



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN MANUAL PARA RADIOAFICIÓN EN GNU RADIO Y  
DECODIFICADOR DE IMAGEN SATELITAL**

**Eduardo Daniel Vásquez Castillo**

Asesorado por el Ing. Miguel Ventura Pérez

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN MANUAL PARA RADIOAFICIÓN EN GNU RADIO Y  
DECODIFICADOR DE IMAGEN SATELITAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDUARDO DANIEL VÁSQUEZ CASTILLO**

ASESORADO POR EL ING. MIGUEL VENTURA PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Christian Antonio Orellana López
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Tiul Valenzuela
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE UN MANUAL PARA RADIOAFICIÓN EN GNU RADIO Y DECODIFICADOR DE IMAGEN SATELITAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 22 de marzo de 2021.



**Eduardo Daniel Vásquez Castillo**

Guatemala, 16 de noviembre de 2021

Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador de Área de Electrónica  
Escuela de Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Por este medio le informo que he concluido con el asesoramiento y revisión del trabajo de graduación con título: **“Diseño de un Manual para Radioafición en GNU Radio y Decodificador de Imagen Satelital”**, desarrollado por el estudiante Eduardo Daniel Vásquez Castillo con carné 201700452.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte a la Facultad de Ingeniería y habiendo cumplido con los objetivos del trabajo doy mi entera aprobación al mismo.

Atentamente,



MIGUEL VENTURA PÉREZ  
INGENIERO ELECTRÓNICO  
COLEGIADO 10524

Ing. Miguel Ventura Pérez

Colegiado No. 10524



Guatemala, 7 de febrero de 2022

**Señor director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC**

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN MANUAL PARA RADIOAFICIÓN EN GNU RADIO Y DECODIFICADOR DE IMAGEN SATELITAL**, desarrollado por el estudiante **Eduardo Daniel Vásquez Castillo**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julio César Solares Peñate'.

**Ing. Julio César Solares Peñate**  
**Coordinador de Electrónica**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 07. 2022.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **EDUARDO DANIEL VÁSQUEZ CASTILLO** titulado: **DISEÑO DE UN MANUAL PARA RADIOAFICIÓN EN GNU RADIO Y DECODIFICADOR DE IMAGEN SATELITAL**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 3 DE MARZO 2,022.

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.143.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN MANUAL PARA RADIOAFICIÓN EN GNU RADIO Y DECODIFICADOR DE IMAGEN SATELITAL**, presentado por: **Eduardo Daniel Vásquez Castillo**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova 

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida que tengo y abrirme las puertas a lo largo de mi carrera.
- Mis padres** Alma Castillo y Juan Carlos Rosales, por su amor, apoyo y ánimos.
- Mi hermana** Ammy Vásquez, por su amabilidad para animarme en las buenas y en las malas.
- Mis amigos** Por los ánimos y el apoyo tanto en días difíciles como en días alegres al igual que las experiencias vividas en la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por hacer posible mis estudios universitarios en esta carrera.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionarme las herramientas y conocimientos necesarios para ser un profesional.
<b>Familia Navajas Marín</b>	Por su apoyo y amabilidad a lo largo de mi carrera.
<b>Mis auxiliares</b>	Por el conocimiento, paciencia y apoyo compartido al momento de enseñar.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Miguel Ventura Pérez, por todo su apoyo y amistad en la realización de este trabajo de graduación.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES .....	1
1.1. Señales .....	1
1.1.1. Parámetros de una señal .....	2
1.1.2. Clasificación de las señales .....	2
1.1.3. Análisis de señales .....	4
1.1.3.1. Muestreo de señales .....	6
1.2. Filtros.....	7
1.2.1. Clasificación según frecuencias permitidas.....	8
1.2.2. Clasificación componentes utilizados.....	10
1.2.3. Filtros digitales.....	12
1.3. Modulación y demodulación .....	15
1.3.1. Modulación analógica .....	16
1.3.1.1. Modulación de amplitud .....	16
1.3.1.2. Modulación angular .....	19
1.3.2. Modulación digital .....	21
1.4. Antenas .....	28
1.4.1. Parámetros de una antena.....	30

1.4.2.	Clasificación de antenas .....	30
1.4.2.1.	Clasificación según directividad .....	31
1.4.2.2.	Clasificación según geometría .....	31
1.4.2.3.	Clasificación según su comportamiento .....	36
1.4.3.	Diagrama de radiación .....	37
2.	RADIOAFICIÓN Y RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE .....	39
2.1.	Historia .....	39
2.1.1.	Origen .....	39
2.1.2.	Era espacial .....	40
2.1.3.	Actualidad .....	40
2.1.4.	Radioafición en Guatemala .....	41
2.2.	Receptores SDR .....	42
2.3.	Programas SDR .....	44
2.4.	Aplicaciones específicas con receptores SDR .....	47
3.	GNU RADIO .....	51
3.1.	Clasificación de bloques .....	51
3.2.	Receptor de FM .....	57
3.3.	Analizador de espectro .....	62
3.4.	Transmisor y receptor FSK .....	64
3.5.	Modulación QPSK, ruido y corrección .....	70
3.6.	Bloques de terceros y receptor de ISDB-t .....	78
4.	DECODIFICADOR DE SEÑALES SATELITALES .....	83
4.1.	Satélites artificiales .....	83
4.1.1.	Parámetros .....	84
4.2.	Gr-Satellites .....	84

4.2.1.	Historia.....	84
4.2.2.	Instalación, uso y bloques .....	85
4.3.	Decodificador.....	87
4.3.1.	Localización de satélite .....	88
4.3.2.	Adquisición de datos .....	90
4.3.3.	Diagrama de bloques .....	93
CONCLUSIONES .....		101
RECOMENDACIONES.....		103
BIBLIOGRAFÍA.....		105



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Señal analógica.....	3
2.	Señal digital .....	4
3.	Representación de señal en el dominio del tiempo .....	5
4.	Representación de señal en el dominio de la frecuencia.....	6
5.	Señal original y señal muestreada .....	7
6.	Respuesta en frecuencia de filtro pasa bajos .....	8
7.	Respuesta en frecuencia filtro pasa altos .....	9
8.	Respuesta en frecuencia filtro pasa banda.....	10
9.	Filtro pasivo pasa bajos.....	11
10.	Filtro activo pasa bajos.....	11
11.	Esquema de filtro digital .....	12
12.	Representación matemática de un filtro digital .....	13
13.	Estructura filtro IIR .....	14
14.	Estructura filtro FIR .....	15
15.	Modulación AM DSB .....	17
16.	Modulación AM DSB SC .....	18
17.	Modulación SSB.....	19
18.	Modulación FM.....	20
19.	Modulación PM .....	21
20.	Modulación ASK.....	22
21.	Modulación FSK.....	23
22.	Modulación BPSK .....	24

23.	Modulación QPSK .....	25
24.	Modulación M-ASK (M = 4).....	26
25.	Constelación de modulación QAM.....	27
26.	Espectro electromagnético .....	29
27.	Bandas de frecuencia en Guatemala .....	29
28.	Antena dipolo.....	32
29.	Antena monopolo.....	32
30.	Antenas de espira.....	33
31.	Antena de apertura (tipo bocina).....	34
32.	Antena reflectora .....	35
33.	Agrupación de dipolos .....	36
34.	Diagramas de radiación según directividad .....	38
35.	Partes de un diagrama de radiación de antena direccional.....	38
36.	Logo CRAG .....	42
37.	RTL2832U .....	43
38.	Airspy R2.....	43
39.	HackRF One.....	44
40.	GNU Radio .....	45
41.	Redhawk .....	46
42.	Matlab .....	47
43.	SDR# .....	48
44.	TVSharp .....	49
45.	IMSI-Catcher .....	50
46.	QT GUI Constellation Sink.....	52
47.	QT GUI Frequency Sink.....	53
48.	Operadores matemáticos.....	53
49.	Filtros en GNU Radio.....	54
50.	Operadores booleanos en GNU Radio .....	55
51.	Generadores de señal en GNU Radio .....	56



52.	RTL-SDR y bloqueador DC .....	57
53.	Bloqueador DC y QT GUI Sink.....	58
54.	Filtrado y conversión a audio.....	59
55.	Remuestreo con decimal y reproducción de sonido .....	60
56.	Diagrama de receptor FM .....	61
57.	Receptor FM .....	62
58.	Diagrama analizador de espectro.....	63
59.	Analizador de espectro.....	64
60.	Fuente digital, remuestreo y limitador.....	65
61.	Modulación y envío FSK.....	66
62.	Demoduladores FSK.....	67
63.	Desempaquetado y remuestreo FSK .....	68
64.	Diagrama transmisor y receptor FSK .....	69
65.	Transmisión y recepción de señal FSK .....	69
66.	Modulación QPSK.....	71
67.	Parámetros constante Constellation Rect. Object .....	72
68.	Simulación de ruido.....	73
69.	Corrección de ruido.....	74
70.	Valor de rrc_taps.....	75
71.	Parámetros Polyphase Clock Sync .....	76
72.	Diagrama de modulación QPSK y corrección de ruido .....	77
73.	Señal QPSK con ruido y sin ruido .....	78
74.	Diagrama receptor ISDB-t.....	80
75.	Señal 64QM del segmento central ISDB-t.....	81
76.	Instalación Gr-Sattelites .....	85
77.	Gr-Sattelites en la línea de comandos de Linux .....	86
78.	Decodificación de datos del satélite AAUSAT-4 .....	87
79.	Partes del formato TLE .....	88
80.	Órbita del satélite QUETZAL-1 al momento de captura.....	89

81.	Antena V invertida .....	91
82.	Comando para comprobar datos .....	92
83.	Recepción en Gqrx y verificación.....	93
84.	Entrada y decodificación de datos .....	94
85.	Elección de salida.....	94
86.	Decodificador de imagen satelital .....	95
87.	Imagen decodificada.....	96
88.	Parámetros del satélite Quetzal-1 .....	97
89.	Decodificación de datos satélite Quetzal-1 .....	98
90.	Decodificación Quetzal-1 .....	99
91.	Mensaje de Quetzal-1.....	99

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>dB</b>	Decibel
<b>/</b>	División
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>Hz</b>	Heartz
<b>=</b>	Igualdad
<b>KHz</b>	Kilohertz
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>mts</b>	Metros
<b>sps</b>	Muestras por segundo.
<b>s</b>	Segundos
<b>V</b>	Voltaje



## GLOSARIO

<b>Bit</b>	Unidad mínima de información que puede tener solo dos valores (cero o uno).
<b><i>Open source</i></b>	Programa de computación cuya licencia permite que cualquier usuario modifique, utilice y distribuya el programa libremente.
<b>Orbita</b>	Curva que describe a un objeto alrededor de otro en el espacio.
<b>Python</b>	Lenguaje de programación de propósito múltiple.
<b>SDR</b>	<i>Software-defined radio.</i>
<b>Ubuntu</b>	Sistema operativo <i>open source</i> basado en Linux.
<b>USB</b>	Bus serial universal.
<b>YAML</b>	Formato de serialización de datos.



## RESUMEN

El siguiente trabajo se enfoca en la radioafición explorando las herramientas y conocimientos necesarios para trabajar en este campo ya sea para realizar recepción o transmisión de datos simples al igual que recepción de datos complejos que se encuentran al realizar recepción satelital, ambos sin necesidad de utilizar equipo de alto costo, los conocimientos adquiridos son puestos a prueba al realizar la decodificación de datos recibidos por medio de una satélite en órbita.

Las comunicaciones satelitales permiten enviar mensajes hacia cualquier parte del mundo en donde exista una señal clara, los satélites de recepción libre en conjunto a herramientas de uso libre permiten que una persona interesada en telecomunicaciones pueda iniciar recibir información y observar cómo se pueden decodificar datos con diversos tipos de codificación.

El primer capítulo se enfoca en desarrollar una síntesis breve de los conocimientos necesarios para empezar a trabajar en este campo a fondo.

El capítulo dos introduce la historia de la radioafición al igual que mostrar lo fácil y económico que es empezar a realizar recepción y transmisión por medio de SDR.

El capítulo tres introduce el programa de GNU Radio iniciado por cómo se realiza un programa hasta llegar a ejemplos más complejos.

El capítulo cuatro introduce los elementos necesarios para realizar la decodificación de una imagen satelital.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar un estudio analítico del programa GNU radio, como una herramienta de apoyo a la comunidad estudiantil, con el fin de promover el estudio de la radioafición.

## Específicos

1. Introducir los conceptos de señales electromagnéticas al igual que sus parámetros.
2. Diseñar una guía básica para el uso de GNU Radio junto a receptores SDR.
3. Realizar un diagrama de bloques para el programa GNU-Radio en conjunto a Gr-Sattelites para la decodificación de una señal satelital.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad aprender sobre las telecomunicaciones de una forma práctica consiste en conseguir materiales necesarios para crear filtros, moduladores y demoduladores, los cuales no tienen mucha flexibilidad en cuando se refiere a modos de operación y son costosos, para realizar algún tipo de modulación como QPSK.

GNU radio elimina la necesidad de materiales físicos junto a sus limitaciones, para trabajar con modulaciones, receptores y transmisores necesitando solo software para poder cambiar parámetros y visualizar cambios en alguna señal de salida o entrada, esto reduce costo, tiempo y facilita el aprendizaje para el estudiante.

En esta investigación se brindarán conocimientos de radiofrecuencia y se realizará una vista en general de GNU radio, con un énfasis en problemas encontrados en el área de telecomunicaciones, para crear una base sólida que permitirá al estudiante utilizar este programa para desempeñar prototipos de telecomunicaciones de una manera más eficaz y económica.

Se pondrán a prueba estos conocimientos al decodificar una imagen satelital, se obtendrán los datos por medio de una antena dipolo considerando la trayectoria del satélite junto con su frecuencia y se procederá a decodificarlos para la obtención de la imagen final.



# 1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Cuando se estudia un campo tan extenso de ingeniería como lo son las telecomunicaciones se debe tomar en consideración conocimientos previos que son necesarios para facilitar el aprendizaje de dichos temas, esto con el objetivo de facilitar la adquisición de conocimientos más complejos en el camino.

Por dicha razón se comenzará definiendo elementos sustanciales de las telecomunicaciones para reforzar su significado y evitar ambigüedades.

## 1.1. Señales

Una señal es una función de una variable en el tiempo que conduce información, para cada instante de tiempo existe un valor único de la función, en el campo de las telecomunicaciones una señal se compone de ondas electromagnéticas propagadas a través de un medio de transmisión.

Ejemplos de una señal incluyen los cambios de resistencia provocados por la temperatura en un termistor o los datos almacenados en la memoria de una computadora.

Al trabajar con señales electromagnéticas existen características importantes que se deben en tomar en consideración para el procesamiento de estas.

### **1.1.1. Parámetros de una señal**

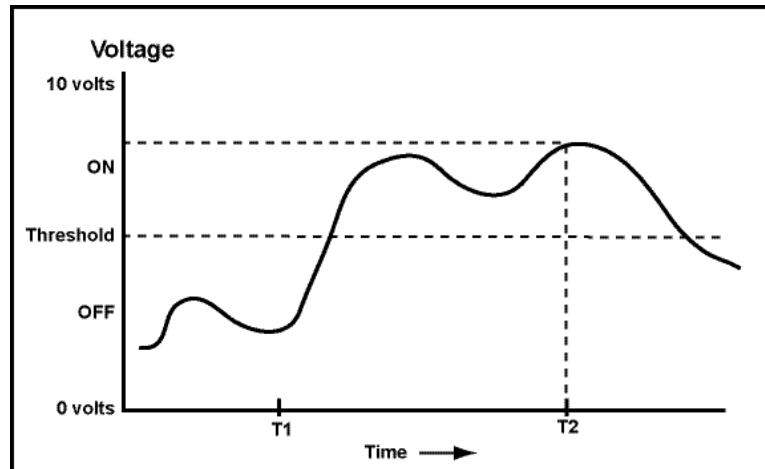
- Periodo: Es el tiempo en el que se repite la forma de onda a partir de un punto de referencia de la señal, su unidad de medida es en segundos.
- Frecuencia: Es el inverso del periodo e indica la rapidez con que la señal se repite, su unidad de medida son los Hertz (Hz).
- Amplitud: Indica los valores máximos y mínimos que la señal puede tomar.
- Fase: Es un valor que representa un ángulo inicial que la señal puede tomar, este se mide en radianes o grados.

### **1.1.2. Clasificación de las señales**

Existen diversos tipos de señales, se mencionará solo los tipos relevantes a esta investigación.

- Continua en el tiempo: Cualquier señal que está definida para todo tiempo.
- Discreta en el tiempo: señal que solo está definida en un rango de tiempo discreto.
- Análoga: señal cuya amplitud puede tomar todos los valores dentro de su intervalo definido. Considerar, por ejemplo, la figura mostrada a continuación:

Figura 1. **Señal analógica**



Fuente: Programmedlessons. *Assembly tutorial*.

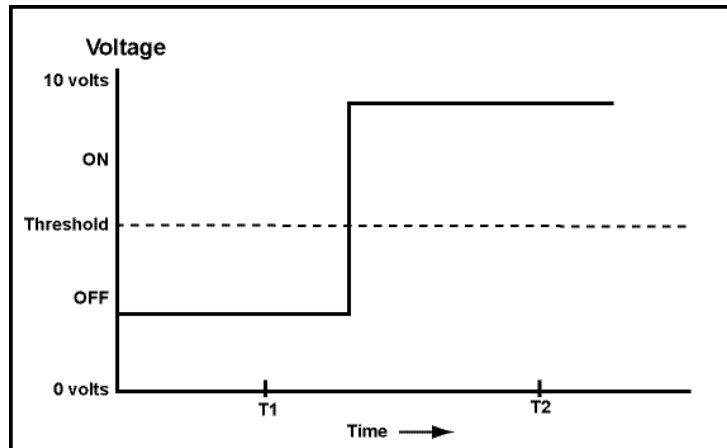
[http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02\\_07.html](http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02_07.html). Consulta: 2 de abril de 2021.

Es importante observar los valores que toma la onda en cada instante y no su forma en sí. Al trazar una línea perpendicular al eje vertical en un punto aleatorio de la señal se encuentran puntos donde la señal también está definida y esto se repite si se trazara una infinita cantidad de líneas.

Las señales analógicas son llamadas también naturales, porque pueden ser encontradas en el ambiente fácilmente.

- Digital: señal cuya amplitud solo puede tomar una cantidad finita de valores en su rango. Se muestra un ejemplo en la figura siguiente:

Figura 2. **Señal digital**



Fuente: Programmedlessons. *Assembly tutorial*.

[http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02\\_08.html](http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02_08.html). Consulta: 2 de abril de 2021.

Se consideran nuevamente los valores que la amplitud de la onda toma, en este caso la amplitud toma solamente dos valores y se le conocerá como señal binaria, existen señales digitales con valores de amplitud mayor, pero estos nunca alcanzan el infinito, no son definidas continuamente en el eje vertical. Las señales digitales también se pueden representar como vectores de una sola fila con  $n$  columnas, todos los valores dentro de este vector deben ser del mismo tipo pudiendo ser números enteros (*Int*), números con decimales (*float*), números complejos (*complex*), o números de pequeño tamaño en memoria (*short*).

### 1.1.3. Análisis de señales

Cuando se trabaja con señales se debe analizar el comportamiento y funcionamiento del equipo receptor y transmisor con base en la distribución de potencia y la composición de frecuencias de la señal de información. Aunque

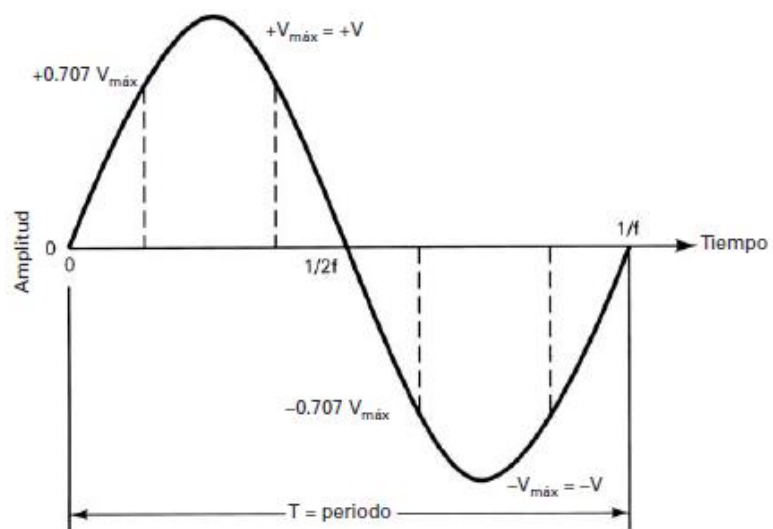


todas las señales en las comunicaciones electrónicas no son ondas senoidales o cosenoidales de una sola frecuencia, muchas de este sí lo son, y las que no lo son pueden ser representadas con una combinación de senos y cosenos por medio de la serie de Fourier, no se entrara en detalle al procedimiento matemático de este proceso.

Las señales pueden ser visualizadas de dos maneras:

- Dominio en el tiempo: es una representación de la amplitud de la señal de entrada en función del tiempo, se le suele llamar forma de onda de la señal porque muestra la forma y la magnitud instantánea de la señal en el tiempo, pero no necesariamente indica el valor de la frecuencia. Un osciloscopio muestra señales de esta manera.

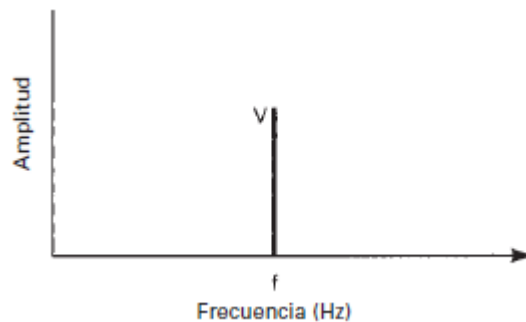
Figura 3. **Representación de señal en el dominio del tiempo**



Fuente: TOMANSI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. p. 15.

- Dominio de la frecuencia: aquí se muestra una gráfica de amplitud contra frecuencia (esto se conoce como espectro de frecuencia), un analizador de espectro es un instrumento de dominio de frecuencia porque representa a la señal de esta manera, para obtener matemáticamente la representación de una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia se deberá realizar aplicar la transformada de Fourier, no se entrará en detalle a este proceso.

Figura 4. **Representación de señal en el dominio de la frecuencia**

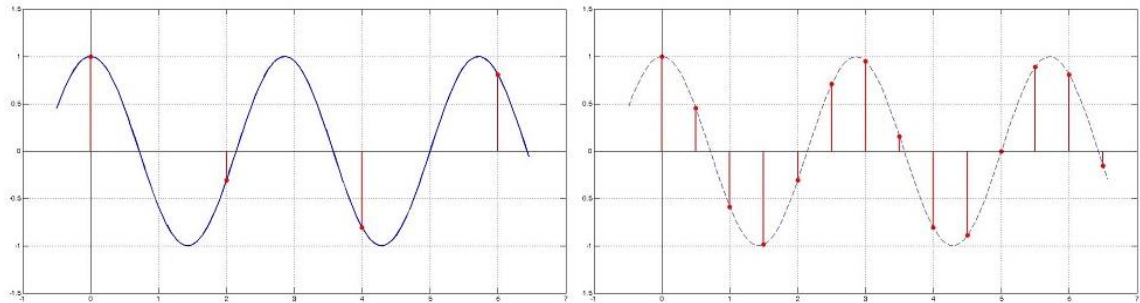


Fuente: TOMANSI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. p. 15.

### 1.1.3.1. Muestreo de señales

Una señal analógica no puede ser almacenada por si sola en un vector porque tiene infinitos valores en un intervalo de tiempo y esto causaría tener un vector de gran tamaño que complicaría el procesamiento de señales, el muestreo de una señal consiste en la selección de ciertos valores de una señal analógica continua para obtener una señal discreta. La frecuencia con la que se tomaran valores de la señal original se le conoce como frecuencia de muestreo. Para que una señal pueda ser recreada con alta fidelidad la frecuencia de muestreo deberá ser por lo menos dos veces mayor que la frecuencia de la señal a muestrear.

Figura 5. Señal original y señal muestreada



Fuente: Investigación y Ciencia. *Muestreando señales.*

[https://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/20/posts/muestreando-seales-primera-parte-](https://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/20/posts/muestreando-seales-primera-parte-10461#:~:text=El%20muestreo%20consiste%20en%20tomar,un%20conjunto%20finito%20de%20valores.)

10461#:~:text=El%20muestreo%20consiste%20en%20tomar,un%20conjunto%20finito%20de%20valores. Consulta: 18 de abril de 2021.

## 1.2. Filtros

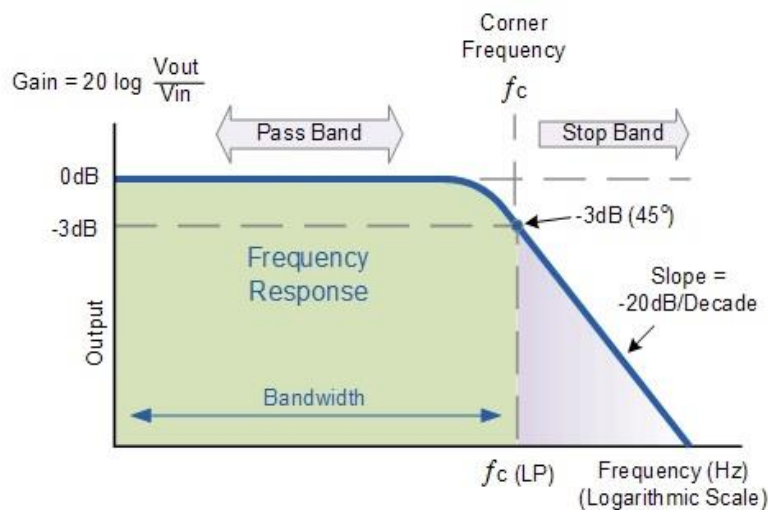
Una señal puede considerarse como la suma de otras señales con diferentes frecuencias, existen casos en los que solo se necesita una señal que contenga una o ciertas determinadas frecuencias, las frecuencias determinadas se les conoce como ancho de banda de la señal, un filtro es un elemento que discrimina una o varias frecuencias de una señal eléctrica que pasa por él, pudiendo modificar la amplitud o fase de la señal.

### 1.2.1. Clasificación según frecuencias permitidas

Los filtros pueden ser clasificados según la frecuencia no atenúen, entre estas clasificaciones se encuentran:

- Filtro pasa bajos: este filtro permite que las señales por debajo de su frecuencia de corte pasen sin ser atenuadas.

