



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES

Y REDES

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIÓN SATELITAL PARA TRASMISIÓN Y RECEPCIÓN DE VOZ Y DATOS, BASADOS EN RADIO AMATEUR EN ESPACIO”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORES:

DENNIS FABRICIO GUSQUI CARGUACUNDO

JOFFRE UBALDO CABRERA MELÉNDEZ

DIRECTORA: ING. MÓNICA ZABALA HARO Ms. C.

Riobamba – Ecuador

2019

© 2019, Dennis Fabricio Gusqui Carguacundo, Joffre Ubaldo Cabrera Meléndez.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, **Dennis Fabricio Gusqui Carguacundo** y **Joffre Ubaldo Cabrera Meléndez**, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de diciembre de 2019

Dennis Fabricio Gusqui Carguacundo
0604121756

Joffre Ubaldo Cabrera Meléndez
0202312641

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

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación tipo: PROYECTO TÉCNICO, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIÓN SATELITAL PARA TRASMISIÓN Y RECEPCIÓN DE VOZ Y DATOS, BASADOS EN RADIO AMATEUR EN ESPACIO**”, realizado por los señores **DENNIS FABRICIO GUSQUI CARGUACUNDO Y JOFFRE UBALDO CABRERA MELÉNDEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Ms. C. Oswaldo Martínez

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Ms. C. Mónica Zabala Haro.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Ph.D. David Moreno

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Este nuevo logro lo dedico a mi padre Dios, ya que, si hay un protagonista en este proceso académico, no soy yo, todo lo que he conseguido se lo debo en primer lugar a ÉL y también a mis padres Patricio y Mariana, que con su constancia, entrega y apoyo han sabido enseñarme el camino correcto que guía mi vida y sobretodo ha no rendirme sin importar lo difíciles que sean las pruebas.

Dennis Fabricio Gusqui Carguacundo

A Dios mi padre celestial por ser el todo poderoso, quien nos da la vida, la salud para poder cumplir todos nuestros sueños, a la Virgencita debido que ella es la intercesora de todas mis oraciones hacia mi padre Dios, y por supuesto a mi querida madre “Carmencita” ya que ella ha sido mi inspiración para poder cumplir mis sueños, puesto que siempre me cuida y me aconseja para yo poder tomar el sendero correcto y llegar a la cima del éxito, también a mi hermana Deysi quien es una segunda mamá para mí, puesto que con su valor innato me ha causado gran motivación.

Joffre Ubaldo Cabrera Meléndez

AGRADECIMIENTO

Siempre mi fuente de agradecimiento viene desde arriba, GRACIAS papito Dios porque me permites saborear un nuevo logro de tu mano y de la mano de las personas que más amo, toda la gloria es para ti, porque de ti viene la sabiduría que he requerido para superar cada peldaño en este crecimiento académico.

A mi familia, a mi padre Patricio que con sus consejos, oraciones y motivación diaria ha nutrido en gran manera mi formación personal, a mi madre Mariana, el motor de mi vida y también parte fundamental en mi crecimiento integral ya que ha hecho todo lo posible, haciéndome sentir su apoyo constante y una prioridad en su vida, sin mi madre no habría logrado varias metas propuestas, a mi hermana Paola que su apoyo notable también ha sido parte importante en este logro.

Además, hay muchas personas a las cuales me gustaría hacer mención, personas que van formando parte de mi vida y se han vuelto familia para mí, a todos mis amigos de “la Poli” en especial a Joffre que ha sido con quien hemos trabajado juntos hasta el final.

Dennis Fabricio Gusqui Carguacundo

Mi total agradecimiento a mi padre Dios por cuidarme, y ayudarme todos los días de mi vida en la consecución de esta meta ya que sin sus bendiciones esto no hubiese sido posible. A mi madre “Carmencita” por ese apoyo incondicional durante toda mi vida porque gracias a su motivación a su inspiración he podido construir este objetivo.

A mi segunda mama “Deysi” porque siempre está presente en mi vida apoyándome para ser mejor cada día. A mis hermanos por brindarme todo ese amor y quienes a cambio de nada estuvieron conmigo a lo largo de esta trayectoria para alcanzar el éxito por último a mis grandes amigos mi otra familia Danny, Stalin, Edwin, Pablo, Wilson, Dennis quienes compartieron todas esas vivencias en este largo caminar.

Joffre Ubaldo Cabrera Meléndez

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Comunicación Por Satélite	8
1.1.1. <i>Comunicación</i>	8
1.1.2. <i>Comunicación satelital</i>	8
1.1.3. <i>Beneficios de las comunicaciones por satélite</i>	9
1.1.4. <i>Características de los Satélites</i>	9
1.1.5. <i>Bandas de frecuencias satelitales</i>	10
1.1.5.1. <i>Banda VHF</i>	11
1.1.5.2. <i>Banda UHF</i>	11
1.1.6. <i>Funcionamiento básico de un Satélite</i>	11
1.1.7. <i>Constitución de un sistema de Satélites</i>	12
1.1.8. <i>Transponder</i>	13
1.1.9. <i>Red Satelital</i>	14
1.1.9.1. <i>Comunicación Punto a Punto</i>	14
1.1.9.2. <i>Comunicación Punto Multipunto</i>	15
1.1.9.3. <i>Capacidad de la Red</i>	16
1.1.9.4. <i>Disponibilidad de la Comunicación</i>	16
1.1.9.5. <i>Servicios</i>	16

1.2.	Orbitas	16
1.2.1.	<i>Satélites de órbita</i>	17
1.2.3.	<i>Órbita Terrestre Media (MEO)</i>	17
1.2.4.	<i>Órbita Terrestre Baja Altura (LEO)</i>	18
1.2.5.	<i>Orbita De Mólniya</i>	18
1.3.	SDR	19
1.3.1.	<i>Niveles de SDR</i>	19
1.3.1.1.	<i>Nivel 0</i>	19
1.3.1.2.	<i>Nivel 1</i>	19
1.3.1.3.	<i>Nivel 2</i>	19
1.3.1.4.	<i>Nivel 3</i>	19
1.3.1.5.	<i>Nivel 4</i>	20
1.3.2.	USRP	20
1.3.3.	Modelos USRP	21
1.3.3.1.	<i>Nationals Instruments</i>	21
1.3.3.2.	<i>Ettus Research TM</i>	21
1.4.	USRP B210	21
1.4.1.	<i>Arquitectura o estructura de la tarjeta USRP B210</i>	21
1.5.	MODULACIONES	23
1.5.1.	<i>Modulación de encendido-apagado (OOK)</i>	23
1.5.2.	<i>Modulación en frecuencia FM</i>	23
1.5.3.	<i>Suma de señales</i>	25
1.6.	ANTENAS	25
1.6.1.	<i>Tipos de antenas</i>	26
1.6.1.1.	<i>Antena isotrópica</i>	26
1.6.1.2.	<i>Antena de Hilo</i>	26
1.6.1.3.	<i>Antenas Yagi – uda</i>	27
1.6.1.4.	<i>Antenas con reflector (Parabólicas)</i>	27
1.6.2.	<i>Parámetros de una antena</i>	28

1.6.2.1.	<i>Patrón de radiación</i>	28
1.6.2.2.	<i>Potencia radiada</i>	28
1.6.2.3.	<i>Intensidad de radiación</i>	29
1.6.2.4.	<i>Ancho de haz</i>	29
1.6.2.5.	<i>Resistencia de radiación</i>	30
1.6.2.6.	<i>Directividad</i>	30
1.6.2.7.	<i>Eficiencia</i>	30
1.6.2.8.	<i>Ganancia</i>	31
1.7.	Ángulos visuales de una antena	31
1.7.1.	Angulo de elevación	31
1.7.2.	Angulo de azimut	32
1.8.	Software para el procesamiento de señales	33
1.8.1.	Matlab	33
1.8.2.	Matlab y USRP B210	34
1.8.3.	GNU RADIO	34
1.8.4.	GNURadio y USRP B210	35

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1.	Fase 1.- Estudio de los requerimientos para establecer un enlace satelital	36
2.1.1.	Enlace satelital	36
2.1.2.	Elementos de enlace satelital	37
2.1.3.	Enlace de subida	37
2.1.4.	Estación Repetidora	39
2.1.5.	Enlace de bajada	39
2.1.6.	Topología y Modo de transmisión	40
2.2.	Fase 2.- Análisis de las etapas para el enlace satelital	41
2.2.1.	Transmisión	41
2.2.1.1.	Fuente de información	41

2.2.1.2.	<i>Procesamiento de señales</i>	43
2.2.1.3.	<i>Amplificación</i>	47
2.2.1.4.	<i>Antena de transmisión</i>	48
2.2.2.	<i>Transponder XW-2A</i>	49
2.2.3.	<i>Recepción</i>	49
2.2.3.1.	<i>Antena de recepción</i>	49
2.2.3.2.	<i>Amplificación</i>	50
2.2.3.3.	<i>Procesamiento de señales</i>	50
2.2.3.4.	<i>Dispositivo de recepción</i>	55
2.3.	Fase 3.- Diseño del sistema satelital para establecer comunicación	55
2.3.1.	<i>Diseño del enlace satelital</i>	55
2.3.1.1.	<i>Parámetros del enlace satelital</i>	55
2.3.1.2.	<i>Potencia de Salida de la tarjeta de desarrollo USRP B210</i>	56
2.3.1.3.	<i>Amplificador de radiofrecuencia</i>	56
2.3.1.4.	<i>Antena transmisora</i>	57
2.3.1.5.	<i>Antena receptora</i>	60
2.3.1.6.	<i>Pérdidas por espacio libre</i>	63
2.3.2.	<i>Balance de potencia</i>	64
 CAPITULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS	
3.1.	Resultados del diseño de antenas	65
3.1.1.	<i>Antena de transmisión</i>	65
3.1.2.	<i>Antena de recepción</i>	66
3.2.	Fuente de información	67
3.2.1.	<i>Señal Bitstream</i>	67
3.2.2.	<i>Señal digital ASK - OOK</i>	68
3.2.3.	<i>Señal analógica de audio</i>	68
3.2.4.	<i>Señal moduladora $m(t)$</i>	69

3.3.	Proceso de la transmisión de la información.....	69
3.3.1.	<i>Señal de información $m(t)$</i>	69
3.3.2.	<i>Procesamiento de la señal de información $m(t)$</i>	70
3.3.3.	<i>Señal envolvente compleja $g(t)$</i>	71
3.3.4.	<i>Señal modulada $s(t)$</i>	73
3.3.5.	<i>Traslación de señal $s(t)$ a la frecuencia portadora.....</i>	74
3.3.6.	<i>Potencia de transmisión.....</i>	74
3.3.6.1.	<i>Sin amplificador.....</i>	74
3.3.6.2.	<i>Con amplificador</i>	75
3.4.	Tracking de satélite LEO	76
3.5.	Resultados de Recepción	77
3.5.1.	<i>Potencia de recepción sin amplificador.....</i>	77
3.5.2.	<i>Potencia de recepción con amplificador.....</i>	78
3.5.3.	<i>Obtención de la señal modulada en frecuencia $s(t)$</i>	78
3.5.4.	<i>Obtención de la señal demodulada en frecuencia y $g(t)$.....</i>	79
3.5.5.	<i>Demodulación de la señal analógica de audio $m(t)$</i>	79
3.5.6.	<i>Demodulación de la señal digital.....</i>	80
3.5.7.	<i>Recuperación de la imagen digital</i>	81
3.6.	Cuadro comparativo de transmisión	81
3.7.	Cuadro comparativo de recepción.....	81
3.8.	Cuadro comparativo de balance de potencia	82
	CONCLUSIONES.....	83
	RECOMENDACIONES	84
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características del rendimiento en RF de USRP B210.....	56
Tabla 2-2:	Características del Amplificador AIYIMA 8W.....	56
Tabla 3-2:	Características del Amplificador AIYIMA 2W.....	57
Tabla 4-2:	Parámetros de antena transmisora.....	57
Tabla 5-2:	Elementos de la antena transmisora.....	58
Tabla 6-2:	Resultados finales de la antena de transmisión.....	60
Tabla 7-2:	Parámetros de antena receptora.....	60
Tabla 8-2:	Elementos de la antena receptora.....	61
Tabla 9-2:	Resultados finales de la antena de recepción.....	63
Tabla 1-3:	Cuadro comparativo de parámetros principales entre el diseño planteado frente a modulación convencional FM monofónico.....	73
Tabla 2-3:	Comparativa de valores teóricos y valores medidos en Transmisión.....	81
Tabla 3-3:	Comparativa de valores teóricos y valores medidos en recepción.....	82
Tabla 4-3:	Comparativa de valores teóricos y valores medidos para Balance de Potencia....	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Evolución de los sistemas de comunicación	3
Figura 2:	Enlace satelital entre dos estaciones terrestres.....	4
Figura 3:	Internet Satelital.....	5
Figura 4:	Sistema de comunicación satelital entre diversos dispositivos.....	6
Figura 1-1:	Subsistemas básicos de un satélite	12
Figura 2-1:	Elementos fundamentales de una estación repetidora espacial.....	13
Figura 3-1:	Estructura de un transponder básico satelital.....	13
Figura 4-1:	Red de satélites para GPS.....	14
Figura 5-1:	Comunicación punto a punto y comunicación punto a multipunto.....	15
Figura 6-1:	Clasificación de las orbitas terrestres.....	18
Figura 7-1:	Niveles Universal Software Radio Peripheral.....	20
Figura 8-1:	Ilustración de una tarjeta USRP B210.....	22
Figura 9-1:	Portadora modulada en frecuencia.....	24
Figura 10-1:	Suma de amplitudes de dos señales.....	25
Figura 11-1:	Representación de una antena isotrópica	26
Figura 12-1:	Tipos de antenas de hilo.....	26
Figura 13-1:	Representación de una antena YAGI-UDA.....	27
Figura 14-1:	Patrón de radiación para una antena genérica.....	28
Figura 15-1:	Representación del haz de radiación.....	29
Figura 16-1:	Representación de un transmisor y su antena.....	30
Figura 17-1:	Representación del ángulo de elevación.....	32
Figura 18-1:	Representación del ángulo de Azimut.....	32

Figura 19-1:	Logo software MATLAB.....	33
Figura 20-1:	Logo Software GNURadio.....	34
Figura 1-2:	Proceso para el desarrollo de la investigación	36
Figura 2-2:	Ilustración de un enlace de comunicación entre estaciones remotas	37
Figura 3-2:	Elementos fundamentales de una estación transmisora terrestre.....	38
Figura 4-2:	Modelo de un enlace satelital de subida.....	39
Figura 5-2:	Elementos fundamentales de una estación Receptora terrestre.....	39
Figura 6-2:	Modelo de bajada de un enlace satelital.....	40
Figura 7-2:	Representación de una topología de red Punto a Punto y transmisión simplex...	41
Figura 8-2:	Diagrama de bloques del generador de información.....	41
Figura 9-2:	Toma de imagen procesada.....	42
Figura 10-2:	Selección del archivo de audio.....	42
Figura 11-2:	Modulación Digital OOK y multiplexación FDM.....	43
Figura 12-2:	Bloque para guardar el archivo generado.....	43
Figura 13-2:	Diagrama de bloques de la etapa lógica de transmisión.....	44
Figura 14-2:	Selección de parámetros de transmisión.....	44
Figura 15-2:	Bloque de Muestreo y bloque de filtrado de la señal.....	45
Figura 16-2:	Filtrado y corrección de la señal muestreada en 400KHz.....	45
Figura 17-2:	Parámetros asignados a la tarjeta USRP B210.....	46
Figura 18-2:	Tarjeta de desarrollo USRP B210.....	46
Figura 19-2:	Amplificador de alta frecuencia 8W marca AIYIMA.....	48
Figura 20-2:	Antena de transmisión y recepción tipo Yagi	48
Figura 21-2:	Imagen del satélite XW-2A(CAS-3A)	49
Figura 22-2:	Amplificador de alta frecuencia 2W marca AIYIMA	50

Figura 23-2:	Diagrama de bloques de la recepción de señales	51
Figura 24-2:	Selección de parámetros de recepción.....	52
Figura 25-2:	Bloque de Frecuencia Interfaz PC – RTL.....	52
Figura 26-2:	Bloque de demodulación FM.	53
Figura 27-2:	Separación de la información y la portadora	53
Figura 28-2:	Pre-amplificación y filtrado de la señal OOK..	53
Figura 29-2:	Demodulación de la Señal OOK... ..	54
Figura 30-2:	Muestreo para la recuperación de datos... ..	54
Figura 31-2:	Reconstrucción de la información digital recibida.....	54
Figura 32-2:	Receptor e intérprete de información.....	55
Figura 33-2:	Interfaz de ingreso de datos de la antena transmisora.....	58
Figura 34-2:	Radiación de directores de la antena Yagi de transmisión	59
Figura 35-2:	Patrón de radiación de la antena Yagi de transmisión.	59
Figura 36-2:	Interfaz de ingreso de datos de la antena receptora.....	61
Figura 37-2:	Radiación de directores de la antena Yagi de recepción	62
Figura 38-2:	Patrón de radiación de la antena Yagi de Recepción.	62
Figura 1-3:	Resultado de la antena transmisora con Yagi Calculator.....	65
Figura 2-3:	Resultado antena transmisora calibrada con analizador de redes vectoriales....	66
Figura 3-3:	Resultado de la antena receptora con Yagi-Calculator.....	66
Figura 4-3:	Diagrama de bloques del generador de información.....	67
Figura 5-3:	Señal digital mostrada en tiempo y en frecuencia.....	67
Figura 6-3:	Señal digital modulada en OOK vista en tiempo y frecuencia	68
Figura 7-3:	Señal analógica de audio en tiempo y frecuencia.....	69
Figura 8-3:	Espectro de la señal multiplexada en FDM en frecuencia y el tiempo	70

Figura 9-3:	Espectro de la señal $m(t)$ en la frecuencia y el tiempo.....	70
Figura 10-3:	Espectro de frecuencia y tiempo de la fuente de información a 400 KHz.....	73
Figura 11-3:	Señal moduladora y señal envolvente compleja $g(t)$ vista en tiempo.....	74
Figura 12-3:	Ancho de banda de la señal modulada.....	74
Figura 13-3:	Espectro de frecuencia a 435.040 MHz sin amplificador	75
Figura 14-3:	Espectro de frecuencia a 435.040 MHz con amplificador	75
Figura 15-3:	Intensidad y relación señal ruido de la potencia de transmisión	75
Figura 16-3:	Predicción del pase del satélite XW-2A.	76
Figura 17-3:	Intensidad de señal a 145.675 MHz sin amplificador.	77
Figura 18-3:	Intensidad de señal a 145.675 MHz con amplificador	77
Figura 19-3:	Señal modulada en FM Receptada.....	78
Figura 20-3:	Señal de audio y señal digital.....-.....	78
Figura 21-3:	Señal de audio recuperada en la recepción.....	79
Figura 22-3:	Demodulación de la señal OOK.....	80
Figura 23-3:	Imagen recuperada después de la recepción.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Investigación acerca de los radioaficionados
- ANEXO B:** Diseño de la antena Yagi de transmisión
- ANEXO C:** Diseño de la antena Yagi de recepción
- ANEXO D:** Construcción de la antena de transmisión
- ANEXO E.** Enlace satelital
- ANEXO F.** Escenario Propuesto
- ANEXO G.** Transmisión
- ANEXO H.** Recepción

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tuvo como objetivo principal establecer un enlace de comunicación con un satélite de órbita baja, utilizando frecuencias destinadas para radioaficionados empleando la tarjeta de desarrollo experimental USRP B210. La investigación consistió en tres etapas, la primera correspondiente a la investigación en diversas fuentes de información acerca de los métodos de comunicación satelital que existen para la transmisión de voz y datos, esta investigación se basó en fuentes de información digitales, libros físicos y de personas que se dedican a operar como radio-amateur las cuales aportan con su valiosa experiencia, la segunda etapa se enfocó en el diseño e implementación del enlace de comunicación basado en radio amateur en el espacio libre, estableciendo los parámetros y requerimientos necesarios para la transmisión y recepción como: tipo de información, modulación empleada, potencia de la señal, pérdidas por el medio de comunicación y el rendimiento de antena, para este fin, se implementó un escenario con la tarjeta USRP B210, amplificadores de radiofrecuencia, antenas y el módulo RTL-SDR que se consideró necesario para la comunicación, este escenario tuvo lugar en la azotea de un edificio en donde se tiene línea de vista directa con el satélite para evitar las pérdidas por obstrucción de objetos. En la tercera etapa se realizó una comprobación de la recepción del mensaje transmitido que consta de información analógica y digital a través del enlace de comunicación satelital, esta etapa se considera como la más importante ya que las señales originales emitidas fueron receptadas con una relación señal a ruido aceptable de 8.5 dB, razón por la que se puede apreciar la proximidad y variación del diseño teórico con la implementación práctica.

PALABRAS CLAVE: <TELECOMUNICACIONES>, <RADIOFRECUENCIA>, <COMUNICACIÓN SATELITAL>, <RADIOAFICIONADO>, <ORBITA BAJA>, <TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN> <PARÁMETROS SATELITALES>, <EQUIPAMIENTO DE COMUNICACIONES>.

ABSTRACT

The present titling project had as main aim to establish a link of communication with a low orbit satellite, using frequencies intended for amateur radio using the experimental development card USRP B210. The research consisted in three stages, the first corresponding to the research in various resources of information about the methods of satellite communication that exists for the transmission of voice and data. This research was based on digital information resources, physical books, and people that are dedicated to operate as radio-amateur which contribute with their valuable experience; the second stage was focused on the design and implementation of the link of the communication based on radio amateur in free space, establishing the parameters and the necessary requirements for the transmission and reception such as: type of information, modulation used, signal strength, losses by means of communication and antenna performance, for this end, a scenario was implemented with the card USRP B210, radio frequency amplifiers, antennas and module RTL-SDR that was considered necessary for the communication, this scenario took place on the roof of a building where there is a direct line of sight with the satellite to avoid losses due to obstruction of objects. In the third stage, it was done a testing of the reception of the message transmitted consisting of analog and digital information through the satellite communication link, this stage is considered as the most important since the original emitted signals were received with an acceptable signal to noise ratio of 8.5 dB, reason why reason for which the proximity and variation of the theoretical design with the practical implementation can be appreciated.

Key words: <TELECOMMUNICATIONS>, <RADIO FREQUENCY>, <SATELLITE COMMUNICATION>, <AMATEUR RADIO>, <LOW ORBIT>, <INFORMATION TRANSMISSION>, <SATELLITE PARAMETERS>, <COMMUNICATIONS EQUIPMENT>.

INTRODUCCIÓN

La comunicación o el comunicar se convirtió en un hecho muy importante en el mundo, a lo largo de los años se han desarrollado nuevos implementos tecnológicos con el fin de mejorar la comunicación alrededor del planeta, beneficiando a los sistemas analógicos de información. Con la investigación se desea realizar un diseño e implementación de un enlace de comunicación satelital para transmisión y recepción de voz y datos, basados en radio amateur en espacio, lo que requiere una recolección de datos, para realizar la transmisión de señales electromagnéticas de información desde puntos alejados, para luego amplificar la señal mejorando la recepción de los usuarios.

La comunicación satelital se ha vuelto una herramienta necesaria para poder llegar a zonas que no es posible de una manera analógica, con el sistema de los satélites se ha podido llegar a lugares polares que es imposible con transmisores terrestres debido a la zona geográfica, en 1964 fue lograda la primera transmisión satelital con éxito, esto generó que se desarrollaran nuevos avances que permitieron la creación de diversos sistemas de telecomunicaciones en todo el mundo, así como la puesta en órbita de satélites para señales móviles, es por ello que nace la implementación y diseño de un enlace de comunicación satelital.

Para una completa realización y diseño del sistema se debe implementar una investigación bibliográfica que permita determinar información de los servicios de comunicación satelital y cuales existen hoy en día para la transmisión de voz y datos, esclareciendo definiciones o conceptos referentes al tema, una vez realizado se procederá a implementar el diseño del enlace de comunicación satelital en radio amateur en el espacio, donde serán establecidos parámetros o requerimientos necesarios los cuales sirvan como un aporte esencial para la transmisión de datos y voz la cual debe contener una recepción eficiente.

ANTECEDENTES

La comunicación entre individuos surge desde el principio de la humanidad, ya que las personas sintieron la necesidad de expresar pensamientos, emociones o acciones a través de gestos, escritos o sonidos a otras personas para mantener una armonía en la convivencia.

Esta necesidad con el paso del tiempo fue aumentando y ya la humanidad no se conformaba con entablar comunicaciones cara a cara, teniendo que estar los dos o más individuos en el mismo lugar para que exista comunicación, sino que buscaban métodos de comunicarse con otros individuos en locaciones remotas para transmitir un mensaje. (Vidales, 2014, p.2)

En la historia hubo varios intentos de comunicaciones a distancia, pero tenían poca eficacia, y solo podían transmitir una sola palabra o un mensaje predefinido, ejemplos de estos son: El telégrafo hidráulico, Señales de humo y espejos.

El primer medio efectivo de comunicación a distancia fue la correspondencia que consiste en escribir un documento con la información que desea transmitir, este iba en un sobre sellado con datos del emisor y receptor, finalmente se encargaba a una persona o empresa para que entregue el documento a su destino. (Vidales, 2014, p.3)

Posteriormente se inventó el telégrafo eléctrico, que dio un gran salto a las comunicaciones ya que este permitía entregar información codificada en forma de pulsos eléctricos y a través de cables conductores, este medio permitió entregar mensajes a grandes distancias y con mayor rapidez. (Molina, 2015, p.2)

Cuando ya se desarrollaron las comunicaciones a través de cables y con el paso del tiempo surgió uno de los inventos que hasta hoy en día son utilizados en los hogares. El teléfono, este dispositivo permite enviar y recibir los mensajes de una manera más clara y confortable a través de la voz humana. Pero el teléfono convencional tiene una limitante, es necesario que el teléfono este ubicado en locaciones fijas para establecer una comunicación punto a punto. (Krasimirova, 2015, p.2)

Es por la necesidad de permanecer conectados en todos lados y en todo momento, además del avance tecnológico que se desarrolló las comunicaciones inalámbricas, este tipo de comunicaciones utilizan el espacio libre como medio de transmisión por lo cual se puede difundir y desplegar en casi cualquier parte, gracias a esto se inventó la telefonía celular o móvil, que consiste en dispositivos de bolsillo que se conectan a una radio base a través de radio frecuencia para establecer un enlace y permitir la comunicación. (Krasimirova, 2015, p.4)

La telefonía celular, aunque ya permite casi una conectividad en todos lados, esta se limita a un área geográfica determinada ya puede ser una ciudad, provincia y país, es por eso que se procedió con la investigación para romper las fronteras y tener una comunicación en cualquier lugar.

Es por esto que se desarrollaron las comunicaciones satelitales, que de igual manera utilizan el espacio libre como medio de transmisión, con la diferencia que estas salen fuera de la atmosfera del planeta para alcanzar dispositivos llamados satélites artificiales que se encargan de transmitir o retransmitir la información ya sea audio, video o datos.

Estas comunicaciones alcanzan prácticamente cualquier parte del planeta, por lo que son utilizados para alcanzar lugares donde los medios de trasmisión y comunicación convencionales no alcanzan. A través de enlaces satelitales se puede ofrecer varios servicios como son: telefonía, Acceso a Internet, Video Conferencias, Televisión Digital, etc.



Figura 1: Evolución de los sistemas de comunicación

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui Dennis; 2019.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el comportamiento del sistema de comunicación satelital utilizados para trasmisión y recepción de voz y datos?

¿Cuál es la arquitectura y la tecnología necesaria para el diseño e implementación de un enlace satelital?

