



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Diseño e Implementación de una Estación Terrena para la
Obtención de Imágenes Satelitales Meteorológicas usando la
plataforma USRP

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR:

Camacho Muñoz, Jefferson Fernando

DIRECTOR:

Quiñones Cuenca, Manuel Fernando, Ing.

LOJA - ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ing.

Manuel Fernando Quiñones Cuenca,
DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación, denominado: Diseño e implementación de una estación terrena, para obtención de imágenes meteorológicas por medio de satélites, usando la plataforma USRP, realizado por: Camacho Muñoz Jefferson Fernando; ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por tal razón se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Junio de 2014

F._____

Ing. Manuel Fernando Quiñones Cuenca

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Jefferson Fernando Camacho Muñoz; declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: Diseño e implementación de una estación terrena, para obtención de imágenes meteorológicas por medio de satélites, usando la plataforma USRP de la titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo el Ing. Manuel Fernando Quiñones Cuenca director (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. .

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

F._____

Jefferson Fernando Camacho Muñoz

C.I.: 1105043721

DEDICATORIA

Dedicado a, Mis padres.

AGRADECIMIENTO

Al ser a-temporal y a-espacial al cual pertenezco, en quien su voluntad confío, para encaminar mi vida hacia el bien.

A mis padres, por su apoyo incondicional y confianza. A mis hermanos, por alentar mi vida porque cada uno en particular ha ayudado a mantener siempre viva la llama de la esperanza.

A mi director de tesis: Ing. Manuel Quiñones, mi profesor y amigo, que siempre se mantiene alerta para el rescate de los jóvenes talentos que transitan por la titulación quien fue inmejorable guía para el desarrollo de este trabajo.

A todos quienes me esperaron.

Jefferson Camacho

Índice general

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Justificación	2
1.3. Metodología	3
2. ESTADO DEL ARTE	6
2.1. Introducción	6
2.2. Satélite artificial	6
2.2.1. Tipos de órbitas	7
2.3. Tipos de satélites	7
2.3.1. Tipos de satélites por su aplicación	7
2.4. Satélites meteorológicos	8
2.4.1. Satélites Meteorológicos Geoestacionarios	9
2.4.2. Satélites Meteorológicos de Órbita Polar	9
2.4.2.1. Satélites NOAA	9
2.4.2.2. Formato APT de los NOAA	11

ÍNDICE GENERAL

2.5.	Estación terrestre	13
2.5.1.	Sistemas de seguimiento	13
2.5.2.	Sistemas de Recepción	14
2.5.3.	Tipos de receptores	15
2.6.	Sistema de radiación	15
2.6.1.	Sistemas de radiación para la banda de Very High Frequency (VHF)	15
2.6.2.	Antenas para recepción meteorológica	16
2.7.	Receptor de radio definido por software (GQRX)	17
2.7.1.	Proyectos desarrollados con GQRX	17
2.7.1.1.	FUNCube Dongle y GQRX	17
2.8.	Radio definido por software (SDR)	19
2.8.1.	Definición y Aspectos Fundamentales de SDR	19
2.8.2.	Arquitectura de Hardware SDR	19
2.8.2.1.	Front End de RF	19
2.8.2.2.	Oscilador Local	20
2.8.2.3.	Bloque de Frecuencia Intermedia	20
2.8.2.4.	Conversión AD/DA	20
2.8.2.5.	Modulador/Demodulador	21
2.9.	GNU RADIO	22
2.9.1.	GNU Radio Companion	22
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1.	GNU RADIO	25
3.1.1.	Instalación de Pre-requisitos para GNU Radio	25
3.2.	Instalación de GNU Radio	26
3.3.	Verificar la instalación de GNU Radio	27
3.4.	Universal Software Radio Peripheral USRP	27
3.4.1.	Hardware USRP - N210	27
3.4.1.1.	Panel Frontal	29
3.4.1.2.	GPSDO	30
3.4.2.	UHD	30
3.5.	Instalación del USRP	31
3.6.	Diseño del sistema de radiación	32
3.6.1.	Diseño de la antena arrow para satélites	33
3.6.1.1.	Cálculos para la antena arrow	33
3.6.1.2.	Simulación de la antena en VHF	35
3.6.1.3.	Diseño mecánico de la antena	36
3.6.1.4.	Pruebas técnicas de la antena arrow terminada	37

3.6.2. Diseño de la antena quadrifilar helicoidal	38
3.6.2.1. Cálculos para la antena QFH	39
3.6.2.2. Comprobación de resultados obtenidos de la calculadora	39
3.6.2.3. Simulación de la antena para VHF	41
3.6.2.4. Diseño Mecánico de la antena	41
3.6.2.5. Pruebas técnicas de la antena QFH terminada	43
3.7. Sistema de radiación electo para el presente proyecto	43
3.7.1. Análisis del espectro de la señal recibida de los satélites meteorológicos	44
3.8. Desarrollo del sistema de recepción en GNU Radio	46
3.9. Programa para decodificar imágenes	48
4. FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS	50
4.1. Conexión del Equipo N210	50
4.2. Configuración de gpredict-win32-1.4git-1	51
4.2.1. Datos de la estación terrena	51
4.3. Compilación en GNU Radio Companion	54
4.4. Configuración de WXtoimg	54
4.4.1. Configuración de WXtoimg	54
4.4.2. Actualización de keplers	54
4.5. Rastrear Ubicación del satélite	55
4.6. Ejecución del sistema	56
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1. Conclusiones	62
5.2. Recomendaciones	64
Bibliografía	65
ANEXOS	69
A. Instalación del driver UHD	70
A.1. Configuración de librerías	70
A.2. Configuración del controlador	71
B. Proceso de Conexión y Ejecución	73
B.1. Conexión del equipo USRP N210	73
C. Archivo en python para ejecutar	75
D. Pases de los satélites NOAA	82
D.1. Pases del 30 de Enero 2014 al 06 de Febrero 2014	82
E. Pre Requisitos para instalar GNU Radio	84

ÍNDICE GENERAL

F. Imágenes obtenidas del los satélites NOAA	87
G. CALCULO DE ENLACE	89
G.1. Parámetros del Enlace según [59] [60] [61]	89
G.2. Cálculos del Enlace	89

Índice de figuras

1.1.	Etapas de elaboración del proyecto	4
2.1.	Estación Satelital	8
2.2.	Erupción del volcán Puyuhue Chile [56]	9
2.3.	Imagen de televisión retransmitida el 1 de abril de 1960 [6]	10
2.4.	Satélite NOAA y sus principales sensores [31]	10
2.5.	MCIR map colour IR(NOAA)canales Tres y Cuatro	12
2.6.	Componentes básicos de una estación de satélites	13
2.7.	Rotor YAESU G-5500, sistema de dos rotores por separado, uno de Azimut y uno de Elevación [32]	14
2.8.	Esquema de un receptor	14
2.9.	Programa GQRX [17]	17
2.10.	FUNCube Dongle Dispositivo de Conexión de [18]	18
2.11.	FUNCube Dongle Pro tomado de [18]	18
2.12.	Arquitectura hardware de SDR	20
2.13.	Digital Down Converter. Tomado de [20]	21
2.14.	Digital Up Converter. Tomado de [20]	22
2.15.	Programa GNU Radio Companion	23
3.1.	Terminal de Ubuntu 12.04 LTS aplicación del comando sudo apt-get update	25
3.2.	Ubicación del archivo a descargar	26
3.3.	Arquitectura de hardware USRP. Tomado de [48]	28
3.4.	Panel frontal del equipo N210	29
3.5.	Dispositivo GPSDO	30
3.6.	Opciones de sistema de radiación	32
3.7.	Configuración yagi uda para VHF en 2 metros	33
3.8.	Configuración yagi uda para UHF en 70cm	34
3.9.	Simulación de Antena Yagi uda 2 metros VHF	35
3.10.	Diseño Mecánico de la antena Arrow	36
3.11.	Antena arrow para satélites en VHF	36

ÍNDICE DE FIGURAS

3.12. ROE VHF	37
3.13. Carta de Smith VHF	37
3.14. ROE UHF	38
3.15. Carta de Smith UHF	38
3.16. Diseño de la antena Quadrifilar Helicoidal [58]	40
3.17. Balum infinito para antena QFH	41
3.18. Simulación antena QFH [58]	41
3.19. Diseño mecánico de la antena QFH	42
3.20. Forma física de la antena QFH	42
3.21. Coeficiente de ondas estacionarias de la antena QFH	43
3.22. Carta de smith antena QFH	43
3.23. Espectros de antenas diseñadas	44
3.24. Imagen obtenida con la antena Arrow(yagi para VHF)	45
3.25. Imagen obtenida con la antena QFH	45
3.26. Receptor desarrollado en GNU Radio Companion	46
3.27. Módulo para conectar el USRP	46
3.28. Configuración del módulo para el USRP	47
3.29. Low Pass Filter	47
3.30. WBFM Receive	48
3.31. Etapa de conversión y amplificación de audio	48
4.1. Diagrama de conexión del equipo	50
4.2. Programa Gpredict	51
4.3. Configuración de la estación terrena	52
4.4. Configuración Gpredict	52
4.5. Actualización de los Keplers	53
4.6. Forma de agregar satélites	53
4.7. Icono de compilación GNU Companion	54
4.8. Configuración de la estación terrena Wxtoing	55
4.9. APP de brújula para Iphone	55
4.10. Esquema de funcionamiento del sistema en conjunto	56
4.11. Imagen a color Captada por el satélite NOAA 18 el 14 de Enero de 2014 a las 15:48 Hora de Ecuador	57
4.12. Imagen a color Captada por el NOAA 15 el 13 de Enero de 2014 a las 17:43 hora de Ecuador	58
4.13. Imagen en escala de grises Captada por el NOAA 19 el 13 de Enero de 2014 a las 17:00 hora de Ecuador	59
4.14. Imagen termal en la cual se muestra la temperatura de la ciudad de Loja	60
A.1. Equipo USRP N210	70

ÍNDICE DE FIGURAS

A.2. Instalación librerías UHD	71
A.3. Creación de archivos de configuración	72
A.4. Instalación completa UHD	72
B.1. Hardware de equipo N210	73
B.2. Módulo GPSDO	74
F.1. Imagen satélite NOAA 19 27/03/2014	87
F.2. Imagen satélite NOAA 18 24/03/2014	88

Índice de tablas

2.1.	Tipos de antena para VHF y UHF	16
3.1.	Valores de entrada permitidos en el panel frontal	30
3.2.	Cálculos Obtenidos para la antena arrow VHF	34
3.3.	Cálculos obtenidos para la antena arrow UHF	35
3.4.	Datos para antena QFH	39
3.5.	Resultado de los datos ingresados en la calculadora de QFH	39
3.6.	Datos para antena QFH	40

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación, se emplean herramientas de libre distribución, con el fin de implementar una estación terrena para obtener imágenes satelitales, con nuevas tecnologías tanto en hardware como en software. Para cumplir con este propósito, se ha utilizado un dispositivo SDR(Radio definido por software) como lo es el USRP N210, que usa una interfaz Gigabit ethernet para la comunicación entre este dispositivo y el computador, usando Ubuntu 12.04 (sistema operativo base) ,GNU Radio (Software para diseño del receptor) y WXtoimg(software para la decodificación de las señales de audio y obtención de imágenes).

Para el presente proyecto se ha definido un sistema de radiación el cual recepte, en la banda de 137 MHz de satélites meteorológicos.

PALABRAS CLAVE: GNU Radio, software libre, USRP N210, Satélite meteorológico, Antena Satelital, Recepción de satélites.

ABSTRACT

In the present research, free distribution tools are used in order to implement an earth station for satellite images, with new technologies both in hardware and software. To fulfill this purpose, we used a SDR (software defined radio) device such as the USRP N210, using a Gigabit Ethernet interface for communication between the device and your computer using Ubuntu 12.04 (base operating system) GNU Radio (receiver design software) and wxtoimg (software for decoding the audio signals and imaging).

For this project we have defined a system which radiates the radiation in the band of 137 MHz meteorological satellite.

KEYWORDS: GNU Radio, free software, USRP N210, weather-lite Dish, Satellite Dish, satellite reception.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto surge con el propósito de implementar nuevas tecnologías, en el campo de las telecomunicaciones, con las cuales en lo posterior se pueda desarrollar sistemas de predicción a partir de este proyecto.

En la actualidad existen sistemas meteorológicos los cuales proporcionan datos como: niveles humedad, velocidad del viento, precipitaciones de lluvia, etc, cada uno de estos valores son receptados y tratados al momento de ocurrir el evento. Mediante los satélites meteorológicos es posible obtener estos mismos valores con anticipación, mediante sistemas de predicción.

El proyecto se basa en la recolección, demodulación y decodificación de las señales transmitidas por los satélites meteorológicos de órbita polar, en la banda de 2 m, para lo cual se toma como referencia a los puestos en órbita por la Agencia Federal de Administración Atmosférica y Oceánica Nacional(NOAA).

La programación del Universal Software Radio Peripheral(USRP) N210, se realiza mediante GNU Radio Companion a través de bloques, quienes se encargaran de llevar a cabo los procesos antes ya mencionados, en un sistema operativo de libre distribución como lo es Ubuntu.

En los diferentes capítulos se ha documentado, los pasos a seguir, para lograr una conexión exitosa, incluyendo temas como: la instalación de GNU radio, el diseño del sistema de radiación, la forma de enlazar a ambos sistemas y la decodificación de imágenes satelitales.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una estación terrena para la obtención de imágenes satelitales meteorológicas usando la plataforma USRP.

1.1.2. Objetivos específicos

- Implementar plataforma de radio definido por software para comunicaciones satelitales.
- Desarrollar un sistema de radiación que permite enlazar a satélites meteorológicos con la estación terrena.
- Realizar un manual de instalación, configuración y de la aplicación del sistema de obtención de imágenes satelitales.

1.2. Justificación

En la actualidad se han visto afectadas varias zonas de diferentes países, por fenómenos naturales, cobrando varias vidas humanas, muchos de estos fenómenos como: tsunamis, actividades volcánicas, oleadas de calor o frío, etc, podrían ser detectados con fotografías tomadas desde el espacio, antes de llegar a un punto de concentración civil; permitiendo de esta manera al personal correspondiente, tomar acciones inmediatas, para disminuir de manera considerable el número de decesos, que inevitablemente se puedan dar.

Es por tales motivos que se desarrolla el presente proyecto, demostrando de una manera eficiente, que es posible diseñar y poner en ejecución un sistema de recolección de imágenes, captadas por los satélites meteorológicos que se encuentran en la órbita Low Earth Orbit(LEO).

1.3. Metodología

Para partir con el proyecto se analiza la metodología que se debe seguir para lograr la conexión entre la estación terrena y el satélite, la misma que se ha compuesto de tres etapas:

1. La primera etapa comprende el análisis del proyecto a desarrollar, donde se realiza una recolección de información para la ejecución del proyecto, recopilando datos tales como: los satélites meteorológicos actualmente orbitando en el espacio, específicamente en la región en la que se ubica la estación terrena en este caso Loja - Ecuador , que se encuentren funcionales, la manera de decodificar las imágenes que ellos envían, el sistema de radiación que sea mas recomendable para el presente proyecto, con sus respectivas características y la forma más eficiente de diseñar el software de recepción. Con estos datos de carácter informativo se definirá con qué satélites se va a trabajar y la forma mas eficiente para enlazarse con los mismos.
2. La segunda etapa contiene el desarrollo y programación de los diferentes sistemas de software y hardware respectivamente, el desarrollo del sistema de radiación, basado en los documentos técnicos referentes a este tema, abordando simulaciones, diseño gráfico, diseño estructural, etc; se inicia con este sistema debido a que, lo recomendable en comunicaciones satelitales es diseñar un sistema de radiación, el cual cumpla las características de ganancia, direccionalidad, polarización, movilidad, etc, que sea óptimo para el sistema a desarrollar[1].

También se realiza la instalación del sistema operativo ubuntu[2], sobre el cuál se levanta todos los programas, y drivers necesarios para implementar la estación terrena usando radio definido mediante software.

Con el sistema operativo instalado y realizadas las actualizaciones de software requeridas por el mismo, se procede a la instalación de GNU Radio[3], y GNU Radio Companion[4], los cuales servirán como plataformas para las simulaciones, y pruebas, tanto del sistema de radiación como del sistema de recepción

3. La tercera etapa está enfocada a documentar conclusiones y recomendaciones como resultado de varias pruebas efectuadas, con los sistemas en perfecto funcionamiento, cubriendo de esta forma cada uno de los objetivos propuestos.

La metodología a seguir en el proyecto se resume en la figura 1.1.

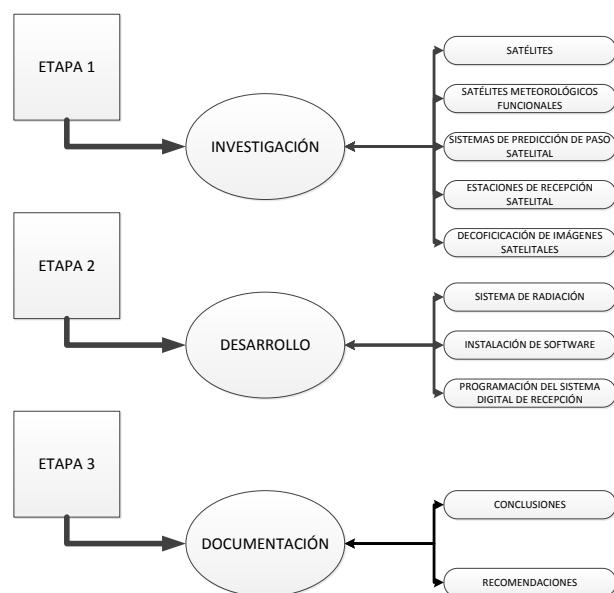


Figura 1.1: Etapas de elaboración del proyecto

ESTADO DEL ARTE

2

ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción

Son varias décadas que han transcurrido desde el diseño, planificación y lanzamiento del primer satélite sin embargo, "la humanidad mira hacia atrás y lo único que recuerda es el aterrizaje del Apolo en 1969"; así lo asegura el sitio oficial de la NASA en Internet en su reseña histórica sobre los satélites.¹

No obstante las comunicaciones por satélite inician con Arthur C. Clark y su propuesta para comunicaciones satelitales con satélites geoestacionarios, artículo publicado en la revista Wireless World 1945², la cual no fue tomada con tanta importancia hasta 20 años después que se hizo realidad con el lanzamiento del Intelsat I (Early Bird)³ como primer satélite comercial.

Tras el lanzamiento del Sputnik I en 1957, se abre un nuevo mundo para las comunicaciones, más tarde en 1962 fue puesto en órbita por los Estados Unidos el Telstar 1 creando el primer enlace televisivo internacional [5], desde ese entonces han ido creciendo y fortaleciéndose hasta llegar a la actualidad, en la cual contamos con dispositivos de bolsillo que se enlazan con satélites, GPS, televisión satelital, rastreo satelital, y una variedad de productos que nos brinda esta tecnología.

2.2. Satélite artificial

Un satélite artificial es cualquier vehículo destinado a girar entorno a un planeta, especialmente la tierra, que se coloca en órbita mediante un cohete polietápico(de varias etapas) o desde cualquier otro vehículo espacial [25], los satélites artificiales y las sondas de exploración del espacio extraterrestre se pudieron construir al desarrollarse los cohetes de gran potencia, creados en primera instancia como armas de destrucción y que ahora se emplean como vehículos para su lanzamiento, ubicandolos en una determinada órbita [26].

¹<http://history.nasa.gov/satcomhistory.html>

²<http://lakdiva.org/clarke/1945ww/>

³http://es.wikipedia.org/wiki/Intelsat_I

2.2.1. Tipos de órbitas

- **Leoestacionarias** Órbitas circulares, a unos 200 ó 300 km de altitud. Se alcanzan más fácilmente y por tanto son utilizadas de forma frecuente para los vuelos tripulados, satélites científicos, satélites espías (necesitan estar cerca de la Tierra para conseguir una máxima resolución fotográfica), etc [26].
- **Polar** Poseen una inclinación de unos 90 grados (pasa sobre los polos), suelen ser circulares y está situada a unos 800 km de altitud. Es perfecta para observar toda la superficie terrestre de una forma repetitiva. Sin embargo, dado que la Tierra gira sobre su eje, ocurrirá que sucesivos pasos sobre un mismo punto podrán efectuarse bajo diferentes grados de iluminación solar, es por eso que algunas misiones utilizan la llamada órbita polar heliosíncrona, es decir, sincronizada con el Sol [26].
- **Geoestacionarias** También circular, es ecuatorial y se encuentra a unos 36.000 km de altitud. Desde ella, un satélite tarda 24 horas en dar una vuelta a la Tierra, de modo que queda sincronizado con un punto situado sobre el Ecuador. Las órbitas geoestacionarias son útiles sobre todo para los países cercanos al Ecuador. La cobertura es más deficiente si nos acercamos a los polos, debido a la curvatura terrestre [26].
- **De alta excentricidad o molniya** Un giro completo dura 12 horas, de modo que el ciclo se repite dos veces al día. Con varios satélites espaciados se puede mantener una cobertura constante. Situadas en inclinaciones grandes, el satélite alcanza un apogeo más allá de los 40.000 km, mientras que el perigeo queda tan sólo a unos 500 km[26].

2.3. Tipos de satélites

Un satélite se lo clasifica de acuerdo a la misión para la que ha sido diseñado, lo cual conlleva a los expertos a analizar a qué altura se debe ubicar el mismo [29]. Hoy en día existen todo tipo de satélites, satélites científicos, de comunicación, meteorológicos, de navegación, de tele detección, militares, etc, para los cuales es necesaria una estación terrena tanto de transmisión como de recepción, como se indica en la figura 2.1.

2.3.1. Tipos de satélites por su aplicación

- **Satélites científicos** Son aquellos creados para observación terrestre como los campos de radiación de la tierra(cinturones de Vann Allen), observación solar, investigación de fuentes estelares, visión en el espectro infrarrojo o ultravioleta, posiciones y brillos de estrellas o incluso experimentación microgravitatoria, que miden los efectos de la falta de gravedad sobre la materia y la vida [29].
- **Satélites de comunicaciones** Mediante este tipo de satélites es posible la televisión de alta definición, el acceso a Internet, las teleconferencias o la difusión directa de televisión/radio (utilizando

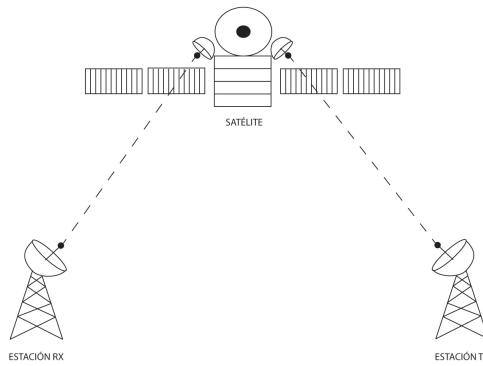


Figura 2.1: Estación Satelital

sencillos receptores y antenas parabólicas), Incluso existen satélites de comunicaciones para el uso exclusivo de radioaficionados, con finalidad de experimentación, tal es el caso del AO-51 [29]

- **Satélites meteorológicos** Son satélites científicos especializados que mediante comunicaciones con antenas de seguimiento o estáticas-omnidireccionales, toma de datos y envío de fotografías electrónicas, nos ayudan en nuestra propia seguridad tanto económica como social [29]. Contemplando objetivos como:
 - Comprensión física y dinámica de la atmósfera
 - El comportamiento de masas nubosas o el movimiento del aire frío o caliente
 - Conocimientos de la temperatura de la atmósfera a cada nivel altimétrico, la presión, la distribución de agua, etc.
- **Satélites de navegación** Se utilizan como sistemas de posicionamiento global (GPS), utilizando frecuencias bajas y medias abiertas al público. Este tipo de sistemas de localización es posible desde la utilización de tan sólo tres satélites en órbita geoestacionaria hasta un número mayor de ellos en órbita LEO formando una constelación de satélites [29].
- **Estaciones militares** Son programas paralelos a los satélites de comunicaciones, meteorológicos o de teledetección. Sirven de apoyo militar en ciertos países, en posiciones geoestacionarias detectan el calor de la salida de los gases producidos por los motores de un misil dando tiempo a una posible respuesta [29].

2.4. Satélites meteorológicos

Es un tipo de satélite artificial que se usa principalmente para supervisar la atmósfera y el clima de la tierra, sin embargo sus aplicaciones pueden llegar a ver luces de la ciudad, cambios en las corrientes oceánicas, tormentas de polvo, etc [53].

Algunos satélites han obtenido imágenes de los volcanes en actividad, incendios; incluso lograr identificar muchos de los cambios que se producen en la tierra, que pueden ser observados desde el espacio; tal es el caso de la figura 2.2 donde se muestra la erupción del volcán Puyuhue en chile, y hacia donde se dirige la nube de emisión del mismo.

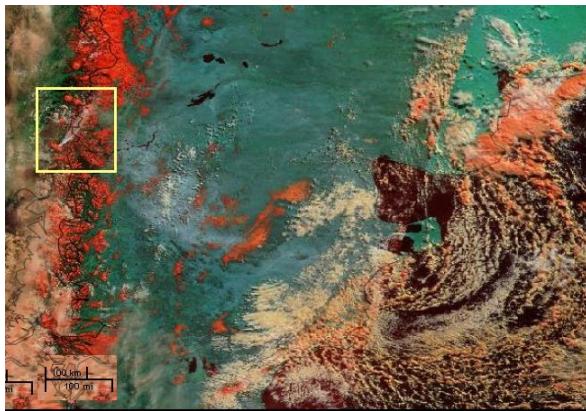


Figura 2.2: Erupción del volcán Puyuhue Chile [56]

2.4.1. Satélites Meteorológicos Geoestacionarios

Los satélites meteorológicos geoestacionarios son usados por EUMETSAT (Meteosat), EE.UU. (GOES), Japón (MTSAT), China (Fengyun-2), Rusia (GOMS) y la India (KALPANA). Orbitan en el plano ecuatorial de la tierra. Cada satélite ve siempre la misma porción del globo (42 % de la superficie de la tierra). Para conseguir la cobertura global se necesita una red de 5 ó 6 satélites. Sin embargo, estos satélites no pueden ver los Polos [53].

2.4.2. Satélites Meteorológicos de Órbita Polar

Los satélites meteorológicos de órbita polar son explotados por los EE.UU. (NOAA, QuikSCAT), Rusia (Meteor) y China (Fengyun-1). Con un solo satélite se obtiene la cobertura global [53].

2.4.2.1. Satélites NOAA

El análisis meteorológico de la superficie terrestre usando satélites inicio con Tiros I [6], primer satélite meteorológico con éxito, en el año de 1960, este satélite puesto en órbita por Estados Unidos, emitió una primera imagen de nubes sobre dicho país, cambiando para siempre las predicciones meteorológicas. Una de las imágenes que emitió este satélite se muestra en la figura 2.3.

