



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**DISEÑAR UN PROTOTIPO PARA RECEPCIÓN DE IMÁGENES APT (*AUTOMATIC PICTURE TRANSMISSION*) DEL SISTEMA SATELITAL NOAA (*NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION*) USANDO RTL-SDR.**

**AUTOR: RICHARD DAVID ROJAS MOLINA**

**TUTOR: Mg. RENÉ ERNESTO CORTIJO LEYVA.**

**QUITO- ECUADOR**

**AÑO: 2019**

## DECLARACIÓN

Yo, Richard David Rojas Molina, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado profesional y son responsabilidad del autor.

Quito D.M., julio 2019

.....

Richard David Rojas Molina

C.I.: 1713857553

**CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**  
**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**  
**APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**DISEÑAR UN PROTOTIPO PARA RECEPCIÓN DE IMÁGENES APT (AUTOMATIC PICTURE TRANSMISSION) DEL SISTEMA SATELITAL NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION) USANDO RTL-SDR.**”, presentado por el Sr. Richard David Rojas Molina, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M., septiembre 2019

TUTOR

.....

Ing. René Ernesto Cortijo Leyva

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mi Esposa Catalina que, gracias a sus consejos, sus palabras de aliento y su apoyo incondicional han ayudado a perseverar y a luchar por lo que quiero, gracias por estar a mi lado y batallar junto a mí para alcanzar una gran meta. La quiero mucho.

A mis hijos Sebastián e Ismael por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ella.

A mis profesores que durante estos años han inculcado en mí el don de la responsabilidad, dedicación y perseverancia. En especial a mi tutor el Mg, René Ernesto Cortijo Leyva, principal colaborador durante todo este proceso.

Richard David Rojas Molina

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis y todo este esfuerzo a mi esposa e hijos quienes siempre me brindaron su apoyo cuando más lo necesite, además a mis padres por su amor incondicional, por eso este trabajo es para ellos; quienes son un pilar importante en mi vida, todo este esfuerzo con mucho cariño para mi familia.

Richard David Rojas Molina

## TABLA DE CONTENIDO

Antecedentes de la situación del objeto de estudio.....	xv
Planteamiento y justificación del problema. ....	xv
Justificación.....	xvii
Objetivos.....	xvii
Objetivo general.....	xvii
Objetivos específicos .....	xvii
Alcance.....	xviii
Descripción de capítulos .....	xix
CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	1
1.1 Satélites artificiales .....	1
1.1.1 Países con capacidad de lanzamiento.....	2
1.1.2 Meteorología. ....	3
1.2 Satélites.....	4
1.2.1 Órbitas satelitales. ....	4
1.2.2 Satélite NOAA ( <i>National Oceanic and Atmospheric Administration,</i> <i>Administración Nacional de Océanos y Atmósfera</i> ).....	6
1.3 Sistema satelital POES/NOAA.....	6
1.3.1 Estructura de los satélites NOAA.....	10
1.3.2 Sistema APT ( <i>Automatic Picture Transfer</i> ). ....	11
1.3.3 Sensor AVHRR ( <i>Advanced Very High-Resolution Radiometer,</i> Radiómetro de resolución avanzada muy alta). ....	13
1.3.4 HRTP ( <i>High-resolution picture transmissions,</i> transmisión de imágenes de alta resolución).....	15
1.3.5 Tiempo de paso de los satélites NOAA. ....	16

1.3.6	Resolución de la imagen. ....	17
1.3.7	Predicción del paso de los satélites NOAA.....	18
1.4	Espectro electromagnético.....	19
1.5	Radioenlaces entre satélites NOAA y la Tierra.....	21
1.6	Efecto Doppler. ....	23
1.7	Antenas. ....	24
1.7.1	Campos generados por una antena.....	25
1.7.1.1	Campo cercano y lejano. ....	26
1.7.2	Patrón de radiación. ....	27
1.7.3	Densidad de potencia radiada.....	28
1.7.4	Polarización.....	29
1.8	Raspberry Pi 3. ....	30
1.9	RTL-SDR.....	31
1.9.1	Componentes del RTL. ....	33
CAPITULO II .....		34
MARCO METODOLÓGICO.....		34
2.1.	Metodología documental.....	34
2.2.	Metodología experimental.....	34
2.3	Metodología de campo.....	35
2.4	Población y muestra. ....	35
CAPITULO III.....		36
3.1	Propuesta. ....	36
3.2	Diagrama de bloques del sistema. ....	37
3.3	Diagrama de flujo.....	38
3.4	Propuesta de antena.....	39