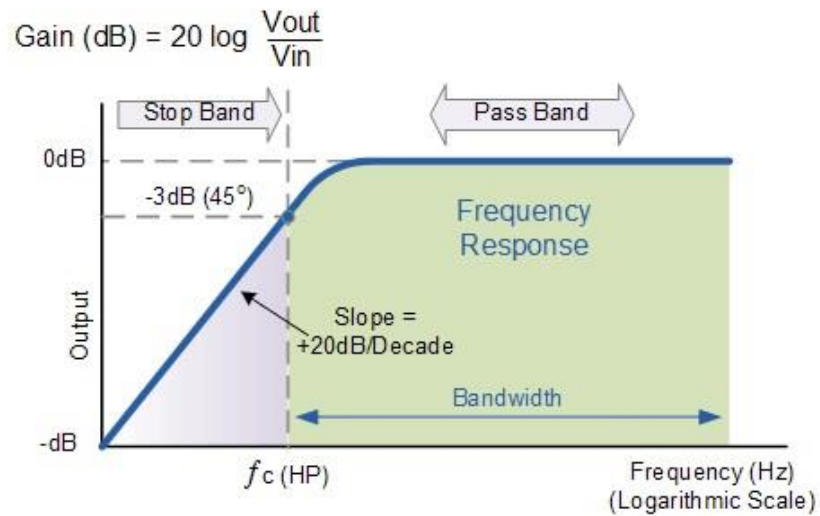
Figura 6. Respuesta en frecuencia de filtro pasa bajos



Fuente: Electronics-tutorials. *Passive low pass filter*. [https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter\\_2.html](https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter_2.html). Consulta: 18 de abril de 2021.

- Filtro pasa altos: este filtro permite que todas las frecuencias mayores a su frecuencia de corte pasen por el mismo sin ser atenuadas.

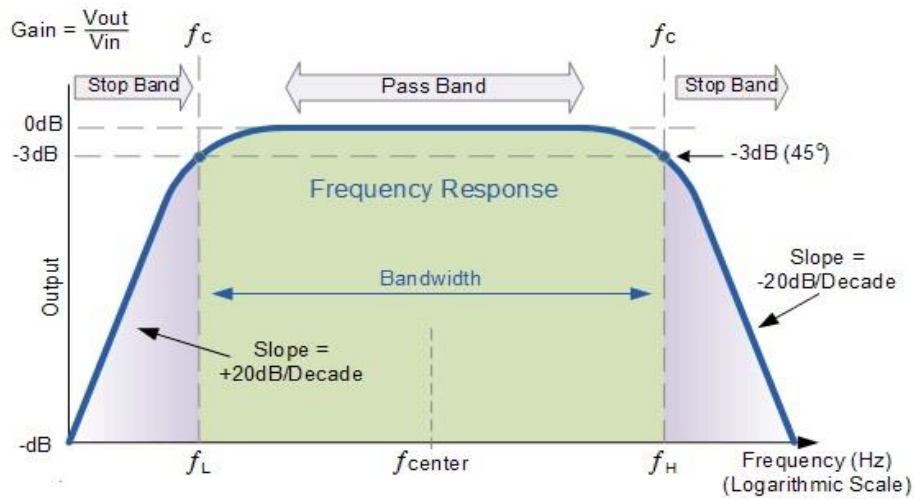
Figura 7. **Respuesta en frecuencia filtro pasa altos**



Fuente: Electronics-tutorials. *Passive high pass filter*. [https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter\\_3.html](https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter_3.html). Consulta: 18 de abril de 2021.

- Filtro pasa banda: cuenta con dos frecuencias de corte las cuales forman un ancho de banda que permite pasar un grupo limitado de frecuencias, es la unión de un pasa altos con un pasa bajos.

Figura 8. Respuesta en frecuencia filtro pasa banda



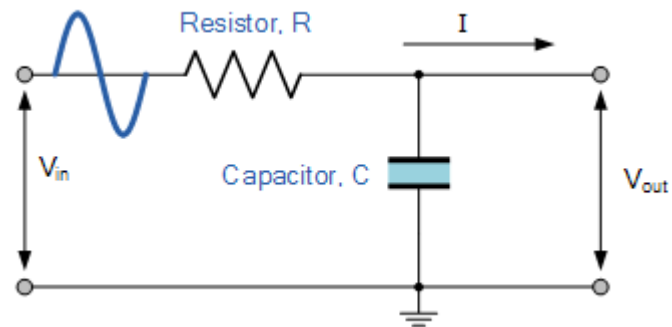
Fuente: Electronics-tutorials. *Passive band pass filter*. [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_4.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_4.html). Consulta: 18 de abril de 2021.

### 1.2.2. Clasificación componentes utilizados

Dependiendo de la amplitud de la salida y los componentes que utiliza un filtro podrá ser clasificado en diversas maneras:

- Pasivo: Un filtro pasivo estará conformado por componentes que no necesiten de alguna fuente de energía externa para funcionar, estos consumen potencia y no proveen alguna ganancia a la señal de salida.

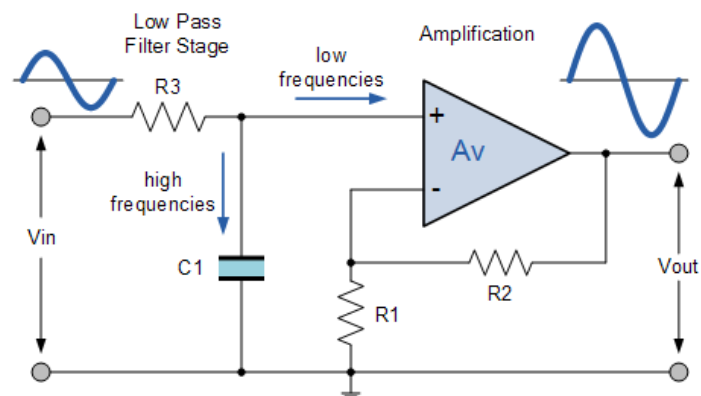
Figura 9. **Filtro pasivo pasa bajos**



Fuente: Electronics-tutorials. *Passive low pass filter*. [https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter\\_2.html](https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter_2.html). Consulta: 18 de abril de 2021.

- Activo: un filtro activo utiliza componentes que necesitan de una fuente de energía para trabajar, estos cuentan con amplificadores que proveen una ganancia a la salida que puede ser ajustada.

Figura 10. **Filtro activo pasa bajos**

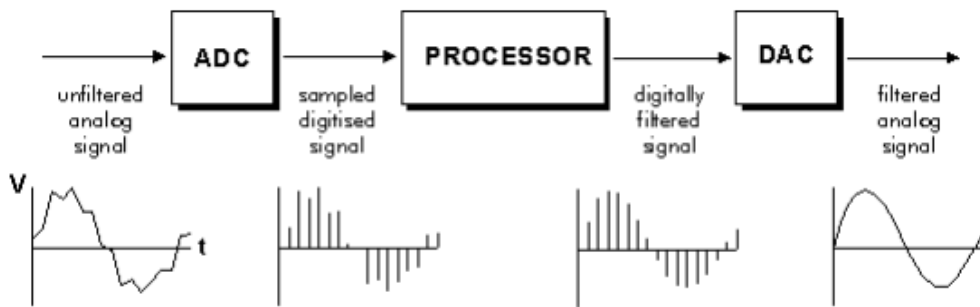


Fuente: Electronics-tutorials. *Active Low Pass Filter*. [https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter\\_5.html](https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter_5.html). Consulta: 18 de abril de 2021.

### 1.2.3. Filtros digitales

Estos filtros utilizan un procesador para realizar operaciones numéricas con valores muestreados de una señal, para obtener los valores muestreados se utiliza un ADC para obtener la señal análoga en digital

Figura 11. Esquema de filtro digital



Fuente: Ucdavis. *Introduction to digital filters.*

[http://123.physics.ucdavis.edu/week\\_5\\_files/filters/digital\\_filter.pdf](http://123.physics.ucdavis.edu/week_5_files/filters/digital_filter.pdf). Consulta: 18 de abril de 2021.

Al utilizar un ADC la señal de entrada se vuelve un vector con una cantidad de elementos definidos, luego estos elementos individualmente serán multiplicados por la función de transferencia del filtro y el resultado será un nuevo vector que deberá ser convertido por medio de un DAC, para obtener la señal original filtrada.



Figura 12. **Representación matemática de un filtro digital**

$$\begin{array}{l} \text{Zero order:} \quad y_n = a_0 x_n \\ \text{First order:} \quad y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} \\ \text{Second order:} \quad y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + a_2 x_{n-2} \end{array}$$

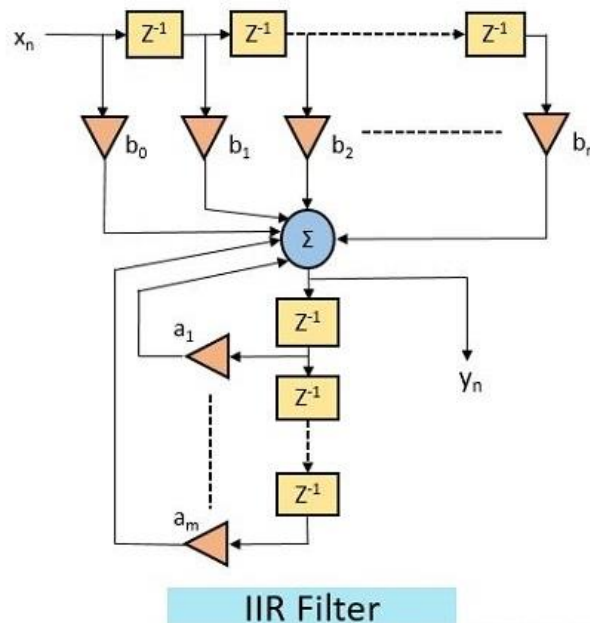
Fuente: Ucdavis. *Introduction to digital filters*.

[http://123.physics.ucdavis.edu/week\\_5\\_files/filters/digital\\_filter.pdf](http://123.physics.ucdavis.edu/week_5_files/filters/digital_filter.pdf). Consulta: 18 de abril de 2021.

Como se observa en la figura anterior, los  $n$  elementos del vector de entrada serán multiplicados por la función de transferencia del filtro generando un nuevo vector que es la señal ya filtrada. Los filtros digitales se pueden clasificar dependiendo a su respuesta al impulso.

- Filtro IIR (*Infinite Impulse Response*): la característica principal de estos filtros digitales es que su salida no solo depende de la señal de entrada sino también de las salidas anteriores por esta razón se les llama recursivos, su respuesta al impulso es infinita.

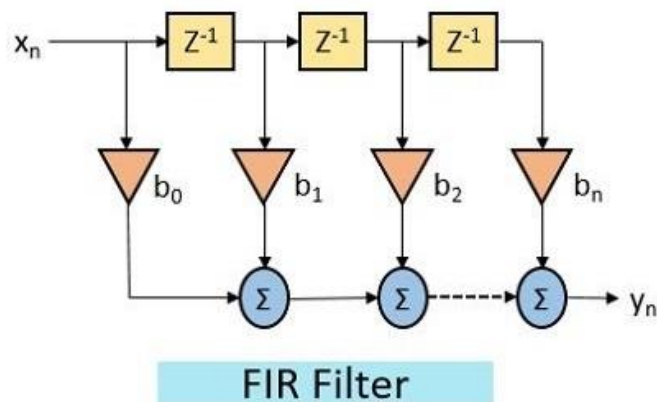
Figura 13. Estructura filtro IIR



Fuente: Circuitglobe. *IIR filter and fir filter*. <https://circuitglobe.com/difference-between-fir-filter-and-iir-filter.html#:~:text=The%20crucial%20difference%20between%20FIR,duration%20for%20a%20dynamic%20system>. Consulta: 18 de abril de 2021.

- Filtro FIR (*Finite Impulse Response*): la respuesta al impulso de este filtro es de duración finita y no es recursivo, es menos eficiente que un filtro IIR pero tiene mayor estabilidad.

Figura 14. Estructura filtro FIR



Fuente: Circuitglobe. *IIR filter and fir filter*. <https://circuitglobe.com/difference-between-fir-filter-and-iir-filter.html#:~:text=The%20crucial%20difference%20between%20FIR,duration%20for%20a%20dynamic%20system>. Consulta: 18 de abril de 2021.

### 1.3. Modulación y demodulación

En la radioafición y en telecomunicaciones comerciales cuando se quiere enviar algún mensaje a algún receptor no es práctico propagar la señal de información a través de cables metálicos, fibra óptica o a través de la atmósfera terrestre porque esta señal será distorsionada por el medio de transmisión.

Para evitar esta distorsión es necesario modular la información del emisor, con una señal analógica de mayor frecuencia, que recibe el nombre de portadora. La señal portadora es la que transporta la información por el medio de comunicación, la señal del emisor modula a la portadora, cambiando su amplitud, su frecuencia o su fase. Modulación es simplemente el proceso de cambiar una o más propiedades de una señal portadora en proporción con la señal de

información y demodulación es el proceso de obtener la señal de información mediante la señal portadora, este proceso es realizado por el receptor.

Existen dos tipos de modulaciones fundamentales para el ámbito de la radioafición y se brindara información relevante a esta investigación.

### **1.3.1. Modulación analógica**

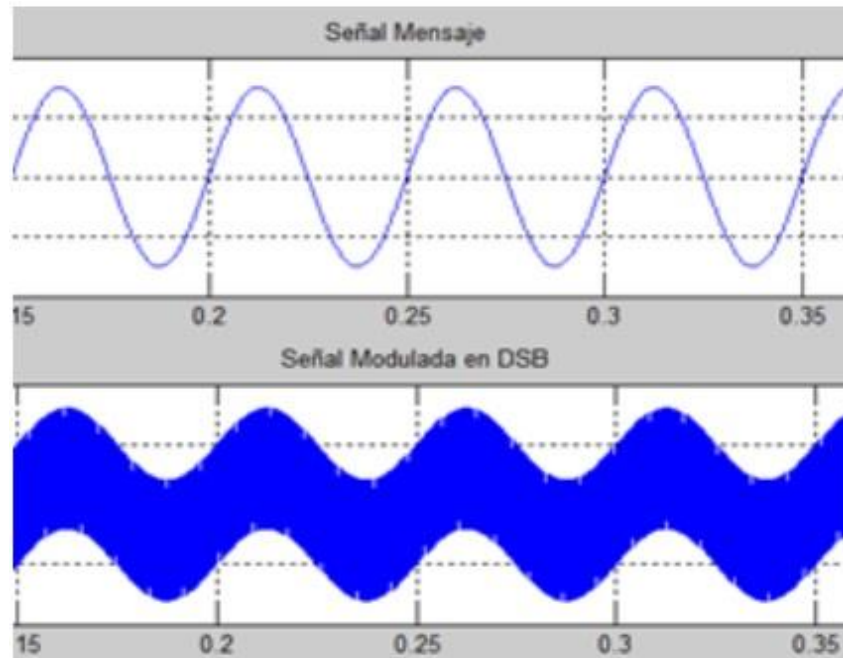
La modulación analógica se caracteriza en que su señal portadora podrá tener una variación en amplitud, fase o frecuencia. A continuación, se presentarán cada uno de estos casos.

#### **1.3.1.1. Modulación de amplitud**

Es un tipo de modulación no lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora. Existen cuatro tipos de modulación por amplitud DSB, DSB SC, SSB y VSB.

- DSB (*Doble Banda Lateral*): en este proceso la amplitud de la portadora varía en torno a un valor medio de forma lineal con la señal banda base.

Figura 15. **Modulación AM DSB**



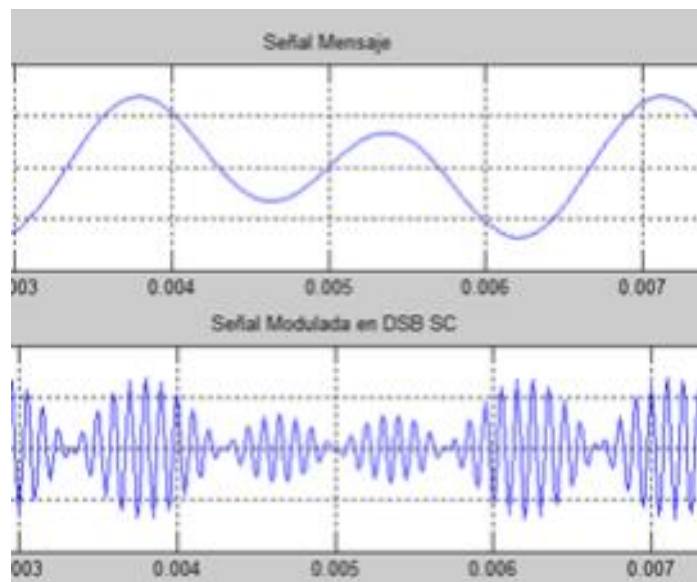
Fuente: SALAS, Luis. *Modulaciones analógicas*.

[https://figshare.com/articles/journal\\_contribution/Modulaciones\\_Anal\\_gicas/5525335](https://figshare.com/articles/journal_contribution/Modulaciones_Anal_gicas/5525335). Consulta: 20 de abril de 2021.

- DSB SC (*Doble Banda Lateral Con Portadora Suprimida*): la señal portadora es totalmente independiente de la información a transmitir, por esta razón transmitir la portadora significa un desperdicio de potencia, solo una parte de la potencia transmitida de una señal AM lleva información. Para solucionar este problema, se puede suprimir la componente portadora de la señal modulada, dando lugar a una modulación doble banda lateral con portadora suprimida.

La señal modulada resultante presentara un cambio de fase siempre que la señal cruce por cero, la diferencia con DSB es que para DSB SC la envolvente de la señal no sigue a la señal moduladora.

Figura 16. **Modulación AM DSB SC**

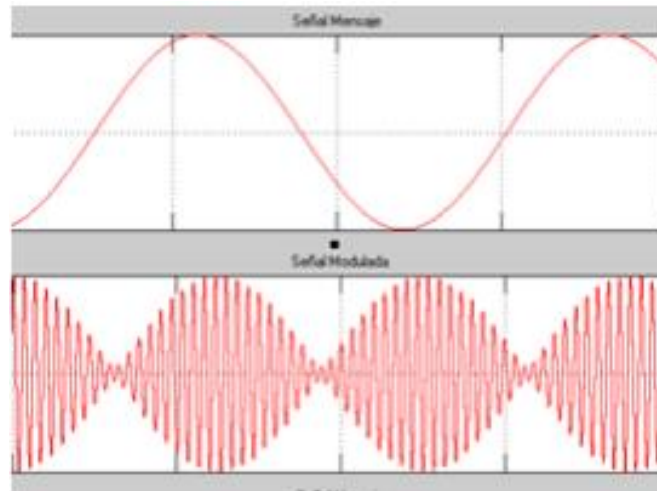


Fuente: SALAS, Luis. *Modulaciones analógicas*.

[https://figshare.com/articles/journal\\_contribution/Modulaciones\\_Anal\\_gicas/5525335](https://figshare.com/articles/journal_contribution/Modulaciones_Anal_gicas/5525335). Consulta: 23 de abril de 2021.

- SSB (*Banda Lateral Única*): las modulaciones mencionadas anterior mente desperdician ancho de banda porque sus bandas laterales son idénticas es decir envían dos veces la misma información, por lo que es necesario transmitir en una sola banda lateral. SSB suprime la portadora y solo envía una sola banda puede ser la banda superior o la inferior.

Figura 17. **Modulación SSB**



Fuente: SALAS, Luis. *Modulaciones analógicas*.

[https://figshare.com/articles/journal\\_contribution/Modulaciones\\_Anal\\_gicas/5525335](https://figshare.com/articles/journal_contribution/Modulaciones_Anal_gicas/5525335). Consulta: 23 de abril de 2021.

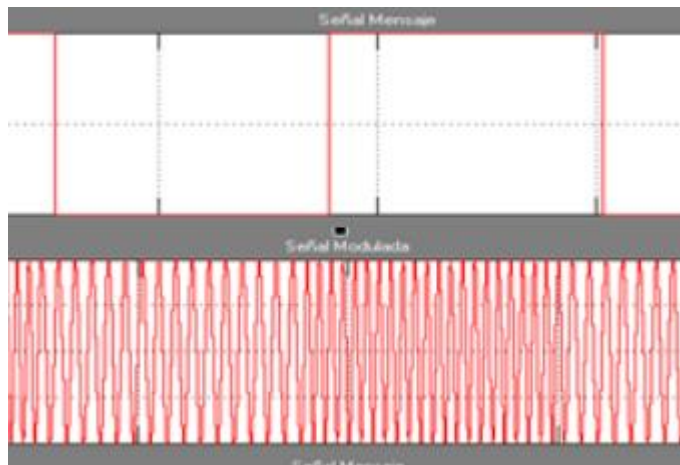
- VSB (*Banda Lateral Vestigial*): consiste en filtrar parcialmente una de las dos bandas laterales resultantes de una modulación DSB, este permite enviar señales de muy baja frecuencia.

### 1.3.1.2. **Modulación angular**

Esta modulación consiste en hacer variar la fase o la frecuencia de la señal portadora debido a la señal moduladora. Dependiendo del parámetro que se escoja se tendrán dos tipos de modulaciones, modulación FM y modulación PM.

- FM (*Modulación de Frecuencia*): consiste en hacer variar la frecuencia instantánea de la señal conforme a la señal banda base, la señal modulada cambia su frecuencia dependiendo de la señal mensaje. La información es llevada en frecuencia, esta modulación utiliza poca potencia y poco ancho de banda, pero necesita de altas frecuencias.

Figura 18. **Modulación FM**



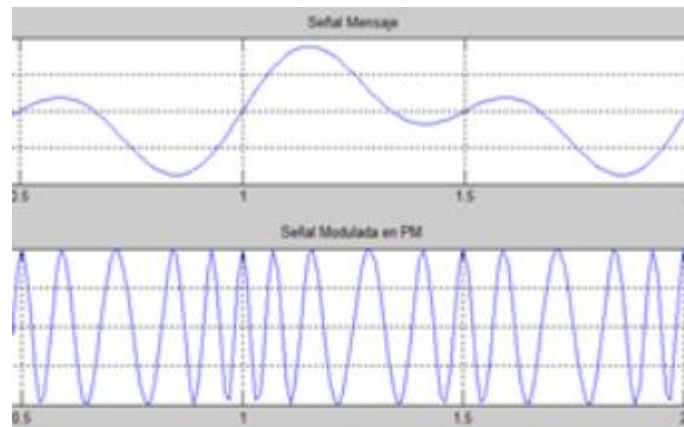
Fuente: SALAS, Luis. *Modulaciones analógicas*.

[https://figshare.com/articles/journal\\_contribution/Modulaciones\\_Anal\\_gicas/5525335](https://figshare.com/articles/journal_contribution/Modulaciones_Anal_gicas/5525335). Consulta: 25 de abril de 2021.

- PM (*Modulación de Fase*): En esta modulación se hace variar la fase instantánea de la portadora conforme a la señal mensaje, la información se encuentra en la fase de la señal modulada.



Figura 19. **Modulación PM**



Fuente: SALAS, Luis. *Modulaciones analógicas*.

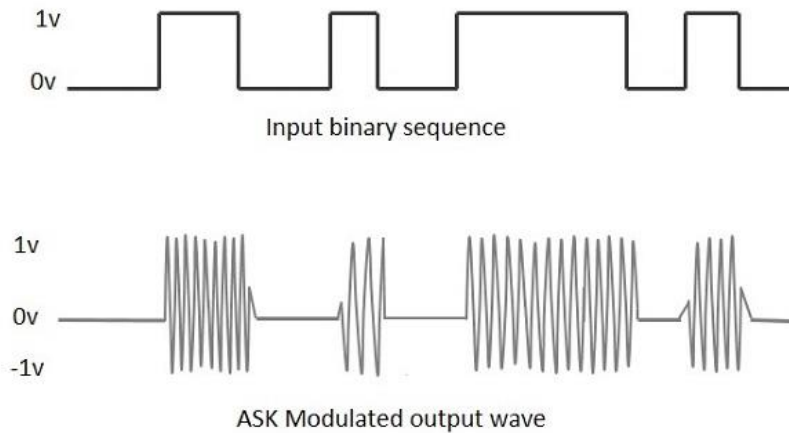
[https://figshare.com/articles/journal\\_contribution/Modulaciones\\_Anal\\_gicas/5525335](https://figshare.com/articles/journal_contribution/Modulaciones_Anal_gicas/5525335). Consulta: 25 de abril de 2021.

### 1.3.2. **Modulación digital**

El objetivo de la modulación digital es nuevamente modular una señal portadora conforme a una señal mensaje, pero la modulación digital tiene mayores ventajas que la analógica, entre estas se tiene una mayor inmunidad al ruido, se puede encriptar la información, se puede enviar mucho más información, introducción de mecanismos de detección y corrección de errores durante la transmisión y la facilidad en el tratamiento de la información, se mostrarán las modulaciones digitales más relevantes para esta investigación.

- **ASK (*Amplitude Shift Keying*)**: se caracteriza por variar la amplitud de la portadora de acuerdo con la señal moduladora. La señal en banda base es binaria.

Figura 20. **Modulación ASK**

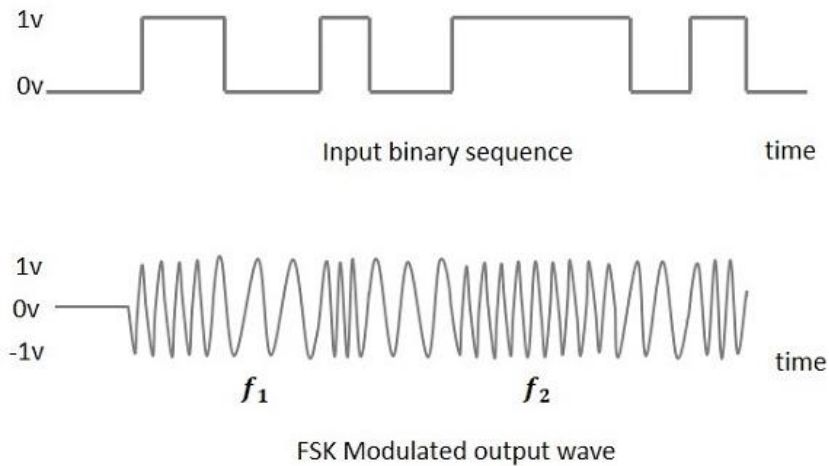


Fuente: TutorialsPoint. *Digital communication*.