Además de este primer satélite que duro tan solo 78 días en órbita [7], la NASA en conjunto con la Administración para Asuntos Oceánicos y Atmosféricos del departamento de comercio(NOAA)¹, puso en órbita otros satélites del proyecto Tiros, cuando se lanzaron satélites Tiros N más avanzados, se cambio el nombre de la nave espacial a satélite operacional de órbita polar del medio ambiente(POES), seguidos por

¹<http://www.noaa.gov/>



Figura 2.3: Imagen de televisión retransmitida el 1 de abril de 1960 [6]

más sofisticados los Nimbus, llegando así a los satélites polares NOAA, estos ayudan a tener predicciones más exactas sobre los cambios climáticos gracias a su sofisticada tecnología y sus sensores de alta fidelidad, sus principales sensores se los puede apreciar en la figura 2.4, de estos últimos satélites es de los cuales se basara el presente proyecto.

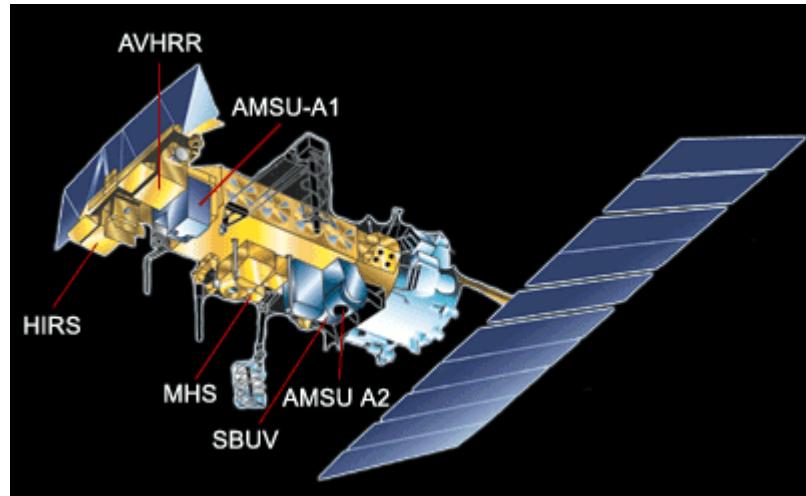


Figura 2.4: Satélite NOAA y sus principales sensores [31]

NOAA y NASA trabajan en la nueva generación de satélites GOES-R que están planificados para ser lanzados en el año 2015, de los cuales se obtendrá cuatro veces mayor claridad y una gama de información mucho más amplia [7].

La era de satélites anunciada por Intelsat¹, Eutelsat² y Arabasat³, fue continuada por grandes compañías, invirtiendo capital en los mejores satélites, como consiguiente se dio paso a la radiodifusión, pero en sus inicios esto era posible únicamente para el ciudadano medio por el costo que abarcaría la construcción de los sistemas de recepción, esto a ido variando con el tiempo gracias al avance tecnológico en sistemas como los transistores, semiconductores y circuitos integrados [7].

De esta forma también se dio paso a la posibilidad de recibir señales de forma analógica y transformarla a digital para ser procesada por software obteniendo sistemas más eficientes haciendo posible la decodificación de imágenes emitidas por los satélites y una serie de nuevas perspectivas que la era satelital traería consigo.

La familia de satélites NOAA tienen como objetivo proveer información meteorológica. Su sensor denominado AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) registra energía en el rojo, infrarrojo cercano, medio y térmico [54].

Por otra parte, normalmente operan dos satélites NOAA con órbitas complementarias. Así, los NOAA con numeración par obtienen imágenes del día cuando el satélite no está eclipsado por la tierra y los de numeración impar cuando el satélite se encuentra eclipsado por la tierra.

El satélite NOAA-19 es el último de una serie de cinco satélites llamados POES (Polar Operational Environmental Satellites). Sin embargo, posee notables mejoras respecto a sus antecesores. Su tarea consiste en enviar datos meteorológicos a la Tierra (incluyendo imágenes y lecturas de temperatura), desde su órbita baja polar, y también intervenir en emergencias para el programa SARSAT/COSPAS, gracias a su repetidor de comunicaciones, que puede detectar el disparo de balizas de socorro.

2.4.2.2. Formato APT de los NOAA

La transmisión de los satélites de la NOAA, en el modo analógico de baja resolución APT(Automatic Picture Transmission) se compone de dos medias líneas, cada una con un contenido informativo diferente (canales A y B), cada uno de los cuales tiene su propia sincronización. 7 pulsos de 1040 Hz. para el canal A y, 7 pulsos de 832 Hz. para el canal B. Las dos medias líneas corresponden a diferentes regiones del espectro. La frecuencia con la que se transmiten las líneas es de 120 por minuto [30], es decir, de 2 líneas por segundo o de 1 línea cada medio segundo, discretizada la señal se convierte en una imagen B/N de 8 bits por píxel.

Los satélites de la NOAA llevan entre otros instrumentos un radiómetro de barrido (AVHRR) que recibe en 5 canales simultáneamente. La imagen completa y con plena resolución de estas, se trasmite en

¹<http://www.intelsat.com/>

²<http://www.eutelsat.com/en/home.html>

³<http://www.arabsat.com/pages/Default.aspx>

modo digital y en el formato de alta resolución (HRPT) en 1.7 Ghz. Para el modo analógico en 137 Mhz. se seleccionan 2 de los 5 canales, y se retransmiten rebajados en resolución y uno a continuación del otro denominado multiplexación en el tiempo [30]. Los canales del radiómetro son:

- **Canal 1:0.58 a 0.68 micrómetros** Corresponde a la luz visible [33].
- **Canal 2:0.725 a 1.1 micrómetros** Corresponde al rojo visible y cercano infrarrojo [33].
- **Canal 3: 3.55 a 3.93 micrómetros** Corresponde al infrarrojo medio [33].
- **Canal 4: 10.3 a 11.3 micrómetros** Corresponde al lejano infrarrojo [33].
- **Canal 5: 11.5 a 12.5 micrómetros** Corresponde al lejano infrarrojo [33].

Un ejemplo de los canales 3 y 4 trabajando en conjunto los podemos apreciar en la figura 2.5

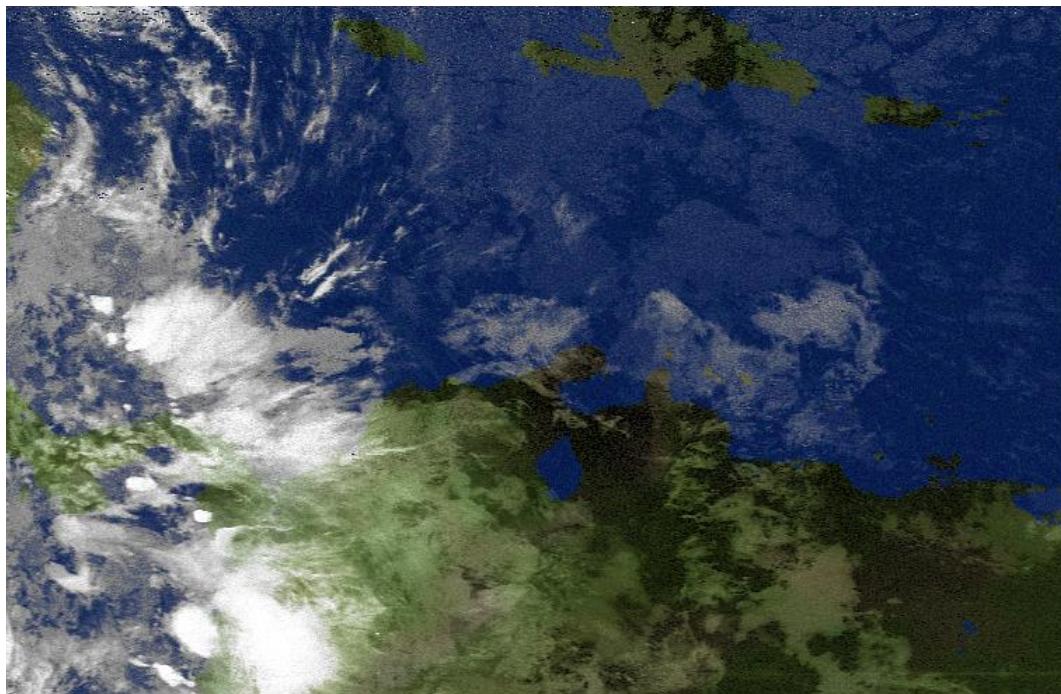


Figura 2.5: MCIR map colour IR(NOAA)canales Tres y Cuatro

Los canales 1 y 2(disponibles únicamente durante la fase de prueba en formato APT después del lanzamiento del satélite) son sensibles a la radiación solar(conjunto de radiaciones emitidas por el sol, a una temperatura media de 6.000 ° C), y por tanto recogen la luz solar reflejada por la Tierra. Son útiles para observar las nubes, los contornos de costa, la nieve en las cumbres, etc. Los canales 4 y 5, en cambio, son sensibles a la radiación terrestre(conjunto de radiaciones emitidas por la tierra, a una temperatura media superficial de 15 ° C). Por eso estos canales son útiles para la evaluación de temperaturas (por ejemplo, del mar) y para la observación de nubes especialmente de noche. El canal 3 es sensible a temperaturas terrestres muy altas como pueden ser erupciones de volcanes, llamaradas, emisiones de calor de industrias,

etc. Normalmente los canales 2-VIS(Imagen visible) reflejando las nubes más grandes, espesas y formadas por gotas de agua, y 4-IR(infrarrojo), estos dos canales son los denominados A y B del APT, durante el día, mientras que los canales 3 IR medio(infrarrojo medio) y 4 son los que se retransmiten durante la noche [30].

Las imágenes de los satélites de órbita polar no tienen comienzo ni final porque el satélite está transmitiendo siempre. Sin embargo, el principio de cada línea se marca con un corto de modulación [33].

2.5. Estación terrestre

Los componentes básicos de una estación terrestre para obtener imágenes emitidas por satélites meteorológicos de órbita polar son: ordenador, equipos de radio (receptor) y antenas [27], este esquema básico puede ser apreciado en la figura 2.6.



Figura 2.6: Componentes básicos de una estación de satélites

2.5.1. Sistemas de seguimiento

Dado que los satélites digitales actualmente disponibles se encuentran en órbitas bajas, no se necesitan antenas de elevada ganancia, aunque si para asegurar una buena relación señal ruido en el enlace con el satélite. El uso de antenas de ganancia media hace que estas sean "direccionales" (la ganancia máxima se da cuando están orientadas al satélite) por lo que resulta necesario pero no indispensable un sistema de dos motores (rotor de azimut -giro horizontal- y rotor de elevación -giro vertical-) para apuntarlas al satélite [27], uno de los dispositivos que se encarga de realizar este trabajo se lo puede apreciar en la figura 2.7.

El desplazamiento del satélite con respecto a la estación terrestre hace que resulte necesario controlar los motores para que las antenas sigan trayectoria de este en el espacio y da lugar a una variación de la frecuencia de recepción por el efecto doppler. Se han desarrollado sistemas de control computarizado que orientan las antenas y corren la frecuencia de los equipos receptores y que genéricamente se llaman dispositivos o sistemas de seguimiento (tracking) [27].



Figura 2.7: Rotor YAESU G-5500, sistema de dos rotores por separado, uno de Azimut y uno de Elevación [32]

2.5.2. Sistemas de Recepción

La función del receptor en un sistema de comunicaciones se puede resumir en seleccionar, amplificar y demodular la señal deseada, separandola en lo posible del resto de las señales y del ruido que la acompaña, en la figura 2.8 se aprecia un esquema básico de las funciones típicas de un receptor [55]

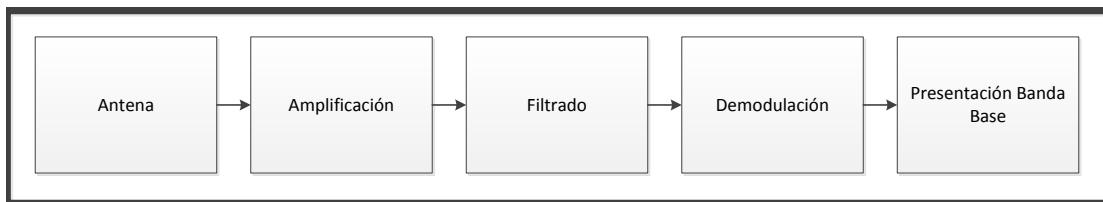


Figura 2.8: Esquema de un receptor

En este sentido, las especificaciones del receptor se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- **Sensibilidad** Capacidad del receptor de recibir señales débiles [55]
- **Selectividad** Capacidad del receptor de rechazar las señales radioeléctricas no deseadas, próximas a la frecuencia deseada [55]
- **Fidelidad** Capacidad del receptor de reproducir las características de la modulación de la señal recibida con un nivel de distorsión no superior al especificado [55]

El satélite transmite información en formato APT y HRPT directamente a tierra en la banda de VHF. La señal de RF es captada por la antena de la estación receptora mientras dura el pase del satélite (aproximadamente 15 minutos).

Las estaciones de recepción para estos satélites, reciben y procesan en tiempo real, las imágenes transmitidas por el APT o HRPT de los satélites de órbita polar TIROS/NOAA a una determinada frecuencia, tomando en cuenta como una de las partes más importantes la polarización, que es una característica de las ondas electromagnéticas las cuales se transmiten a través de determinados medios [8].

El sistema de recepción satelital esta elaborado de acuerdo a la potencia de la señal que va a recibir y el posicionamiento orbital del satélite, existen varios tipos de satélites y diferentes altitudes orbitales, de estas altitudes depende la potencia de recepción.

En el presente proyecto nos enfocaremos en los satélites de órbita baja, los NOAA quienes a diferencia de los anteriormente mencionados se encuentran en una órbita polar a una altura mayor a 800 km [12][11].

En la parte de recepción no es necesario un sistema especialmente sofisticado, aunque el sistema receptor puede mejorar notablemente si se utiliza un pre-amplificador en recepción [27].

Los equipos pre amplificadores son usados en una estación terrena, estas estaciones pueden ser usadas para recibir y transmitir señales al mismo tiempo pero en determinados casos pueden tan solo recibir o únicamente transmitir de acuerdo para lo que fueron creadas [9], en el proyecto actual se va a usar únicamente el sistema de recepción.

2.5.3. Tipos de receptores

Existen diferentes tipos de receptores de los cuales los más usados se refieren al: tipo de servicio, forma de sintonía, tipo de señal que reciben, forma de modulación, y forma de separar las señales de las interferencias.

Por la forma de amplificar y seleccionar la señal deseada se clasifican en: receptor homodino, receptor super heterodino, y receptores que utilizan más de una conversión de frecuencia frecuencia [55]

2.6. Sistema de radiación

2.6.1. Sistemas de radiación para la banda de Very High Frequency (VHF)

Son varias décadas que se ha trabajado con esta banda y a través de las mismas se ha desarrollado varios tipos de antenas tales como: antena quadrifilar, yagui, circular, tipo panel, etc, cada una de ellas con diferentes resultados.

Las antenas de VHF también se pueden clasificar en cuatro categorías dependiendo de parámetros como lo muestra la siguiente tabla.2.1.

ELEMENTO DE CORRIENTE	ONDA PROGRESIVA	REDES	ABERTURA
Monopolar	De fuente lineal	De radiación transversal	De reflector
Dipolar	De alambre largo	De radiación longitudinal	De bocina
De cuadro	Rómbica	Lineal	De lente
De rendija radiante	De guía de ondas ranurada	Planar	De radiación de retrocesos
Bicónica	Espiral	Circular	Varilla dieléctrica corta
De ranura	Helicoidal	Conforme	Bocina Parabólica
Esférico	Periódica Logarítmica	Periódica Logarítmica	
De reflector Parabólico	De ondas lentas	De procesamiento de señales	
De microcinta	De ondas rápidas		
	De ondas dispersas		
	De ondas superficiales		
	De varilla dieléctrica larga		

Tabla 2.1: Tipos de antena para VHF y UHF

Las antenas que han venido usando los radioaficionados para trabajar en UHF y VHF son las tipo array de 3 elementos en VHF y 7 elementos en UHF, también conocida como antena arrow, usan esta antena por su buena ganancia a pesar del número de elementos, es ligera, y su construcción no es complicada. Sus elementos en VHF están montados en un plano y los elementos en UHF se encuentran a 90° del mismo, su sistema de alimentación es de tipo gamma match. Se usa un medidor para ajustar el ROE a 145.9 MHz y a 436.5 MHz para VHF y UHF respectivamente como frecuencias centrales para satélites de radioaficionados, una vez ajustado el gamma match correctamente se coloca el duplexor bibanda y la antena se encuentra lista para trabajar.

2.6.2. Antenas para recepción meteorológica

En 137 MHz se encuentran señales de satélites meteorológicos [15], sobre los que se va a trabajar y para los cuales existen varias antenas creadas para esta frecuencia tales como:

- CJU para satélites¹
- arrow para satélites²
- ioio para satélite³
- eggbeater para satélite⁴
- slim jim para satélite⁵
- J pole para satélite⁶
- QHF para satélite⁷

¹<http://www.paginasprodigy.com.mx/GSARE/proyectos/antena%20cjju.pdf>

²<http://www.paginasprodigy.com.mx/GSARE/proyectos/antena%20arrow.pdf>

³<http://www.paginasprodigy.com.mx/GSARE/proyectos/antena%20ioio.pdf>

⁴<http://www.paginasprodigy.com.mx/GSARE/proyectos/eggbeater.pdf>

⁵<http://www.paginasprodigy.com.mx/GSARE/proyectos/antena%20slimjim.pdf>

⁶<http://www.paginasprodigy.com.mx/GSARE/proyectos/jpole.pdf>

⁷<http://www.wxtoimg.com/hardware/QFH-LU2HAM.pdf>

2.7. Receptor de radio definido por software (GQRX)

GQRX es un software receptor de radio impulsado por la GNU Radio y Qt toolkit, puede procesar datos análogos y digitales de muchos tipos de dispositivos de entrada como: FUNcube Dongle Pro, rtl-sdr, Hackrf, y Universal software radio(USRP), es de libre distribución y cuenta con código fuente en la licencia pública para ser modificado de acuerdo a las necesidades del usuario, la última versión estable de GQRX es 2.2 la cual está disponible para ser descargada en la red [16].

GQRX se basa gran parte en GNU Radio usando dos bloques DSP, donde, para describir un diagrama de flujo cada uno de ellos esta conectado entre sí como un diagrama de circuito, el programa GQRX se lo puede apreciar en la figura.2.9.

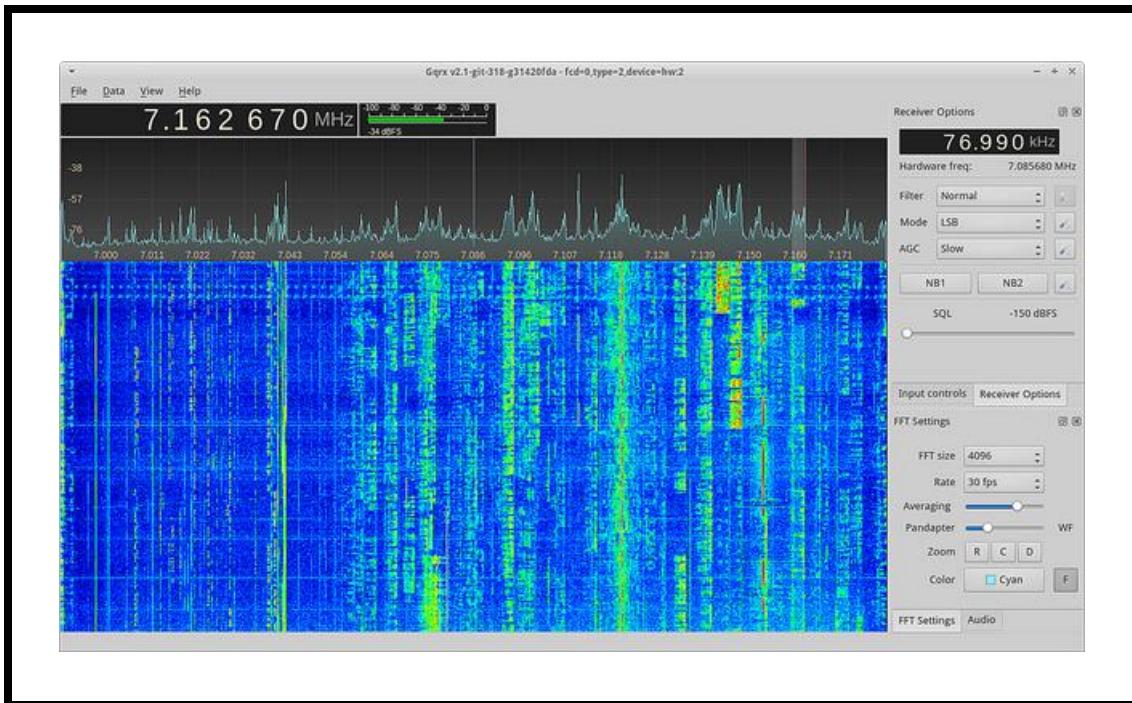


Figura 2.9: Programa GQRX [17]

En el programa de GQRX, el núcleo de la cadena de procesamiento es un bloque jerárquico llamado receptor específico de amplificación, del cual en la actualidad existen dos receptores, uno de banda estrecha usado para AM,FM y recepción de SSB, y otro usado para la recepción de radio en FM que por lo general va de los 88 a 108 Mhz.

2.7.1. Proyectos desarrollados con GQRX

2.7.1.1. FUNcube Dongle y GQRX

Es un proyecto para recepción, grabación y decodificación de imágenes de los satélites NOAA, desarrollado en cuatro etapas el cual se conecta a través del puerto usb como se aprecia en la figura 2.10.

1. Recepción y grabación



Figura 2.10: FUNcube Dongle Dispositivo de Conexión de [18]

2. Conversión del audio grabado
3. Decodificación del audio en imagen
4. Análisis de los resultados

Donde el FUNcube Dongle 2.10 es un pequeño receptor de radio definido por software que va de 64 Mhz a 1.7 Ghz, se ajusta al puerto USB y usa audio USB para transferir datos complejos I/Q para aplicaciones SDR, no requiere controladores de hardware específicos ya que usa el estándar HID USB, siempre y cuando el ordenador sea compatible con este estándar.

Este pequeño dispositivo en interacción con GQRX y un sistema de radiación, son capaces de decodificar imágenes siguiendo los pasos anteriormente mencionados las cuales son emitidas por el satélite NOAA 18, como lo demuestra la figura 2.11, la cual es una imagen procesada a través de este sistema.

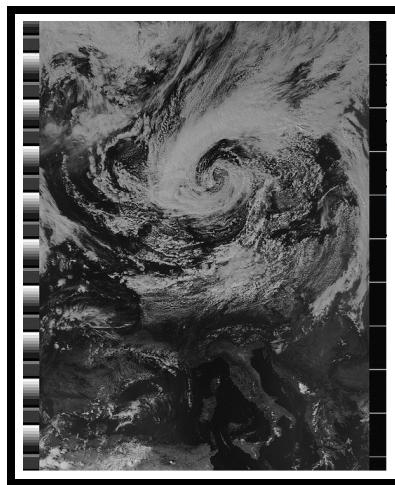


Figura 2.11: FUNcube Dongle Pro tomado de [18]

Existen también pruebas realizadas con otros dispositivos de entrada y este software como es el caso de rtl-sdr¹, el uso de SDR², etc.

¹<http://www.oz9aec.net/index.php/gnu-radio/gnu-radio-blog/477-noaa-apt-reception-with-gqrx-and-rtlsdr>
²<http://www.oz9aec.net/index.php/gnu-radio/gqrx-sdr>

2.8. Radio definido por software (SDR)

Es un sistema donde los componentes implementados mediante hardware como filtros amplificadores, demoduladores, detectores ,etc han sido implementados en software ocupando un computador personal y varios programas embebidos esto ha sido posible mediante la evolución de los circuitos digitales, haciendo posibles los procesos que antes solo podrían ser teóricos más no experimentales, a largo plazo, se prevé que los radios definidos por software se conviertan en la tecnología dominante en radiocomunicaciones [19].

En la actualidad se dispone también de modems de proceso digital de señales (DSP). La ventaja de los DSP es que se pueden programar para trabajar con diferentes especificaciones (velocidad, modulación, etc), de esta manera aquí también se incluye el USRP [27].

2.8.1. Definición y Aspectos Fundamentales de SDR

Los desarrollos en radios inteligentes y adaptativos se han enmarcado a lo que hoy es un Radio Definido por Software, el cual es definido, según el Wireless Innovation Forum¹, de la siguiente manera:

“Radio en el cual algunas o todas las funciones de la capa física son definidas mediante software”.

SDR es una tecnología creada para mejorar la interoperabilidad entre diferentes servicios; está compuesta de software y hardware, y puede ser reconfigurada dinámicamente para habilitar comunicaciones entre una amplia variedad de normas de comunicaciones, protocolos y radio enlaces [20]. SDR permite crear dispositivos inalámbricos y equipo de redes multibanda y multifuncionales, que pueden ser dinámicamente reconfigurados, o a través de actualizaciones de software y reconfiguraciones de hardware.

2.8.2. Arquitectura de Hardware SDR

La arquitectura de transmisores basados en software consiste en un subsistema digital y un subsistema analógico. Las funciones analógicas son restringidas a aquellas que no pueden ser mejoradas digitalmente, que son: antena, filtrado RF, combinación RF, preamplificación en recepción, transmisión de potencia de amplificación y generación de frecuencia de referencia [21]. A continuación se enumeran las partes que conforman un transceiver de radio basado en software:

2.8.2.1. Front End de RF

Este bloque cuenta con dispositivos electrónicos de estado sólido que adaptan el nivel de las señales de entrada para que sea adecuado en las siguientes etapas del SDR. Por ejemplo en el caso de la telefonía celular GSM las señales se procesan a la frecuencia de transmisión/recepción del orden de 1 GHz [22].

¹<http://www.wirelessinnovation.org/>

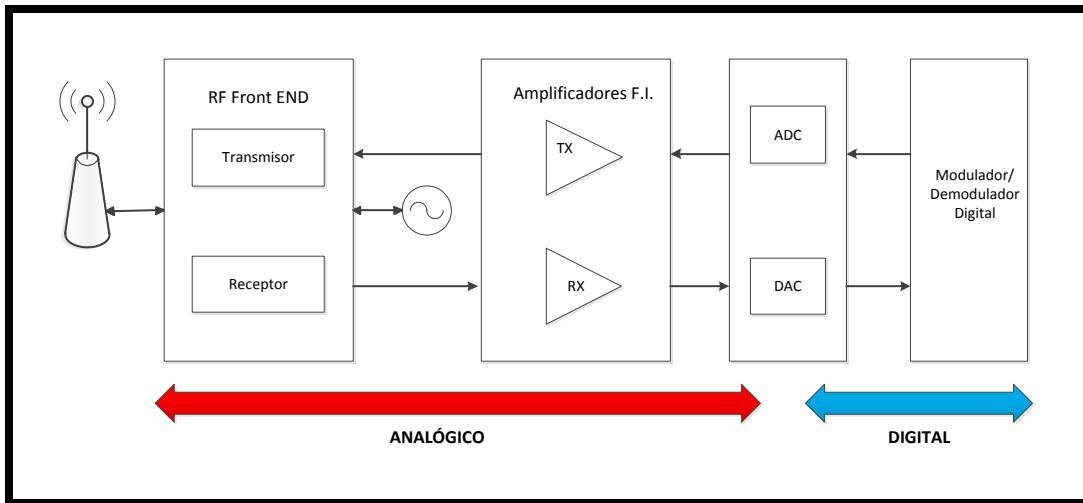


Figura 2.12: Arquitectura hardware de SDR

En el transmisor, se produce una amplificación de la señal entregada por las etapas de procesamiento hasta el nivel de potencia suficiente para su transmisión por el medio físico.