3.4.1	Consideraciones previas. ....	39
3.4.2	Diseño antena helicoidal cuadrifilar. ....	42
3.4.3.	Construcción de la antena cuadrifilar helicoidal.....	46
3.5	Propuesta del uso del RTL-SDR. ....	54
3.6	Propuestas de sistemas operativos y programas.....	55
3.6.1	Software Raspbian. ....	55
3.6.2	Software RTL-SDR. ....	55
3.6.3	Software SOX de audio. ....	56
3.6.4	Software Predict.....	56
3.6.5	Software Wxtoimg. ....	56
3.7	Análisis del costo del proyecto. ....	57
3.7.1	Unidad Central de Proceso. ....	57
3.7.2	Radio definido por software. ....	58
3.7.3	Presupuesto requerido para el proyecto. ....	59
3.8	Ventajas y desventajas del producto. ....	60
3.8.1	Ventajas. ....	60
3.8.2	Desventajas. ....	60
CAPITULO IV.....		61
IMPLEMENTACIÓN.....		61
4.1	Construcción de la antena cuadrifilar helicoidal.....	61
4.1.1	Cable coaxial.....	65
4.1.2	Conector SMA. ....	65
4.1.3	Conexión de circuito de la antena cuadrifilar. ....	66
4.1.4	Análisis de funcionamiento. ....	68
4.1.5	Medición del espectro con RTL-SDR y SDRSHARP.....	70



4.1.6 Construcción del <i>hardware</i> .....	78
4.2 Instalación de sistema operativo y programas.....	80
4.3. Desarrollo de la aplicación WEB.....	86
4.3.1 Configuración de servidor virtual.....	88
4.3.2 Creación de la base de datos PostgreSQL. ....	90
4.3.3 Servidor Apache Tomcat. ....	91
4.3.4 Página web con Jhispster. ....	91
4.3.5 Satelital V1.0. ....	92
4.4 Pruebas de funcionamiento.....	94
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	97
DISCUSIÓN .....	97
CONCLUSIONES .....	98
RECOMENDACIONES .....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXOS.....	104

