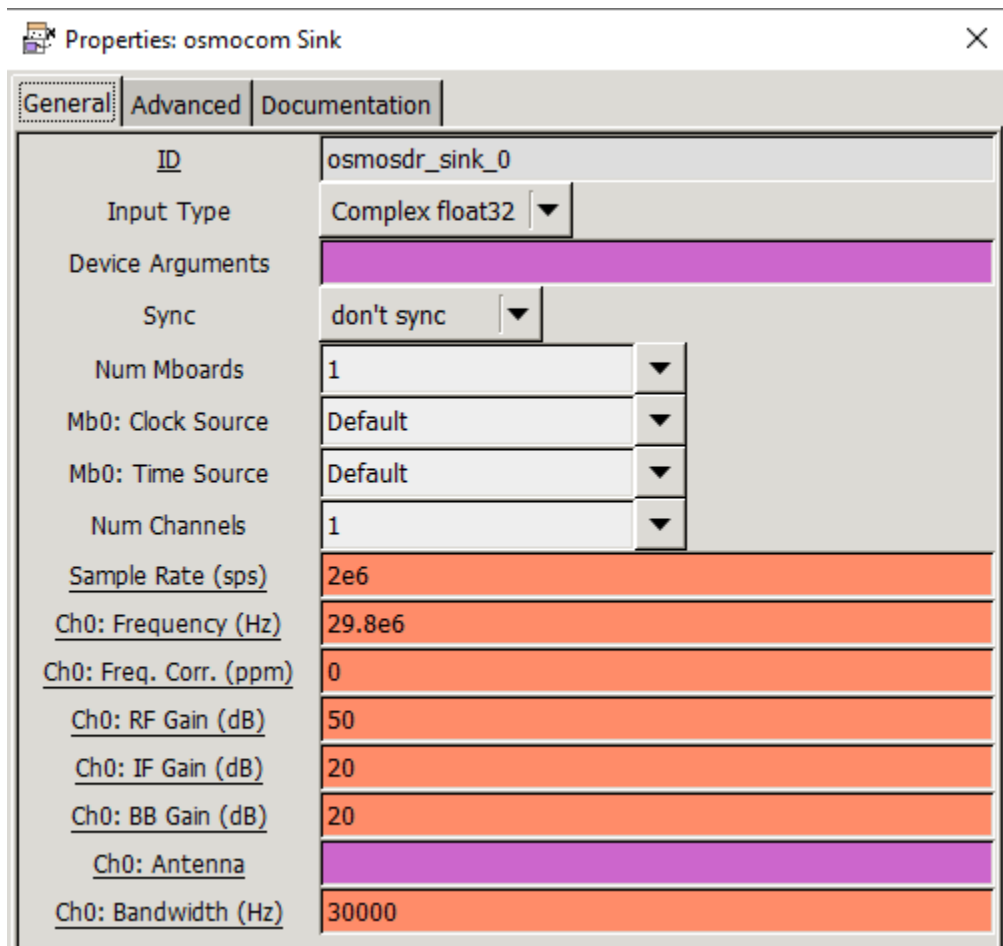
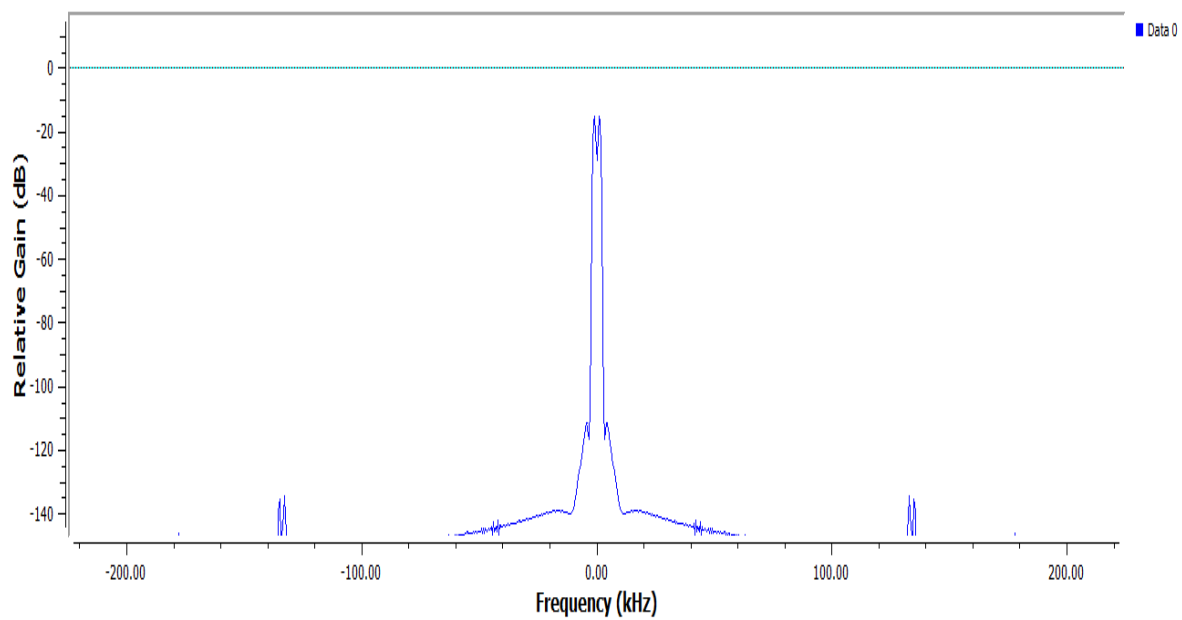
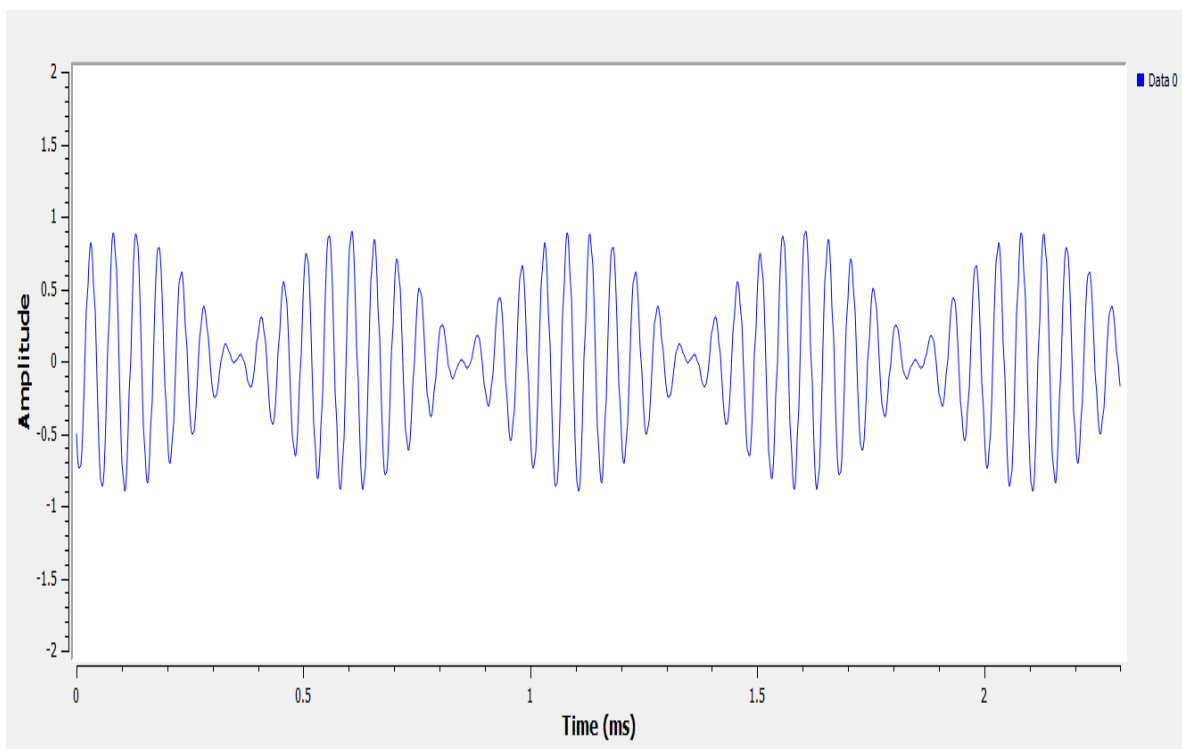


Ilustración 51 parametros de blooque rational resample

DEMOSTRACION DE RESULTADOS.

*Ilustración 52 Dominio de la frecuencia**Ilustración 53 Dominio del tiempo*

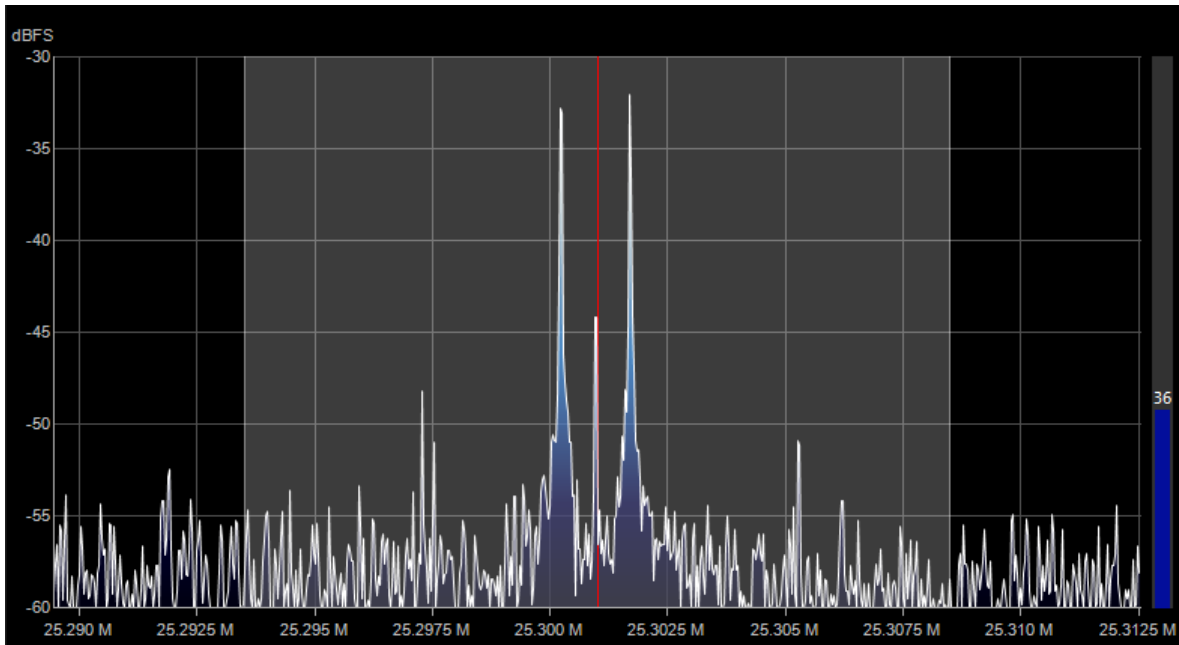


Ilustración 54 RECEPCION EN SDR#

Modulacion banda lateral única.

Es una evolución de la AM. La banda lateral única es muy importante para la rama de la electrónica básica ya que permite transmitir señales de radio frecuencia que otras modulaciones no pueden transmitir.

En la transmisión en amplitud modulada se gasta la mitad de la energía en transmitir una onda de frecuencia constante llamada onda portadora, y solo un cuarto en transmitir la información de la señal moduladora —normalmente voz— en una banda de frecuencias por encima de la portadora. El otro cuarto se consume en transmitir exactamente la misma información, pero en una banda de frecuencias por debajo de la portadora. Es evidente que ambas bandas laterales son redundantes, bastaría con enviar una sola. Y la portadora tampoco es necesaria.

Por medio de filtros colocados en el circuito de transmisión, el transmisor BLU elimina la portadora y una de las dos bandas. El receptor, para poder reproducir la señal que recibe, genera localmente —mediante un oscilador— la portadora no transmitida, y con la banda lateral que recibe, reconstruye la información de la señal moduladora original.

Modulacion LSB.