2.8.2.2. Oscilador Local

Genera las frecuencias apropiadas para convertir la frecuencia de RF en la frecuencia intermedia FI, mediante una mezcla no lineal que produce frecuencias de suma y resta. Se selecciona la frecuencia deseada mediante filtros analógicos para su amplificación en los amplificadores de frecuencia intermedia correspondientes, algunos llaman a este bloque Mezclador/Convertidor.

2.8.2.3. Bloque de Frecuencia Intermedia

En este bloque de FI se realiza la selectividad y ganancia del receptor, la FI siempre tiene menor frecuencia que la RF debido a que es más fácil y menos costoso fabricar amplificadores estables para señales de baja frecuencia [23]. Por razones similares, también se procesa la señal para la transmisión a una frecuencia inferior para luego convertirla al valor final y amplificarla hasta el nivel permitido en la antena.

2.8.2.4. Conversión AD/DA

Tomando en cuenta que la transmisión por el medio físico se realiza mediante señales analógicas, pero el procesamiento en el Transceiver es de índole digital, se hace imprescindible realizar una conversión analógica/digital en el receptor y digital/análogica en el transmisor. A continuación se describen las partes más importantes de este bloque:

- **ADC:** El convertidor analógico digital (ADC) es un dispositivo que es capaz de ofrecer un valor binario de salida a partir de una entrada analógica de voltaje. El dispositivo que realiza el proceso contrario es el convertidor digital analógico (DAC). Esta definición involucra los siguientes procesos:

- Muestreo: Consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de la señal analógica. La velocidad en que se toman las muestras se llama frecuencia de muestreo.
- Cuantificación: Mide el nivel de voltaje de cada muestra y le asigna un valor numérico de salida. Cuando no coincide el valor de salida con el de entrada, se dice que existe ruido de cuantificación.
- Codificación: La codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación en código binario.
- **DDC:** El conversor Digital Down Converter se encarga de convertir una señal digital de FI en una señal de banda base. La figura 2.13 ilustra su composición:

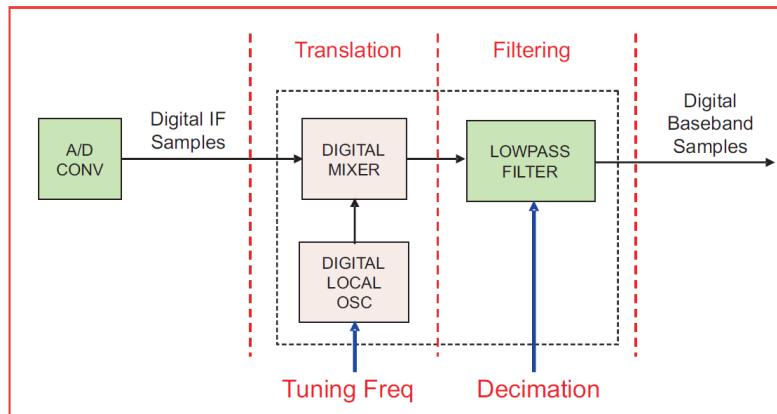


Figura 2.13: Digital Down Converter. Tomado de [20]

El DDC se compone de un mezclador digital, un oscilador local digital y un filtro digital pasabajos. El mezclador y el oscilador trasladan las muestras digitales de FI en banda base. El filtro limita el ancho de banda de la señal realizando la función de decimación de muestras a un rango menor de muestreo.

- **DUC:** Digital Up converter es un conversor que traslada la señal de banda base en frecuencia digital intermedia IF. Esta señal es transformada en FI analógica por el convertidor digital analógico (DAC) y esta señal es a su vez convertida en señal RF por el transmisor. El DUC se compone como muestra la figura 2.14.

El mezclador y el oscilador local trasladan las muestras de banda base a frecuencia FI. El filtro de interpolación resuelve la diferencia entre la frecuencia de muestreo del oscilador y la frecuencia de entrada de la señal en banda base.

2.8.2.5. Modulador/Demodulador

Estas funciones son actualmente muy complejas y totalmente digitales. Generalmente son realizadas por Procesadores de Propósito General GPP, pero para que las tareas de Modulación/Demodulación puedan ser fácilmente programables se utilizan procesadores como DSPs (Digital Signal Processors) o

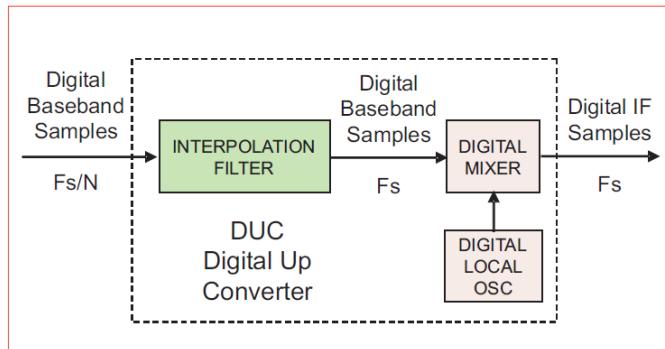


Figura 2.14: Digital Up Converter. Tomado de [20]

FPGAs (Field Programmable Gate Arrays).

Los parámetros que se modifican para que la onda transmita información útil son típicamente la frecuencia o la fase/amplitud de la señal, utilizando modulaciones de múltiples niveles denominadas “en cuadratura” [23] mQAM, mPSK, etc.

2.9. GNU RADIO

Es un software abierto de libre distribución, el cual provee bloques de procesamiento de señal, para implementar sistemas de radio mediante software, esta herramienta es usada ampliamente en estudios académicos, comerciales o aficionados, debido a que puede ser usado en un ambiente real o de simulación [3].

GNU radio también se puede definir como un conjunto de archivos necesarios para el procesamiento de señales de radio, sobre el sistema operativo Linux el cual debe estar previamente instalado, los tipos de datos más usados en este software son: short, float y complex [34].

2.9.1. GNU Radio Companion

GNU Radio Companion ofrece programación mediante bloques, en los cuales pueden ser definidas variables, filtros, bloques de conexión con dispositivos de entrada/salida como el USRP y los parlantes entre otros; su interfaz se la muestra en la figura 2.15

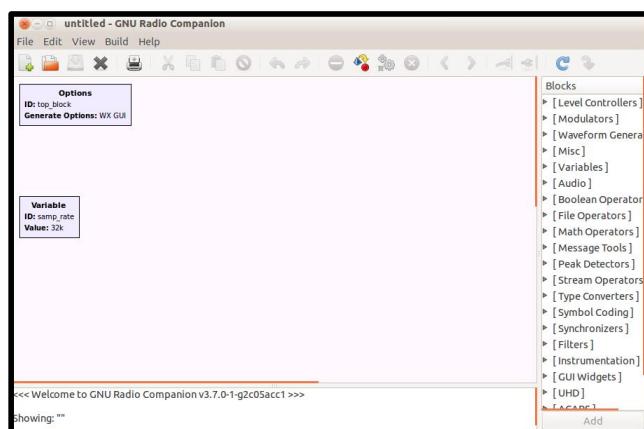


Figura 2.15: Programa GNU Radio Companion

MATERIALES Y MÉTODOS

3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. GNU RADIO

3.1.1. Instalación de Pre-requisitos para GNU Radio

La instalación correcta de los pre-requisitos, es de vital importancia, ya que si uno de estos procesos es errado al momento de su instalación, lo más probable es que nuestro sistema falle, volviéndose un gran pérdida de tiempo tratar de corregirlo, por lo tanto se recomienda lograr instalar por completo estos archivos para finalmente instalar GNU Radio.

Una vez instalado el sistema operativo, es recomendable realizar update y un upgrade, para asegurar que el sistema este completamente actualizado y con todos sus componentes instalados; esto se realiza en un terminal dentro de Ubuntu como se ve en la figura 3.1.

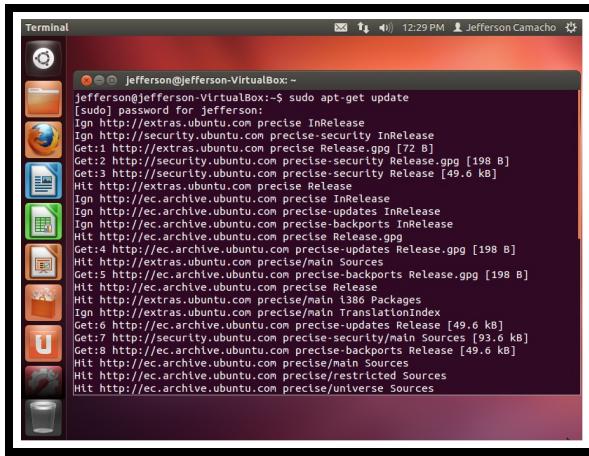


Figura 3.1: Terminal de Ubuntu 12.04 LTS aplicación del comando **sudo apt-get update**

Con comandos como **sudo apt-get** se procede con la instalación de los pre-requisitos los cuales servirán para poner en funcionamiento GNU-Radio, GNU-Companio y el USRP N210.

Los programas y su respectivo comando de instalación los podemos encontrar en el Anexo E.

En caso de dar problemas en alguno de los archivos a instalar por no tener otras librerías o archivos, se debe instalar las librerías faltantes las cuales serán mostradas al momento de dar el error, luego de esto continuamos con la instalación.

3.2. Instalación de GNU Radio

La instalación de este sistema es muy importante para el desarrollo del proyecto, tomando en cuenta la instalación completa de cada uno de los pre-requisitos necesarios para su instalación. En esta guía se explicara paso a paso como realizar una correcta instalación en el sistema operativo Ubuntu 12.04 LTS de la manera más sencilla y básica posible.

1. Ingresamos a GNU Radio¹
2. Se procede a descargar el archivo build-gnuradio el cual se ubica como se muestra en la figura 3.2; se lo descarga haciendo click sobre buil-gnuradio y guardando el contenido de la pestaña que se abre como un documento de texto.

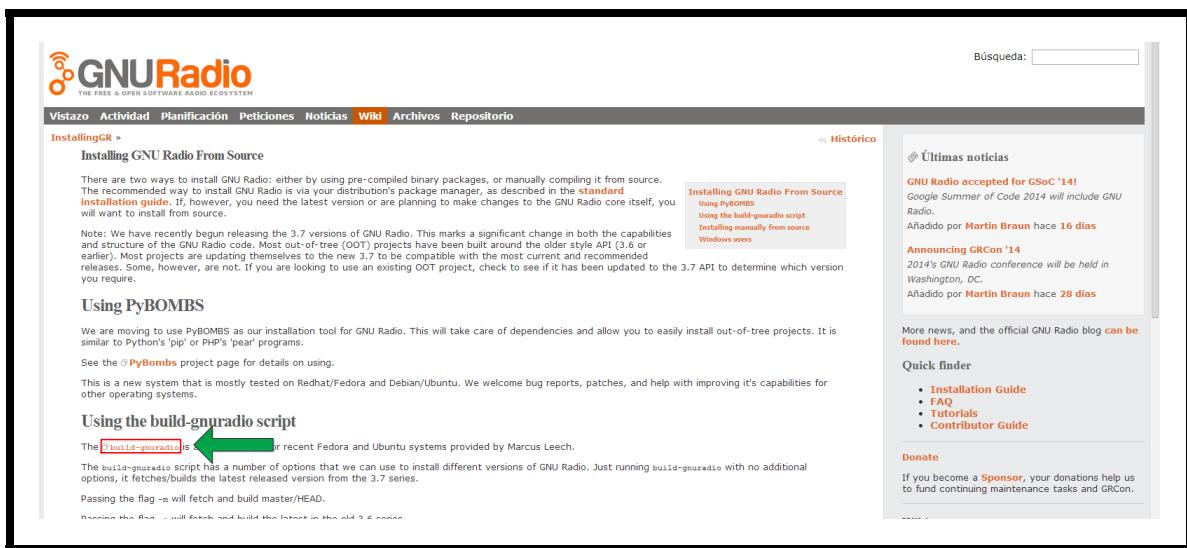


Figura 3.2: Ubicación del archivo a descargar

3. El archivo descargado se lo convierte en ejecutable de la siguiente manera:

- Se ejecuta la ventana de comandos de Ubuntu o también llamada terminal
- Se ubica dentro de la terminal el lugar exacto donde se encuentra el archivo
- Ejecutamos el comando **chmod a+x build-gnuradio**

4. Con **./build-gnuradio** se ejecuta el script, procediendo de esta manera con la instalación; este script realiza una verificación de todos los pre-requisitos instalados en el computador, si todos se

¹<http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/InstallingGRFromSource>

encuentran instalados procederá, caso contrario detendrá la instalación.

El computador siempre debe estar enlazado a la red, ya que este script descarga y se instala al momento que se va ejecutando, la velocidad y el tiempo de instalación dependen tanto de las características del computador como de la velocidad de descarga o down link de la red a la que se enlace, también debe ser ejecutado con privilegios de administrador por los cambios, actualizaciones e instalaciones que se deban realizar en el sistema.

3.3. Verificar la instalación de GNU Radio

Esto se puede realizar mediante la apertura del programa gnu radio companion que se ha instalado o ejecutando un archivo .py ubicado en la sección de examples de GNU-Radio. Si todo esta correctamente instalado procederá con la ejecución del script, caso contrario emitirá error; de ser así se debe volver a revisar cuidadosamente cada uno de los pasos antes realizados.

3.4. Universal Software Radio Peripheral USRP

Se trata de un radio definido por software SDR diseñado por la empresa “ETTUS Research” como propuesta de hardware libre, donde los microprocesadores convencionales pueden actuar como dispositivos de radio bajo un gran ancho de banda, convirtiéndose en una plataforma flexible de bajo costo que permite implementar y diseñar potentes sistemas de radiocomunicaciones con aplicaciones en tiempo real [47]. En esencia, sirve como procesador digital de banda base y conversor de frecuencia intermedia FI en un sistema de radiocomunicación.

3.4.1. Hardware USRP - N210

El USRP N210, es parte de la familia de equipos SDR que ofrece Ettus Research, en la figura 3.3 podemos observar su arquitectura de hardware. En el lado de recepción posee dos ADCs de alta velocidad con entradas a 14 bits por muestra con una tasa de 100 millones de muestras por segundo (100 MSPS) [48]; en teoría se podría muestrear una señal de hasta 50 MHz.

El USRP cuenta con un PGA (Programable Gain Amplifier, amplificador de potencia programable) antes de los ADCs para amplificar la señal de entrada y utilizar el rango completo en caso de que la señal sea débil.

En la parte de transmisión el USRP tiene dos DACs de alta velocidad a 16 bits por muestra y una tasa de 400 millones de muestras por segundo (400 MSPS), contando de igual forma con un PGA después de

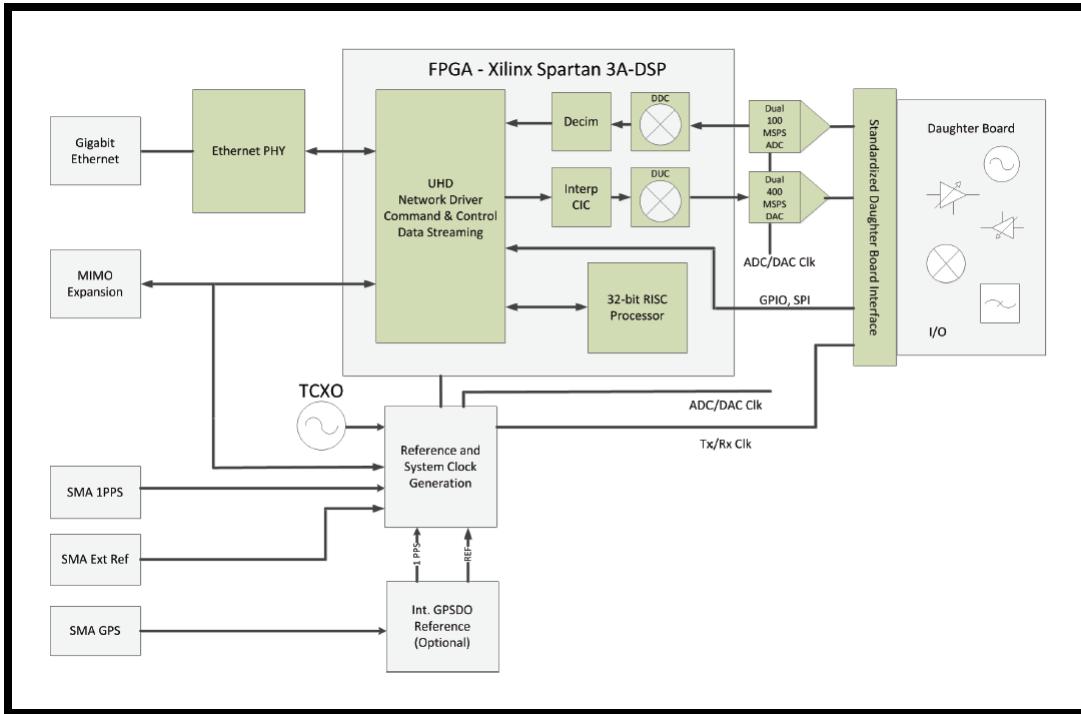


Figura 3.3: Arquitectura de hardware USRP. Tomado de [48]

los DACs que proporciona hasta 10 mW de ganancia [49].

Estos canales de entrada y salida son conectados a un FPGA (Field-Programmable GateArray, Matriz de Compuertas Programable en campo) de la familia Xilinx Spartan 3A-DSP 3400 FPGA, al cual se conecta un chip Gigabit Ethernet que sirve como interfaz de conexión al computador con un ancho de banda de 50 MHz usando una cuantización de 8 bits.

La FPGA realiza operaciones matemáticas de alto ancho de banda y reduce la tasa de datos para que puedan ser enviados a través de la interfaz Gigabit-Ethernet hasta el computador. En el N210, el procesamiento con alta frecuencia de muestreo se realiza en la FPGA, mientras el procesamiento con baja frecuencia de muestreo se realiza en el computador.

La configuración básica de la FPGA incluye dos DDCs(Digital Down Converter) completos, pero también es posible la implementación de 4 DDCs sin filtros de media banda. Esto permite tener 1, 2 o 4 canales de recepción separados. Las salidas de los ADCs van conectadas a la entradas de los DDC. Estos mezclan, filtran y diezman las señales de entrada en la FPGA. Se utilizan en la recepción, esencialmente por dos razones:

- Para convertir la señal en banda de frecuencia FI a una señal en banda base
- Para diezmar la señal, logrando que la tasa de datos pueda ser adaptada a la interfaz Gigabit Ethernet y que sea acorde a la capacidad de procesamiento del computador.

En la transmisión se realiza el proceso inverso, donde es necesario convertir una señal banda base a una señal de frecuencia intermedia, y enviarla a través de los DACs. Esto proceso lo realizan los DUC. En la transmisión se usan filtros interpoladores CIC (CascadedIntegrator-Comb) que interpolan las muestras antes de trasladar la señal digital a la frecuencia intermedia por el DUC(Digital Up Converter). Los DDC y DUC combinados con altas tasas de muestreo simplifican en gran medida los requerimientos de filtrado analógico.

3.4.1.1. Panel Frontal

En la parte frontal del equipo N210 se han colocado 6 leds enumerados y de color verde, que indican un determinado estado del dispositivo como se observa en la figura 3.4. Según las letras que se han asignado a los leds pueden indicar los siguientes estados si están encendidos:

- **LED A:** El equipo esta transmitiendo Tx.
- **LED B:** Indica si esta conectado el cable tipo MIMO¹.
- **LED C:** Recepción.
- **LED D:** El “firmware” ha sido cargado.
- **LED E:** Reloj de referencia.
- **LED F:** CPLD (Complex Programmable Logic Device) esta activo.

En el panel también encontraremos los puertos tanto de la interfaz Gigabit Ethernet que será conectada con el computador, el puerto de expansión MIMO utilizado para realizar una conexión en paralelo con otros USRPs si es necesario para sincronizarlos con el mismo reloj.

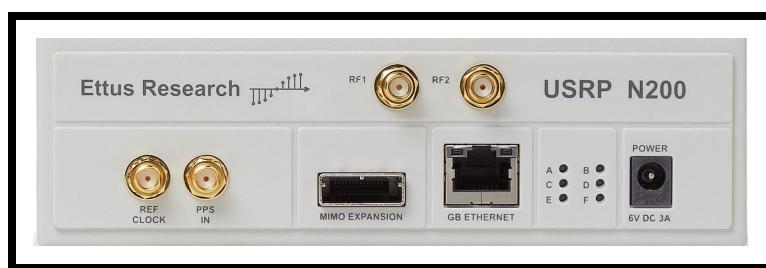


Figura 3.4: Panel frontal del equipo N210

Así mismo tenemos los puertos que ya se han nombrado para conectar las antenas de transmisión y recepción estos puertos están etiquetados como “RF1” para transmisión y “RF2” para recepción. Y por último están los puertos “REF clock” y “PPS in” que como indican sirven para conectar un reloj de referencia en el primero o un Multivibrador² en el segundo ambos con la finalidad de realizar la sincronización necesaria para las aplicaciones que se desarrolle. La siguiente tabla 3.1 indica los parámetros permitidos de reloj o multivibrador.

¹<http://es.wikipedia.org/wiki/MIMO>

²<http://es.wikipedia.org/wiki/Multivibrador>

Puerto	Tolerancia de entrada
REF Clock	Max 10 MHz Reference CLock con 0 - 15 dBm nivel de potencia.
PPS in	3.3 a 5 Vpp (voltaje pico-pico).

Tabla 3.1: Valores de entrada permitidos en el panel frontal

3.4.1.2. GPSDO

El dispositivo Global Positioning System Disciplined Oscillator (GPSDO)¹ que se muestra en la figura 3.5, permite una sincronización precisa de muestras para transmisión Tx y recepción Rx en el USRP, generando una frecuencia de reloj de 10 MHz en su oscilador de salida con una precisión de 0.01 ppm², acercándose a la frecuencia de 13 MHz con 0.02 ppm requerido en la mayoría de las implementaciones GSM tanto para la generación de frecuencia como para la sincronización del reloj [52].

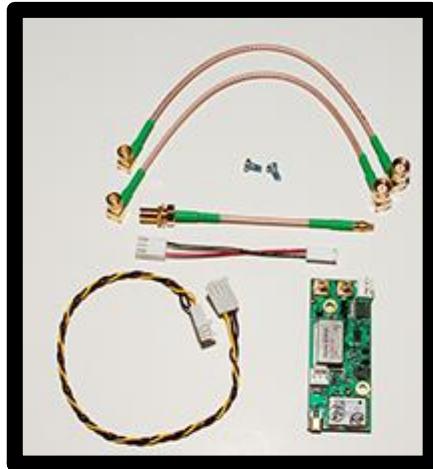


Figura 3.5: Dispositivo GPSDO

El USRP N210 tiene incorporado en su tarjeta principal un Oscilador de Cristal de Temperatura Compensada (TCXO) con precisión de 2.5 ppm, muy baja para trabajar como reloj principal en la red. Por lo que se recomienda usar la señal del GPSDO como entrada de reloj de referencia REF en la tarjeta motherboard del USRP. Los pasos correctos para la conexión del GPSDO con el equipo USRP los podemos encontrar en la guía desarrollada por el fabricante [51].

3.4.2. UHD

UHD (USRP Hardware Driver) se trata de el software controlador o driver, que se debe instalar en el ordenador para que pueda interactuar con el radio USRP, es desarrollado por Ettus Research para el

¹http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_disciplined_oscillator

²Partes por millón

desarrollo de aplicaciones con los equipos de la familia USRP. Puede trabajar en los sistemas operativos Linux, Windows, y Mac.

Posibilita una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para la investigación de nuevos servicios que se pueden adaptar a los radios basados en software SDR. Los usuarios de UHD pueden realizar la comunicación del hardware USRP bajo plataformas de desarrollo de software como:

- GNU Radio
- LabVIEW
- MATLAB
- OpenBTS

3.5. Instalación del USRP

Se debe configurar las propiedades de la tarjeta de red para que reconozca el dispositivo, siendo la siguiente la manera correcta:

- Se ejecuta la ventana de comandos de Ubuntu.
- Con **sudo ifconfig eth0 192.168.10.1** se configura la dirección IP para que se enlace mediante el puerto ethernet al equipo USRP; esto únicamente se hace en aquellos USRP's que usen el puerto ethernet aquellos que no lo usen basta con instalar los controladores necesarios del equipo, debe ejecutarse con el comando sudo ya que necesita privilegios de administrador para cambiar la IP del equipo.
- Para corroborar la conexión entre el computador y el USRP, se puede usar el comando **ping 192.168.10.2** siendo esta última dirección, la IP por default del equipo USRP, si obtenemos una respuesta desde la IP 192.168.10.2 la configuración es correcta, también se puede usar el comando **uhd finf device** con el cual buscará si existe un dispositivo USRP asociado al computador en el cual se ejecuta el comando.

Con el script de **build-gnuradio** también se instalará los drivers necesarios para el reconocimiento del UHD-USRP, se puede comprobar su correcto funcionamiento ingresando desde la terminal a la carpeta que se genera de ejemplos para UHD o USRP dentro del directorio de GNU-RADIO, y ejecutando uno de ellos.

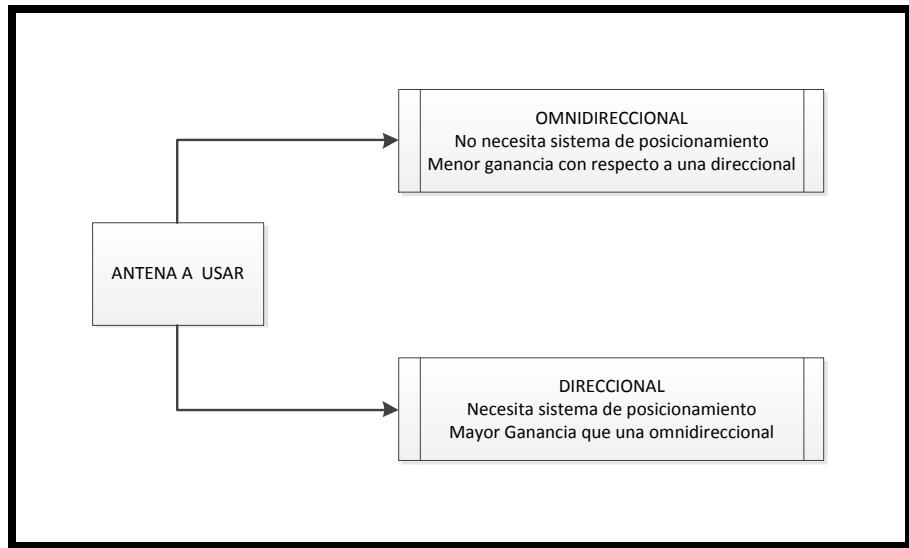


Figura 3.6: Opciones de sistema de radiación

3.6. Diseño del sistema de radiación

Ya que los satélites NOAA transmiten sus señales de APT utilizando polarización circular derecha, el sistema de radiación que se diseñe, debe ser sensible a esta polarización; para esto se parte de dos opciones de diseño del sistema de radiación, tal como se muestra en la figura 3.6

Los satélites cuentan con un sistema de estabilización que está constantemente dirigido hacia la tierra, este es conocido como el eje Z, para estabilizarse utiliza el campo magnético de la tierra.