## TABLA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. 1</b>	<b>SATÉLITE ARTIFICIAL ROTANDO LA TIERRA.</b>	<b>1</b>
<b>FIGURA 1. 2</b>	<b>SATÉLITE TIROS-1.</b>	<b>3</b>
<b>FIGURA 1. 3</b>	<b>ÓRBITAS SATELITALES.</b>	<b>4</b>
<b>FIGURA 1. 4</b>	<b>SATÉLITES Y SU CLASIFICACIÓN.</b>	<b>5</b>
<b>FIGURA 1. 5</b>	<b>REPRESENTACIÓN SATÉLITE NOAA.</b>	<b>6</b>
<b>FIGURA 1. 6</b>	<b>SATÉLITE NOAA-15 EN TIERRA.</b>	<b>8</b>
<b>FIGURA 1.7</b>	<b>SATÉLITE NOAA 18.</b>	<b>8</b>
<b>FIGURA 1. 8</b>	<b>SATÉLITE NOAA-19 EN TIERRA.</b>	<b>9</b>
<b>FIGURA 1. 9</b>	<b>IMAGEN DE LA DERECHA CANAL A Y DE LA IZQUIERDA CANAL B.</b>	<b>12</b>
<b>FIGURA 1. 10</b>	<b>FORMATO APT DE LA TRAMA DE UNA IMAGEN.</b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 1. 11</b>	<b>SENSOR AVHRR/3.</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 1. 12</b>	<b>BARRIDO DEL SENSOR AVHRR.</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 1. 13</b>	<b>TIEMPO DE VISIBILIDAD DE LOS SATÉLITES NOAA.</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 1. 14</b>	<b>PROGRAMA GEOPREDICT.</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 1. 15</b>	<b>BOSQUEJO DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 1. 16</b>	<b>ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 1. 17</b>	<b>ANTENAS RADIACIÓN Y RECEPCIÓN.</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 1. 18</b>	<b>RECIPROCIDAD DE ANTENAS.</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 1. 19</b>	<b>REGIONES DE CAMPO.</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 1. 20</b>	<b>PATRÓN DE RADIACIÓN EN TRES DIMENSIONES.</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 1. 21</b>	<b>GRAFICAS DE RADIACIÓN.</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 1. 22</b>	<b>POLARIZACIÓN DE ANTENA.</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 1. 23</b>	<b>POLARIZACIÓN LINEAL, CIRCULAR, ELÍPTICA.</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 1. 24</b>	<b>RASPBERRY PI 3.</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 1. 25</b>	<b>RTL-SDR.</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 1. 26</b>	<b>COMPONENTES DEL RTL-SDR.</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 3. 1</b>	<b>ARQUITECTURA DE RECEPCIÓN DE IMÁGENES APT.</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 3. 2</b>	<b>DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 3. 3</b>	<b>DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA.</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 3. 4</b>	<b>DIAGRAMA DE RADIACIÓN OMNIDIRECCIONAL.</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 3. 5</b>	<b>ANTENAS CUADRIFILAR HELICOIDAL.</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 3. 6</b>	<b>FLUJO DE CORRIENTE EN UNA ESPIRA.</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 3. 7</b>	<b>FLUJO DE CORRIENTE EN DOS ESPIRAS.</b>	<b>41</b>

<b>FIGURA 3. 8</b>	<b>POLARIZACIÓN DE LA ANTENA.</b>	42
<b>FIGURA 3. 9</b>	<b>CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA ANTENA CUADRIFILAR.</b>	42
<b>FIGURA 3. 10</b>	<b>APLICACIÓN JAVA PARA CALCULO ANTENA CUADRIFILAR.</b>	44
<b>FIGURA 3. 11</b>	<b>CALCULADORA JCOPPENS.</b>	45
<b>FIGURA 3. 12</b>	<b>DIMENSIONES CUADRO MAYOR.</b>	45
<b>FIGURA 3. 13</b>	<b>DIMENSIONES DEL CUADRO MENOR.</b>	46
<b>FIGURA 3. 14</b>	<b>PANTALLA PRINCIPAL DEL SOFTWARE 4NEC2.</b>	47
<b>FIGURA 3.15</b>	<b>INGRESO DE DATOS GRÁFICOS.</b>	47
<b>FIGURA 3. 16</b>	<b>PLANO XZ</b>	48
<b>FIGURA 3. 17</b>	<b>PLANO YZ</b>	48
<b>FIGURA 3. 18</b>	<b>PLANO XY</b>	49
<b>FIGURA 3. 19</b>	<b>DETALLE 3D.</b>	49
<b>FIGURA 3. 20</b>	<b>DISEÑO DE ANTENA CON NEC EDITOR.</b>	50
<b>FIGURA 3. 21</b>	<b>PANTALLA DE SIMULACIÓN.</b>	51
<b>FIGURA 3. 22</b>	<b>VSWR A 50 OHMS.</b>	51
<b>FIGURA 3. 23</b>	<b>VSWR A 50 OHMS.</b>	52
<b>FIGURA 3. 24</b>	<b>GANANCIA DE LA ANTENA 4.79 DBI.</b>	52
<b>FIGURA 3. 25</b>	<b>DIAGRAMA DE RADIACIÓN.</b>	53
<b>FIGURA 3. 26</b>	<b>PATRÓN DE CAMPO LEJANO.</b>	53
<b>FIGURA 3. 27</b>	<b>COEFICIENTE DE REFLEXIÓN EN LA CARTA DE SMITH.</b>	54
<b>FIGURA 3. 28</b>	<b>DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SDR.</b>	54
<b>FIGURA 3. 29</b>	<b>RASPBIAN LOGO.</b>	55
<b>FIGURA 3. 30</b>	<b>SUPERPOSICIÓN DEL MAPA DEL ECUADOR.</b>	57
<b>FIGURA 4. 1</b>	<b>BRAZOS CORTOS.</b>	62
<b>FIGURA 4. 2</b>	<b>BRAZOS LARGOS.</b>	62
<b>FIGURA 4. 3</b>	<b>SECCIÓN CENTRAL MAYOR.</b>	62
<b>FIGURA 4. 4</b>	<b>SECCIÓN CENTRAL MENOR.</b>	63
<b>FIGURA 4. 5</b>	<b>SEPARACIÓN DEL CUADRO MAYOR.</b>	63
<b>FIGURA 4. 6</b>	<b>SEPARACIÓN DEL CUADRO MENOR.</b>	63
<b>FIGURA 4. 7</b>	<b>ESTRUCTURA DE LA ANTENA.</b>	64
<b>FIGURA 4. 8</b>	<b>ESTRUCTURA DE LA ANTENA.</b>	64
<b>FIGURA 4. 9</b>	<b>ESTRUCTURA DEL CABLE COAXIAL.</b>	65
<b>FIGURA 4. 10</b>	<b>CONECTOR SMA.</b>	66
<b>FIGURA 4. 11</b>	<b>COLOCACIÓN DE CABLES.</b>	66
<b>FIGURA 4. 12</b>	<b>DESIGNACIÓN DE NOMENCLATURA.</b>	67