¿La implementación del enlace satelital funciona acorde a los requerimientos de la investigación?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El planeta Tierra tiene forma esférica y ese es un factor importante que influye en las comunicaciones, ya que no es posible transmitir y recibir señales de radio directamente de un punto a otro del planeta cuando no se encuentran en línea de vista el punto de transmisión y el punto de recepción, una solución a este problema es colocar en un punto intermedio del trayecto de la comunicación una estación repetidora que se encargue de recibir y retransmitir la señal nuevamente logrando así comunicaciones con un mayor rango de alcance, pero este tipo de solución está sujeta a diversos factores como son la condición del terreno, la distancia, el clima, etc. (Andalucía es digital, 2018, p.3).

La superficie del planeta tierra está cubierta aproximadamente por un 70% de agua, por lo que dificulta la colocación de estaciones repetidoras, por este motivo el uso de estas estaciones se ve limitado a lugares donde haya masas de tierra firme y que haya línea de vista entre la estación transmisora, la estación retransmisora y la estación receptora.

La ionosfera también fue una solución utilizada como un reflector de señales de radio frecuencia durante un periodo de tiempo para establecer comunicación entre dos puntos alejados de la tierra, este método consiste en transmitir ondas de radio para que estas se refracten y regresen a un punto diferente de la tierra. Esto es posible solo para un rango limitado de frecuencias y con un bajo ancho de banda, aun con estas limitantes es posible establecer una comunicación sin la necesidad de una línea de vista entre las estaciones. (Tsalafoutas, 2009, p.46)

Otra solución inspirada en el método de la reflexión en la ionosfera consiste en la colocación de estaciones repetidoras en el espacio denominadas Satélites Artificiales, que puedan recibir y transmitir las señales de radiofrecuencia de un punto de la tierra hacia otro, la idea básica de las comunicaciones satelitales puede resumirse en la Figura 2.



Figura 2: Enlace satelital entre dos estaciones terrestres.

Fuente: <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/img/articulos/>

- Una estación terrena fija o móvil
- Una estación repetidora en el espacio
- Una estación terrena receptora

Este tipo de comunicaciones se va utilizando ya hace algunos años y se sigue usando en la actualidad. Se puede decir que las comunicaciones satelitales son las que pueden lograr establecer una comunicación entre dos puntos distantes del globo terrestre.

La mayoría de personas entiende por comunicaciones satelitales a la televisión y a tomar datos meteorológicos, pero este tipo de comunicaciones ofrece un sin número de aplicaciones de tipo civil y militar como se puede observar en la Figura 3.

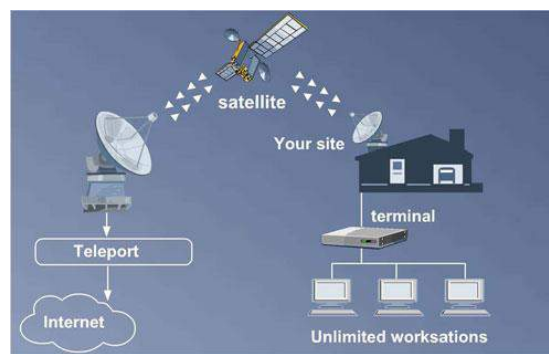


Figura 3: Internet Satelital

Fuente: http://www.servsat.com/App_Themes/Theme1/Images/irect.jpg

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La necesidad de comunicación o en términos actuales “estar conectados” cada vez se hace más indispensables y no distingue razas, credos o estatus sociales, sino que ha formado parte de una de las necesidades básicas del ser humano, por lo tanto, es necesario desplegar distintos sistemas de comunicación dependiendo los factores que presente el sitio, existen redes cableadas, inalámbricas, fijas y móviles, pero éstas tienen un limitante que es un área geográfica fija.

Es por eso que se desarrolló las comunicaciones satelitales, que prácticamente no tienen fronteras geográficas, ya que permiten establecer enlaces de radiofrecuencia entre dos puntos distantes en el globo terrestre con lo cual se rompieron las barreras y las comunicaciones se volvieron globales.

El sistema de comunicación satelital es una solución idónea para la prestación de varios servicios y en especial en aquellos donde por diversos factores impiden que las redes convencionales terrestres sean viables, además permite llegar a territorios donde otras tecnologías no están disponibles. (Hernández, 2012, P.11).

Con el desarrollo de nuevas formas de codificar la información también se ha aumentado el ancho de banda de los enlaces satelitales con los cual se ha podido implementar la prestación de nuevos servicios como son Telefonía, Video y transmisión de datos a altas velocidades.

Los sistemas satelitales además permiten la integración de diversos dispositivos e instrumentos para interconectarlos ya sea en un punto fijo o mientras se encuentran en movimiento, además tiene diversas aplicaciones como la navegación aérea, marina y terrestre a través del sistema de posicionamiento global.

Las comunicaciones satelitales también son de uso importante dentro de las aplicaciones militares ya que con estas pueden tener un mejor control del armamento y del personal que se encuentre en el campo.

Por lo expresado con anterioridad, las comunicaciones satelitales forman una parte importante y fundamental en los sistemas de comunicaciones, por tal motivo este trabajo tiene como finalidad el analizar diversos aspectos técnicos y lógicos que se mueven dentro de un sistema de comunicación satelital, sus fortalezas o debilidades y que a futuro se podría implementar.

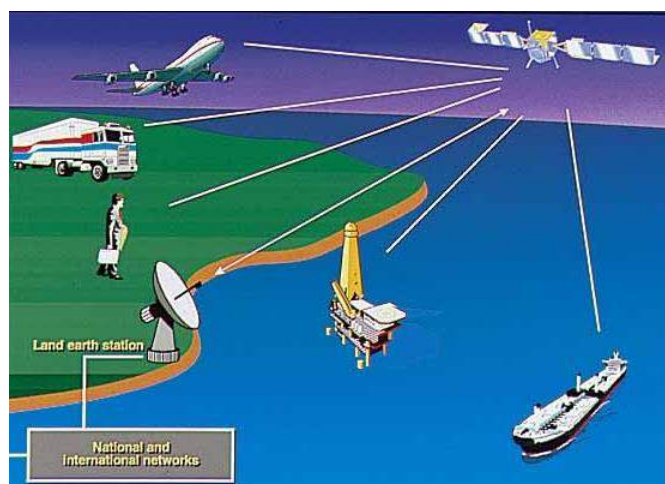


Figura 4: Sistema de comunicación satelital entre diversos dispositivos.

Fuente: <https://sites.google.com/site/capllevantcomunicaciones/>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un enlace de Comunicación Satelital para transmisión y recepción de voz y datos, basados en Radio Amateur en espacio.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Indagar en diferentes fuentes de información acerca de los métodos de comunicación satelital que existen en la actualidad para transmisión de voz y datos.
- Diseñar e implementar el enlace de comunicación satelital basado en radio amateur en espacio estableciendo parámetros o los requerimientos necesarios para transmisión y recepción de información.
- Comprobar la recepción del mensaje transmitido a través del enlace de comunicación satelital.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Comunicación Por Satélite

1.1.1. Comunicación

La palabra comunicación se deriva del latín “*communicare*” que significa *compartir algo*, por lo que se puede definir como un fenómeno inherente a la relación que los seres vivos mantienen cuando se encuentran reunidos. Por medio de la comunicación, las personas o animales obtienen información referente a su entorno y pueden compartirla con sus semejantes. (Pérez, 2008, p1)

El proceso de comunicarse involucra la transmisión de señales ya sean sonidos, gestos, señas, etc. Con el objetivo de dar a conocer un mensaje. Para que haya éxito en una comunicación, el receptor debe poseer las habilidades necesarias para decodificar el mensaje y asimilarlo. El proceso de la comunicación luego invierte sus roles ya que el receptor responde y se convierte en el nuevo emisor con lo que el emisor original pasa a ser el receptor. (Pérez, 2008, p.1)

Los elementos que se pueden apreciar en un proceso de comunicación son:

- Código: conforma un sistema de signos y reglas que mantienen una armonía en la intención de compartir algo:
- Canal: Es el medio físico que tiene como finalidad la transmisión de la información en la forma que se presente.
- Emisor y Receptor: Son el pilar fundamental en el proceso de comunicación ya que en ellos se genera y se recepta la información que se desea transmitir.

1.1.2. Comunicación satelital

Se puede definir como la utilización de tecnología avanzada que se ubica en el espacio y, utilizan microondas y radio frecuencia con el objetivo de recibir y transmitir información hacia diversos objetivos. Existen una variedad de satélites de tipo: científico, meteorológico, navegación, aplicaciones militares, etc. (López, 2011, p.2.)

Los satélites de comunicaciones constituyen un medio idóneo para transmitir señales de radio en zonas de difícil acceso y poco desarrolladas, ya que estos se pueden utilizar como estaciones repetidoras suspendidas en el cielo. Dado que la visión directa no es un inconveniente puede utilizar frecuencias altas en el rango de los GHz que son las que tienen mayor inmunidad a interferencias; además de que poseen una gran direccionalidad, las ondas a estas frecuencias permiten llegar a cubrir zonas concretas de la Tierra. La primera transmisión de televisión vía satélite se llevó a cabo en 1964 (Ramos, 2014, p.10)

1.1.3. Beneficios de las comunicaciones por satélite

La ventaja que más destaca es que las estaciones terrestres no se ven limitadas por distancias de cables y se pueden instalar en cualquier parte, solo requiere una línea de vista hacia el satélite, pero no es la única ventaja que ofrece, también las que se detallan a continuación:

- **Universal.** - las comunicaciones por satélite están disponibles en casi todas partes.
- **Versátil.** - los satélites pueden soportar varias formas de comunicación requeridas hoy en día.
- **Confiable.** - es un medio probado para apoyar a la empresa de comunicaciones ya que ofrece una disponibilidad alta de los servicios.
- **Continuo.** - los satélites operan 24 horas los 7 días de la semana, salvo alguna falla física o lógica que suspenda el servicio.
- **Rápido.** - las redes satélites se pueden instalar de forma rápida y económica a miles de lugares dentro de su área de cobertura.
- **Escalable.** - los satélites permiten un rápido crecimiento de las redes de comunicaciones gracias a su gran ancho de banda.
- **Flexible.** - Los satélites pueden ser fácilmente integrados para complementar, ampliar o extender cualquier red de comunicaciones.

1.1.4. Características de los Satélites

Los satélites de comunicaciones presentan algunas ventajas sobre los medios de comunicaciones tradicionales, ya que estos sistemas de comunicación pretenden una cobertura total del globo terrestre, es por este motivo que se presentan a continuación una lista de las características que posee la comunicación satelital.

- Los satélites de comunicación es que pueden receptar y transmitir desde el espacio exterior ondas de radio en cualquier dirección que se haya tomado en cuenta en su diseño. (Rosado, 1998, p. 2)
- El hecho de poder recibir con casi la misma intensidad en cualquier lugar de una superficie geográfica determinada, es la principal causa de su uso debido a sus implicaciones. (Rosado, 1998, p. 2)
- El poder recibir señales transmitidas desde estaciones terrestres ubicadas en cualquier punto geográfico de la tierra es casi tan importante con la característica anterior (Rosado, 1998, p. 2)
- Un solo satélite ubicado en una órbita Geoestacionaria puede emplearse para cubrir una gran superficie, aproximadamente poco más de un tercio de la superficie terrestre, o para cubrir la totalidad de un solo país. (Rosado, 1998, p. 2)
- Los satélites Geoestacionarios giran en sincronía con la rotación de la tierra, por lo que se puede decir que en la mayoría del tiempo se encuentra fijos en un mismo punto de la superficie terrestre. (Rosado, 1998, p. 3)
- Se requiere un sistema mínimo de tres satélites en la órbita geoestacionaria para una cobertura global, excepto en las regiones polares. (Rosado, 1998, p. 3)

En contraste con los sistemas terrenales como las microondas y de cables, aunque se extienden por un territorio del tamaño que cubre un satélite, solo tiene una cobertura de puntos fijos, y dejan grandes sectores sin cubrir. Además, requieren varios años de desarrollo para completarse, estos deben tener fuentes de alimentación y de reprocesamiento de señales en intervalos de distancia, y tienen que conectarse a la red local de distribución. (Rosado, 1998, p.5)

1.1.5. Bandas de frecuencias satelitales

Las comunicaciones satelitales requieren de frecuencias portadoras con el objeto de separar las transmisiones y evitar interferencias. Sin embargo, como las ondas electromagnéticas se ven afectadas por la materia según su frecuencia, no todo el espectro electromagnético puede pasar a través de la atmósfera de la Tierra, por lo que solamente una parte de este espectro es útil para las comunicaciones satelitales. (Duarte, 2014, p.2)

A continuación, se muestra las bandas utilizadas en las comunicaciones satelitales:

1.1.5.1. Banda VHF

- **136 – 138 MHz.** - Usada por satélites meteorológicos que transmiten datos e imágenes de baja resolución, así como por enlaces de bajada de satélites de comunicaciones móviles de baja velocidad.
- **144 - 146 MHz.** - Usada para comunicar satélites amateurs. La mayoría de los enlaces se realizan en la parte alta de la banda.
- **148 - 150 MHz.** - Esta banda se utiliza para los enlaces de subida de los satélites que tienen enlaces de bajada en la banda 137 - 138 MHz.
- **149.95 - 150.05 MHz.** - Esta banda es utilizada por satélites que proporcionan servicios de posicionamiento y señales de tiempo y frecuencia.
- **240 - 270 MHz.** - Reservada para las comunicaciones satelitales militares.

1.1.5.2. Banda UHF

- **399.9 - 403 MHz.** - Esta banda se utiliza para la navegación, posicionamiento, estándares de tiempo y frecuencia y para satélites meteorológicos.
- **432 - 438 MHz.** - En esta banda es utilizada por satélites amateurs y por algunos satélites de observación de la tierra.
- **460 - 470 MHz.** - Esta banda se utiliza para satélites meteorológicos y ambientales e incluye frecuencias de subida para sensores de datos remotos.

1.1.6. Funcionamiento básico de un Satélite

Un satélite se puede dividir en dos partes indispensables para su funcionamiento: el grupo de equipos y antenas tratan las señales de los usuarios como una función importante, denominada carga útil, y la estructura que brinda soporte, con otros elementos de apoyo a la función antes mencionada se denomina plataforma. (Rosado, 1998, p. 9)

La información o payload tiene un campo amplio de acción sobre la cobertura del satélite y de la utilización de radiofrecuencia en una gran variedad de frecuencias que componen la capacidad de comunicación al servicio de los usuarios, siempre y cuando los elementos de la plataforma no excedan los límites de satélite. (Rosado, 1998, p.10)

La plataforma está conformada por subsistemas que apoyan el correcto funcionamiento de la carga de las comunicaciones. La estructura de una plataforma se utiliza tanto para el soporte de los elementos como para el payload. Esta estructura debe ser lo suficiente robusta para tolerar las

cargas estáticas y la vibración producida por el lanzamiento, a la vez que se debe conseguir un peso lo más ligero posible con la mayor resistencia a los factores espaciales. (Rosado, 1998, p. 10)

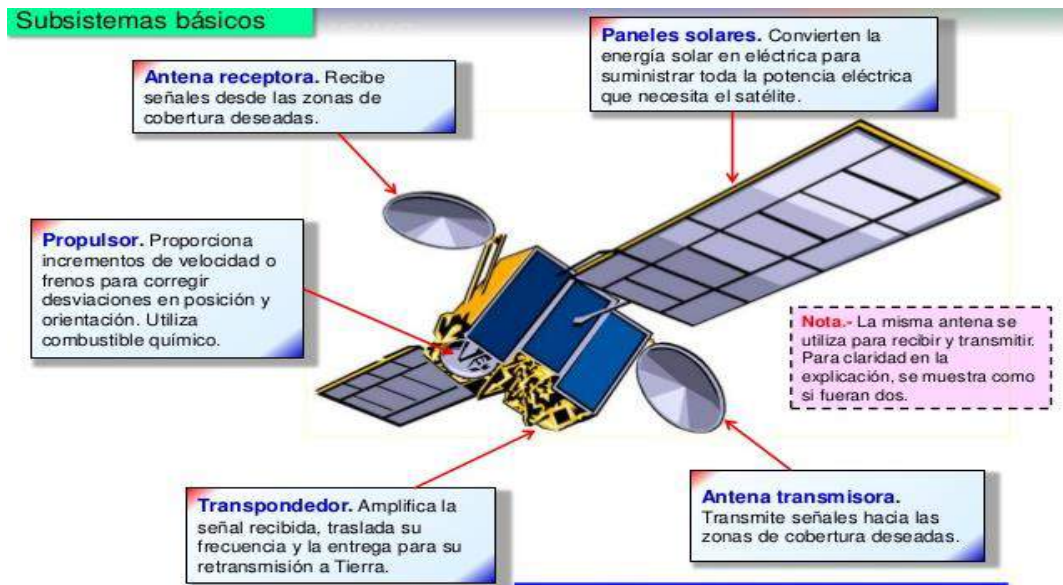


Figura 1-1: Subsistemas básicos de un satélite

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/7-1redesporsatlite-sh>

1.1.7. Constitución de un sistema de Satélites

El sistema de comunicación por satélite se conforma por uno o más satélites, uno o más estaciones de control, y de estaciones terrestres cuyo objetivo es establecer una comunicación a través de los elementos antes mencionados. (Rosado, 1998, p.15)

Los satélites reciben las señales provenientes de estaciones terrestres, las asimilan, procesan y reenvían al área de cobertura. Dentro de los cargos que tiene un satélite es la recolección de información del funcionamiento de sí mismo para transmitir a una estación de control. (Rosado, 1998, p.15)

Los centros de control vigilan el estado de todos los subsistemas del satélite, y a través de señales de control, conservan dentro de los valores admitidos todas las medidas primordiales para un óptimo funcionamiento. Otra función que desempeñan los centros de control es la de conservar los parámetros de posición y apuntamiento mediante algoritmos y funciones preestablecidas. (Rosado, 1998, p.15)

1.1.8. Transponder

Es el nombre que se le da a un dispositivo utilizado en las telecomunicaciones que usualmente se encuentra en los satélites que orbitan la tierra, su función es la de recibir la información proveniente de la estación transmisora terrestre, procesarla y regenerarla para finalmente retransmitir las señales hacia la estación receptora terrestre.

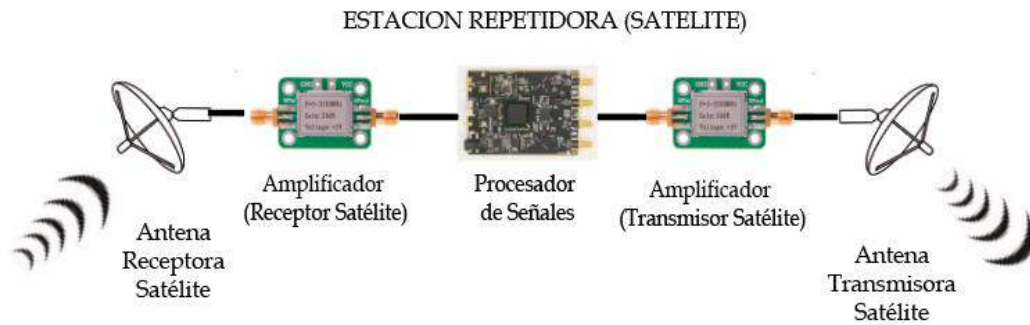


Figura 2-1: Elementos fundamentales de una estación repetidora espacial.

Fuente: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada y eliminar interferencias (Filtro Pasa-Banda), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA) para elevar la señal hasta el nivel necesario para entrar al mezclador, un traslator de frecuencias para cambiar la frecuencia de la portadora, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida para la retransmisión. Este transponder es un repetidor de RF a RF.

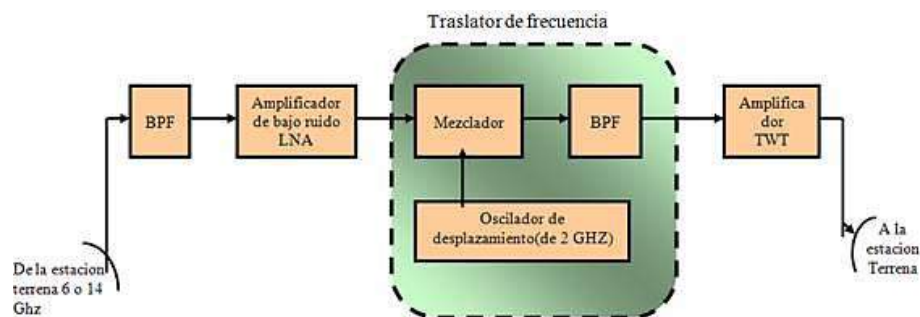


Figura 3-1: Estructura de un transponder básico satelital.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos11/caracsat/image002.jpg>

1.1.9. Red Satelital

El propósito de una red de telecomunicaciones es la de transmitir y recibir señales de radiofrecuencia con características específicas entre un conjunto determinado de estaciones distantes entre sí. Un conjunto de satélites o uno solo, puede utilizarse para establecer una red o un número n de redes de comunicaciones independientes. (Rosado, 1998, p.35)

Pueden tener una composición de nodos, algunos de los cuales son satélites que proveen comunicación desde un punto en la tierra a otro. Un nodo en la red puede ser un satélite, una estación terrena o un terminal o teléfono de un usuario final. La luna siendo un satélite natural es usada también como un nodo de retransmisión de señales, aunque es preferible utilizar satélites artificiales que puedan regenerar las señales que al viajar por el espacio libre pierden energía. (Adreula, 2015, p.5).

La red más pequeña puede estar compuesta por solo tres estaciones en contraste con la más grande que puede poseer millones. Cada red es diseñada para satisfacer las necesidades de los usuarios que pagan por una cierta capacidad del sistema satelital, ya sea para transmitir audio, video o datos.

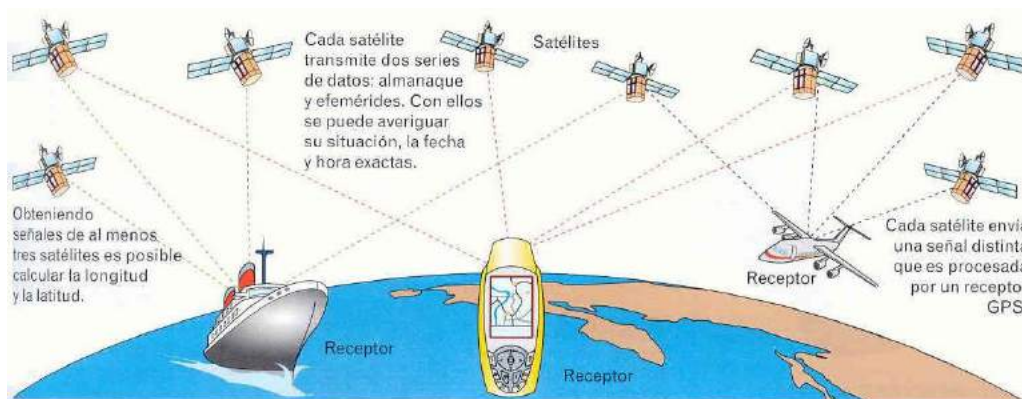


Figura 4-1: Red de satélites para GPS

Fuente: <http://p1.img.cctvpic.com/photoworkspace/contentimg/>

1.1.9.1. Comunicación Punto a Punto

Este tipo de conexión permite la comunicación entre dos estaciones para intercambiar tráfico de manera simultánea formando un circuito, cada estación transmite a una frecuencia diferente y recibe en otra frecuencia con la finalidad de minimizar al máximo las interferencias y corresponden a la trasposición de frecuencia. (Rosado, 1998, p.37)

Las comunicaciones punto a punto suelen ser mejores para sistemas terrenales ya poseen un mayor flujo de tráfico y técnicamente son más convenientes, aunque tengan que pasar por algunas estaciones intermedias.

1.1.9.2. Comunicación Punto Multipunto

Los satélites poseen la ventaja de permitir la transmisión de una señal desde una estación, hacia una red de un número ilimitado de estaciones receptoras dentro de la huella de cobertura del enlace descendente. Para este tipo de comunicaciones las estaciones receptoras reciben la señal con casi la misma intensidad y con la misma frecuencia ya que este tipo de red no necesita recibir selectivamente o que puedan interferir. (Rosado, 1998, p.38)

Para este tipo de comunicaciones conviene tener una señal lo más limpia y con una potencia aceptable para asegurar una comunicación fiable de ambos extremos, ya que si no se cumple con los requerimientos necesarios la red presentaría fallos en distintos puntos de recepción.

La red punto multipunto presenta una gran ventaja sobre las redes terrestres ya que su implementación es casi inmediata y no requiere de inversiones adicionales además que las redes terrestres necesitan estaciones repetidoras que por más profesionales que sean, le agregan un poco más de ruido a la señal.

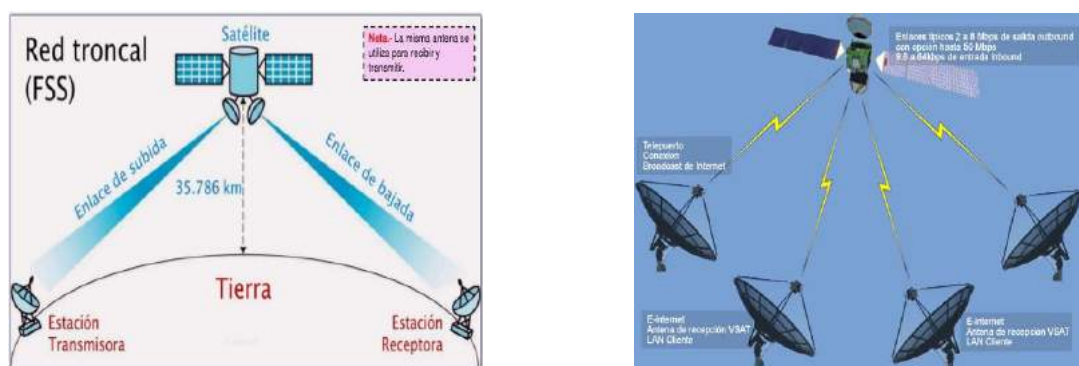


Figura 5-1: Comunicación punto a punto y comunicación punto a multipunto.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

1.1.9.3. Capacidad de la Red

La capacidad de una red de comunicación satelital está determinada por el ancho de banda que posee y la potencia con la que puede radiar de sus repetidores dentro de la zona de huella del satélite. Cada red puede o no utilizar el total de su capacidad, y la suma de lo que utiliza todas las redes en cada transpondedor no puede sobrepasar la capacidad física del equipo (Ramos, 2009, p. 47).

Cada red tiene sus necesidades o requerimientos de recursos por parte del satélite, estos dependen del tipo de señales que va a procesar y de la cantidad de tráfico que tiene previsto cursar para cada una de las estaciones terrestres que lo conforman.