Los satélites LEO, son repetidores de FM que trabajan en la banda de VHF y emiten por lo general en UHF; En VHF y UHF se usa polarización lineal y circular pudiendo ser la ultima derecha o izquierda, los satélites NOAA que es sobre los cuales se va a trabajar, trabajan por lo general con polarización derecha, los cálculos para el enlace se muestran en el Anexo G.

Se ha implementado un arreglo de antenas Yagi y un quadrifilar helicoidal, en el sistema arrow se puede variar su polarización y hacerla coincidir a cada instante con la del satélite, tomando en cuenta aspectos como: peso, dimensiones; esto es necesario ya que si no se cuenta con un sistema de posicionamiento mecánico, esto tendrá que realizarse manualmente y si el sistema es demasiado pesado o grande pueden existir problemas con el seguimiento del satélite, no obstante esto no sucede en la antena Quadrifilar-Helicoidal(QFH), ya que usa un sistema omnidireccional, disminuyendo de forma considerable el fading que producen las señales emitidas por los satélites, al momento de pasar por la atmósfera terrestre; se debe considerar también que al momento de usar este sistema de radiación disminuye la ganancia del mismo con respecto al anterior, por tal motivo, a continuación se describe los dos sistemas, se los analiza individualmente y se optara por trabajar con el que de mejores resultados.

3.6.1. Diseño de la antena arrow para satélites

La antena arrow es directiva, de polarización lineal, bibanda y ligera para posicionar con la señal emitida por el satélite, esta antena ha sido trabajada por varios radio aficionados obteniendo muy buenos resultados como lo es el caso de Juan Antonio Fernández Montaña radio aficionado quien elaboró una antena arrow en Enero de 2005 [36].

3.6.1.1. Cálculos para la antena arrow

Los radio aficionados al trabajar con esta antena, trabajan con una frecuencia central de 145.9 MHz; ya que en el actual proyecto se desea trabajar con satélites meteorológicos, y para en lo posterior poder extenderlo para trabajar también con sistemas de radio aficionados, se trabajara con una frecuencia central de 141.42 Mhz la cual cubre el rango de frecuencias de ambos satélites, estas van de 137 Mhz en el caso de los satélites meteorológicos hasta 146 Mhz en el caso de los satélites de radio aficionados, en caso de que se desee trabajar con estos últimos.

El arreglo será compuesto por dos yagis; siendo la configuración para VHF la que se muestra en la figura 3.7, cuyos cálculos según [37] son los siguientes:

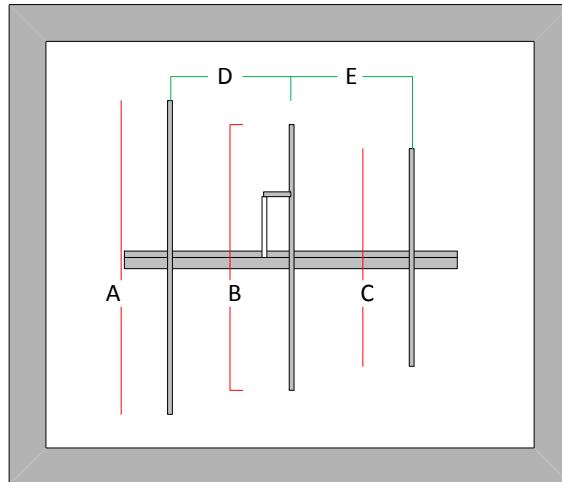


Figura 3.7: Configuración yagi uda para VHF en 2 metros

- A; corresponde al reflector y su longitud en mm es igual a $\frac{149500}{f}$
- B; corresponde al Alimentador y su longitud en mm es igual a $0,95(\frac{149500}{f})$
- C; corresponde al Director $0,9(\frac{149500}{f})$
- D y E; corresponden a las distancias entre los elementos cuya formula es $\frac{59800}{f}$, la cual esta dada en mm

- La longitud del Gamma match es igual $0,1(\frac{299000}{f})$

Obteniendo para la frecuencia de 141.42 MHz los resultados que se muestran en la tabla 3.2.

DATO	VALOR
A	1057 mm
B	1004 mm
C	954 mm
D y E	422 mm
Gamma match	211 mm

Tabla 3.2: Cálculos Obtenidos para la antena arrow VHF

Para UHF se trabajara con una frecuencia de 435 Mhz, esto únicamente en caso de trabajar con satélites de radio aficionados como frecuencia central; se trabajara con 7 elementos para no agrandar el sistema radiante de vhf, pudiendo ser adaptado en el mismo boon a 90° siendo la configuración como se ve en la figura 3.8

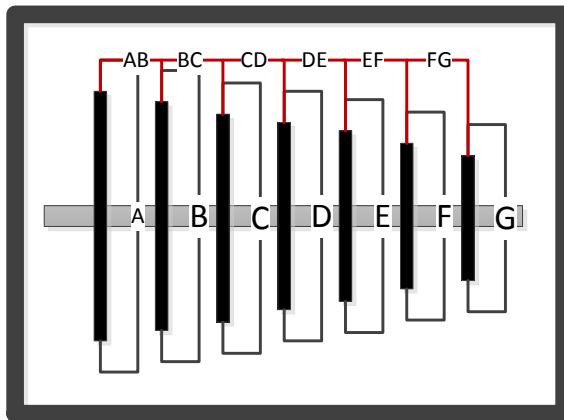


Figura 3.8: Configuración yagi uda para UHF en 70cm

Se aplican las mismas formulas que se usaron para VHF para los tres primeros elementos y la separación entre los mismos y para los elementos restantes e aplican las siguientes formulas:

- D; corresponde al reflector y su longitud en mm es igual a $0,885(\frac{149500}{f})$
- E; corresponde al Alimentador y su longitud en mm es igual a $0,867(\frac{149500}{f})$
- F; corresponde al Director $0,860(\frac{149500}{f})$
- G; corresponde al Director $0,837(\frac{149500}{f})$
- La distancia entre los elementos es de $0,2(\frac{299000}{f} + 10\%)$ el porcentaje corresponde a la ultima separación

- La longitud del Gamma match es igual $0,1\left(\frac{299000}{f}\right)$

Obteniendo para la frecuencia de 435 MHz los resultados que se muestran en la tabla 3.3.

DATO	VALOR
A	343.6 mm
B	326.5 mm
C	310 mm
D	304.15 mm
E	297.9 mm
F	295.56 mm
G	287.7 mm
AB y BC	137.6 mm
CD	151.36 mm
DE	166.496 mm
EF	183.14 mm
FG	201.46 mm
Gamma match	137.93 mm

Tabla 3.3: Cálculos obtenidos para la antena arrow UHF

3.6.1.2. Simulación de la antena en VHF

Se ha desarrollado las simulaciones del sistema de radiación en CADFEKO [38] en el cual nos muestra una ganancia de 8 dB en el campo lejano como se puede observar en la figura 3.9

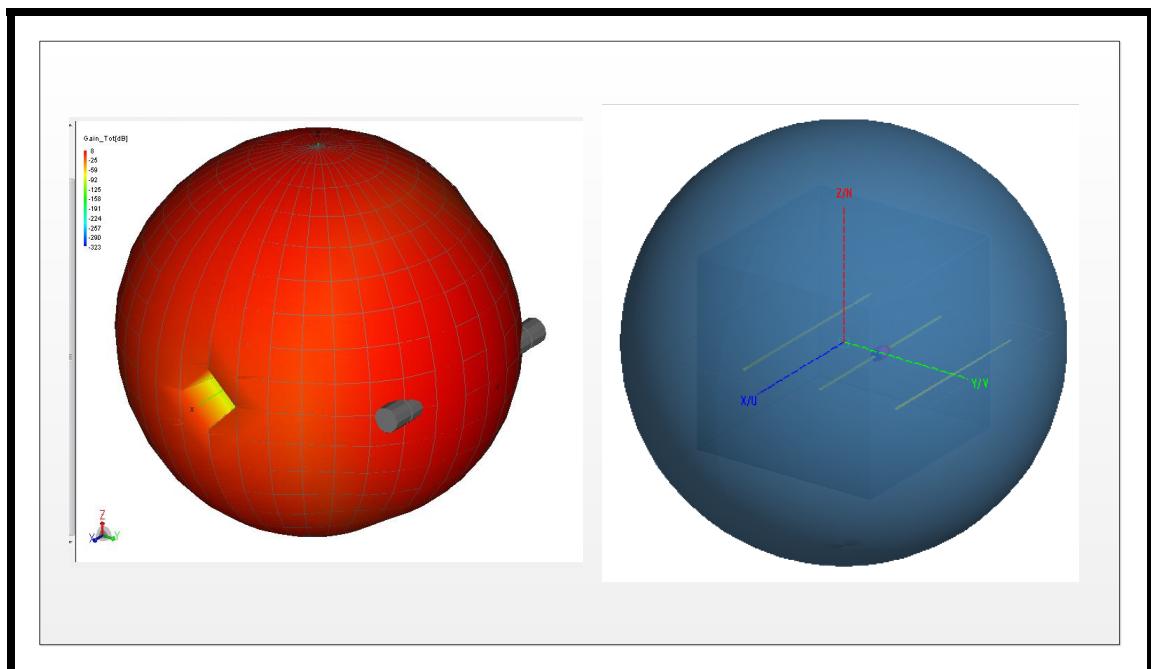


Figura 3.9: Simulación de Antena Yagi uda 2 metros VHF

3.6.1.3. Diseño mecánico de la antena

Para el diseño mecánico se pueden usar varias herramientas de software, en este proyecto se ha usado AUTOCAD para el diseño del sistema radiante, como se aprecia en la figura 3.10

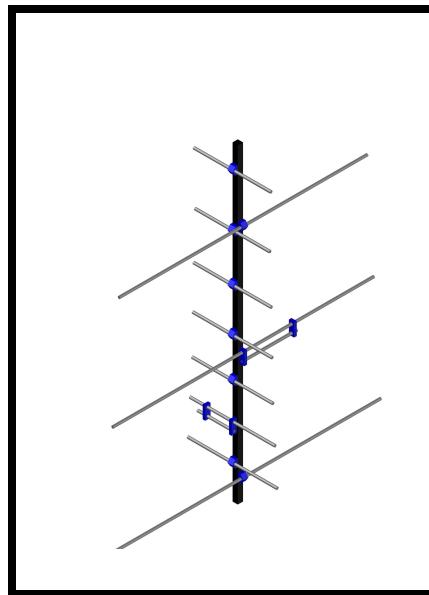


Figura 3.10: Diseño Mecánico de la antena Arrow

Para los materiales a usar se ha elegido aluminio, por ser un material ligero y con el cual se puede trabajar en exteriores sin el deterioro del mismo; Este material se ha usado tanto para el boom como para los elementos radiantes; se ha elegido un conector PL tipo chasis para ser ubicado en la antena, quedando el diseño en físico como se muestra en la figura 3.11



Figura 3.11: Antena arrow para satélites en VHF

3.6.1.4. Pruebas técnicas de la antena arrow terminada

Dentro de estas pruebas se ha considerado tanto la medición del ROE(coeficiente de ondas estacionarias) y la calidad del acople mediante la carta de Smith.

En la figura 3.12 podemos observar un ROE de 1.08 en la frecuencia central de 141.42 MHz, de 1.095 en la frecuencia de 137 MHz y de 1.09 en la frecuencia de 145 Mhz.

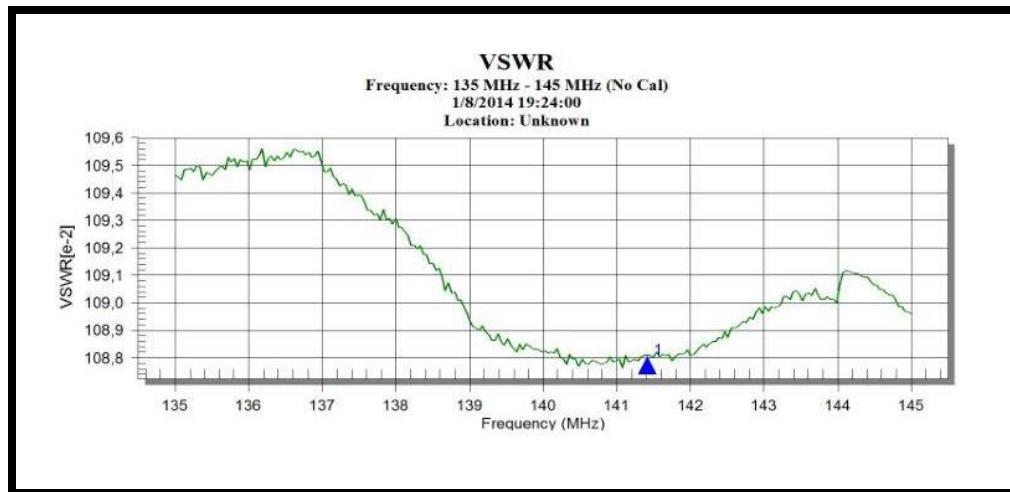


Figura 3.12: ROE VHF

En la figura 3.13 se puede apreciar que el acople se encuentra en 0.95, tomando en cuenta que en ambos casos la medida ideal de ROE es de 1.0 se puede deducir que el sistema radiante para 137 a 145 MHz se encuentra bien elaborado.

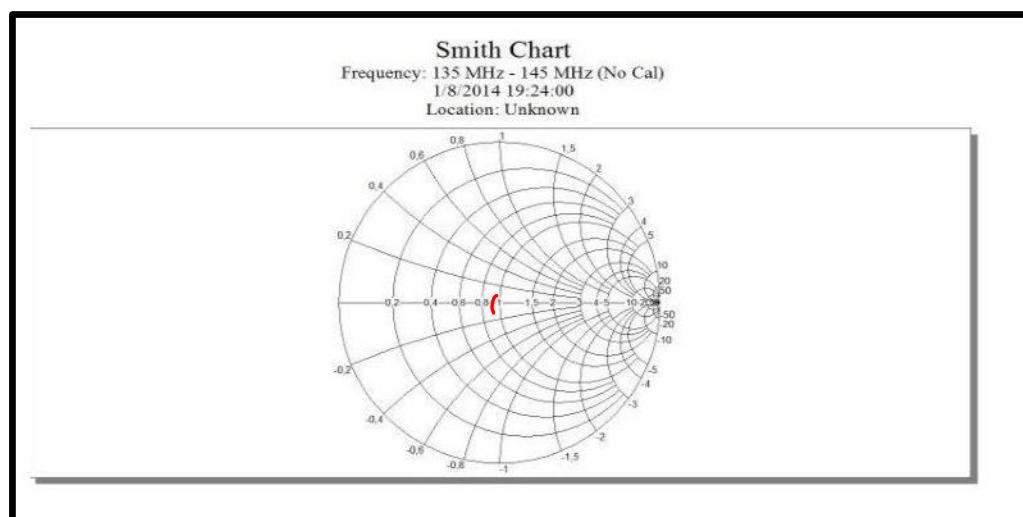


Figura 3.13: Carta de Smith VHF

En la figura 3.14 se puede observar un ROE de 1.08 en la frecuencia central de 435 Mhz.

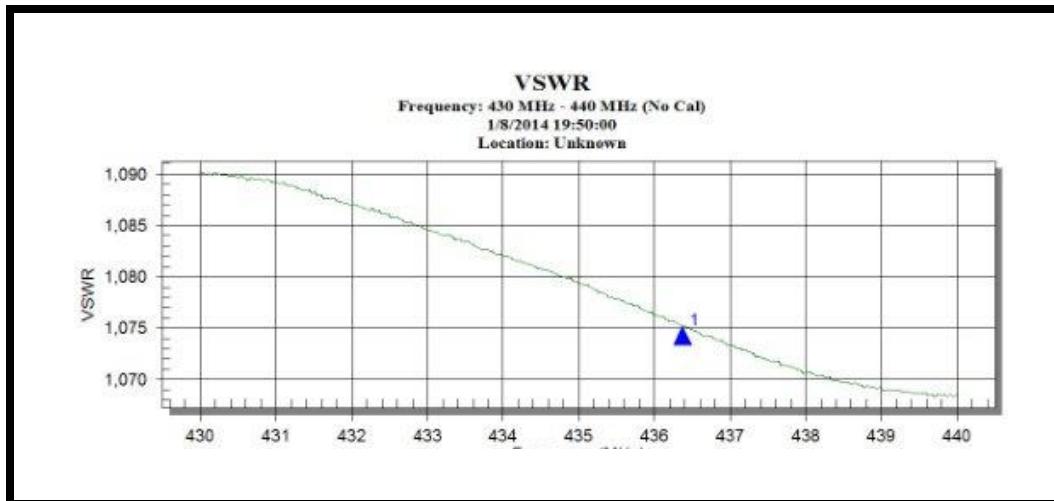


Figura 3.14: ROE UHF

En la figura 3.15 se puede apreciar que el acople se encuentra en 0.95, por lo cual se puede deducir que el sistema radiante para UHF se encuentra acoplado.

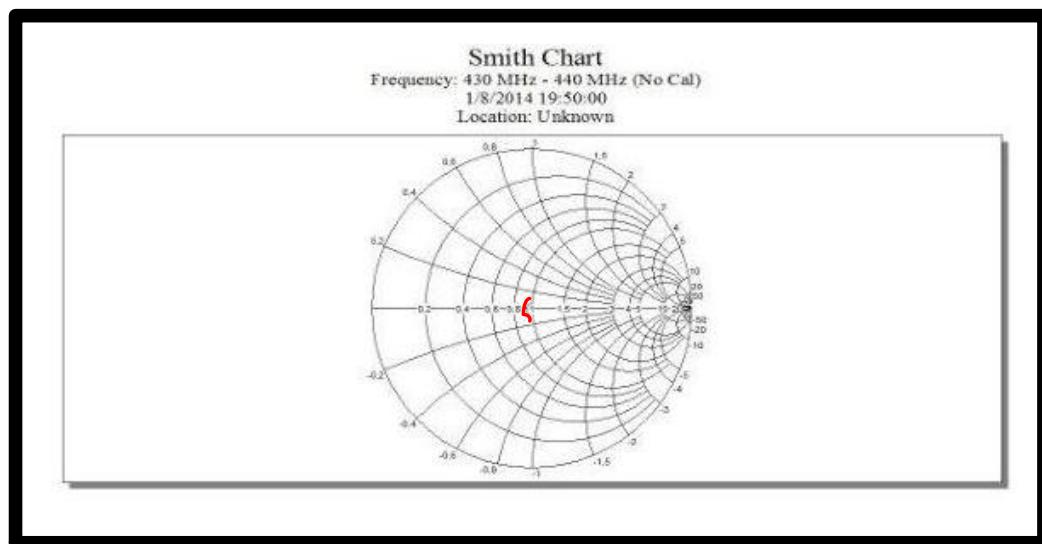


Figura 3.15: Carta de Smith UHF

3.6.2. Diseño de la antena quadrifilar helicoidal

La antena QHF es omnidireccional, de polarización circular derecha, ligera para posicionar con la señal emitida por el satélite o en su defecto estar estática evitando de esta manera el seguimiento del satélite, esta antena ha sido trabajada por varios aficionados a la meteorología obteniendo excelentes resultados¹.

¹<http://www.wxtoimg.com/gallery/>

3.6.2.1. Cálculos para la antena QFH

Para los cálculos de la antena quadrifilar se ha usado la calculadora de jcoppens¹, en la cual se debe ingresar datos tales como se muestra en la tabla 3.4.

DATO	VALOR
Frecuencia de diseño	137.5 MHz
Cantidad de vueltas	0.5
Largo de una vuelta	1 Largos de onda
Radio de doblado	15 mm
Diámetro del conductor	7 mm
Relación diámetro altura	0.44

Tabla 3.4: Datos para antena QFH

Los valores obtenidos de los datos anteriormente ingresados, son los que se muestran en la tabla 3.5.

DATO	VALOR	SIGLAS
Largo de onda	2181.8 mm	
Largo de onda Compensado	2336.7 mm	
Corrección por doblado	6.4 mm	
Cuadrado grande		
Largo total	2397.4 mm	
Separación vertical	889.6 mm	
Largo total compensado	2423.2 mm	
Separación vertical compensada	859.6 mm	
Altura antena	731.8 mm	H1
Diámetro interno	315 mm	Di1
Separador horizontal	322 mm	D1
Separador horizontal compensado	292 mm	Dc1
Cuadrado pequeño		
Largo total	2278.3 mm	
Separación vertical	845.8 mm	
Largo total compensado	2304 mm	
Separación vertical compensada	815.8 mm	
Altura antena	695.8 mm	H2
Diámetro interno	299.1 mm	Di2
Separador horizontal	306.1 mm	D2
Separador horizontal compensado	276.1 mm	Dc2

Tabla 3.5: Resultado de los datos ingresados en la calculadora de QFH

Los parámetros de las siglas se los puede apreciar en la figura 3.16

3.6.2.2. Comprobación de resultados obtenidos de la calculadora

De acuerdo a R.W.Hollander para crear una antena QFH con dos espiras resonante, lo que se le agregue en tamaño a una espira se le debe restar a la otra. Siendo los cálculos los siguientes según [57]:

- longitud de onda ($\frac{c}{f}$) [57], a este valor se le aplica un valor de corrección de 7.2 % de la longitud inicial el cual se sumara a la longitud de onda
- Para hallar el valor de las longitudes de las espiras, Hollander usa un valor llamado desviación media igual al 2.5 % de la longitud de onda [?] quedando la formula de la siguiente manera $L = (\frac{2.5}{100} * \lambda)$

¹<http://jcoppens.com/ant/qfh/calc.php>

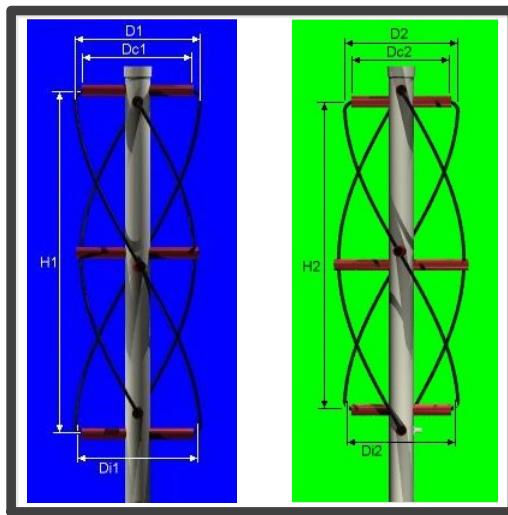


Figura 3.16: Diseño de la antena Quadrifilar Helicoidal [58]

- Espira grande $Lg = (\lambda + L)$
- Espira pequeña $Lp = (\lambda - L)$
- Aplica una relación diámetro/altura de 0.44. Para la calculadora esta relación es de $(\frac{39}{70}) = 0,429$ pero se approximó a 0.44 para poder realizar la comprobación.
- Para encontrar el Radio se aplica $r = (\frac{R*L_ax}{2})$
- Para calcular la longitud axial se usa $L_ax = \frac{f_1*\lambda}{2(\sqrt{(n*(\pi)*R)^2+1}+R)}$ donde f_1 depende del diámetro del material con que se valla a trabajar

Con estas formulas y con los mismos parámetros que se ingreso en la calculadora como: número de vueltas, frecuencia, radio de doblado, etc. Se obtiene los siguientes valores 3.6

DATO	VALOR	SIGLAS
Largo de onda	2180 mm	
Largo de onda Compensado	2337 mm	
Cuadrado grande		
Largo total	2397.2 mm	
Separación vertical	887.9 mm	
Largo total compensado	2423 mm	
Separación vertical compensada	857.9 mm	
Altura antena	720.3 mm	H1
Separador horizontal	323.6 mm	D1
Separadores horizontal compensado	293.6 mm	Dc1
Cuadrado pequeño		
Largo total	2278.9 mm	
Separación vertical	844.5 mm	
Largo total compensado	2304.6 mm	
Separación vertical compensada	814.5 mm	
Altura antena	684.7 mm	H2
Separador horizontal	307.8 mm	D2
Separadores horizontal compensado	277.8 mm	Dc2

Tabla 3.6: Datos para antena QFH

Ya que los datos calculados matemáticamente son parecidos a los proporcionados por la calculadora de jcoppens, se pueden usar los mismos para el desarrollo de la antena.

3.6.2.3. Simulación de la antena para VHF

Siendo un punto importante la intersección de las espiras para lograr una polarización circular derecha, se ha optado por usar un balum infinito el cual se construye tal como se muestra en la figura 3.17

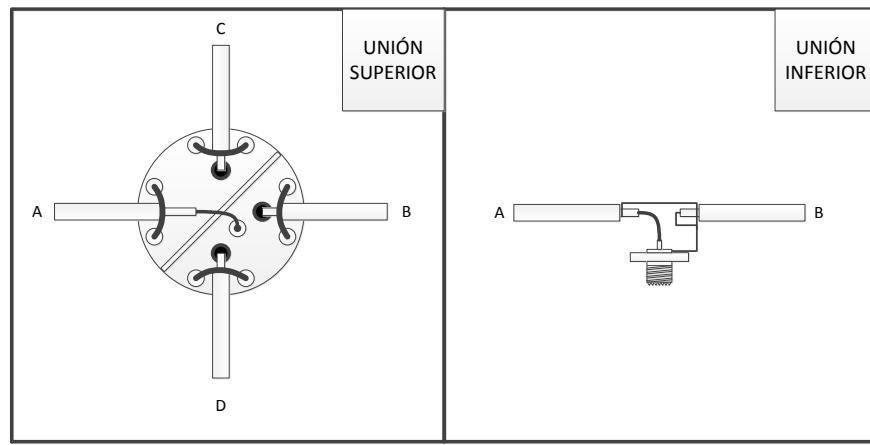


Figura 3.17: Balum infinito para antena QFH

La unión de dos espiras da como resultado el diagrama de radiación deseado, un diagrama casi omnidireccional en el semi-espacio superior y con polarización circular a derechas esto se muestra en la figura 3.18

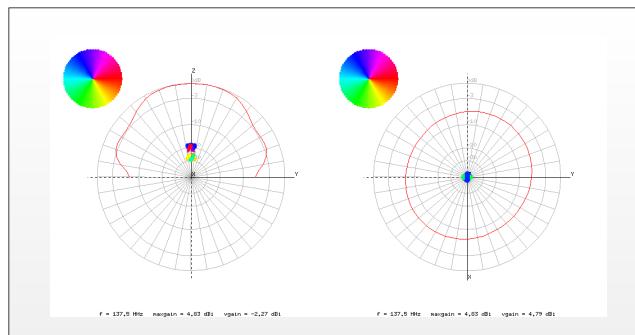


Figura 3.18: Simulación antena QFH [58]

3.6.2.4. Diseño Mecánico de la antena

El diseño mecánico de la antena se lo ha desarrollado en AUTOCAD, tomando como puntos importantes: los materiales a usar y la precisión de las conexiones de la misma, quedando el diseño final como

se muestra en la figura 3.19

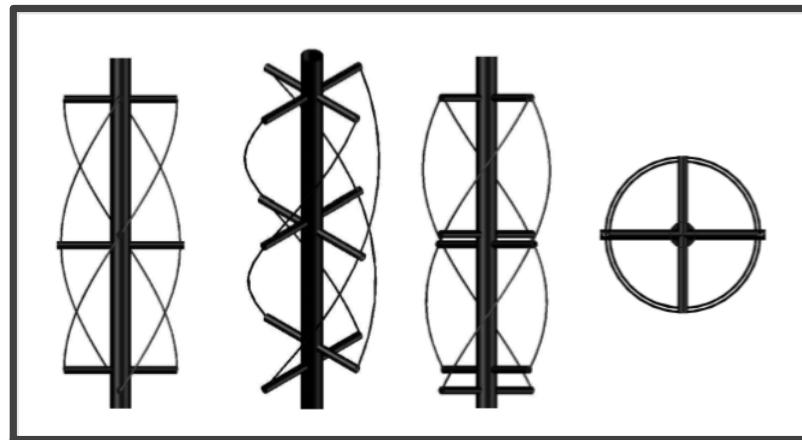


Figura 3.19: Diseño mecánico de la antena QFH

Con el diseño ya definido de como quedaría que quedaría la antena, se procede a la construcción de la misma, usando tubo PVC tanto para el boom como para los soportes del cable RG58, el cual hará de elemento radiante quedando como se muestra en la figura 3.20

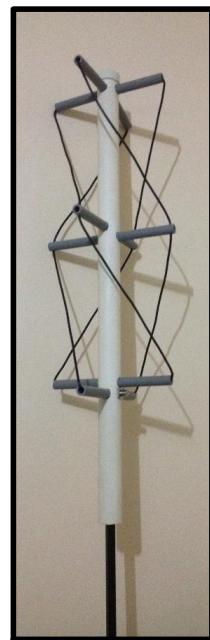


Figura 3.20: Forma física de la antena QFH

3.6.2.5. Pruebas técnicas de la antena QFH terminada

Dentro de estas pruebas como en la antena arrow se ha considerado tanto la medición del ROE y la calidad del acople mediante la carta de smith, obteniendo los resultados que se muestran en las figuras 3.21 y 3.22 para cada caso respectivamente, en la primera imagen se puede apreciar que el ROE es de 1.07 y en la segunda que el acople es casi perfecto ya que se acerca a la unidad.