<b>FIGURA 4. 13</b> CONEXIÓN DE LA PARTE SUPERIOR.-----	67
<b>FIGURA 4. 14</b> CONEXIÓN DE LA PARTE INFERIOR.-----	68
<b>FIGURA 4. 15</b> EQUIPO DE MEDICION RIGEXPERT AA-230. -----	68
<b>FIGURA 4. 16</b> PRIMERA PRUEBA. -----	69
<b>FIGURA 4. 17</b> SEGUNDA PRUEBA.-----	69
<b>FIGURA 4. 18</b> MEDICIÓN FINAL DE LA ANTENA. -----	70
<b>FIGURA 4. 19</b> VENTANA SDR#.-----	71
<b>FIGURA 4. 20</b> TIEMPO ESTIMADO DE PASO DE LOS SATÉLITES NOAA. -----	71
<b>FIGURA 4. 21</b> CONFIGURACIÓN DE SDRSHARP.-----	72
<b>FIGURA 4. 22</b> CONFIGURACIÓN DE SDRSHARP.-----	72
<b>FIGURA 4. 23</b> CONFIGURACIÓN DE SDRSHARP.-----	73
<b>FIGURA 4. 24</b> CONFIGURACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LOS SATÉLITES NOAA. -----	73
<b>FIGURA 4. 25</b> ARQUITECTURA DEL SISTEMA PARA ANÁLISIS DEL ESPECTRO. -----	74
<b>FIGURA 4. 26.</b> DIGITALIZACIÓN DE LA MUESTRA. -----	74
<b>FIGURA 4. 27</b> FRECUENCIA DEL NOAA 19. -----	76
<b>FIGURA 4. 28</b> DIGITALIZACIÓN DE LA MUESTRA. -----	76
<b>FIGURA 4. 29</b> DIGITALIZACIÓN DE LA MUESTRA. -----	77
<b>FIGURA 4. 30</b> DIGITALIZACIÓN DE LA MUESTRA. -----	78
<b>FIGURA 4. 31</b> COLOCACIÓN DE LOS EQUIPOS EN EL RACK.-----	78
<b>FIGURA 4. 32</b> TERMOGRAFÍA AL RTL-SDR.-----	79
<b>FIGURA 4. 33</b> ENERGÍA DEL SISTEMA. -----	80
<b>FIGURA 4. 34</b> CLONAR SISTEMA OPERATIVO. -----	81
<b>FIGURA 4. 35</b> RESULTADO DE LA PRUEBA DEL RTL-SDR. -----	82
<b>FIGURA 4. 36</b> EDICIÓN DE ESTACIÓN EN TIERRA.-----	83
<b>FIGURA 4. 37</b> GROUND STATION LOCATION EDITING UTILITY. -----	84
<b>FIGURA 4. 38</b> REPOSITORIO DE IMAGENES EN LA CARPETA WEATHER. -----	86
<b>FIGURA 4. 39.</b> DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA APLICACIÓN WEB. -----	88
<b>FIGURA 4. 40</b> PÁGINA PRINCIPAL DE AMAZON SERVER. -----	88
<b>FIGURA 4. 41</b> INGRESO A AWS POR PUTTY. -----	89
<b>FIGURA 4. 42</b> HABILITACIÓN DE PUERTOS.-----	90
<b>FIGURA 4. 43</b> SATELITAL V1.0. -----	93
<b>FIGURA 4. 44</b> PRUEBAS AL RTL-SDR . -----	94
<b>FIGURA 4. 45</b> EJECUCIÓN DE LA APLICACIÓN SAT.SH . -----	94
<b>FIGURA 4. 46</b> EJECUCIÓN DE LA APLICACIÓN SAT.SH.-----	95
<b>FIGURA 4. 47</b> PRUEBA DE INGRESO DE IMÁGENES A LA BASE DE DATOS.-----	95