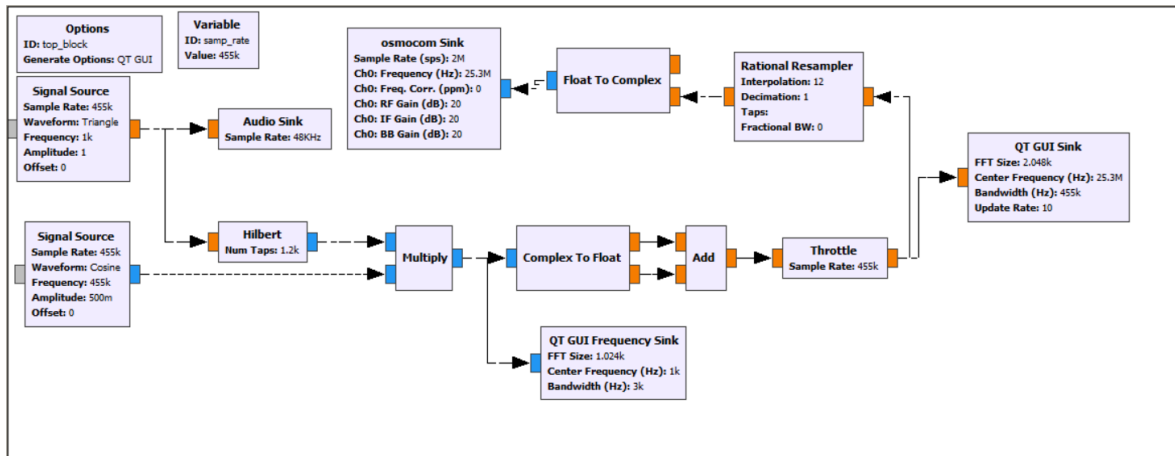


Ilustración 55 Diagrama modulador

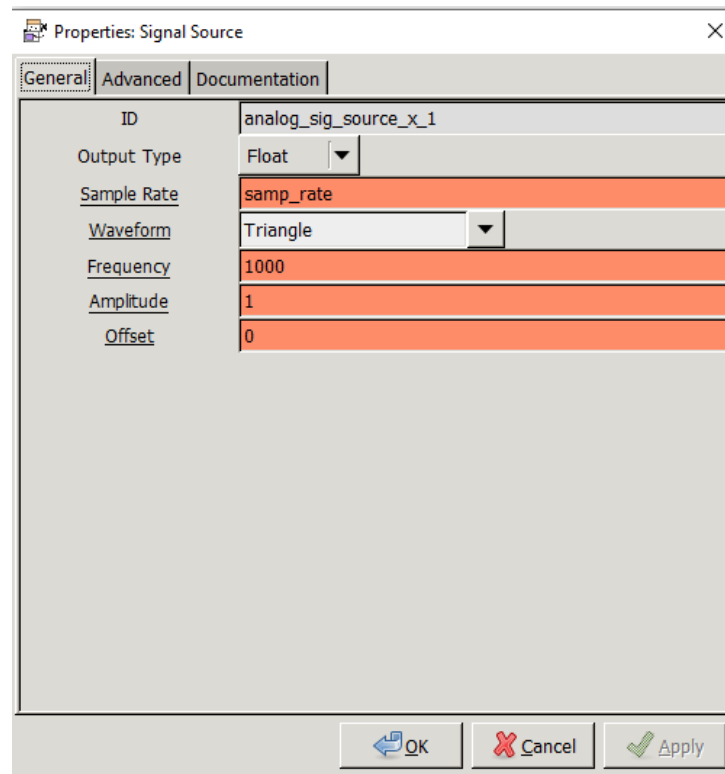


Ilustración 56 MODULADORA

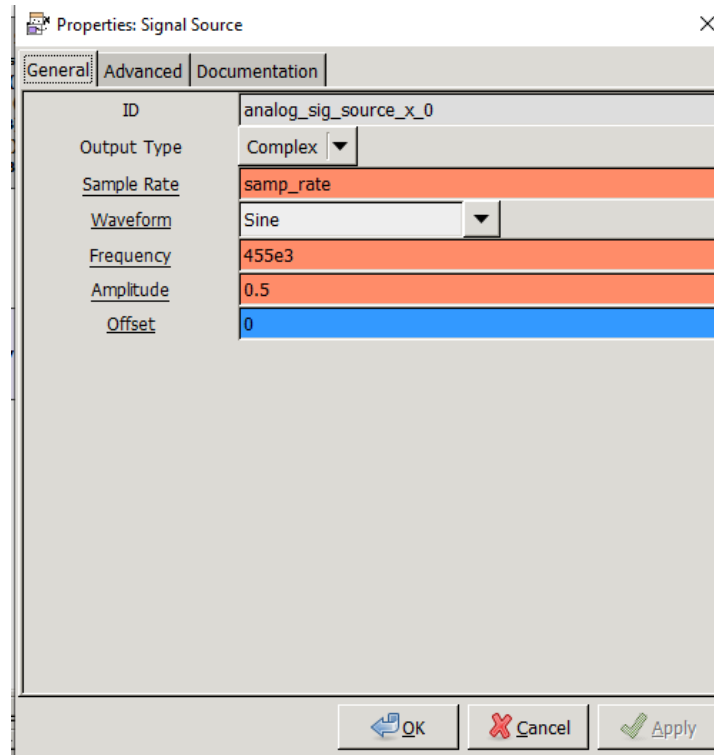


Ilustración 57 PORTADORA

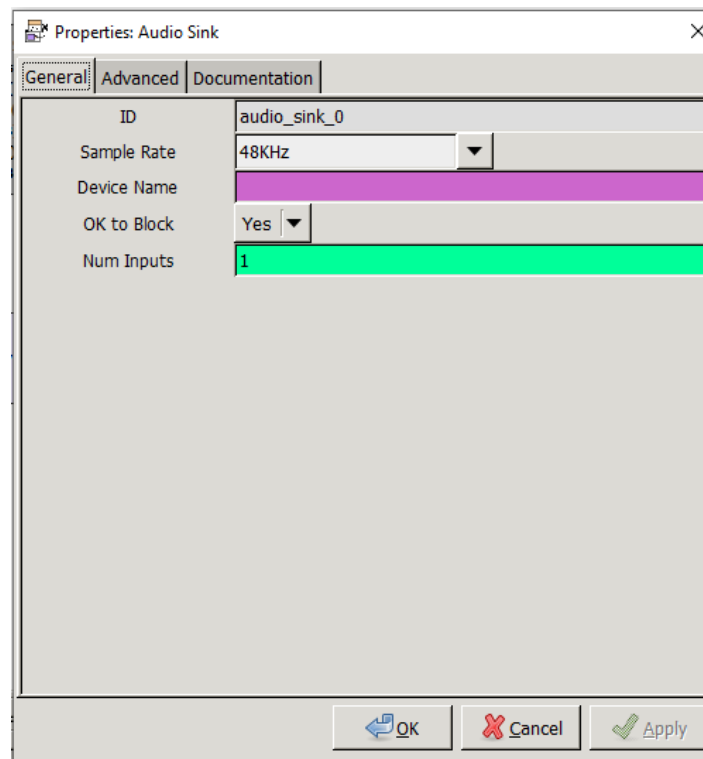


Ilustración 58 Sumidero de audio

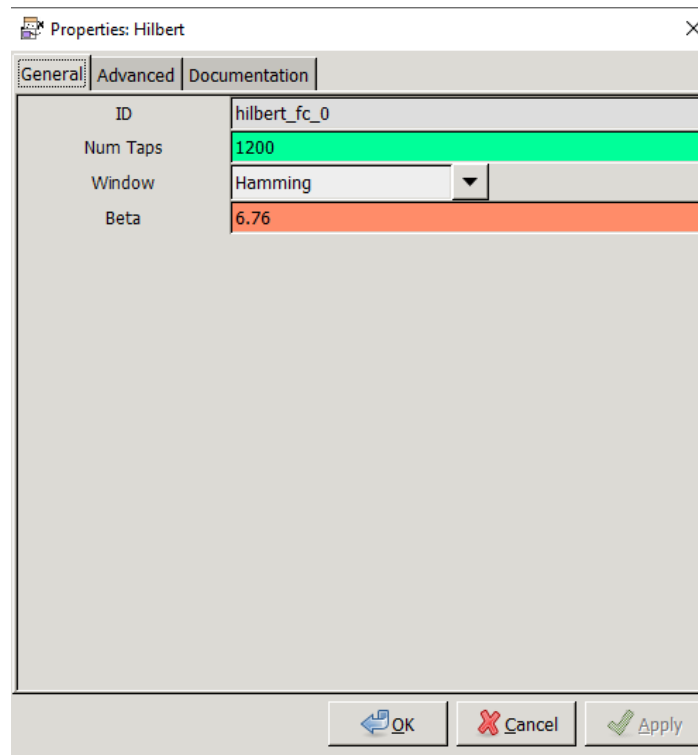


Ilustración 59 Cambio de fase de 90°

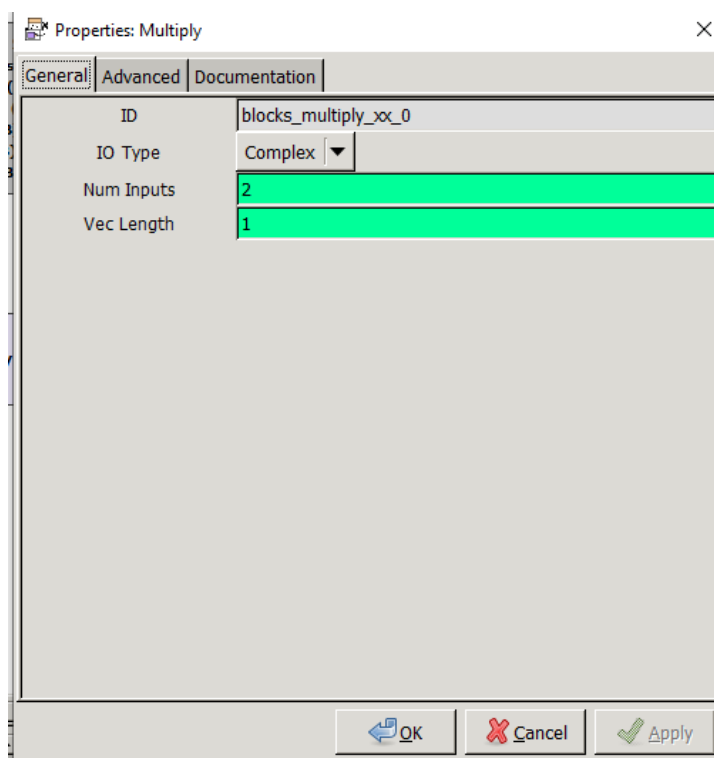


Ilustración 60 Multiplicador

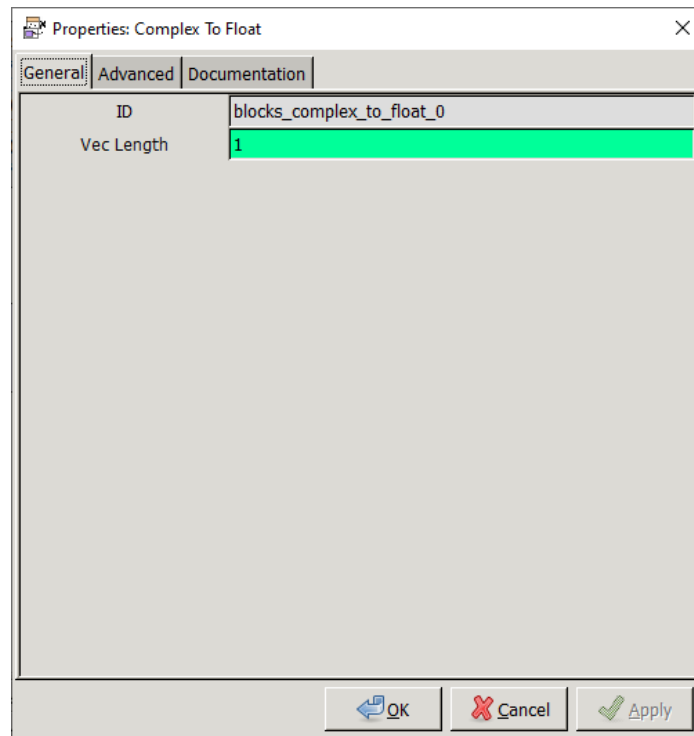


Ilustración 61 Conversor

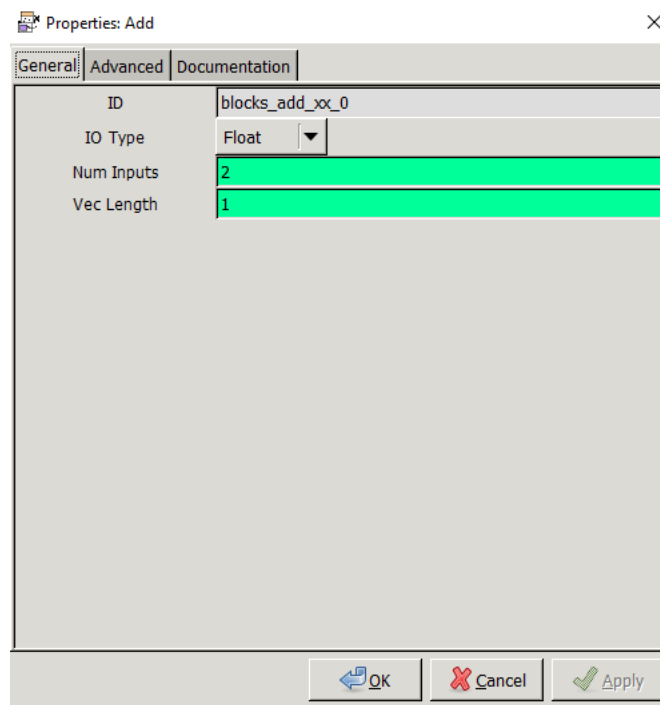


Ilustración 62 Sumador

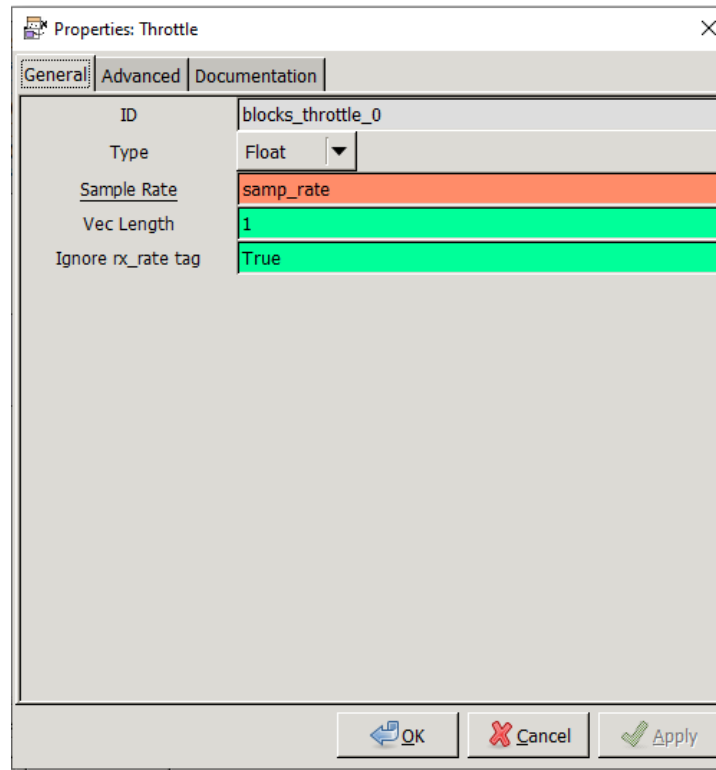


Ilustración 63 Repetidor

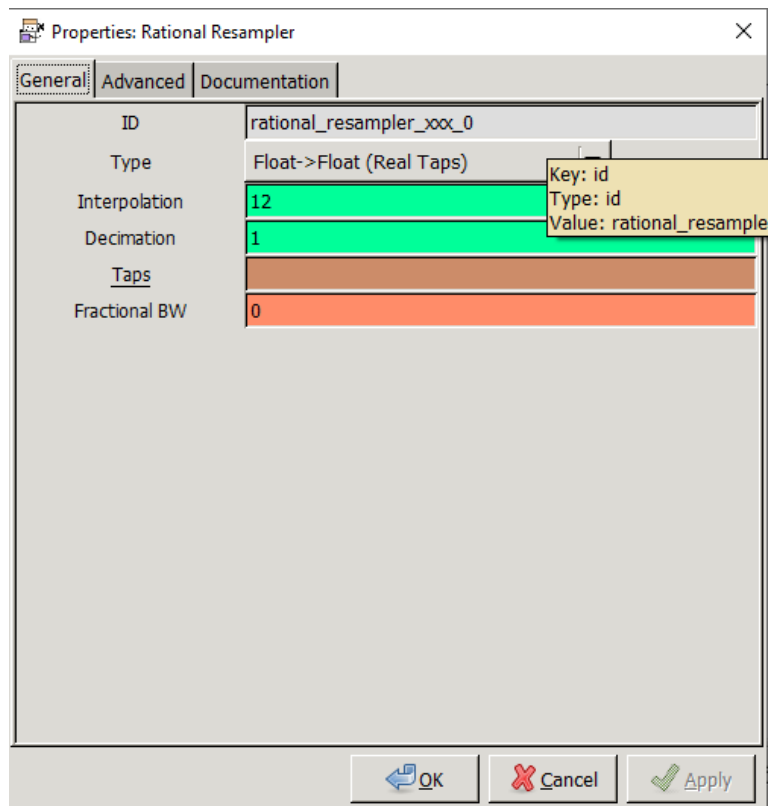


Ilustración 64 Repetidor