[https://www.tutorialspoint.com/digital\\_communication/digital\\_communication\\_amplitude\\_shift\\_keying.htm](https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_amplitude_shift_keying.htm). Consulta: 25 de abril de 2021.

- FSK (*Frequency Shift Keying*): en esta modulación la frecuencia de la señal portadora variara conforme la señal digital moduladora, la salida es de alta frecuencia para un valor binario alto y de baja frecuencia para un valor binario bajo.

Figura 21. **Modulación FSK**

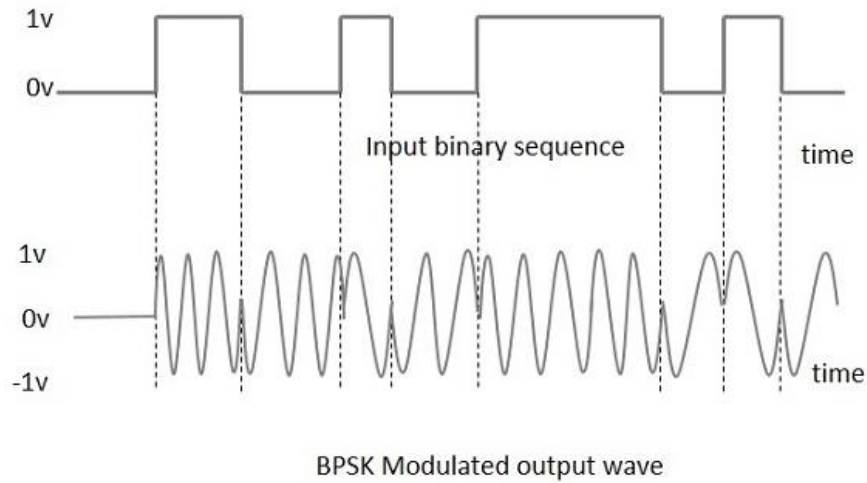


Fuente: TutorialsPoint. *Digital communication*.

[https://www.tutorialspoint.com/digital\\_communication/digital\\_communication\\_frequency\\_shift\\_keying.htm](https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_frequency_shift_keying.htm). Consulta: 25 de abril de 2021.

- PSK (*Phase Shift Keying*): la fase de la señal portadora variara conforme a la señal digital moduladora, existen varios tipos de PSK dependiendo de que fases la señal portadora tome, y se presentan dos casos.
  - BPSK (*Binary Phase Shift Keying*): en esta técnica la señal portadora tomara dos cambios de fase siendo estos  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

Figura 22. **Modulación BPSK**

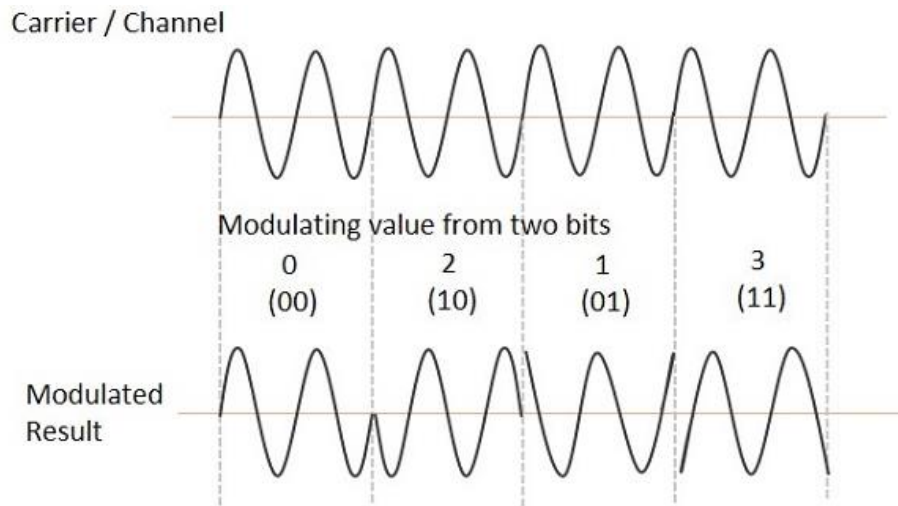


Fuente: TutorialsPoint. *Digital communication*.

[https://www.tutorialspoint.com/digital\\_communication/digital\\_communication\\_phase\\_shift\\_keying.htm](https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_phase_shift_keying.htm). Consulta: 25 de abril de 2021.

- QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*): en esta modulación la señal portadora tomara cuatro cambios de fase siendo estos  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ .

Figura 23. **Modulación QPSK**

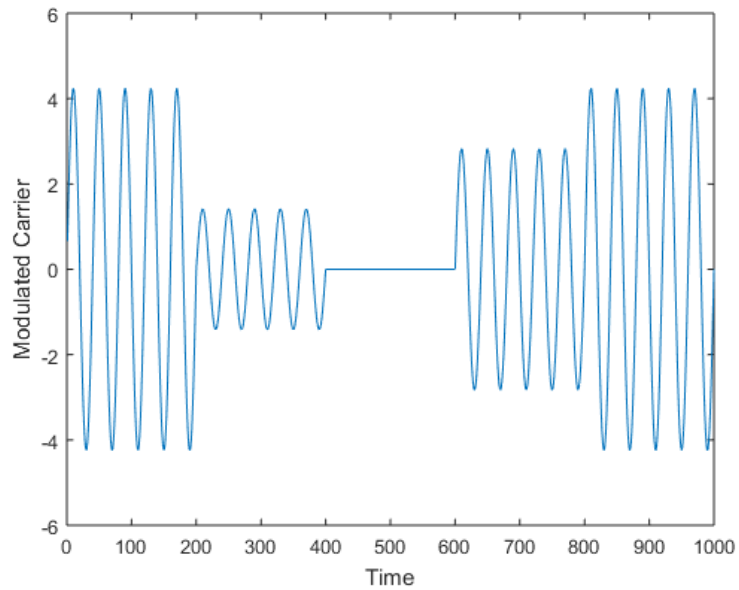


Fuente: TutorialsPoint. *Digital communication*.

[https://www.tutorialspoint.com/digital\\_communication/digital\\_communication\\_quadrature\\_phase\\_shift\\_keying.htm](https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_quadrature_phase_shift_keying.htm). Consulta 25 de abril de 2021.

- Codificación M-ary: binario representa dos bits, M representa un dígito que corresponde a un número de condiciones o combinaciones posibles para un número de variables binarias, esta técnica de modulación digital es utilizada para transmitir una mayor cantidad de bits en un determinado tiempo reduciendo así el ancho de banda, las modulaciones vistas anteriormente pueden ser utilizadas con codificación M-ary, por ejemplo, una modulación ASK puede tener múltiples estados y se conoce esto como M-ASK (con  $M \geq 2$  y  $M = 2^{\text{bits a enviar}}$ ), para este caso la amplitud de la portadora tendrá M valores diferentes y cada uno de estos constituirá un símbolo o estado de la señal modulada, existen casos en que M puede no ser un exponente de 2.

Figura 24. **Modulación M-ASK (M = 4)**

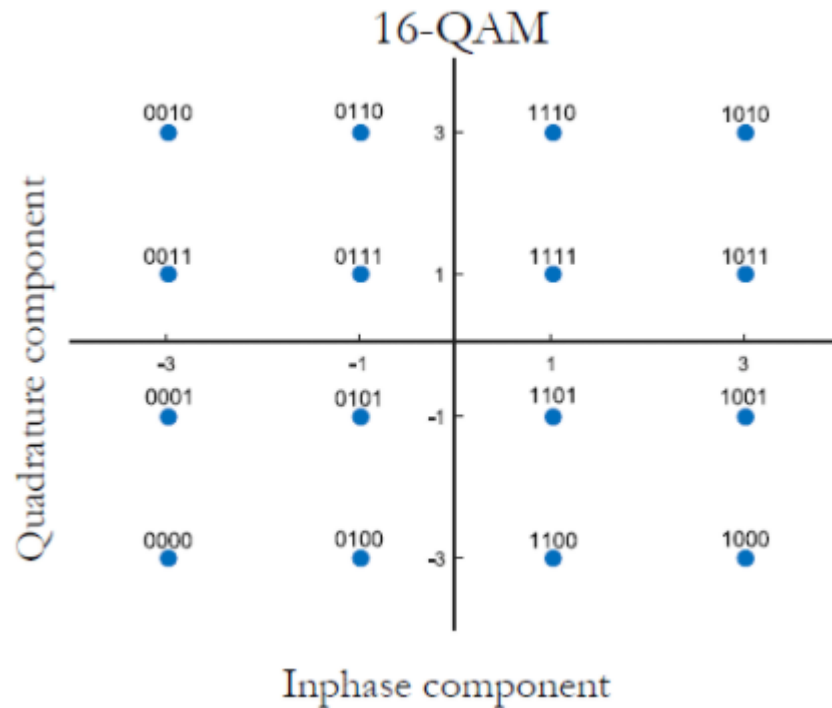


Fuente: MOAZZAM, Tiwana. *MASK modulation and demodulation*.

<http://drmoazzam.com/mask-modulation-and-demodulation-complete-matlab-code-with-explanation>. Consulta: 25 de abril de 2021.

- QAM (*Cuadrature Amplitude Modulation*): es una técnica de modulación digital en la que la información será modulada tanto en amplitud (no constante), y en fase. A esta modulación también se le puede aplicar codificación M-ary.

Figura 25. Constelación de modulación QAM



Fuente: Gaussianwaves. *QAM modulation*. <https://www.gaussianwaves.com/2012/10/qam-modulation-simulation-matlab-python/>. Consulta: 25 de abril de 2021.

La figura mostrada anteriormente tiene el nombre de constelación, una constelación es un diagrama que representa una señal modulada con una técnica de modulación digital como QAM o PSK, muestra la señal como un plano de dos dimensiones (X,Y) en el plano complejo, cada punto representa un conjunto de *bits* que son la información de la señal moduladora, cada ángulo de cualquier punto en el plano medido en contra de las manecillas del reloj representa el cambio de fase que la señal portadora tomara para representar ese conjunto de *bits* y la distancia del origen hacia cualquier punto representa la amplitud que tomara la señal portadora.

## 1.4. Antenas

Una antena es un elemento que permite radiar, de forma eficiente una energía en forma de onda electromagnética, las propiedades de una antena en transmisión son las mismas que las de una antena en recepción. Por lo que, en vez de radiar, la antena puede recibir esa radiación que, una vez guiada hasta el receptor, se traducirá en energía eléctrica. Las antenas juegan un papel importante en la radioafición su movilidad es la característica más importante para este tipo de comunicaciones, las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda.

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

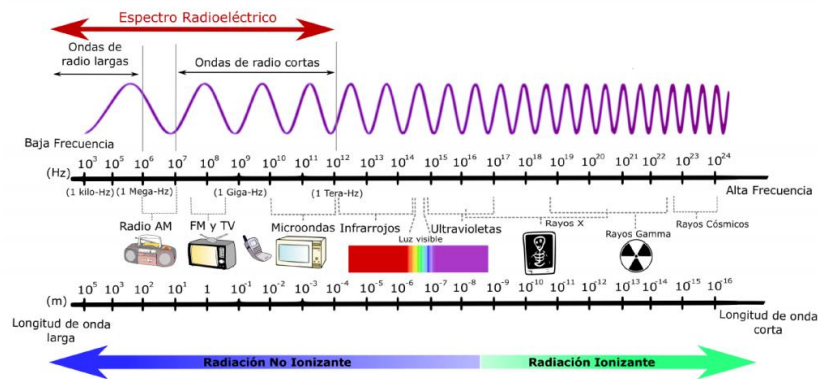
Donde:

- $f$  = frecuencia, hz
- $\lambda$  = longitud de onda, mts
- $c$  = velocidad de la luz, m/s

El conjunto de todas las frecuencias se conoce como espectro de electromagnético, este se divide en bandas de frecuencia las cuales son utilizadas por ondas de radiofrecuencia, cada una de estas presentan características únicas que dan origen a diversas topologías de antenas, cada banda es utilizada para un propósito específico, más adelante se mostrará el propósito de cada banda en Guatemala.



Figura 26. Espectro electromagnético



Fuente: Esopo. *Espectro electromagn6tico*. <https://ie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>.  
 Consulta: 27 de abril de 2021.

Figura 27. Bandas de frecuencia en Guatemala

**BANDAS DE FRECUENCIA**  
 Bandas de frecuencia que se reconocen internacionalmente.  
 (Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, art6culo 2)

**Frecuencias altas**

N6mero de banda "N"*	S6mbolo	Gama de frecuencias**	Dimen-sional	Subdivisi6n m6trica
12	---	300 – 3,000	GHz	Ondas decimilim6tricas
11	EHF	30 – 300	GHz	Ondas milim6tricas
10	SHF	3 – 30	GHz	Ondas centim6tricas
9	UHF	300 – 3,000	MHz	Ondas decim6tricas
8	VHF	30 – 300	MHz	Ondas m6tricas
7	HF	3 – 30	MHz	Ondas decam6tricas
6	MF	300 – 3,000	kHz	Ondas hectom6tricas
5	LF	30 – 300	kHz	Ondas kilom6tricas
4	VLF	3 – 30	kHz	Ondas miriam6tricas

**Frecuencias bajas**

\* El n6mero de banda se usa para calcular los rangos de las bandas con la siguiente relaci6n:  $0.3 \times 10^N$  Hz a  $3 \times 10^N$  Hz  
 \*\* Excluido el l6mite inferior, pero incluido el superior.

Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones Guatemala. *Bandas de frecuencia*.  
<https://sit.gob.gt/gerencia-de-frecuencias/frecuencias/bandas-de-frecuencias/>. Consulta: 27 de  
 abril de 2021.

### **1.4.1. Parámetros de una antena**

Para trabajar con una antena ya sea para enviar o recibir información es muy importante conocer los parámetros de esta, estos determinan en que banda se podrá trabajar y que generadores o receptores se necesitarán para la información. Entre estos se encuentra:

- Diagrama de radiación: es la representación gráfica de cómo se reparte la radiación por el espacio.
- Directividad: cuantifica la direccionalidad de la radiación, existen diversos tipos de directividad.
- Impedancia: relación tensión/corriente en la entrada de la antena.
- Ancho de banda: conjunto de frecuencias para las que la antena tiene el comportamiento deseado.
- Polarización: orientación del vector de campo eléctrico. Existen varios tipos de polarización:
  - Lineal: si el campo eléctrico permanece en una recta durante toda la trayectoria de la onda esta tendrá polarización lineal que puede ser vertical u horizontal.
  - Circular: en esta el campo eléctrico se mueve sobre una circunferencia a lo largo de la trayectoria.
  - Elíptica: se produce cuando el campo eléctrico va girando en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

### **1.4.2. Clasificación de antenas**

Existen diversas antenas en el campo de las telecomunicaciones, se mencionarán las más relevantes para el estudio de la radioafición.

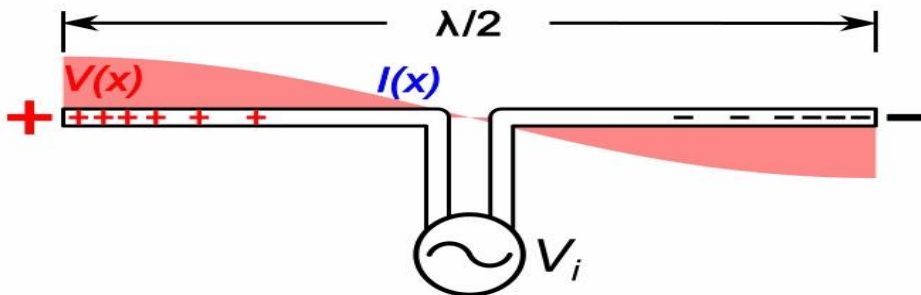
#### **1.4.2.1. Clasificación según directividad**

- Antena isotrópica: es una antena ideal, no existente, que radia la misma intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio, esta es utilizada como referencia para definir parámetros de antenas reales.
- Antena direccional: es una antena capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada en una dirección específica que permite aumentar la potencia emitida hacia el receptor y reducir interferencia, existe una variación denominada bidireccional que es similar a una antena direccional con la diferencia que esta transmite en dos direcciones.
- Antena omnidireccional: es una antena que radia su potencia al espacio de manera uniforme y en todas las direcciones que sean perpendiculares a un eje de referencia, la potencia varía dependiendo del ángulo al eje y la potencia es cero en el eje de referencia.

#### **1.4.2.2. Clasificación según geometría**

- Antenas de cable: este es el tipo más común de antenas que existe, se pueden encontrar con diversos propósitos en automóviles, edificios, aviones, torres de transmisión, entre otros. Su tamaño y bajo costo permite que sean accesibles a las personas interesadas en radioafición, entre este tipo se encuentran:
  - Dipolo: es considerada la madre de las antenas, consisten en un hilo conductor de media longitud de onda que depende de la frecuencia que se desee transmitir o recibir, en su centro se coloca un generador de onda o un receptor, es barata, tiene poca ganancia y una impedancia aproximada de 75 ohmios.

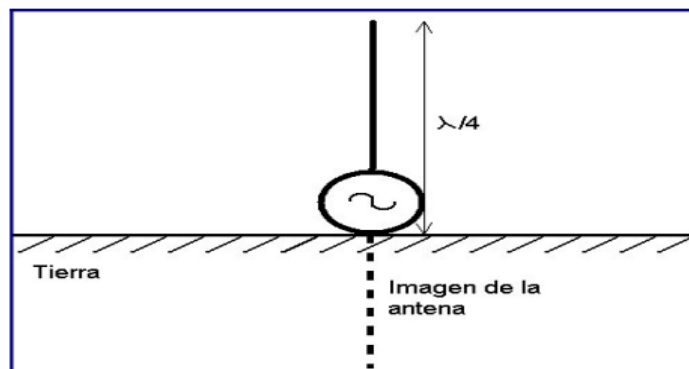
Figura 28. **Antena dipolo**



Fuente: Wikiwand. *Dipolo (antena)*. [https://www.wikiwand.com/es/Dipolo\\_\(antena\)](https://www.wikiwand.com/es/Dipolo_(antena)). Consulta: 30 de abril de 2021.

- Monopolo: es la más sencilla de las antenas, siempre es utilizada en conjunto con un plano de tierra que actúa como un espejo eléctrico, se le conoce como monopolo vertical de  $\lambda/4$  porque simplemente es la mitad de un dipolo.

Figura 29. **Antena monopolo**

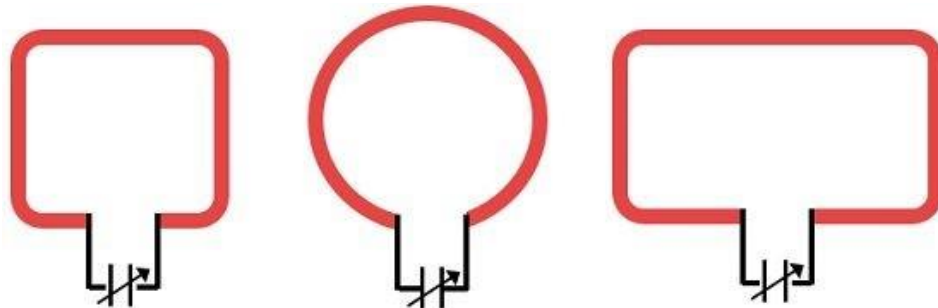


Fuente: PASCUAL, Alberto. *Antenas y cables*.

[http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/08\\_es\\_antenas\\_y\\_cables\\_guia\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/08_es_antenas_y_cables_guia_v02.pdf). Consulta: 1 de mayo de 2021.

- Espira: consisten en una bobina que se le da un giro o más para volverla una espira, existen dos tipos de espira pequeña y grande, las grandes son eficientes y su longitud es casi igual a la longitud de onda deseada, las pequeñas son utilizadas principalmente para receptores y su longitud es  $\lambda/10$ , existen de diversas formas.

Figura 30. **Antenas de espira**

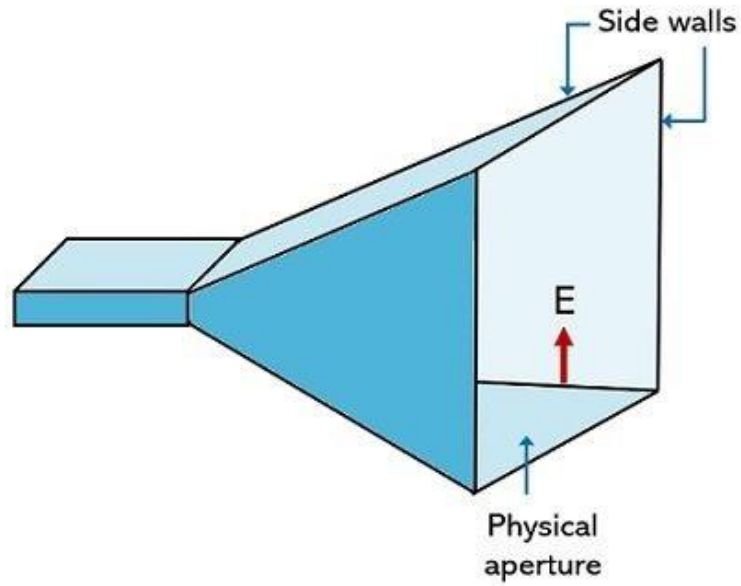


Fuente: Electronics Desk. *Loop antenna*. <https://electronicsdesk.com/loop-antenna.html>.

Consulta: 1 de mayo de 2021.

- Antenas de apertura: se caracterizan por radiar su energía al espacio que las rodea a través de una apertura, en algunos casos la apertura está perfectamente limitada por paredes metálicas conductoras.

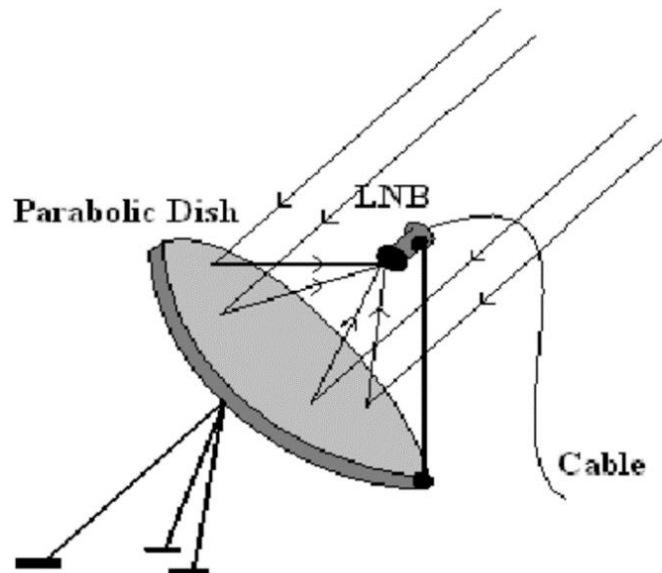
Figura 31. **Antena de apertura (tipo bocina)**



Fuente: Electronics Desk. *Antenna apertures*. <https://electronicsdesk.com/antenna-apertures.html>. Consulta: 1 de mayo de 2021.

- Reflectores: antenas formadas por un reflector, generalmente con perfil parabólico y la antena situada en el foco del reflector, estas son diseñadas para trabajar con frecuencias de microondas altas.

Figura 32. Antena reflectora



Fuente: Debendra Kumar. *Reflector antenna*. [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-parabolic-reflector-dish-antenna-system\\_fig1\\_287912047](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-parabolic-reflector-dish-antenna-system_fig1_287912047). Consulta: 1 de mayo de 2021.

- Agrupaciones de antenas: cuando se juntan más de una antena para conseguir determinadas características de radiación, se denomina agrupación de antenas o, en inglés, *array*.

Figura 33. **Agrupación de dipolos**



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Comunicaciones. *Agrupaciones de antenas*. <http://personales.upv.es/~jlicorral/antenas/tema4.htm>. Consulta: 1 de mayo de 2021.

### 1.4.2.3. **Clasificación según su comportamiento**

- Antenas de banda ancha: cuando las antenas pueden trabajar en un margen muy amplio de frecuencias, un ejemplo son las antenas de bocina para realizar medidas radioeléctricas en cámara anecoica, con una antena de bocina se puede cubrir un margen de frecuencias grande; por ejemplo, de 800 MHz a 5 GHz, sin tener que cambiar de antena.
- Antenas miniatura: cuando la antena tiene dimensiones mucho más pequeñas que la longitud de onda. Las dimensiones de una antena están relacionadas con su comportamiento y al tener dimensiones pequeñas en términos de la longitud de onda las características de la antena cambiaran demasiado, un ejemplo son las antenas de teléfono.
- Antenas multifrecuencia: antenas que pueden operar con características muy similares para diferentes sistemas de telecomunicación. Las antenas de estación base y terminares son casos de antenas multifrecuencia.

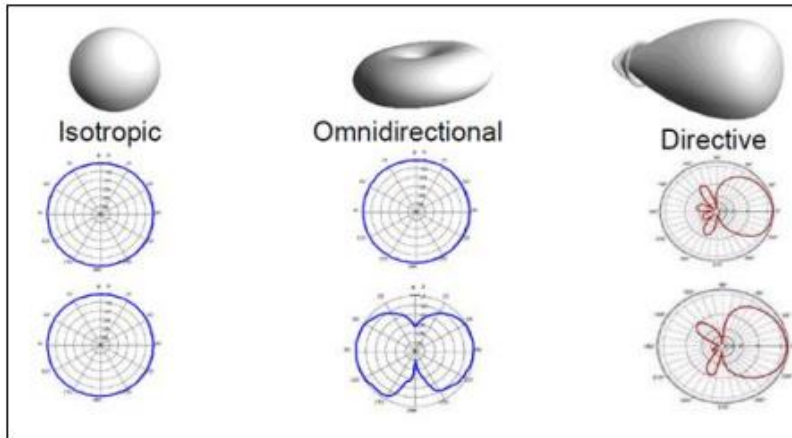


### 1.4.3. Diagrama de radiación

Como se mencionó, el diagrama de radiación es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, conocer el diagrama de radiación de una antena es importante y no importa cuanta ganancia tenga una antena, si el diagrama de radiación no es el adecuado para el entorno en donde se encontrará la antena a utilizar nunca se podrá recibir o enviar un mensaje debido a interferencia que ocurrirá. Los parámetros más importantes del diagrama de radiación son:

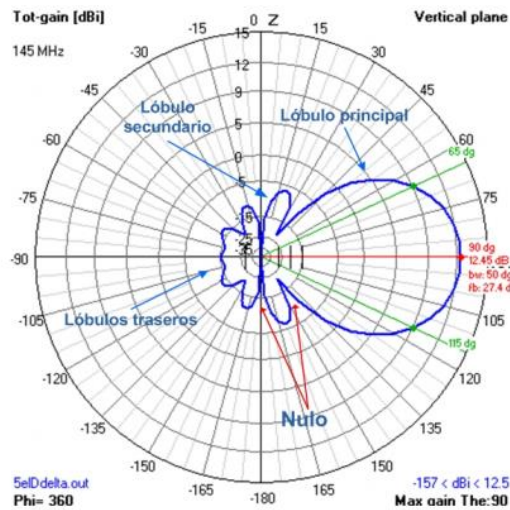
- Dirección de apuntamiento: indica donde se encuentra la máxima radiación.
- Lóbulo principal: es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- Lóbulo secundario: son el resto de los máximos relativos que tienen valor inferior al lóbulo principal.
- Ancho de haz: es la dirección en la que la potencia radiada se reduce a la mitad.
- Relación de lóbulo principal a secundario (*SLL*): es el cociente en dB entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.
- Relación delante-atrás (*FBR*): Es el cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el valor de máxima radiación en sentido opuesto de la dirección de apuntamiento.