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1. 1</b> PAÍSES CON CAPACIDAD DE LANZAMIENTO. ....	2
<b>TABLA 1. 2</b> FECHA DE LANZAMIENTO DE LOS SATÉLITES NOAA. ....	7
<b>TABLA 1. 3</b> TABLA DE RESUMEN DE SATÉLITES NOAA. ....	10
<b>TABLA 1. 4</b> CUADRO COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA HRPT CON LA TECNOLOGÍA APT. ....	11
<b>TABLA 1. 5</b> CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DEL SENSOR AVHRR/3. ....	15
<b>TABLA 1. 6</b> FRECUENCIAS DE TRABAJO DEL HRTP. ....	16
<b>TABLA 1. 7</b> COMPARACIÓN DE ELEMENTOS SDR. ....	32
<b>TABLA 3. 1</b> DIMENSIONES ANTENA CUADRIFILAR HELICOIDAL. ....	44
<b>TABLA 3. 2</b> COMPARACIÓN DE COSTOS PARA CPU. ....	58
<b>TABLA 3. 3</b> COSTO DE EQUIPO RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE. ....	59
<b>TABLA 3. 4</b> TABLA DE COSTOS TOTALES. ....	59
<b>TABLA 4. 1</b> CARGA DEL SISTEMA. ....	79
<b>TABLA 4. 2</b> RESULTADOS DE IMÁGENES OBTENIDOS. ....	97

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad la elaboración de un prototipo de monitoreo meteorológico que permitirá a la comunidad aficionada, estudiantes y público en general un acercamiento al mundo de las telecomunicaciones, meteorología y en particular a imágenes meteorológicas del Ecuador.

El proyecto tiene cuatro componentes fundamentales: en primera instancia, la captación de señales APT por medio de una antena cuadrifilar helicoidal; en segunda instancia, la construcción del hardware utilizando Raspberry Pi 3 y un SDR-RTL; en tercera instancia, el uso e integración de Raspbian, SDR#, Sox, Predict, Wxtoimg para el procesamiento de la información y por último el despliegue de la información a través de internet hacia el público interesado, el cual podrá ver los resultados del proyecto en una aplicación web.