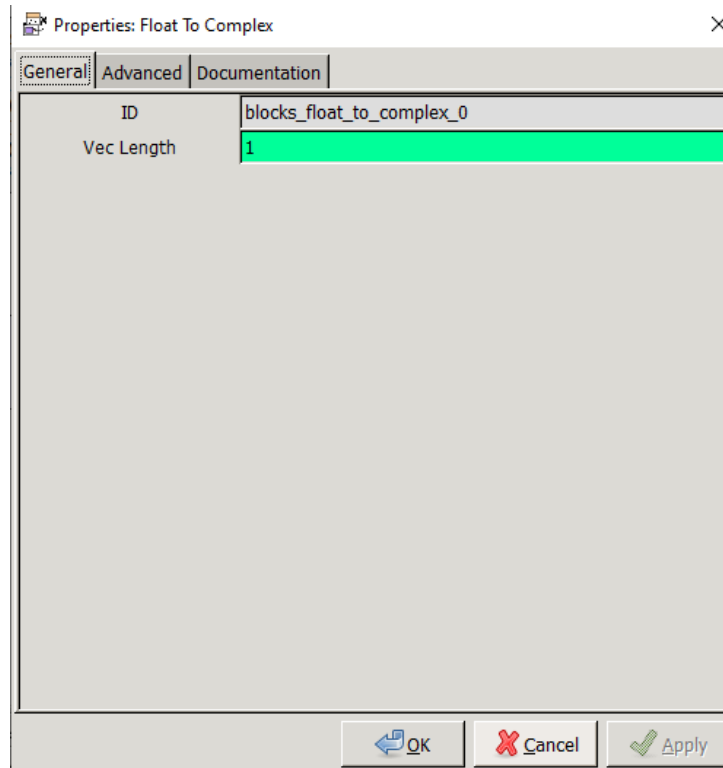


Ilustración 65 Conversor

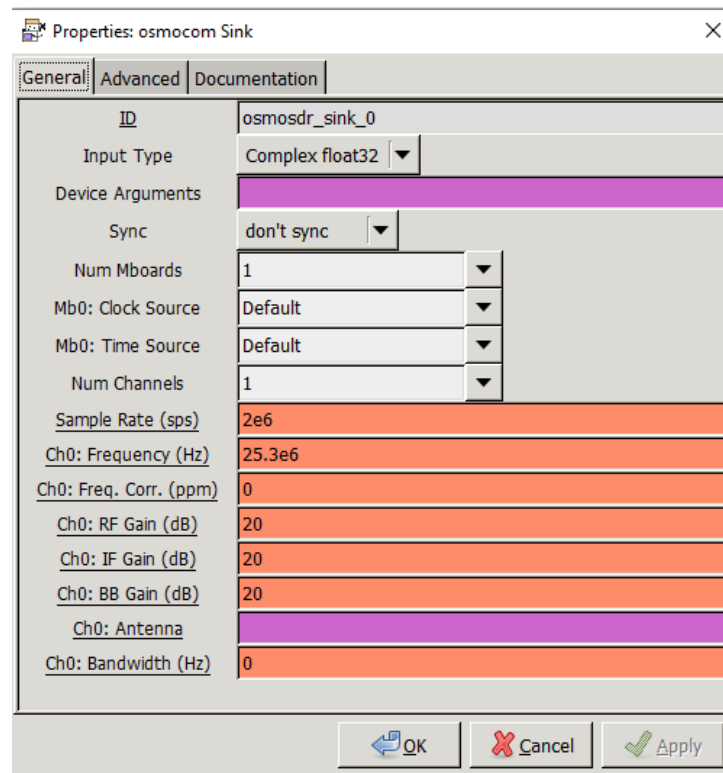


Ilustración 66 Bloque transmisor

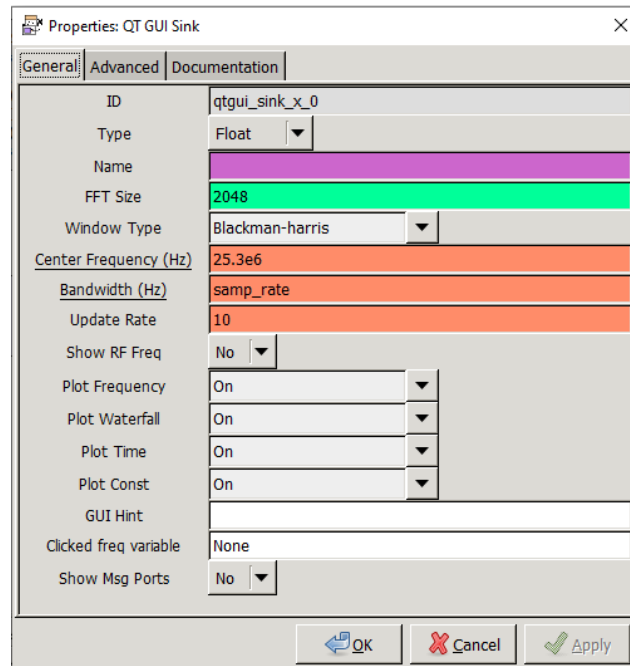


Ilustración 67 Sumidero de resultados

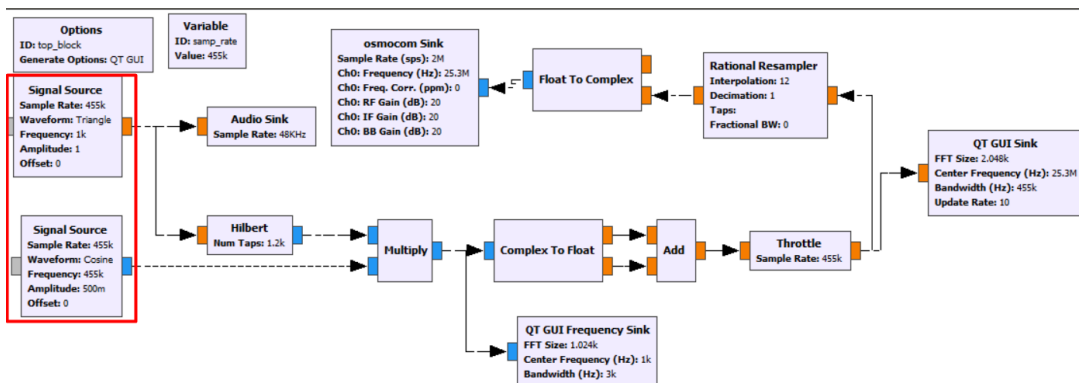


Ilustración 68 DEFINICION DE MODULADORA Y PORTADORA

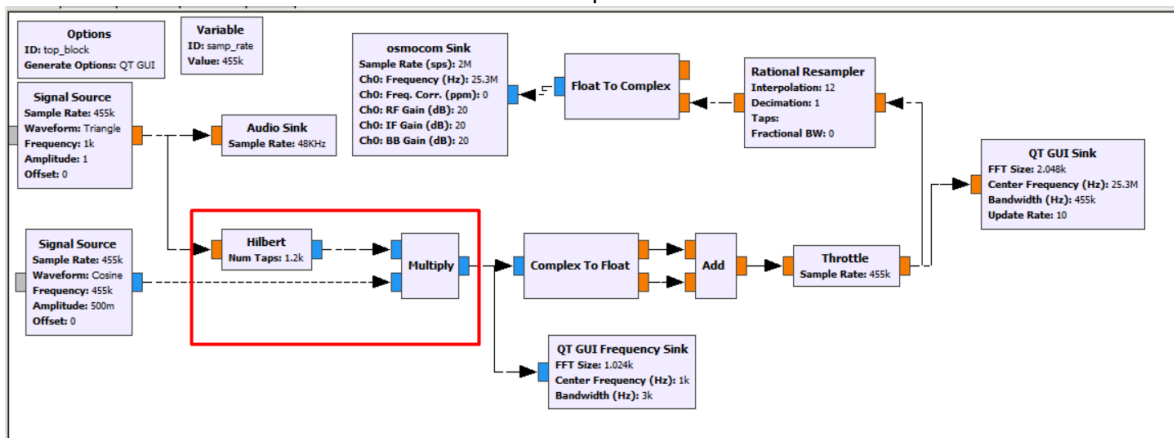


Ilustración 69 RETRASO EN LA MODULADORA Y MULTIPLICACION DE SEÑALES

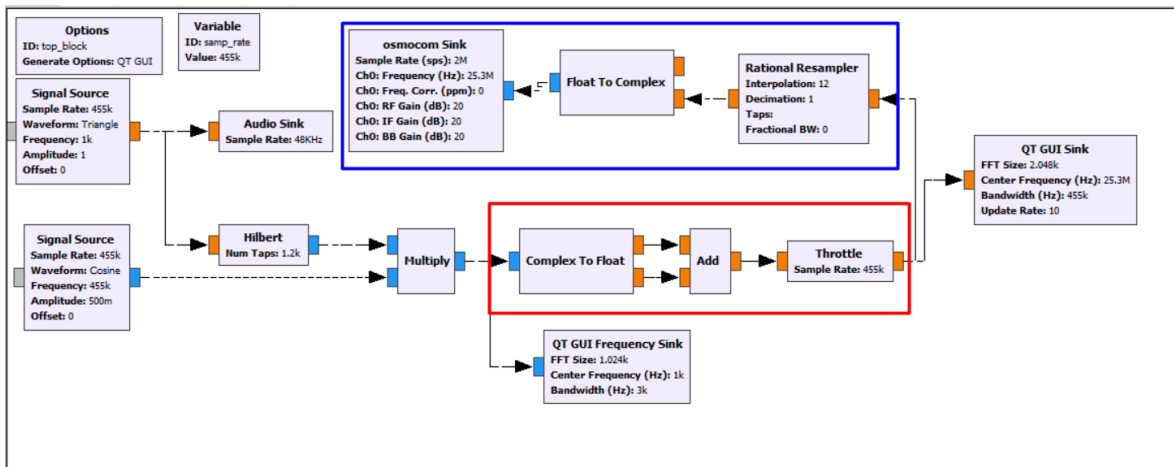
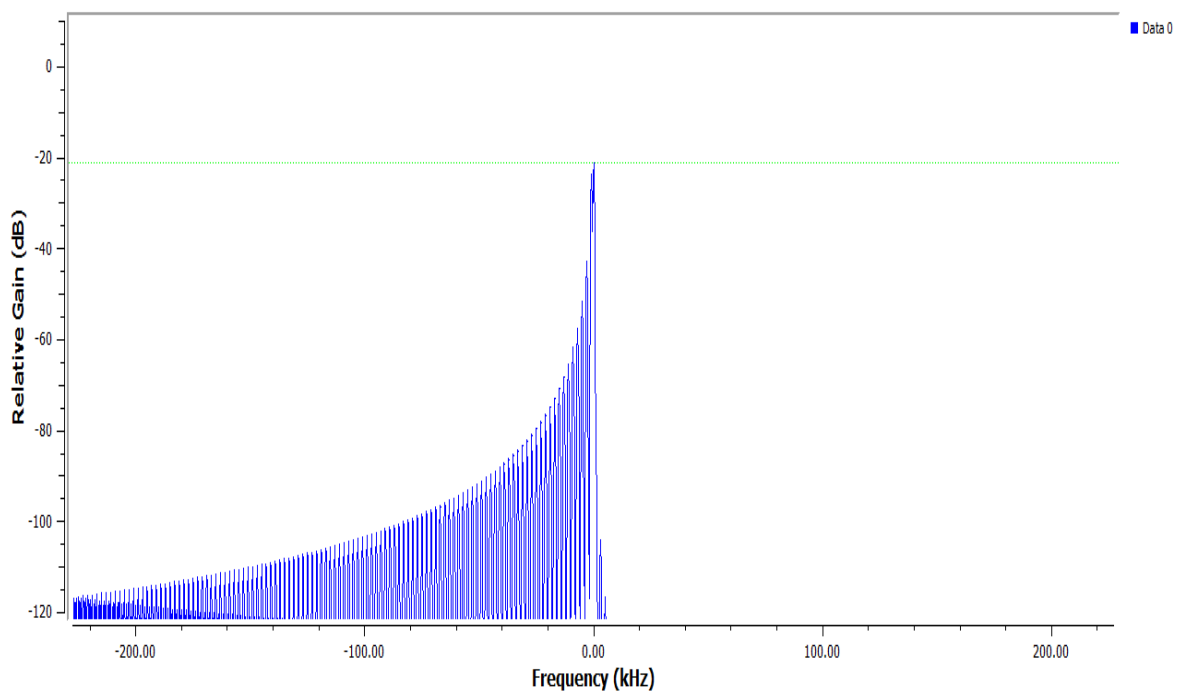
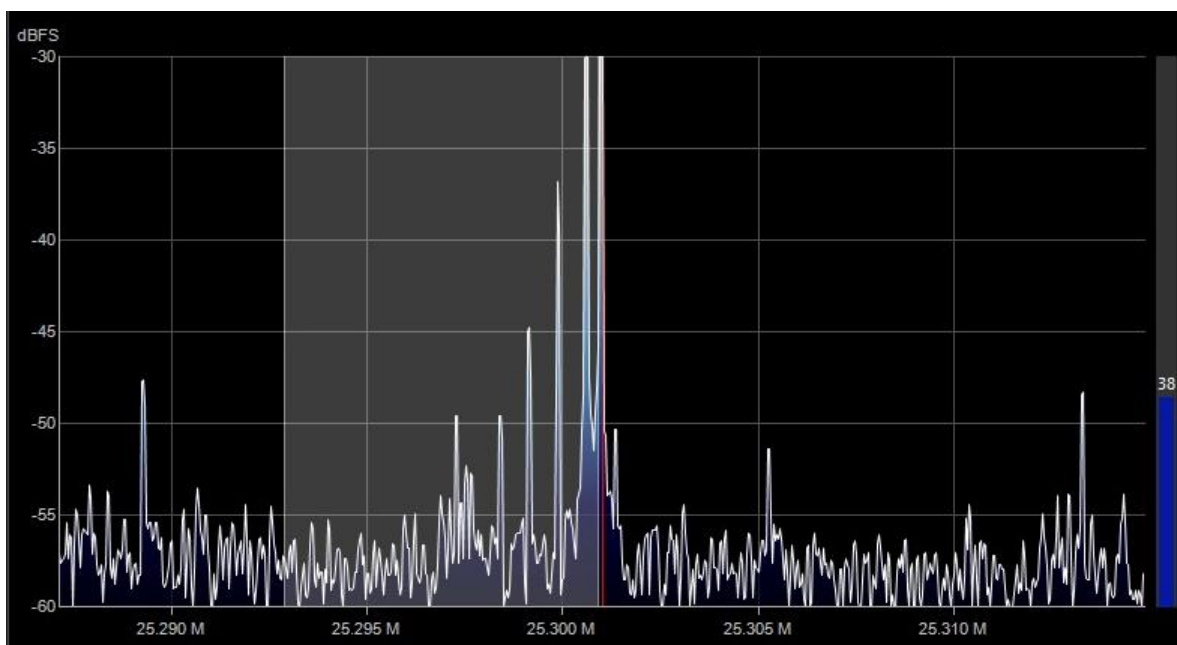


Ilustración 70 Interpolacion de la onda y paso a bloque transmisor

DEMOSTRACION DE RESULTADOS.

*Ilustración 71 Dominio en la frecuencia**Ilustración 72 Receptor en SDR#*

Modulacion USB.