1.1.9.4. Disponibilidad de la Comunicación

La disponibilidad es una característica, que representa el tiempo durante el servicio se encuentra activo y funcionando en óptimas condiciones y se mide en porcentaje, a causa a la alta seguridad de operación y a la imposibilidad de reparación los satélites se construyen con componentes robustos a las condiciones externas, con un tiempo de vida largo y bajo estricto control de calidad, con lo que se obtienen porcentajes de disponibilidad altos. (Ramos, 2009, p. 48)

1.1.9.5. Servicios

Una de las características que destaca en los satélites es que poseen la capacidad de brindar una gran variedad de servicios. Los satélites en un principio fueron diseñados para brindar telefonía internacional y en una menor porción para televisión internacional, después del paso del satélite y gracias al desarrollo nacional se impulsó la diversificación de servicios fijos como: Servicios de video, Radio difusión, televisión, medicina, educación, telefonía, datos. Etc. (Luque, 2013, p.2)

1.2. Orbitas

En 1945, Arthur C Clarke contemplo la posibilidad de colocar satélites artificiales en un plano imaginario (Orbitas) de tal forma que al mirarlos desde la superficie de la tierra parecieran inmóviles, como si estuviesen suspendidos en el cielo. Como los satélites aparentemente no cambian su posición se podría obtener grandes ventajas como se comprobó años más tarde cuando con tres satélites se pudo comunicar a casi la totalidad del mundo. (Neri, 2003, p.15)

1.2.1. Satélites de órbita

Estos van girando alrededor de la tierra, si esta gira en el mismo sentido del cual gira la tierra y a una velocidad mayor a este se le denomina como órbita prógrada, pero si este va en la dirección contraria de la tierra y a una velocidad inferior se le denomina como órbita retrograda, (Andrade, 2012, p.32)

Las estaciones ubicadas en la tierra deben de estar pendientes cuando el satélite va a pasar por arriba para unir las antenas de los mismos y así poder localizarlo, por lo tanto, esto es tomado en cuenta como una desventaja. Pero una gran ventaja que posee estos satélites son el apogeo y perigeo. Cuando se habla de apogeo se habla de la distancia más lejana de la tierra que el satélite puede alcanzar, y el perigeo se refiere a la distancia más cercana de la tierra.

Se pueden resaltar 4 tipos de órbitas las cuales se conocerían a continuación:

1.2.2. Geosincronas (GEO)

Esta se encuentra ubicada a una altura de hasta 35.848 kilómetros por arriba del ecuador, los tipos de satélites con esta órbita que están en el ecuador su periodo orbital es de 24 horas por lo que se encontrará sobre el mismo punto en la tierra, cuando sucede esto los satélites alrededor deben estar separados con dos grados del mismo, esta órbita fue propuesta por Clarke en 1945 (Sevilla, 2012, p.1)

El satélite parece permanecer exactamente estacionario con respecto a la tierra. Solo se necesitan tres satélites GEO para cubrir el planeta, excepto en regiones más extremas del casquete polar, la gran altitud significa que la densidad de flujo de los haces es mucho menor que para los sistemas LEO o MEO (Serrano, 2014, p2). Esta órbita es el lugar donde se ubican todos los satélites que proveen internet, televisión, telefonía y datos a distintas regiones del globo.

1.2.3. Órbita Terrestre Media (MEO)

Puede estar ubicada a una altura de aproximadamente 10.075 y 20.150 kilómetros, los satélites cuando tiene este tipo de configuración no mantienen una ubicación fija asociada a la tierra, y pueden encontrarse muy pocos satélites con este tipo de Órbita. Son utilizados mayoritariamente por los satélites de comunicación. Si esta se ubica a una altitud menor se requieren más satélites para poder ampliar y mejorar la señal, y son colocados en una órbita elíptica

Usada por satélites de observación, defensa y posicionamiento, como las redes satelitales de GPS, y los satélites Glonass rusos o los Galileo europeos.

1.2.4. *Órbita Terrestre Baja Altura (LEO)*

Son un tipo de satélite el cual tiene las orbitas más bajas de aproximadamente 2.000 kilómetros, por esa razón esta debe viajar más rápido para no salirse de orbita debido a la fuerza de la gravedad de la tierra, un satélite LEO es capaz de darle la vuelta completa a la tierra en una hora y media, este es utilizado comúnmente en los servicios de telecomunicaciones ya que el retardo de la información es mínimo, existen una gran saturación en este tipo por la cantidad existente y por la chatarra que debe arrojar en el proceso de su lanzamiento (Hernández, 2012, p.34)

Es la clase de órbita circular donde se encuentra la Estación Espacial Internacional, la gran mayoría de los satélites meteorológicos o de observación, y muchos satélites de comunicaciones.

1.2.5. *Orbita De Mólniya*

También puede ser conocida por el nombre de elíptica, la cual puede estar inclinada a unos 63° teniendo un periodo orbital de 12 horas, tiene la capacidad de permanecer durante un tiempo en un lugar determinado, esta obrita programada en satélites hace que pueda llegar a zona polares donde no hay mucha comunicación (Sevilla, 2012, p.2)



Figura 6-1: Clasificación de las orbitas terrestres.

Fuente: <https://100cia.site/images/5520.jpg>

1.3. SDR

Software Defined Radio (SDR), es una tecnología que ha revolucionado la comunicación vía inalámbrica, proporcionando un mayor rango de estudio y desarrollo. SDR se refiere a radios reconfigurables/reprogramables cuyas características de la capa física permiten al usuario modificarla significativamente vía software. (Wyglinski, 2013, pág. 10). Los SDR tienen varias ventajas como interoperabilidad, uso eficiente de recursos bajo condiciones variables, posibilidad de reutilización de frecuencia.

1.3.1. Niveles de SDR

Para instituir una clasificación de los equipos de radio se ha definido 5 niveles de utilización de software, determinando la frontera entre el hardware y software en el equipo:

1.3.1.1. Nivel 0

Radio construido por hardware. - En este nivel no hay software, ni en el control ni en la realización de las funciones de operación del radio (García, 2011, p.6).

1.3.1.2. Nivel 1

Radio controlador por software. - Se controlan algunas funciones como el nivel de potencia, interconexiones, etc. (García, 2011, p.6).

1.3.1.3. Nivel 2

Radio configurable por software (SCR). - Existe el control de software de ciertos parámetros como frecuencia, modulación, generación/detección de forma de onda, seguridad, etc. (García, 2011, p.7).

1.3.1.4. Nivel 3

Radio Definido por Software Ideal (ISR). - Donde la frontera entre la parte configurable y la no configurable se encuentra muy cercana a la antena, y la etapa final de RF es configurable. (García, 2011, p.7).

1.3.1.5. Nivel 4

Ultimate Software Radio (USR). - constituyen una etapa superior al ISR puesto que no solo son completamente programables, sino que además son capaces de soportar un amplio rango de funciones y frecuencias simultáneamente. (García, 2011, p.7).

1.3.2. USRP

Es un transceptor periférico de radio mediante un Software universal (Universal Software Radio Peripheral, USRP), este permite la generación de prototipos de sistemas de comunicación, tiene la capacidad de permitir trabajar en una amplia gama de frecuencias con una banda ancha en tiempo real, también es necesario mencionar que este tipo de dispositivos son de código abierto el cual puede ser reprogramable, además con el software permite crear aplicaciones inalámbricas avanzadas (National Instruments, 2018).

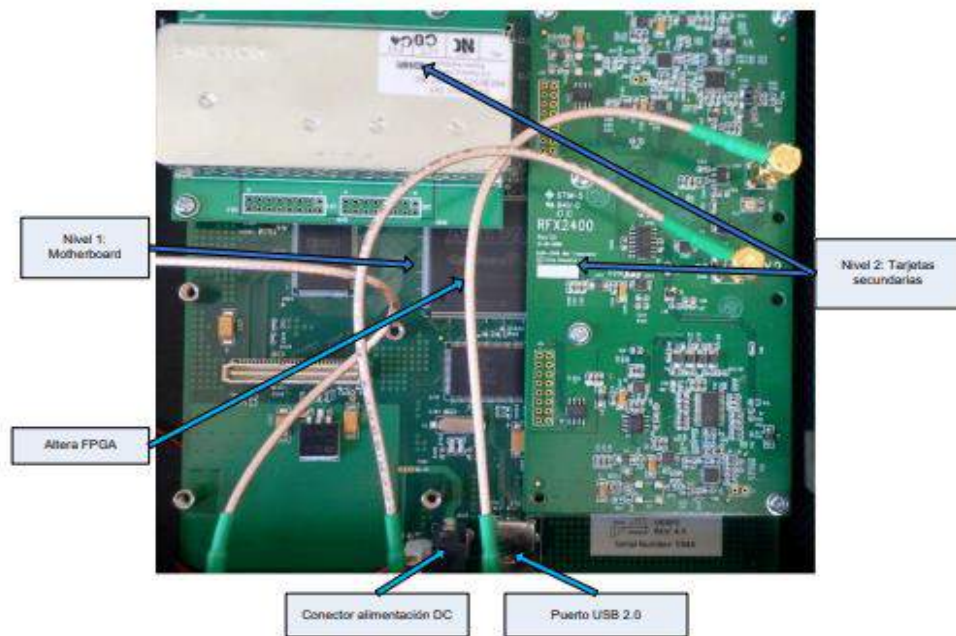


Figura 7-1: Niveles Universal Software Radio Peripheral

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Esta tarjeta permite que se puedan dar transmisiones FM, TV teléfonos celulares, GPS, Wifi como entre otros, al tener una de ellas los usuarios pueden desarrollar prototipos en GNU radio, Matlab y algún software de programación más, participando en la comunidad de SDR de código abierto, esto permite tener una compatibilidad total con el Software UHD.

1.3.3. Modelos USRP

Hay dos empresas en existencia que se han hecho cargo del diseño de las tarjetas USRP, estas son:

1.3.3.1. Nationals Instruments

Esta toma el rol del desarrollo en cuanto a la producción (Hardware y Software), esta brinda una opción para poder elaborar o diseñar prototipos como por ejemplo la serie USRP NI292x la cual tiene la ventaja de laborar en conjunto con LabVIEW, optimizando lo complicado del diseño. (National Instruments, 2018).

1.3.3.2. Ettus Research TM

Esta empresa es la que tiene el mayor nivel de distribución de plataformas de radio mediante software, añadiendo USRP. Esta empresa (ETTUS) posee con cuatro series, son las siguientes: Serie X – xxx, Serie N – xxx, Serie B – xxx, y por último la Serie E – xxx. Cada una de las series maneja características distintas.

1.4. USRP B210

Esta tarjeta tiene su funcionamiento en base de la tecnología de radio definido mediante software (SDR), está ya ha sido usada para ciertas aplicaciones utilizada para la milicia aproximadamente por más de dos décadas, y actualmente está disponible para otras personas debido a las reducciones existentes en los costos en la tecnología, (MACARIO, 2016)

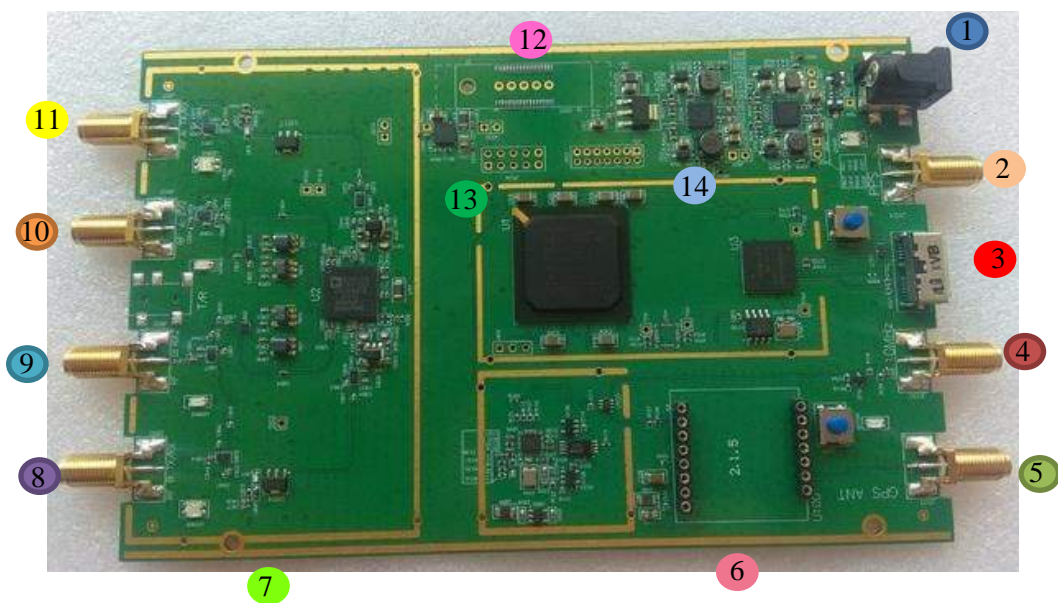
Esta tarjeta funciona como receptor y transmisor la cual fue desarrollada por ETTUS, esta puede ser configurada mediante un software a código abierto, de tal forma que concede la entrada necesaria. USRP Hardware Driver (UHD) Permite la comunicación entre la computadora y B210.

1.4.1. Arquitectura o estructura de la tarjeta USRP B210

El interfaz está diseñado con el sistema análogo Devices AD936, el cual está integrada en el USRP B210, es un transceptor de conversión directa, el cual posee un solo chip tiene una capacidad de 56 MHz en cuanto al ancho de banda. El procesamiento y control de la señal a bordo del AD9361 se realiza mediante un FPGA Spartan6 XC6SLX150 conectado a una PC host

mediante SuperSpeed USB 3.0. El rendimiento en tiempo real de USRP B210 se compara con una cuadratura de 61.44Mb / s, lo que proporciona un ancho de banda de RF instantáneo de 56 MHz a la PC host para un procesamiento adicional utilizando GNU Radio o aplicaciones que utilizan la API UHD (Pinar, 2014, p.11).

La USRP B210 maneja un diseño de hardware bien organizado, posee ocho puertos los cuales están ubicados de manera estratégica, está también posee entradas extras solo para uso de antenas GPS. Lo más avanzado, actualizado, o nuevamente diseñado es que la creación de USRP – PC se conecta a través de un puerto USB 3.0, esta es de gran avance es decir una gran velocidad a diferencia del USB 2.0. Sus medidas son de 15.5 x 10 cm con un peso aproximado de 350g.



- | | |
|------------------------------------|-------------------|
| ① Alimentación externa para 6 o 3v | ⑧ TX/RX canal 2 |
| ② Entrada externa PPA | ⑨ RX2 canal 2 |
| ③ Puerto USB 3.0 | ⑩ RX2 canal 1 |
| ④ Entrada externa 10 MHz | ⑪ TX/RX canal 1 |
| ⑤ Antena GPS | ⑫ Conector Micror |
| ⑥ Socket GPSDO | ⑬ GPIO Header |
| ⑦ Ranura para sujetar la tarjeta | ⑭ JTAG Header |

Figura 8-1: Ilustración de una tarjeta USRP B210

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

El puerto USB 3.0 es la interfaz de conexión entre la tarjeta USRP y la PC, mientras que el bloque de unidad lógica USB 3.0 PHY representa la conexión física real con la unidad lógica de la USRP. El bloque FPGA se realiza todo el proceso de programación y tratamiento de la señal, podemos decir que la FPGA es el “corazón” de la USRP, ya que mediante sus bloques lógicos se puede llevar a cabo la construcción desde un simple a un avanzado sistema, y junto al UHD permite que trabaje a la par con USRP. (Mejía, 2017, p.25)

El bloque RFIC se utiliza para comunicaciones inalámbricas y se comunica con el bloque RF que son circuitos entre la antena y la etapa mezcladora. Se incluyen también bloques GPSDO que se utiliza para trabajar con más tarjetas USRO.

1.5. MODULACIONES

1.5.1. Modulación de encendido-apagado (OOK)

La modulación de encendido-apagado (OOK) también denominada modulación por corrimiento de amplitud (ASK), consiste en la manipulación (conmutación) de una onda sinusoidal portadora a través de su encendido y apagado mediante una señal binaria unipolar. La OOK es idéntica a la modulación binaria unipolar en una señal DSB.SC, hay que tener en cuenta que fue una de las primeras técnicas de modulación empleadas y antecede a los sistemas analógicos de comunicación. (COUCH, 2008, pág. 339)

La señal de OOK se representa mediante la siguiente ecuación:

$$s(t) = A_c m(t) \cos \omega_c t \quad \text{Ecuación 1.1}$$

1.5.2. Modulación en frecuencia FM

Según (COUCH, 2008) afirma que la modulación de frecuencia FM, es un caso especial de señalización modulada por ángulo, en este tipo de modulación la envolvente compleja es:

$$g(t) = A_c e^{j\theta(t)} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde la envolvente real, $R(t) = |g(t)| = A_c$, es una constante y la fase $\theta(t)$ es una función lineal de la señal de modulación $m(t)$, $g(t)$ es una función no lineal, donde encontramos que la señal modulada por ángulo es:

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + \theta(t)] \quad \text{Ecuación 3.1}$$

La fase proporcional de FM es la integral de $m(t)$ donde:

$$\theta(t) = D_f \int_{-\infty}^t m(\sigma) d\sigma \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde la constante de desviación de frecuencia D_f tiene unidades de radianes / volt-segundo. (pág. 318-319)

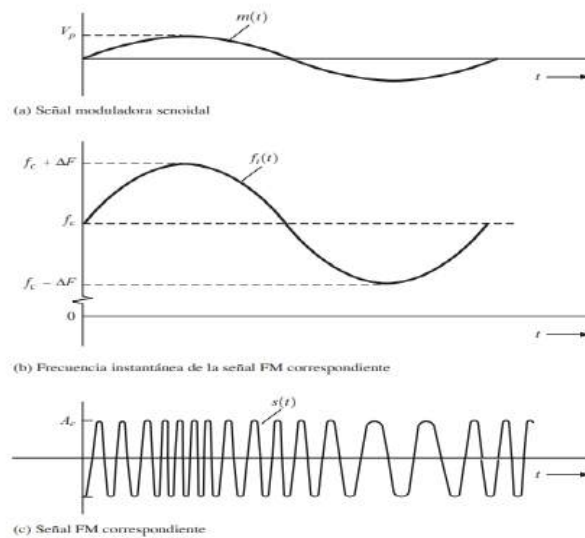


Figura 9-1: Portadora modulada en frecuencia

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

El índice de modulación: El índice de modulación en frecuencia se obtiene a partir de la ecuación:

$$\beta_f = \frac{\Delta F}{B} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde ΔF es la desviación de frecuencia pico y B es el ancho de banda de la señal moduladora, la cual, para una modulación senoidal, es F_m la frecuencia de la senoidal.

El ancho de banda de la señal modulada por ángulo depende de β y F_m . Donde β es el índice de modulación en fase o el índice de modulación en frecuencia, y B es el ancho de banda de la señal moduladora (el cual es F_m para una modulación senoidal). Esta fórmula proporciona una expresión empírica para evaluar el ancho de banda de transmisión para señales FM, y se conoce como regla de Carson, debido a que ofrece una fórmula fácil para calcular el ancho de banda de señales moduladas por ángulo. (COUCH, 2008, pág. 322)

1.5.3. Suma de señales

Dos señales de diferentes frecuencias se pueden combinar sumando su amplitud instantánea en un momento t para de esta manera cambiar la forma de la onda en tiempo, pero conservando sus propiedades en frecuencia. Para este sistema tiene dos o más señales de entrada, y la salida de este sistema es precisamente la suma de las entradas como se muestra en la siguiente Figura:

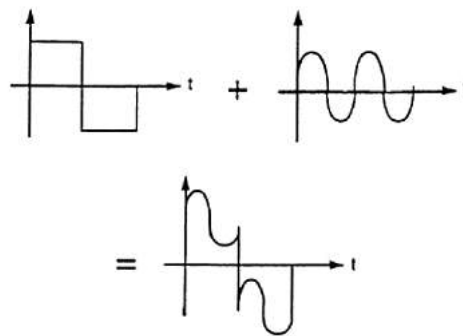


Figura 10-1: Suma de amplitudes de dos señales

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

1.6. ANTENAS

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de difundir o recoger ondas radioeléctricas. Las antenas convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas y viceversa. Existen distintos tipos de antenas, pero todas cumplen la misma función: servir de emisor y receptor de una señal de radio. (Ruesca, 2016, p.2)

Existe una gran variedad de antenas, dependiendo del uso que se les vaya a dar. En algunos casos deben expandir en lo posible la potencia radiada y otras veces deben ser lo más directivas posibles para canalizar la potencia y no interferir otros servicios. (Huidobro, 2013, p.6)

El tamaño de la antena está directamente relacionado con la longitud de onda (λ) de la señal de radiofrecuencia, en general es un múltiplo o submúltiplo exacto y es por eso que a medida que se van utilizando frecuencias mayores las antenas reducen su tamaño. (Huidobro, 2013, p.6)

1.6.1. Tipos de antenas

1.6.1.1. Antena isotrópica

Es una antena hipotética sin pérdida que tiene igual intensidad de radiación en todas las direcciones, sirve de base como referencia para evaluar la directividad. La antena isotrópica no es una antena física sino un concepto para evaluar a las antenas en función de concentración de energía y a las pérdidas por propagación en el espacio libre en los enlaces de radiofrecuencia. (Huidobro, 2013, p.6)



Figura 11-1: Representación de una antena isotrópica

Fuente: <http://raea970302.blogspot.com/2017/08/tipos-de-antenas.html>

1.6.1.2. Antena de Hilo

Están formadas por hilos conductores, eléctricamente delgados, cuyo diámetro $\ll \lambda$. Se modelan como un conductor de sección infinitesimal. Pueden estar formados por hilos rectos, espirales y hélices. (Huidobro, 2013, p.6)

La antena más común de este tipo es el dipolo. Esta clase de antena es la más sencilla y su longitud es de la mitad de la onda, esta consiste en un hilo conductor cortado por la mitad y en cuyo centro se coloca un generador o transmisor.

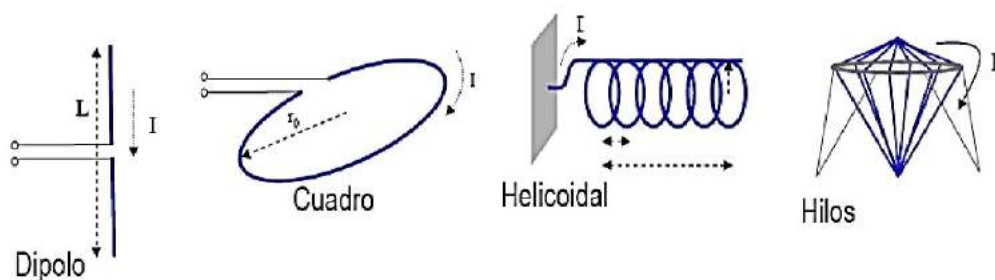


Figura 12-1: Tipos de antenas de hilo

Fuente: (Hidrobo, J, Pág.6, 2013)

1.6.1.3. Antenas Yagi – uda

Son antenas directivas utilizadas ampliamente en la recepción de señales de televisión en la banda UHF, ya que poseen una gran directividad, y esta aumenta cuando mayor es el número de elementos que se incorpore y así su ganancia es la adecuada para recibir el nivel de señal suficiente para que pueda ser amplificada sin problemas. (Huidobro, 2013, p.8)

La antena Yagi es una antena capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor o recibida desde la fuente y evitando así interferencias producidas por otras fuentes.

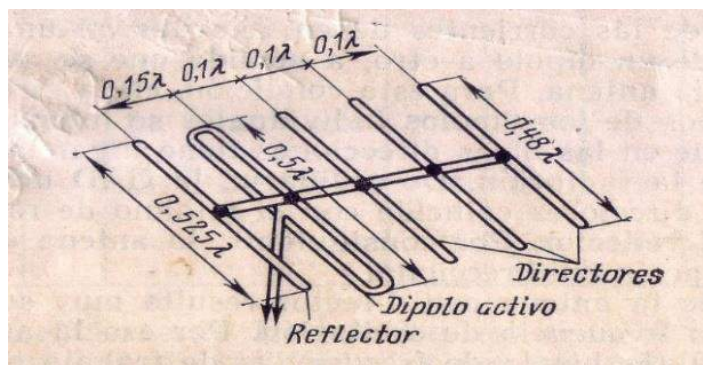


Figura 13-1: Representación de una antena YAGI-UDA

Fuente: <https://revista.jovenclub.cu/wp-content/uploads/2015/06/Figura-11.jpg>

1.6.1.4. Antenas con reflector (Parabólicas)

En este tipo de antenas la señal emitida/recibida no sale/entra directamente en/del elemento captador, sino que se emite/recoge por/en el mismo una vez reflejada en un elemento pasivo que concentra la señal. En el caso de una antena receptora, su funcionamiento se basa en la reflexión de las ondas electromagnéticas, por la cual las ondas que inciden paralelamente al eje principal se reflejan y van a parar a un punto denominado foco que está centrado en el paraboloide. En cambio, si se trata de una antena emisora, las ondas que emanan del foco (dispositivo de emisión) se ven reflejadas y salen en dirección paralela al eje de la antena. (Huidobro, 2013, p.10)

1.6.2. Parámetros de una antena

1.6.2.1. Patrón de radiación

Es la representación tridimensional del valor promedio del vector de Poynting asociado a una antena. Se divide en “lóbulos”, regiones cerradas donde la radiación es continua. Los lóbulos están separados por puntos donde no hay radiación llamados “nulos”. El lóbulo con la mayor concentración de radiación es el lóbulo principal y pueden existir más de uno con la misma magnitud. Los lóbulos restantes se denominan secundarios y dependiendo de su posición pueden ser laterales o posteriores. (Torres, 2003, p.109)

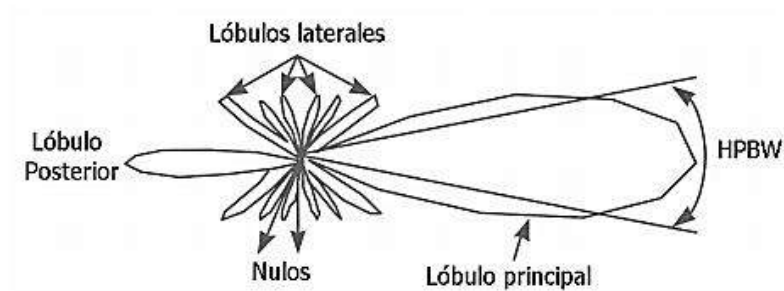


Figura 14-1: Patrón de radiación para una antena genérica

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos98/parametros-fundamentales-antenas>

1.6.2.2. Potencia radiada

Es la integral del vector de Poynting en una superficie cerrada que envuelve totalmente la fuente de radiación

$$P = \oint S \cdot da = P_{rad} + jP_x \quad \text{Ecuación 6.1}$$

La potencia radiada es una cantidad compleja, la parte real es la potencia radiactiva (P_{rad}) y la parte compleja es la parte reactiva (P_x). La potencia radiactiva se puede transferir a un medio conductor mientras que la reactiva no se puede aprovechar. (Sánchez, 2007, p.20)

1.6.2.3. Intensidad de radiación

Es la potencia radiada por la parte real de la potencia de una antena en una dirección dada por unidad de ángulo sólido. Sus unidades son W/steradian, y está definida de la siguiente manera: (Sánchez, 2007, p.20)

$$U = r^2 S \quad \text{Ecuación 7.1}$$

Donde:

U = Intensidad de radiación

r = Radio de la superficie de la que se calcula la intensidad de radiación

S = Densidad de potencia

1.6.2.4. Ancho de haz

Ancho de haz entre los primeros nulos (FNBW). - es el tamaño angular del lóbulo principal.