El prototipo de recepción de imágenes APT funciona de la siguiente manera: los satélites NOAA van escaneando la superficie de la tierra y emitiendo información de forma de señales analógicas en un rango de frecuencia promedio de 137.5 MHz, dichas señales serán captadas por la antena cuadrifilar helicoidal y serán procesadas con ayuda del RTL-SDR y la Raspberry Pi. Tras el procesamiento de la información se envían los resultados a la aplicación WXTOIMG por medio de un cable virtual provisto por la aplicación SOX. Como resultado final del proyecto se tienen imágenes meteorológicas del Ecuador desplegadas en internet usando servidores web de Amazon.

Palabras Clave: satélite, antena, Raspberry Pi 3, RTL-SDR, SDR#, Amazon Web Services.

## ABSTRACT

The development of the prototype of meteorological monitoring has as its purpose a contribution to the community in order that amateur people can enter the world of telecommunications and meteorology.

A wide field of research was necessary for developing the project, in which NOAA satellites operating concepts, basic antennas concepts and an introduction to web design were reviewed. This project has four fundamental parts these are: first the capture of APT signals by means of a helical quadrifilar antenna, second the hardware between its parts consists of a Raspberry Pi 3 and an SDR-RTL, third where different software were integrated like Raspbian, SDR #, Sox, Predict, Wxtoimg all this in base of Linux and finally this information will be shared through Internet to the community where it will be able to observe the captured images and at the same time be able to replicate the project

The prototype of imagen reception APT works of the following way: in the passage of the satellites NOAA they are scanning the surface of the earth this information is emitted analogically in a rank of average frequency 137.5 MHz, these signals will be captured by the Quadrifilar Helicoidal antenna where they will be processed with the help of the RTL-SDR and the Raspberry Pi, all these elements digitizes the information, this process is directed to the WXTOIMG application through the SOX audio application, resulting in meteorological images of Ecuador and with a last step to be able to transmit to the community through the Internet using Amazon Web Services servers.

Keywords: satellite, antenna, Raspberry Pi 3, RTL-SDR, SDR #, Amazon Web Services.

## INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes de la situación del objeto de estudio.**

A nivel nacional, se revisa los archivos de los repositorios de universidades locales en búsqueda de investigaciones sobre el diseño un prototipo para recepción de imágenes APT (*Automatic Picture Transmission*, transmisiones automáticas de imágenes) meteorológicas del sistema satelital NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, administración nacional del océano y la atmósfera) usando un programa RTL-SDR (Sistema de Radio Definido). Entre los documentos se encuentra el siguiente proyecto de investigación de la Escuela Politécnica Nacional: “Implementación de un sistema de recepción de imágenes meteorológicas utilizando tecnología de radio definido por software”. Este prototipo utiliza un RTL-SDR para la captación y procesamiento de imágenes, pero no contempla el despliegue de las imágenes sobre una plataforma compartida, así mismo no establece una fuente de poder constante para el proyecto por lo que se puede vulnerar la recolección de imágenes ante una falla del sistema eléctrico.

De las posibilidades de mejora que se observa se plantean objetivos en el presente proyecto para perfeccionar un prototipo previo. Entre estos objetivos está el diseño de la antena con estudios que demuestren un progreso significativo, el despliegue de las imágenes y el proceso de construcción en una aplicación web. Como ya se ha indicado la propuesta de recepción de imágenes APT de los NOAA y su aplicación web provee a los aficionados y al público en general sean sujetos activos en el estudio estadístico de la ciencia meteorológica.

### **Planteamiento y justificación del problema.**

El presente proyecto toma en consideración la necesidad de diseñar e implementar dispositivos de monitoreo meteorológico satelitales, debido a que el Ecuador carece de equipos propios y se tiene la necesidad de contratar equipos de otros países ocasionando que la información no tenga relación con datos exclusivos del territorio ecuatoriano. En la actualidad existen varias aplicaciones de uso para la prevención de desastres naturales por ejemplo en el caso de la región