Figura 34. Diagramas de radiación según directividad



Fuente: Universidad Politécnica de Cataluña. *Diseño y medición de una antena wearable*.  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106668/mohamed.el.bouchti\\_119201.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106668/mohamed.el.bouchti_119201.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Consulta: 2 de mayo de 2021.

Figura 35. Partes de un diagrama de radiación de antena direccional



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional. *Conceptos generales de antenas*.  
<http://solano.orgfree.com/INTROTELECOM/antenas1.pdf>. Consulta: 2 de mayo de 2021.

## **2. RADIOAFICIÓN Y RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE**

### **2.1. Historia**

Las telecomunicaciones han mejorado exponencialmente y han ayudado a la población mundial tanto económica y socialmente, es posible enviar un saludo a diversos continentes en cuestión de segundos mientras que hace unos 100 años esto hubiera sido extremadamente difícil, la radioafición ha evolucionado igualmente a lo largo de los años, de ser una afición que requería equipo especializado para experimentar con señales a uno que puede ser aprendido con una computadora, una antena y un receptor USB.

Para comprender donde se encuentra la radioafición hoy, es necesario estudiar los pasos que la llevaron a ser una afición accesible actualmente.

#### **2.1.1. Origen**

La radioafición tiene sus principios en el siglo XX, a principios de este ciclo jóvenes utilizaban transmisores y receptores de chispa para enviar mensajes de código morse, estos mensajes causaban interferencia y por esta razón en el inicio de la Primera Guerra Mundial las estaciones de radioaficionados fueron suspendidas, pero esta guerra trajo varios avances tecnológicos para el campo.

La radioafición creció durante la gran depresión como un pasatiempo barato y productivo, la radiodifusión de propaganda impactó las ondas cortas con lo cual creó un desafío para el acceso al espectro para radioaficionados. La Segunda Guerra Mundial suspendió la radioafición nuevamente pero cuando terminó la guerra la tecnología avanzó y había equipo de radio en abundancia y bajo precio. Esto permitió acceso a UHF y microondas para los radioaficionados.

### **2.1.2. Era espacial**

La época espacial vivida en Estados Unidos ayudó a brindar más atención a la radioafición particularmente con comunicaciones de dos vías reflejando señales en la luna, primero en 1296 MHz y más adelante en 144 MHz. La industria japonesa fue el líder para la radioafición y conforme se dio el avance de los microprocesadores radioaficionados lograron comunicarse con un astronauta a bordo del Transbordador Espacial en órbita terrestre.

### **2.1.3. Actualidad**

Existen diversos programas que pueden ser utilizados para trabajar proyectos con radio como WSJT, un conjunto de programas *open source* diseñados para comunicación digital por señales débiles por radioaficionados. La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2007 hizo la primera asignación en baja frecuencia en la historia para radioaficionados en 136 kHz. La invención de radios definidos por software (SDRs), ofrecen capacidades para trabajar con señales a bajo costo y con mucha flexibilidad debido a los recursos abiertos disponibles gracias a las comunidades que existen en internet, esta investigación trabajará con SDR por estas razones.

#### **2.1.4. Radioafición en Guatemala**

En Guatemala no existen bandas libres como en otros países, para poder realizar transmisiones legalmente se debe aplicar para una licencia de radioaficionado, la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala considera a él radioaficionado como aquella persona individual debidamente autorizada por la Unión Internacional de Radioaficionados o su representante país, que se interesa en la radiotécnica con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro.

Cuando un guatemalteco está interesado en inscribirse como radioaficionado siempre lo deberá hacer por medio del Club de Radioaficionados de Guatemala (CRAG), CRAG promueve las medidas que propician el crecimiento de la actividad de la Radio afición en el país, de acuerdo con los conocimientos, recursos y avances de la tecnología.

Unirse a este club es una muy buena manera de conocer radioaficionados que también tiene un interés en las telecomunicaciones.

Figura 36. Logo CRAG



Fuente: Club de Radioaficionados de Guatemala. *¿Quiénes somos?*  
[https://www.crag.org.gt/?page\\_id=394](https://www.crag.org.gt/?page_id=394). Consulta: 2 de mayo de 2021.

## 2.2. Receptores SDR

Existe una gran cantidad de receptores SDR en la actualidad, varían tanto en precio como en funcionalidad, conocer las especificaciones para algún SDR es importante y si se utiliza uno incorrecto se podrá destruir los componentes del SDR y volverlo inutilizable. Se presenta algunos tipos de SDR y sus aplicaciones.

- RTL2832U: este SDR opera en el rango de 500kHz a 1.75GHz, solamente puede recibir señales, pero es muy barato costando solamente \$25, tiene una comunidad muy popular lo que permite experimentar con diversos programas *open source*. Esta investigación utilizará este SDR para realizar ejercicios.

Figura 37. **RTL2832U**



Fuente: RTL-SDR. *About RTL-SDR*. <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>. Consulta: 11 de mayo de 2021.

- Airspy R2: diseñado para operar en el rango de 24Hz a 1.7GHz, cuenta con 8 pines programables, cuenta con una entrada y una salida RF con protección electrostática lo cual permite al dispositivo enviar y recibir señales y un conector JTAG que le permite realizar simulaciones, todo esto a un precio de \$170.

Figura 38. **Airspy R2**



Fuente: Airspy. *The ultimate VHF/UHF RX building block*. <https://airspy.com/airspy-r2/>. Consulta: 11 de mayo de 2021.

- HackRF One: trabaja en un rango de 1MHz a 6GHz, puede utilizar una tasa de muestreo de hasta 20 millones de muestras, es *open source* y puede enviar o recibir información, este SDR está diseñado para aplicaciones avanzadas y debido a esta razón su precio es de \$300.

Figura 39. **HackRF One**



Fuente: Sparkfun. *HackRF One*. <https://www.sparkfun.com/products/13001>. Consulta: 11 de mayo de 2021.

### 2.3. Programas SDR

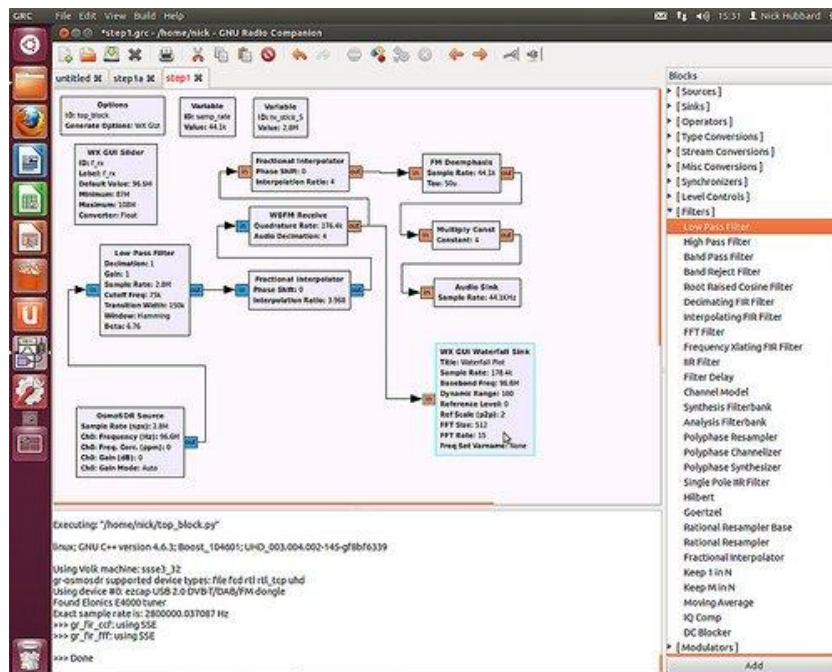
Para utilizar un receptor SDR de manera eficaz y sin tener que realizar alguna programación desde cero se deberá utilizar algún programa que realizará la programación del receptor SDR para que el usuario pueda realizar trabajos sin mayor complicación, se presentan algunos de estos programas:

- GNU Radio: es un paquete de procesamiento de señales muy poderoso y *open source*, en los programas son creados visualmente por medio de diagramas de bloques facilitando así la creación de programas, es el



software SDR más popular y es compatible con RTL-SDR, este será el programa utilizado en esta investigación.

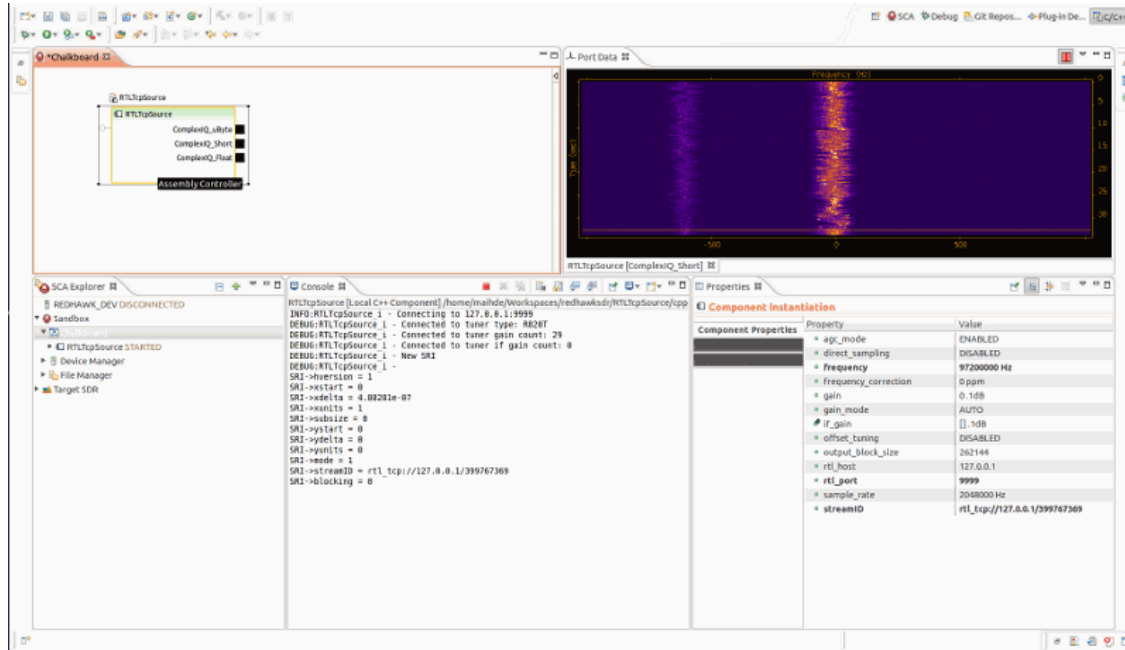
Figura 40. GNU Radio



Fuente: RTL-SDR. *Supported software*. <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>. Consulta: 16 de mayo de 2021.

- Redhawk: es un paquete de procesamiento de señales muy similar a GNU Radio, es *open source* y la especialidad de este programa es la publicación del programa a realizar, los programas en Redhawk son agnósticos respecto al receptor SDR a utilizar, es decir, un programa realizado en Redhawk para RTL2832U también será compatible con HackRF One, un inconveniente de Redhawk es su instalación es compleja.

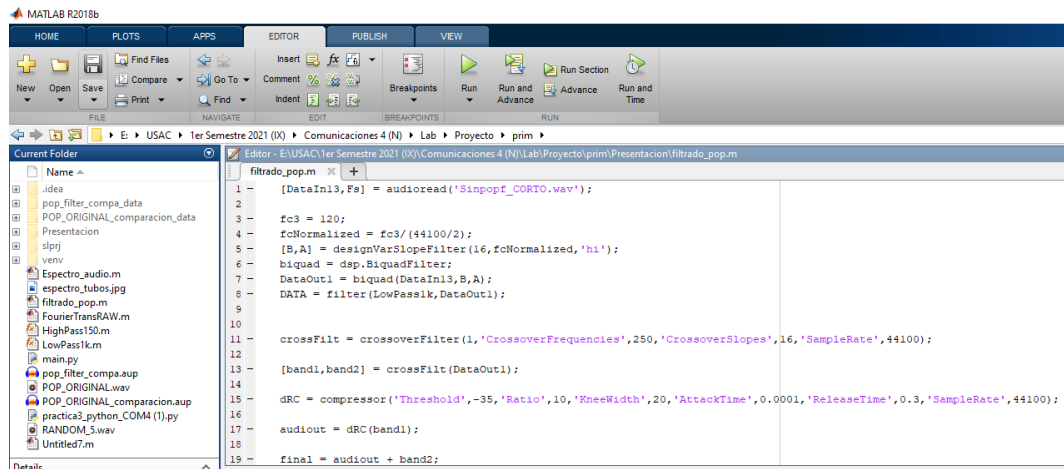
Figura 41. Redhawk



Fuente: RTL-SDR. *Supported software*. <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>. Consulta: 16 de mayo de 2021.

- Matlab: es un lenguaje de computación matemático muy popular, la especialidad de este lenguaje es el procesamiento de matrices, representación de datos, funciones y la implementación de algoritmos, por medio de un paquete se puede instalar compatibilidad con RTL2832U, el inconveniente de Matlab es su licencia es costosa.

Figura 42. Matlab



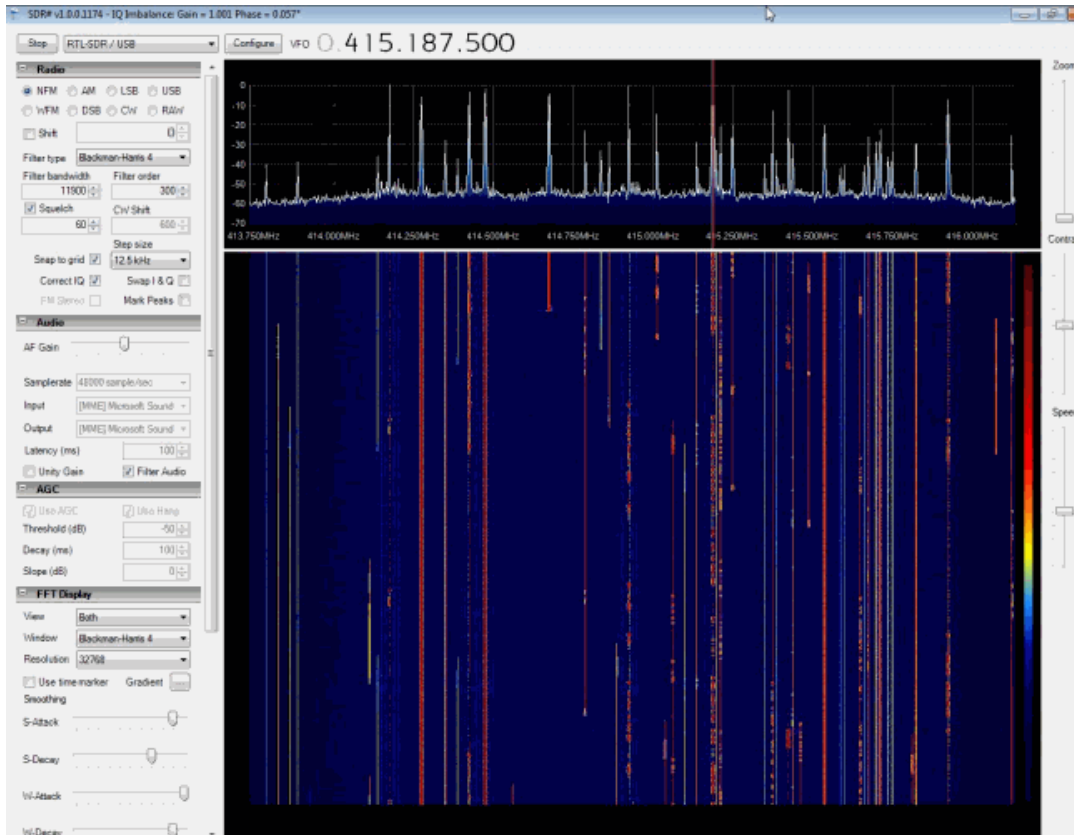
Fuente: elaboración propia, empleando captura de pantalla.

## 2.4. Aplicaciones específicas con receptores SDR

Existen diversos programas SDR que realizan una tarea específica, la mayoría fueron realizados en GNU Radio y luego fueron lanzados como aplicaciones individuales, se presentara algunos de estos programas para proporcionar una idea del alcance de receptores SDR Y GNU Radio.

- SDR#: es el software SDR más popular de momento, puede ser como radio de FM o AM, espectrograma, y descryptar señal FM utilizadas por policía.

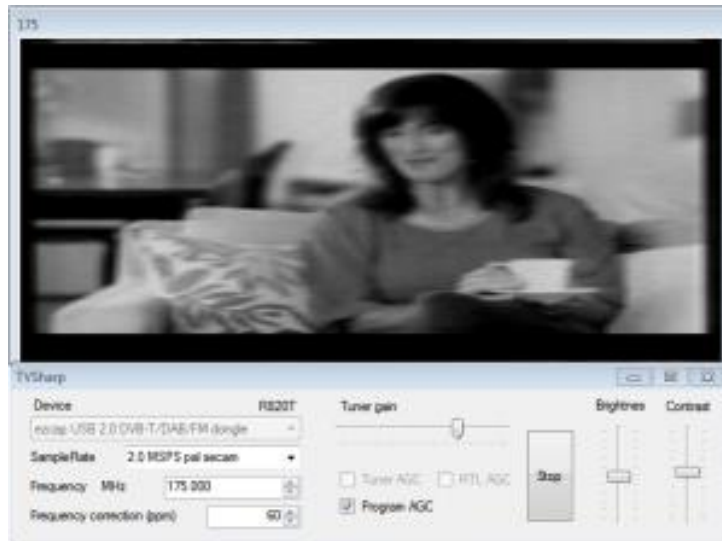
Figura 43. SDR#



Fuente: RTL-SDR. *Supported software*. <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>. Consulta: 16 de mayo de 2021.

- TVSharp: es un decodificador analógico PAL/NTSC de televisión, utilizando RTL2832U es posible visualizar televisión en blanco y negro, esto debido al ancho de banda limitado del receptor.

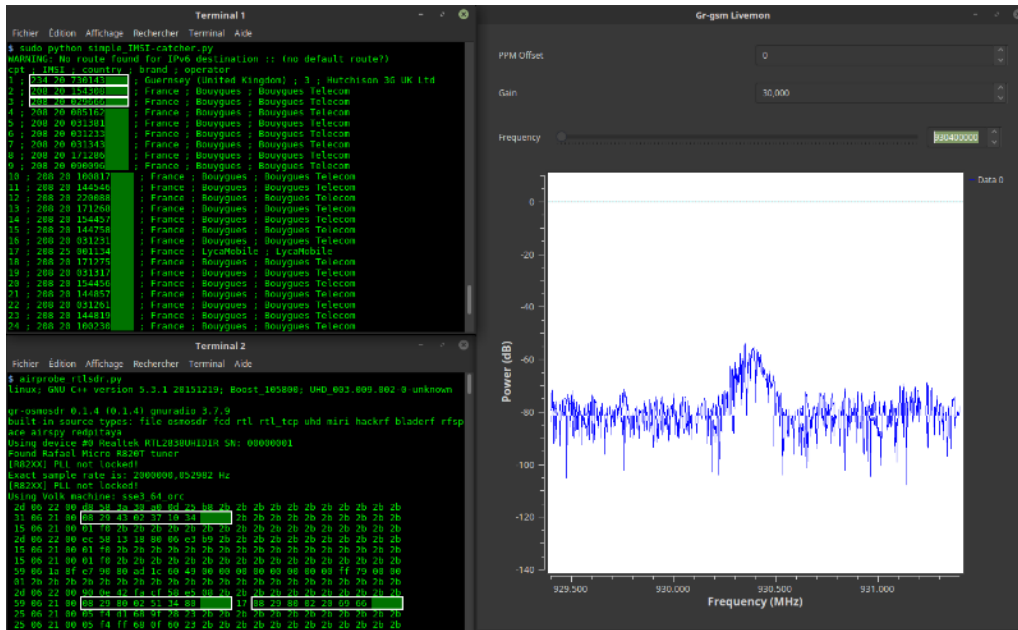
Figura 44. TVSharp



Fuente: RTL-SDR. *Supported software*. <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>. Consulta: 16 de mayo de 2021.

- IMSI-Catcher: es un programa que permite capturar los números IMSI de teléfonos que se encuentren cerca del RTL2832U, de esta manera se puede comprender como funciona GSM, conocer el país de origen y compañía que pertenece el teléfono.

Figura 45. IMSI-Catcher



Fuente: Oros42. *IMSI-Catcher*. <https://github.com/Oros42/IMSI-catcher>. Consulta: 16 de mayo de 2021.

### 3. GNU RADIO

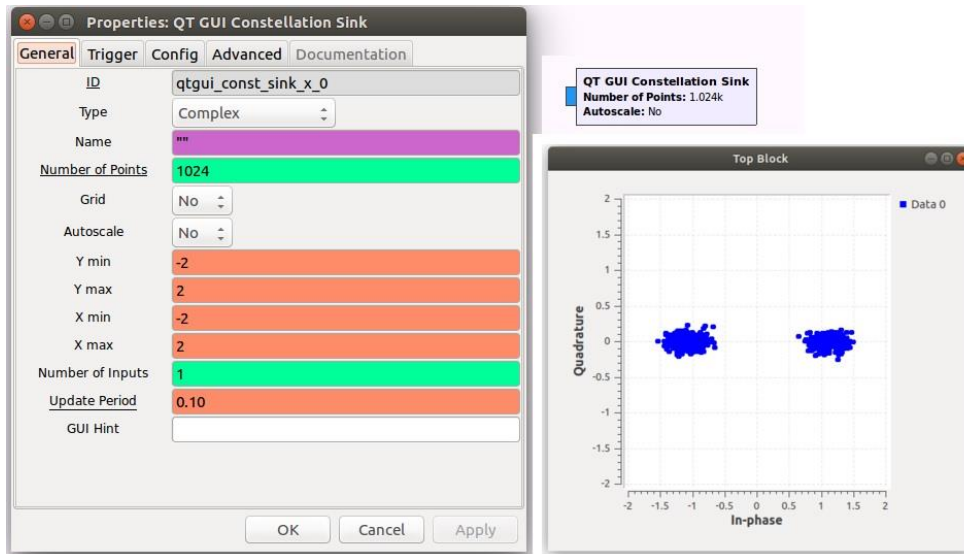
Como se mencionó previamente GNU Radio es el paquete de procesamiento de señales que se utilizará a lo largo de esta investigación, se presentaran los bloques más utilizados en este programa y sus componentes principales.

#### 3.1. Clasificación de bloques

Existe una gran cantidad de bloques que son clasificados por categoría y pueden ser utilizados para diferentes tareas en GNU Radio, GNU Radio cuenta con dos tipos de instrumentación al momento de trabajar estas son QT y WX, estas fueron herramientas que los creadores de GNU Radio crearon por medio de C++ y Python en los inicios del programa, hoy en día las herramientas tipo WX están descontinuadas en GNU Radio y por tal razón se mostrará únicamente herramientas QT al igual que los bloques más utilizados de este tipo y sus configuraciones.

- Instrumentación
  - QT Constellation sink: es un graficador receptor que muestra la constelación de múltiples señales o algún mensaje, no se puede mostrar señales y mensajes al mismo tiempo, solamente puede mostrar señales complejas, se puede cambiar la resolución de la gráfica por medio de la opción "number of points" siendo este número siempre una potencia de 2, las demás opciones son auto explicativas.

Figura 46. QT GUI Constellation Sink

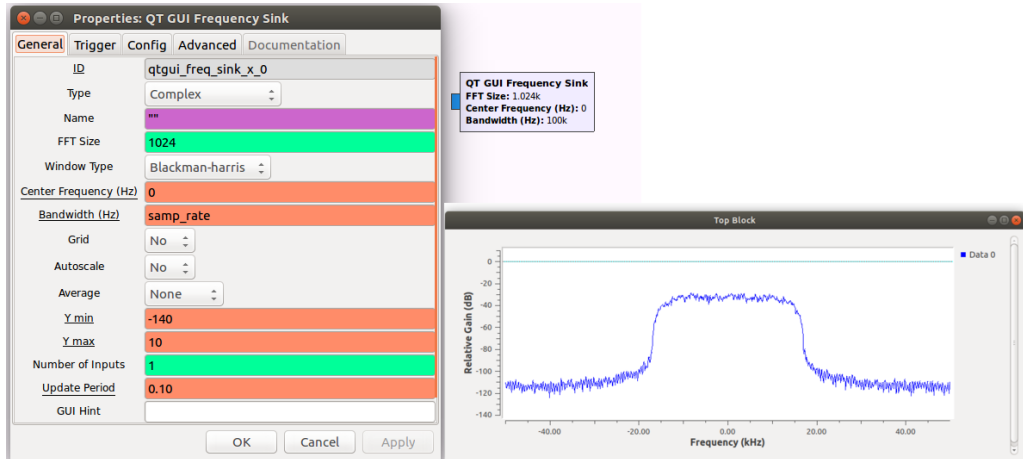


Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

- QT Frecuency sink: este bloque grafica señales en el dominio de la frecuencia generando la densidad espectral de potencia, se puede indicar el tamaño del vector de la transformada de Fourier de la señal a utilizar, el ancho de banda de la señal debe ser indicado al igual que la frecuencia central a tomar, también se puede especificar otra “ventana” para graficar, una ventana permite recolectar más información pero depende de qué proceso se quiera realizar, se dejará el valor de *default* en esta investigación.