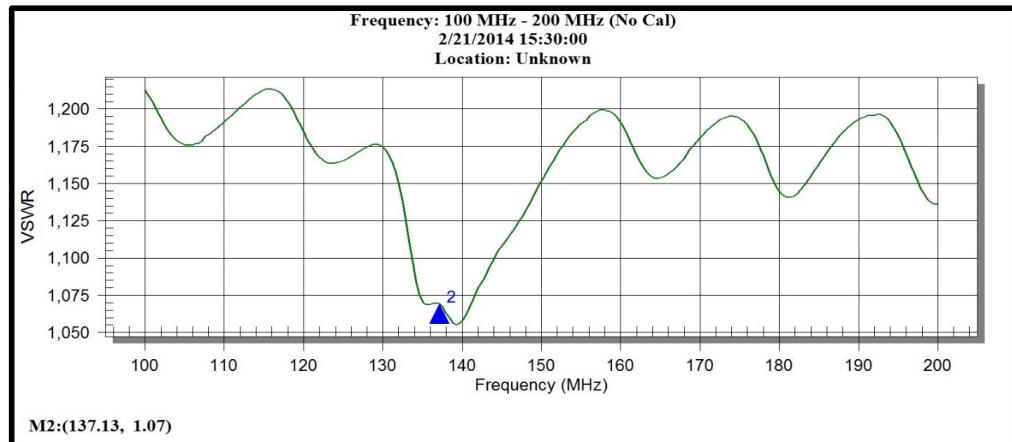


Figura 3.21: Coeficiente de ondas estacionarias de la antena QFH

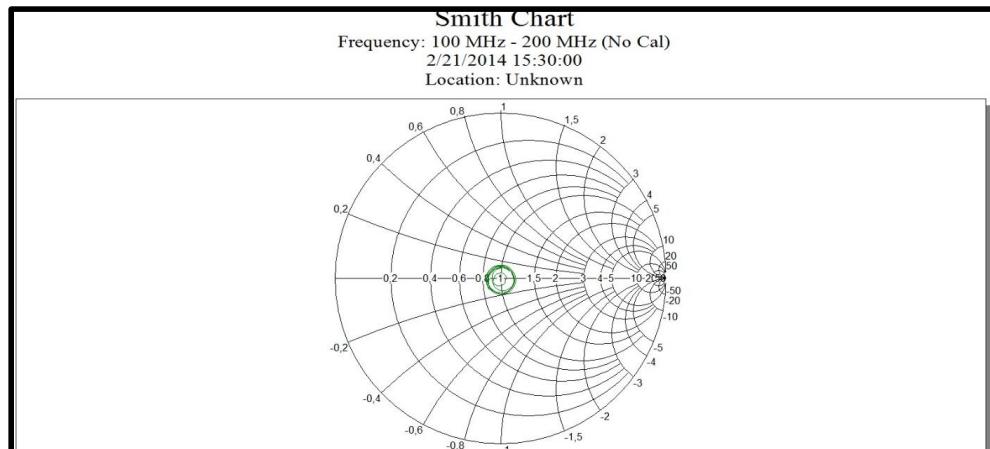


Figura 3.22: Carta de smith antena QFH

3.7. Sistema de radiación electo para el presente proyecto

Una vez terminados ambos sistemas y con las pruebas técnicas correspondientes a cada sistema se procede al análisis los mismos.

3.7.1. Análisis del espectro de la señal recibida de los satélites meteorológicos

Como se puede apreciar en la figura 3.23, la antena QFH por ser una antena omnidireccional y poseer un mayor ancho de banda la ganancia va a disminuir notablemente con respecto a la antena Arrow la cual es directiva.

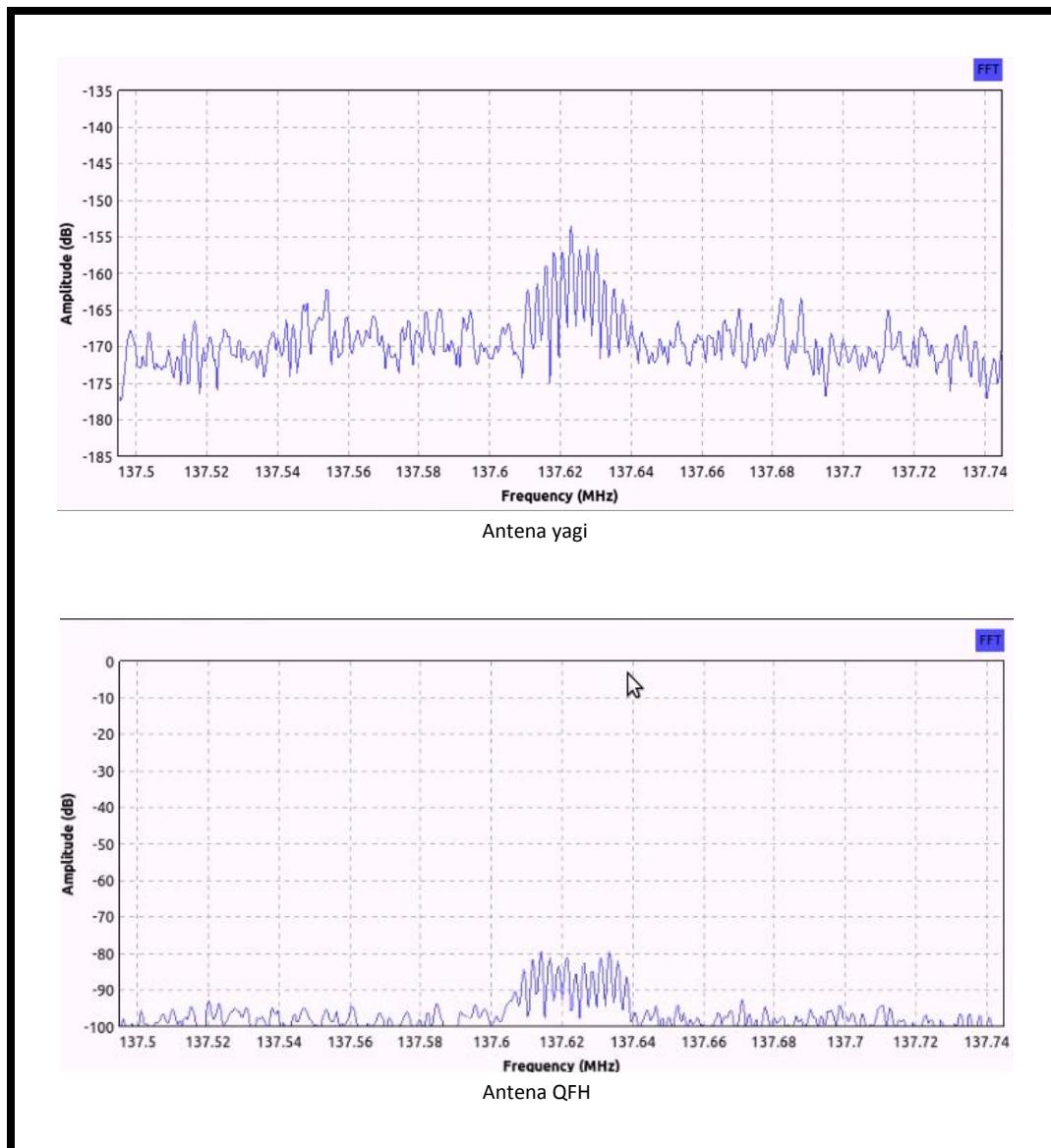


Figura 3.23: Espectros de antenas diseñadas

La ventaja de usar la antena QFH es que se la puede colocar en un lugar fijo, sin la necesidad de estarla direccionando hacia el satélite constantemente, manteniendo mayor tiempo el enlace con el satélite y sin corte alguno, lo cual es un problema constante con la antena Arrow, ya que si se pierde el enlace por una fracción de tiempo, el programa de decodificación cortará en este tramo la imagen, y si el enlace

3.7 Sistema de radiación electro para el presente proyecto

se pierde por segundos la imagen mostrará líneas de ruido afectando el análisis posterior de la misma, esto se puede apreciar en las figuras 3.24 y 3.25, donde se muestra ambos casos.

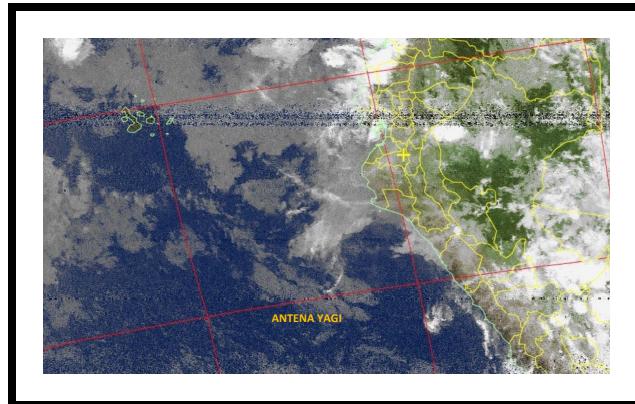


Figura 3.24: Imagen obtenida con la antena Arrow(yagi para VHF)

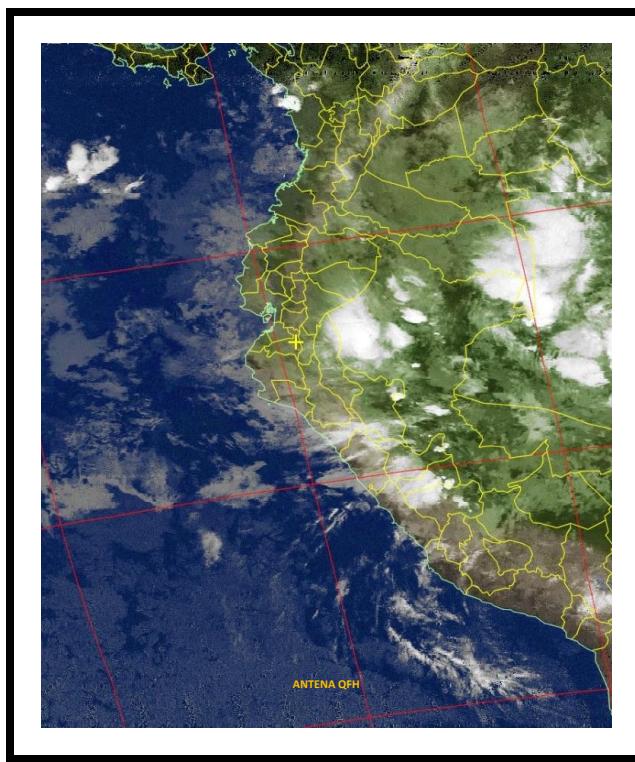


Figura 3.25: Imagen obtenida con la antena QFH

En estas imágenes se puede apreciar claramente que la antena QFH, obtiene muchos mejores resultados como: mayor tiempo de enlace(La imagen es más amplia), menor ruido, esto se debe a un enlace constante.

Con estos resultados se ha optado por usar la antena QFH para el presente proyecto

3.8. Desarrollo del sistema de recepción en GNU Radio

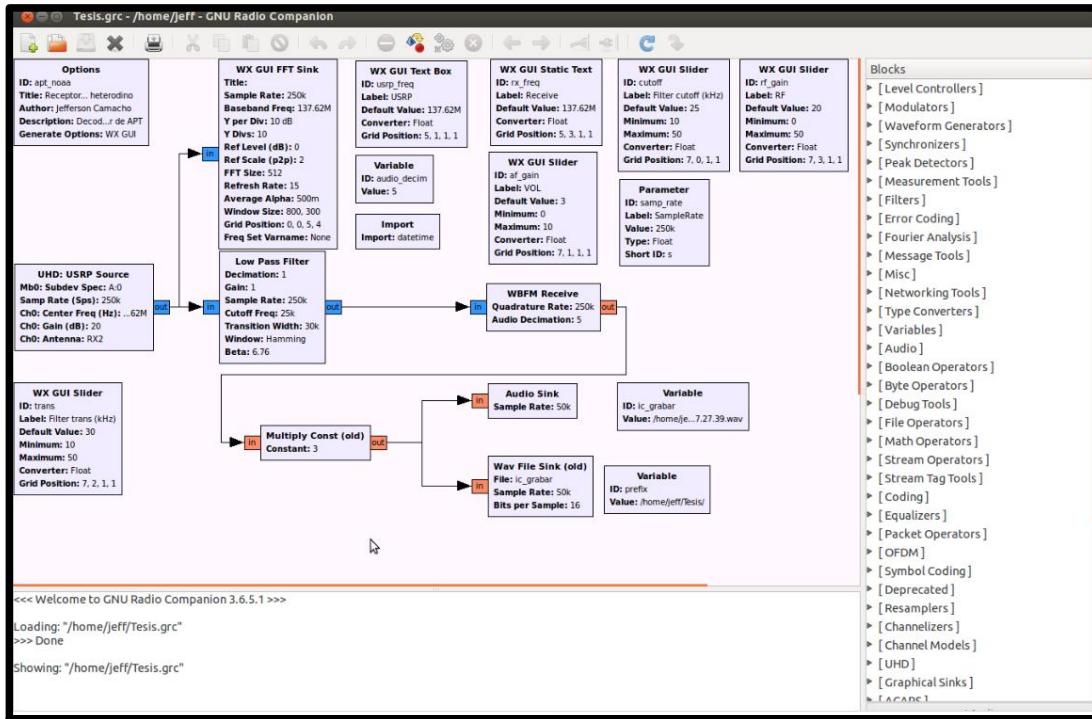


Figura 3.26: Receptor desarrollado en GNU Radio Companion

El módulo que se usara para conectar el USRP es UHD: USRP Source, el cual usa el puerto ethernet para enlazar el USRP con el computador como se indica en la figura 3.27, en este módulo también se aplica las fases de amplificador de RF y mezclador del receptor las cuales se establecen dentro de su configuración, en la figura 3.28, se puede apreciar la configuración del módulo ya mencionado.

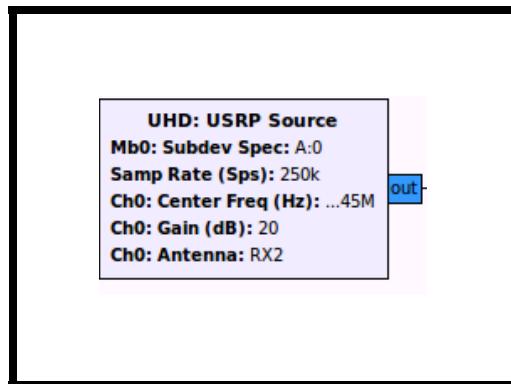


Figura 3.27: Módulo para conectar el USRP

El módulo permite modificar los siguientes parámetros:

- Samp Rate será de 250k, es la frecuencia de muestreo con la que se va a trabajar.
- El USRP freq, es la frecuencia central que se dará al momento de iniciar la simulación.

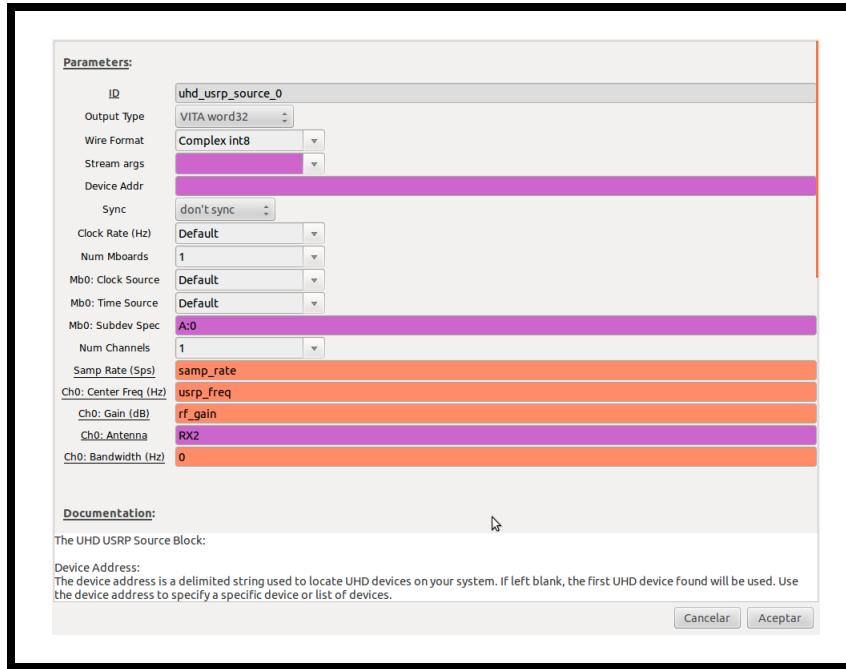


Figura 3.28: Configuración del módulo para el USRP

- Rf gain es la opción mediante la cual se aumenta la ganancia de la radio frecuencia.
- RX2 es el puerto frontal el cual se va a usar para la conexión del sistema de radiación.

Esta configuración puede ser aplicada para cualquier programa en el que se use el USRP.

La etapa de filtrado esta compuesta por un filtro pasabajas construido con una ventana Hamming, se aplica esta ventana ya que elimina los problemas causados por los cambios rápidos de la señal en los extremos de cada trama de audio; esta configuración esta delimitada por frecuencia de corte del filtro y el filtro trans, para lo cual se usa el módulo Low Pass Filter, la forma de programar en el filtro es a través de código el cual puede ser colocado directamente en una variable a parte o dentro de este bloque, quedando la configuración de la siguiente manera3.29.

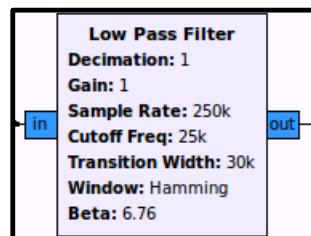


Figura 3.29: Low Pass Filter

El grado de decimación indica la reducción de la frecuencia de muestreo.

En la etapa de demodulación, usamos el bloque WBFM Receive, el cual nos da una señal de audio demodulada cuya configuración se muestra en la figura 3.30, con un factor de decimación o reducción de muestras de cinco.

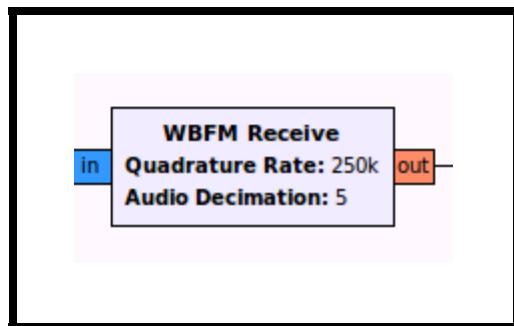


Figura 3.30: WBFM Receive

Amplificamos esta señal para que tenga un buen sonido y pueda ser escuchado el instante en que empieza a captar el PC la señal del satélite, este sonido lo almacenamos para posteriormente analizarlo o volverlo a decodificar.

Esta etapa final del programa se la realiza mediante la configuración que se muestra en la figura 3.31, dando por concluido el proceso del receptor homodino.

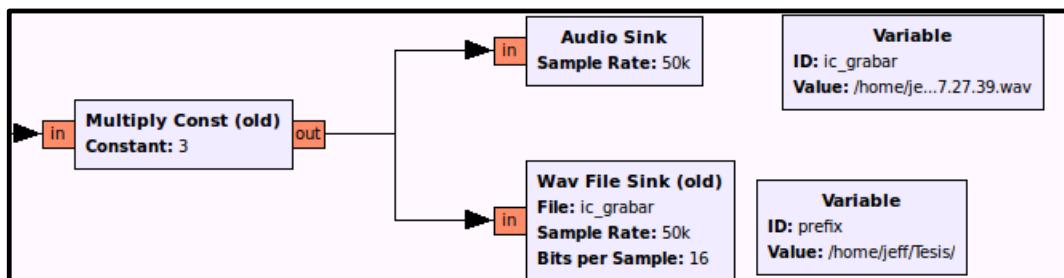


Figura 3.31: Etapa de conversión y amplificación de audio

3.9. Programa para decodificar imágenes

El software que se usara para decodificar imágenes es WXtoimg, este software nos permite decodificar las imágenes en tiempo real y guardar el archivo de audio por si es necesario volver a escucharlo, también nos muestra niveles de temperatura tanto del mar como de la superficie de la tierra, nubes espesas, llamaradas, etc. Haciendo posible el análisis de los datos emitidos por el satélite.

Este software se encuentra disponible tanto para Windows como para linux .

FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS

4

FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS

4.1. Conexión del Equipo N210

Antes de iniciar el sistema de recepción satelital , en necesario realizar una prueba de funcionamiento y conectividad del equipo USRP con el computador. Todas las pruebas que se han realizado durante el presente trabajo de investigación, han sido ejecutadas en un ambiente externo, ya que si se aplica la misma clase de pruebas en un ambiente interno, la señal emitida por los diferentes satélites no podrá ser receptada debido al efecto espejo que producen los diferentes cuerpos terrestres.

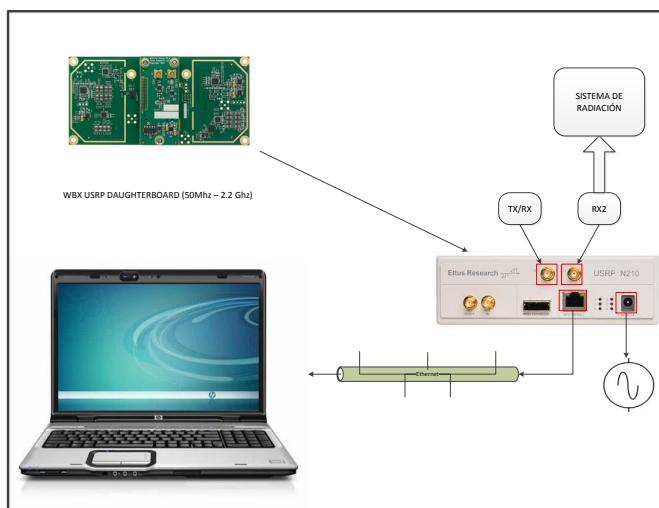


Figura 4.1: Diagrama de conexión del equipo

Es indispensable tener disponible una toma de energía de 110 V en AC (corriente alterna) para facilitar la alimentación tanto del SDR como el computador. A partir de esto se puede empezar a conectar físicamente todas las partes como se detalla en la figura 4.1. Primero adaptamos cuidadosamente la tarjeta RF WBX dentro del USRP para luego colocar en el puerto RX2 el sistema de radiación que se ha elaborado, este proceso es detallado en el anexo D. También mediante un cable Ethernet categoría 6, conectamos el computador con el SDR.

Seguido comprobamos si una nueva conexión en la interfaz Ethernet se ha activado, “Ubuntu” la detectará automáticamente y tendremos que introducir una dirección IP estática para comunicación con el USRP mediante el comando `$ sudo ifconfig eth0 192.168.10.1` para posteriormente hacer ping a la IP por defecto que posee el USRP la cual es **192.168.10.2**.

Una vez realizado lo anterior, ahora se puede ejecutar dentro de un terminal “Linux” dos aplicaciones que se instalan junto con el UHD la primera “uhd_find_devices” detecta el dispositivo USRP conectado, y la segunda “uhd_usrp_probe” examina el estado de todas las tarjetas que se encuentren activas presentando las características como rango de frecuencia, sensores activos, y nivel de ganancia que posee cada una ellas. Este procedimiento se lleva a cabo con la finalidad de comprobar que el equipo se encuentre en buen estado y disponible para ejecutar el sistema.

A continuación se hace uso del programa de predicción satelital gpredict-win32-1.4git-1 o del programa Orbitron mediante los cuales se determinara con mucha precisión el paso de los satélites deseados para lo cual se llevara a cabo una previa configuración.

4.2. Configuración de gpredict-win32-1.4git-1

Este programa desarrollado por Alexandru Csete[43] es portable y puede ser usado en cualquier PC con sistema operativos windows, se puede ejecutar tanto en 32 como en 64 bits, se actualiza a través de una conexión a Internet o mediante los archivos previamente descargados; la forma de configurar este programa de predicción se la detalla a continuación.

4.2.1. Datos de la estación terrena

Para ingresar al programa ingresamos en la dirección gpredict-win32-1.4git-1/bin/ y ejecutamos el archivo gpredict.exe en el caso de correr el software en Windows, de ejecutarse el mismo en Linux se usa el comando **Gpredict -G**, de esta forma nos mostrara una imagen como la que se muestra en la figura 4.2, donde muestra varios satélites meteorológicos.