Ancho de haz de media potencia (HPBW): medida angular en la cual se radia el 50% de la potencia. (Sánchez, 2007, p.21)

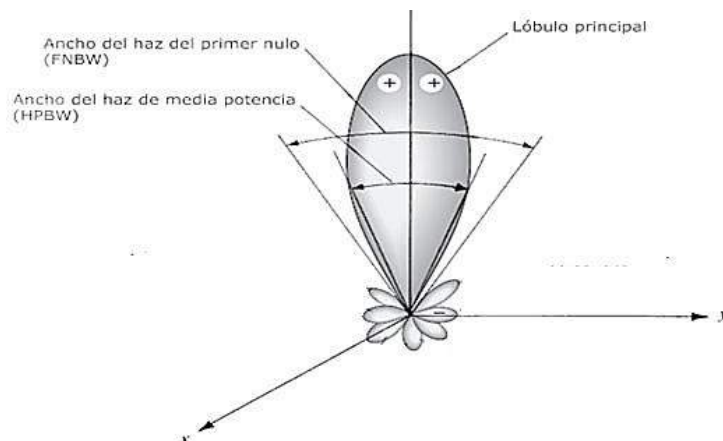


Figura 15-1: Representación del haz de radiación

Fuente: <http://scielo.sld.cu/img/revistas/eac/v34n1/f0306113.jpg>

1.6.2.5. Resistencia de radiación

Un transmisor y su antena asociada pueden ser representados por un circuito equivalente como se observa en la Figura 16-1. La parte resistiva de la impedancia consta de una resistencia de radiación (R_r) y una resistencia de pérdida (R_l). Para obtener una transferencia máxima de potencia se debe acoplar la impedancia de entrada con la de la línea de transmisión. (Sánchez, 2007, p.22)

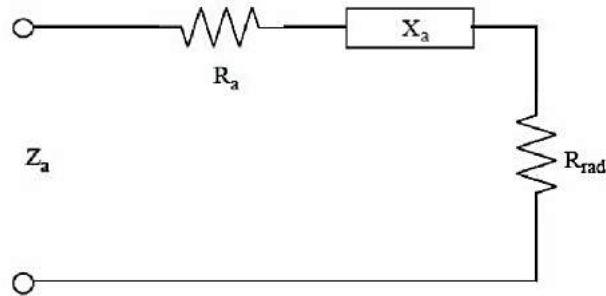


Figura 16-1: Representación de un transmisor y su antena.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

1.6.2.6. Directividad

La definición que ha adoptado este parámetro es: “la razón de la intensidad en una dirección dada frente a la intensidad de radiación promedio en todas las direcciones.”, a continuación, se ilustrara en forma de ecuación. (Sánchez, 2007, p.23)

$$D(\theta, \phi) = \frac{\text{Intensidad de la radiación de la antena en dirección } D(\theta, \phi)}{\text{Intensidad media de la radiación en todas las direcciones}} \quad \text{Ecuación 8.1}$$

1.6.2.7. Eficiencia

Parámetro que se encarga de medir las pérdidas de potencia en una antena por disipación en conductores y dieléctrico, reflexión por mal acoplamiento, polarización inadecuada y el área eléctrica menor a la física. (Sánchez, 2007, p.23)

$$0 \leq e \leq 1 \quad \text{Ecuación 9.1}$$

1.6.2.8. *Ganancia*

Se define como la ganancia de potencia en la dirección de máxima radiación. La Ganancia (G) se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación. También se puede expresar la ganancia como el producto de la eficiencia por la directividad. (Sánchez, 2007, p.24)

$$G = eD \qquad \text{Ecuación 10.1}$$

1.7. **Ángulos visuales de una antena**

Para obtener el máximo rendimiento de un sistema de comunicaciones por satélite, la dirección de ganancia máxima de una antena de una estación terrestre se debe apuntar de forma directa al satélite. Para estar seguros de que la antena de la estación terrestre está correctamente alineada se deben determinar dos ángulos: azimut y la elevación.

La ubicación de un satélite convencionalmente se especifica en valores de latitud y longitud, de manera parecida a como se localiza un punto sobre la tierra; no obstante, como un satélite se encuentra orbitando a muchos kilómetros sobre la superficie terrestre, no posee ni longitud ni latitud. Por consiguiente, su ubicación se identifica como un punto sobre la superficie terrestre abajo del satélite. Este punto es denominado como Punto Subsatelital y para los satélites geosíncronos el SSP debe caer en el ecuador.

1.7.1. *Angulo de elevación*

Es aquel ángulo vertical que se forma entre la dirección de una onda electromagnética irradiada por una antena de estación terrestre que apunta directamente hacia el satélite, y el plano horizontal. Mientras menor es el ángulo de elevación, la distancia que debe recorrer una onda transmitida a través de la atmósfera es mayor. Como cualquier onda que se propaga por la atmosfera, sufre pérdidas de absorción se puede contaminar de ruido por lo tanto si el ángulo de elevación es demasiado pequeño la calidad del servicio se puede ver gravemente afectado. (Huidobro, 2013, p.4)

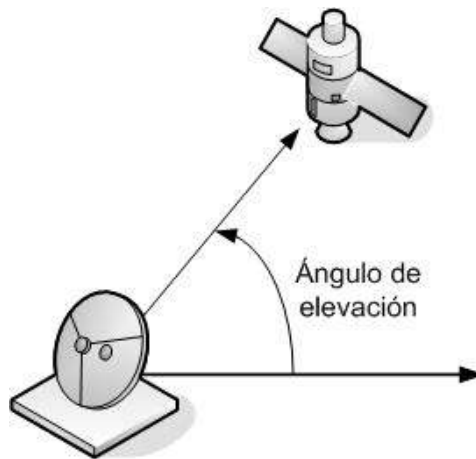


Figura 17-1: Representación del ángulo de elevación

Fuente: http://2.bp.blogspot.com/_DJ5ZDOO9-h0/SukJA9fP-YI

1.7.2. Ángulo de azimut

Es la distancia angular horizontal a una dirección de referencia, que puede ser el punto sur o el punto norte del horizonte. El ángulo de azimut se define como el ángulo horizontal de apuntamiento de una antena de estación terrestre. Para fines de navegación, el ángulo de azimut se suele medir en grados a partir del norte verdadero, en el sentido de las manecillas del reloj. Sin embargo, para las estaciones terrestres del hemisferio norte con satélites en órbitas geosíncronas, la referencia en general del ángulo de azimut es la dirección del sur verdadero. (Tomasi, 2003, pag 807)

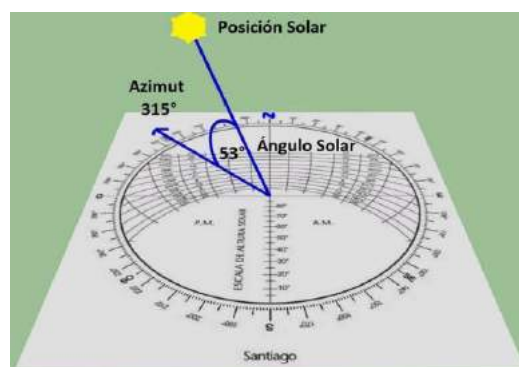


Figura 18-1: Representación del ángulo de Azimut

Fuente: <https://www.meteorologiaenred.com/wp-content/uploads/2019/02/Azimut.jpg>

1.8. Software para el procesamiento de señales

Existe una diversidad de software libre o de pago que se puede emplear para procesar y tratar señales, pero la tarjeta USRP B210 entre sus especificaciones es compatible con dos de los cuales se describe a continuación:

1.8.1. Matlab

Matlab proviene de la abreviatura de las palabras “Matrix Laboratory” traducido al español Laboratorio de Matrices, es un potente software que se utiliza para el procesamiento de cálculos, estadísticas, señales, imágenes, etc. Y es muy empleado en el área de comunicaciones, finanzas, robótica, ingeniería y en cualquier campo donde haya la necesidad de hacer cálculos de manera precisa, gracias a las características que otorga como la programación de vectores, matrices y programación orientada a objetos. (Mejía, 2017, p.25)



Figura 19-1: Logo software MATLAB

Fuente: <https://www.tutorspoint.com/blog/wp-content/uploads/2016/08/Matlab.jpg>

Este software cuenta con un entorno de desarrollo integrado cuya interfaz es amigable con el usuario para la elaboración de scripts. El lenguaje de programación “m” es propio de MATLAB, en adición se puede crear una Interfaz de Usuario, la cual puede trabajar en conjunto con otros programas que no usen el lenguaje “m”, permitiendo de esta manera crear algoritmos simples y complejos que trabajan con archivos .txt, .dat, .slx, etc. En fin, se le puede dar diversos usos a este potente software en el área de las comunicaciones.

MATLAB es compatible como los sistemas operativos como Unix, Windows, MAC OS, Linux y cuenta con soporte en varios idiomas en su página oficial.

1.8.2. Matlab y USRP B210

Es de importancia mencionar que hay la posibilidad de trabajar en conjunto con MATLAB y USRP B210 a la vez, ya que existe una librería que se puede instalar en MATLAB para generar formas de onda o diseñar algoritmos para transmitir y/o recibir señales de radiofrecuencia en tiempo real, además que también se puede usar para medir señales simulando el comportamiento de un osciloscopio o analizador de espectros. (Mejía, 2017, p.26)

La desventaja más importante de usar USRP B210 con MATLAB es el tiempo de procesamiento y la carga computacional que se genera, siendo un inconveniente para usuarios que desean elaborar un prototipo que ocupe los recursos de la tarjeta al máximo.

1.8.3. GNU RADIO

GNU Radio pertenece a la familia de “Software libre y de código abierto”, es utilizado para la investigación ya sea académica o comercial para desarrollar sistemas SDR, se puede utilizar para realizar simulaciones con tarjetas USRP para aplicaciones inalámbricas. (Mejía, 2017, p.256)



Figura 20-1: Logo Software GNURadio

Fuente: <http://www.joshknows.com/images/cache/1dca80cbbbc6b6c09fd372504f0c1ddb.png>

GNURadio posee una interfaz gráfica amigable, donde la característica principal es el procesamiento de señales sean estas complejas o no. Sus bloques están basados en el lenguaje de programación Python y el procesamiento en C++.

Una de las ventajas de usar GNURadio es que, al ser un software de código abierto, se puede crear propios bloques según las necesidades que se tenga, con la ventaja de programarlos en lenguaje Python.

1.8.4. GNURadio y USRP B210

Como se mencionó en la sección 1.8.3 GNUradio es un software diseñado para trabajar con la tarjeta de desarrollo USRP B210 porque se puede implementar una diversidad de prototipos como: Transmisores, Receptores y transceptores según la necesidad del diseño. Cuenta con múltiples ejemplos que vienen con la instalación para así empezar en el mundo de la radio frecuencia. (Mejía, 2017, p.26)

Otra característica que presenta es el moderado consumo de recursos computacionales que tiene al ejecutar un algoritmo para la USRP, con lo cual los tiempos de respuesta son más cortos, pero en contra parte se debe ejecutar bajo el sistema operativo Linux.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo contiene todo lo relacionado a la recolección de información necesaria, para la elaboración de un enlace satelital para una órbita LEO junto con el diseño de las antenas de transmisión y recepción. En la Figura 1-2, se describe el procedimiento a seguir

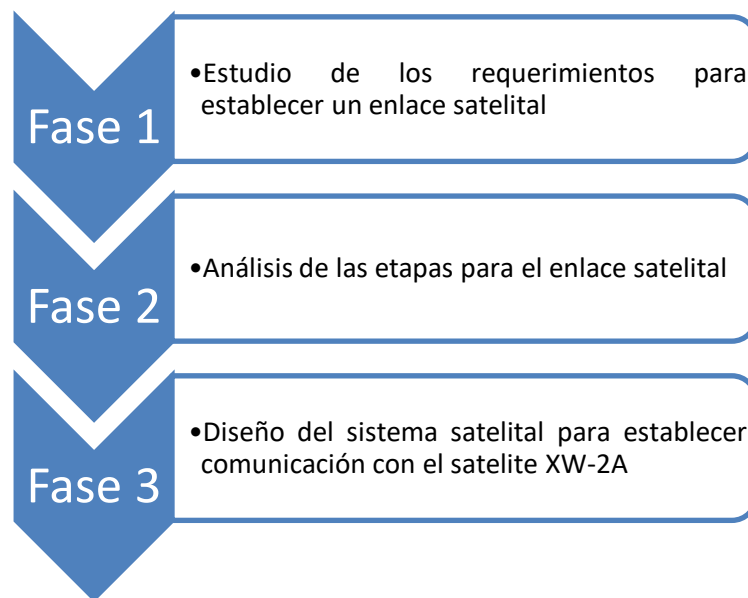


Figura 1-2: Proceso para el desarrollo de la investigación

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.1. Fase 1.- Estudio de los requerimientos para establecer un enlace satelital.

En esta etapa se procederá a realizar una descripción del modelo tentativo para el desarrollo del proyecto de titulación, además se ilustrará con la ayuda de un escenario las condiciones y los requerimientos necesarios para establecer un enlace con satélites de orbitas bajas utilizando bandas de frecuencias libre.

2.1.1. *Enlace satelital*

La Figura 2-2 muestra un escenario de manera general con los requerimientos básicos para que exista un enlace de comunicación:

- Una estación terrestre transmisora que cumple la función de emisor o fuente de información que se va a transmitir.
- Un canal que desempeña la función de medio de transmisión a través del cual la información se va a transmitir o propagar hasta alcanzar al receptor.
- Un código que va a ser la forma o el lenguaje de comunicación que va a ser empleado por el emisor y receptor para la compresión del mensaje.
- Una estación terrena receptora que va a estar ubicada a una distancia remota de la fuente y que va a ser la encargada de recibir el mensaje y decodificarlo hasta que se convierta en información utilizable.

Como elemento adicional para establecer una comunicación a distancia tenemos una estación repetidora denominada satélite que se encuentra suspendida en alguna de las órbitas existentes y su función es la de repetir o regenerar la información de la comunicación para que alcance una mayor distancia.

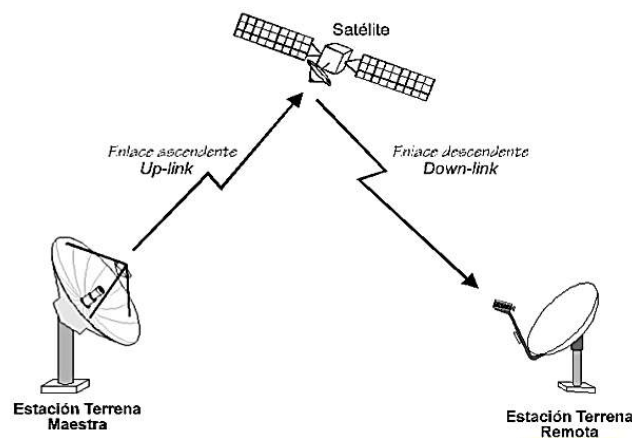


Figura 2-2: Ilustración de un enlace de comunicación entre estaciones remotas

Fuente: <https://ondas-de-radio-satelitales-y-microondas-20-728.jpg?cb=1299789496>

2.1.2. Elementos de enlace satelital

En esencia un enlace satelital consta de 3 etapas. Dos de estas se encuentran en estaciones terrestres a las cuales se denominan como enlace de subida o bajada y una tercera etapa se localizará en el espacio, donde la señal de subida atravesará el transponder del satélite y será regresada hacia la tierra.

2.1.3. Enlace de subida

Tiene su origen en la estación de transmisión terrestre (emisor), y esta puede ser una estación de radio, televisión, internet, meteorología, etc. Cualquiera que genere información que pueda ser

comprendida y utilizada por el ser humano. Independiente del tipo de estación que sea, todas tienen en común cuatro elementos necesarios para la transmisión de la información, en la Figura 3-2 se puede apreciar los elementos que conforman una estación de transmisión.

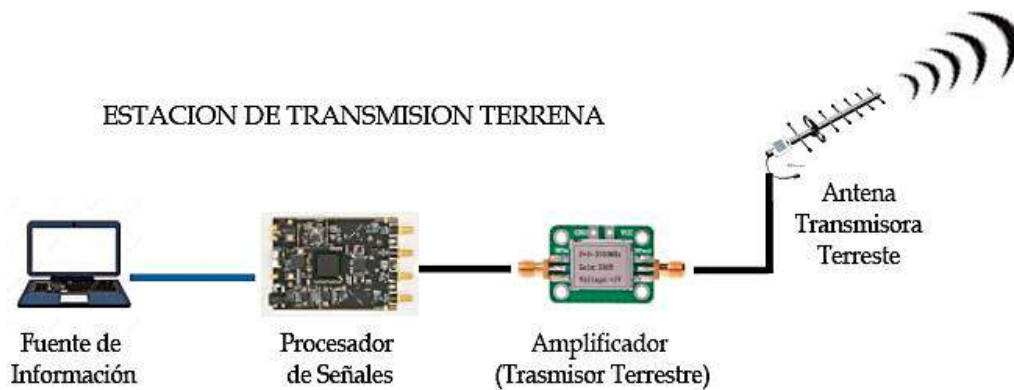


Figura 3-2: Elementos fundamentales de una estación transmisora terrestre.

Fuente: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

- **Fuente de información.** – Responsable de generar la información, puede ser una cámara de video, una cámara fotográfica, un reproductor de sonido, una computadora, etc.
- **Procesador de señales.** – Encargado de recibir la información proporcionada por la fuente y procesarla hasta convertirla en señales útiles que sean capaces de viajar a través de un medio de transmisión.
- **Amplificador.** – Su función es receptor la señal proveniente del procesador de señales y multiplicar su intensidad hasta alcanzar el nivel necesario para viajar la distancia planificada.
- **Antena transmisora.** – Es un elemento pasivo compuesto por elementos radiantes capaces de convertir las señales eléctricas en su equivalente de ondas electromagnéticas para viajar por el espacio libre.

Se analiza el funcionamiento de los elementos antes mencionados, con la ayuda de un diagrama de bloques se observa las fases que sigue la información hasta que se transmite. Este diagrama consiste de un modulador de Frecuencia Intermedia (IF), un convertidor de microondas de IF a Radio Frecuencia (RF), un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida. El modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite.

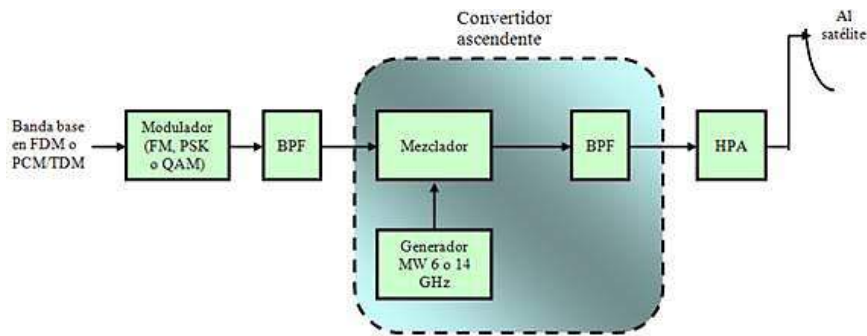


Figura 4-2: Modelo de un enlace satelital de subida.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos11/caracsat/image002.jpg>

2.1.4. Estación Repetidora

Como se mencionó en el capítulo anterior en la sección de “Transponder” este se encuentra en la estación satelital y difiere del enlace de bajada y subida ya que consta de dos amplificadores uno para el ingreso de la señal y uno para la retransmisión de la información, pero carece de la etapa de fuente de información ya que su función es únicamente retransmitir la señal sin alterar la información.

2.1.5. Enlace de bajada

Esta es la etapa final que tiene la información ya que corresponde a la estación terrestre receptora de la información que se originó en la estación transmisora, su función es la contraria de la estación transmisora y consiste en captar las ondas generadas en el transmisor, procesarlas y convertirlas en información útil apreciable para el ser humano, esta información puede ser de cualquier tipo como, un video, una canción, un archivo, etc.

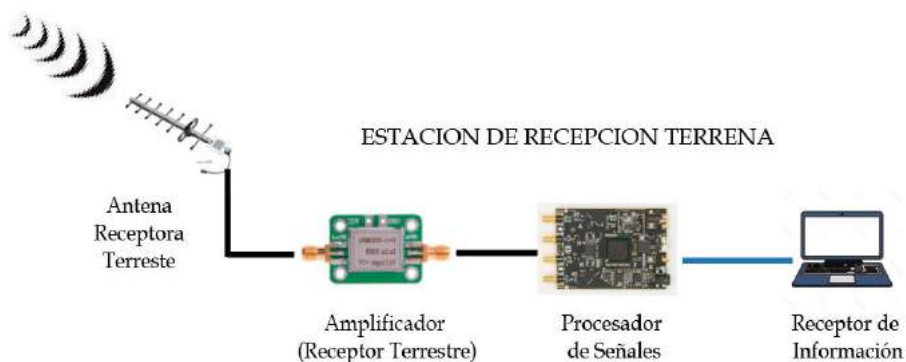


Figura 5-2: Elementos fundamentales de una estación Receptora terrestre.

Fuente: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

- **Antena receptora.** - Al contrario de la estación transmisora, esta antena tiene la función de recibir las ondas electromagnéticas propagadas en el espacio libre para llevarlas a un amplificador.
- **Amplificador.** - este amplificador multiplica la intensidad de la señal proveniente de la antena hasta un nivel necesario para ingresar al procesador de señales.
- **Procesador de señales.** – Este cumple el proceso inverso del transmisor ya que recibe las señales codificadas y moduladas hasta convertirlas en señales elementales capaces de ser reconocidas por el receptor.
- **Receptor de información.** - Será el dispositivo que reciba las señales provenientes de procesador y la traducirá en información entendible y utilizable por el ser humano.

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada para limitar el ancho de banda y eliminar posibles interferencias, un LNA que eleva la señal hasta el umbral de recepción especificado por él mezclador y un convertidor de RF a IF que elimina la portadora de la señal para recuperar la información codificada tal como generó la fuente de la estación terrena, nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada del demodulador y este se encarga de decodificar la información pasándola a banda base lista para ingresar al dispositivo que la interprete.

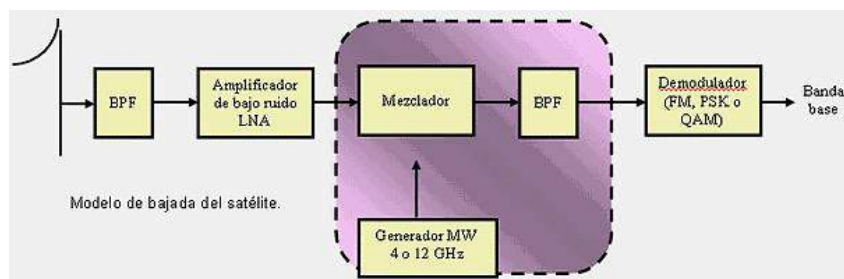


Figura 6-2: Modelo de bajada de un enlace satelital.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos29/redes-satelitales/Image973.gif>

2.1.6. Topología y Modo de transmisión

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente y con conocimiento general del objetivo buscado, se ha optado por una topología de conexión punto a punto que consiste en la comunicación únicamente entre dos estaciones terrestres utilizando como medio de transmisión el espectro radioeléctrico y como elemento intermedio un satélite que se encuentre orbitando en una órbita baja (LEO)

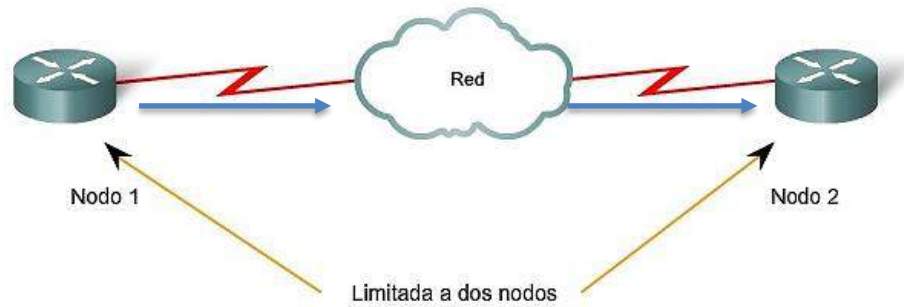


Figura 7-2: Representación de una topología de red Punto a Punto y transmisión simplex

Fuente: <https://sites.google.com/site/cursoenlineaccna1/unidad-4-capa-de-enlace-de-datos/>

Además, la transmisión se realiza por el modo simplex o unidireccional que es aquella en que la información va en un solo sentido, quitando al receptor la posibilidad de responder al transmisor. Este tipo de comunicación no se utiliza en escenarios donde se requiere una interacción entre humano y máquina.

2.2. Fase 2.- Análisis de las etapas para el enlace satelital

2.2.1. Transmisión

2.2.1.1. Fuente de información

GENERACIÓN DEL ARCHIVO FUENTE DE INFORMACIÓN

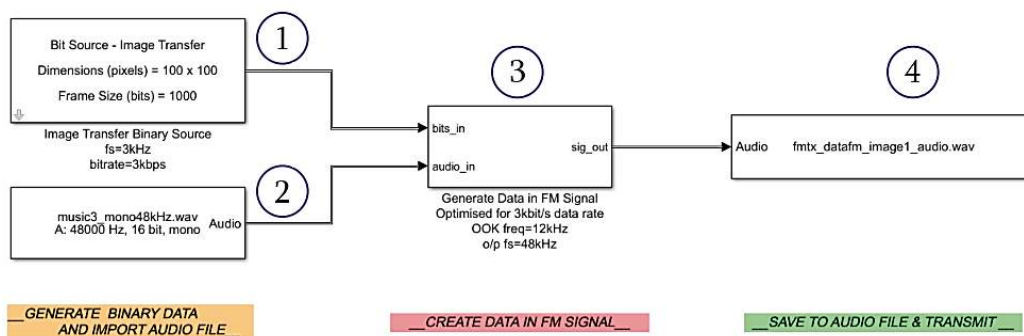


Figura 8-2: Diagrama de bloques del generador de información.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Con la herramienta simulink proporcionada por Matlab se desarrolló un programa basándose en el libro *Software_Defined_Radio_using_MATLAB_Simulink_and_the_RTL-SDR* (Stewart, 2017, p.564), el cual selecciona dos archivos fuentes, el primero es una imagen monocromática y el segundo un archivo de audio los cuales ingresan a un bloque de tratamiento para obtener una señal analógica con una componente digital como se muestra en la Figura 9-2, a continuación, se procede a detallar cada una de sus partes y funcionamiento:

1. **Image Transfer.** - Toma una imagen monocromática de una resolución de 100 x 100 pixeles procesada digitalmente y la envía al bloque número 3.

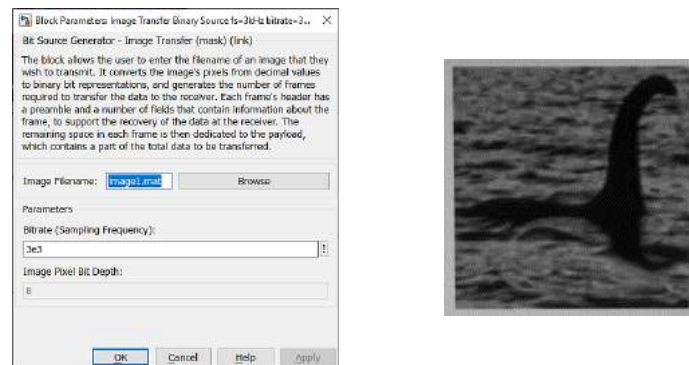


Figura 9-2: Toma de imagen procesada.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2. **Music.** - Selecciona un archivo de audio de 5 KHz muestreada a 48 KHz.

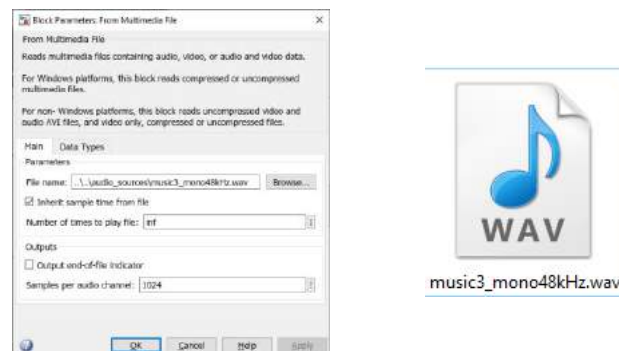


Figura 10-2: Selección del archivo de audio.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3. **Create data in FM signal.** - Este bloque es el más importante ya que como se muestra en la Figura 11-2 se encarga de la recepción de los archivos antes mencionados para procesarlos a través de fases de señalización, generación de frecuencia y multiplexación de señales en frecuencia.