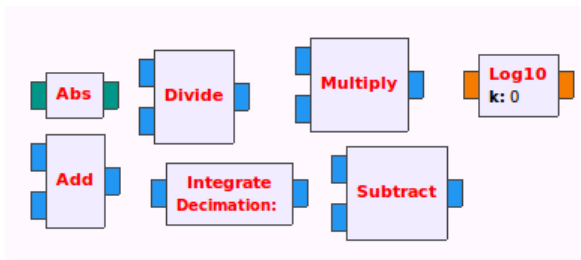
Figura 47. QT GUI Frequency Sink



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

- Operadores matemáticos: GNU Radio cuenta con diversos bloques que permiten realizar operaciones en cualquier señal que se desee, estos no cuentan con muchas configuraciones más que elegir cuantas entradas se tomara, tamaño del vector de salida y decimación. Decimación es simplemente una división por un factor.

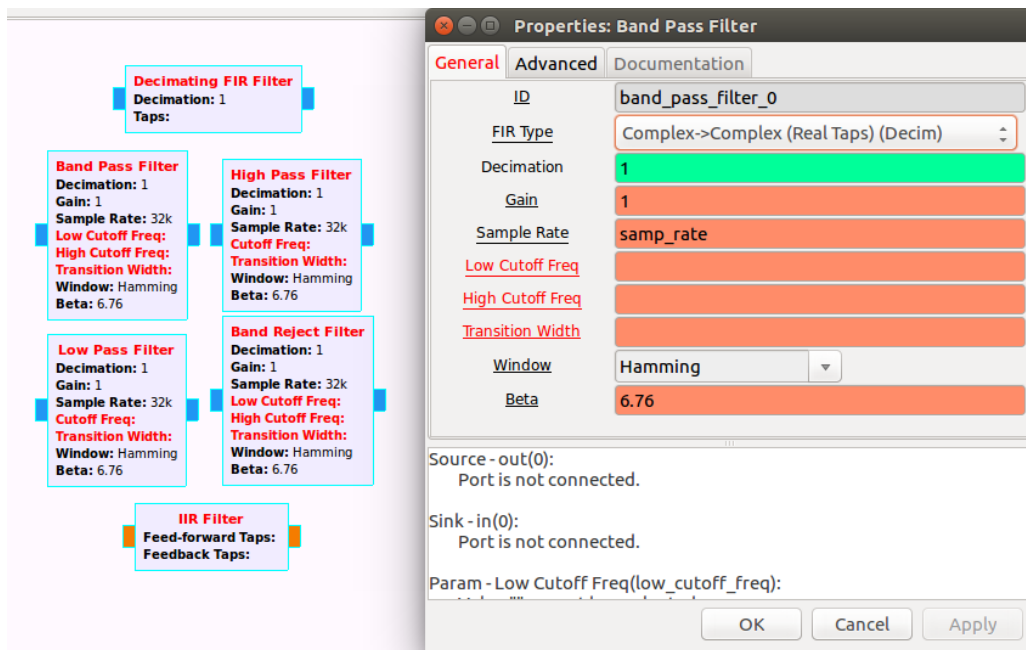
Figura 48. Operadores matemáticos



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

- Filtros: se cuenta con una gran variedad de filtros en el programa incluyendo filtros FIR y IIR, la mayoría de los filtros son del tipo FIR y se puede especificar de qué tipo de dato será la entrada del filtro (Complejo de color azul, *float* de color naranja), al igual que especificar qué tipo de dato será la salida, siempre se deberá especificar la ganancia del filtro al igual la frecuencia de muestras que tomará.

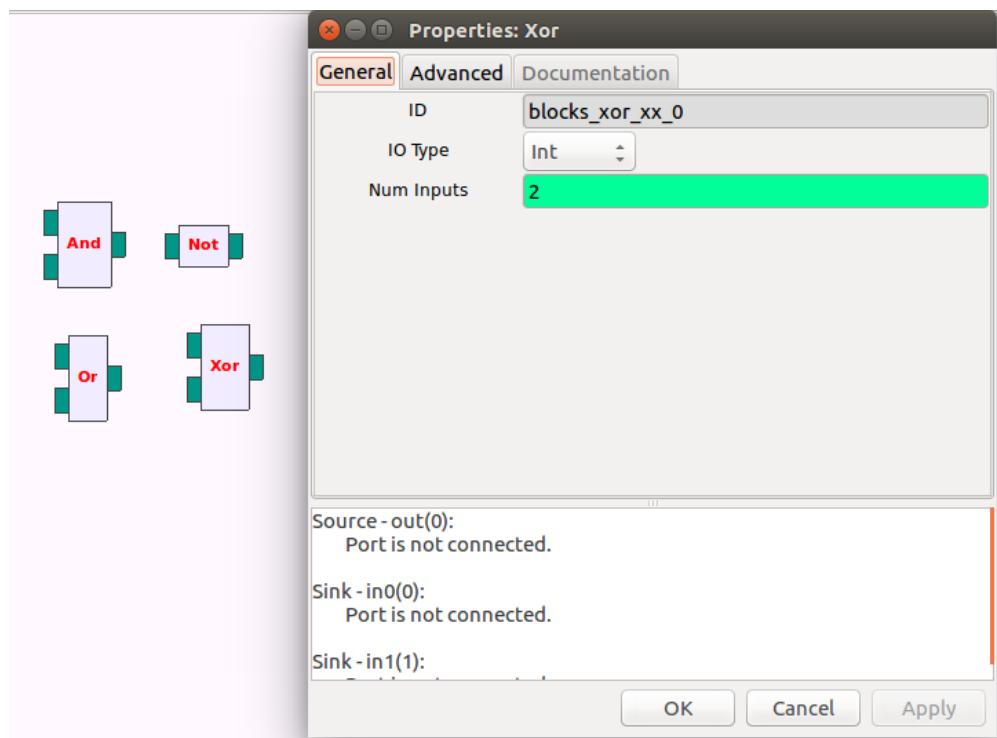
Figura 49. Filtros en GNU Radio



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

- Operadores booleanos: son operadores que permiten conectar de forma lógica señales de manera que se pueda ampliar, limitar o definir alguna salida específica dependiendo de las señales de entrada, en GNU Radio son útiles en el caso que se requiera invertir una señal, cambiar la forma a una señal o realizar alguna tarea específica, la configuración de estos bloques es simple, pudiendo modificar que tipo de entrada serán tanto las entradas y las salidas y la cantidad de entradas a aceptar.

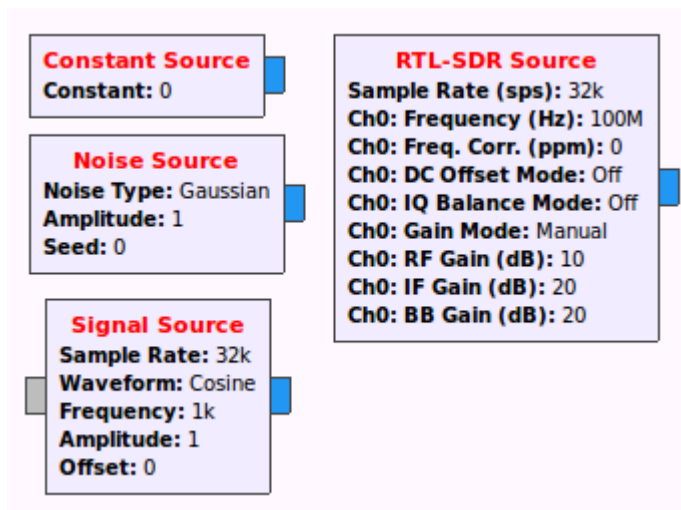
Figura 50. Operadores booleanos en GNU Radio



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

- Generadores de señal: estos son los elementos que en la mayoría de casos inician el diagrama de bloques de un programa, pueden ser generadores constantes en los que un vector con valor constante siempre será constante, se puede generar ruido y especificar qué tipo de ruido se quiere generar, se puede crear una señal senoidal, cosenoidal, cuadrada, triangular o de diente de sierra, pero en este caso se utilizará el bloque diseñado para el RTL2832U principalmente.

Figura 51. **Generadores de señal en GNU Radio**

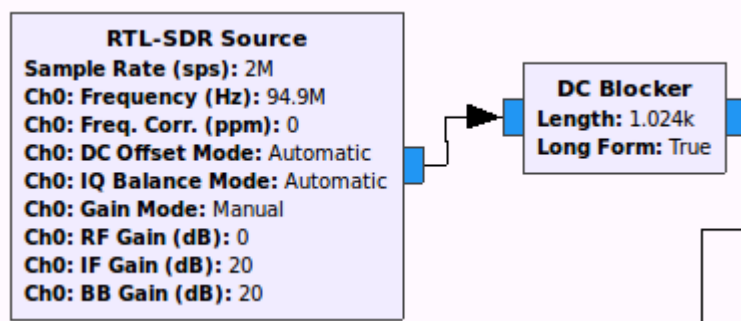


Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

### 3.2. Receptor de FM

Se empezará con un programa que introduce las bases de GNU Radio de una manera simple de entender, se revisara los bloques que componen un receptor de FM. Conforme se avanzará no se revisitará bloques vistos previamente.

Figura 52. RTL-SDR y bloqueador DC



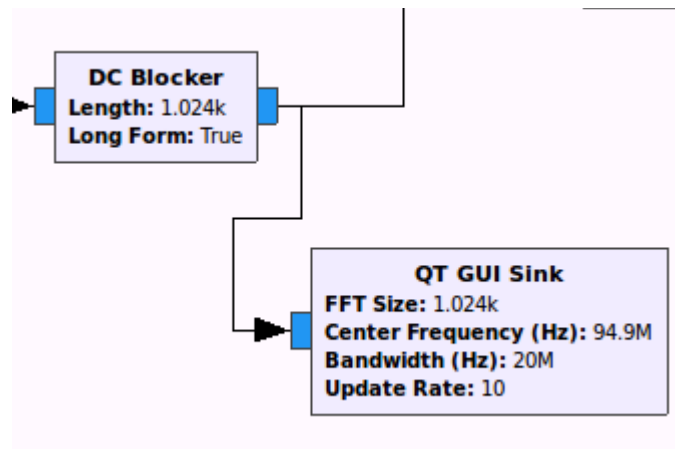
Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Primero se utilizará el bloque del RTL2832U con la frecuencia de muestreo indicada previamente, la frecuencia que el bloque captara es controlada por la variable denominada frecuencias, esta variable representa las estaciones de radio que se encuentran en la Ciudad De Guatemala y permitirá cambiar de estación sin tener que volver a configurar este bloque.

La ganancia RF es utilizada para eliminar ruido y así resaltar la frecuencia deseada un poco más, se pondrá este valor en cero porque no es necesario, debido a que estas estaciones no cuentan con mucho ruido.

La ganancia IF y BB proporcionan ganancia a las frecuencias de banda base inferior y superior respectivamente, los valores por defecto para el RTL2832U son 20 para ambas ganancias, estas frecuencias son demoduladas y salen hacia un bloque que elimina la componente de corriente directa (DC) de las señales, se utilizará una tasa de muestro de 2 millones de muestras por segundo.

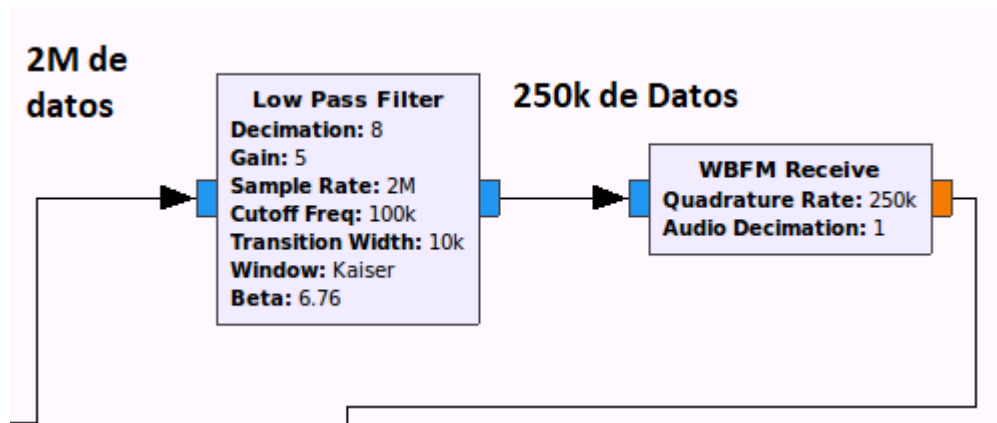
Figura 53. **Bloqueador DC y QT GUI Sink**



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Se utilizará un QT Sink para poder visualizar la señal FM de la estación que se escuche, se utilizará 20 MHz para visualizar como las estaciones se encuentran separadas una a otra, las estaciones de radio se encuentran separadas por 400KHz una respecto a otra.

Figura 54. Filtrado y conversión a audio



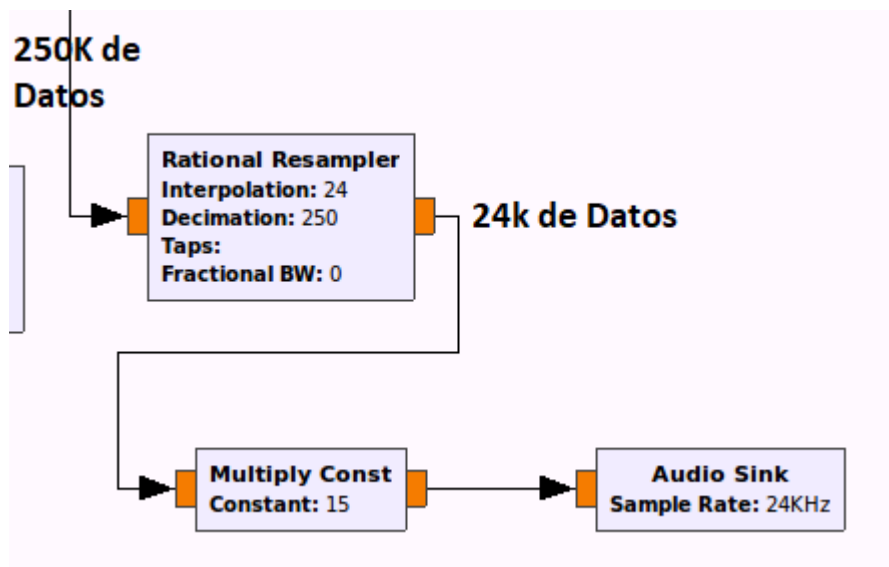
Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

La clave para entender cualquier diagrama de flujo en GNU Radio es comprender con cuántos datos se están trabajando, La salida del bloqueador DC deja con 2 millones de datos, y para un receptor de FM no se necesita trabajar con tanta información, así que, reducir la cantidad de datos permitirá reducir la carga computacional sin reducir la calidad del sonido, el proceso de reducir la cantidad de muestras se conoce como remuestreo (*Decimation*), con el filtro pasa bajo se realizará un remuestreo con 8, es decir, se está dividiendo la cantidad original de datos por este factor resultando en 250 mil datos.

Luego se indica una ganancia de 5 para incrementar la amplitud de la señal, se tiene una frecuencia de corte de 100 KHz, esto se debe a que para reconstruir el audio de alguna estación FM no es necesario trabajar con mayor parte de la señal, los demás parámetros del filtro se pueden dejar es sus valores de defecto.

El receptor WBFM es el bloque encargado de demodular la señal FM y convertir la en una señal de audio, por esta razón se puede observar el cambio de colores, azul a naranja esto quiere decir, datos complejos a datos decimales, este bloque, también permite realizar otro remuestreo, pero no será necesario en esta etapa.

Figura 55. Remuestreo con decimal y reproducción de sonido



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Se demodula la señal FM con 250K de datos, pero ahora se tiene que reproducir esta cantidad en las bocinas de la computadora, entre más datos se utilicen mayor será la fidelidad de audio, pero existen estándares para la reproducción en bocinas.

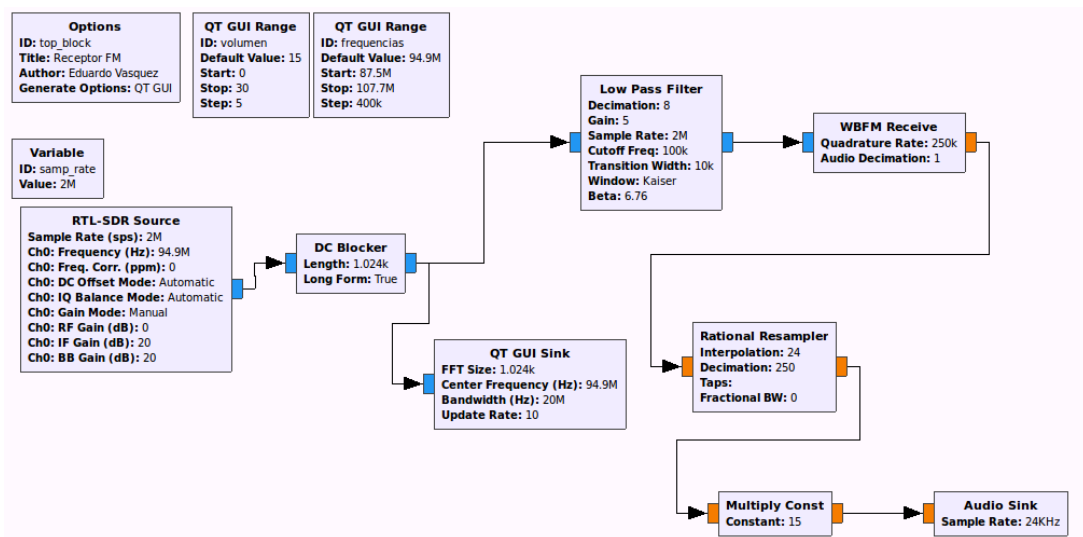
Escuchar audio a una frecuencia de muestreo mayor a 44.1KHz no mejorará el audio en una cantidad significativa, por esta razón siempre se reducirá la frecuencia de muestreo para reducir aún más la carga computacional, en este



caso se cambia la frecuencia de muestreo de 250K de datos a 24K de datos, para esto se utiliza un *Rational Resampler* que es el equivalente de multiplicar la frecuencia de muestro por un número decimal siendo este de valor *Interpolation/Decimation*.

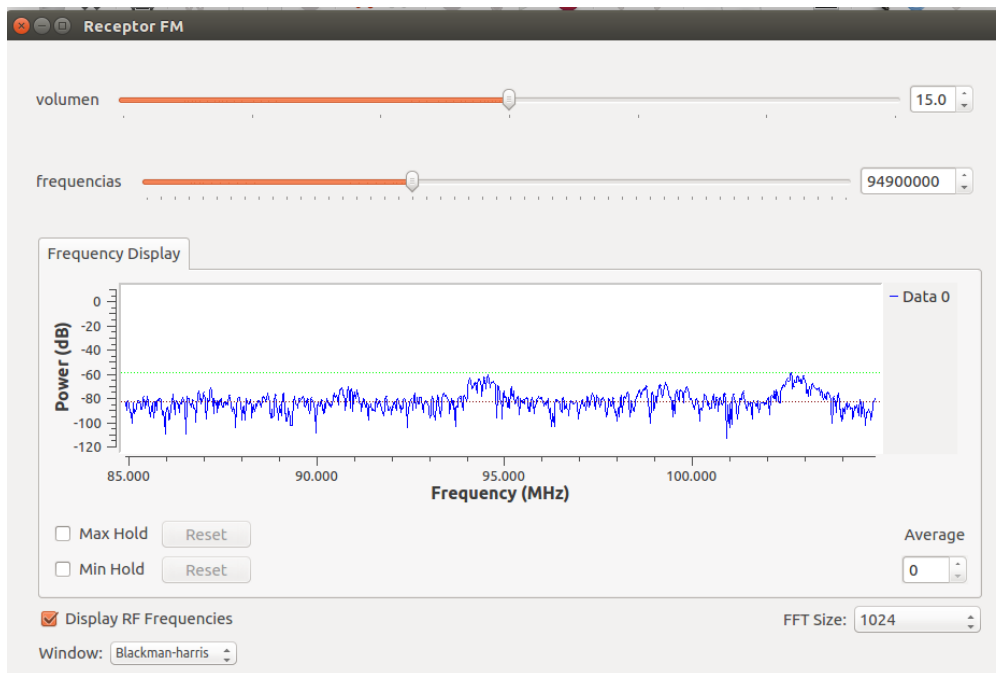
En este caso interpolación simplemente es multiplicar para obtener más datos, al realizar este remuestro racional se tiene 24k de datos que serán multiplicados por una constante que actuara como el volumen del receptor, luego se utiliza un *audio sink* para reproducir el audio en las bocinas, este bloque permite muestreos de 16KHz, 22.05KHz, 24KHz, 32KHz 44.1KHz y 48KHz por defecto porque la mayoría de archivos de audio están muestreados con estos rangos.

Figura 56. Diagrama de receptor FM



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Figura 57. **Receptor FM**



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

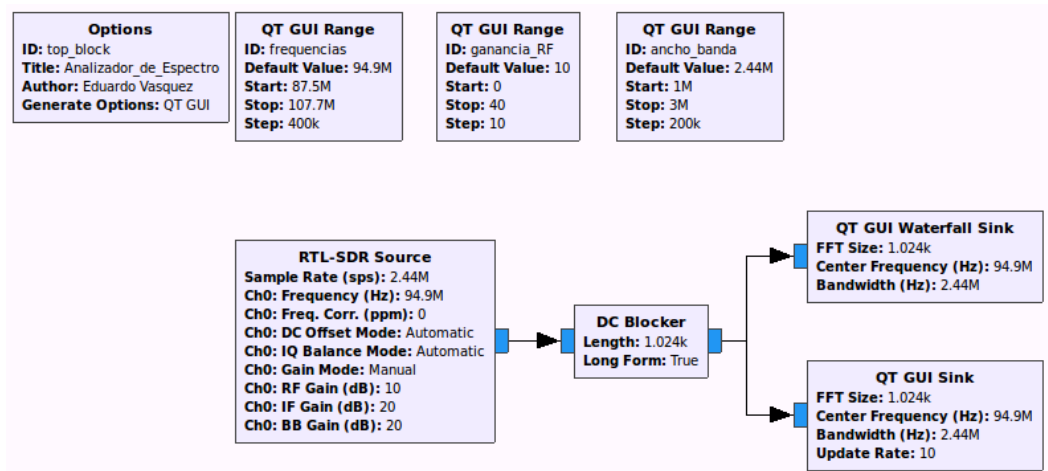
Una vez se cuenta con todos los parámetros se puede ejecutar el programa y escuchar cualquier estación de radio que sea de interés, los picos observados en la imagen son las estaciones de radio con mejor señal. Observar los parámetros de una señal es importante en el ámbito de las telecomunicaciones y será el próximo ejemplo.

### 3.3. **Analizador de espectro**

Usualmente un analizador de espectro convencional suele tener un precio elevado, estos incluyen herramientas especializadas que un estudiante o radioaficionado no utilice en sus proyectos, para ello se presenta un simple

analizador de espectro que cumple con las herramientas básicas que se pueden necesitar al momento de analizar una señal.

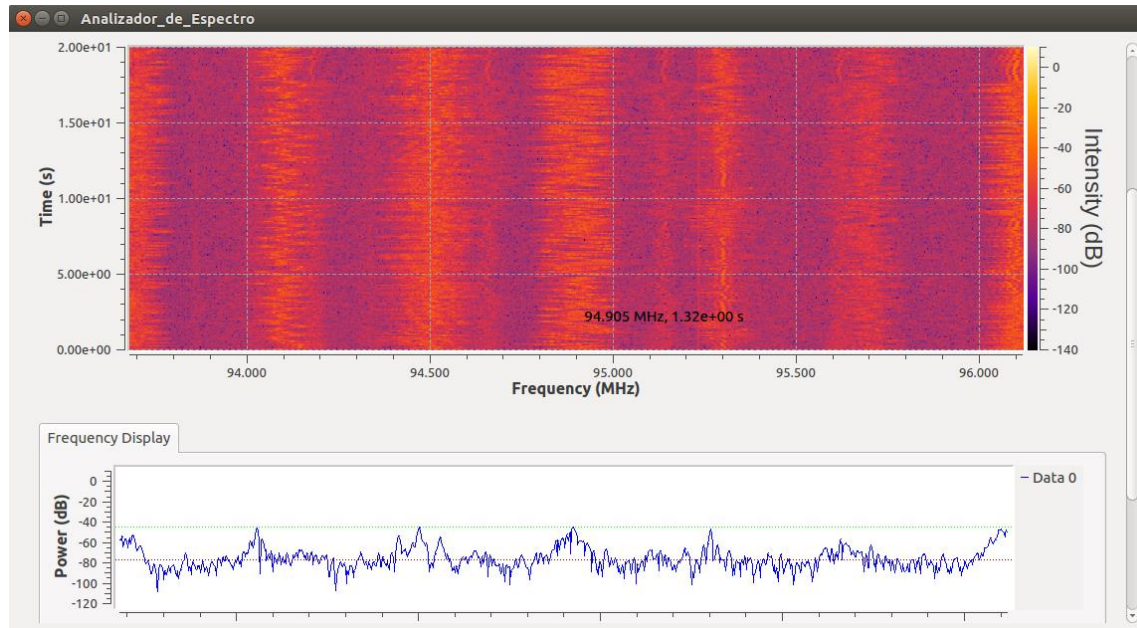
Figura 58. Diagrama analizador de espectro



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

El analizador cuenta con tres variables “frecuencias” para seleccionar alguna frecuencia específica en este caso alguna estación de radio, “ganancia\_RF” para controlar la ganancia del filtrado de ruido, “ancho\_banda” permite elegir cuanto ancho de banda se estará visualizando en el analizador, el bloque del RTL2832U se le eligió una tasa de muestreo de 2.44 millones de muestras por segundo, esto se eligió por ser la mayor tasa de muestreo que el receptor SDR puede trabajar establemente. Se utiliza un *QT GUI Waterfall Sink* para visualizar las señales en un espectrograma y en paralelo se coloca un *QT GUI Sink* para visualizar las señales en el espectro de la frecuencia, ambos bloques tendrán su frecuencia central controlada por la variable “frecuencias” y su ancho de banda controlado por “ancho\_banda” sus demás parámetros se dejarán por defecto.

Figura 59. Analizador de espectro



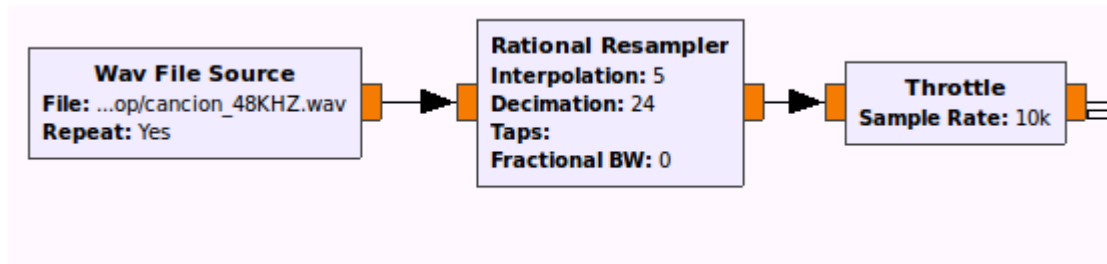
Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Ejecutando el diagrama se obtiene el analizador de espectro, este cumple con las necesidades básicas para observar el comportamiento de las señales que se deseen, si se desea agregar opciones específicas se puede realizar esto en el bloque *QT GUI Sink*.