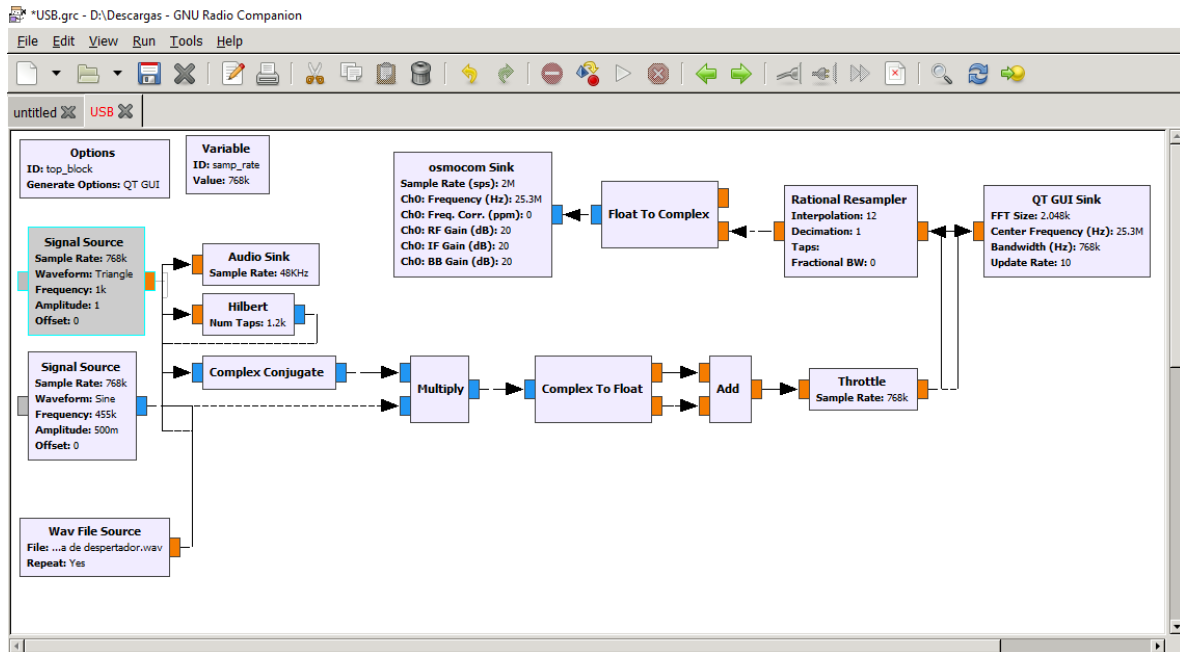


Ilustración 73 Diagrama modulador

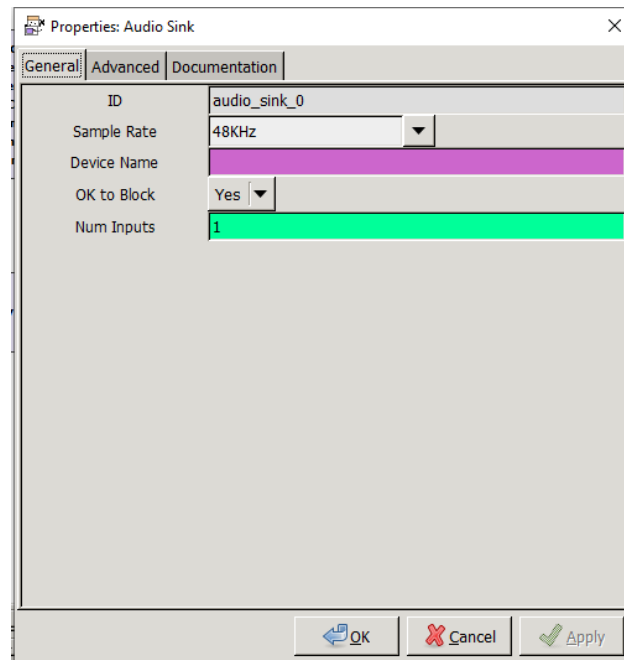


Ilustración 74 Sumidero de Audio

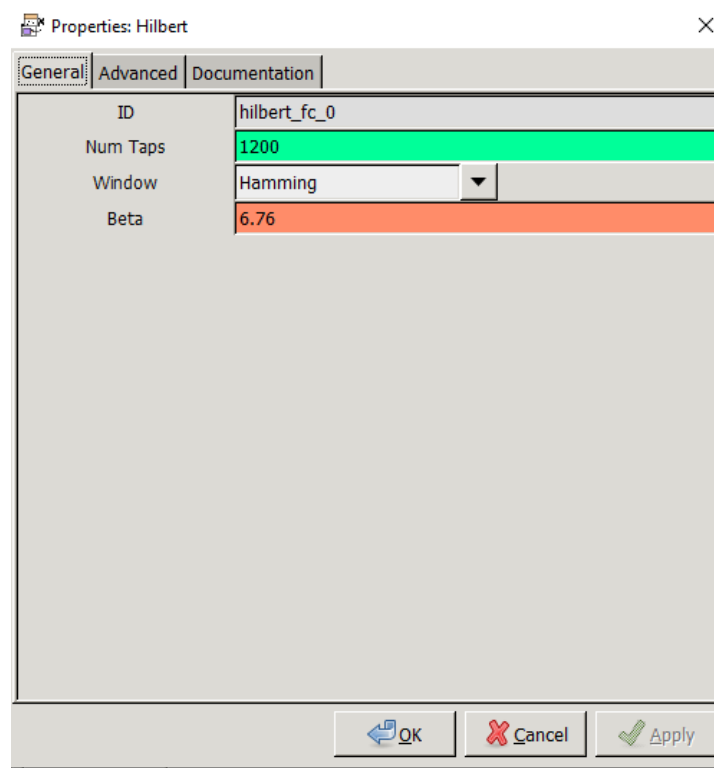


Ilustración 75 DEFINICION DE BLOQUE HILBERTH

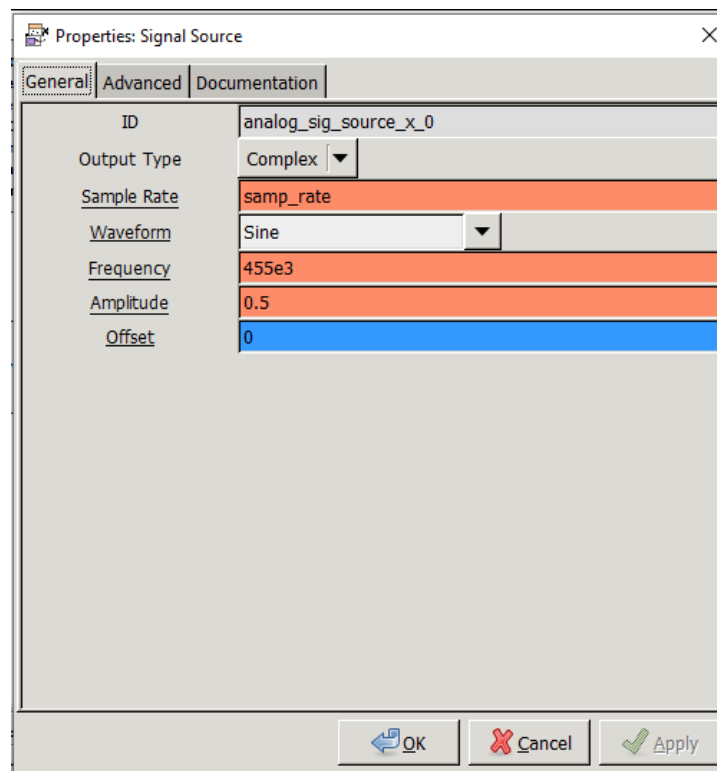


Ilustración 76 Fuente de señal

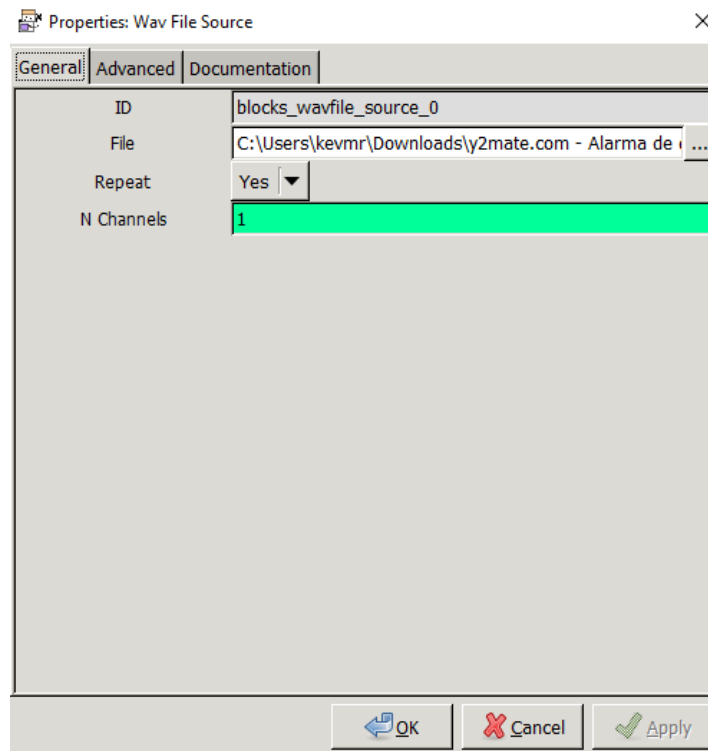


Ilustración 77 Archivo .WAV

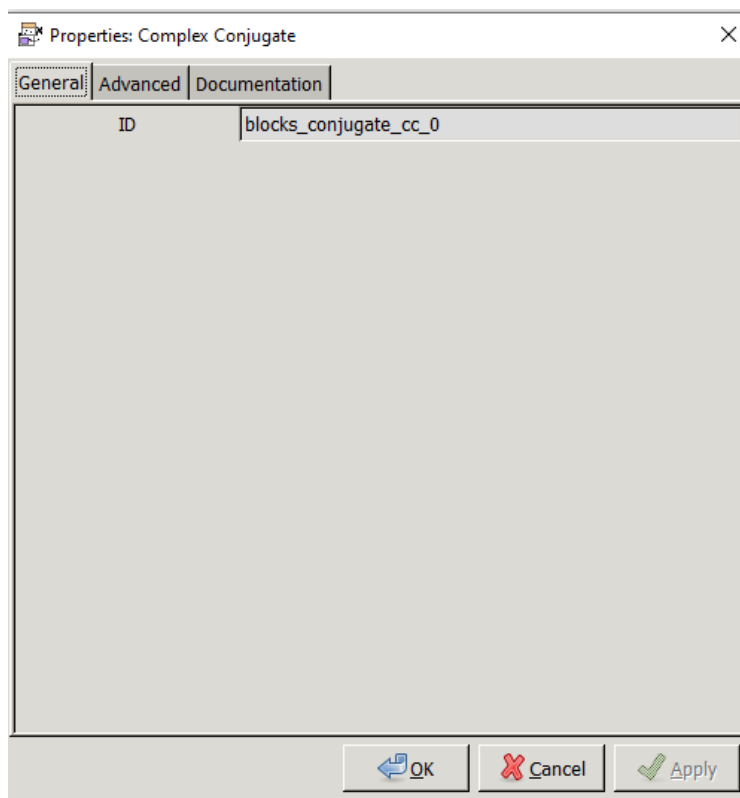


Ilustración 78 Conversor

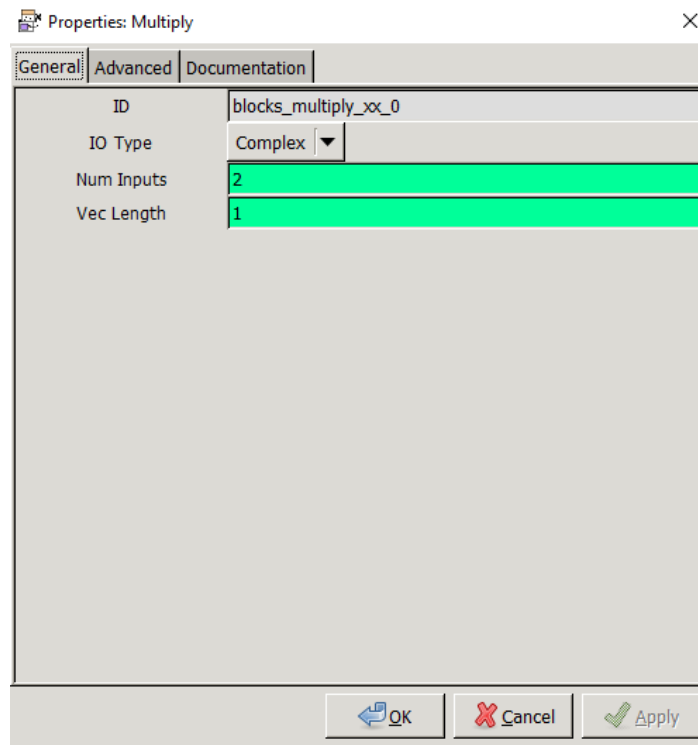


Ilustración 79 Multiplicador

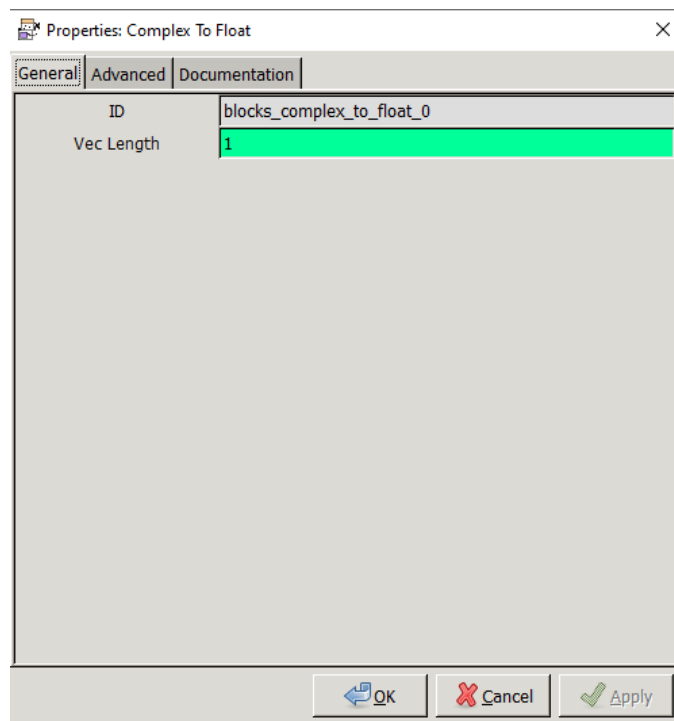


Ilustración 80 Conversor

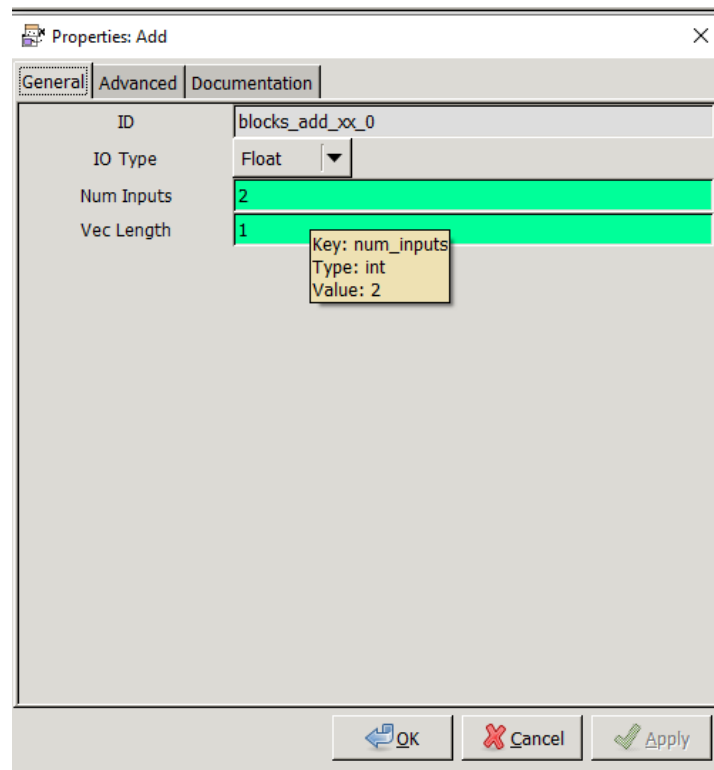


Ilustración 81 Sumador

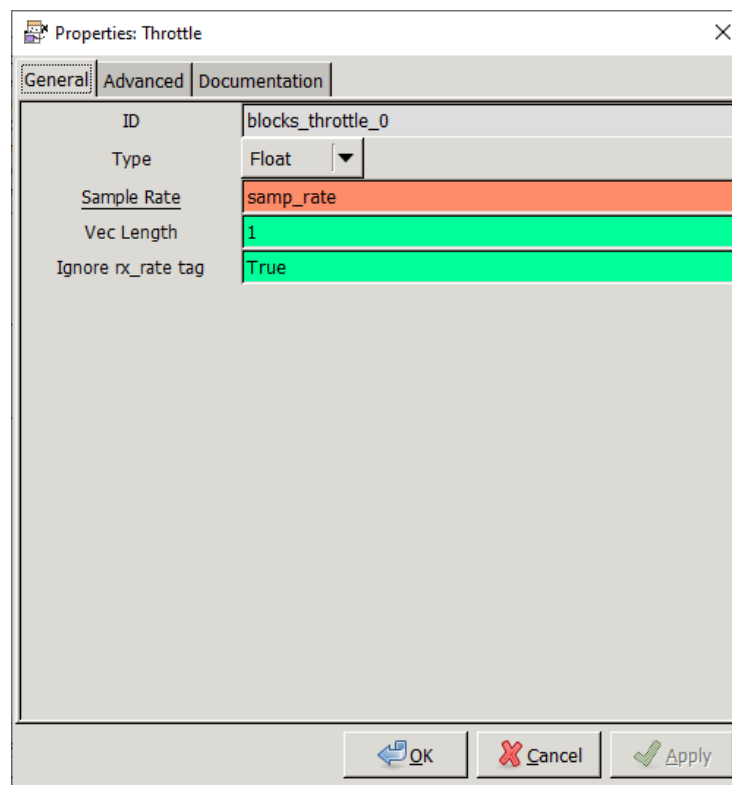


Ilustración 82 Repetidor

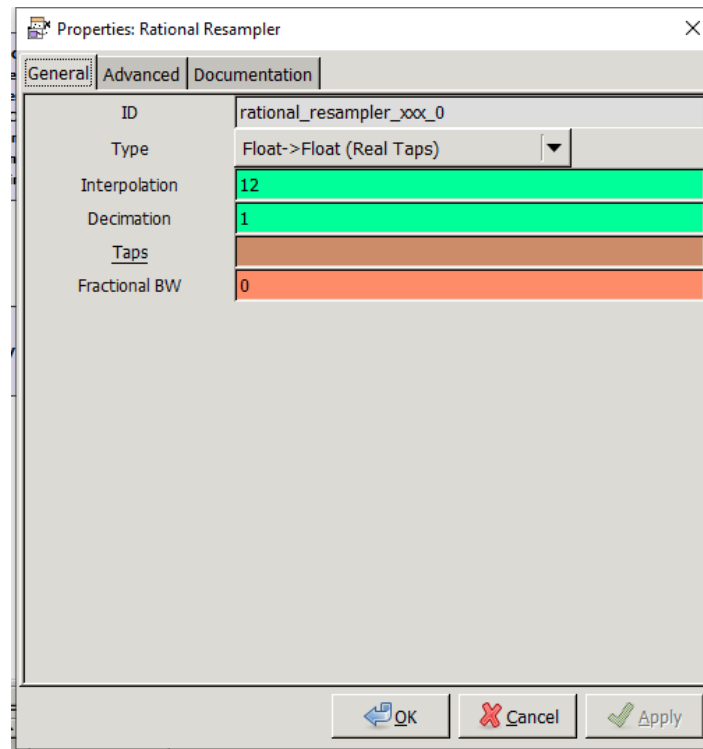


Ilustración 83 Repetidor

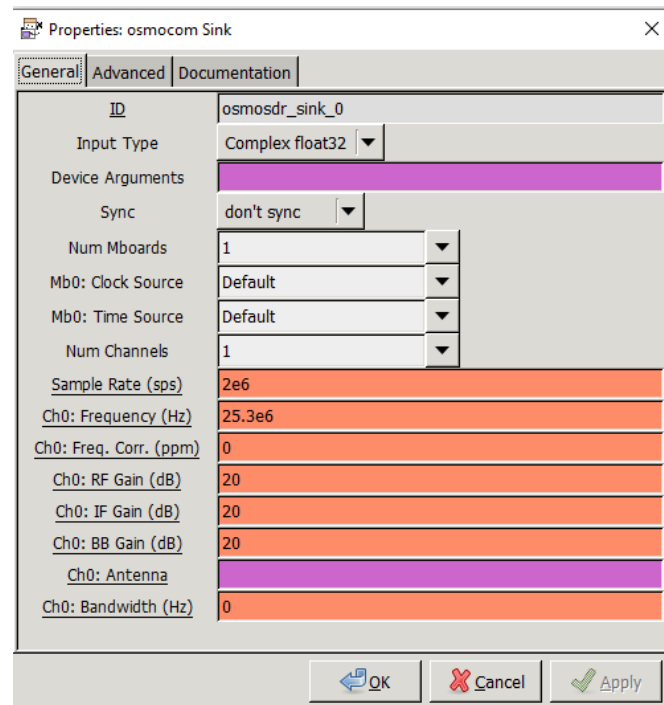


Ilustración 84 Bloque transmisor.