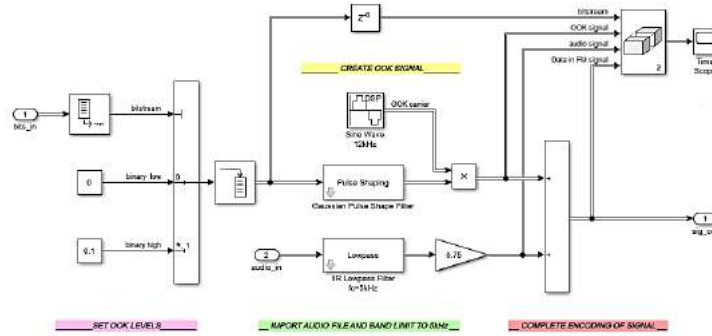


Figura 11-2: Modulación Digital OOK y multiplexación FDM.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

4. **Audio.** - Como etapa final tenemos el bloque encargado de guardar el archivo generado y listo para ser transmitido.

El audio es tratado para obtener en formato .mat, y el mensaje enviado es “Saludos estimados Radioaficionados, quienes transmitimos Joffre Cabrera y Dennis Gusqui y somos estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo realizando pruebas del proyecto, envío y recepción de audio y datos a través de un enlace satelital utilizando satélites de órbita baja.”

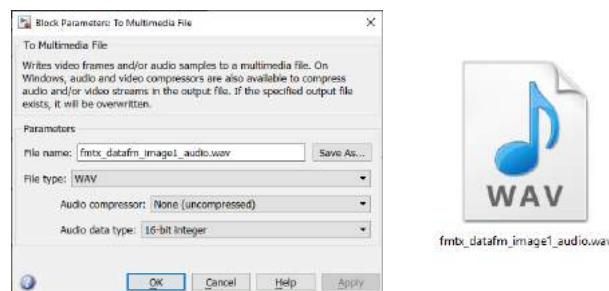


Figura 12-2: Bloque para guardar el archivo generado

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.2.1.2. *Procesamiento de señales*

El procesamiento de los datos obtenidos de la fuente de información se utilizará la tecnología híbrida que combina la utilización de software y hardware denominada SDR (Software definido por radio).

La parte de software se maneja por Mathworks Laboratory (MATLAB), como se mencionó en el capítulo anterior en la sección 1.7, es un software para el desarrollo y modelado de algoritmos que se pueden emplear en distintos campos de ciencia, ingeniería, etc. Y en este caso será empleado en las telecomunicaciones utilizando Simulink que es un entorno de programación visual, que funciona sobre el entorno de programación Matlab.

Siguiendo con el proceso de desarrollo del proyecto nuevamente como fuente de información se tomó el libro *Software_Defined_Radio_using_MATLAB_Simulink_and_the_RTL-SDR* (Stewart, 2017, p.370), con el cual se elaboró un programa para el tratamiento y transmisión de la información a través de modulación FM el mismo que se aprecia en la Figura 13-2

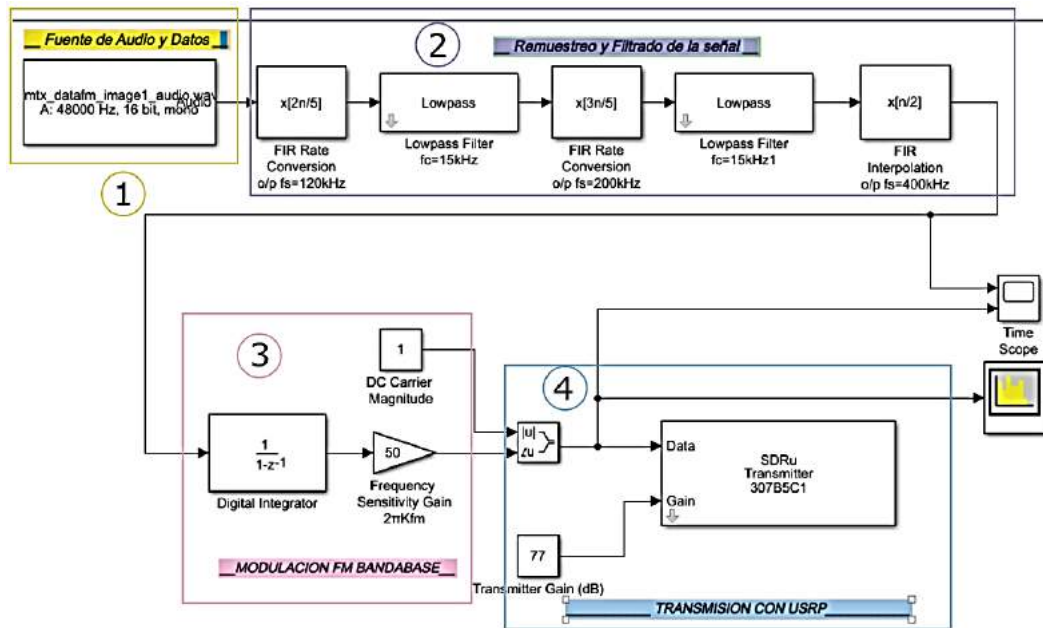


Figura 13-2: Diagrama de bloques de la etapa lógica de transmisión.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

1. **Fuente de audio y datos.** – Permite seleccionar el archivo que va a ser la fuente de información que se desea ingresar al bloque de procesamiento. Como se muestra en la Figura 14-2, el archivo seleccionado es el que se obtuvo en la sección 2.2.1.1 el cual ya fue tratado y se denomina `fmtx_datafm_image1_audio.wav`.

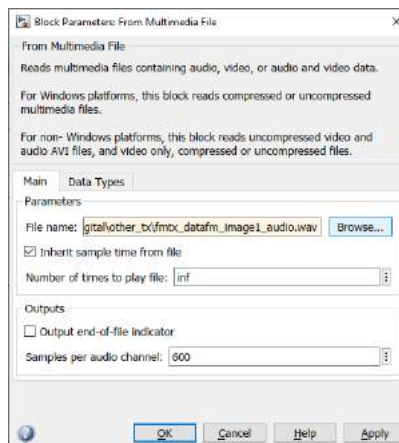


Figura 14-2: Selección de parámetros de transmisión

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2. **Remuestreo y filtrado de la señal.** – Este es un conjunto de bloques que cumplen la función de trasladar la frecuencia de muestreo de 48 KHz y llevarla a los 400 KHz utilizando factores de interpolación y decimación, también cuenta con filtros para eliminar señales indeseables producidos como consecuencia del cambio de frecuencia.

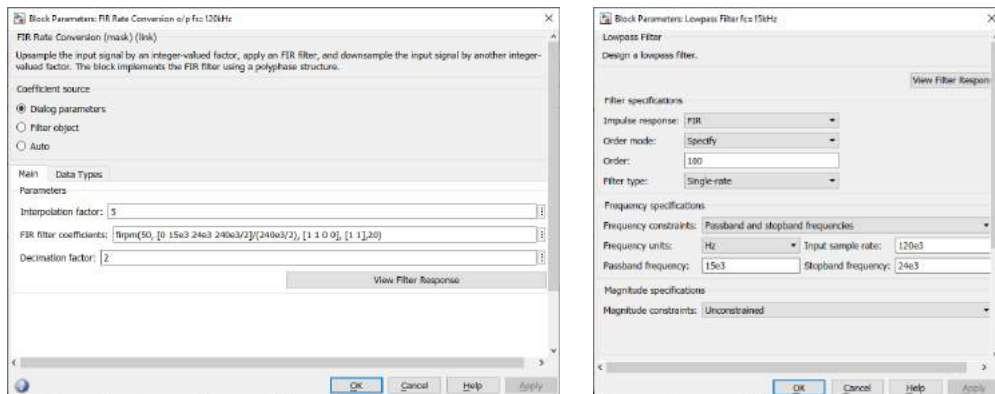


Figura 15-2: Bloque de Muestreo y bloque de filtrado de la señal

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3. **Modulación bandabase FM.** – Conjunto de bloques que contiene los elementos necesarios para modular la señal banda base en frecuencia. Este conjunto está compuesto por un integrador digital el cual genera un valor de señal discreta mismo que se multiplica por la desviación de frecuencia para determinar el valor de la frecuencia que se va a desplazar, también cuenta con una magnitud de portadora continua para mantener una amplitud constante antes de ingresar a la etapa de transmisión

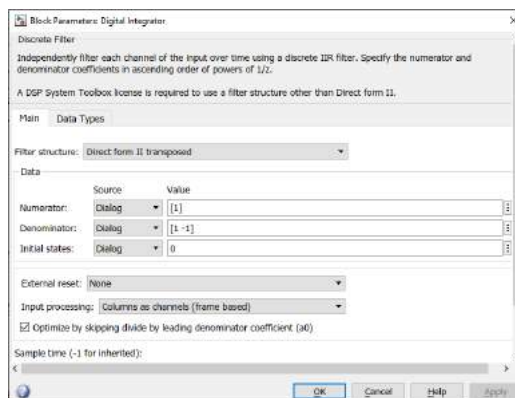


Figura 16-2: Filtrado y corrección de la señal muestreada en 400KHz

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

4. **Transmisión con USRP.** – Esta es la etapa final, en donde la señal muestreada, filtrada y adecuada se fusiona con una portadora con parámetros asignados según las necesidades del proyecto la cual se ha generado en la tarjeta de desarrollo URP B210 donde termina la parte lógica de la transmisión, dando paso a la parte de software.

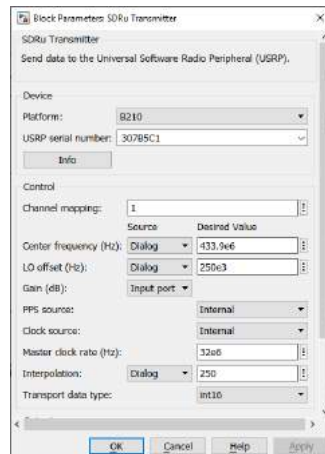


Figura 17-2: Parámetros asignados a la tarjeta USRP B210

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Para la parte hardware de procesamiento de la señal se utiliza la tarjeta de desarrollo USRP B210 la cual es adecuada para el modelamiento y prueba de prototipos de sistemas de comunicaciones inalámbricas

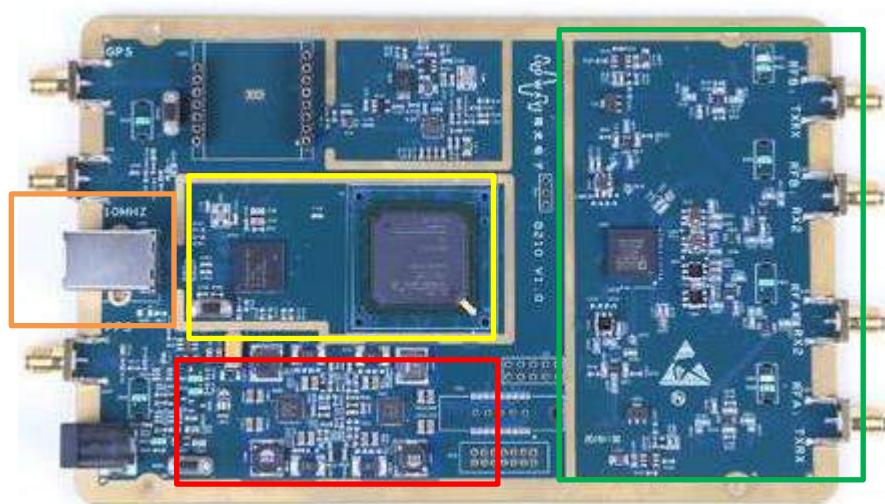


Figura 18-2: Tarjeta de desarrollo USRP B210

Fuente: <https://www.aliexpress.com/item/32994444653.html>

La fuente de alimentación y el ingreso de la información proveniente del software MatLab comparten el mismo puerto y es un USB 3.0 de alta velocidad, esta etapa consta de dos bloques que son el USB 3.0 Conector que la interfaz lógica entre la tarjeta y la PC y el USB 3.0 PHY que es el conector físico. Estos se pueden observar en la Figura 18-2 en el cuadrado color naranja.

El tratamiento y adecuación de la señal se realiza en un microprocesador denominado FPGA el cual se encarga de elaborar y ejecutar todos los algoritmos y funciones necesarias en tiempo real para finalmente tener a la salida una señal lista para ser transmitida. Estos elementos se observan en la Figura 18-2 en el cuadro color rojo.

La parte de control la tenemos el bloque *system clock and timing generation* que se encuentran identificados en el cuadro de color rojo de la Figura 18-2, estos son los que se encargan de la generación de pulsos de reloj para la sincronización del sistema y la generación de la señal de frecuencia, además tenemos dos bloques adicionales con los cuales podemos agregar funcionalidades.

Como fase final en el cuadro color verde de la Figura 18-2 tenemos la salida de la señal a través de la etapa de transmisión que consta de un amplificador de bajo nivel para multiplicar la señal hasta el nivel necesario y entregar a la salida que es a través del conector de tipo SMA hembra donde se la puede aprovechar.

2.2.1.3. Amplificación

La potencia de la señal obtenida a la salida de la tarjeta de desarrollo USRP B210 según las especificaciones del fabricante es de aproximadamente de 10 dBm, potencia con la cual resulta ideal para prueba de laboratorio donde la cobertura de la transmisión es de unos pocos metros, pero no para una cobertura de cientos de kilómetros, por lo tanto, para realizar una transmisión de estas características se ve en la necesidad de multiplicar la intensidad de esta señal hasta obtener un nivel adecuado para este propósito.

Se ha seleccionado un amplificador de la marca AIYIMA (<https://es.aliexpress.com/i/32847381130.html>) de alta frecuencia y de potencia digital que entrega a su salida una potencia aproximada de 8 Watts.

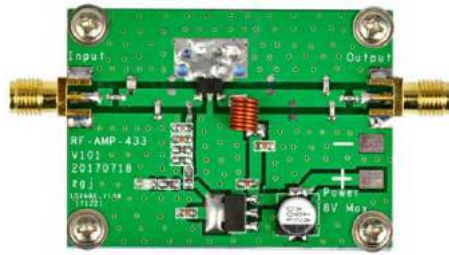


Figura 19-2: Amplificador de alta frecuencia 8W marca AIYIMA

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.2.1.4. Antena de transmisión

Después de una ardua investigación en el capítulo 1 sección 1.6.1, para la transmisión de la señal se ha optado por una de las antenas que cumple con los requerimientos necesarios para la ejecución del proyecto, esta es la antena Yagi que es una de las antenas más comunes, que se utiliza en la recepción de televisión terrestre.

Esta antena ofrece una directividad media/alta con una alta ganancia lo que la hace muy buena para las transmisiones punto a punto a larga distancia, la fabricación es relativamente fácil y su coste es bajo, pero lo más importante es que hay mucha información disponible por lo cual es la opción idónea.

Para la fabricación se debe planificar cuidadosamente la selección de la frecuencia de transmisión ya que de eso dependerá la posición, longitud y radio de los elementos que la conforman para obtener resultados aproximados a los deseados.

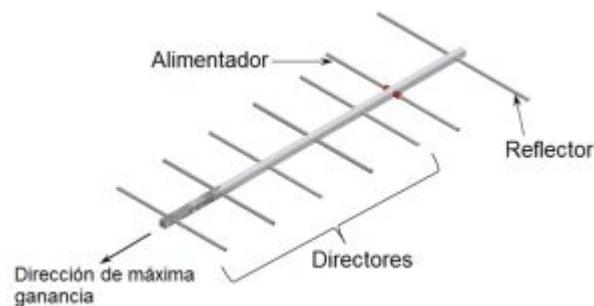


Figura 20-2: Antena de transmisión y recepción tipo Yagi

Fuente: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Caracteristicas-fisicas-de-la-antena-Uda-Yagi>

2.2.2. Transponder XW-2A

La estación repetidora espacial seleccionada para desarrollar el proyecto de titulación es el satélite XW-2A que transita por la órbita más baja de la tierra aprovechando la ventaja de la cercanía, la baja latencia y que presenta bandas de frecuencias libres destinados a radio-aficionados que gustan de las telecomunicaciones

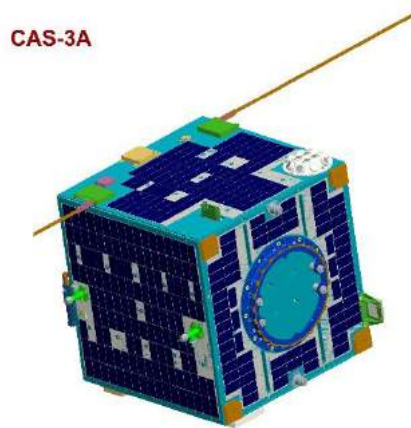


Figura 21-2: Imagen del satélite XW-2A (CAS-3A)

Fuente: <https://amsat-uk.org/satellites/comms/camsat-xw-2/>

Este satélite cuenta con dos antenas incorporadas de $\frac{1}{4} \lambda$ colocadas a cada costado del satélite y son utilizadas para la transmisión y recepción de las señales desde y hacia la tierra. Su peso es aproximadamente de 20 Kg

2.2.3. Recepción

2.2.3.1. Antena de recepción

Para la recepción de las señales provenientes del transponder de igual manera se eligió a la antena Yagi observada en la Figura 20-2 teniendo en cuenta lo mencionado en el apartado 2.2.1.4 se selecciona la frecuencia de operación a 145.040 MHz y esta es la frecuencia que se toma como base para su modelado y fabricación, esperando resultados muy aproximados a los calculados.

2.2.3.2. Amplificación

Una vez captada la señal proveniente del satélite es necesario utilizar un amplificador de radiofrecuencia para aumentar las posibilidades de recepción y mejorar la calidad de señal ya que durante la transmisión en el canal desde la órbita hasta el lugar de recepción sufre distorsiones y pérdidas de potencia.

Se ha optado por un amplificador de alta frecuencia de marca AYIMA de 2W (<https://es.aliexpress.com/item/32689144408.html>) que es una potencia baja, ya que si se excede el umbral de recepción del equipo receptor puede causar que se sature y se bloquee para evitar daños en su estructura.

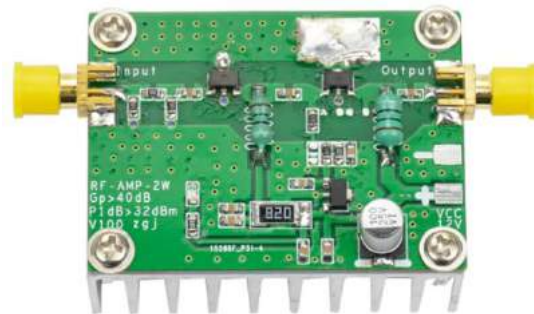


Figura 22-2: Amplificador de alta frecuencia 2W marca AIYIMA

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.2.3.3. Procesamiento de señales

El procesamiento de las señales obtenidas de la antena de recepción se realiza utilizando nuevamente la tecnología híbrida que combina la utilización de software y hardware denominada SDR.

La recepción de señales es el proceso inverso al de la transmisión es por este motivo que el procesamiento de las señales empieza esta vez en el hardware, tomando las señales amplificadas captadas por la antena y llevadas al módulo de Radio Frecuencia Nooelec NESDR SMARt el cual es adecuado para el modelamiento y prueba de prototipos de sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Este proceso inicia con la etapa de radiofrecuencia inyectando la señal amplificada a bajo nivel a la entrada de recepción del módulo RTL-SDR a través de los conectores SMA y llevándola hacia etapa de tratamiento.

El módulo se encarga del tratamiento y decodificación de la señal utilizamos el microprocesador interno el cual realizará los procesos y algoritmos inversos para obtener la información en banda base, esta etapa se apoyará en la de control y sincronización. La información ya procesada será enviada al software Matlab a través del puerto para su posterior tratamiento a nivel lógico.

La parte de procesamiento a nivel de software nuevamente utiliza Mathworks Laboratory (MATLAB), empleando Simulink para la parte final se desarrolla un programa de recepción apoyado en el libro *Software Defined Radio using MATLAB Simulink and the RTL-SDR* (Stewart, 2017, p.565) que se muestra en la Figura 23-2.

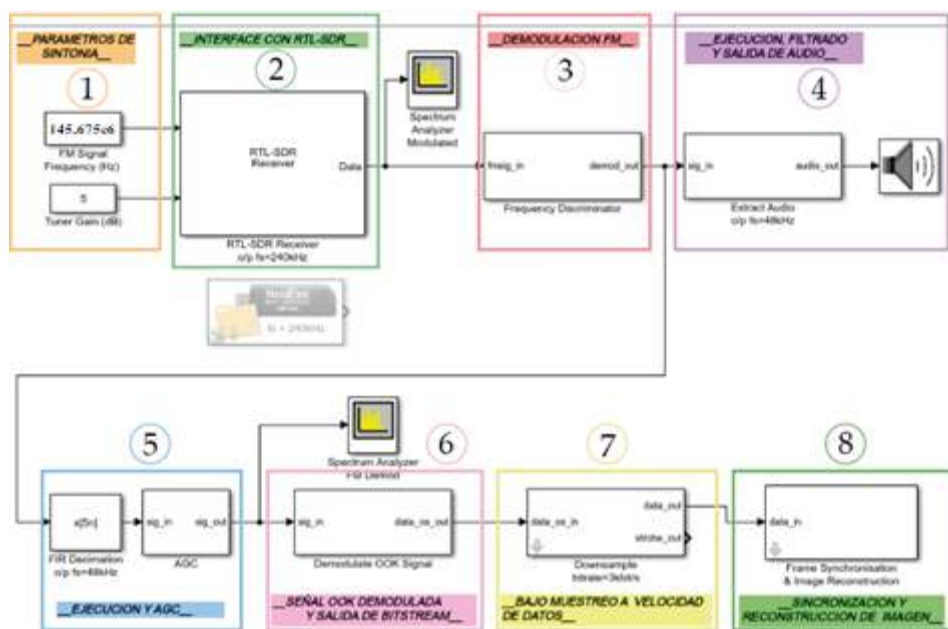


Figura 23-2: Diagrama de bloques de la recepción de señales

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

1. **Parámetros de sintonía.** – Esta etapa permite seleccionar los parámetros que se desea para la recepción de la señal. Como se puede apreciar en la Figura 23-2: tenemos el parámetro FM *signal*, el cual nos permite escoger la frecuencia a través del cual se está transmitiendo mientras que *Tuner Gain* ajusta la ganancia de recepción.

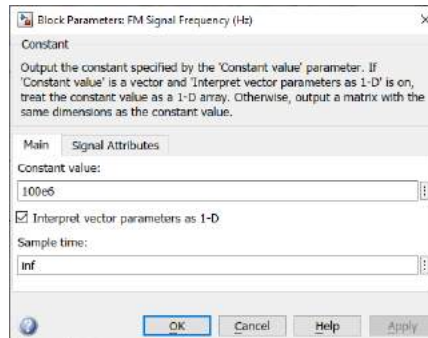


Figura 24-2: Selección de parámetros de recepción

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2. **Interface con RTL-SDR.** – Este bloque sirve de interfaz para que la PC se comuniquen con el módulo *rtl-sdr* conteniendo los parámetros como la velocidad de muestreo y el número de bits por tramas.

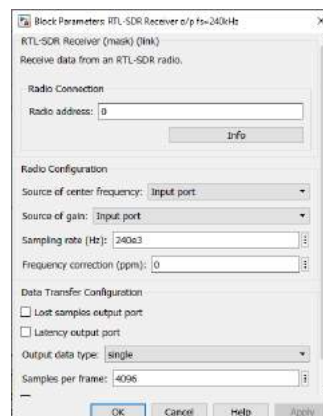


Figura 25-2: Bloque de Frecuencia Interfaz PC - RTL

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3. **Demodulación FM.** – En esta etapa realiza el proceso inverso a la modulación separando la señal de información de la frecuencia portadora con la que se mezcló para la transmisión.

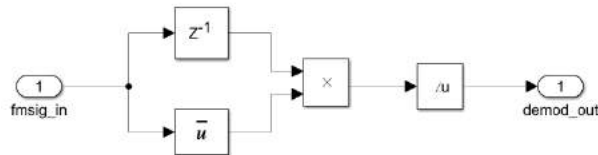


Figura 26-2: Bloque de demodulación FM.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

4. **Ejecución, filtrado y salida de audio.** – Una vez eliminada la portadora y obtenida la información transmitida se procede a separarla ya que como se mencionó en la sección 2.2.1.1 la información es la mezcla de audio analógico con una imagen digital, y este bloque permite obtener el audio analógico.

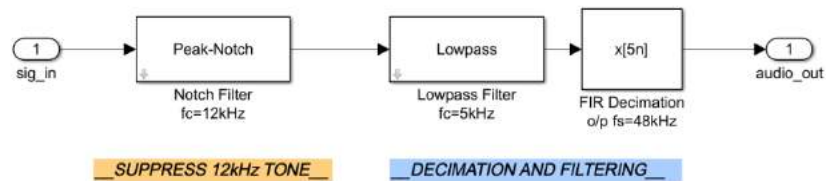


Figura 27-2: Separación de la información y la portadora

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

5. **Ejecución y AGC.** – Este es el bloque inicio de la etapa de recuperación de la imagen, ya que aquí a través de un control automático de ganancia se lleva la intensidad de la señal hasta un nivel adecuado para ingresar a la siguiente etapa

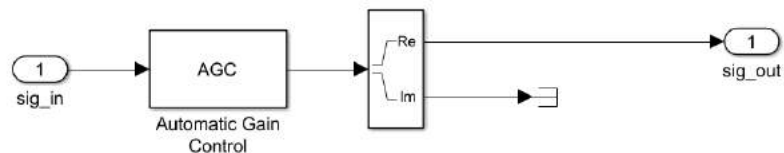


Figura 28-2: Pre-amplificación y filtrado de la señal OOK.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

6. **Señal OOK demodulada y salida de bitstream.** – Una vez obtenida la señal con la intensidad adecuada se procede a quitar la parte analógica de la señal modulada en OOK para quedarse solo con la parte digital y enviarla en forma de una cadena de bits a la siguiente etapa.

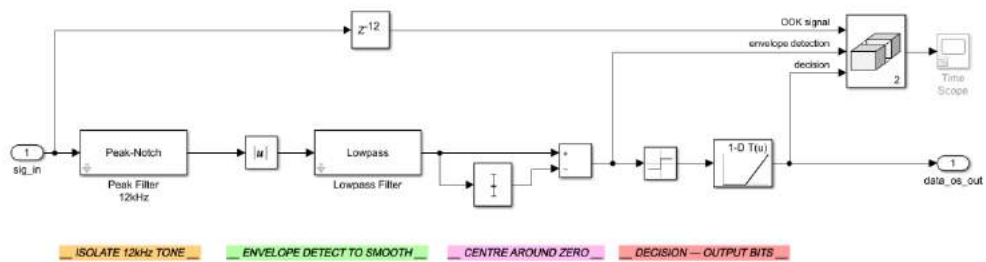


Figura 29-2: Demodulación de la Señal OOK.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

7. **Bajo muestreo a velocidad de datos.** - En esta se reciben las cadenas de bits y se remuestrean a una velocidad de 3kbits/s que fue la velocidad con la cual se trató la imagen en el origen, para obtener cadenas de bis con una longitud determinada para que avance a la etapa final.

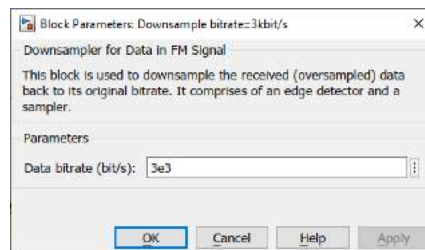


Figura 30-2: Muestreo para la recuperación de datos.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

8. **Sincronización y reconstrucción de la imagen.** - Esta es la parte final de la recuperación de los datos digitales, ya que aquí se reciben las cadenas de bits y a través de algoritmos se las reorganiza de tal manera que permite la reconstrucción total o parcial de la información digital que en este caso es una fotografía.