### 3.4. Transmisor y receptor FSK

Las técnicas de modulación vistas previamente son importantes porque permiten enviar mensajes a larga distancia reduciendo el impacto del ruido sobre la señal de una gran manera, se mostrará cómo implementar un transmisor y receptor FSK simulado digitalmente y se mostrará lo sencillo que es volver un diagrama transmisor simulado en un transmisor real.

Figura 60. Fuente digital, remuestreo y limitador

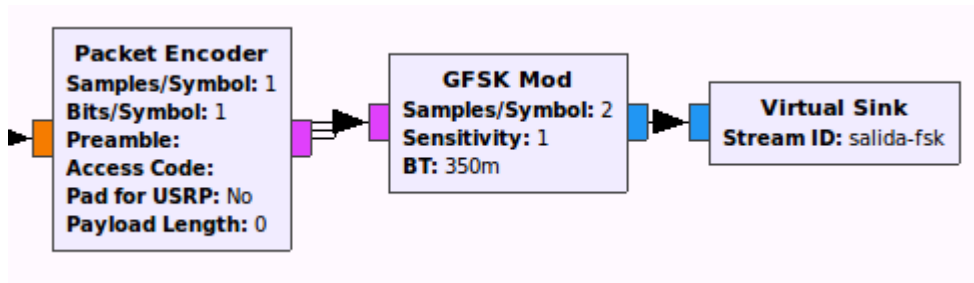


Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Con el transmisor se enviará una canción que está muestreada a 48K muestras por segundo, GNU Radio puede enviar datos de archivos sin importar que formato tengan utilizando el bloque llamado *File Source* en este caso se utilizará el bloque *Wav File Source* este se diferencia con que toma únicamente archivos en formato *wav* y los envía en formato *float*.

Como el archivo de audio está muestreado a 48KHz se puede remuestrear para reducir la carga computacional y en este caso se dejará en 10KHz luego se utiliza un bloque *Throttle* el cual es un limitador de muestras, cuando se utilizan fuentes digitales pueden ocurrir errores donde la señal a trabajar sobrepasa el valor de muestras que se desean, el bloque limitador se encarga que la señal no se pase del valor indicado, en este caso 10KHz.

Figura 61. Modulación y envío FSK

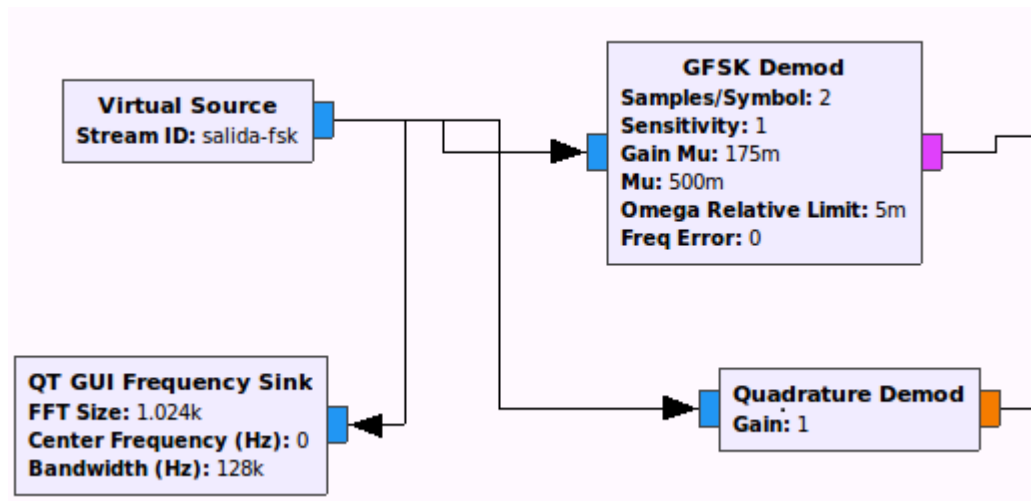


Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Luego se utiliza por primera vez el bloque *Packet Encoder* este toma la señal que se modulara y toma los valores recibidos y los pone en paquetes de *bits* para que puedan ser procesados luego, este bloque cuenta con una opción llamada *Access Code* que permite introducir un código binario que actuará como una contraseña para los paquetes generados brindando seguridad a los mensajes que se quieran enviar.

Para encontrar el valor "*Samples/Symbol*" simplemente se toman las muestras que se tienen y se dividen por el número de símbolos que utilizará la transmisión, en este ejemplo 5000 símbolos, algo importante a notar es que cada símbolo tendrá una frecuencia única que no se puede especificar con el bloque *GFSK Mod*, esto debido a que especificar una frecuencia específica por cada símbolo puede ser tedioso y en esta situación el bloque se encarga de asignarle una frecuencia a cada símbolo, luego como se está simulando el transmisor utilizará un *Virtual Sink* que estará encargado de sacar la señal por medio de una variable.

Figura 62. Demoduladores FSK



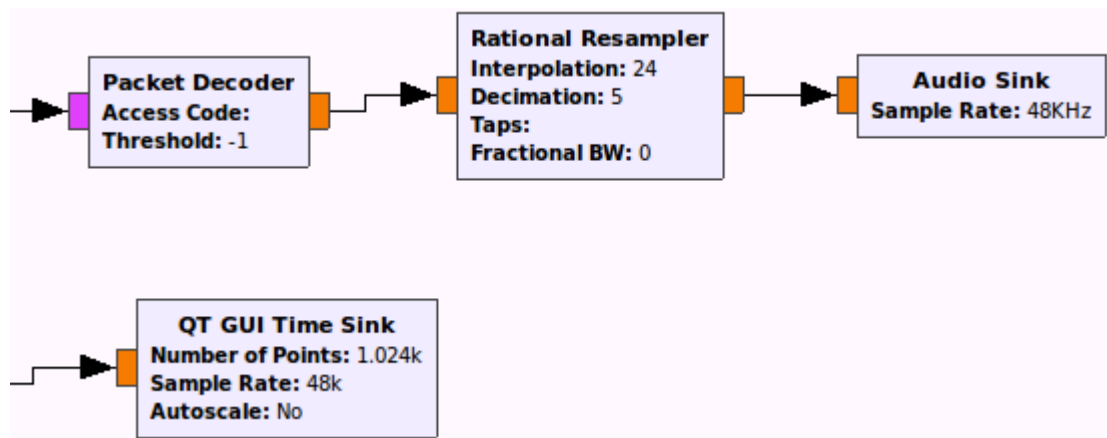
Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Para recibir la señal simulada se utiliza un bloque denominado *Virtual Source*, la señal recibida se mirará con un bloque *QT Frequency Sink* y luego se encuentran con los demoduladores FSK de GNU Radio, el programa cuenta con dos bloques que pueden demodular señales FSK, el primero es el bloque *Quadrature Demod* este demodula su entrada en relación con la frecuencia de muestreo que detecte utilizando la ganancia dada, este bloque puede ser utilizado para señales FM, FSK y GMSK, la salida dada por este no son los símbolos que fueron enviados y para poder decodificar el mensaje FSK se debe utilizar un bloque denominado *Clock Recovery MM* en conjunto al bloque *Quadrature Demod*.

El siguiente bloque utilizado para demodular señales FSK es el *GFSK Demod* que es una unión de los bloques vistos previamente y es más sencillo de utilizar porque solo se necesita saber las muestras por símbolo para encontrar los símbolos enviados. Cuenta con opciones para reducir errores, por ejemplo, la

opción *Freq Error* puede ser utilizada en caso se sepa la probabilidad de error de *bits* en la transmisión, la opción *Omega* es un límite de cuantas muestras por símbolo máximos serán permitidas, *Mu* indica el retraso que la señal a recibir pueda tener. La opción *Gain Mu* indica que tanto será corregida la señal encaso tenga atraso y la opción *Sensitivity* es la ganancia del bloque *Quadrature Demod* que se encuentra dentro del *GFSK Demod*.

Figura 63. Desempaquetado y remuestreo FSK

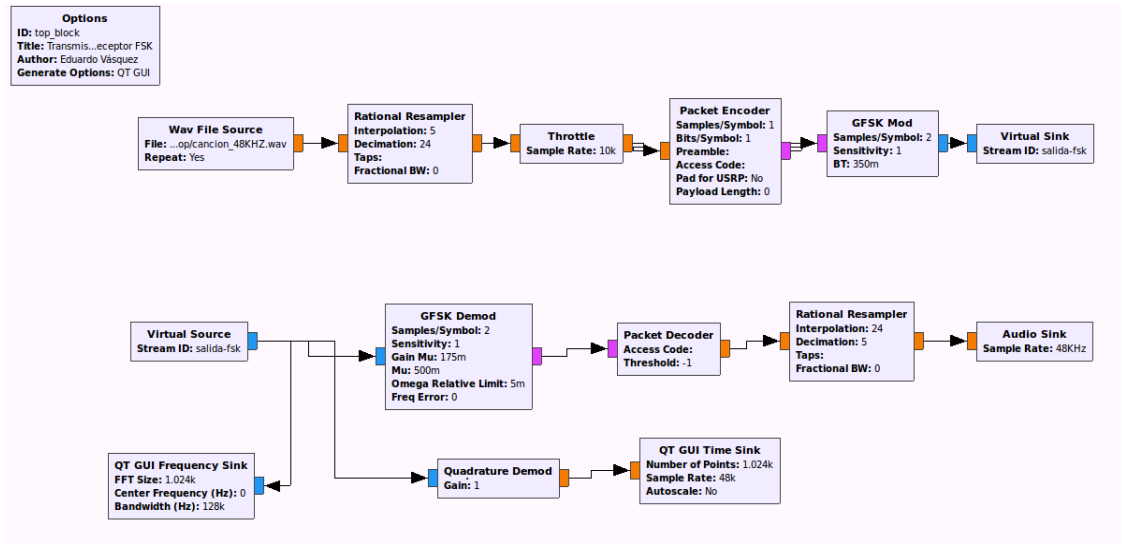


Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

La etapa final del receptor FSK empieza con un bloque denominado *Packet Decoder* este bloque toma el conjunto de paquetes de *bytes* que recibe y une los *bits* para que luego sean remuestreados a 48KHz y se pueda escuchar el audio enviado de una manera clara, se utilizó un *QT GUI Time Sink* después del *Quadrature Mod* para poder visualizar la señal modulada en FSK.

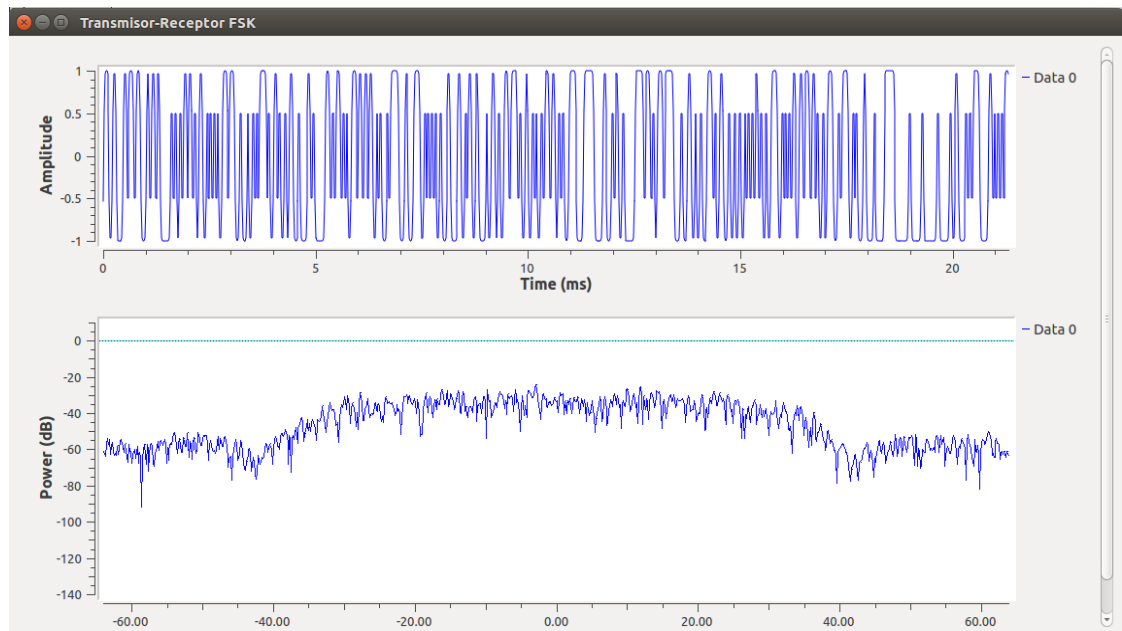


Figura 64. Diagrama transmisor y receptor FSK



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Figura 65. Transmisión y recepción de señal FSK



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

El diagrama de flujo mostrado anteriormente es considerado una simulación porque nunca se utiliza algún emisor y receptor para enviar la señal de información, en el caso que se cuente con un emisor como el HackRF One se pueden reemplazar el bloque *Virtual Sink* por un bloque *Osmocom Sink* esto permitiría utilizar el HackRF One como transmisor, el bloque *Virtual Source* puede ser reemplazado por el bloque *RTL-SDR Source* para recibir las señales con el RTL2832U, un detalle muy importante al utilizar receptores es siempre utilizar las bandas de radiofrecuencia para la radioafición, en este caso se pudo haber utilizado las frecuencias de 144 MHz a 148 MHz.

En Guatemala, algo importante es que dependiendo de cuanta distancia, ganancia y tiempo se utilice, el transmisor determinará si se debe aplicar a una licencia de radioaficionado, si se planea utilizar el transmisor FSK por un tiempo fijo, a larga distancia y con una ganancia alta se deberá que aplicar a una licencia de radioaficionado con La Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala.

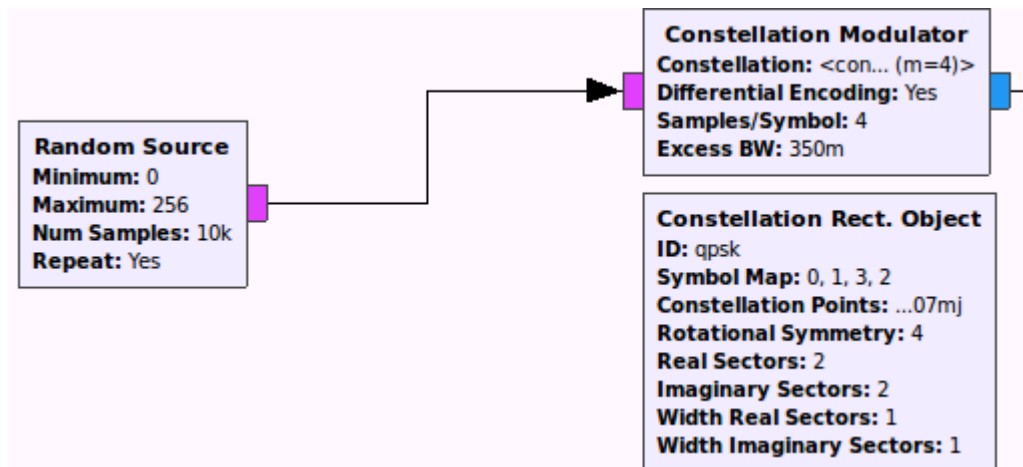
### **3.5. Modulación QPSK, ruido y corrección**

Siempre que se emita una señal esta será afectada por ruido, el ruido es una señal aleatoria que puede destruir la señal que se trata de enviar, esta señal puede ser generada por diversas causas como otras señales electromagnéticas en el ambiente, obstáculos en el camino de la señal o los componentes internos del receptor.

Si se tratara de trabajar con una señal que fue afectada por ruido es posible que algunos valores sean confundidos y se obtenga información errónea, por esta razón es importante saber cómo filtrar ruido para poder reconstruir la señal,

se mostrará cómo generar una señal QPSK con ruido y se mirará como reconstruir la misma señal con la menor cantidad de ruido.

Figura 66. **Modulación QPSK**



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Primero se utilizará un generador aleatorio como fuente de datos para la modulación, estos serán números aleatorios con un rango de 0 a 255, cuando se utiliza el generador aleatorio el valor *Maximum*, siempre deberá ser una unidad mayor del valor máximo deseado, se utilizará este rango para que la señal utilice el rango de 8 *bits* que equivale a un byte.

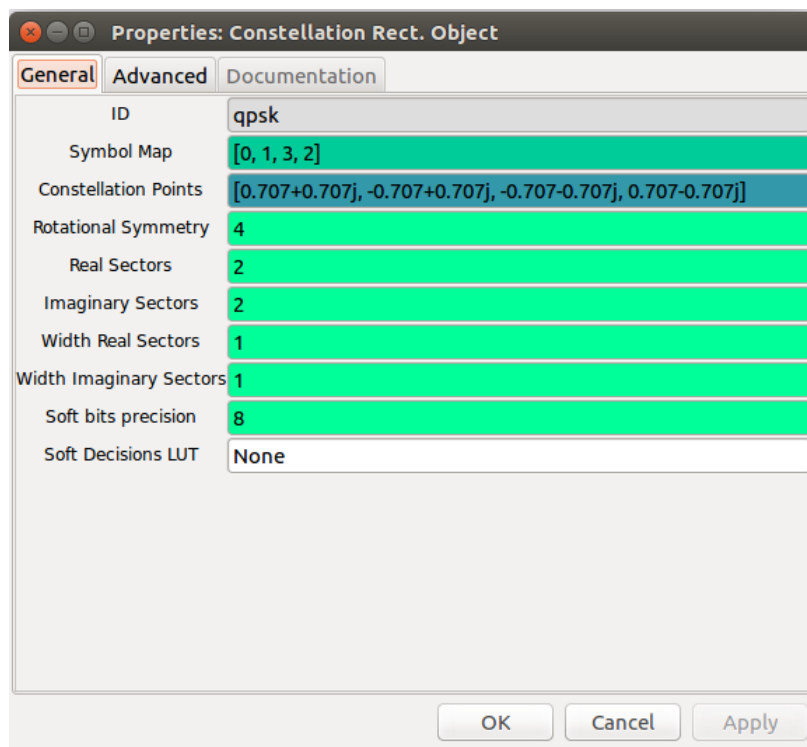
El formato de salida *bytes* tiene el color morado, el parámetro *Num Samples* indica cuantos *bytes* se utilizan que en este caso será 10k, se indica al bloque que repita la secuencia aleatoria para tener una señal constante.

Esta señal entrará a un modulador de constelación, este bloque puede ser utilizado para generar señales PSK o QAM, para especificar que modulación se utilizará siempre se deberá poner una constante *Constellation Rect. Object* en el

parámetro *Constellation*, se mirará más información de esta variable más adelante, el parámetro *Differential Enconding* indica si se utilizará codificación diferencial, esta codificación se utiliza cuando el emisor y receptor no tienen relojes sincronizados.

Lo que sucede es que el emisor realizará la operación XOR del *bit* a enviar junto a la señal enviada previamente, el receptor realizará el XOR entre la señal recibida y la señal recibida previamente, de esta manera se logra sincronizar el emisor y el receptor, luego se indica las muestras por símbolo y el parámetro de *Excess BW* indica el ancho de banda que el filtro interior del modulador tendrá.

Figura 67. **Parámetros constantes Constellation Rect. Object**



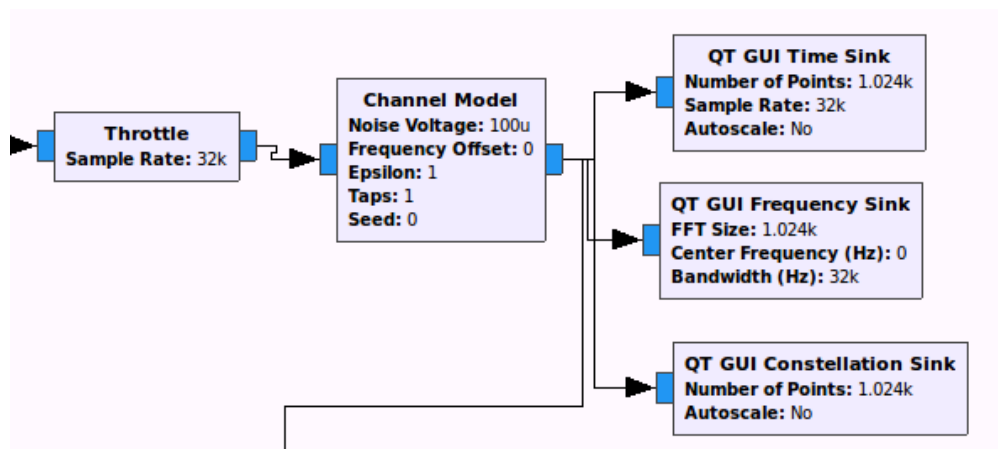
Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

El primer parámetro es la lista *Symbol Map* esta le asigna una numeración a cada uno de los puntos asignados en la lista *Constellation Points*, para QPSK solo se necesita cuatro puntos los cuales se encuentran en el plano complejo y son los indicados.

El parámetro *Rotational Symmetry* indica cuantas rotaciones que se darán para los símbolos, en este caso cuatro, los parámetros *Real Sectors* y *Imaginary Sectors* indican cuantos ejes reales e imaginarios serán utilizados, el valor es de dos para ambos parámetros porque se considerarán valores positivos y negativos.

Los parámetros *Width Real Sectors* y *Width Imaginary* indican la longitud de cada sector en el plano de referencia de la constelación, se puede dejar con valor uno en esta ocasión, el parámetro *Soft bits precisión* indica la precisión que se utilizará en la salida, en este caso ocho *bits* de precisión para tener un *byte* de salida.

Figura 68. Simulación de ruido



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

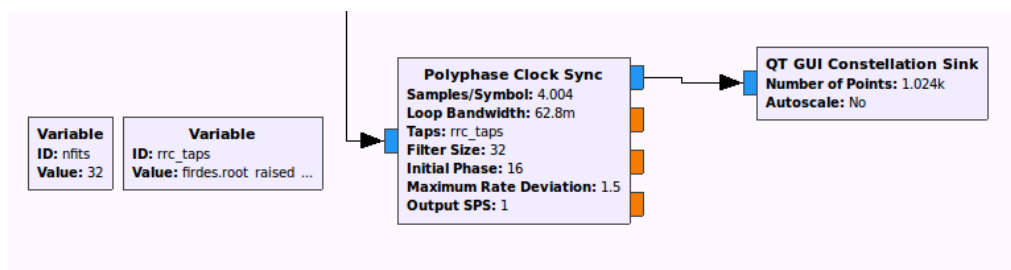
Se utilizará un *Throttle* para controlar las muestras de la señal y se agrega un bloque *Channel Model*, este bloque es utilizado para agregar ruido a la señal de entrada, el parámetro *Noise Voltage* permite ajustar el voltaje del ruido a agregar, en este caso se utilizan cien microvolts para no afectar la señal totalmente.

El parámetro *Frequency Offset* permite simular un retraso en frecuencia para simular el retraso que se encuentra a veces en receptores reales, el parámetro *Epsilon* puede ser utilizado para crear un retraso en muestreo, en este caso el valor de uno indica que no se utilizará este retraso.

Algunos receptores siempre cuentan con un filtro FIR para reducir el ruido que se recibe, el parámetro *Taps* permite simular un retraso en este filtro, si se utiliza el valor de uno se indica que no se utilizará este retraso.

Algunos generadores de ruido son identificados por su semilla, si se quisiera utilizar un generador en específico solo se deberá que especificar el valor en el parámetro *Seed*, en este caso no se utilizará. De último se utiliza *Sinks* para visualizar la señal con ruido.

Figura 69. **Corrección de ruido**



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

La última etapa será la corrección de la señal con ruido, el bloque que servirá para esta corrección es el *Polyphasae Clock Sync*, después de esta variable se utiliza un *Sink* para visualizar la señal sin ruido.

Primero se observa las variables que son utilizadas para esta corrección, la variable *nfits* indica la cantidad de filtros que se utilizan para eliminar el ruido, en este caso 32 filtros.

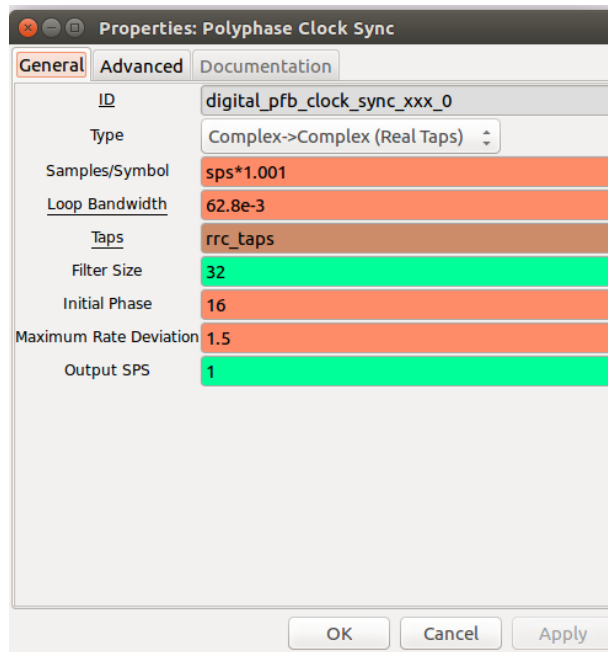
La variable *rrc\_taps* tiene un valor específico para GNU Radio que se mostrará más adelante, a continuación, se mostrarán los parámetros del bloque *Polyphasae Clock Sync*.