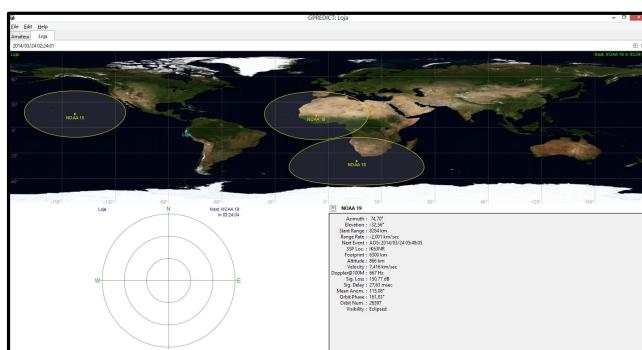


Figura 4.2: Programa Gpredict

A continuación hacemos click en Edit, preferences, tal como se muestra en la figura 4.4, seguido de esto nos colocamos en la pestaña ground station y hacemos click en add new, en la nueva ventana que se abre aparecerán opciones tales como el nombre de la estación, descripción de la misma, en location o localización se puede seleccionar la ubicación de nuestra estación terrena pero es preferible hacerlo por medio de las coordenadas posteriores, para garantizar una mayor precisión de la predicción, también se ingresa la altura a la cual se encuentra nuestra estación terrena; en este caso como las coordenadas se están tomando en la ciudad de Loja-Ecuador los datos quedan como se aprecia en la figura 4.3.

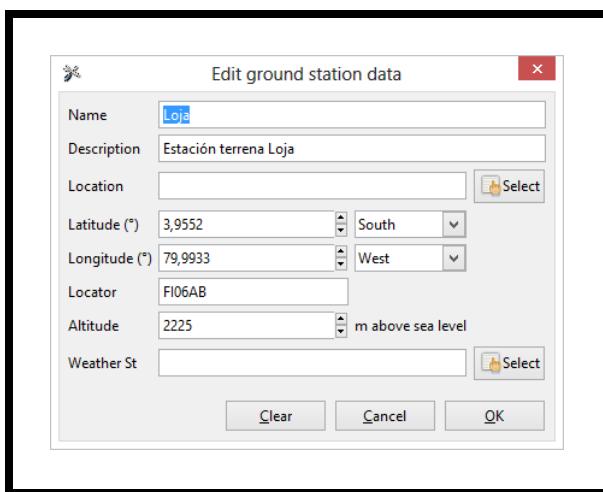


Figura 4.3: Configuración de la estación terrena

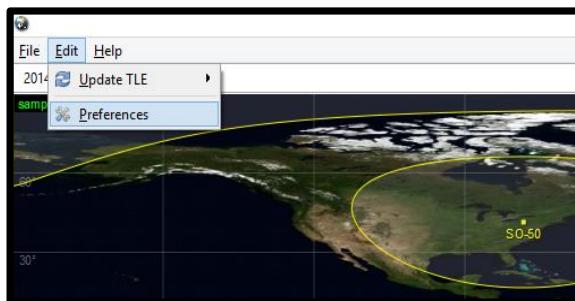


Figura 4.4: Configuración Gpredict

Para que se muestre la estación creada en el mapa basta con seleccionarla, y reiniciar el programa.

Existen varios métodos para saber la ubicación en latitud y longitud del lugar en donde nos encontramos, uno de los más conocidos es el GPS pero ya que este medio es de difícil acceso; existen otros métodos tales como la ubicación de nuestra IP esto se hace en red, mediante aplicaciones para smartphone, etc. Lo más importante es tratar de acercar a lo más exacto nuestra ubicación.

Una vez puesta en el mapa la ubicación de nuestra estación, se debe volver a actualizar los keplers

del programa, el mismo programa nos muestra el proceso para actualizar los mismos, en caso de no ser así se detalla a continuación el procedimiento

- Ubicamos el puntero en Edit/Update TLE/From network o Local files dependiendo si poseemos una conexión a internet o contamos con el archivo dentro de un pen drive u otro medio portable de información.
- Al momento que realizamos esta acción y si no existe ningún error aparecerá esta figura 4.5, donde también muestra un informe de la actualización que se ha llevado a cabo.

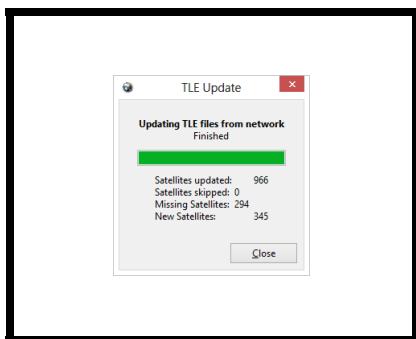


Figura 4.5: Actualización de los Keplers

Para agregar los satélites meteorológicos NOAA o cualquier otro satélite vamos a FILE/New module como se muestra en la figura 4.6, en donde se podrá agregar los satélites y colocar datos tales como: el nombre del nuevo módulo y elegir la estación terrena con la cual se va a trabajar; en este caso se va a trabajar con la estación terrena que se creó anteriormente denominada Loja, y se han agregado los satélites meteorológicos NOAA 15, NOAA 18, NOAA 19, que de acuerdo a la página de NOAA¹ son los que se encuentran actualmente en uso y sin presencia de fallas en su transmisión.

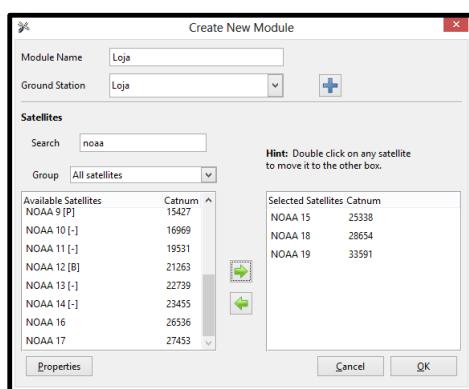


Figura 4.6: Forma de agregar satélites

Hecho todo este proceso correctamente el programa se encargara de mostrarnos en que tiempo aparecerá el próximo satélite, cual será, y todos los datos acerca del pase como ángulo de azimut, ángulo de elevación, elevación máxima, etc.

¹<http://www.noaa.gov/>

4.3. Compilación en GNU Radio Companion

Se abre el archivo que anteriormente se configuró con el receptor homodino y se hace click en el icono que se ve en la figura 4.7.



Figura 4.7: Icono de compilación GNU Companion

Si no existe ningún problema en la configuración de los bloques, se creara un archivo .py, en la carpeta donde se encuentra el archivo que se acaba de compilar, este se ejecutara posteriormente en la terminal de Ubuntu para poner en funcionamiento al sistema de recepción digital.

4.4. Configuración de WXtoimg

WXtoimg es un software para decodificar imágenes transmitidas por los satélites NOAA, en tiempo real y hasta seis horas después del pase del satélite del cual se tomaron los datos, la captura de estos datos puede realizarse de dos maneras: la primera a través de una línea de entrada en el equipo como el line in y la otra a través de un micrófono adaptado al equipo, aunque este último no es recomendable ya que existen grandes perdidas de audio e inserción de ruido, este software permite decodificar tanto el APT como el HRPT dependiendo de la configuración que se realice[44], ya que en este caso se va a decodificar el APT la configuración será la siguiente:

4.4.1. Configuración de WXtoimg

A diferencia del programa de predicción satelital en este software se debe configurar únicamente la ubicación terrena; este software se instala en el equipo, y al momento de ejecutarlo por primera vez, mostrara una ventana en la cual debemos ingresar los datos de la estación terrena.

Para no diferir con los datos del software de predicción se ingresan los mismos valores tanto en latitud, longitud, y altura de la estación siendo la configuración la que se muestra en la figura

4.4.2. Actualización de keplers

Para realizar una actualización de keplers en este software es necesario que el equipo se encuentre enlazado a una red de internet, ya que los datos los descarga directamente del servidor del proveedor,

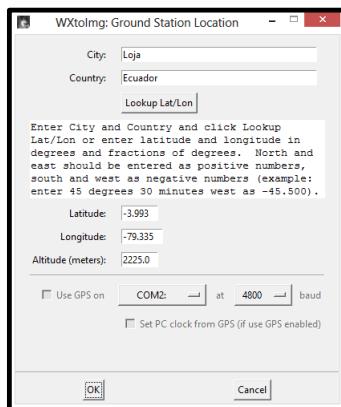


Figura 4.8: Configuración de la estación terrena Wxtoing

es muy importante la actualización de los keplers ya que sin ellos tanto los diferentes pases como la predicción de las mismas y la de codificación de las imágenes se verán afectadas de forma considerable.

Una vez ubicados dentro del software vamos a la ubicación File/Update Keplers; dando click sobre este último actualizaremos el software de forma satisfactoria.

4.5. Rastrear Ubicación del satélite

Para la ubicación tanto del ángulo de azimut como del ángulo de elevación en el presente proyecto se ha aplicado un app diseñado para iphone el cual se basa en un giroscopio propio de la tecnología de este dispositivo, esta app denominada brújula también ofrece mediante la conexión a internet, la latitud y longitud de la ubicación del mismo como se muestra en la figura 4.9, mediante esta aplicación se puede ubicar el sistema de radiación con dirección hacia el horizonte, por donde empezara su pase el satélite y dirigir rastrear todo su trayecto hasta la pérdida en el horizonte del satélite.



Figura 4.9: APP de brújula para Iphone

4.6. Ejecución del sistema

Realizada la conexión y alimentación de los equipos procedemos al inicio del sistema GNU Radio, el sistema comprende la ejecución de los siguientes procesos, todos en el mismo computador:

1. Configuramos la dirección IP: Es preferible rehacer la configuración de la IP estática para evitar posibles fallos, y asegurar que este bien conectado el sistema; se ejecuta el comando `$ sudo ifconfig eth0 192.168.10.1`.
2. Verificamos la conexión del equipo para verificar la conexión del equipo ejecutamos el comando `$sudo ping 192.168.10.2`, si obtenemos una respuesta desde esta dirección se ha establecido comunicación con el USRP y el PC.
3. En el programa de predicción satelital corroboramos el pase del satélite y donde se encuentra en al momento que se va ejecutando el programa.
4. Ubicar el satélite con el sistema de radiación: Mediante el app antes mencionado se dirige el sistema de radiación apuntando al satélite con el ángulo de azimut y elevación bien definidos.

El esquema de funcionamiento de todo el sistema en conjunto será tal como se muestra en la figura 4.10

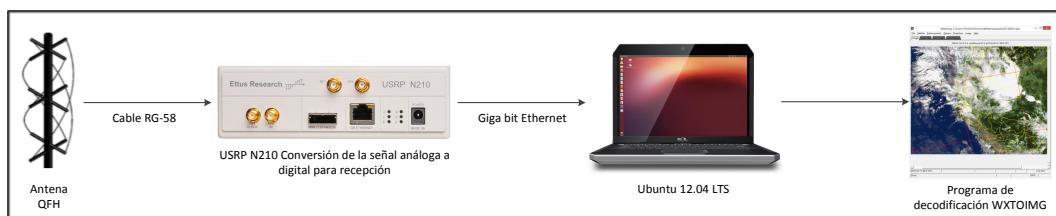


Figura 4.10: Esquema de funcionamiento del sistema en conjunto

Una vez ejecutado todo este proceso se tendrá de 10 a 15 minutos dependiendo del satélite y donde empiece su pase, de acuerdo, a nuestra ubicación terrena, el satélite se elevara en AOS(Momento en que el satélite se eleva sobre el horizonte del observador)empezando su pase con línea de vista a nuestra estación terrena y termina su pase en LOS(Momento en que el satélite pasa por debajo del horizonte del observador), enviando las imágenes captadas a nuestra estación terrena para ser decodificadas.

Usando este procedimiento correctamente obtendremos imágenes como las que se muestra en las figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, en el anexo F se pueden observar las imágenes resultantes del proyecto y para mayor cantidad de imágenes se puede consultar el Anexo F en digital.

En la figura 4.11 se perdió la señal por un lapso importante de tiempo, por este motivo no se ha ubicado la estación terrena, ya que WXtoing realiza una corrección de imagen desecharndo las partes que cuenten con demasiado ruido y mostrando la imagen lo más clara posible.

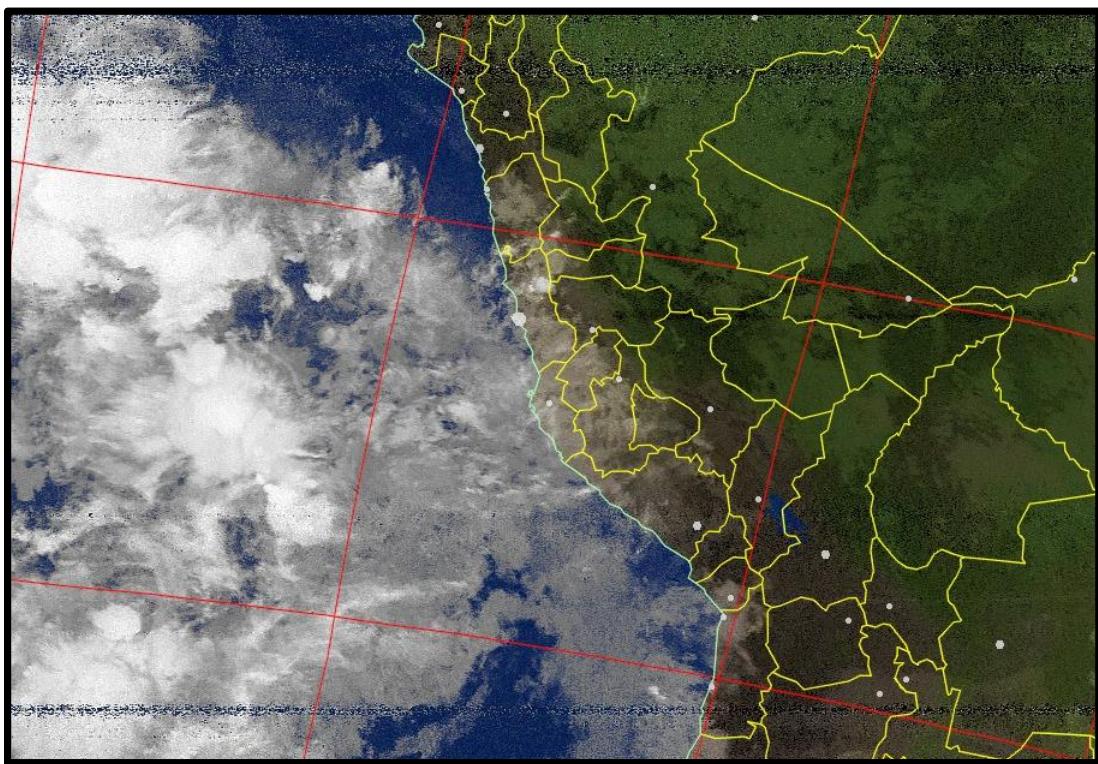


Figura 4.11: Imagen a color Captada por el satélite NOAA 18 el 14 de Enero de 2014 a las 15:48 Hora de Ecuador

En la figura 4.12 se encuentra definida la estación terrena con un signo más, exactamente con la posición de donde fueron tomados los datos.

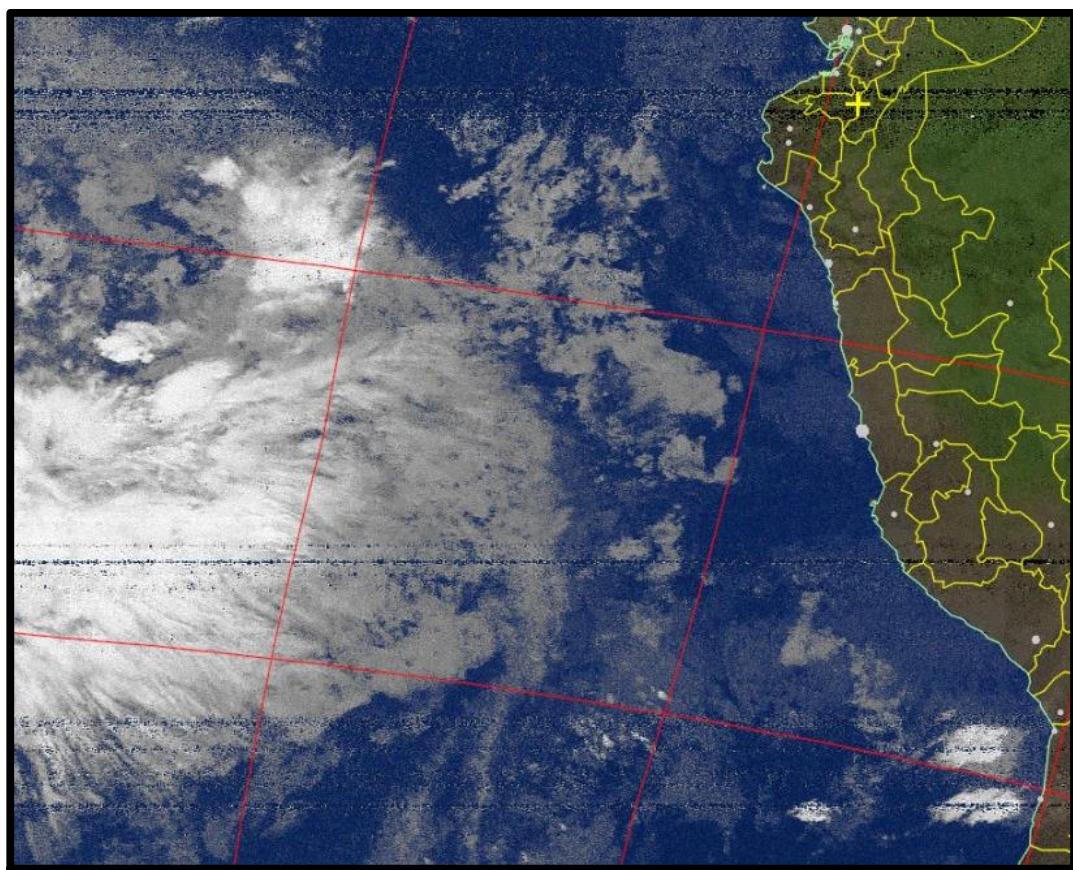


Figura 4.12: Imagen a color Captada por el NOAA 15 el 13 de Enero de 2014 a las 17:43 hora de Ecuador

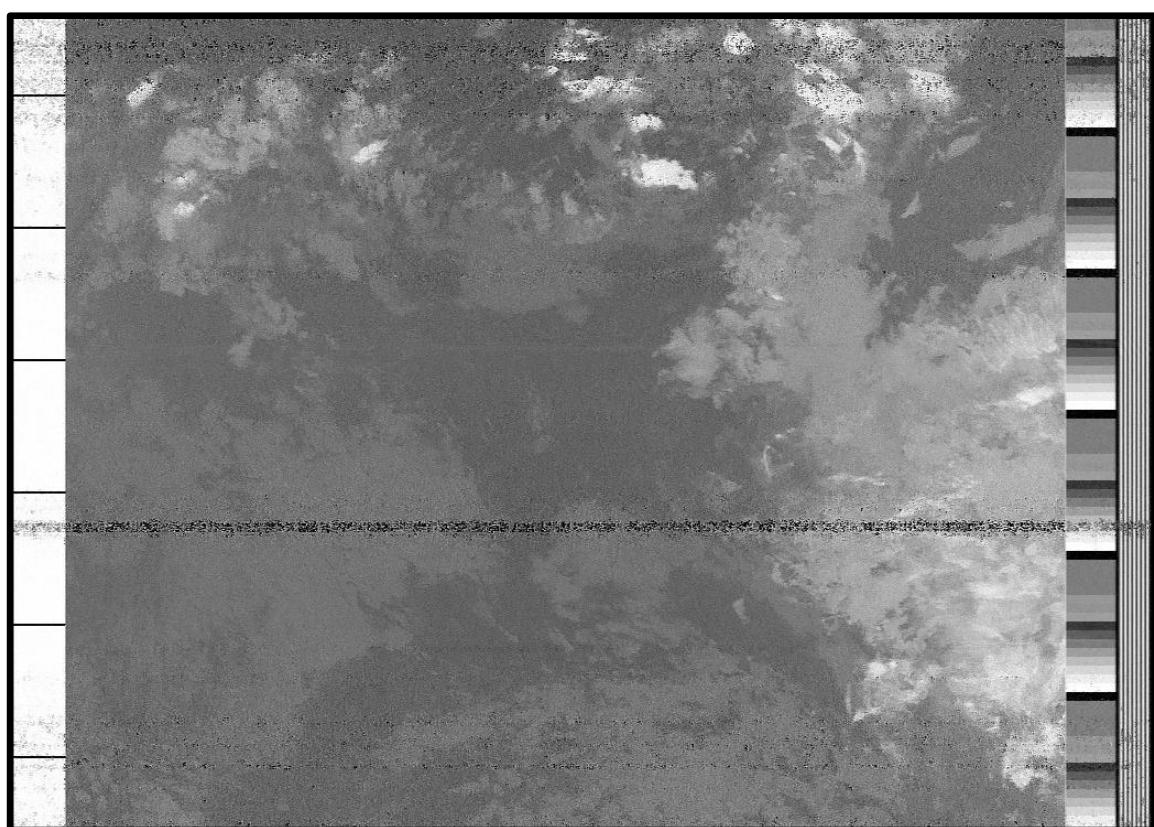


Figura 4.13: Imagen en escala de grises Captada por el NOAA 19 el 13 de Enero de 2014 a las 17:00 hora de Ecuador

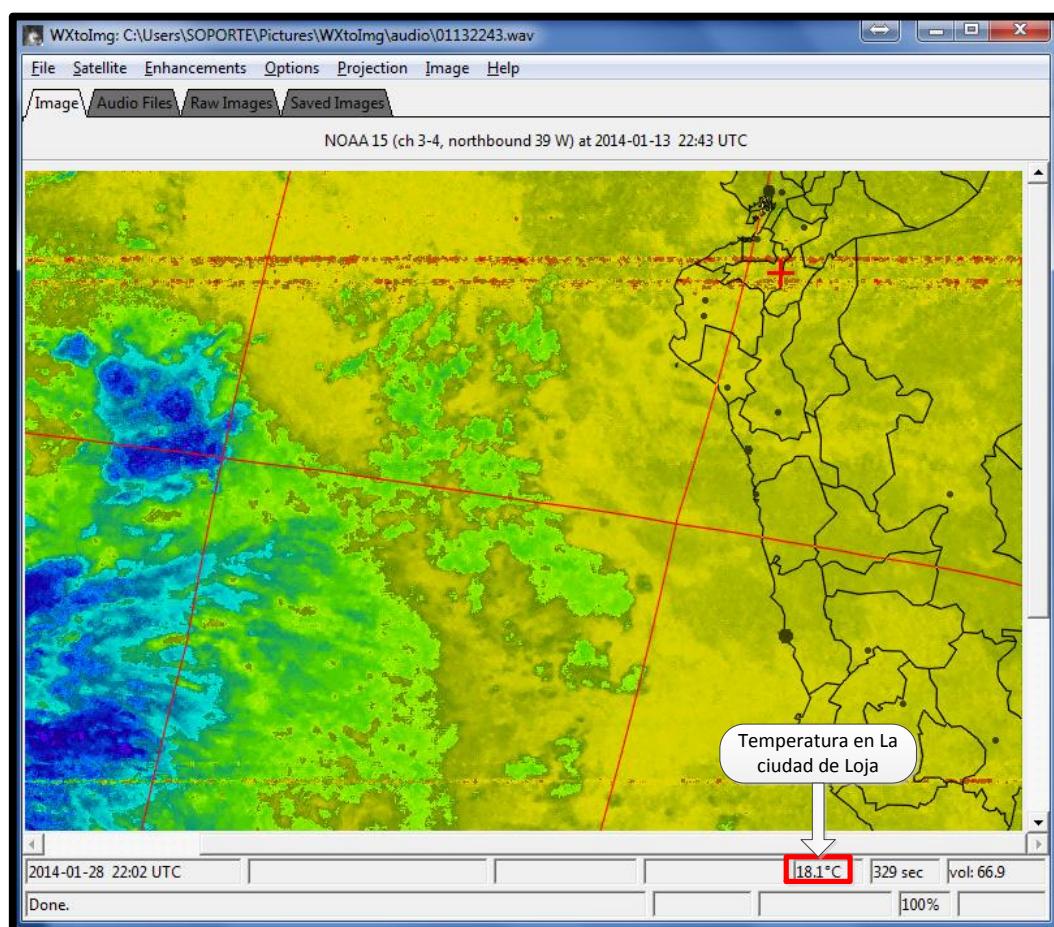


Figura 4.14: Imagen termal en la cual se muestra la temperatura de la ciudad de Loja

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cumplidos finalmente los objetivos propuestos y finalizada la investigación y ejecución de la presente tesis, se exponen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1. Conclusiones

1. Queda demostrado mediante la práctica y experimentación, que es posible la comunicación satelital mediante la plataforma USRP N210 y software de libre distribución
2. Se ha logrado con satisfacción la integración de varias tecnologías usadas en las telecomunicaciones modernas, con la finalidad de despertar el interés en la utilización de los satélites como solución a la necesidad de comunicación en sectores poco asequibles y escenarios de emergencia.
3. La comunicación a través de la plataforma USRP reduce la infraestructura especializada que utilizan las estaciones terrenas para posibilitar la comunicación satelital y la de codificación de imágenes meteorológicas tomadas por el satélite en foco con la misma.
4. El sistema de radiación seleccionado es la antena QFH posee menor ganancia con respecto a la antena arrow, pero nos da la facilidad que no debe ser guiado constantemente en dirección al satélite ya que es omnidireccional por lo tanto cubre aproximadamente todo el pase del satélite desde el momento que tiene línea de vista con el mismo.
5. El sistema de radiación usado para el presente trabajo ha dado excelentes resultados como se ha podido apreciar en las diferentes imágenes decodificadas, que han sido transmitidas por los satélites.
6. El pase del satélite dura al rededor de 15 minutos como máximo en los satélites NOAA debido a la altura en la que se encuentran, de todo este tiempo existe en la ciudad de Loja 10 minutos de línea de vista con el observador dependiendo de la elevación del satélite y de la ubicación de la estación terrena.
7. De las pruebas realizadas, el audio debe contar con 6 minutos de buena recepción del satélite, como mínimo, caso contrario las imágenes que presente no serán claras y los mapas saldrán distorsionados.