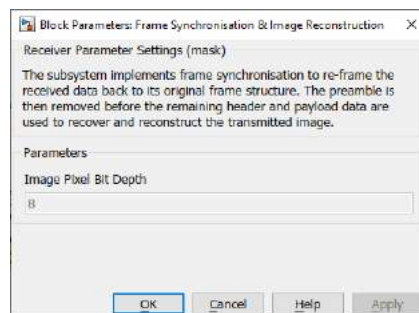


Figura 31-2: Reconstrucción de la información digital recibida.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.2.3.4. *Dispositivo de recepción*

Para la parte final del enlace de comunicación satelital tenemos el dispositivo de recepción capaz de interpretar la información transmitida por la fuente y presentarla en un formato comprensible para el ser humano, como puede ser, datos, sonidos, imágenes, etc. Para este proyecto se utiliza una laptop de la marca Asus modelo X556UQ-NH71 con sistema operativo Windows 10 profesional.



Figura 32-2: Receptor e intérprete de información

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.3. Fase 3.- Diseño del sistema satelital para establecer comunicación

2.3.1. *Diseño del enlace satelital*

2.3.1.1. *Parámetros del enlace satelital*

Los parámetros del diseño del enlace satelital vienen determinados por las características del transponder del satélite ya que no podemos acceder a este para cambiar sus valores, tenemos que diseñar las estaciones terrenas de tal manera que pueda haber una comunicación sin problema con la estación satelital. Los parámetros son

- Frecuencia de subida: 435.040 MHz
- Frecuencia de bajada: 145.675 MHz
- Transpondedor lineal: 100 mW
- Ancho de banda de 40 KHz

2.3.1.2. Potencia de Salida de la tarjeta de desarrollo USRP B210

Revisando las especificaciones técnicas provistas por el fabricante de la tarjeta de desarrollo USRP B210 se pudo obtener los siguientes parámetros de funcionamiento que se muestran en la Tabla 1-2 y con estas se determinó que la potencia de salida es mayor a 10 dBm.

Tabla 1-2: Características del rendimiento en RF de USRP B210

Supresión SSB/LO	-35/50	dBc
3.5 GHz	1.0	Deg RMS
6 GHz	1.5	Deg RMS
Potencia de salida	>10	dBm
IIP3 (@ typ NF)	-20	dBm
Figura de Ruido Recibida	<8	dB

Fuente: https://www.ettus.com/wp-content/uploads/2019/01/b200-b210_spec_sheet.pdf

Realizado por: Joffre Cabrera y Dennis Gusqui. 2019.

2.3.1.3. Amplificador de radiofrecuencia

Como se hizo referencia con anterioridad en la parte de transmisión en la sección 2.2.1.3 para la estación de transmisión de este proyecto se utilizará un amplificador marca AIYIMA con las características mostradas a continuación en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Características del Amplificador AIYIMA 8W

Frecuencia	400 a 460 MHz
Potencia de entrada	17 a 23 dBm
Potencia de salida a 8V	8.32 W (39.2dBm)
Potencia de salida a 7V	6.76 W (38.3dBm)
Potencia de salida a 6V	5,12 W (37.1dBm)
Impedancia	50 Ohm

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32847381130.html>

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Para la etapa de recepción como se vio en la sección 2.2.3.2 también se consideró necesaria una etapa de amplificación, puesto que la señal proveniente de la estación satelital sufre atenuaciones,

consideramos la más importante a las pérdidas por espacio libre la cual reduce significativamente la potencia con la que se recibe en la tierra para lo cual se optó por un amplificador marca AIYIMA con las especificaciones que se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Características del Amplificador AIYIMA 2W

Frecuencia	1 a 600 MHz
Potencia de entrada	-20 a 3 dBm
Potencia de salida a 55 MHz	2 W (33 dBm)
Potencia de salida a 100 MHz	1.6 W (32 dBm)
Potencia de salida a 500 MHz	1 W (30 dBm)
Impedancia	50 Ohm

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32689144408.html>

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.3.1.4. Antena transmisora

Para el diseño de la antena transmisora vamos a utilizar dos softwares dedicados para la elaboración de antenas Yagi. El primero es Yagi Calculator creado por John Drew y actualizado en julio 14 del 2015 es un programa para ayudar con el diseño de antenas largas de Yagi. Utiliza los gráficos y principios desarrollados por DL6WU e impresos originalmente en la revista de radio alemana VHF Communications (marzo de 1982). Para el diseño de la antena de transmisora se tomó como referencia los siguientes parámetros mostrados en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Parámetros de antena transmisora.

Frecuencia	435.040 MHz
Número de directores	6
Número de Dipolos	1
Número de Reflectores	1
Diámetro del Boom	25 mm
Diámetro de los elementos	9 mm

Fuente: Software de diseño Yagi-Calculator

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

En la Figura 33-2 mostrada a continuación se muestra la interfaz que presenta Yagi Calculator para ingresar los parámetros requeridos indicados en el apartado anterior.

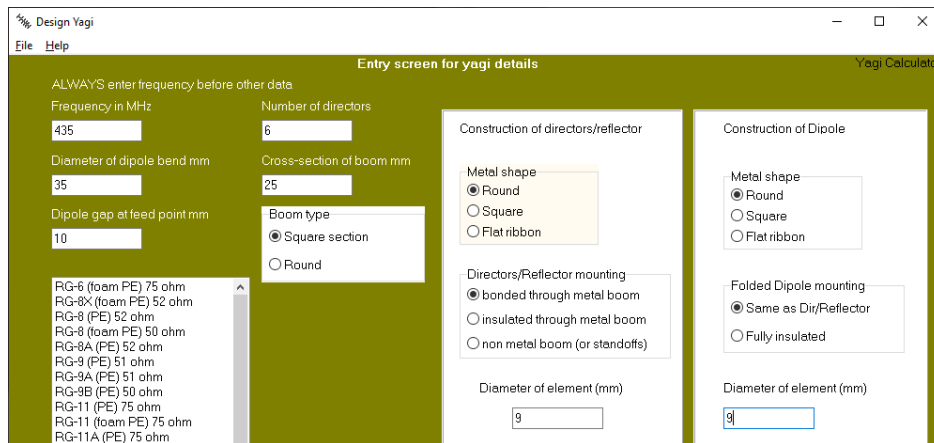


Figura 33-2: Interfaz de ingreso de datos de la antena transmisora

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Como resultados de los cálculos ejecutados por los algoritmos del software, se obtuvo los siguientes resultados que se presentará en la Tabla 5-2 detallando la longitud de cada uno de los elementos y su posición en el boom.

Tabla 5-2: Elementos de la antena transmisora

Elemento	Longitud	Posición
Reflector	35.3 cm	0 cm
Dipolo	31.9 cm	13.8 cm
Director 1	30.8 cm	19 cm
Director 2	30.4 cm	31.4 cm
Director 3	30.1 cm	46.2 cm
Director 4	29.7 cm	63.4 cm
Director 5	29.4 cm	82.7 cm
Director 6	29.1 cm	103.3 cm

Fuente: Software de diseño mmana-gal

Realizado por: Joffre Cabrera y Dennis Gusqui; 2019.

Para continuar con el entendimiento e interpretación de los datos obtenidos utilizaremos el software mmanagal que es un software de diseño de antenas gratuito para radioaficionados, inicialmente desarrollado por el radioaficionado japonés Makoto Mori, JE3HHT.

En la Figura 34-2 se puede apreciar como este software nos permite tener una visión preliminar de cómo quedaría la distribución de la antenna Yagi.

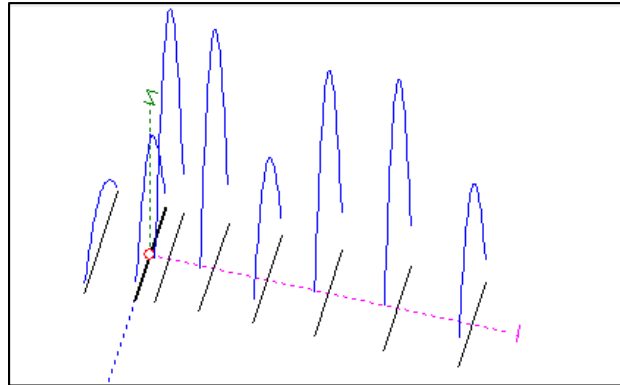


Figura 34-2: Radiación de directores de la antenna Yagi de transmisión

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Patrón de radiación obtenido a través de la simulación en mannagal, puntos de máxima potencia, aperturas y ganancia en la antenna de transmisión.

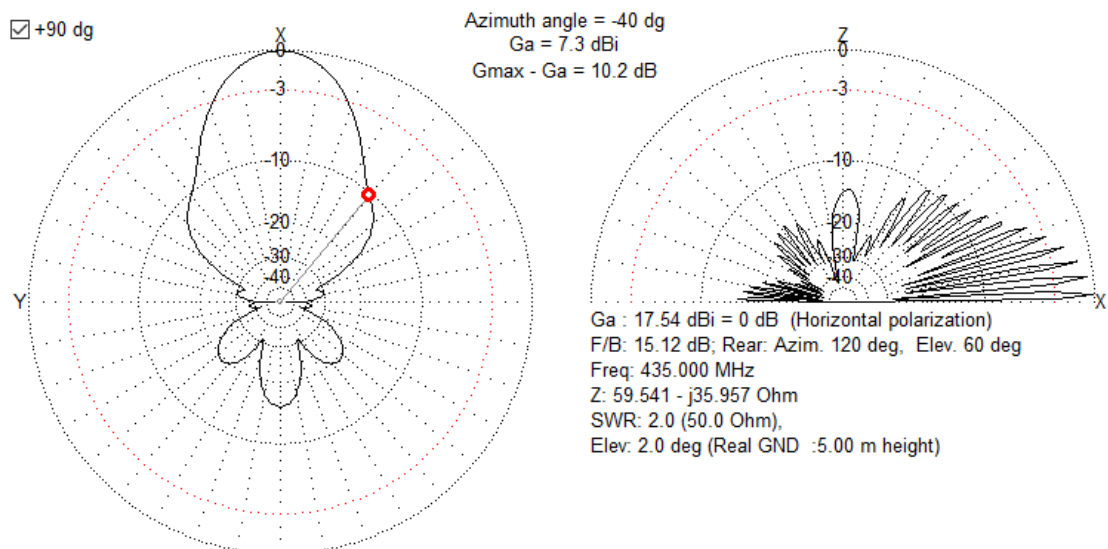


Figura 35-2: Patrón de radiación de la antenna Yagi de transmisión.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Como resultado de la ejecución del programa finalmente se obtiene la Tabla 6-2 con los resultados de los valores característicos de la antena.

Tabla 6-2: Resultados finales de la antena de transmisión

Frecuencia	435.040 MHz
Resistencia	59.54 Ohm
Reactancia	-35.96 Ohm
SWR	1.95
Ganancia	22 dBi

Fuente: Software de diseño mmana-gal

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.3.1.5. Antena receptora

Para el diseño de la antena una vez más se utilizó Yagi Calculator teniendo como referencia los siguientes parámetros mostrados en la Tabla 7-2.

Tabla 7-2: Parámetros de antena receptora.

Parámetros	
Frecuencia	145.675 MHz
Número de directores	4
Número de Dipolos	1
Número de Reflectores	1
Diámetro del Boom	25 mm
Diámetro de los elementos	9 mm

Fuente: Software de diseño Yagi-Calculator

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Se Repite el proceso del ingreso de los datos y en la Figura 36-2 se muestra a continuación la interfaz que presenta Yagi Calculator para ingresar los parámetros indicados anteriormente.

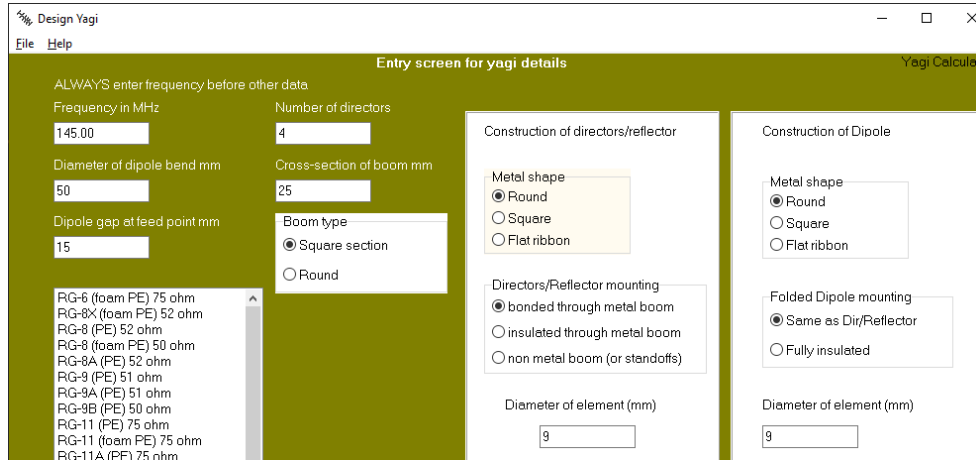


Figura 36-2: Interfaz de ingreso de datos de la antena receptora

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Terminada la ejecución obtenemos el resultado en forma de valores de los elementos de la antena que se presentará en la Tabla 8-2 detallando la longitud y separación de cada uno de los elementos y su respectiva posición en el *boom*.

Tabla 8-2: Elementos de la antena Receptora

Elemento	Longitud	Posición
Reflector	101.8 cm	0 cm
Dipolo	97 cm	41.1 cm
Director 1	91.6 cm	56.5 cm
Director 2	90.7 cm	93.5 cm
Director 3	89.8 cm	81.2 cm
Director 4	89 cm	132.6 cm

Fuente Software de diseño mmana-gal

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

En la Figura 37-2 se puede apreciar como este software nos permite tener una visión preliminar de cómo quedaría la distribución de la antenna Yagi.

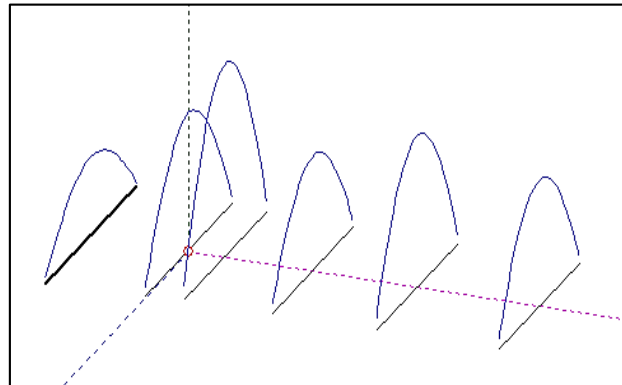


Figura 37-2: Radiación de directores de la antenna Yagi de Recepción

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Patrón de radiación obtenido a través de la simulación en mannagal, puntos de máxima potencia, aperturas y ganancia en la antenna de recepción.

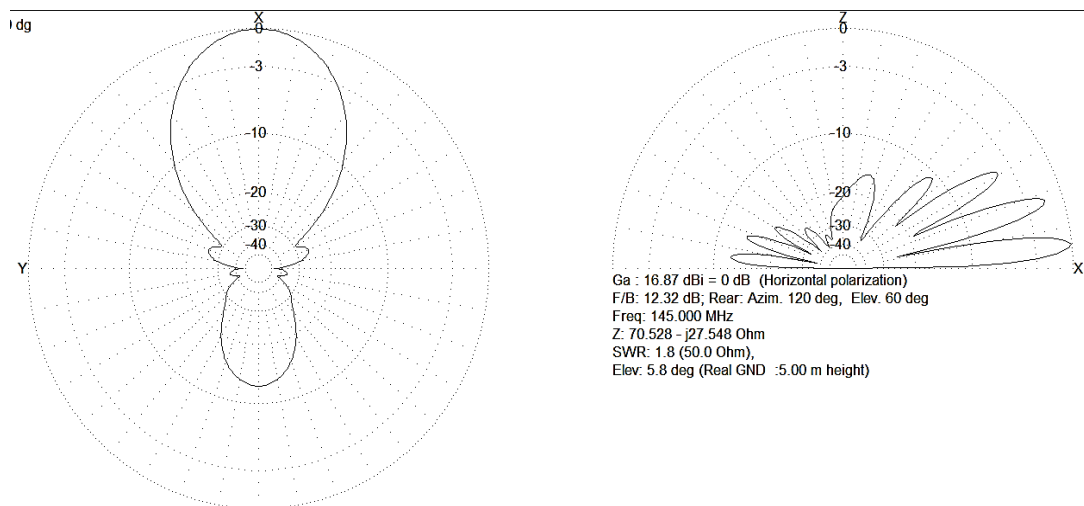


Figura 38-2: Patrón de radiación de la antenna Yagi de Recepción.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Como resultado final obtenemos la Tabla 9-2 con los resultados de los valores característicos de la antenna.

Tabla 9-2: Resultados finales de la antena de recepción

Parámetros de la antena	
Frecuencia	145.675 MHz
Resistencia	70.53 Ohm
Reactancia	-27.55 Ohm
SWR	1.77
Ganancia	16.87 dBi

Fuente: Software de diseño mmana-gal

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

2.3.1.6. Pérdidas por espacio libre

El modelo de pérdida por trayectoria en el espacio libre es usado para predecir la intensidad del nivel de recepción cuando el transmisor y receptor tienen una trayectoria de línea de vista clara, sin obstrucciones entre ellos. La atenuación en espacio libre es directamente proporcional al cuadrado de la distancia y la frecuencia, la pérdida por espacio libre representa la mayor parte de la atenuación total causada por efectos de propagación de la onda electromagnética.

$$L_{bf} = 92.44 + 20 \log(d[km]) + 20 \log(f[GHz]) [dB] \quad \text{Ecuación 1.2}$$

L_{bf} : Pérdidas por espacio libre

$d[km]$ = distancia en kilómetros

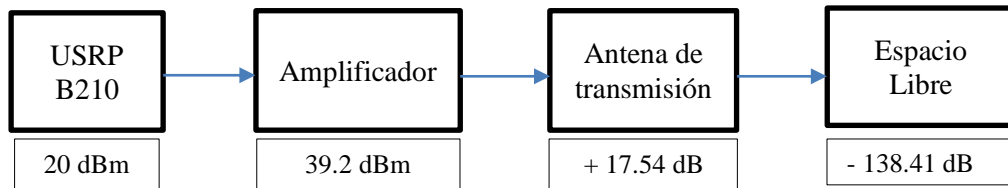
$f[GHz]$ = frecuencia en Gigahercios

$$L_{bf} = 92.44 + 20 \log(457) + 20 \log(f[0.435]) [dB]$$

$$L_{bf} = 138.41 \text{ dB}$$

2.3.2. Balance de potencia

2.3.2.1. Balance de potencia de subida

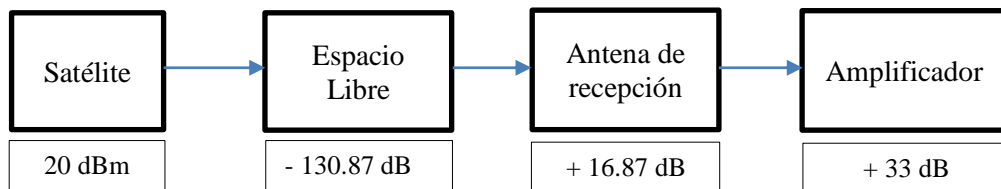


$$TXf = 39.2\text{dBm} + 17.54\text{dB} - 138.41\text{dB}$$

Ecuación 2.2

$$TXf = -81.67 \text{ dBm}$$

2.3.2.2. Balance de potencia de bajada



$$TRf = 20\text{dBm} - 130.87 \text{ dB} + 16.87\text{dB} + 33\text{dB}$$

Ecuación 3.2

$$TRf = -61 \text{ dBm}$$

2.4. Presupuesto Económico del sistema de comunicación satelital

Tabla 10-2: Presupuesto económico de dispositivos

DESCRIPCION DEL PRODUCTO	PRECIO
Antena Tx	\$ 25.00
Antena Rx	\$ 25.00
Amplificadores	\$ 150.00
USRP B210	\$ 1300.00
RTL SDR	\$ 70.00
Laptop	\$ 980.00
TOTAL	\$2550.00

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos de la investigación realizada. En el cual se detalla lo obtenido como resultados en los ítems del capítulo II, se presenta los resultados de las curvas de las antenas que respaldan su funcionamiento, las gráficas del procesamiento de la señal paso a paso desde el inicio hasta la recepción, las potencias con las que se transmite y recepta y los resultados obtenidos al final de la recepción.

3.1. Resultados del diseño de antenas

3.1.1. Antena de transmisión

Culminada la construcción de la antena de transmisión Tx, no presentó la respuesta calculada a través del software con los cálculos obtenidos en el capítulo II en la sección 2.3.1.4, ya que la curva de respuesta no se encuentra centrada en la frecuencia de 435.040 MHz y su valor es de -15 dB como se muestran en la Figura 1-3, por lo tanto, se realizó una calibración con la ayuda de un analizador de redes vectoriales, moviendo los directores y el reflector hasta una posición en la que la antena centre su curva de respuesta a los 435.040 MHz.

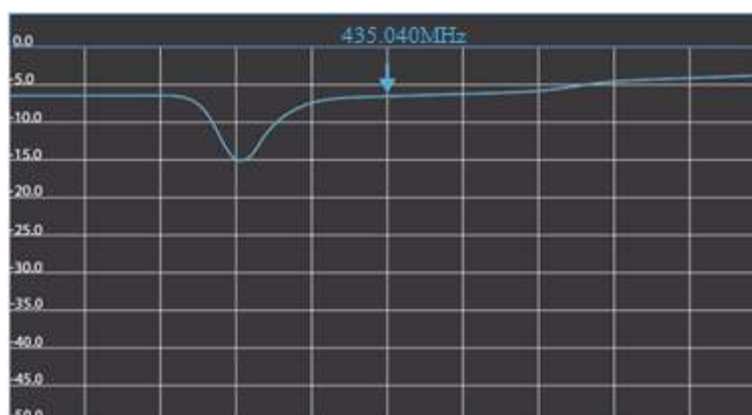


Figura 1-3: Resultado de la antena transmisora con Yagi Calculator

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

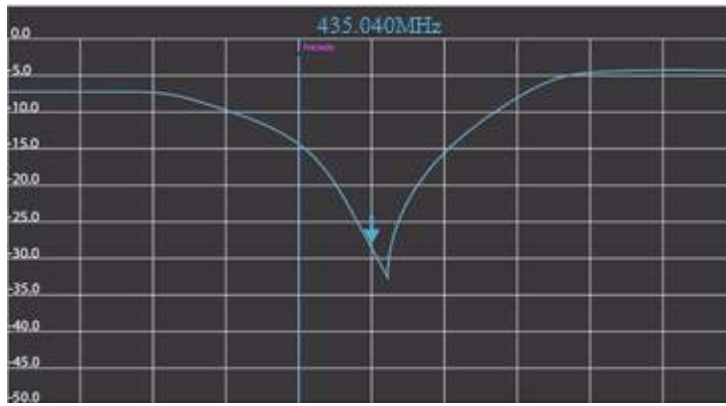


Figura 2-3: Resultado antena transmisora calibrada con analizador de redes vectoriales.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

La Figura 2-3 muestra la imagen de la antena transmisora ya calibrada y se observó una notable diferencia en comparación con la anterior configuración, debido a que se obtuvo una curva de respuesta adyacente a los 435.040 MHz y su valor está en los -28 dB, con lo cual se determinó que tiene un mejor rendimiento en la transmisión, teniendo en cuenta que entre más negativa es la curva de respuesta menos pérdidas tiene la antena.

3.1.2. Antena de recepción

La antena presentó la respuesta esperada con los cálculos obtenidos del software Yagi-Calculator teniendo su curva de respuesta a los 145.675 MHz y con un valor de -20dB como se muestra en la Figura 3-3, con lo cual se determinó que tiene un rendimiento óptimo para la recepción de la información, y un amplio ancho de banda.

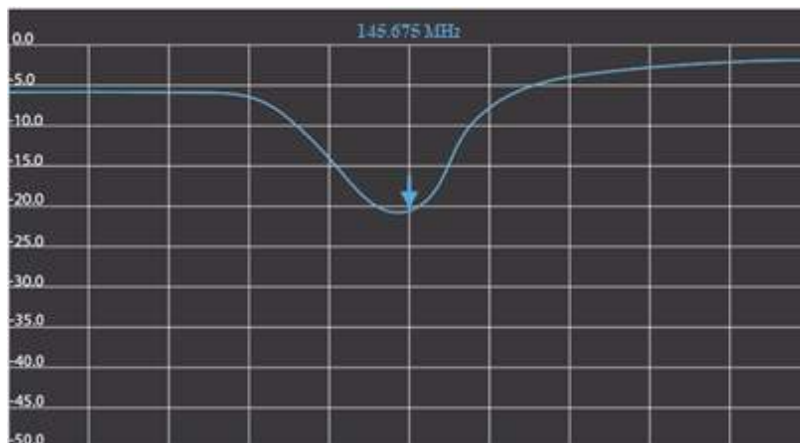


Figura 3-3: Resultado de la antena receptora con Yagi-Calculator

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.2. Fuente de información

Como se mencionó en la sección 2.2.1.1, la fuente de información utiliza en primer lugar un archivo digital de imagen monocromática en formato .mat con una resolución de 100x100 píxeles muestreada a 3KHz y con un bitrate de 3 Kbps, además también se importa un mensaje de audio analógico mono en formato .wav muestreado a 48KHz como se aprecia en la Figura 4-3.

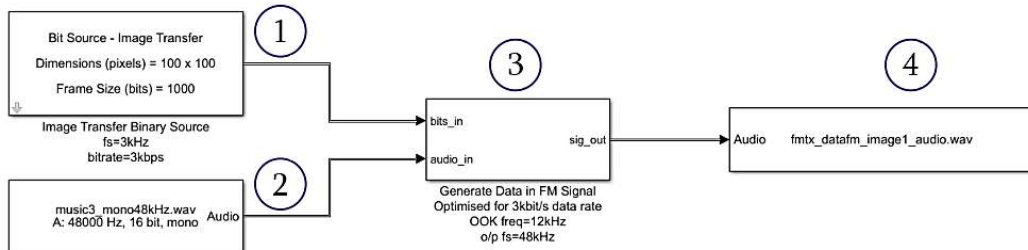


Figura 4-3: Diagrama de bloques del generador de información.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Después de realizar este proceso con los parámetros correspondientes en la fuente de información, la señal final obtenida se denomina señal mensaje o $m(t)$, esta señal se construye a través de 2 señales que a continuación se observa su tratamiento.

3.2.1. Señal Bitstream

Esta señal formada por la trama de datos binarios, representa la imagen digitalizada que fue importada en el bloque 1 del proceso de creación de la señal $m(t)$. El flujo de bits tiene una tasa de bits de 3 kbps, la Figura 5-3 muestra esta señal en tiempo y frecuencia.