Figura 70. Valor de *rrc\_taps*

<u>ID</u>	<code>rrc_taps</code>
<u>Value</u>	<code>firdes.root_raised_cosine(nfits,nfits,1.0/float(sps),excess_bw, 11*sps*nfits)</code>

Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Figura 71. **Parámetros Polyphase Clock Sync**



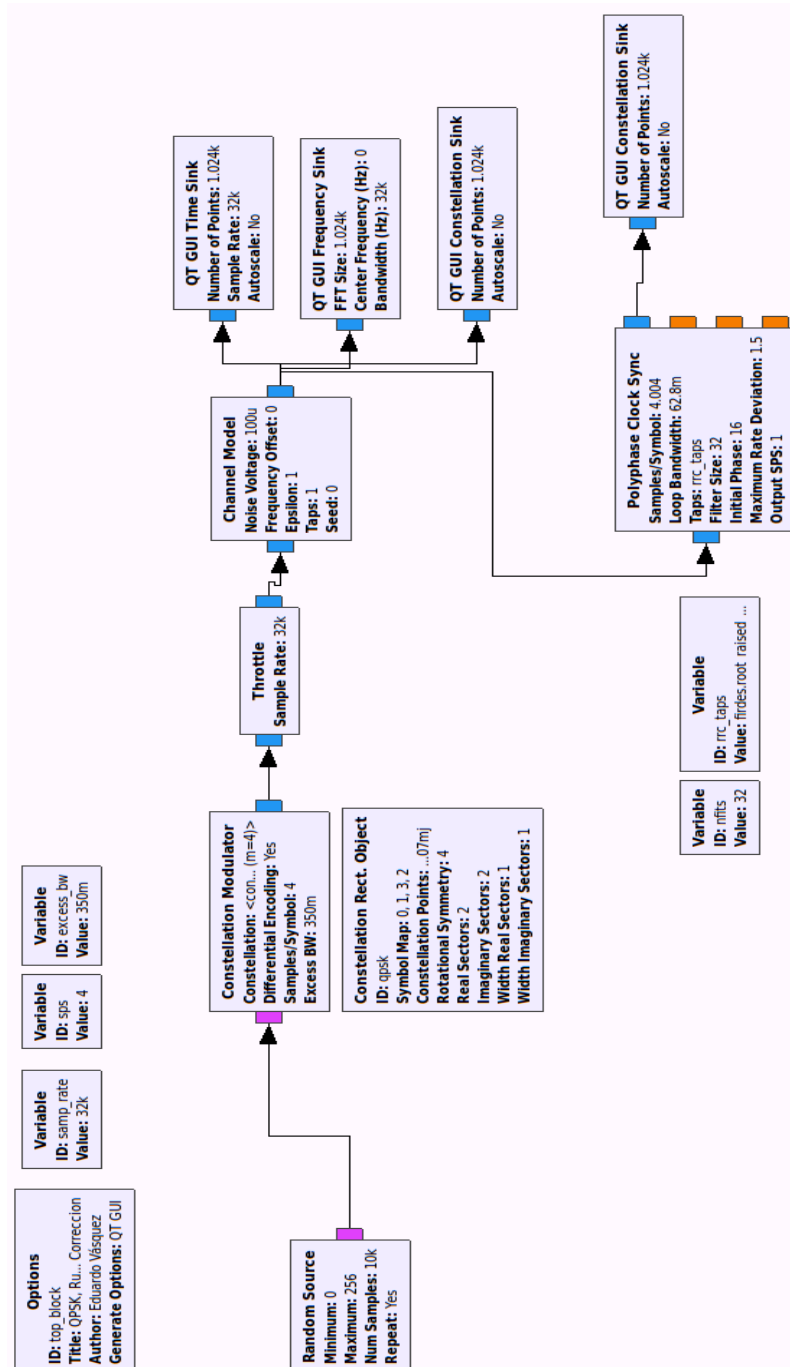
Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Se debe incrementar el parámetro *Samples/Symbol* por un valor pequeño para realizar la corrección, el parámetro *Loop Bandwidth* indica la ganancia que el bloque utilizará en su proceso, el parámetro *Taps* indica la cantidad de memoria que se empleará para el bloque y también indica la cantidad de operaciones que los filtros necesitarán hacer para eliminar el ruido.

El parámetro *Filter Size* indica cuantos filtros se utilizarán, el parámetro *Initial Phase* indica con que fase inicial el filtro trabajara, se puede dejar en cero, pero en esta ocasión se empezara con 16. *Maximum Rate Deviation* indica que tanto se permitirá que los filtros se alejen del valor inicial al estimar el valor correcto, el parámetro *Output SPS* indica cuantas muestras por símbolo tendrá la salida, en este caso se eligió el valor de uno.

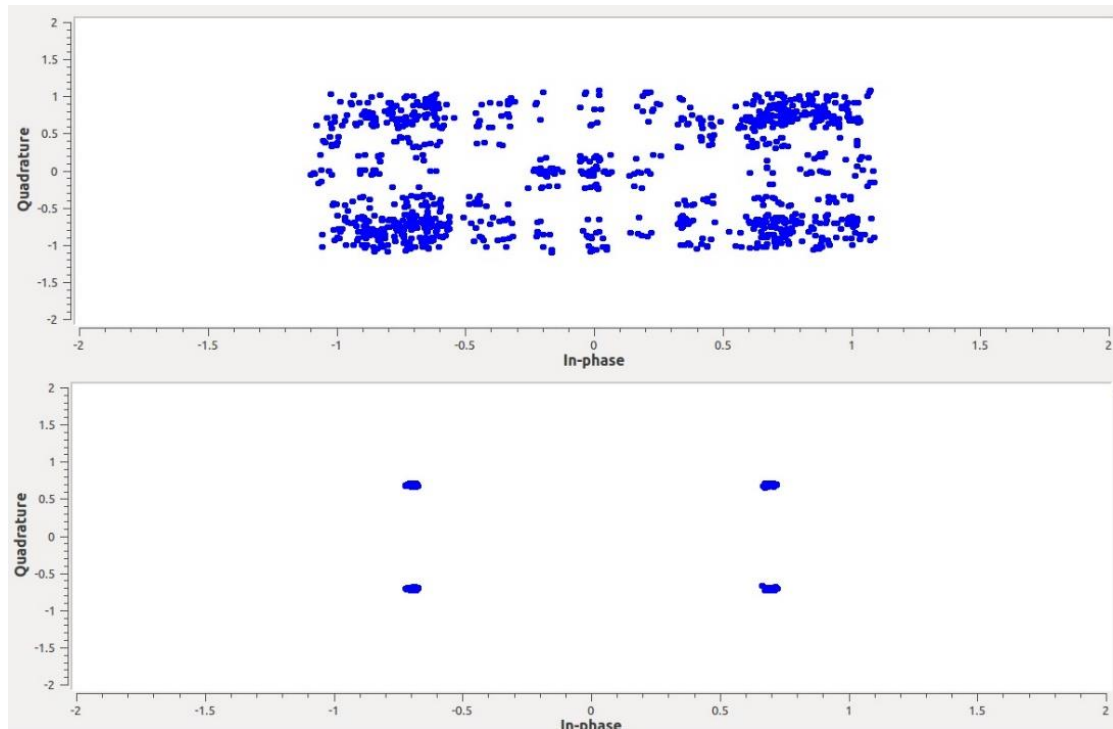


Figura 72. Diagrama de modulación QPSK y corrección de ruido



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 202

Figura 73. Señal QPSK con ruido y sin ruido



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Como se puede observar se logró eliminar el ruido de la señal casi por completo, de esta manera se puede reducir ruido que se reciba en señales QPSK que se procesen, este filtrado también puede ser aplicado para señales QAM, con la condición de que las variables sean adaptadas a este tipo de modulación al igual que el modulador *Constellation Modulator*.

### 3.6. Bloques de terceros y receptor de ISDB-t

Una gran ventaja que tiene GNU Radio al ser un programa basado en Python es que se pueden instalar bloques creados por otros usuarios o compañías en conjunto a los bloques que ya son parte del programa, en este

ejemplo se observa el uso de bloques personalizados para recibir una señal ISDB-t creados por la Universidad de la República de Uruguay.

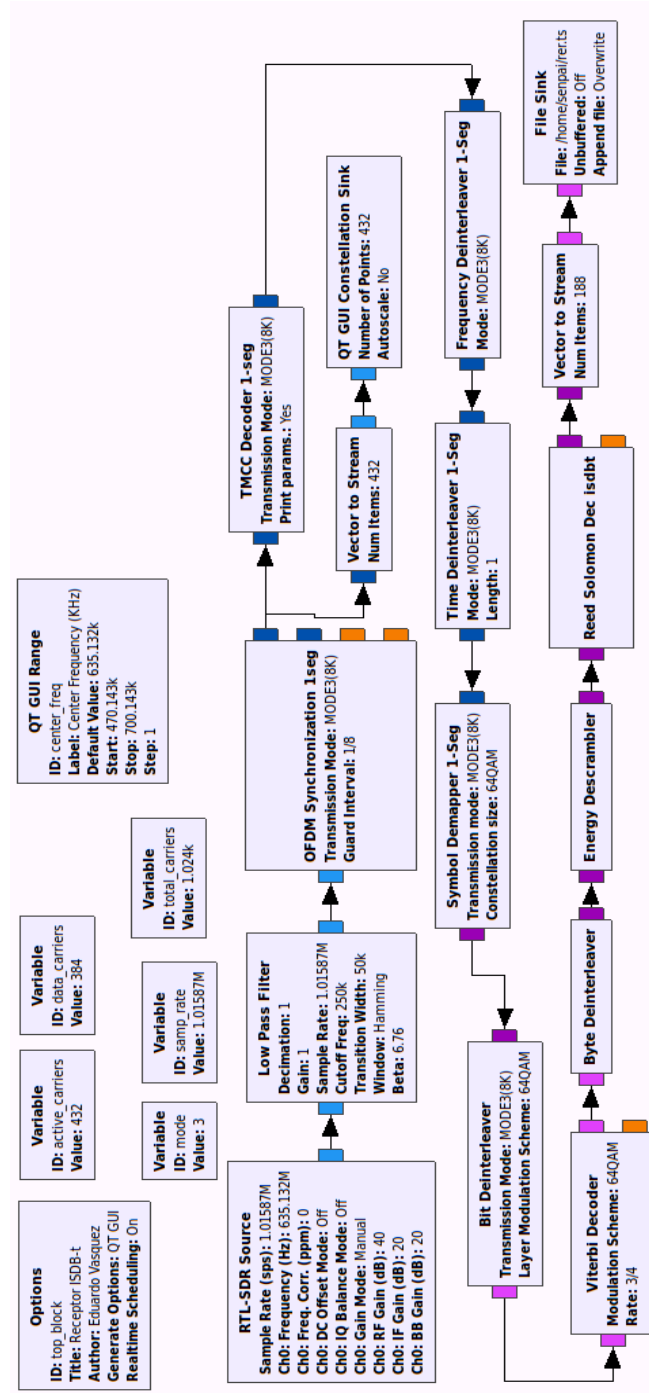
ISDB-t es un estándar para la transmisión de televisión digital en el aire, es utilizado en Japón, Brasil, Argentina, Uruguay y diversos países en Latinoamérica particularmente Guatemala, en Guatemala se creó una iniciativa para dejar la televisión analógica y que se utilice únicamente televisión digital para el 2022.

En la realidad actual únicamente existen dos canales digitales ISDB-t en la Ciudad de Guatemala, Canal 3 y el canal del Congreso de la República de Guatemala.

ISDB-t se conforma por 13 segmentos que unidos forman un ancho de banda de 6 MHz, cada uno de estos segmentos individualmente tiene un ancho de 428.57 KHz, 12 de estos bloques son utilizados para televisión HDTV y el segmento central es utilizado para enviar una señal QPSK.

Se muestra como el segmento central del canal del Congreso de la República de Guatemala, conocido como canal 9 por la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala, envía una señal 64QAM.

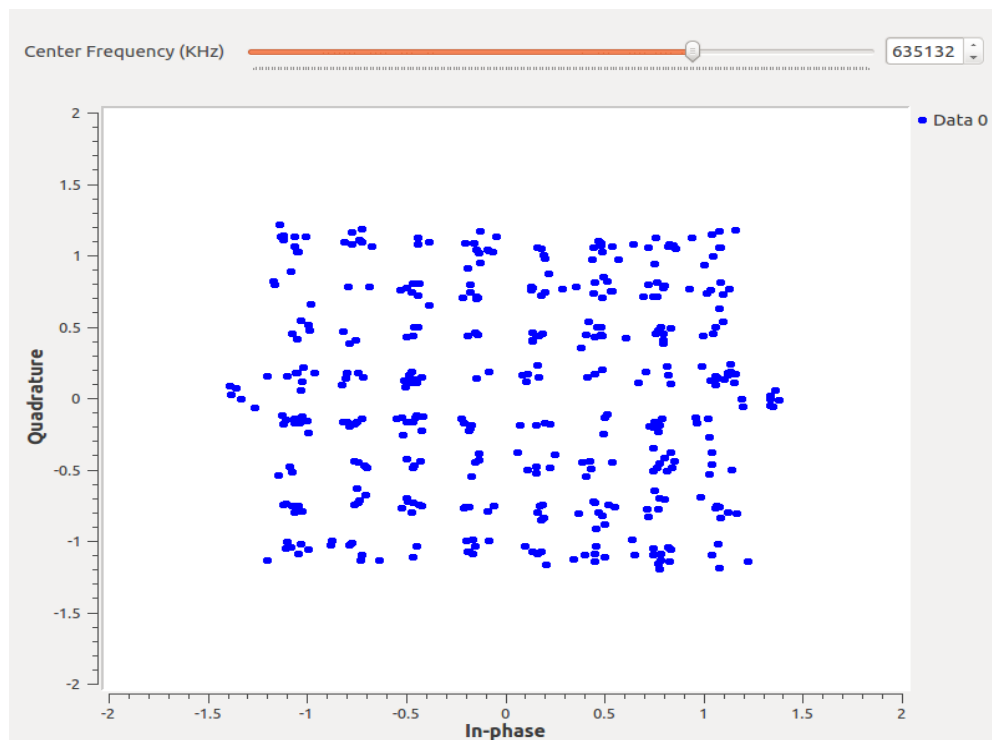
Figura 74. Diagrama receptor ISDB-t



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Primero se utiliza el receptor RTL2832U con los parámetros indicados seguido de un filtro pasa bajo que reducirá la cantidad de muestras a utilizar, luego aparece el primer bloque personalizado llamado *OFDM Synchronization 1seg* es el bloque que permite sincronizar la información multiplexada en frecuencia del segmento central de la señal ISDB-t, el bloque *TMCC Decoder 1-seg* permite decodificar la información y los bloques *Frequency Deinterleaver 1-Seg* y *Time Deinterleaver 1-Seg* permiten sincronizar la señal en tiempo y en frecuencia, los demás bloques son necesarios siempre para poder guardar la señal recibida por medio del bloque File Sink y sus parámetros dependen de que señal se esté recibiendo, en este caso la señal del canal 9 es una señal 64QAM con una razón de  $\frac{3}{4}$ .

Figura 75. Señal 64QAM del segmento central ISDB-t



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Se observa la constelación resultante del canal 9, algo que se debe considerar es que en otros países el segmento central no contiene una señal 64QAM sino una señal QPSK, a esto se le conoce ISDB-t 1seg, este es utilizado para ver televisión en dispositivos con poca energía como celulares.

Si se contara con ISDB-t 1 seg en Guatemala con este diagrama se podría visualizar el canal 9 con menor calidad de video, en cambio sí se deseara visualizar el canal 9 con este diagrama se necesitaría un receptor que pueda manejar 6 millones de muestras por segundo como el HackRF One, con esto se captaría la información de todos los segmentos, porque el RTL2832U solo puede manejar 2.54 millones de muestras por segundo.

## 4. DECODIFICADOR DE SEÑALES SATELITALES

En este capítulo se observará como GNU Radio puede ser utilizado para tareas complejas como lo es recibir una señal de un satélite y decodificar la información recibida, se utilizarán datos de un satélite en el espacio por medio de GNU Radio y se decodificara esta información para obtener una imagen tomada en el espacio, se empieza observando cómo se comunican los satélites a la tierra y que bloques serán necesarios para poder realizar la decodificación.

### 4.1. Satélites artificiales

Los satélites artificiales son utilizados alrededor del mundo para facilitar la comunicación global, se les conoce como artificiales para distinguirlos de satélites naturales como la luna y existen dos tipos de satélites artificiales, satélites amateurs y satélites privados, los satélites amateurs se caracterizan por utilizar bandas de radio aficionado y reciben el acrónimo OSCAR (*Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio*).

Estos satélites utilizan protocolos de transmisión abiertos y la señal que transmiten puede ser recibida por cualquier persona, existe una organización mundial llamada AMSAT (*Radio Amateur Satellite Corporation*), encargada de promover el lanzamiento de satélites amateur alrededor del mundo, los satélites privados utilizan protocolos únicos que únicamente la compañía que lanzo el satélite conoce de esta manera es imposible decodificar la información de estos satélites.

#### **4.1.1. Parámetros**

Existen 4 parámetros importantes en un satélite, la frecuencia que utilizan, la modulación que utilizan para transmitir, la codificación que utilizan para la información y la distancia del receptor respecto al satélite, la mayoría de satélites utilizan frecuencias en la banda de UHF, los satélites que son enviados a escanear planetas en el sistema solar utilizan el rango de SHF, la modulación de satélites amateurs suele ser FSK, AFSK y BPSK, la distancia de los satélites es importante porque conforme pasan los años los satélites pierden altitud hasta el punto que regresan a la tierra, esta es la razón por la cual enviar satélites al espacio es costoso al igual que la crisis actual de basura espacial.

#### **4.2. Gr-Satellites**

Gr-Satellites permitirá la decodificación de satélites amateur de una manera intuitiva y eficaz por medio del módulo SDR, se presenta la historia, utilización y parámetros básicos de la librería de uso libre.

##### **4.2.1. Historia**

Gr-Satellites es una colección de módulos para GNU Radio que contiene diversos decodificadores para satélites amateur, inicio en el 2015 con el objetivo de brindar una colección completa de decodificadores para todos los satélites que transmiten en las bandas de radio amateur. Utiliza protocolos populares como AX.25, AO-40 y diversos protocolos “ad-hoc” utilizados por otros satélites.

Los módulos de Gr-Satellites pueden decodificar, demodular, realizar detección de error y corrección entre otras diversas tareas, esto vuelve estos



módulos muy valiosos al tener que utilizar menos bloques para poder procesar la información, las ventanas decodificadas pueden ser guardadas en algún archivo, mostradas en formato hex, formato JPEG e incluso audio.

La principal ventaja de utilizar Gr-satellites es que los bloques que lo componen pueden ser unidos para formar decodificadores más complejos y únicos, cuando se lanza un satélite al espacio es demasiado costoso realizar un decodificador único que será utilizado por un satélite únicamente que será destruido años después, Gr-satellites permite poder crear decodificadores con bloques creados previamente con la única condición que si se trabajara en la banda de amateur se indique las frecuencias se utilizarán y cómo será el decodificador final para apoyar a la comunidad y añadir así un nuevo decodificador a la librería ya que esta es open-source.

#### 4.2.2. Instalación, uso y bloques

Instalar Gr-Sattelites es muy sencillo si se cuenta con Ubuntu 20.10 o mayor, lo único que se necesita es tener GNU-Radio instalado y luego utilizar el siguiente comando.

Figura 76. **Instalación Gr-Sattelites**

```
$ sudo add-apt-repository ppa:daniestevez/gr-satellites
$ sudo apt-get update

$ sudo apt-get install gr-satellites
```

Fuente: Gr-Satellites. *Installing from the Ubuntu PPA*. [https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/installation\\_ppa.html](https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/installation_ppa.html). Consulta: 20 de junio de 2021.

Una vez se tiene Gr-Satellites instalado este puede ser utilizado de dos maneras, desde la línea de comandos de Linux o por medio de los bloques que fueron instalados en GNU-Radio, se utilizará los bloques instalados por simplicidad, pero se muestra a continuación el uso de Gr-Satellites desde la línea de comandos de Linux.

Figura 77. **Gr-Satellites en la línea de comandos de Linux**



```
kong@kong:~$ gr_satellites
usage: gr_satellites satellite [-h] [--version] [--list_satellites]
                                [--ignore_unknown_args]
                                (--wavfile WAVFILE | --rawfile RAWFILE | --rawint
16 RAWINT16 | --audio [DEVICE] | --udp | --kiss_in KISS_IN)
                                [--samp_rate SAMP_RATE] [--udp_ip UDP_IP]
                                [--udp_port UDP_PORT] [--iq] [--udp_raw]
                                [--input_gain INPUT_GAIN]
                                [--start_time START_TIME] [--throttle]
                                [--kiss_out KISS_OUT] [--kiss_append]
                                [--kiss_server [PORT]]
                                [--kiss_server_address KISS_SERVER_ADDRESS]
                                [--zmq_pub [ADDRESS]] [--hexdump]
                                [--dump_path DUMP_PATH]
kong@kong:~$
```

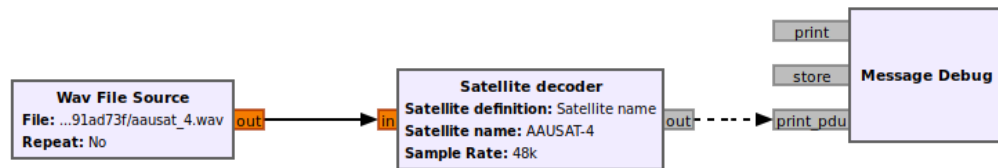
Fuente: elaboración propia, empleando captura de pantalla.

Algo importante a mencionar es que en la línea de comandos Gr-Satellites no puede utilizar algún RTL-SDR en tiempo real, si se desea decodificar alguna información en la terminal, se deberá utilizar alguno de los siguientes formatos: *wav*, *raw file*, *udp* en tiempo real o audio proveniente de la tarjeta de audio de la computadora, siempre se deberá identificar la tasa de muestreo.

Los bloques decodificadores de la librería incorporan todas las opciones que se encuentran en la terminal de una manera sencilla y fácil de comprender, de esta manera es posible crear decodificadores más complejos y nuevos, a

continuación, se muestra un ejemplo de una simple decodificación que despliega información del mensaje grabado.

Figura 78. **Decodificación de datos del satélite AAUSAT-4**



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

El bloque *Satellite decoder* permite elegir un satélite soportado por Gr-Satellites en específico de tres maneras por medio del parámetro *Satellite Definition*, utilizando el nombre del satélite y luego escribiéndolo en el parámetro *Satellite name*, utilizando el código NORAD ID (*North American Aerospace Defense Identification Number*), este es un número de 9 dígitos que identifica todos los lanzados a órbita desde la tierra o se puede utilizar un archivo YAML que contenga todos los parámetros del satélite.

### 4.3. Decodificador

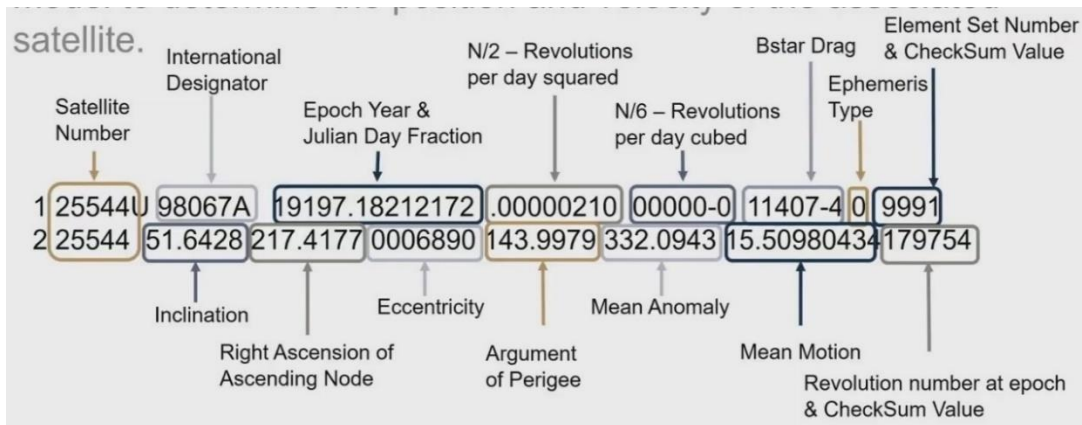
Se creará el decodificador para la obtención de la imagen satelital, se deben considerar diversos parámetros al momento de obtener los datos en el receptor SDR, se presentan estos parámetros.

### 4.3.1. Localización de satélite

Si se desea capturar algún satélite amateur es importante saber dónde se encuentra el satélite en específico ya que debido a la rotación de la tierra estos satélites solo se encuentran por tiempos limitados en el área, o incluso nunca pasaran sobre el usuario debido a la órbita en que fueron instalados.

La métrica más importante para determinar la localización de un satélite es conocida como TLE (*two-line element*), este es un formato de datos utilizado para describir los elementos que se encuentran en órbita alrededor de la tierra en un determinado tiempo y es utilizado para estimar a donde se encontrarán después.

Figura 79. Partes del formato TLE



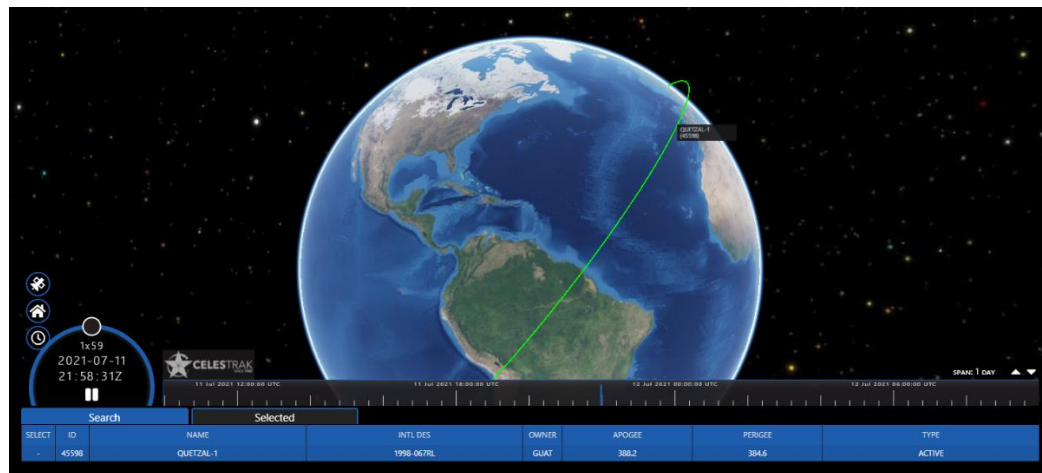
Fuente: AGI. *STK Tip: TLE Overview*. <https://www.agi.com/resources/videos/stk-tip-tle-overview>.

Consulta: 11 de julio de 2021.

Este formato consiste de dos líneas de datos que contienen 69 caracteres cada una, las cuales pueden ser utilizadas con el modelo orbital NORAD SGP4/SDP4 para determinar la posición y velocidad del satélite, antes para visualizar en que parte del mundo se encontraba el satélite se necesitaba utilizar programas

instalados en una computadora, estos programas son por regular avanzados y no amigables para el usuario, afortunadamente actualmente existe una manera más amigable de obtener estos datos.