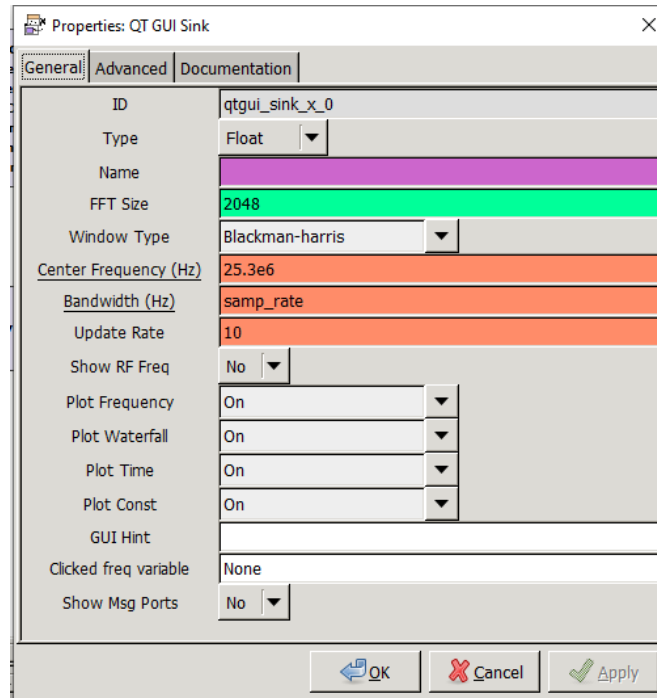


Ilustración 85 Sumidero de resultados

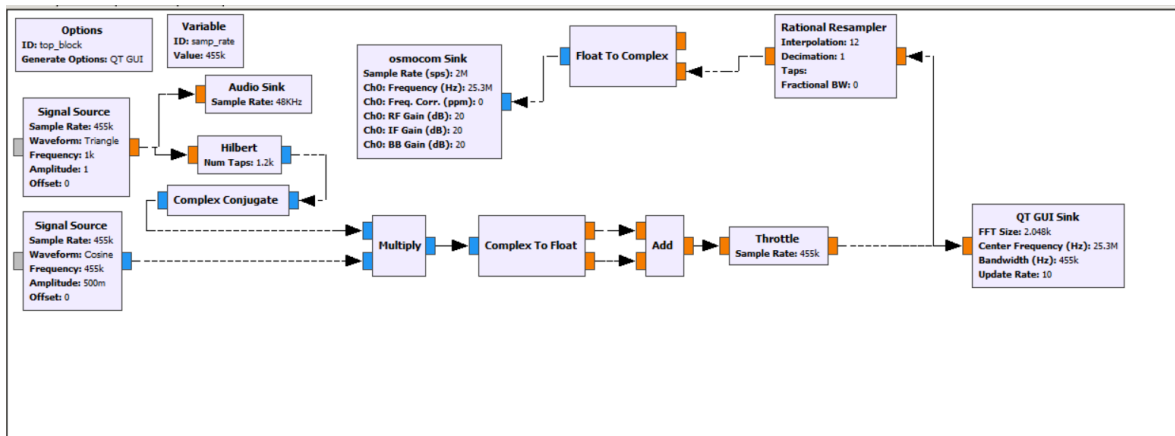


Ilustración 86 Diagrama Modulador

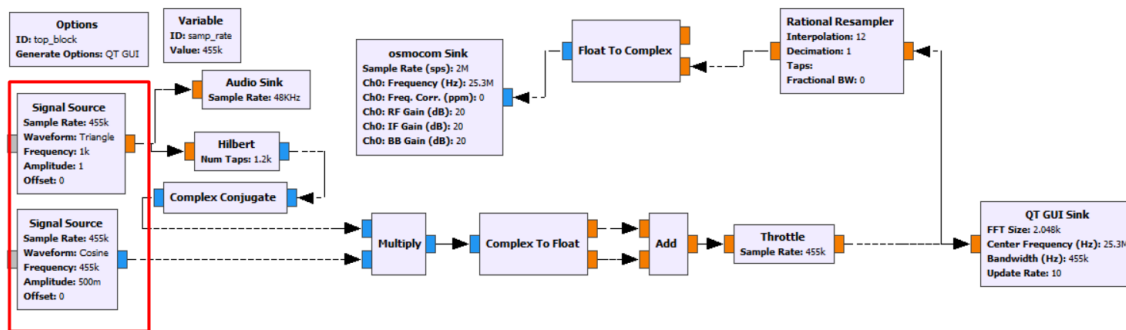


Ilustración 87 Definición de moduladora y portadora

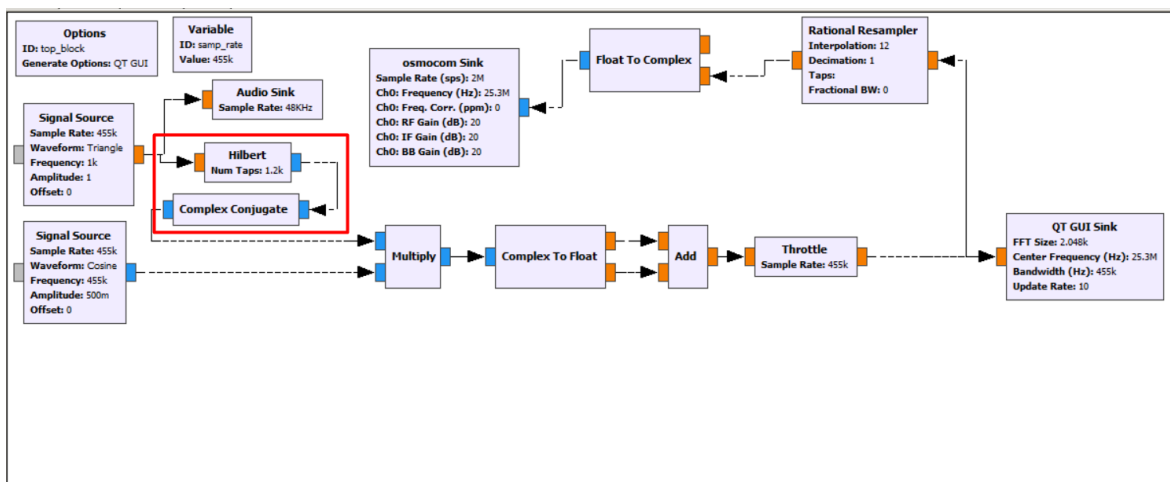


Ilustración 88 USO DE BLOQUE HILBERTH

En la ilustración 83 vemos como la moduladora tiene un retraso aplicado por el bloque Hilbert y luego es convertido a un bloque de tipo complejo para poder realizar la multiplicación de señales para luego poder pasar por el repetidor y poder interpolar la señal y poder pasar al bloque transmisor.

DEMOSTRACION DE RESULTADOS.

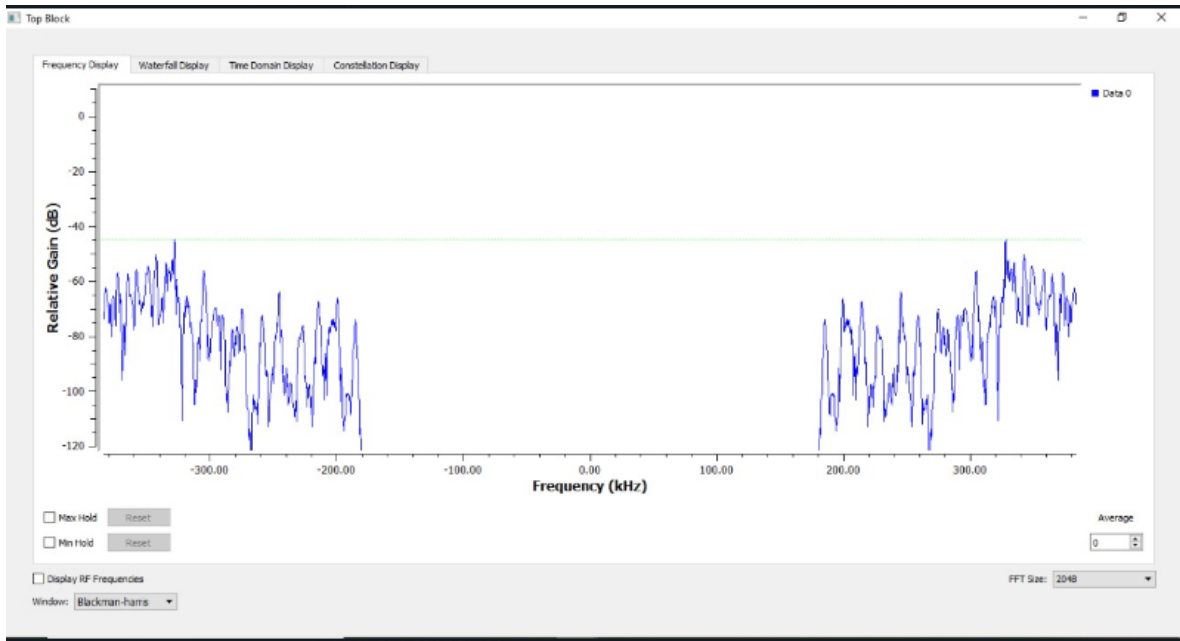


Ilustración 89 Dominio de la frecuencia

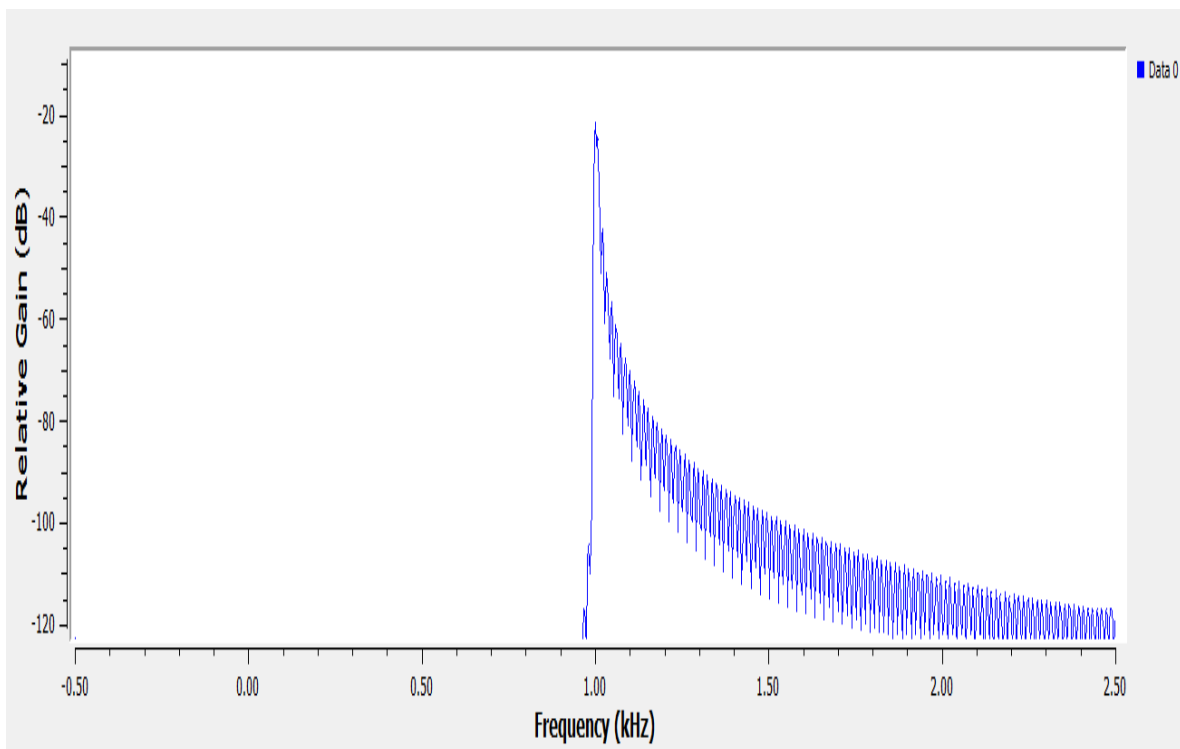


Ilustración 90 Dominio de la frecuencia

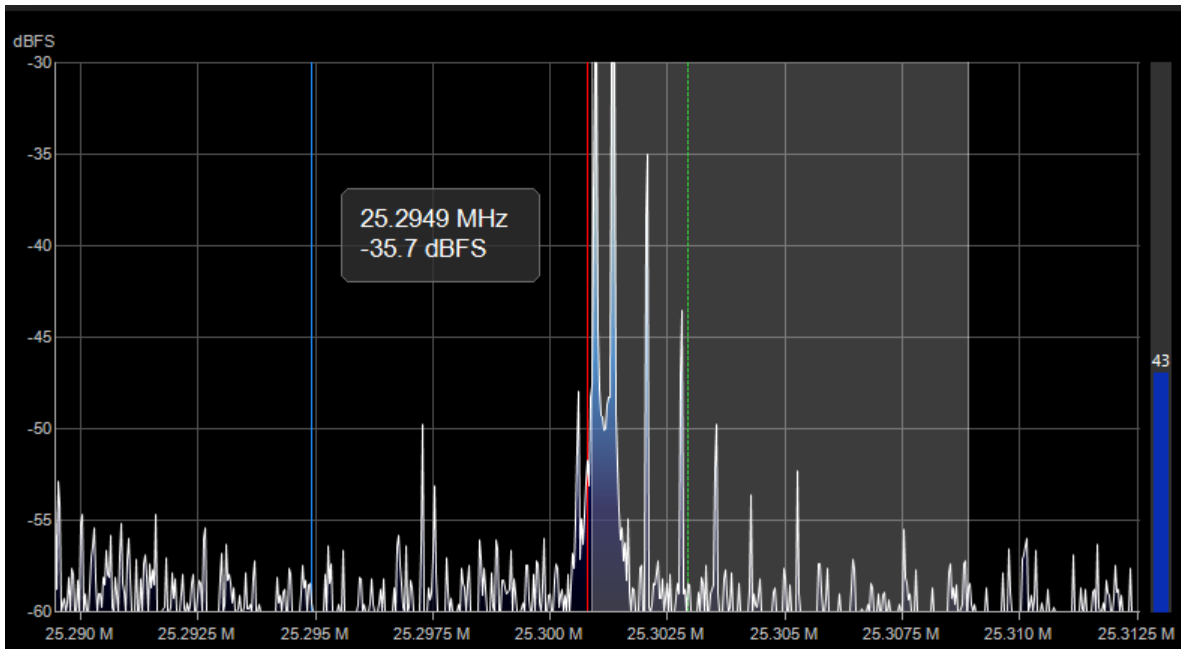


Ilustración 91 Receptor en SDR#

Modulacion ASK.

Transmisor:

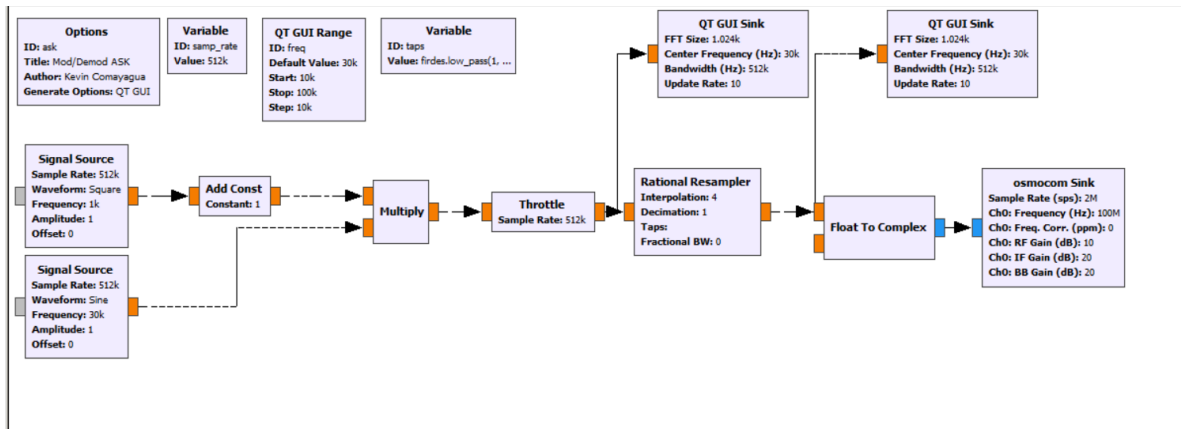


Ilustración 92 Diagrama Modulador

Receptor:

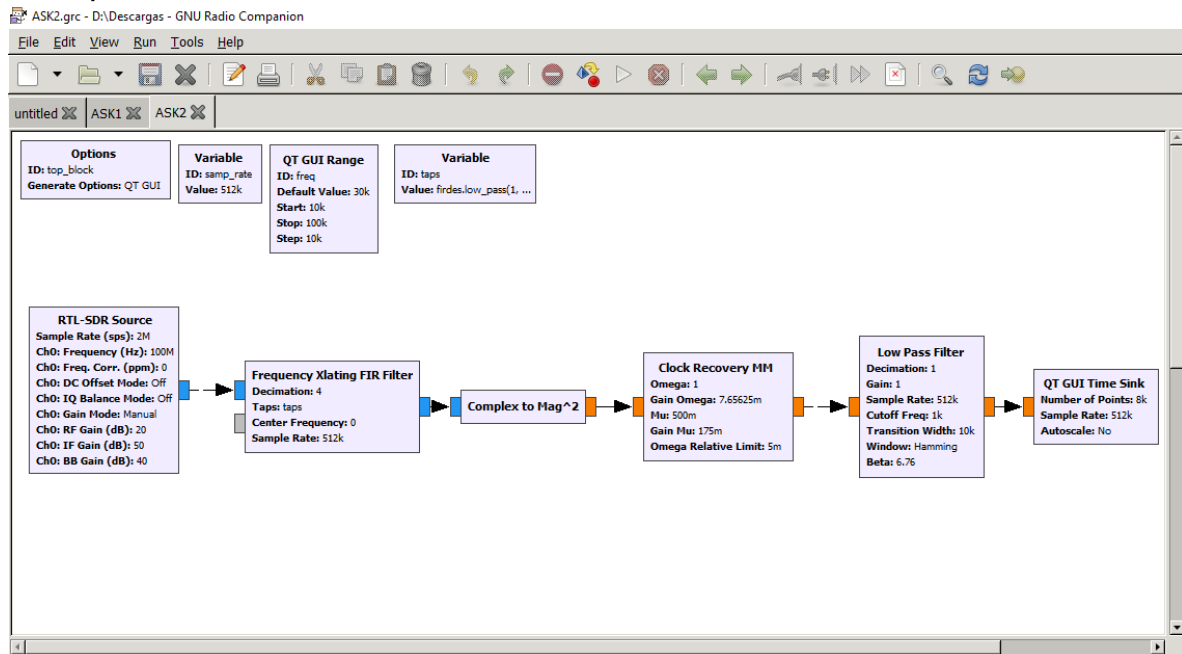


Ilustración 93 Diagrama Receptor

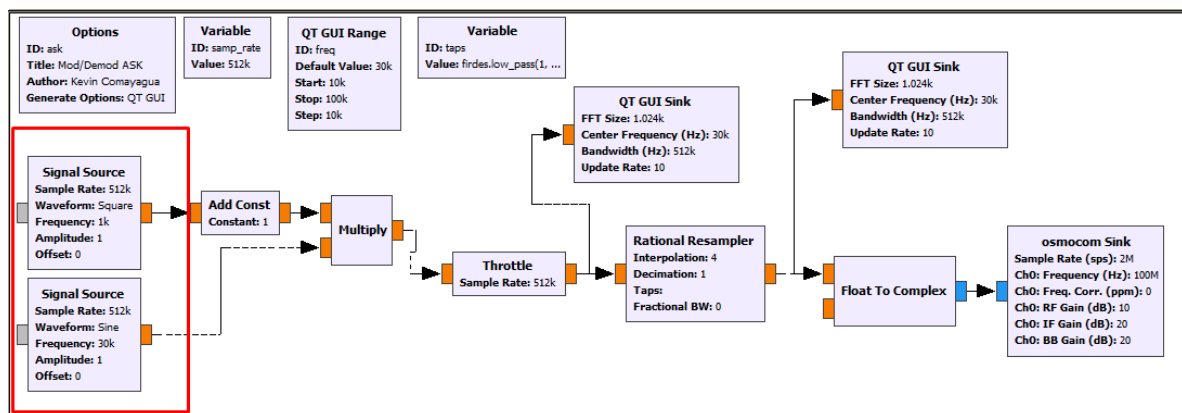


Ilustración 94 GENERADORES DE SEÑALES

Se definen la moduladora con la portadora.

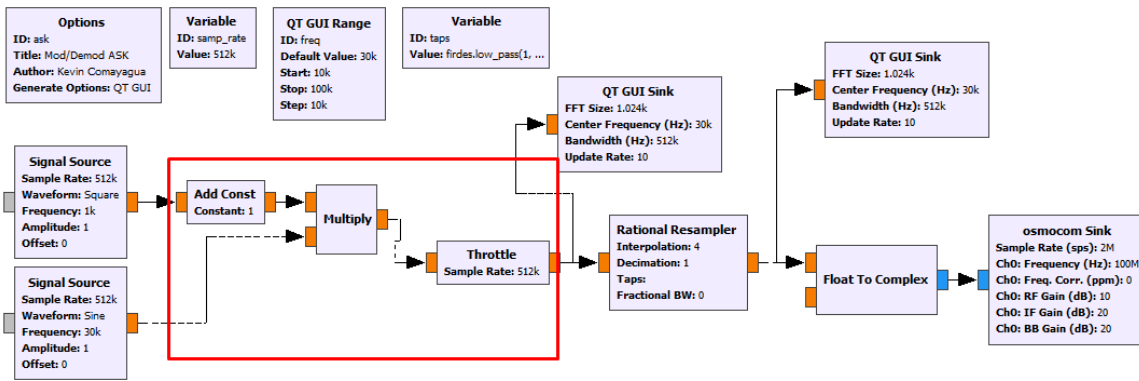


Ilustración 95 MULTIPLICADOR

En esta sección se le agrega una constante con el valor de 1 a la señal moduladora, para poder multiplicarla y usar el bloque throttle para poder controlar la tasa de muestreo.

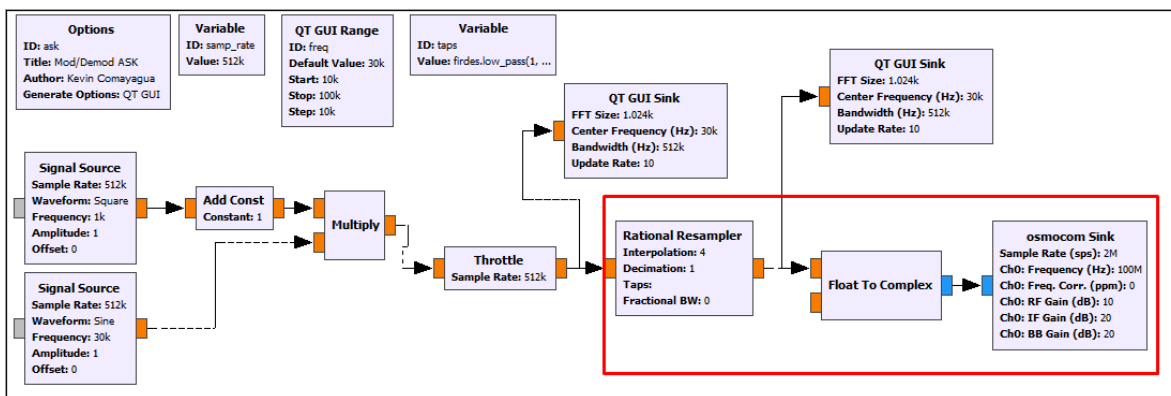


Ilustración 96 DEFINICION DE BLOQUE DE EMISION AL AIRE

Por ultimo pasa al rational resample que se encargara de adecuar la señal para el Osmocom Sink.

DEMOSTRACION DE RESULTADOS.

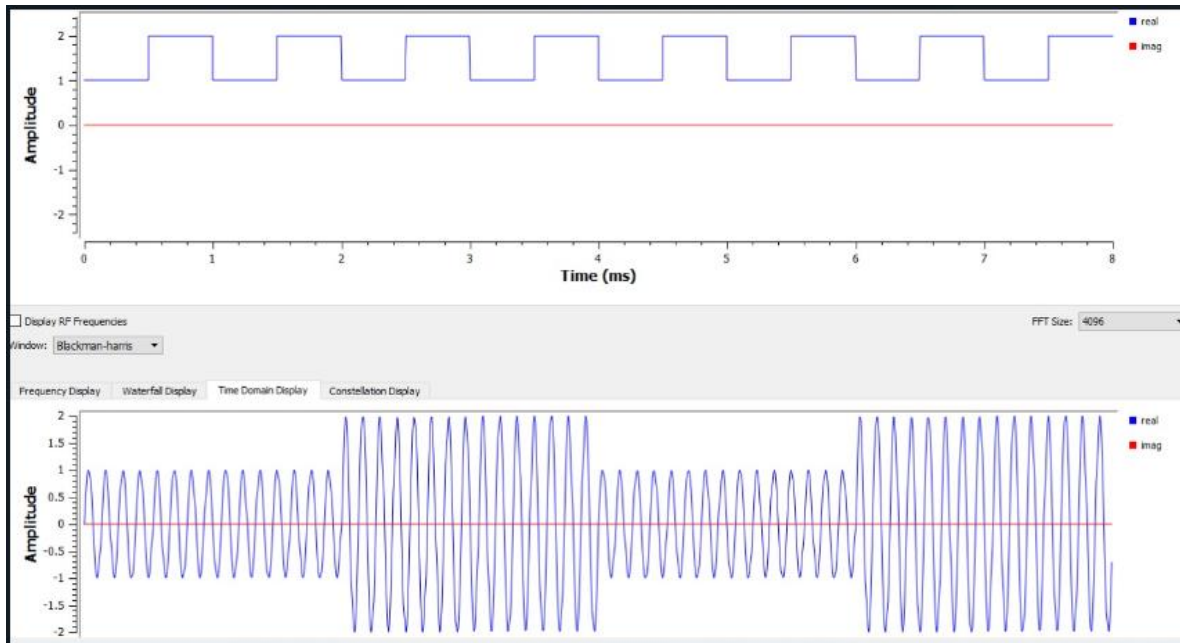


Ilustración 97 Trasnmission ASK

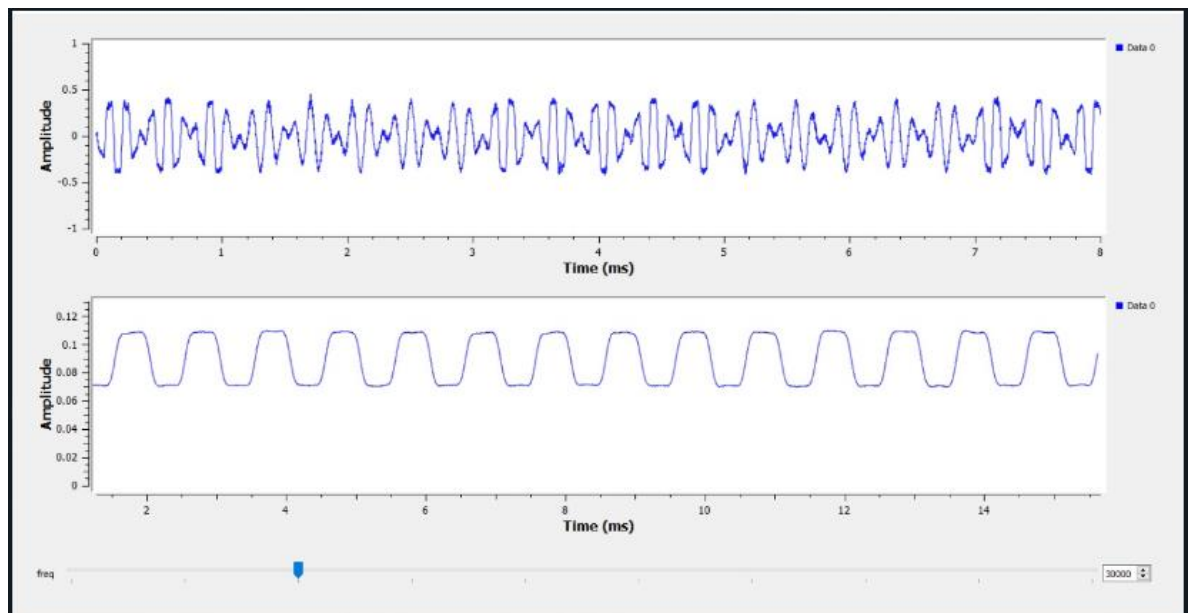


Ilustración 98 Recepcion

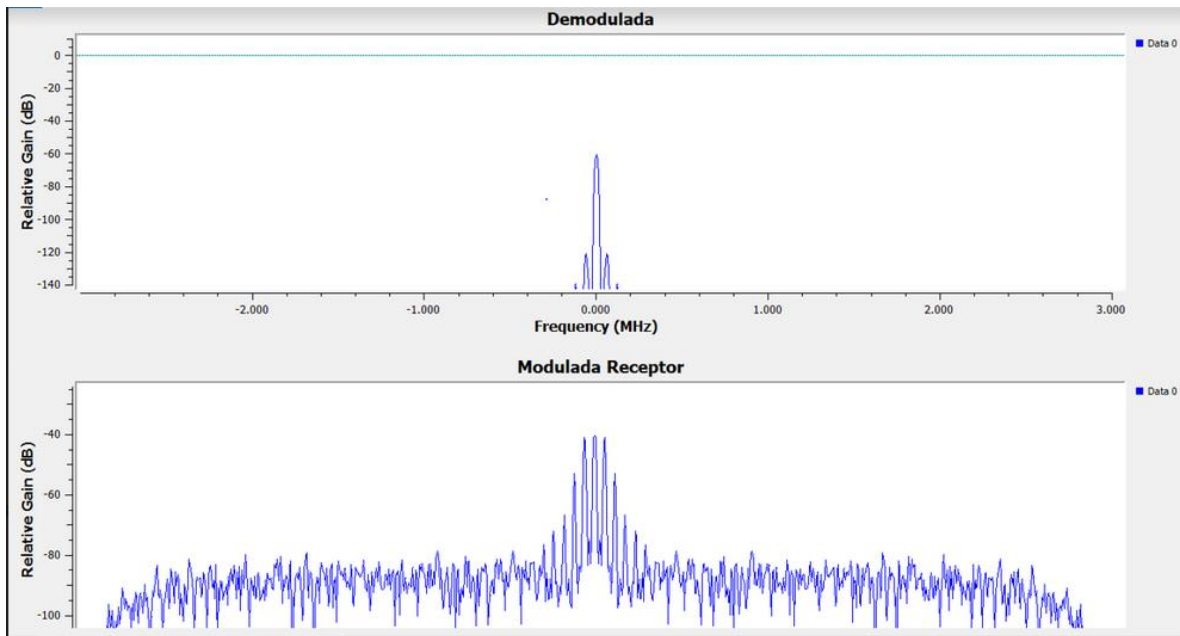


Ilustración 99 DOMINIO DE LA FRECUENCIA

Modulación FSK.

Es una técnica de modulación para la transmisión digital de información utilizando dos o más frecuencias diferentes para cada símbolo.¹ La señal moduladora solo varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos donde uno representa un "1" o "marca" y el otro representa el "0" o "espacio".

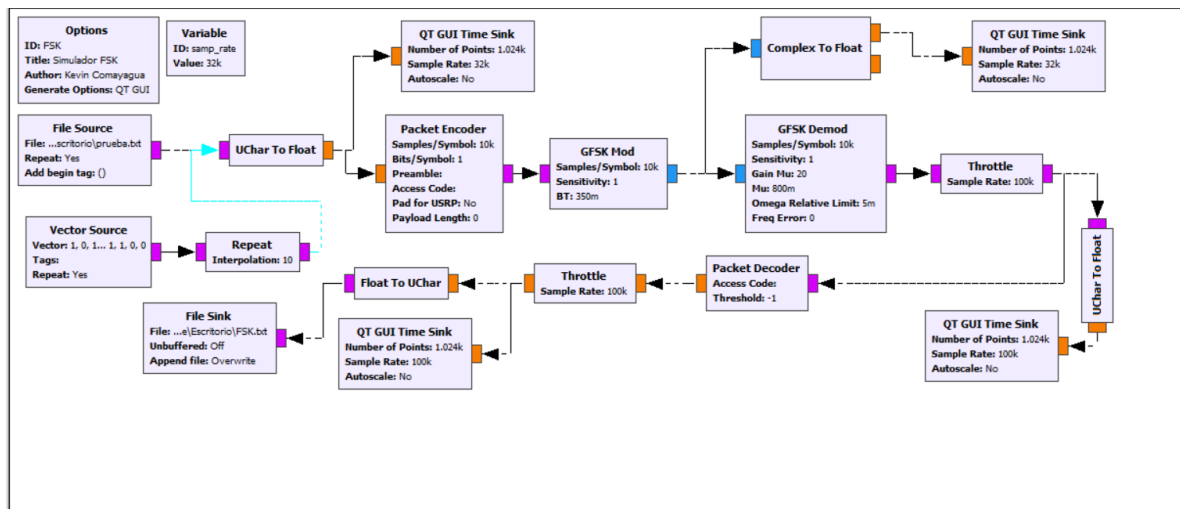


Ilustración 100 Diagrama modulador demodulador

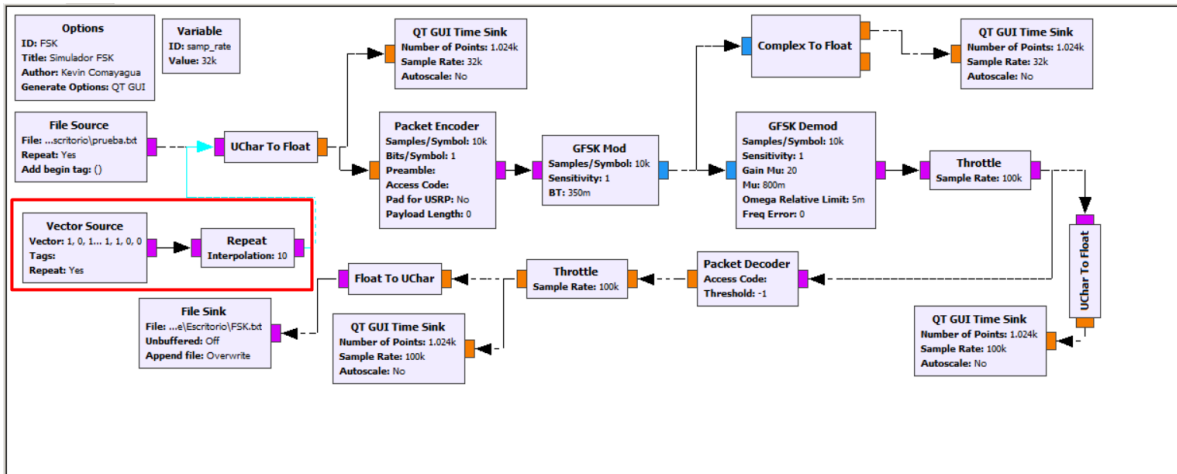


Ilustración 101 DEFINICION DE LA FUENTE VECTORIAL

En esta sección se utiliza una fuente vectorial, esta fuente permite que los datos puedan repetirse infinitamente hasta que el diagrama de flujo termine por cualquier otro evento o de forma predeterminada.