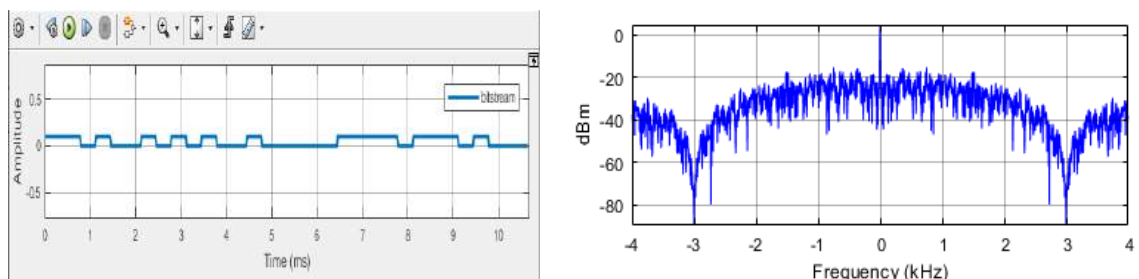


Figura 5-3: Señal digital mostrada en tiempo y en frecuencia.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.2.2. Señal digital ASK - OOK

Esta señal utiliza la modulación digital de amplitud OOK (On-Off Keying) para representar los bits de información, siendo esta la forma más sencilla de modulación ASK que representa datos digitales como la presencia o ausencia de una señal portadora, la Figura 6-3 muestra la trama de bits de la señal digital anterior, donde por cada ciclo positivo existe la presencia de una onda sinusoidal de 12KHz, dando origen a la señal ASK-OOK con un BW = 6KHz.

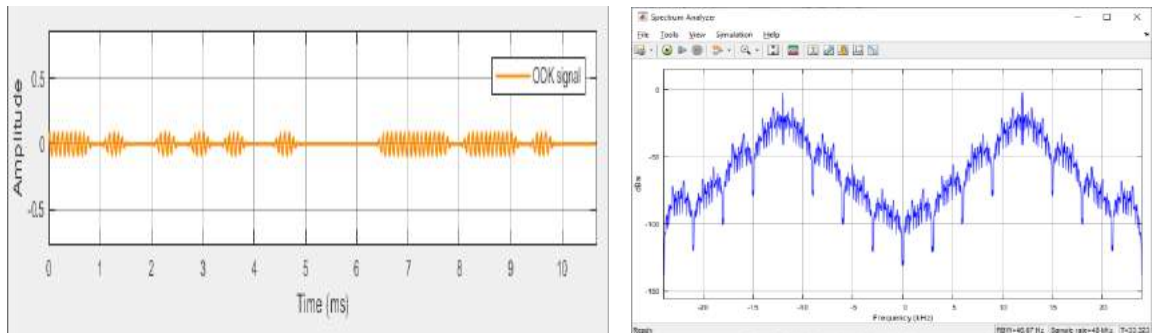


Figura 6-3: Señal digital modulada en OOK vista en tiempo y frecuencia.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.2.3. Señal analógica de audio

La siguiente señal que conformó el proceso de creación de la señal moduladora, es un mensaje de audio grabado, con un BW = 4KHz, muestreada a 48KHz. Esta señal posteriormente se combinó con la señal ASK-OOK mediante Multiplexación por División de Frecuencia (FDM). La Figura 7-3 muestra el comportamiento de esta señal en tiempo y frecuencia.

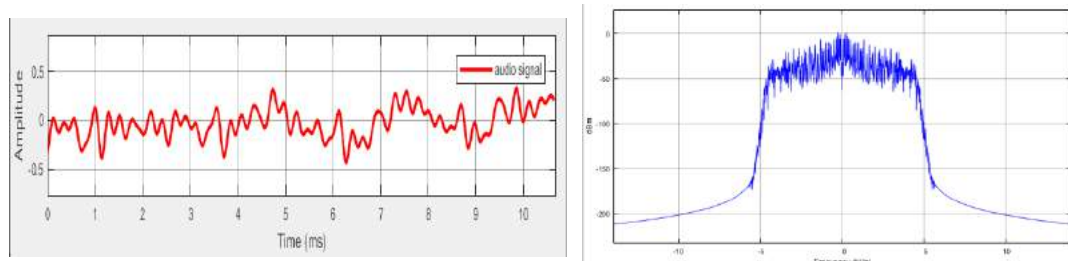


Figura 7-3: Señal Analógica de audio en tiempo y frecuencia.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.2.4. Señal moduladora $m(t)$

Finalmente, después de ejecutar la Sumatoria de señales ASK-OOK y AUDIO ANALÓGICA, mediante la técnica de FDM, tenemos como resultado la señal moduladora analógica (que contiene también una parte digital), la cual en procesos posteriores tendrá el tratamiento necesario para la transmisión a una frecuencia portadora de 435.040 MHz. Esta señal está muestreada a 48 KHz con un BW de 15KHz, tal como lo muestra la Figura 8-3.

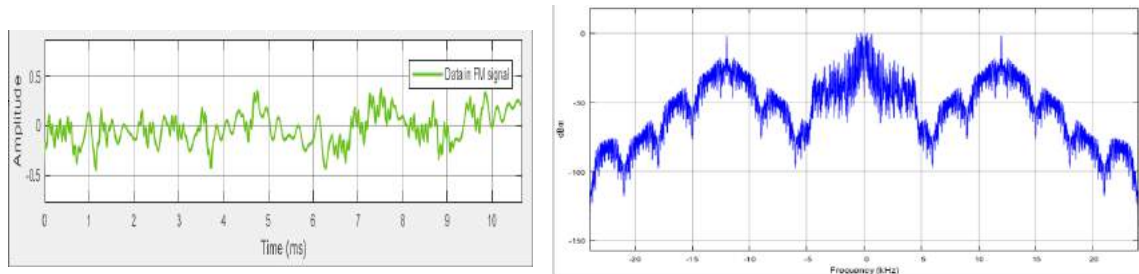
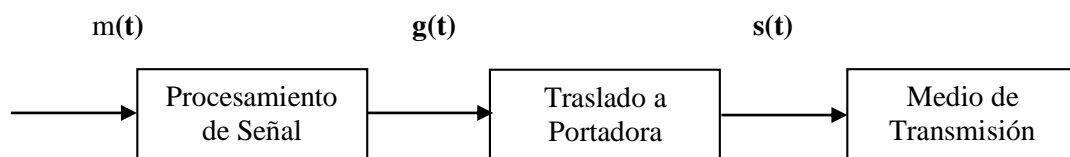


Figura 8-3: Espectro de la señal multiplexada en FDM en frecuencia y el tiempo.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.3. Proceso de la transmisión de la información

Tomando el diseño general de un enlace de comunicación, la señal a enviar debe pasar por una serie de procesos hasta llegar al medio de transmisión, etapas detalladas a continuación.



3.3.1. Señal de información $m(t)$

El modelo de transmisión inicia una vez que la señal de información $m(t)$ es importada al bloque “fuente de señal de audio”, $m(t)$ se obtuvo en la fuente de información de la sección 2.2.1.1. Y se puede apreciar el comportamiento de esta señal banda base muestreada a 48 KHz tanto en tiempo como en frecuencia en la Figura 9-3.

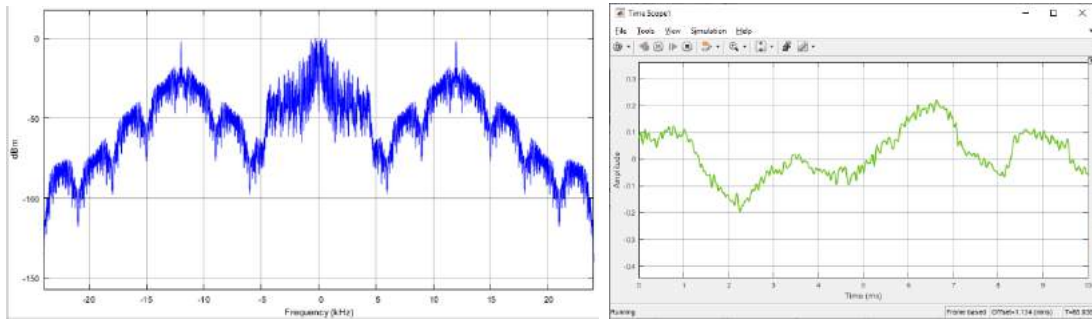


Figura 9-3: Espectro de la señal $m(t)$ en la frecuencia y el tiempo.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.3.2. *Procesamiento de la señal de información $m(t)$*

Una vez importado el audio, denominado $m(t)$, es necesario tratar dicha señal para proteger la información y a su vez garantizar una recepción aceptable. Es por ello que la señal es muestreada ahora con una $f_s = 120\text{KHz}$ para después filtrar armónicos o lóbulos no deseados de la señal con un filtro pasabajo de $f_c = 15\text{KHz}$ correspondientes al BW de la señal $m(t)$. Una vez la señal atraviesa el primer filtro, se vuelve a muestrear la señal hasta llegar a una $f_s = 400\text{KHz}$, esto tuvo como propósito limpiar la señal y evitar el Aliasing (Solapamiento), además de mejorar la calidad de la señal en la recepción en base a todas las muestras tomadas.

La Figura 10-3 muestra la señal banda base $m(t)$ muestreada y filtrada donde se comprueba que la forma de la señal tiene cambios más suaves, lista para iniciar con la etapa de modulación FM.

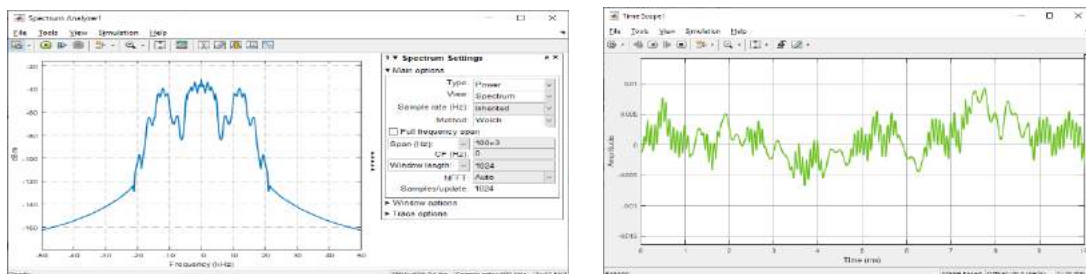


Figura 10-3: Espectro de frecuencia y tiempo de la fuente de información a 400 KHz.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.3.3. Señal envolvente compleja $g(t)$

En este diseño de transmisión, es fundamental establecer los parámetros necesarios en los bloques que conforman la etapa de modulación, ya que gracias a estos se construye la envolvente compleja para representar la modulación FM.

La señal envolvente compleja $g(t)$ adecuada para el diseño de transmisor generalizado se representa a través de:

$$g(t) = R(t) e^{j\theta(t)} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

- $R(t)$ representa el módulo de la señal.
- $e^{j\theta(t)}$ representa la fase de la señal.

Además, la señal envolvente compleja se puede representar en dos funciones reales para los ejes cartesianos, de la forma:

$$g(x) = x(t) + jy(t) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

- $x(t)$ representa la parte real de la señal.
- $y(t)$ representa la parte imaginaria de la señal.

Debido a que la modulación a utilizar es FM, $m(t)$ es transmitido en $\theta(t)$ definida de la manera:

$$\theta(t) = K_o \int m(t) dt \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$K_o = 2\pi K_{fm}$$

Donde:

- K_o representa la constante de relación Hertz - Volts.
- K_{fm} representa la sensibilidad de variación de frecuencia
- $m(t)$ la señal moduladora.

Es importante tener en cuenta estas expresiones, ya que cada término se encuentra expresado a través de un bloque en la etapa de modulación, para llegar a la representación de la señal pasabanda modulada $s(t)$ expresada de la siguiente manera:

$$s(t) = \text{Re}\{g(t)e^{jW_c t}\} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde:

- $\text{Re}\{.\}$ Representa la parte real de $g(t)$
- $e^{jW_c t}$ En frecuencia portadora.

Para cumplir con una comunicación eficiente entre operadoras es necesario cumplir con normas y parámetros técnicos dentro de la modulación FM. Uno de aquellos parámetros es el ancho de banda para la transmisión de la señal modulada, que en este es de 40KHz, expresado de la siguiente manera:

$$B_T = 2(\beta + 1)B_{m(t)} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Donde:

- β Representa el índice de modulación
- $B_{m(t)}$ El ancho de banda de la señal $m(t)$ igual a 15KHz.

El índice de modulación se expresa de la forma:

$$\beta = \frac{Df \cdot Vp}{2\pi B_{m(t)}} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Donde:

- Df representa la constante de relación radianes / Volts * seg.
- Vp El valor pico máximo de $m(t)$.

La desviación de frecuencia se calcula se expresa de la forma:

$$\Delta f = \frac{Df \cdot Vp}{2\pi} \quad \text{Ecuación 7.3}$$

Cada uno de los parámetros mencionados anteriormente son necesarios para establecer una comunicación confiable, los cálculos obtenidos son los parámetros necesarios para efectuar la comunicación en este enlace, entonces la etapa de modulación se configura con los datos obtenidos que muestra la Tabla 1-3. Además, se observa que pese a que la señal $m(t)$ tiene la misma frecuencia, los parámetros cambian dependiendo del ancho de banda, en este caso el necesario es de 40KHz para poder realizar la transmisión de la señal $s(t)$.

Tabla 1-3: Cuadro comparativo de parámetros principales entre el diseño planteado frente a modulación convencional FM monofónico.

Parámetros	Datos obtenidos	FM Monofónico
$B_{m(t)}$	15 KHz	15 KHz
β	0.33	5
B_T	40 KHz	180 KHz
Δf	5 KHz	75 KHz

Fuente: Modulación FM

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.3.4. Señal modulada $s(t)$

Una vez efectuados los parámetros detallados en la tabla 1-3 en los bloques de la etapa de modulación, en la Figura 11-3 se puede visualizar en la parte superior la señal moduladora en tiempo, mientras que en la parte inferior se observa la señal envolvente compleja $g(t)$ separada en su parte real $\{x(t)\}$ y parte imaginaria $\{y(t)\}$

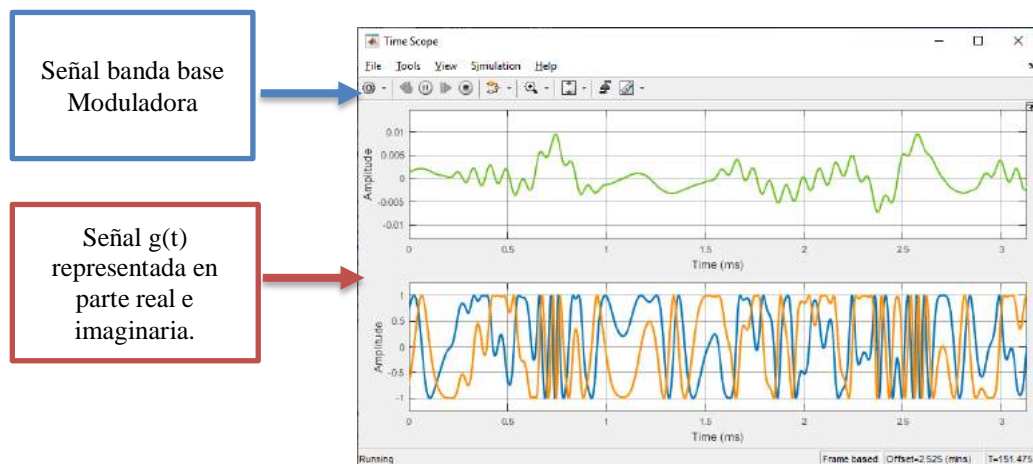


Figura 11-3: Señal moduladora y señal envolvente compleja $g(t)$ vista en tiempo.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.3.5. *Traslación de señal $s(t)$ a la frecuencia portadora.*

Es importante mencionar que el modulo USRP B210 es el encargado de trasladar la señal pasabanda modulada en FM, hacia la frecuencia portadora de trasmision $F_{tx} = 435.040$ MHz, es por ello que la Figura 12-3, muestra la señal $m(t)$ pasabanda con un ancho de banda de aproximadamente 40KHz.

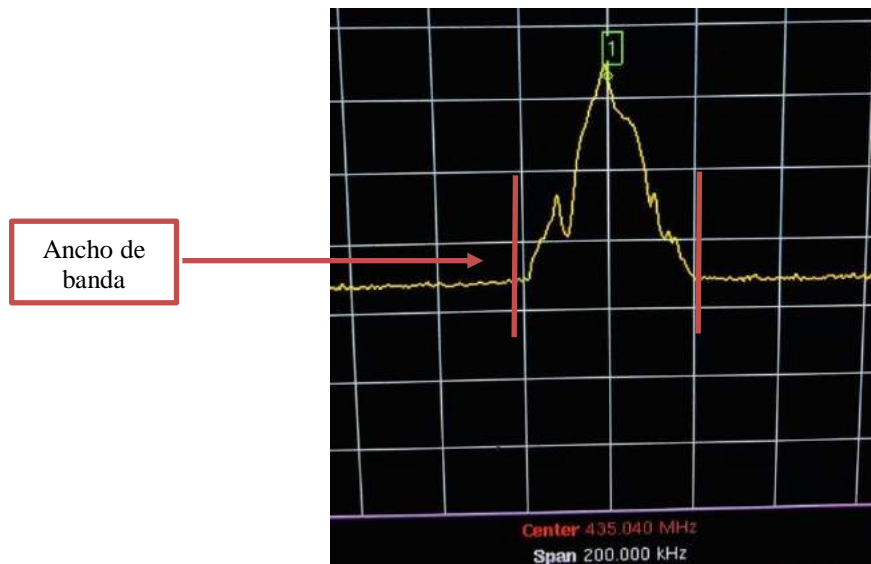


Figura 12-3: Ancho de banda de la señal modulada.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.3.6. *Potencia de transmisión*

3.3.6.1. *Sin amplificador*

En base a la referencia presentada en la sección 2.2.1.2 La tarjeta de desarrollo USRP B210 cuenta con una etapa de transmisión en la que se localiza un amplificador que tiene una potencia de aproximadamente 17 dBm (0.05 Watts) como se puede apreciar en la Figura 13-3, este valor se obtuvo gracias a un analizador de espectros, con esto se demostró la necesidad de un amplificador de radiofrecuencia, además se verificó que la frecuencia de la señal de salida es de 435.040 MHz que corresponde a la frecuencia de subida del satélite XW-2A.

Intensidad de la
señal de
transmisión sin
amplificación

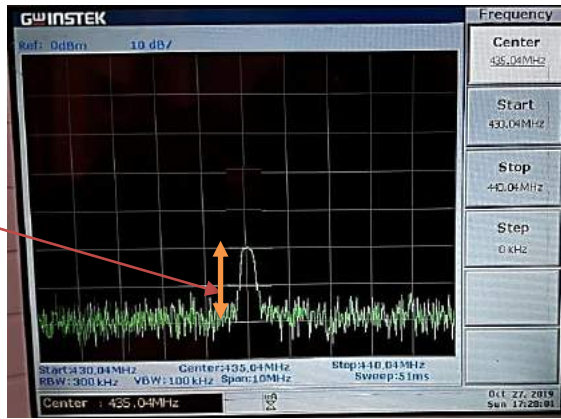


Figura 13-3: Espectro de frecuencia a 435.040 MHz sin amplificador

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.3.6.2. Con amplificador

Con la intervención del amplificador detallado en el capítulo II en la sección 2.2.1.3 conectado entre la tarjeta USRP B210 y la antena de transmisión, utilizando nuevamente el analizador de espectros se puede apreciar en la Figura 14-3, como aumentó la potencia de la señal hasta alcanzar un nivel de 38 dBm que equivale a una potencia de 6 Watts la cual es suficiente para alcanzar a los satélites LEO.

Intensidad de la
señal de
transmisión con
amplificación



Figura 14-3: Espectro de frecuencia a 435.040 MHz con amplificador

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

Además, utilizando un módulo de radiofrecuencia SDR se identificó otro parámetro importante como es la Relación Señal a ruido obteniendo un valor de 8.5 dB como se muestra en la Figura 15-3.

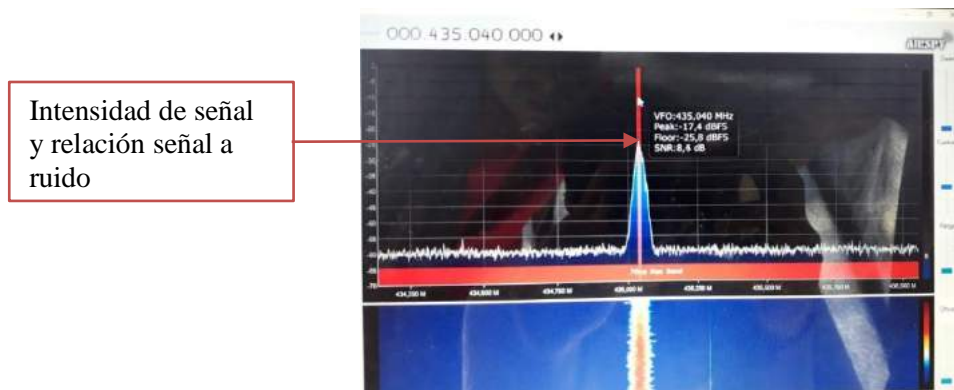


Figura 15-3: Intensidad y relación señal ruido de la potencia de transmisión

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.4. Tracking de satélite LEO

Para la obtención de resultados de la parte final del proyecto, se inició con la recepción proveniente del satélite XW-2A tomando en cuenta las predicciones de la aplicación ISS Detector Pro, en la cual se detalló parámetros como; la hora, la posición y la orientación en la que el satélite hizo su paso por la localidad donde se receptó la señal, esto se puede apreciar en la Figura 16-3.

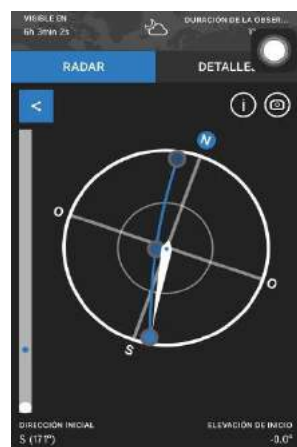
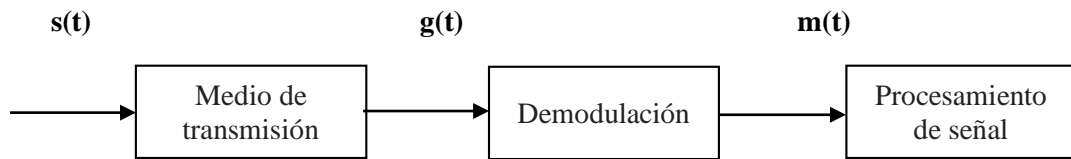


Figura 16-3: Predicción del pase del satélite XW-2A

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.5. Resultados de Recepción



Con la predicción obtenida de la aplicación ISS Detector Pro se realizó la orientación de la antena hacia el satélite directamente, para obtener la mayor intensidad de señal y una comunicación estable recibiendo una parte factible de la información, ya que por las características propias del canal existió pérdidas, a continuación, se presenta los resultados obtenidos.

3.5.1. Potencia de recepción sin amplificador

Con el analizador de espectro se realizó la medición de la intensidad de señal con la que llega a la localidad de recepción, obteniendo el siguiente resultado observado en la Figura 17-3, en donde se aprecia que la señal es muy baja alrededor de -108 dBm siendo difícil la recepción o casi nula, además podemos observar que la frecuencia de bajada es de 145.675 MHz

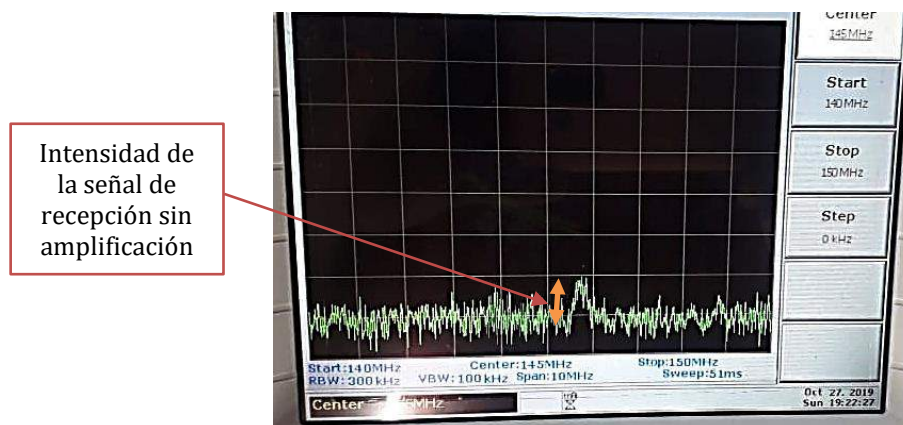


Figura 17-3: Intensidad de señal a 145.675 MHz sin amplificador

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.5.2. Potencia de recepción con amplificador

Al Utilizar el circuito amplificador de radiofrecuencia que se hizo alusión en el capítulo II en la sección 2.2.3.2, se mejoró la calidad de la señal de recepción como se puede apreciar en la Figura 18-3, y con una potencia de -71 dBm se obtuvo una mejor recepción de la información.



Figura 18-3: Intensidad de señal a 145.675 MHz con amplificador

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.5.3. Obtención de la señal modulada en frecuencia s(t)

Una vez obtenida una señal lo suficientemente fuerte gracias al amplificador, se procedió a realizar la recepción de la señal de radiofrecuencia a 145.675 MHz, lo que representa el $r(t)$ del canal de comunicación; y se comprobó mediante un bloque de analizador de espectro en el cual efectivamente se está recibiendo información lo que podemos visualizar en la Figura 19-3.

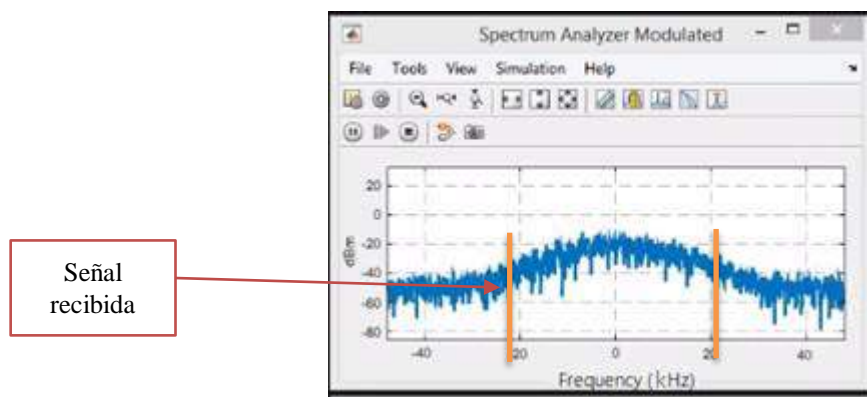


Figura 19-3: Señal modulada en FM Receptada

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.5.4. Obtención de la señal demodulada en frecuencia y $g(t)$

Obtenida la señal modulada en frecuencia a 145.675 MHz, el siguiente paso fue demodularla, quitando la señal portadora con la cual fue transportada siendo esta la señal $g(t)$ en el canal de comunicación.

Posterior realizado este proceso con la ayuda de otro bloque de analizador de espectros se puede observar la señal que fue transmitida en la Figura 20-3, se pudo percibir que existió dos picos a frecuencias juntas, la primera de color naranja de 0 a 5 KHz mismas que representa la señal analógica de audio mientras que la de color azul a 12 KHz representa los datos digitales.