8. La programación a través de GNU Radio Companion facilitó la construcción del receptor homodino y la conexión con el USRP N210,
9. El uso de un sistema de posicionamiento satelital no es indispensable ya que en el presente proyecto se demostró que a través de una aplicación móvil se puede ubicar el satélite y el posicionamiento GPS, en el caso de contar con este sistema facilitaría la ubicación del satélite aumentando la precisión de direccionamiento, disminuyendo el efecto fading así como el ruido producido por perdidas de conectividad con el mismo.
10. La elevación mínima en el presente proyecto para que exista conexión con el satélite es de 15 grados debido a las elevaciones montañosas que rodean a la ciudad de Loja, existen casos en los que se puede receptar a menor elevación, dependiendo del AOS del satélite.
11. El diseño de un sistema de amplificación de potencia de bajo ruido para la recepción y consumo eficiente de energía eléctrica, constituye un requerimiento esencial para futuros adelantos en el prototipo de la estación de comunicaciones presentado en el presente proyecto.
12. En las imágenes obtenidas se puede apreciar claramente la ciudad de Loja que es donde se ubica la estación terrena, Ecuador, las islas galápagos, y partes de otros países, debido a la cobertura del satélite.
13. El ruido de las imágenes se debe a la pérdida de la señal del satélite.
14. De esta manera se apertura la investigación en el campo de las comunicaciones satelitales, dando paso a futuros proyectos los cuales podrían tener un mayor alcance, ya sea al punto de decodificar imágenes de satélites geoestacionarios, crear una red completa de rastreo de la superficie terrestre, acoplando cada uno de los satélites meteorológicos ubicados en la órbita LEO, o creando un sistema de predicción de eventos naturales que puedan ser detectados desde el espacio

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda diseñar, construir y probar en primer lugar el sistema de radiación, de esta manera si existe en lo posterior problemas por no captar la señal del satélite durante el pase o con demasiada interferencia se tendrá que analizar únicamente el sistema construido en software o conexión, pero se tendrá la certeza del buen funcionamiento de la antena,
2. Hay que evitar utilizar el sistema de recepción en lugares donde no exista línea de vista hacia el exterior, ya que en estos lugares no se dará por ningún motivo la conexión con el satélite.
3. Es recomendable realizar pruebas del correcto funcionamiento de la conexión del USRP; para lo cual existen ejemplos dentro de la instalación de GNU Radio.
4. Para un correcto funcionamiento del sistema operativo, es importante realizar un update y upgrade en el terminal de comandos de Ubuntu, con esto se actualizan las librerías de descarga para GNU Radio en caso de no estar completas; de esta forma se evita errores en la instalación del software de programación.
5. Es recomendable estudiar previamente cada parte de los componentes de recepción satelital para así reconocer cualquier error de funcionamiento que se produzca durante su ejecución y puesta en funcionamiento.
6. Si no se diseña el sistema de radiación propuesto en el presente trabajo es recomendable usar un sistema de radiación que sea ligero, portable, en caso de no contar con un equipo de posicionamiento, caso contrario se puede desarrollar cualquier otro sistema.
7. Se recomienda manipular con precaución los componentes del equipo USRP, con el fin de evitar una avería en el Hardware que sea irreparable y que termine por arruinar el funcionamiento del sistema.

Bibliografía

- [1] RADIO CLUB QRM BELGRANO *TALLER PRÁCTICO SOBRE SATÉLITES* 10-15 Jul. (2013),[en línea],disponible en:http://www.lu4aa.org.ar/taller_sats_29nov2008.htm 3
- [2] UBUNTU *Ubuntu: The world's most popular free OS* 10-20 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://www.ubuntu.com/> 3
- [3] GNU RADIO SOFTWARE DEFINIDO POR RADIO *GNU Radio - WikiStart - gnuradio.org* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/3>, 22
- [4] GNU RADIO COMPANION *GNU Radio - GNURadioCompanion - gnuradio.org* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/GNURadioCompanion> 3
- [5] ENCICLOPÉDIA BRITÁNICA *Telstar (communications satellite) – Encyclopedia Britannica* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/586427/Telstar> 6
- [6] TIROS *Missions - TIROS - NASA Science - Science@NASA* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://science.nasa.gov/missions/tiros/> IX, 9, 10
- [7] IIP DIGITAL *NASA celebra aniversario del lanzamiento de primer satélite meteorológico* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://iipdigital.usembassy.gov/st/spanish/article/2010/04/> 9, 10, 11
- [8] HACKMASTER00 *Funcionamiento básico de un sistema de recepción satelital* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://ftaecuadorclub.foroes.org/t789-funcionamiento-basico-de-un-sistema-de-recepcion-satelital> 15
- [9] ESTACIÓN TERRENA *Estación terrena* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://dspace.ups.edu/bitstream/123456789/201/3/Capitulo%2015.pdf>
- [10] THE RADIO AMATEUR SATELLITE CORPORATION 2004 *Una Introducción a los Satélites* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://www.amsat.org/amsat-new/information/faqs/Introduction.php>
- [11] FACUNDO A. FERNÁNDEZ *Satélites NOAA* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://147415.blogspot.com/2011/05/satelites-noaa.html> 15
- [12] THE RADIO AMATEUR SATELLITE CORPORATION 2004 *Satélites Meteorológicos* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad3/sat_mete.htm 15
- [13] ORBITRON *Orbitron - Satellite Tracking System* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:<http://www.stoff.p1/>
- [14] MIGUEL FERRANDO, ALEJANDRO VALERO. *Introducción. Parámetros de Antenas* 20-30 Jul. (2013),[en línea],disponible en:http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF

- [15] PENDER Y McILWAIN *Electrical Engineers' Handbook* 10-15 Sep. (2013), 16
- [16] CSETE. *Gqrx software defined radio receiver* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://sourceforge.net/projects/gqrx/> 17
- [17] ALEXANDER CSETE. *Gqrx Desing* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://gqrx.dk/doc/gqrx-design> IX, 17
- [18] ALEXANDER CSETE. *Funcube Dongle Pro* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.oz9aec.net/index.php/funcube-dongle> IX, IX, 18
- [19] EQ ENGINEERING *Radio definida por software* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.eqeng.com/site/en/node/38> 19
- [20] HÜSEYIN ARSLAN *Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems - 1ra Edición*, pp. 129-138 , (2007) IX, IX, 19, 21, 22
- [21] BRUCE A. FETTE *Cognitive radio technology - 1ra Edición*, pp. 1-17 ,(2006) 19
- [22] BURNS, PAUL *Software defined radio for 3G - 1ra Edición*, pp. 3-25 ,(2003) 19
- [23] TOMASI, WAYNE *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas - 5ta Edición*, pp. 864-901 ,(2005) 20, 22
- [24] MUROTA, K.& HIRADE, K. *GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony*, Communications, IEEE Transactions on, vol.29, no.7, pp.1044,1050,Jul 1981,[en línea], disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1095089&isnumber=23940>
- [25] CARLOS LÓPEZ SOBERANES *Satélites Artificiales* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: http://www.astronomos.org/articulistas/Polaris/2004/43-SATELITES_ARTIFICIALES.pdf 6
- [26] CARLOS ROSADO *Comunicaciones por satélite* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://uahc.files.wordpress.com/2014/01/comunicaciones-por-satelite.pdf> 6, 7
- [27] ANTONIO FERNÁNDEZ *Introducción a los satélites digitales de radio aficionados* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.ea.amsat.org/adigisat/digisats.html> 13, 15, 19
- [28] TIMEWAVE *PACKET TNC* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.timewave.com/products/pk96.html>
- [29] JONATAN PERIS RIVAS *Localización y seguimiento de satélites artificiales* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <file:///C:/Users/THLOJA/Downloads/Localizacion-y-seguimiento-de-satelites-artificiales.pdf> 7, 8
- [30] EA2CDY *Radio comunicaciones* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.ea2cdy.es/pagina-4.html> 11, 12, 13
- [31] CANAL DEL TIEMPO *Tiempo* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.tiempo.com/ram/2080/nuevo-satelite-meteorologico-polar-americano/> IX, 10
- [32] TECNO PARQUE *Electrónica Tecno Parque* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: http://electronicatecnoparque.blogspot.com/2010_11_01_archive.html IX, 14
- [33] AMSAT *Los satélites meteorológicos sistemas y descripción* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.aintel.bi.ehu.es/~amsat-ea/meteo/3/3.htm> 12, 13
- [34] GNU RADIO COMMUNITY *GNURADIO* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/EnEspanol> 22
- [35] PYTHON.ORG *Python* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://www.python.org/about/>
- [36] JUAN ANTONIO FERNANDEZ MONTANA *La antena arrow y los satélites* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en: <http://personales.ya.com/ea4cax/paginaea4cyq/arrow/ARROW.pdf>? 33

- [37] JOSÉ M. VÁZQUEZ FDEZ *Radi Club Jose Marti* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en:www.ad4c.us/Antennas 33
- [38] CADFEKO *Soluciones Electromagnéticas* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en:www.feko.info 35
- [39] JOSÉ HOBAICA ALVARADO *Soluciones Electromagnéticas* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en:<http://cnx.org/content/m41106/latest/?collection=col11361/latest>
- [40] CLAY LESTER *Guia del radio aficionado*, pp. 329-356, (2006).
- [41] M. MARTÍNEZ, L. GÓMEZ, A. J. SERRANO, J. VILA, J. GÓMEZ *Filtros Digitales* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en:http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/filtros-digitales/tema_3._diseno_de_filtros_fir.pdf
- [42] MRDESC *Tutorial introductorio para radios reconfigurables* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en:<http://sdrlatino.wordpress.com/2013/09/14/tutorial-introductorio-para-radios-reconfigurables-modulacion-fm>
- [43] ALEXANDRU CSETE *Experiments future progres* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en:<http://www.oz9aec.net/index.php/gnu-radio/gnu-radio-blog/477-noaa-apt-reception-with-gqrx-and-rtlsdr> 51
- [44] CENTRAL NORTH PUBLISHING LIMITED *WXTOING* 20-30 Jul. (2013), [en línea], disponible en:<http://www.wxtoimg.com/> 54
- [45] LEIF MADSEN, JIM VAN MEGGELEN, RUSSELL BRYANT *Asterisk: The Definitive Guide - 3ra Edición*, pp. 9 - 81, (2011)
- [46] JOSÉ M. HUIDOBRO & RAFAEL CONESA *Sistemas de Telefonía - 5ta Edición*, pp. 17-178, (2006).
- [47] TONG, Z.& ARIFIANTO M.S.& LIAU, C. F. *Wireless transmission using universal software radio peripheral; Space Science and Communication*, International Conference on , vol., no., pp.19,23, 26-27 Oct. (2009),[en línea],disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5352678&isnumber=5352625> 27
- [48] *USRP N210 datasheet*,[en línea]. Disponible en:http://www.ettus.com/content/files/kb/Ettus_Networked_Series.pdf IX, 27, 28
- [49] GEORGE FREDRIC EICHINGER *Cognitive Radio Universal Software Hardware*, [en línea]. Disponible en: <http://www.coe.neu.edu/Research/rcl/theses/eichinger-mstthesis2012.pdf> 28
- [50] *daughterboard WBX*,[en línea]. Disponible en:<https://www.ettus.com/product/details/WBX>
- [51] ETTUS RESEARCH *Installing the GPSDO kit for USRP N200 Series & E100 Series*, [en línea]. Disponible en: https://www.ettus.com/content/files/gpsdo-kit_4.pdf 30
- [52] MÄLARDALENS HÖGSKOLA *Evaluation of Software Defined Radio Platform with respect to implementation of 802.15.4 ZibBee*, [en línea]. Disponible en: <http://www.idt.mdh.se/utbildning/exjobb/files/TR1155.pdf> 30
- [53] ALLMETSAT *Los Satélites Meteorológicos*, [en línea]. Disponible en: <http://es.allmetsat.com/satellites-meteorologicos.php> 8, 9
- [54] VALLEJO CLIMENT, PAULINO *Los Satélites en la actualidad*, [en línea]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/84501714/Los-Satelites-en-la-Actualidad> 11
- [55] MANUEL SIERRA PÉREZ; BELÉN GALOCHA IRAGUEN; JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ JAMBRINA & MANUEL SIERRA CASTAÑER *Electrónica de Comunicaciones*, pp319-350, (2007) 14, 15
- [56] LIC.ALBERTO H.CELEMÍN *Meteorología Práctica*, [en línea]. Disponible en: <http://meteo-practica.blogspot.com/2011/08/vision-satelital-reciente-del-volcan.html> IX, 9

BIBLIOGRAFÍA

- [57] R.W.HOLLANDER *Resonant Quadrifilar Helical Antena*, [en línea]. Disponible en: <http://www.kunstmanen.net/WKfiles/Techdocs/RQHA/RQHA1999-1eng.pdf> 39
- [58] JCOPPENS *Cuadrifilar Helicoidal*, [en línea]. Disponible en: <http://jcoppens.com/ant/qfh/calc.php> x, x, 40, 41
- [59] AMSAT *Cuadrifilar Helicoidal*, [en línea]. Disponible en: <http://bipt106.bi.ehu.es/~amsat-ea/meteo/3/3.htm> VIII, 89
- [60] APT. PUBLICACIÓN DE NOAA *Introducción a la interpretación de las imágenes recibidas y a la predicción a corto plazo*, pp100 120, (2008) VIII, 89
- [61] M. RIGHINI. *I SATELLITI METEOROLOGICI. 2^a edición.* , pp220-290, (2007) VIII, 89

ANEXOS

ANEXO A

Instalación del driver UHD

El primer paso: previo a instalar GNU Radio es la instalación del software driver del equipo que posteriormente utilizaremos, en nuestro caso se trata del equipo USRP de marca ETTUS modelo N210.

Para poder gestionar la conexión del Hardware con los programas que vamos a utilizar, es necesario



Figura A.1: Equipo USRP N210

instalar el USRP Hard Drive UHD, que se trata de librerías que permiten el manejo de los recursos de este material.

A.1. Configuración de librerías

Para empezar dentro del sistema operativo Ubuntu, abrimos un Terminal de Linux usando la combinación de teclas Ctrl+Alt+t, donde ingresaremos como usuario root, para esto usamos los comandos “sudo su” que nos pedirá la clave del sistema, y luego usamos los siguientes comandos seguidos de un Enter:

```
# sudo apt-get install libboost-all-dev  
# libusb-1.0-0-dev python-cheetah doxygen python-docutils
```

Este procedimiento instalará las librerías necesarias para configurar y compilar los archivos del paquete UHD.

```

root@utpl-O-E-M:/home/utpl#
root@utpl-O-E-M:/home/utpl# sudo apt-get install libboost-all-dev libusb-1.0-0-dev
E: python-cheetah doxygen python-docutils
E: cannot find package python-cheetah
E: cannot find package python-docutils
Creado árbol de dependencias... Hecho
Leyendo la información de estado... Hecho
Los siguientes paquetes fueron instalados de forma automática y ya no
son necesarios:
  linux-headers-3.2.0-29 linux-headers-3.2.0-29-generic-pae
Utilizadas solo para la instalación y ya no se necesitan.
Se instalarán los siguientes paquetes extras:
  cpp-4.4 docutils-common docutils-doc doxygen-latex dh_g++-4.6 g++-4.6
  g++-4.6 libboost-atomic-dev libboost-chrono-dev libboost-datalink-dev
  libboost-filesystem-dev libboost-graph-dev libboost-graph_parallel-dev
  libboost-graph_parallel46-dev libboost-graph46-dev libboost-graph46-h
  libboost-math-dev libboost-math46-dev libboost-math46-h libboost-mpl-dev
  libboost-mpl46-dev libboost-mpl46-h libboost-program-options-dev
  libboost-program-options46-dev libboost-python-dev libboost-python46-dev
  libboost-python46-h libboost-regex-dev libboost-regex46-dev
  libboost-serialization-dev

```

Figura A.2: Instalación librerías UHD

A.2. Configuración del controlador

El siguiente paso es descargar los archivos de configuración del driver UHD que lo podemos hacer desde la siguiente página:<https://github.com/EttusResearch/UHD-Mirror/tags>

Aquí descargaremos un paquete comprimido en formato tar.gz, existen varias versiones de este software, desde versiones de hace un año hasta la última versión, debemos escoger una que se ajuste a nuestro fin, en mi caso utilizaré la versión UHD-3.4.1 puesto que esta versión es estable y ya se encuentra "parchada" de algunos errores de compilación. En fin, ya descargado el paquete lo descomprimimos en alguna ruta o directorio de fácil acceso, y luego desde el terminal accedemos a esta carpeta, los comandos a ejecutar son:

```

# cd <uhd-repo-path>
# cd host
# mkdir build
# cd build
# cmake ../
# make & make test
# sudo make install & sudo ldconfig

```

El primer comando “cd” permite entrar en la carpeta descomprimida que tendrá por nombre UHD-Mirror-release-003-004-001, en el caso de que la versión de UHD sea 3.4.1, una vez aquí escribimos el siguiente comando “cd host” que permite dar atributos de usuario a esta carpeta para luego crear un directorio llamado “build” para eso se usa “mkdir”, ya en este directorio podremos ejecutar el programa de creación “cmake”.

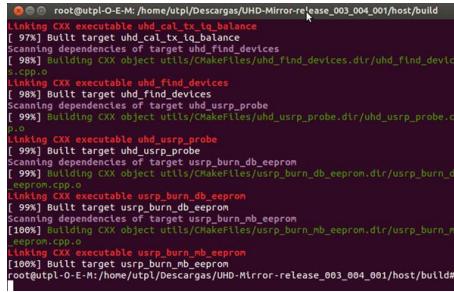
Nota: si la instalación de Ubuntu no contiene el comando de configuración cmake lo podemos instalar usando el comando:

```

# sudo apt-get update ->actualizará el repositorio de Ubuntu
# sudo apt-get install cmake ->instalará la librería cmake

```

Utilizando el comando “cmake” se crearán los archivos que contienen la configuración del programa y los ejecutables del mismo, esta configuración se tarda un poco dependiendo de la velocidad de nuestro equipo, por tanto hasta aquí estamos en condiciones para crear programas que puedan interactuar con el hardware USRP.



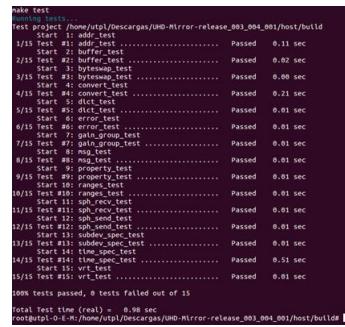
```

root@utpl-O-E-M:/home/utpl/Descargas/UHD-Mirror-release_003_004_001/host/build#
Linking CXX executable uhd_tx_rx_balance
[ 97%] Built target uhd_tx_rx_balance
Scanning dependencies of target uhd_find_devices
[ 98%] Building CXX object utils/CMakeFiles/uhd_find_devices.dir/uhd_find_device.o
Linking CXX executable uhd_find_devices
[ 99%] Built target uhd_find_devices
Scanning dependencies of target uhd_usrp_probe
[ 99%] Building CXX object utils/CMakeFiles/uhd_usrp_probe.dir/uhd_usrp_probe.cpp.o
Linking CXX executable uhd_usrp_probe
[ 99%] Built target uhd_usrp_probe
Scanning dependencies of target usrp_burn_db_eeprom
[ 99%] Building CXX object utils/CMakeFiles/usrp_burn_db_eeprom.dir/usrp_burn_db_eeprom.cpp.o
Linking CXX executable usrp_burn_db_eeprom
[ 99%] Built target usrp_burn_db_eeprom
Scanning dependencies of target usrp_burn_mb_eeprom
[100%] Building CXX object utils/CMakeFiles/usrp_burn_mb_eeprom.dir/usrp_burn_mb_eeprom.cpp.o
Linking CXX executable usrp_burn_mb_eeprom
[100%] Built target usrp_burn_mb_eeprom
root@utpl-O-E-M:/home/utpl/Descargas/UHD-Mirror-release_003_004_001/host/build#

```

Figura A.3: Creación de archivos de configuración

Así mismo la instalación por consola nos permite realizar una prueba de nuestra instalación que la podemos ejecutar usando el comando “make test”, esto nos asegura que nuestros procesos están listos para ser ejecutados cuando se los requiera.



```

make test
Running tests...
test /home/utpl/Descargas/UHD-Mirror-release_003_004_001/host/build
  start 0: addr_test ..... Passed  0.01 sec
  1/15 Test #1: addr_test ..... Passed  0.11 sec
  2/15 Test #2: buffer_test ..... Passed  0.02 sec
  3/15 Test #3: byteswap_test ..... Passed  0.00 sec
  4/15 Test #4: convert_test ..... Passed  0.21 sec
  5/15 Test #5: convert_endian_test ..... Passed  0.01 sec
  6/15 Test #6: error_test ..... Passed  0.01 sec
  7/15 Test #7: error_group_test ..... Passed  0.01 sec
  8/15 Test #8: gain_group_test ..... Passed  0.01 sec
  9/15 Test #9: msg_test ..... Passed  0.01 sec
  10/15 Test #10: property_test ..... Passed  0.01 sec
  11/15 Test #11: ranges_test ..... Passed  0.01 sec
  12/15 Test #12: sph_recv_test ..... Passed  0.01 sec
  13/15 Test #13: sph_send_test ..... Passed  0.01 sec
  14/15 Test #14: sph_send_spec_test ..... Passed  0.01 sec
  15/15 Test #15: subdev_spec_test ..... Passed  0.51 sec
  16/15 Test #16: time_spec_test ..... Passed  0.01 sec
  17/15 Test #17: vrt_test ..... Passed  0.01 sec
15/15 Tests passed, 0 tests failed out of 15
Total test time (real) =  0.98 sec
root@utpl-O-E-M:/home/utpl/Descargas/UHD-Mirror-release_003_004_001/host/build#

```

Figura A.4: Instalación completa UHD

Por último ejecutamos el comando “ldconfig” que creara los vínculos en memoria cache para las librerías recientemente compartidas en el directorio de instalación en la línea de comandos, es decir, que podemos ejecutar estas librerías cuando las llamemos desde un programa que contenga el directorio del driver UHD como ruta de comandos, como por ejemplo el proceso transceiver del sistema OpenBTS.

ANEXO B

Proceso de Conexión y Ejecución

B.1. Conexión del equipo USRP N210

Los siguientes son los pasos recomendados para realizar una correcta conexión del equipo USRP con el computador, y los dispositivos usados en el sistema.

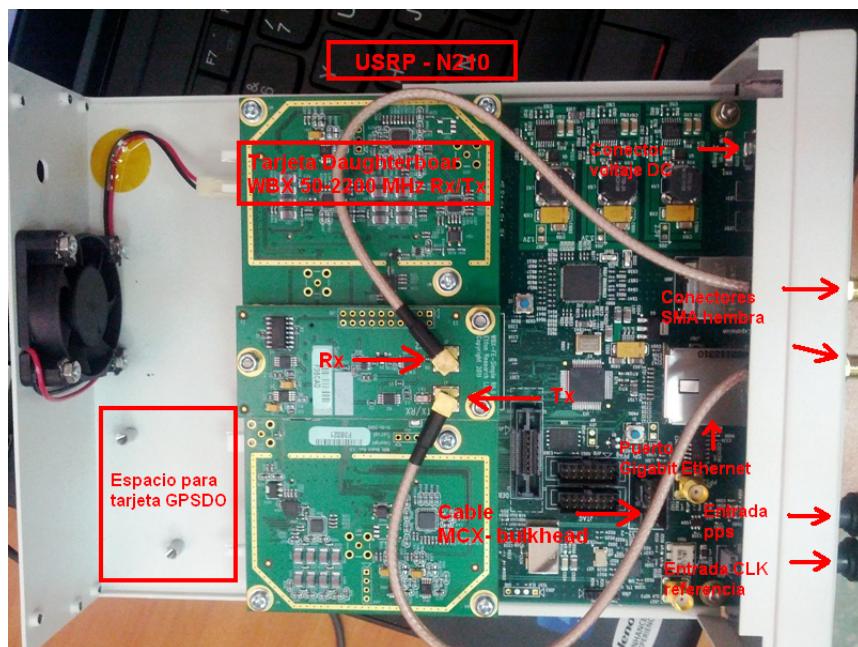


Figura B.1: Hardware de equipo N210

1. Preparar el USRP N210, conectamos la tarjeta (daugtherboard) WBX con la motherboard FPGA utilizando las ranuras de energía, y puenteamos mediante los cables MCX los conectores de salida y entrada RF de la daughterboard con los conectores bnc de la parte frontal del N210 como indica la figura B.1.
2. Luego podemos realizar la conexión del módulo GPSDO que puede servir como un reloj de referencia de 10 MHz, para realizar esta conexión se coloca el módulo en el espacio indicado en la figura B.2 y se procede a conectar los respectivos cables tanto de alimentación como comunicación.

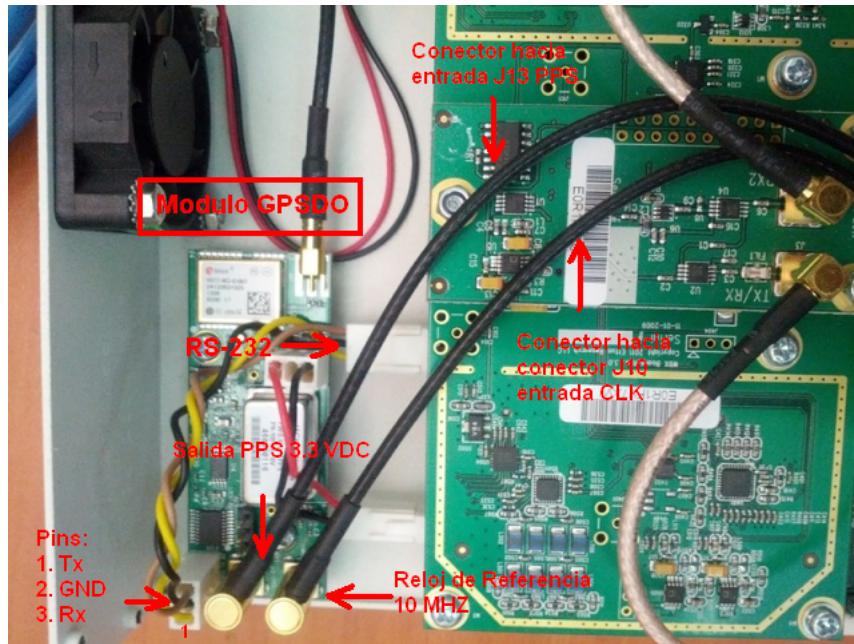


Figura B.2: Módulo GPSDO

3. Integraremos dos antenas VERT900 a los conectores rf1 y rf2 del radiotransceiver.
4. Energizamos el equipo USRP desde una fuente de voltaje continuo de 9 Voltios - 3 Amperios. Podemos utilizar el adaptador de 110 voltios alternos a voltaje continuo que se incluye en el paquete ETTUS.
5. Luego lo conectamos mediante el cable Ethernet el interfaz del computador Personal PC, con el interfaz de red que posee el USRP.
6. Revisamos las conexiones Ethernet, de Internet y de Bluetooth presentes en el computador, configurando cada interfaz con los pasos anteriormente descritos. Lo que indica que la conexión básica del sistema esta lista y que podremos arrancar con las pruebas del receptor diseñado en software.