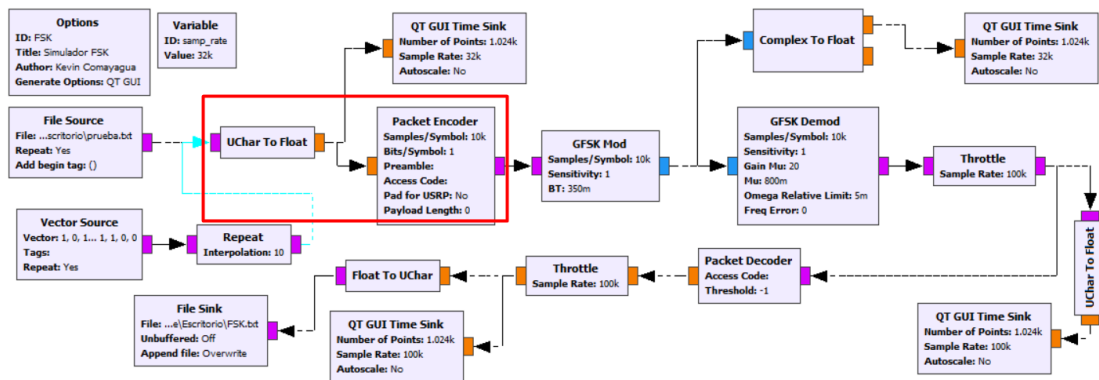


Ilustración 102 EMPAQUETADO DE DATOS EN FORMATO FLOAT

Se hace la conversión de tipo de dato de Bite a flotante para poder realizar un empaquetado a los datos generados por la fuente.

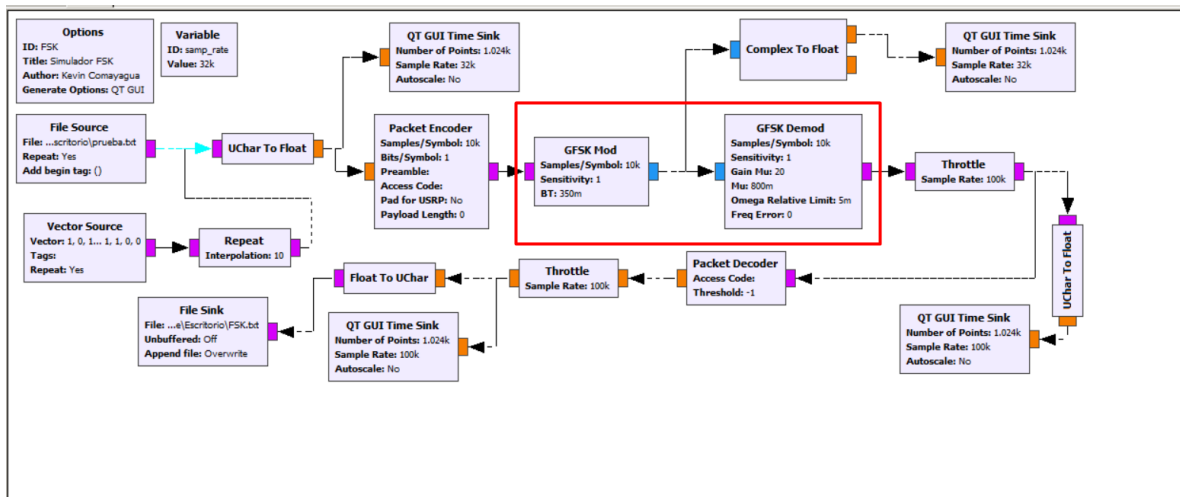


Ilustración 103 BLOQUES DE MODULACION Y DEMODULACION

En este caso el bloque Mod GAFS es el que se encarga de la modulación GFSK, es decir que en la entrada hay un flujo de bytes y la salida es una señal modulada en banda base, así como el bloque demod GFSK es un bloque demodulador que permite desempaquetar bits en un flujo de datos.

DEMOSTRACION DE RESULTADOS.

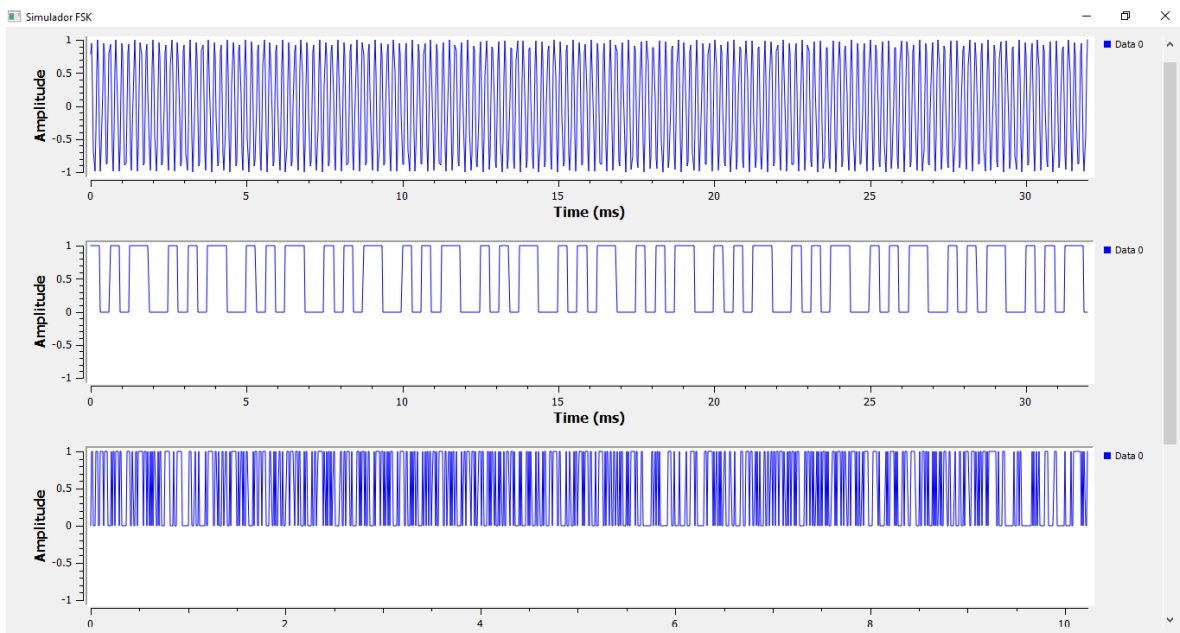


Ilustración 104 Dominio del tiempo

Modulación QPSK.

La **modulación por desplazamiento de fase** o **PSK** (Phase Shift Keying) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número determinado de valores discretos. La diferencia con la modulación de fase convencional (PM) es que mientras en esta la variación de fase es continua, en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una señal digital y, por tanto, con un número de estados limitado.

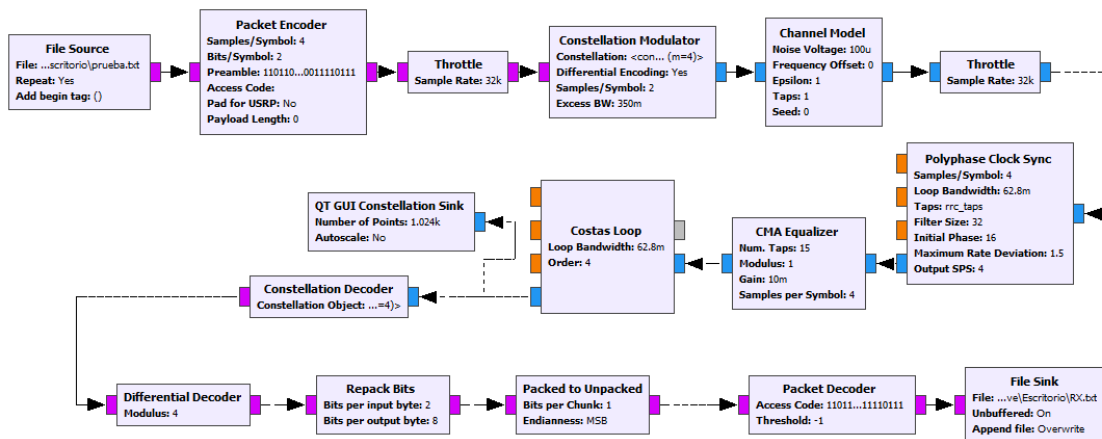


Ilustración 105 Diagrama demodulador

Properties: Packet Encoder

General | Advanced | Documentation

ID	blks2_packet_encoder_0
Input Type	Byte
Samples/Symbol	sps
Bits/Symbol	bps
Preamble	
Access Code	
Pad for USRP	No
Payload Length	0

OK Cancel Apply

Ilustración 106 Empaquetador de datos

Properties: Constellation Modulator

General | Advanced | Documentation

ID	digital_constellation_modulator_0
Constellation	qpsk
Differential Encoding	Yes
Samples/Symbol	bps
Excess BW	0.35
Verbose	Off
Log	Off

OK Cancel Apply

Ilustración 107 Modulador de constelaciones

Properties: Channel Model

General | Advanced | Documentation

ID	channels_channel_model_0
Noise Voltage	0.0001
Frequency Offset	0.0
Epsilon	1.0
Taps	1
Seed	0
Block Tag Propagation	No

OK Cancel Apply

Ilustración 108 DEFINICION DE BLOQUE CHANNEL MODE

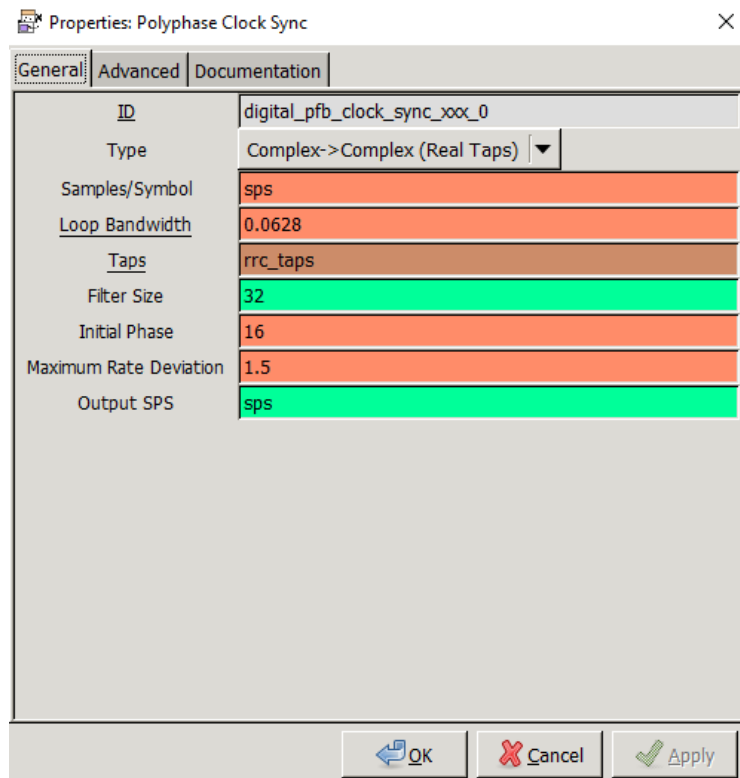


Ilustración 109 DEFINICION DE POLYPHASE CLOCK SYNC

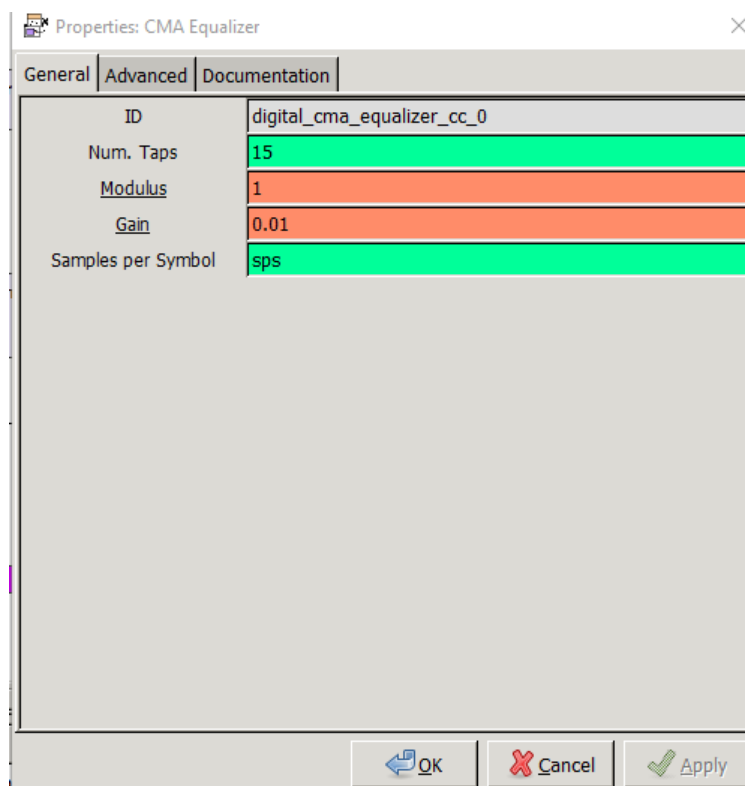


Ilustración 110 DEFINICION DE CMA EQUALIZER

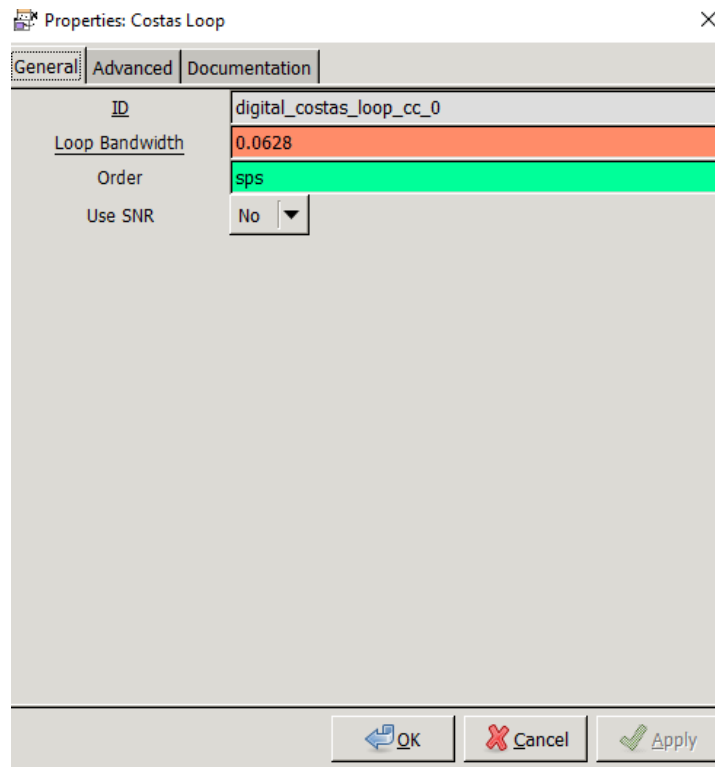


Ilustración 111 DEFINICION DE COSTAS LOOP

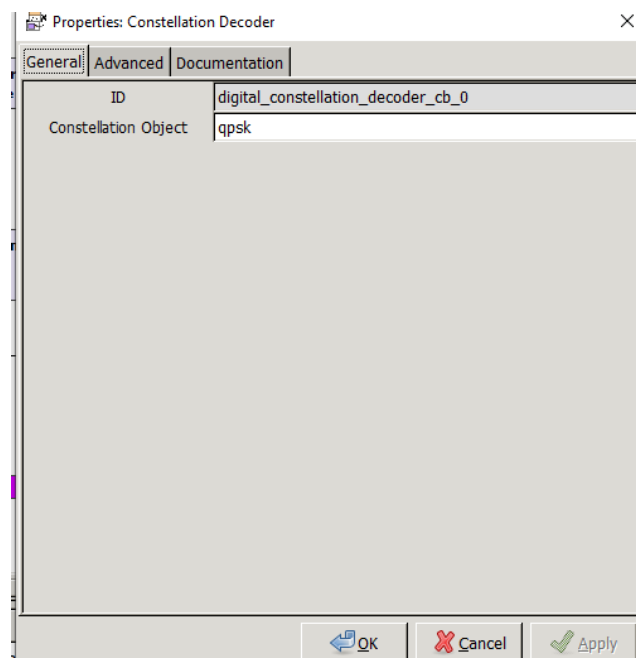


Ilustración 112 DEFINICION DE CONSTELATION DECODER

DEMOSTRACION DE RESULTADOS.