Figura 80. **Órbita del satélite QUETZAL-1 al momento de captura**



Fuente: CELESTRAK. *Orbit visualization*. <https://celestrak.com/cesium/orbit-viz.php?tle=/pub/TLE/catalog.txt&satcat=/pub/satcat.txt&referenceFrame=1>. Consulta: 11 de julio de 2021.

Celestak es una página web gratuita que permite visualizar las orbitas actuales de satélites en el espacio ya sean amateur o privados como la red de satélites Starlink que brindaran internet a todo el mundo, no necesita tener alguna instalación en la computadora, otra ventaja de esta página es que indica si el satélite que interesa está activo o fuera de servicio, también la página muestra los desechos espaciales en órbita. Los satélites pueden ser buscados por medio de su nombre o su código NORAD, en la imagen se observa el satélite QUETZAL-1, este fue lanzado en el año 2020.

### 4.3.2. Adquisición de datos

Obtener datos satelitales puede sonar intimidante pero realmente no es un proceso complicado, solo dos factores importantes pueden afectar la recepción correcta de información, primero es la frecuencia con la que esté operando el satélite porque esta determinará qué tipo de antena se necesitará utilizar para la recepción, segundo es el lugar donde se encuentran, porque dependiendo de la ubicación solo se tendrá una cantidad de satélites disponibles.

Una vez se determine qué frecuencia y que satélites se encuentran en alcance se podrá empezar a recibir información de una manera muy sencilla, se utilizará el programa Gqrx para recibir información satelital, este programa es *open-source* y puede ser utilizado con el receptor RTL2832U.

Algo importante a mencionar es que cada satélite puede enviar diferentes tipos de información, algunos satélites envían imágenes o datos comprimidos que son fáciles de recibir mientras que otros satélites envían archivos RAW, estos son archivos que contienen la mayor calidad posible ya que no son comprimidos y en el caso de imágenes, son archivos de muy alta definición, el inconveniente de este tipo de archivos es que son muy pesados y vuelve su recepción más compleja porque se necesitará recibir más datos que un archivo comprimido y un archivo comprimido puede ser enviado más veces que un archivo RAW.

Otro aspecto que se debe considerar es que la mayoría de los satélites amateur no realiza transmisiones a cada momento, esto se debe para poder prolongar la vida del satélite, entonces el envío de información se realiza en determinados periodos de tiempo.

Para realizar recepción al utilizar el RTL2832U se utilizará las antenas que incluye para formar una antena V invertida, esta antena es muy similar a un dipolo con la diferencia que ambos lados apuntarán hacia el suelo formando una “V” boca abajo y la longitud de cada lado dependerá de la frecuencia a operar, el cálculo matemático para determinar la longitud de cada lado puede ser tedioso al hacerlo cada vez que se quiera realizar una recepción con una nueva frecuencia, así que, para determinar la longitud de cada lado se puede utilizar un calculador de antena V invertida en internet, se escogió esta configuración por ser la mejor para recepción satelital.

Figura 81. **Antena dipolo V invertida**



Fuente: elaboración propia.

Para capturar información se conectará el receptor en la computadora y se debe abrir Gqrx este preguntará a que tasa de muestreo se trabajará para recepción, se utilizará 48000 kHz para el receptor RTL2832U luego se debe introducir la frecuencia del satélite a capturar, las configuraciones restantes son todas iguales para cualquier satélite amateur, la opción *Filter width* y *Filter shape*

se dejan en “Normal”, la opción *Mode* se deja en “Narrow FM” luego se selecciona los tres puntos a la derecha para elegir más opciones y en la opción *Max dev* se dejará en “APT (17 kHz)”, la opción *Tau* se dejará en “off”, la siguiente opción *AGC* también se dejará en “off”, la opción *Squelch* se dejará en “-150 dB” y no se seleccionara los botones A y R, tampoco se seleccionará ningún *Noise blanker*.

En el seleccionador *Gain* se debe elegir “-25 dB”, en la parte inferior derecha del programa aparecen tres opciones, *Mute*, *UDP* y *Rec*, *Mute* silencia a la señal, la opción *UDP* inicia o termina la transmisión en vivo de la señal por medio del protocolo UDP la dirección IP que utiliza Gr-Satellites por defecto es la 127.0.0.1 por medio del puerto 7355 y finalmente la opción *Rec* inicia o termina la grabación en formato *wav* de la información, los tres puntos que se encuentran a la par de estas tres opciones permiten cambiar la dirección y puerto de la transmisión UDP.

Si se quiere verificar los datos recibidos en Gqrx se puede utilizar la terminal de Linux en conjunto a la opción UDP de Gqrx para verificar estos datos en tiempo real, el comando a utilizar deberá tener el nombre del satélite y la tasa de muestreo a manejar como se muestra a continuación.

Figura 82. **Comando para comprobar datos**

```
kong@kong-Satel:~$ gr_satellites MIR-SAT1 --udp --samp_rate 48000
```

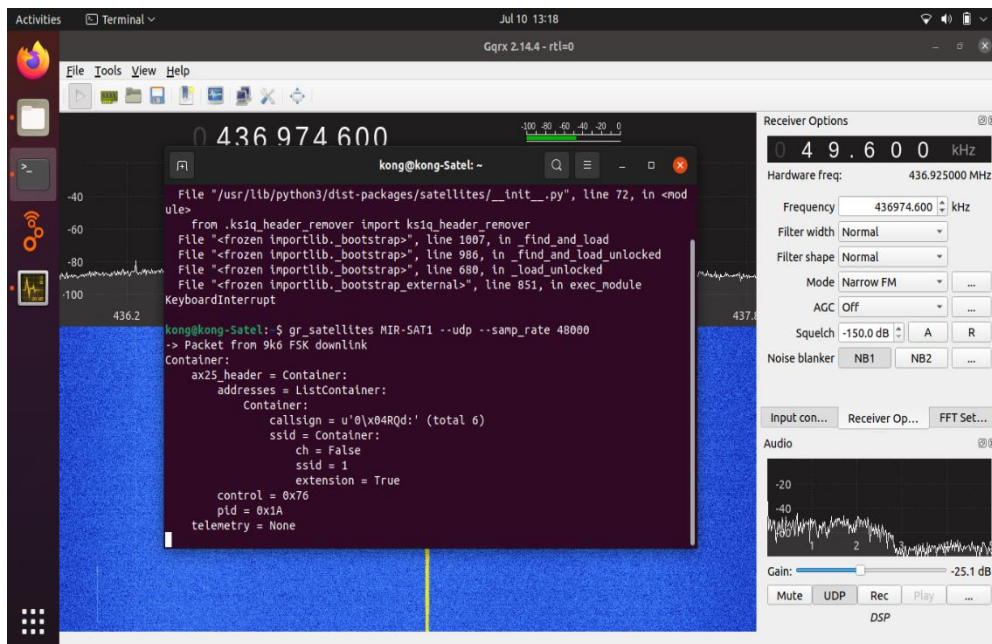
Fuente: elaboración propia, empleando captura de pantalla.

Una vez se inicie este comando Gr-Satellites estará esperando que Gqrx le envíe la información para verificar estos datos, luego de ingresar el comando se iniciara Gqrx presionando el botón de reproducción y se debe recibir un resultado como el mostrado a continuación, para asegurarse de que la recepción es



correcta, aquí Gr-Satellites informa que paquetes ha recibido y que tipo de modulación utilizo este.

Figura 83. Recepción en Gqrx y verificación

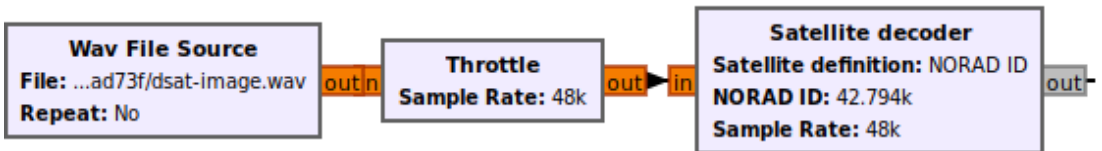


Fuente: elaboración propia, empleando captura de pantalla.

### 4.3.3. Diagrama de bloques

Ahora que se cuenta con los datos se debe decodificarlos para ver qué información contienen, en GNU Radio se puede decodificar una imagen si el satélite es capaz de enviar imágenes o se puede decodificar información enviada por el satélite en formato de texto.

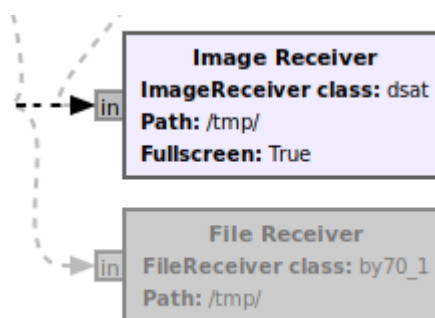
Figura 84. **Entrada y decodificación de datos**



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Primero se utilizará un bloque *Wav File Source* para utilizar el archivo wav generado por Gqrx, luego se debe utilizar un bloque *Throttle* para limitar las muestras por ser esta una entrada digital, luego se encuentra el bloque *Satellite decoder* y se decodificará el satélite D-SAT con ID 42794, debido a que este es capaz de transmitir imágenes satelitales.

Figura 85. **Elección de salida**



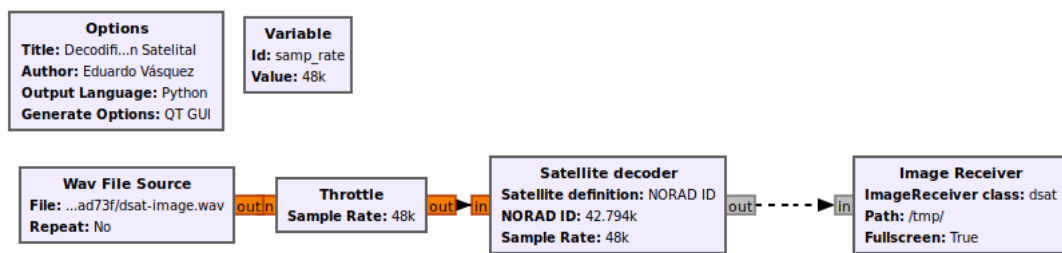
Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Una vez se tenga los ajustes del decodificador colocado se debe elegir qué tipo de bloque se utilizará en la salida, el bloque *Image Receiver* permite ver la imagen en el momento que es procesada, el parámetro *ImageReceiver class*

indica que satélite soportado por Gr-Sattelites que cuente con transmisión de imagen será decodificado, el parámetro *Path* permite indicar donde se podrá guardar la imagen temporalmente mientras es procesada, el parámetro *Fullscreen* permite decidir si la imagen recibida se observara en pantalla completa.

El otro bloque observado en pantalla llamado *File Receiver* simplemente guardará la información decodificada en algún formato especificado por el usuario en la opción *Path*, su parámetro *FileReceiver class* se puede dejar en su modo por defecto.

Figura 86. Decodificador de imagen satelital



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Figura 87. **Imagen decodificada**

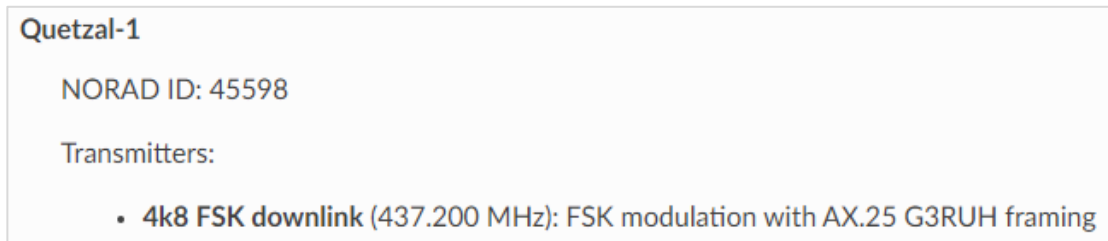


Fuente: elaboración propia.

De esta manera se puede decodificar una imagen recibida por un satélite amateur en GNU Radio, ahora si se quisiera decodificar únicamente la información que un satélite envía se puede realizar utilizando el siguiente diagrama como base en donde se decodificará la información enviada por el satélite Quetzal-1.

Primero se debe verificar que modulación, protocolo y la cantidad de *bits* transmitidos por segundo (*baud rate*), utiliza el satélite a decodificar, para obtener esta información se puede ir a la página de Gr-Sattelites que cuenta con la mayor cantidad de satélites amateur en órbita, y son soportados por la librería.

Figura 88. **Parámetros del satélite Quetzal-1**



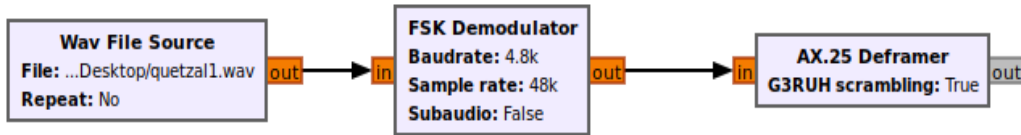
Fuente: Gr-Satellites. *Supported satellites*. [https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/supported\\_satellites.html](https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/supported_satellites.html). Consulta: 24 de julio de 2021.

En la imagen se observa la frecuencia que el satélite Quetzal-1 utiliza, su modulación es FSK con el protocolo AX.25 utilizando ventaneado G3RUH, la tasa de *bits* transmitidos por segundo de este satélite es de 4800 *bits* por segundo.

Una vez se cuente con estos datos se puede empezar el diagrama de bloques, nuevamente se utilizará un bloque *Wav File Source* para poder utilizar los datos capturados, luego se empleará un bloque *FSK Demodulator* en donde se indicará los *bits* por segundo en el parámetro *Baudrate*, luego se indica la tasa de muestro con la cual se está trabajando, esta debe ser la misma con la que los datos fueron capturados.

El parámetro *Subaudio* indica si se desea utilizar este tipo de demodulación, esto no es necesario para este satélite. Luego se utilizará el bloque *AX.25 Deframer* para decodificar los datos de este protocolo, la opción *G3RUH scrambling* se elige si el satélite utiliza este ventaneo, en este caso se deja en *True* debido a que el Quetzal-1 si lo está utilizando.

Figura 89. Decodificación de datos satélite Quetzal-1

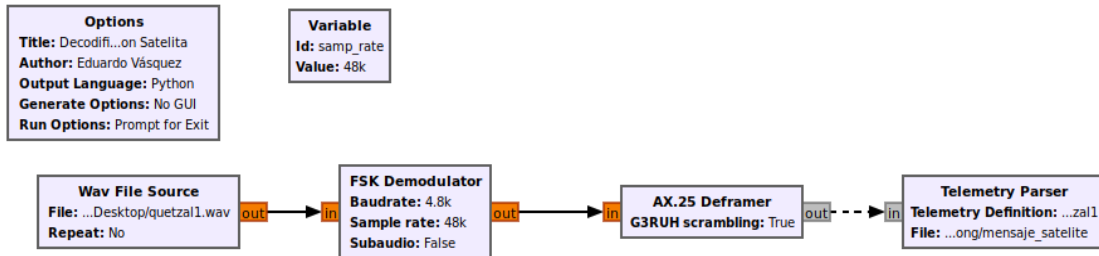


Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Ahora los bloques mencionados previamente fueron elegidos específicamente para el satélite Quetzal-1, si se quisiera decodificar otro satélite siempre se deberá elegir el respectivo bloque de demodulación y el bloque que decodificara el protocolo respectivo, la mayoría de satélites amateur utilizan modulaciones FSK, BPSK y AFSK, ahora existen diversos protocolos de decodificación incluso algunos solo pueden ser utilizados para un solo satélite, en este caso el protocolo AX.25 es un protocolo abierto diseñado para radio amateur y es utilizado por diversos satélites amateur.

Una vez se tengan los datos decodificados se debe guardar en un archivo para poder observarlos luego, para ello se utiliza el bloque *Telemetry Paser* algo importante es que cada satélite contiene una “definición” acerca de como se muestra su información, una manera de imaginarlo es pensando que cada dato equivale a una “variable” entonces en el parámetro *Telemetry definition* se debe colocar el nombre del satélite que en este caso sería “quetzal1”, luego en el parámetro File se indicara donde se guardará el archivo final.

Figura 90. Decodificación Quetzal-1



Fuente: elaboración propia, empleando GNU Radio 2021.

Figura 91. Mensaje de Quetzal-1

```
*mensaje_satelite
137     adm_max_cycles = 4
138     adm_wait_time = ListContainer:
139         30
140         30
141     adm_enable = 1
142     comm_cycle_time = 5
143     pld_cycle_time = 30
144     pld_op_mode = 1
145     cam_res = 3
146     cam_expo = 1
147     cam_pic_save_time = 3
148     pay_enable = 0
149     uvg_message = b'UVG a Guatemala, SI se pudo' (total 27)
150
151
```

Fuente: elaboración propia, empleando captura de pantalla.

En el archivo se puede observar toda la información enviada por el satélite, alguna de la información enviada incluye la hora y fecha al igual que el estado del satélite, algo curioso a notar es que el satélite envía una variable llamada *uvg\_message* que tiene un mensaje para el pueblo de Guatemala.





## CONCLUSIONES

1. Cuando se realiza recepción una antena dipolo es suficiente para recibir información, pero si se desea realizar transmisión a largas distancias se debe considerar el diagrama de radiación de la antena a utilizar.
2. Los receptores SDR permiten que cualquier persona con una computadora sea capaz de recibir o transmitir información a costo y complejidad bajo.
3. El programa GNU Radio es un programa que permite realizar el estudio de las comunicaciones electrónicas de una manera económica y menos compleja comparado con realizar circuitos convencionales, por esta razón es ideal para el estudio de un estudiante de ingeniería.



## RECOMENDACIONES

1. Al momento de decodificar una señal satelital siempre se debe tomar en cuenta el trayecto y el clima del día en que el satélite se encontrará en cercanía al receptor.
2. Los receptores SDR más avanzados suelen ser costosos, al momento de iniciar el estudio de la radioafición utilizar un receptor SDR sencillo será más que suficiente para comprender los temas.
3. En las transmisiones si se enviara información sensible utilizar un cifrado en los datos a transmitir asegurara la privacidad de estos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGI. *STK Tip: TLE Overview*. [en línea]. <<https://www.agi.com/resources/videos/stk-tip-tle-overview>>. [Consulta: 11 de julio de 2021].
2. Airspy. *The ultimate VHF/UHF RX building block*. [en línea]. <<https://airspy.com/airspy-r2/>>. [Consulta: 11 de mayo de 2021].
3. ANGUERA, Jaume; PÉREZ, Antonio. *Teoría de antenas*. Barcelona, España: Universitat Ramon Llull, 2008. 335 p.
4. BALANIS, Constantine. *Antenna Theory Analysis and Design*. 3a ed. New Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 984 p.
5. Celestrak. *Celestrak orbit visualization*. [en línea]. <<https://celestrak.com/>>. [10 de julio de 2021].
6. CHEN, Wai-Kai. *Passive, active and digital filters*. 3a ed. Florida, Estados Unidos: CRC Press, 2009. 482 p.
7. Club de Radioaficionados de Guatemala. *¿Quiénes somos?* [en línea]. <[https://www.crag.org.gt/?page\\_id=394](https://www.crag.org.gt/?page_id=394)>. [Consulta: 2 de mayo de 2021].

8. Circuitglobe. *IIR filter and fir filter*. [en línea].  
<<https://circuitglobe.com/difference-between-fir-filter-and-iir-filter.html#:~:text=The%20crucial%20difference%20between%20FI R,duration%20for%20a%20dynamic%20system>>. [Consulta: 18 de abril de 2021].
9. Debendra Kumar. *Reflector antenna*. [en línea].  
<[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-parabolic-reflector-dish-antenna-system\\_fig1\\_287912047](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-parabolic-reflector-dish-antenna-system_fig1_287912047)>. [Consulta: 1 de mayo de 2021].
10. Electronics-tutorials. *Active Low Pass Filter*. [en línea].  
<[https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_5.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_5.html)>. [Consulta: 18 de abril de 2021].
11. \_\_\_\_\_. *Passive band pass filter*. [en línea].  
<[https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_4.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_4.html)>. [Consulta: 18 de abril de 2021].
12. \_\_\_\_\_. *Passive high pass filter*. [en línea].  
<[https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_3.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_3.html)>. [Consulta: 18 de abril de 2021].
13. \_\_\_\_\_. *Passive low pass filter*. [en línea].  
<[https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_2.html)>. [Consulta: 18 de abril de 2021].

14. Electronics Desk. *Antenna apertures*. [en línea]. <<https://electronicsdesk.com/antenna-apertures.html>>. [Consulta: 1 de mayo de 2021].
15. \_\_\_\_\_. *Loop antenna*. [en línea] <<https://electronicsdesk.com/loop-antenna.html>>. [Consulta: 1 de mayo de 2021].
16. Esopo. *Espectro electromagnético*. [en línea]. <<https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>>. [Consulta: 27 de abril de 2021].
17. Gaussianwaves. *QAM modulation*. [en línea]. <<https://www.gaussianwaves.com/2012/10/qam-modulation-simulation-matlab-python/>>. [Consulta: 25 de abril de 2021].
18. GNURadio. *Block docs*. [en línea]. <[https://wiki.gnuradio.org/index.php/Category:Block\\_Docs](https://wiki.gnuradio.org/index.php/Category:Block_Docs)>. [Consulta: 16 de mayo de 2021].
19. Gr-Satellites. *Installing from the Ubuntu PPA*. [en línea]. <[https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/installation\\_ppa.html](https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/installation_ppa.html)>. [Consulta: 20 de junio de 2021].
20. \_\_\_\_\_. *Supported satellites*. [en línea]. <[https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/supported\\_satellites.html](https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/supported_satellites.html)>. [Consulta: 20 de junio de 2021].
21. HOROWITZ, Paul; HILL, Windfield. *The art of electronics*. 3a ed. New York, Estados Unidos: Cambridge University Press, 2015. 1171 p.

22. Investigación y Ciencia. *Muestreando señales*. [en línea]. <<https://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/20/posts/muestreando-seales-primera-parte-10461#:~:text=El%20muestreo%20consiste%20en%20tomar,un%20conjunto%20finito%20de%20valores>>. [Consulta: 18 de abril de 2021].
23. MOAZZAM, Tiwana. *MASK modulation and demodulation*. [en línea]. <<http://drmoazzam.com/mask-modulation-and-demodulation-complete-matlab-code-with-explanation>>. [Consulta: 25 de abril de 2021].
24. N2YO. *Real time satellite tracking*. [en línea]. <<https://www.n2yo.com/?s=44045>>. [10 de Julio de 2021].
25. Oros42. *IMSI-Catcher*. [en línea]. <<https://github.com/Oros42/IMSI-catcher>>. [Consulta: 16 de mayo de 2021].
26. PASCUAL, Alberto. *Antenas y cables*. [en línea]. <[http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/08\\_es\\_antenas\\_y\\_cables\\_guia\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/08_es_antenas_y_cables_guia_v02.pdf)>. [Consulta: 1 de mayo de 2021].
27. Programmedlessons. *Assembly tutorial*. [en línea]. <[http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02\\_07.html](http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02_07.html)>. [Consulta: 2 de abril de 2021].



28. \_\_\_\_\_. *Assembly tutorial*. [en línea]. <[http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02\\_08.html](http://programmedlessons.org/AssemblyTutorial/Chapter-02/ass02_08.html)>. [Consulta: 2 de abril de 2021].
29. RTL-SDR Blog. *About RTL-SDR*. [en línea]. <<https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>>. [Consulta: 16 de mayo de 2021].
30. \_\_\_\_\_. *Supported software*. [en línea]. <<https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>>. [Consulta: 16 de mayo de 2021].
31. SALAS, Luis. *Modulaciones analógicas*. [en línea]. <[https://figshare.com/articles/journal\\_contribution/Modulaciones\\_Analogicas/5525335](https://figshare.com/articles/journal_contribution/Modulaciones_Analogicas/5525335)>. [Consulta: 20 de abril de 2021].
32. Sparkfun. *HackRF One*. [en línea]. <<https://www.sparkfun.com/products/13001>>. [Consulta: 11 de mayo de 2021].
33. Superintendencia de Telecomunicaciones Guatemala. *Bandas de frecuencia*. [en línea]. <<https://sit.gob.gt/gerencia-de-frecuencias/frecuencias/bandas-de-frecuencias/>>. [Consulta: 27 de abril de 2021].
34. TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. 4a ed. Estado de México, México: Pearson Educación, 2003. 935 p.

35. TutorialsPoint. *Digital communication*. [en línea].  
<[https://www.tutorialspoint.com/digital\\_communication/digital\\_communication\\_amplitude\\_shift\\_keying.htm](https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_amplitude_shift_keying.htm)>. [Consulta: 25 de abril de 2021].
36. \_\_\_\_\_. *Digital communication*. [en línea].  
<[https://www.tutorialspoint.com/digital\\_communication/digital\\_communication\\_phase\\_shift\\_keying.htm](https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_phase_shift_keying.htm)>. [Consulta: 25 de abril de 2021].
37. \_\_\_\_\_. *Digital communication*. [en línea].  
<[https://www.tutorialspoint.com/digital\\_communication/digital\\_communication\\_quadrature\\_phase\\_shift\\_keying.htm](https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_quadrature_phase_shift_keying.htm)>. [Consulta 25 de abril de 2021].
38. Ucdavis. *Introduction to digital filters*. [en línea].  
<[http://123.physics.ucdavis.edu/week\\_5\\_files/filters/digital\\_filter.pdf](http://123.physics.ucdavis.edu/week_5_files/filters/digital_filter.pdf)>. [Consulta: 18 de abril de 2021].
39. Universidad Politécnica de Cataluña. *Diseño y medición de una antena wearable*. [en línea].  
<[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106668/mohamed.el.bouchti\\_119201.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106668/mohamed.el.bouchti_119201.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. [Consulta: 2 de mayo de 2021].
40. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Comunicaciones. *Agrupaciones de antenas*. [en línea].  
<<http://personales.upv.es/~jlcrral/antenas/tema4.htm>>. [Consulta: 1 de mayo de 2021].

41. Universidad Tecnológica Nacional. *Conceptos generales de antenas*. [en línea]. <<http://solano.orgfree.com/INTROTELECOM/antenas1.pdf>>. [Consulta: 2 de mayo de 2021].
  
42. Wikiwand. *Dipolo (antena)*. [en línea]. <[https://www.wikiwand.com/es/Dipolo\\_\(antena\)](https://www.wikiwand.com/es/Dipolo_(antena))>. [Consulta: 30 de abril de 2021].