ANEXO C

Archivo en python para ejecutar

```
#!/usr/bin/env python

from datetime import datetime
from gnuradio import audio
from gnuradio import blks2
from gnuradio import eng_notation
from gnuradio import gr
from gnuradio import uhd
from gnuradio import window
from gnuradio.eng_option import eng_option
from gnuradio.gr import firdes
from gnuradio.wxgui import fftsink2
from gnuradio.wxgui import forms
from grc_gnuradio import wxgui as grc_wxgui
from optparse import OptionParser
import time
import wx

class apt_rec_v01(grc_wxgui.top_block_gui):

    def __init__(self):
        grc_wxgui.top_block_gui.__init__(self, title="NOAA APT")
        _icon_path = "/usr/share/icons/hicolor/32x32/apps/gnuradio-grc.png"
        self.SetIcon(wx.Icon(_icon_path, wx.BITMAP_TYPE_ANY))

        #####
        # Variables
        #####
        self.usrp_freq = usrp_freq = 137450000
        self.trans = trans = 15
        self.samp_rate = samp_rate = 64e6/256
        self.prefix = prefix = "/home/jeff/Descargas/gnuradio/"
        self.offset_fine = offset_fine = 0
        self.offset_coarse = offset_coarse = 50000
        self.cutoff = cutoff = 35
        self.xlate_filter_taps = xlate_filter_taps = firdes.low_pass(1, samp_rate, cutoff*1000, trans*1000)
        self.rx_freq = rx_freq = usrp_freq+(offset_coarse+offset_fine)
        self.rf_gain = rf_gain = 20
        self.recfile = recfile = prefix + datetime.now().strftime("%Y.%m.%d.%H.%M.%S") + ".dat"
        self.af_gain = af_gain = 0.7

        #####
        # Blocks
        #####
```

```
#####
self._usrp_freq_text_box = forms.text_box(
parent=self.GetWin(),
value=self.usrp_freq,
callback=self.set_usrp_freq,
label="USRP",
converter=forms.float_converter(),
)
self.GridAdd(self._usrp_freq_text_box, 5, 1, 1, 1)
_rf_gain_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._rf_gain_text_box = forms.text_box(
parent=self.GetWin(),
sizer=_rf_gain_sizer,
value=self.rf_gain,
callback=self.set_rf_gain,
label="RF",
converter=forms.float_converter(),
proportion=0,
)
self._rf_gain_slider = forms.slider(
parent=self.GetWin(),
sizer=_rf_gain_sizer,
value=self.rf_gain,
callback=self.set_rf_gain,
minimum=0,
maximum=50,
num_steps=50,
style=wx.SL_HORIZONTAL,
cast=float,
proportion=1,
)
self.GridAdd(_rf_gain_sizer, 7, 1, 1, 1)
_offset_fine_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._offset_fine_text_box = forms.text_box(
parent=self.GetWin(),
sizer=_offset_fine_sizer,
value=self.offset_fine,
callback=self.set_offset_fine,
label="Fine tune",
converter=forms.float_converter(),
proportion=0,
)
self._offset_fine_slider = forms.slider(
parent=self.GetWin(),
sizer=_offset_fine_sizer,
value=self.offset_fine,
callback=self.set_offset_fine,
minimum=-1000,
maximum=1000,
num_steps=400,
style=wx.SL_HORIZONTAL,
cast=float,
proportion=1,
)
self.GridAdd(_offset_fine_sizer, 6, 0, 1, 2)
_offset_coarse_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._offset_coarse_text_box = forms.text_box(
parent=self.GetWin(),
sizer=_offset_coarse_sizer,
value=self.offset_coarse,
```

```
callback=self.set_offset_coarse,
label="Coarse tune",
converter=forms.float_converter(),
proportion=0,
)
self._offset_coarse_slider = forms.slider(
parent=self.GetWin(),
sizer=_offset_coarse_sizer,
value=self.offset_coarse,
callback=self.set_offset_coarse,
minimum=-120000,
maximum=120000,
num_steps=960,
style=wx.SL_HORIZONTAL,
cast=float,
proportion=1,
)
self.GridAdd(_offset_coarse_sizer, 6, 2, 1, 2)
_af_gain_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._af_gain_text_box = forms.text_box(
parent=self.GetWin(),
sizer=_af_gain_sizer,
value=self.af_gain,
callback=self.set_af_gain,
label="VOL",
converter=forms.float_converter(),
proportion=0,
)
self._af_gain_slider = forms.slider(
parent=self.GetWin(),
sizer=_af_gain_sizer,
value=self.af_gain,
callback=self.set_af_gain,
minimum=0,
maximum=5,
num_steps=500,
style=wx.SL_HORIZONTAL,
cast=float,
proportion=1,
)
self.GridAdd(_af_gain_sizer, 8, 1, 1, 1)
self.xlating_fir_filter = gr.freq_xlating_fir_filter_ccc(1, (xlate_filter_taps), -(offset_coarse+
self.uhd_usrp_source_0 = uhd.usrp_source(
device_addr="",
stream_args=uhd.stream_args(
cpu_format="fc32",
channels=range(1),
),
)
self.uhd_usrp_source_0.set_subdev_spec("A:0", 0)
self.uhd_usrp_source_0.set_samp_rate(samp_rate)
self.uhd_usrp_source_0.set_center_freq(usrp_freq, 0)
self.uhd_usrp_source_0.set_gain(rf_gain, 0)
self.uhd_usrp_source_0.set_antenna("TX/RX", 0)
_trans_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._trans_text_box = forms.text_box(
parent=self.GetWin(),
sizer=_trans_sizer,
value=self.trans,
callback=self.set_trans,
```

```
label="Filter trans (kHz)",
converter=forms.float_converter(),
proportion=0,
)
self._trans_slider = forms.slider(
parent=self.GetWin(),
sizer=_trans_sizer,
value=self.trans,
callback=self.set_trans,
minimum=10,
maximum=40,
num_steps=300,
style=wx.SL_HORIZONTAL,
cast=float,
proportion=1,
)
self.GridAdd(_trans_sizer, 8, 0, 1, 1)
self._rx_freq_static_text = forms.static_text(
parent=self.GetWin(),
value=self.rx_freq,
callback=self.set_rx_freq,
label="Receive",
converter=forms.float_converter(),
)
self.GridAdd(self._rx_freq_static_text, 5, 3, 1, 1)
self.gr_multiply_const_vxx_1 = gr.multiply_const_vff((af_gain, ))
self.gr_file_sink_0 = gr.file_sink(gr.sizeof_gr_complex*1, recfile)
self.gr_file_sink_0.set_unbuffered(False)
self.fftsink = fftsink2.fft_sink_c(
self.GetWin(),
baseband_freq=usrp_freq,
y_per_div=10,
y_divs=10,
ref_level=0,
ref_scale=13490.0,
sample_rate=samp_rate,
fft_size=512,
fft_rate=15,
average=True,
avg_alpha=0.5,
title="",
peak_hold=False,
size=(800,300),
)
self.GridAdd(self.fftsink.win, 0, 0, 5, 4)
_cutoff_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
self._cutoff_text_box = forms.text_box(
parent=self.GetWin(),
sizer=_cutoff_sizer,
value=self.cutoff,
callback=self.set_cutoff,
label="Filter cutoff (kHz)",
converter=forms.float_converter(),
proportion=0,
)
self._cutoff_slider = forms.slider(
parent=self.GetWin(),
sizer=_cutoff_sizer,
value=self.cutoff,
callback=self.set_cutoff,
```

```

minimum=20,
maximum=60,
num_steps=800,
style=wx.SL_HORIZONTAL,
cast=float,
proportion=1,
)
self.GridAdd(_cutoff_sizer, 7, 0, 1, 1)
self.blks2_wfm_rcv_0 = blks2.wfm_rcv(
quad_rate=samp_rate,
audio_decimation=5,
)
self.blks2_rational_resampler_xxx_1 = blks2.rational_resampler_fff(
interpolation=441,
decimation=500,
taps=None,
fractional_bw=None,
)
self.audio_sink_0 = audio.sink(44100, "", True)

#####
# Connections
#####
self.connect((self.xlating_fir_filter, 0), (self.blks2_wfm_rcv_0, 0))
self.connect((self.blks2_wfm_rcv_0, 0), (self.blks2_rational_resampler_xxx_1, 0))
self.connect((self.gr_multiply_const_vxx_1, 0), (self.audio_sink_0, 1))
self.connect((self.gr_multiply_const_vxx_1, 0), (self.audio_sink_0, 0))
self.connect((self.blks2_rational_resampler_xxx_1, 0), (self.gr_multiply_const_vxx_1, 0))
self.connect((self.uhd_usrp_source_0, 0), (self.xlating_fir_filter, 0))
self.connect((self.uhd_usrp_source_0, 0), (self.fftsink, 0))
self.connect((self.uhd_usrp_source_0, 0), (self.gr_file_sink_0, 0))

def get_usrp_freq(self):
    return self.usrp_freq

def set_usrp_freq(self, usrp_freq):
    self.usrp_freq = usrp_freq
    self.set_rx_freq(self.usrp_freq+(self.offset_coarse+self.offset_fine))
    self._usrp_freq_text_box.set_value(self.usrp_freq)
    self.fftsink.set_baseband_freq(self.usrp_freq)
    self.uhd_usrp_source_0.set_center_freq(self.usrp_freq, 0)

def get_trans(self):
    return self.trans

def set_trans(self, trans):
    self.trans = trans
    self._trans_slider.set_value(self.trans)
    self._trans_text_box.set_value(self.trans)
    self.set_xlate_filter_taps(firdes.low_pass(1, self.samp_rate, self.cutoff*1000, self.trans*1000, 1))

def get_samp_rate(self):
    return self.samp_rate

def set_samp_rate(self, samp_rate):
    self.samp_rate = samp_rate
    self.set_xlate_filter_taps(firdes.low_pass(1, self.samp_rate, self.cutoff*1000, self.trans*1000, 1))
    self.fftsink.set_sample_rate(self.samp_rate)
    self.uhd_usrp_source_0.set_samp_rate(self.samp_rate)

```

```
def get_prefix(self):
    return self.prefix

def set_prefix(self, prefix):
    self.prefix = prefix
    self.set_recfile(self.prefix + datetime.now().strftime("%Y.%m.%d.%H.%M.%S") + ".dat")

def get_offset_fine(self):
    return self.offset_fine

def set_offset_fine(self, offset_fine):
    self.offset_fine = offset_fine
    self._offset_fine_slider.set_value(self.offset_fine)
    self._offset_fine_text_box.set_value(self.offset_fine)
    self.set_rx_freq(self.usrp_freq+(self.offset_coarse+self.offset_fine))
    self.xlating_fir_filter.set_center_freq(-(self.offset_coarse+self.offset_fine))

def get_offset_coarse(self):
    return self.offset_coarse

def set_offset_coarse(self, offset_coarse):
    self.offset_coarse = offset_coarse
    self.set_rx_freq(self.usrp_freq+(self.offset_coarse+self.offset_fine))
    self.xlating_fir_filter.set_center_freq(-(self.offset_coarse+self.offset_fine))
    self._offset_coarse_slider.set_value(self.offset_coarse)
    self._offset_coarse_text_box.set_value(self.offset_coarse)

def get_cutoff(self):
    return self.cutoff

def set_cutoff(self, cutoff):
    self.cutoff = cutoff
    self._cutoff_slider.set_value(self.cutoff)
    self._cutoff_text_box.set_value(self.cutoff)
    self.set_xlate_filter_taps(firdes.low_pass(1, self.samp_rate, self.cutoff*1000, self.trans*1000, 1))

def get_xlate_filter_taps(self):
    return self.xlate_filter_taps

def set_xlate_filter_taps(self, xlate_filter_taps):
    self.xlate_filter_taps = xlate_filter_taps
    self.xlating_fir_filter.set_taps((self.xlate_filter_taps))

def get_rx_freq(self):
    return self.rx_freq

def set_rx_freq(self, rx_freq):
    self.rx_freq = rx_freq
    self._rx_freq_static_text.set_value(self.rx_freq)

def get_rf_gain(self):
    return self.rf_gain

def set_rf_gain(self, rf_gain):
    self.rf_gain = rf_gain
    self._rf_gain_slider.set_value(self.rf_gain)
    self._rf_gain_text_box.set_value(self.rf_gain)
    self.uhd_usrp_source_0.set_gain(self.rf_gain, 0)
```

```
def get_recfile(self):
    return self.recfile

def set_recfile(self, recfile):
    self.recfile = recfile
    self.gr_file_sink_0.open(self.recfile)

def get_af_gain(self):
    return self.af_gain

def set_af_gain(self, af_gain):
    self.af_gain = af_gain
    self.gr_multiply_const_vxx_1.set_k((self.af_gain, ))
    self._af_gain_slider.set_value(self.af_gain)
    self._af_gain_text_box.set_value(self.af_gain)

if __name__ == '__main__':
    parser = OptionParser(option_class=eng_option, usage="%prog: [options]")
    (options, args) = parser.parse_args()
    tb = apt_rec_v01()
    tb.Run(True)
```

ANEXO D

Pases de los satélites NOAA

D.1. Pases del 30 de Enero 2014 al 06 de Febrero 2014

Satellite passes for Loja, Ecuador ($3^{\circ}59'S$ $79^{\circ}12'W$)
while above 2.0 degrees with a maximum elevation (MEL) over 20.0 degrees
from 2014-01-30 13:15:20 Hora est. Pacífico, Sudamérica (2014-01-30 18:15:20 UTC).

2014-01-30 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	N	23E	67W	01-30 13:06:07	18:06:07	12:58	137.1000
NOAA 19	N	26W	91W	01-30 14:46:27	19:46:27	13:16	137.1000
NOAA 18	N	44W	86W	01-30 16:29:39	21:29:39	14:09	137.9125
NOAA 15	N	65W	82W	01-30 17:24:49	22:24:49	14:07	137.6200

2014-01-31 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	89E	79W	01-31 01:52:15	06:52:15	14:34	137.1000
NOAA 18	S	50E	74W	01-31 03:35:55	08:35:55	14:22	137.9125
NOAA 15	S	28E	69W	01-31 04:25:37	09:25:37	12:51	137.6200
NOAA 19	N	34W	88W	01-31 14:35:16	19:35:16	13:52	137.1000
NOAA 18	N	61W	83W	01-31 16:18:18	21:18:18	14:28	137.9125
NOAA 15	N	65E	76W	01-31 17:00:23	22:00:23	14:08	137.6200

2014-02-01 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	67E	76W	02-01 01:41:24	06:41:24	14:29	137.1000
NOAA 18	S	37E	71W	02-01 03:24:55	08:24:55	13:58	137.9125
NOAA 15	S	36W	87W	02-01 05:40:29	10:40:29	13:23	137.6200
NOAA 19	N	45W	86W	02-01 14:24:09	19:24:09	14:20	137.1000
NOAA 18	N	82W	80W	02-01 16:07:02	21:07:02	14:36	137.9125
NOAA 15	N	33E	70W	02-01 16:36:21	21:36:21	13:21	137.6200

2014-02-02 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	50E	74W	02-02 01:30:37	06:30:37	14:16	137.1000
NOAA 18	S	28E	68W	02-02 03:14:02	08:14:02	13:21	137.9125
NOAA 18	S	21W	93W	02-02 04:54:50	09:54:50	12:37	137.9125
NOAA 15	S	73W	81W	02-02 05:15:44	10:15:44	14:00	137.6200
NOAA 19	N	61W	83W	02-02 14:13:07	19:13:07	14:36	137.1000
NOAA 18	N	75E	77W	02-02 15:55:50	20:55:50	14:35	137.9125
NOAA 15	N	31W	89W	02-02 17:51:32	22:51:32	13:16	137.6200

2014-02-03 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq

D.1 Pases del 30 de Enero 2014 al 06 de Febrero 20014

NOAA 19	S	37E	71W	02-03 01:19:55	06:19:55	13:53	137.1000
NOAA 18	S	21E	66W	02-03 03:03:15	08:03:15	12:33	137.9125
NOAA 18	S	28W	90W	02-03 04:43:15	09:43:15	13:24	137.9125
NOAA 15	S	57E	75W	02-03 04:51:22	09:51:22	13:53	137.6200
NOAA 19	N	81W	80W	02-03 14:02:10	19:02:10	14:44	137.1000
NOAA 18	N	55E	75W	02-03 15:44:43	20:44:43	14:24	137.9125
NOAA 15	N	61W	83W	02-03 17:26:43	22:26:43	14:06	137.6200

2014-02-04 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	28E	69W	02-04 01:09:18	06:09:18	13:20	137.1000
NOAA 19	S	20W	93W	02-04 02:50:13	07:50:13	12:28	137.1000
NOAA 15	S	29E	69W	02-04 04:27:26	09:27:26	12:57	137.6200
NOAA 18	S	37W	87W	02-04 04:31:45	09:31:45	13:59	137.9125
NOAA 19	N	77E	78W	02-04 13:51:16	18:51:16	14:43	137.1000
NOAA 18	N	40E	72W	02-04 15:33:40	20:33:40	14:03	137.9125
NOAA 15	N	68E	77W	02-04 17:02:15	22:02:15	14:09	137.6200

2014-02-05 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	21E	66W	02-05 00:58:48	05:58:48	12:33	137.1000
NOAA 19	S	27W	90W	02-05 02:38:55	07:38:55	13:16	137.1000
NOAA 18	S	51W	84W	02-05 04:20:20	09:20:20	14:22	137.9125
NOAA 15	S	35W	87W	02-05 05:42:24	10:42:24	13:18	137.6200
NOAA 19	N	57E	75W	02-05 13:40:26	18:40:26	14:33	137.1000
NOAA 18	N	30E	69W	02-05 15:22:43	20:22:43	13:33	137.9125
NOAA 15	N	34E	71W	02-05 16:38:11	21:38:11	13:28	137.6200

2014-02-06 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	36W	88W	02-06 02:27:43	07:27:43	13:50	137.1000
NOAA 18	S	69W	82W	02-06 04:09:01	09:09:01	14:35	137.9125

ANEXO E

Pre Requisitos para instalar GNU Radio

Los pre-requisitos se los instala como super usuario en una terminal de Ubuntu

- **sudo.**- Mediante este comando damos privilegios de administrador a la acción que vamos a ejecutar.
- **apt-get.**- Es la herramienta usada por el sistema operativo para gestionar los paquetes disponibles en los repositorios.
- sudo apt-get install libfontconfig1-dev
- sudo apt-get install libxrender-dev
- sudo apt-get install libpulse-dev
- sudo apt-get install swig
- sudo apt-get install g++
- sudo apt-get install automake
- sudo apt-get install autoconf
- sudo apt-get install libtool
- sudo apt-get install python-dev
- sudo apt-get install libfftw3-dev
- sudo apt-get install libcppunit-dev
- sudo apt-get install libboost1.48-all-dev
- sudo apt-get install libusb-dev
- sudo apt-get install libusb-1.0-0-dev

-
- sudo apt-get install fort77
 - sudo apt-get install libsdl1.2-dev
 - sudo apt-get install python-wxgtk2.8
 - sudo apt-get install git-core
 - sudo apt-get install libqt4-dev
 - sudo apt-get install libqt4-dev
 - sudo apt-get install python-numpy
 - sudo apt-get install ccache
 - sudo apt-get install python-opengl
 - sudo apt-get install libgsl0-dev
 - sudo apt-get install python-cheetah
 - sudo apt-get install python-lxml
 - sudo apt-get install doxygen
 - sudo apt-get install qt4-dev-tools
 - sudo apt-get install libusb-1.0-0-dev
 - sudo apt-get install libqwt5-qt4-dev
 - sudo apt-get install libqwtplot3d-qt4-dev
 - sudo apt-get install pyqt4-dev-tools
 - sudo apt-get install python-qwt5-qt4
 - sudo apt-get install cmake
 - sudo apt-get install git-core
 - sudo apt-get install wget
 - sudo apt-get install libxi-dev
 - sudo apt-get install python-docutils
 - sudo apt-get install gtk2-engines-pixbuf
 - sudo apt-get install r-base-dev
 - sudo apt-get install python-tk

-
- sudo apt-get install liborc-0.4-0
 - sudo apt-get install liborc-0.4-dev
 - sudo apt-get install libasound2-dev
 - sudo apt-get install python-gtk2

ANEXO F

Imágenes obtenidas del los satélites NOAA

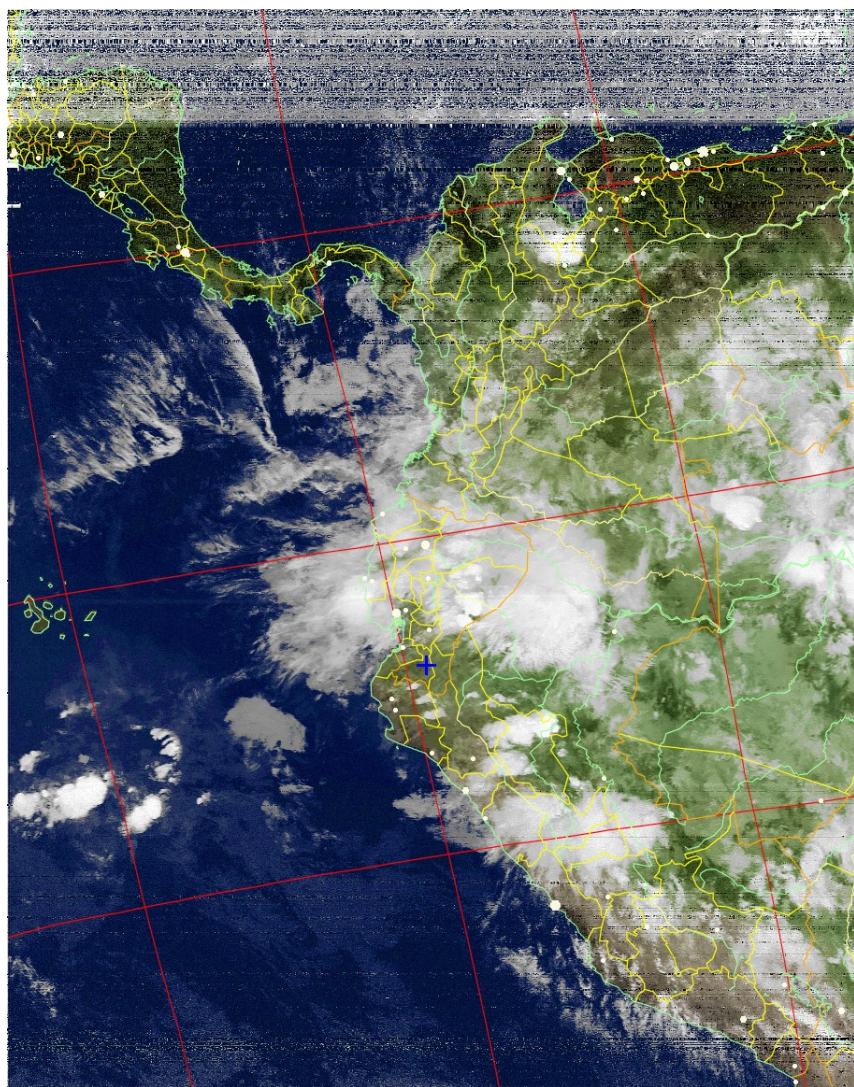


Figura F.1: Imagen satélite NOAA 19 27/03/2014

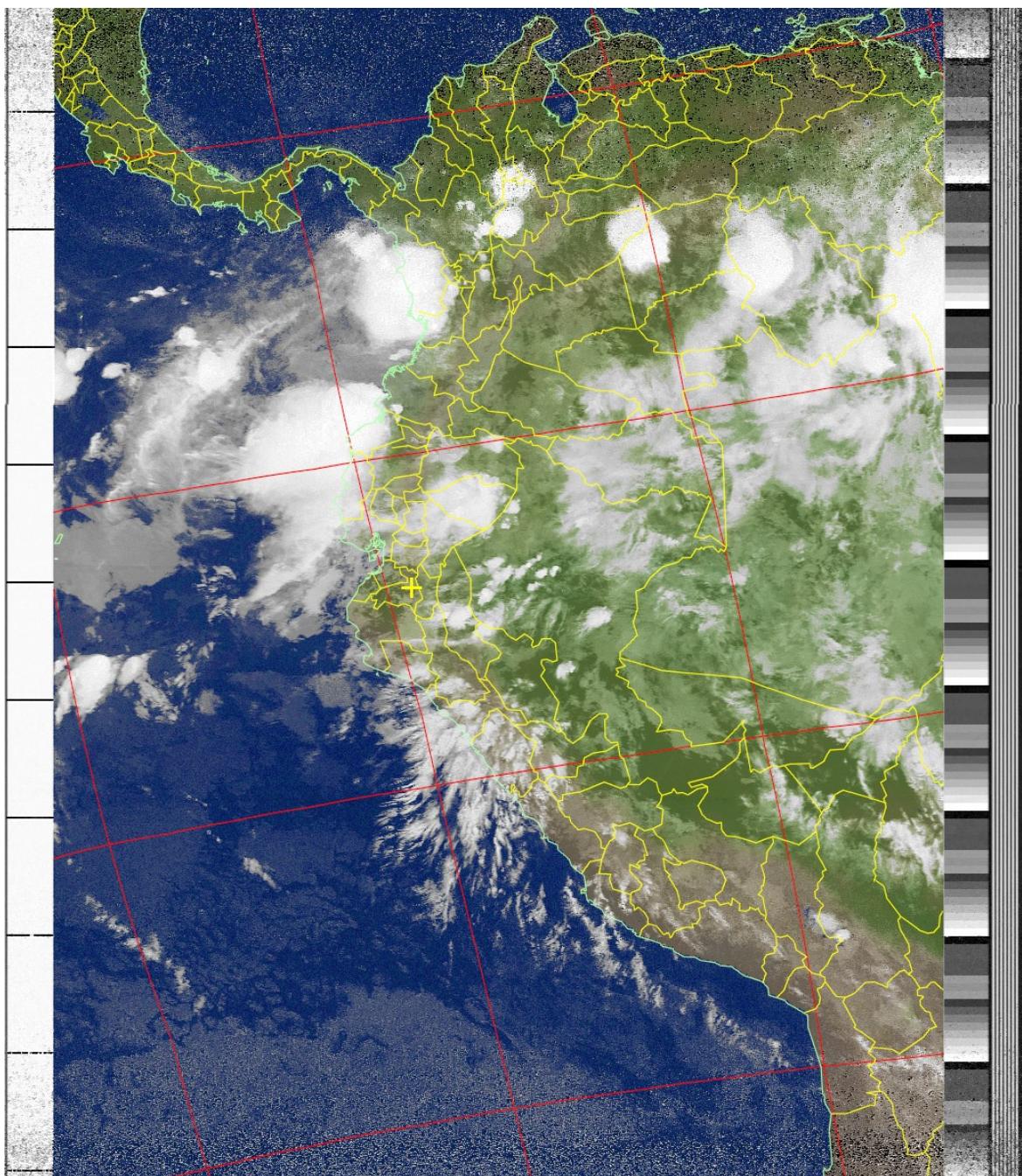


Figura F.2: Imagen satélite NOAA 18 24/03/2014

ANEXO G

CALCULO DE ENLACE

G.1. Parámetros del Enlace según [59] [60] [61]

- Estabilidad de la emisión +/- 3 Khz.
- Desplazamiento Doppler máximo: +/- 3 Khz.
- Ancho de banda de la emisión: +/- 17 Khz.
- Potencia EIRP: 36.7 dBm.
- Potencia de transmisión 5 Watts
- Polarización de la antena del satélite: circular derecha.
- Pérdida de enlace en el vacío: -141.3 dB. (a 2.000 Km.).
- Ancho de banda del receptor terrestre: 50 Khz.
- El nivel de ruido en la frecuencia 137 Mhz. en un receptor de 50 Khz, de ancho de banda es de -120.6 dBm.

G.2. Cálculos del Enlace

- Relación señal/ruido ($EIRP + Pv = 36.7 - 141.3 = -104.6$)[60]
- Relación señal/ruido - Ganancia de la estación = $-104.6 + 120.6 = 16$ dB
- Para que una señal sea de codificable es preciso que el nivel de la señal sea por lo menos de 10 dB. por encima del nivel del ruido, pudiendo este valor llegar a 13 dB en los mejores casos[61].
- 16 dB de ganancia de la estación menos los 13 para que una señal sea de codificable da un valor de 3 dB
- De esta manera se demuestra que una antena con una ganancia mayor a 3 dB es suficiente para recibir la señal del NOAA.