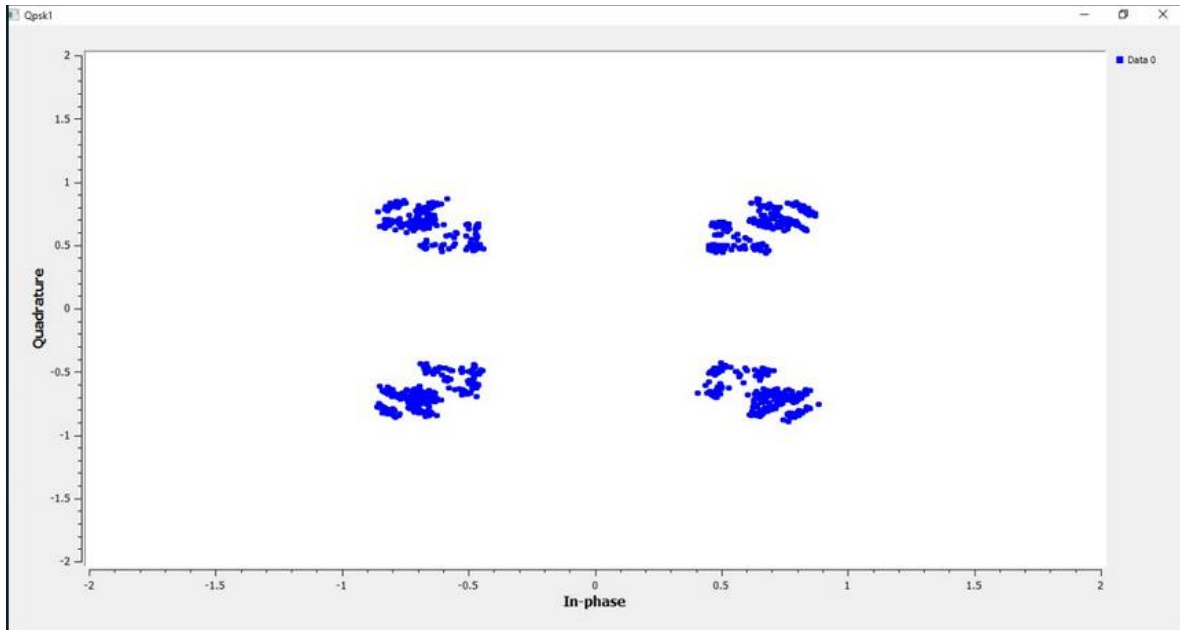


Ilustración 113 Transmision QPSK

Definicion de variables:

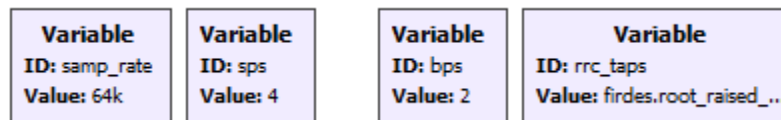


Ilustración 114 DEFINICION DE VARIABLES

Definicion de rangos de interfaz de usuario:

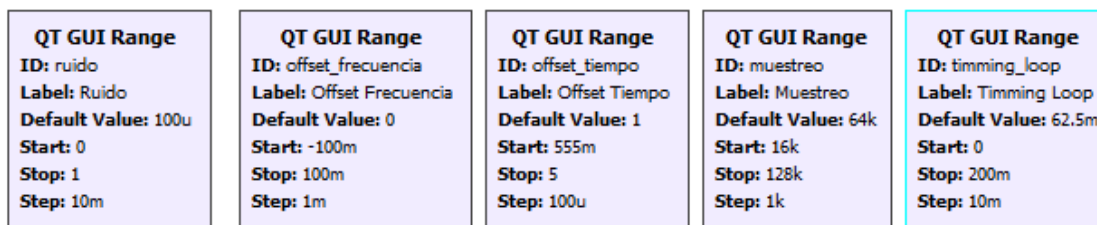


Ilustración 115 DEFINICION DE RANGOS DE INTERFAZ DE USUARIO

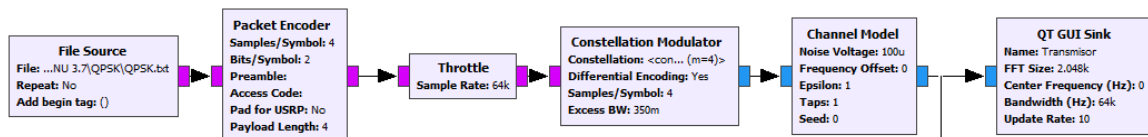


Ilustración 116 PROCESIO DE EMPAQUETADO

En primera instancia vemos una fuente de archivo la cual nos generara muchos archivos en formato byte pero la ventaja de GNU RADIO es que nos permite trabajar con todos los formatos de archivos que se generen, luego de ser empaquetados se les coloca el controlador de muestreo para mantener la tasa de muestreo. Luego que pasa por el constellation modulador nos genera a la salida una señal en banda base compleja ya que esa es la función del bloqyue constellation modulator, que en la entrada lleguen un flujo de bytes y a la salida una señal compleja modulada.

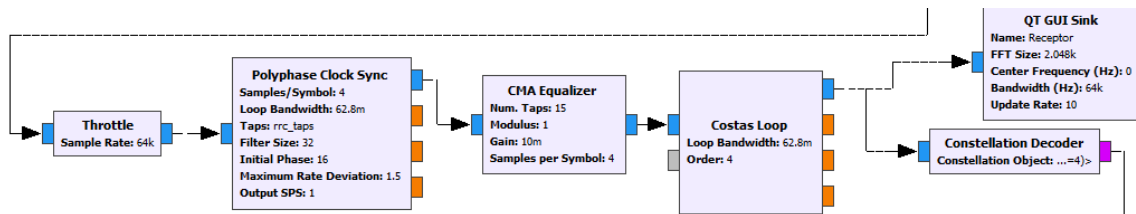


Ilustración 117 DEFINICION DE PARAMETROS

Luego de llegar al Polyphase Clock Sync hace una sincronización de tiempo de las señales que a su vez maximiza las SNR y minimiza la ISI. Luego el CMA Equalizer implementa un filtro adaptativo de módulo constante en un flujo complejo. Luego en el Costas Loop excelente para sincronizar con BPSK, QPSK y 8PSK. El bucle de Costas se bloquea en la frecuencia central de una señal y la convierte a banda base. Luego el Constellation Decoder descodifica los puntos de una constelación de un espacio complejo a bits.

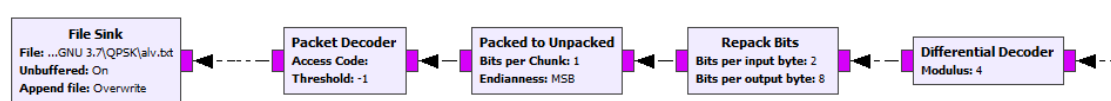


Ilustración 118 PROCESO DE DESEMPAQUETADO

Luego se vuelve a empaquetar los bits luego el bloque 'packed to unpacked' no importa que tipo de bits le entre en puede desarrollar el empaquetado de datos. Por último el packet decoder y luego se vuelve a empaquetar en formato de bytes para poder hacer el reenvío de hacia la fuente destino.

CONCLUSIONES.

- Como se ha visto a lo largo del presente documento, la tecnología SDR nos permite emular el funcionamiento de diferentes tecnologías de radio con lo cual se facilita la enseñanza de estos conceptos, especialmente cuando no se tienen los recursos necesarios como para utilizar dispositivos reales
- Las tecnologías SDR ofrecen diferentes alternativas de hardware y software, cuyo costo puede variar en un rango muy amplio y algunos de ellos no son viables para instituciones con pocos recursos; sin embargo las opciones de bajo costo permiten emular la mayoría de sistemas básicos aunque no con el cien por ciento de sus características, a pesar de las diferentes configuraciones que se implementaron.
- Como alternativa para su uso en practicas de laboratorio, los resultados obtenidos en el presente trabajo, en especial aquellos derivados del uso de GNU Radio, constituyen una herramienta valiosa para la enseñanza de este tipo de conceptos ya que permiten interactuar con las diferentes etapas que tienen que ver con el procesamiento de la señal en banda base asi como su adecuación para su acople a canales de radio (Frecuencias reales de funcionamiento).
- Es oportuno mencionar que las opciones de mayor costo permiten la implementación de sistemas de radio mas complejos, por ejemplo redes LTE o incluso 5G por lo cual se recomienda su uso a futuro.

BIBLIOGRAFIA.

1. Amplitude modulation. (2017, November 05). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation
2. ANT500. (n.d.) Retrieved from <https://greatscottgadgets.com/ant500/>
3. Christensson, P. (2015, August 22). Sample Rate. Retrieved from https://techterms.com/definition/sample_rate
4. FAQ. (n.d.) Retrieved from the HackRF Wiki: <https://github.com/mossmann/hackrf/wiki/FAQ>
5. GNU Radio Companion. (n.d.). Retrieved from the GNU Radio Wiki: <https://wiki.gnuradio.org/index.php/GNURadioCompanion>
6. Georgia State University. (n.d.). [AM/FM Radio Waves Visual]. Retrieved from <http://springfield.gsu.edu/omeka/files/fullsize/6f4be87348f12211687c2529d8be5387.jpg>
7. Getting Started with the HackRF and GNU Radio. (n.d.). Retrieved from the HackRF Wiki: <https://github.com/mossmann/hackrf/wiki/Getting-Started-with-HackRF-and-GNU-Radio>
8. Guided Tutorial GRC. (n.d.). Retrieved from the GNU Radio Wiki: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Guided_Tutorial_GRC
9. Guided Tutorial Introduction. (n.d.). Retrieved from the GNU Radio Wiki: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Guided_Tutorial_Introduction
10. HackRF One. (n.d.). Retrieved from the HackRF Wiki: <https://github.com/mossmann/hackrf/wiki/HackRF-One>
11. Low-pass filter. (2017, November 07). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Low-pass_filter
12. Northwestern University. (n.d.). How is data put on radio waves? Retrieved from <http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/communications/1-how-is-data-put-on-radio-waves.html>
13. Northwestern University. (n.d.). What are radio waves? Retrieved from <http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/communications/1-what-are-radio-waves.html>
14. Ossmann, M. (2014). *Software Defined Radio with HackRF* Lessons 1-11 [Videos]. Retrieved from <https://greatscottgadgets.com/sdr/>
15. HackRF One Page 33 of 34

- Ossmann, M. (n.d.). *HackRF One* . Retrieved from <https://greatscottgadgets.com/hackrf/>
16. Radio frequency. (n.d.). In *Merriam-Webster* . Retrieved from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/radio%20frequency>
17. Radio receiver. (2017, November 09). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_receiver
18. Rouse, M. (n.d.). What is digital signal processing (DSP)? - Definition from WhatIs.com. Retrieved from <http://whatIs.techtarget.com/definition/digital-signal-processing-DSP>
19. Rouse, M. (n.d.). What is software-defined radio (SDR)? - Definition from WhatIs.com. Retrieved from <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/software-defined-radio>
20. Transmit. (2014). In *Collins English Dictionary – Complete and Unabridged, 12th Edition 2014* . Retrieved from <https://www.thefreedictionary.com/transmit>

ANEXOS

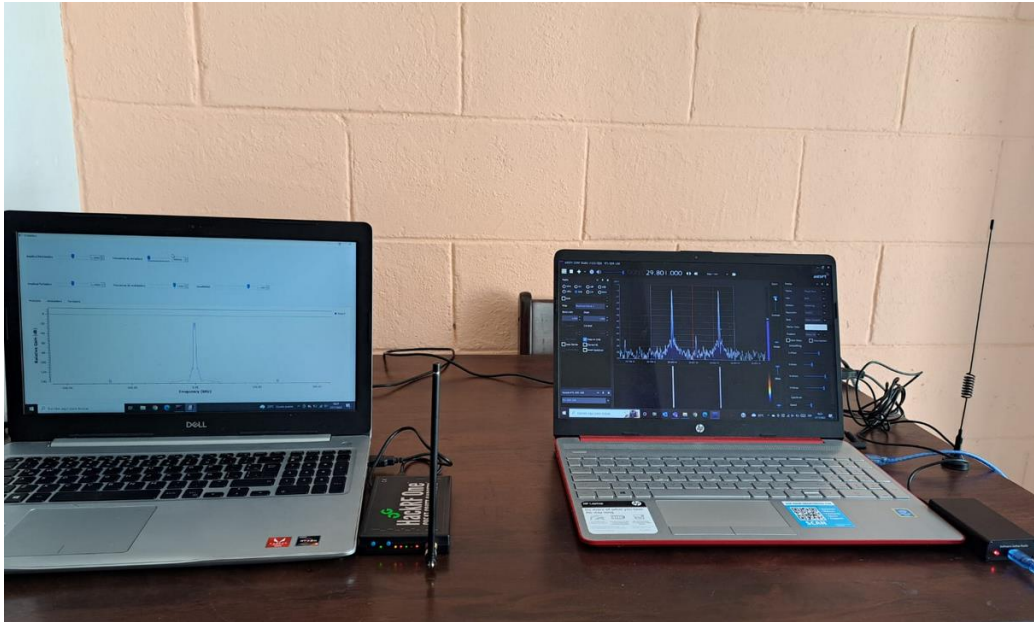


Ilustración 119 Equipo transmisor y receptor

Este equipo fue el utilizado para la elaboración de la implementación de las modulaciones realizadas. Como se puede observar al lado izquierdo está un ordenador conectado directamente al dispositivo HackRF, con el que se realizaban las tareas de transmisión a la hora de hacer las pruebas.

Al lado izquierdo están lo que es un ordenador conectado a la Dongle-RTL el cual fue el equipo utilizado para la recepción, debido a que este dispositivo no es un transceptor como el HackRF, es decir solo cumple con labores de recepción ya que no está entre sus características el transmitir.

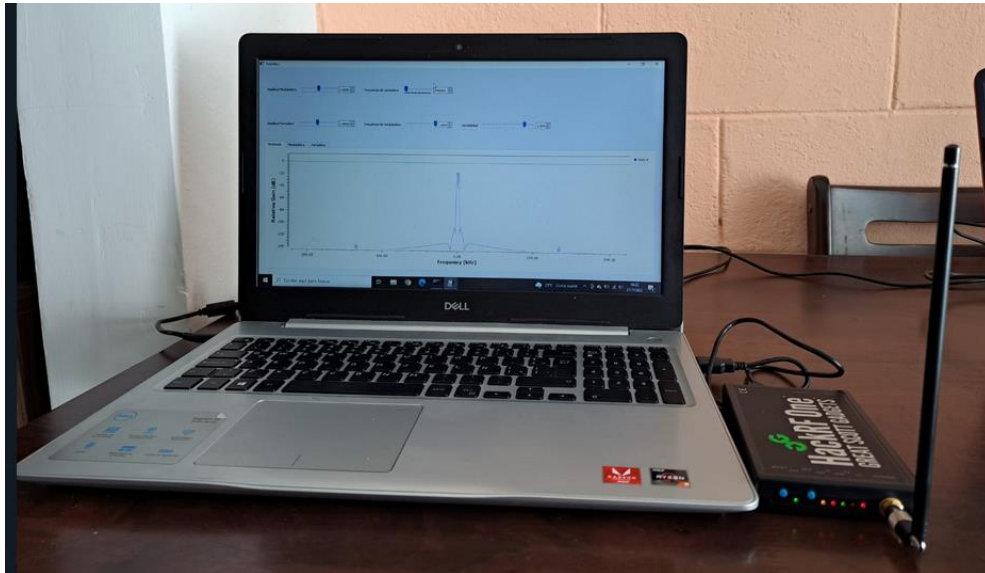


Ilustración 120 Equipo de transmisión.

Equipo de transmisión anteriormente mencionado ejecutando un flujograma de transmisión en el programa GNU Radio.



Ilustración 121 Equipo de recepción

Equipo de recepción ejecutando el programa SDR#, al ser la Dongle-RTL solo un dispositivo de recepción el programa fundamental en este caso el SDR# nos permitia ver lo que se procesaba desde el transmisor.