El mensaje analógico de audio reproduce lo siguiente: *“Saludos estimados Radioaficionados, quienes transmitimos Joffre Cabrera y Dennis Gusqui y somos estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo realizando pruebas del proyecto Envió y recepción de audio y datos a través de un enlace satelital utilizando satélites de órbitas bajas.”*

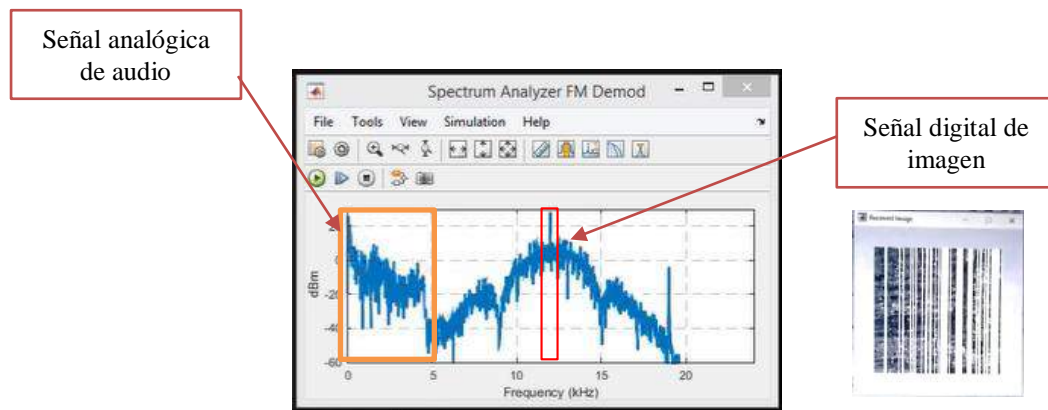


Figura 20-3: Señal de audio y señal digital

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.5.5. Demodulación de la señal analógica de audio $m(t)$

Para recuperar únicamente la señal de audio se utiliza el bloque número 3 de la sección 2.2.3.3 del Capítulo II que tiene como propósito eliminar la información digital que inserta ruido, para esto se requiere la intervención de un supresor de tonos con frecuencia de corte de 12 KHz, de esta manera atenúa la señal digital quedando únicamente la señal analógica que se filtra y trata para recuperar el audio de la señal como se muestra en la Figura 21-3 en esta etapa se hace referencia a $m(t)$ del canal de comunicación.

Señal de audio recuperada tras el proceso de demodulación y tratamiento de la señal.

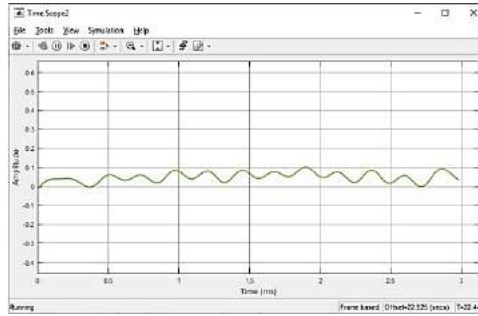


Figura 21-3: Señal de audio recuperada en la recepción

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.5.6. Demodulación de la señal digital.

Para extraer la parte digital de la señal analógica se utilizó en bloque número 6 de la sección 2.2.3.3 del capítulo 2 el cual en su interior contiene un filtro digital pasa banda con frecuencia de corte de 12 KHz que es la frecuencia en la cual tuvo lugar la modulación OOK original, de esta manera se elimina la señal digital de audio que está ubicada en una frecuencia de muestreo de 48 KHz y se obtiene únicamente la señal digital modulada en frecuencia, posteriormente se utiliza una detención de envolvente para obtener una señal analógica con menor variación en el tiempo y que tenga una forma y secuencia aproximada a la señal digital donde en esta parte se apreció $m(t)$, por último se tiene un bloque de decisión que se encarga de tomar los picos o valores máximos de la señal y los interpreta como un 1 lógico y los valores aproximados negativos o próximos a 0 de la señal como un 0 lógico, para posteriormente enviarlos a un buffer de memoria donde son almacenados.

Señal OOK recuperada en recepción

Señal envolvente de la señal OOK

Bits digitales obtenidos a partir de la señal envolvente

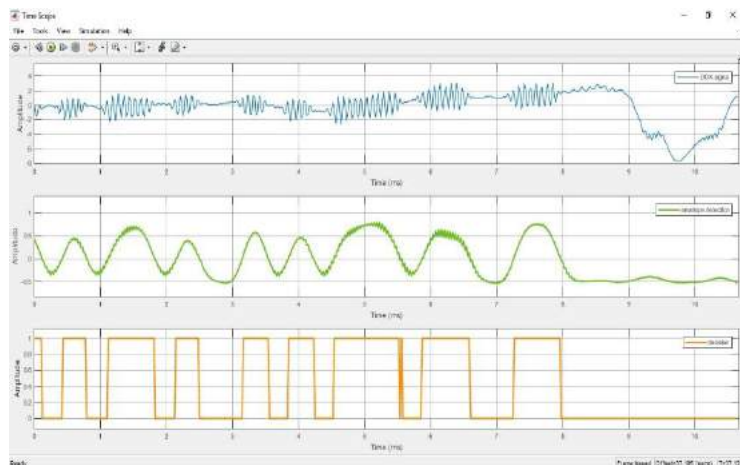


Figura 22-3: Demodulación de la señal OOK.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.5.7. Recuperación de la imagen digital

Culminado el proceso de recepción de los datos digitales, se obtuvo como resultado la Figura 23-3, la cual se observó que no se encuentra completa, esto se debe a que, en el proceso de la transmisión por las condiciones propias del canal, existieron pérdidas de datos que no permitieron la reconstrucción íntegra de la imagen.

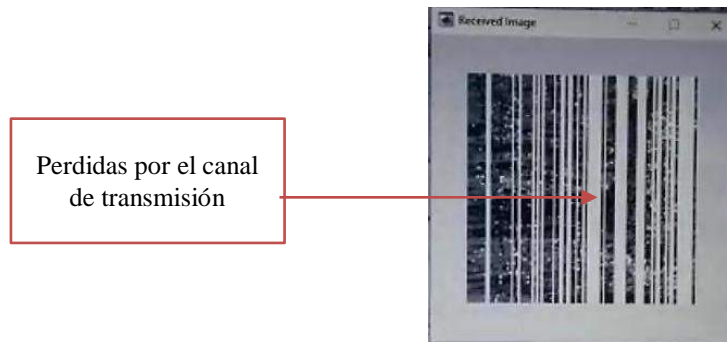


Figura 23-3: Imagen recuperada después de la recepción.

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.6. Cuadro comparativo de transmisión

Culminadas las mediciones en campo, se obtuvo los resultados mostrados anteriormente, determinando así, que hubo una ligera variación con los cálculos teóricos que se realizaron en la etapa de modelamiento, lo cual se expone en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Comparativa de valores teóricos y valores medidos en Transmisión.

Parámetro	Valor teórico	Valor medido.
Ganancia de Antena	22 dB	28dB
Potencia de salida de USRP B210	>10dBm	17 dBm
Potencia de salida de amplificador	8W	6W

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.7. Cuadro comparativo de recepción

Al igual que en el caso de transmisión, para la recepción también se obtuvo resultados en las mediciones de campo que muestran variaciones en los cálculos realizados teóricamente pero que

se encuentran en valores muy próximos como se aprecia en la Tabla 3-3, con lo cual se determinó que el diseño de la comunicación se planteó adecuadamente.

Tabla 3-3: Comparativa de valores teóricos y valores medidos en recepción.

Parámetro	Valor teórico	Valor medido.
Ganancia de Antena	16.87 dB	20 dB
Potencia de recepción	-61 dBm	-71 dBm

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

3.8. Cuadro comparativo de balance de potencia

Tabla 4-3: Comparativa de valores teóricos y valores medidos para Balance de Potencia.

Parámetro	Valor teórico	Valor medido.
Balance de subida	-81.7 dBm	-72.73 dBm
Balance de bajada	-61 dBm	-71 dBm

Realizado por: Cabrera, Joffre; Gusqui, Dennis; 2019.

CONCLUSIONES

- Gracias a la investigación realizada en libros, documentos electrónicos, artículos, y consultas a personas que llevan una amplia trayectoria en el tema de Sistemas de comunicaciones satelitales y radio amateur, se obtuvo el conocimiento y experiencias necesarias para iniciar el proyecto con bases sólidas para la transmisión de voz y datos.
- En la primera fase del diseño se concluye que en el cálculo teórico de las antenas y en los valores prácticos obtenidos después de la fabricación, existe una diferencia de 6 dB por lo que para tener un mejor rendimiento se debe realizar un reajuste de los elementos con la ayuda de un analizador de redes vectorial.
- La limitación de la potencia de la tarjeta USRP B210 es de 17 dBm por lo cual es necesario utilizar una etapa de amplificación que incremente la intensidad de la señal hasta el umbral de recepción del transpondedor satelital, que corresponde a mínimo de 36.98 dBm.
- El satélite XW2A posee un transpondedor lineal que opera con los modos de transmisión analógica y digital, para ello es necesario llegar a su umbral de recepción que está en el rango de 5 a 8 Watts, lo cual es indispensable para este diseño de comunicación satelital.
- Se tiene una relación señal a ruido de 8.5 dB con lo que se determina que la intensidad de la señal recibida hace posible una buena comunicación sin demasiadas interferencias.
- La modulación OOK (ASK) es una buena opción para la transmisión de datos digitales modulados en frecuencia, pero no es eficiente para comunicaciones a largas distancias ya que sufre demasiadas pérdidas.
- El tratamiento de la señal también depende de los parámetros establecidos por el satélite, en este caso es necesario trabajar con un ancho de banda de 40 KHz, ocupando modulación angular NFM con índice de modulación de 0.333, provocando una desviación de frecuencia de 5KHz en la señal modulada, datos suficientes para recibir el mensaje obtenido.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable indagar en varias fuentes de información, ya que cada texto o documento elaborado en el campo de las transmisiones satelitales y las telecomunicaciones aporta grandes conocimientos y experiencias que tiene el autor para compartir.
- Es de importancia considerar las herramientas de software como Matlab que son de paga, así como las herramientas hardware adecuadas para la extracción de datos, el procesamiento de los datos y el post procesamiento de los mismos.
- Se recomienda utilizar un amplificador que en lo posible mantenga la linealidad para no afectar la señal insertando ruido por efecto de los propios componentes de que está formado.
- Realizar las pruebas en un sitio alto con línea de vista directa y en lo posible con un cielo despejado, teniendo en cuenta que la construcción de las antenas debe ser milimétricamente exacto ya que, las variaciones en distancias de los elementos parásitos varían el comportamiento en frecuencia de la antena, de esa manera se aproxima a los resultados deseados.
- Utilizar otro satélite que acepte otra modulación más eficiente para evitar en lo posible las pérdidas y mejorar la calidad del enlace.
- Mantener contacto con fuentes oficiales acerca de satélites ya que, generalmente la información encontrada en la web no siempre está actualizada, la información oficial necesaria sobre satélites de radioaficionado se encuentra en AMSAT (Asociación Mundial de Radioaficionados), ésta información detalla parámetros para una comunicación eficiente por el elemento pivote en el espacio, uno de los más importantes es el ancho de banda permitido de operación, partiendo con ello se debe determinar la configuración de cada elemento en la etapa de transmisión y recepción.
- Tener en cuenta el tipo de información analógica y/o digital que se va a transmitir, en base a ésta y al modo de operación del satélite, varía la modulación a emplear y los equipos para la implementación del sistema de comunicación.

BIBLIOGRAFIA

ANDALUCÍA ES DIGITAL. Cómo funcionan las telecomunicaciones en el espacio y qué nuevos proyectos las impulsarán [en línea]. Andalucía, 2018 [Consultado el 3 de abril de 2019] Disponible en <https://www.blog.andaluciaesdigital.es/telecomunicaciones-en-el-espacio/>

ANDRADE HERNÁNDEZ, Juan. *Estudio técnico de una red satelital que brinde soporte a servicios de VoIP* (Tesis). (Pregrado) Universidad Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y electrónica, Escuela de ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes. Riobamba, 2012. Pp.20 [Consulta: 2019-05-12]. Disponible en <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1936>

ANDREULA, Luis. *Red de Comunicaciones Satelitales* [en línea]. Colombia, INCCA, 2015 [Consulta 20 de abril de 2019] Disponible en <https://www.coursehero.com/file/11420994/comunicaciones-satelitales/>.

DUARTE MUÑOZ, Carlos. *Frecuencias de comunicación satelital* [en línea]. México, Secretaria de Comunicaciones y Transporte, 2014 [Consulta 20 de abril de 2019] Disponible en <http://haciaespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=209>.

GARCIA ALGORA, Carlos. Radio Definido por Software Usando MATLAB (Tesis). (Pregrado), Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Telecomunicaciones, Santa Clara, 2011 Pp.6. [Consulta: 2019-05-45], Disponible en <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/4729/Carlos%20Manuel%20Garc%C3%ADa%20Algora.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, Javier. *Sistemas de comunicación por satélite utilización en los sistemas de navegación aeronáuticos* (Tesis). (Pregrado) Universidad Politécnica de Madrid, Teoría de la Señal y Comunicaciones, Madrid. 2012. Pp.11 [Consulta: 2019-04-15]. Disponible en http://oa.upm.es/40769/1/PFC_JAVIER_HERNANDEZ_SANCHEZ.pdf.

HUIDOBRO, José. *Antenas de Telecomunicaciones* [en línea] Madrid, Las Rosas. Revista Digital ACTA, 2013 [Consulta 15 de mayo de 2019] Disponible en https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf.

KRASIMIROVA, N. *La comunicación telefónica* [en línea]. Fraga: Formación Profesional Básica de IES Bajo Cinca, 2015 [Consultado el 22 de marzo de 2019] Disponible en <http://serviciosadministrativ.blogspot.com/2015/03/tema-5-la-comunicacion-telefonica.html>.

LUQUE ORDOÑEZ, Javier. *Comunicaciones por satélites* [en línea] Madrid, Las Rosas. Revista Digital ACTA, 2013 [Consulta 25 de abril de 2019] Disponible en https://www.acta.es/medios/articulos/comunicacion_e_informacion/016001.pdf.

MEJÍA CANDO, Julio. *DESARROLLO DE UN ALGORITMO EN MATLAB PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RESOLUCIÓN DE UNA TARJETA USRP B210 PARA APLICACIONES SDRADAR* (Tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes. Riobamba. 2017. Pp. 25 [Consulta: 2019-06-07]. Disponible en <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/7523/1/98T00160.pdf>

MOLINA GÓMEZ, A. *El proceso de comunicación mediado por las tecnologías de la información. Ventajas y desventajas en diferentes esferas de la vida social* [en línea]. Cuba: Universidad de Ciencias Médicas, Cienfuegos, 2015 [Consulta 20 de marzo de 2019] Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2015000400004.

NATIONAL INSTRUMENTS, *Dispositivo de Radio Definido por software USRP*. [En línea]. Texas – Estados Unidos de América, 2018 [Consulta: 23 de mayo de 2019] Disponible en <http://www.ni.com/es-cr/shop/select/usrp-software-defined-radio-device>

NERI VELA, Rodolfo. *Comunicaciones por satélite*. México, International Thomson, 2003 pp492

PÉREZ PORTO, Julián. *Definición de comunicación* [en línea]. Gestionado con WordPress, 2008 [Consultado el 12 de abril de 2019] Disponible en <https://definicion.de/comunicacion/>.

PINAR DOMINGUEZ, Iván & MURILLO FUENTES, Juan José. Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software [en línea]. Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 2011. pp. 11-27. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible en: <http://docplayer.es/12938116-Laboratorio-de-comunicaciones-digitales-radio-definida-porsoftware.html>

RAMOS CALDERÓN, Elsa. *Estudio de los satélites de nueva generación y sus aplicaciones en el ámbito de las telecomunicaciones* (Tesis). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, Ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, Ecuador.2009. Pp. 47 [Consulta: 2019-04-16] Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4193>.

RAMOS MALLEA, Jahel. *SATÉLITES DE COMUNICACIÓN* [en línea]. La Paz, Universidad Mayo de San Andrés , 2011 [Consulta 17 de abril de 2019] Disponible en http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1997-40442011000100007&script=sci_arttext.

ROSADO, Carlos. *Comunicación por Satélite*. Madrid – España: Carlos Hermida Barral, 2000 Pp. 2

RUESCA, Pedro. *Teoría de Antenas* [en línea]. Santander -España, 2016. Radio Comunicaciones. [Consulta: 25 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/teoria-de-antenas/>

SÁNCHEZ IBARRA, Diana. *Diseño, Construcción y Caracterización de antenas para UHF* (Tesis). (Pregrado). Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Escuela de Ingeniería y Ciencias. México. 2007

Pp.20-23 [Consulta: 2019 – 06 – 28]. Disponible en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/sanchez_i_d/

SERRANO, A. *Desde la Espalda del Spuntnick: antecedentes de los satélites artificiales* [en línea]. México, Secretaria de Comunicaciones y Transporte, 2014 [Consulta 29 de abril de 2019] Disponible en <http://haciaespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=104>

SEVILLA, Fran. *Tipos de orbitas satelitales.* [en línea] Valladolid – España. Vega.0.0 2012 [Consulta 2 de mayo de 2019] Disponible en <https://vega00.com/2012/02/tipos-de-orbitas-satelitales-2.html/>

STEWART, Robert; Barlee Kenneth; ATKISON, Dale & Crockett. *Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR.* UK, University of Strathclyde, 2017. Pp. 370, 565

TOMASY, Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* 4ªta ed. Arizona – Estados Unidos de América, PEARSON EDUCACION, 2003. Pp.807.

TSALAFOUTAS CODINA, Ioannis Luis. *Implementación de una radio comunitaria en el centro cultural de Koudougou* (Tesis). (Pregrado) Universidad Politécnica de Cataluña, Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, Sistemas Electrónicos, Cataluña. 2009. Pp. 42 [Consulta: 2019-04-07]. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6990>

VIDALES GONZÁLES, C. *Historia, teoría e investigación de la comunicación* [en línea]. México: Universidad de Guadalajara, 2014 [Consulta 13 de marzo de 2019] Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-252X2015000100002.

WYGLINSKI, Di Pu, *Digital Communication Systems Engineering whit Software-Defined Radio,* Boston – Londres Artech House. 2013, p.50.

ANEXOS

ANEXO A: Investigación acerca de los radioaficionados

- 1- Visita a el laboratorio de comunicaciones de un miembro del gremio de radioaficionados de la provincia de Cotopaxi



ANEXO B: Diseño de la antena Yagi de transmisión

- 1- Resultados obtenidos por los algoritmos del programa Yagi Calculator para la antena de transmisión, mostrando la distribución de los elementos y como fabricarlos.

VK5DJ's YAGI CALCULATOR

Yagi design frequency =435,00 MHz
Wavelength =689 mm
Parasitic elements contacting a square section metal boom 25 mm across.
Folded dipole mounted same as directors and reflector
Director/reflector diam =9 mm
Radiator diam =9 mm

REFLECTOR
353,1 mm long at boom position = 30 mm (IT = 164,0 mm)

RADIATOR
Single dipole 319,3 mm tip to tip, spaced 138 mm from reflector at boom posn 168 mm (IT = 147,0 mm)
Folded dipole 345,6 mm tip to tip, spaced 138 mm from reflector at boom posn 168 mm (IT = 160,5 mm)

DIRECTORS

Dir (no.)	Length (mm)	Spaced (mm)	Boom position (mm)	IT (mm)	Gain (dBd)	Gain (dBi)
1	308,3	51,7	219,5	141,5	4,8	6,3
2	304,5	124,1	343,6	139,5	6,5	8,6
3	300,9	148,2	431,7	138,0	7,8	9,9
4	297,5	172,3	664,0	136,5	8,9	11,0
5	294,5	193,0	857,0	134,5	9,8	11,9
6	291,6	206,8	1063,8	133,5	10,5	12,7

Print results
Create Y0
Create .maa
Balun
Back

Folded dipole measuring points

Yagi Results

Help

VK5DJ's YAGI CALCULATOR

Yagi design frequency =145.00 MHz
Wavelength =2068 mm
Parasitic elements contacting a square section metal boom 25 mm across.
Folded dipole mounted same as directors and reflector
Director/reflector diam =9 mm
Radiator diam =9 mm

REFLECTOR
1018.2 mm long at boom position = 30 mm (IT = 496.5 mm)

RADIATOR
Single dipole 975.2 mm tip to tip, spaced 414 mm from reflector at boom posn 444 mm (IT = 475.0 mm)
Folded dipole 1004.3 mm tip to tip, spaced 414 mm from reflector at boom posn 444 mm (IT = 489.5 mm)

DIRECTORS

Dir (no.)	Length (mm)	Spaced (mm)	Boom position (mm)	IT (mm)	Gain (dBd)	Gain (dBi)
1	921.4	155.1	598.6	448.0	4.8	6.9
2	911.8	372.2	970.7	443.5	6.5	8.6
3	903.0	444.5	1415.2	439.0	7.8	9.9
4	894.9	516.9	1932.1	435.0	8.9	11.0

Print results

Create Y0

Create .maa

Balun

Back

ANEXO D: Construcción de la antena de transmisión

- 1- Construcción y perforación de los directores y reflectores de la antena Yagi para aumentar su directividad y por ende su ganancia.



- 2- Construcción del folded dipolo, este es el elemento fundamental de la antena ya que es quien radia en ondas electromagnéticas la información transmitida.



- 3- Montaje de los elementos en el boom siguiendo las indicaciones y los cálculos obtenidos por el software Yagi Calculator.



- 4- Análisis vectorial de las antenas de transmisión y recepción para comparar que estén oscilando a las frecuencias previstas.



ANEXO E. Enlace satelital

- 1.- Tracking del satélite XW-2A utilizando la aplicación ISS pro el cual nos muestra la orientación y la posición en que se encuentra el satélite para apuntarlo directamente.



ANEXO F. Escenario Propuesto

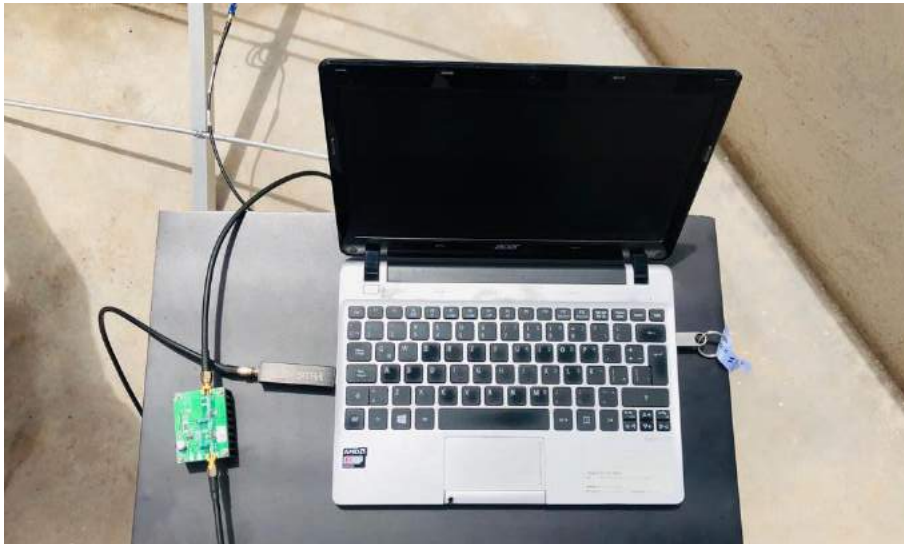
- 1- El escenario mostrado a continuación es el propuesto en la etapa de diseño descrito a lo largo del capítulo II.



- 2- Modelo de transmisión, Fuente de Información, USRP B210, Amplificador 8W y antena transmisora

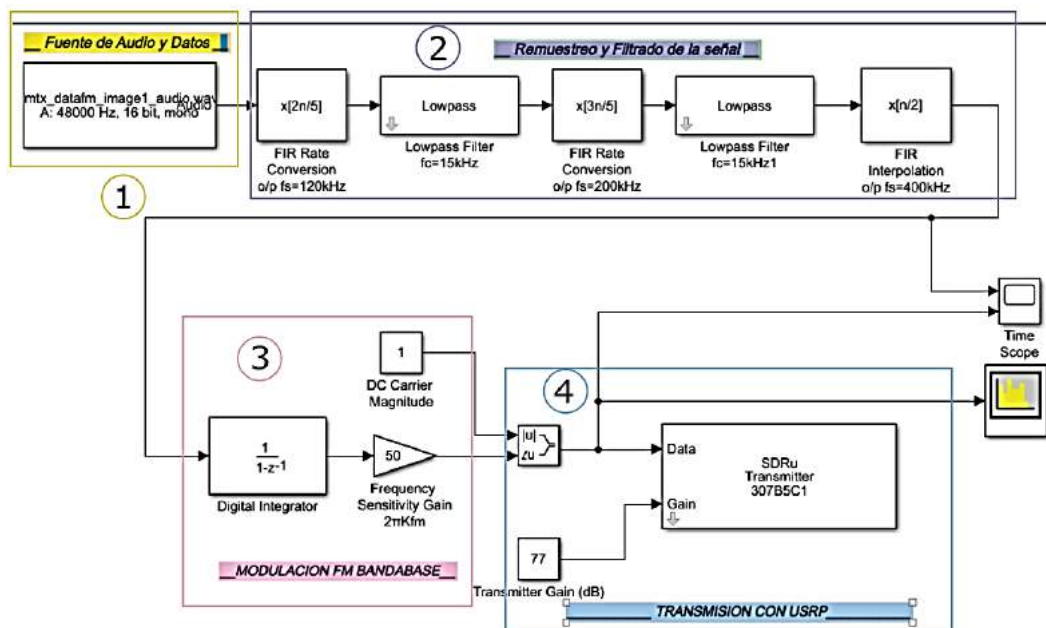


- 3- Modelo de recepción, Antena receptora, amplificador 2W, SDR-RTL e intérprete de información.



ANEXO G. Transmisión

- 1- Escenario lógico de transmisión elaborado en el software MatLab y su herramienta Simulink para la tarjeta de desarrollo USRP B210



- 2- Pruebas de Intensidad y frecuencia de la señal modulada en frecuencia proveniente de la tarjeta USRP B210



- 3- Prueba de transmisión y recepción realizada el 20 de octubre de 2019 a las 15:25 horas

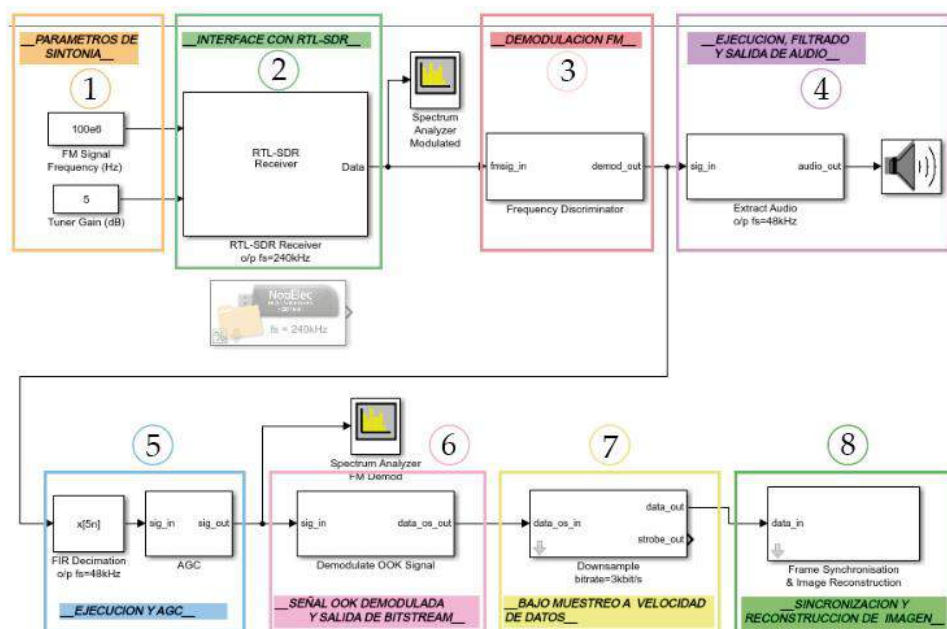


4- Prueba de transmisión y recepción realizada el 25 de octubre de 2019 a las 20:17 horas



ANEXO H. Recepción

1- Escenario lógico de recepción utilizando el software MatLab y su herramienta simulink para el módulo RTL-SDR.



2- Resultado de la recepción de información