de la serranía ecuatoriana puede aplicarse a erupciones volcánicas dando seguimiento a la dirección de la ceniza volcánica, como el 07 de octubre de 1999 cuando se registró una explosión de vapor, gas y ceniza del volcán Guagua Pichincha la cual generó una columna de erupción de más de 12 Km de altura y esta fue observada por los ciudadanos de Quito y los alrededores del volcán, la nube de emisión se dirigió hacia el noroccidente y al este, lo que ocasionó una leve caída de ceniza en la ciudad de Quito, Nono y Mindo, esto se podría haber detectado y puesto en alerta a las autoridades de las parroquias antes mencionadas, en la región de la costa ecuatoriana se puede dar seguimiento al Fenómeno del Niño en su régimen de lluvias, de esta forma las autoridades podrían a tiempo generar planes de prevención y En la parte agrícola presentan una valiosa herramienta para ayudar en la planificación de una agricultura sostenible en función de las condiciones climáticas, donde predecir lluvias y tiempos de sequía con datos recolectados puede dar guías de planes de diseño de riego o invernaderos.

Un factor muy importante a tomar en cuenta es que el uso de herramientas meteorológicas de acceso libre permite al país no depender de servicios privados para la adquisición de imágenes satelitales, los cuales pueden ser costosos y dependientes de actualizaciones, se puede evaluar entonces la necesidad de implementar un sistema de monitoreo satelital como está planteado en el presente proyecto de tesis.

Para este proyecto, se presenta una alternativa a los sistemas meteorológicos actuales privados que puede ser implementada a un relativo bajo costo, utilizando tecnología SDR (*Software Define Radio*, Radio definido por software) que permite la implementación de sistemas de transmisión inalámbricos en conjunto con la teoría de antenas y programas libres con los cuales se busca construir un prototipo que facilite el monitoreo de parámetros meteorológicos para quien se pueda beneficiar de la información disponible.

La importancia de contar con un prototipo de monitoreo meteorológico radica en que se puede utilizar como una herramienta visual del comportamiento del clima del Ecuador y proveería de información para formar una base de datos que permita aplicar datos estadísticos que pueden ser útiles para establecer políticas de acción y prevención, así como procedimientos para mitigar los riesgos por condiciones climáticas desfavorables.

Además, se busca que esta información esté disponible en una aplicación web donde pueda ser accedida en cualquier momento desde cualquier lugar del país en el que se cuente con una conexión a internet donde pasa a ser del dominio público, contribuyendo así a la sociedad con información de calidad.

### **Justificación.**

La importancia de contar con un prototipo de monitoreo meteorológico, la cual se podrá desempeñar como una herramienta visual del comportamiento del clima en Ecuador y en base a esta se podrá generar resultados estadísticos con dichos resultados se podrá establecer políticas y procedimientos para mitigar los riesgos.

Entonces el proyecto busca brindar un aporte a la comunidad, y poner al servicio una página web donde imágenes meteorológicas del Ecuador podrán ser apreciadas por toda la comunidad por medio de internet.

### **Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Diseñar un prototipo para recepción de imágenes APT (Automatic Picture Transmission) meteorológicas del sistema satelital NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) usando RTL-SDR.

#### **Objetivos específicos**

- Diseñar el sistema de antena helicoidal cuadrifilar a través del programa JCOPPENS (software libre), para determinar los parámetros de la antena a utilizar para la recepción de la señal satelital.

- Simular parámetros de la antena cuadrifilar.
- Construir antena con parámetros diseñados.
- Analizar los datos obtenidos de la antena diseñada en conjunto con el paso del satélite a través del software SDRSHART.
- Programar en plataforma Linux los scripts para obtención de imágenes APT.
- Implementar la visualización de imágenes mediante la Web a través de una aplicación Apache Tomcat.
- Vincular en la aplicación web, la metodología y proceso de construcción para la obtención de imágenes APT.

## **Alcance**

Para el proyecto se diseña y construye una antena helicoidal cuadrifilar que se conecta a un RTL-SDR para captar la señal de los satélites NOAA. Estas señales serán procesadas por un conjunto de programas y scripts que se desarrollarán para automatizar el proceso de recepción de imágenes, sobre una computadora Raspberry pi con sistema operativo Linux.

Las imágenes almacenadas en la computadora serán subidas a un servidor web mediante un *web service*. Luego estas imágenes se almacenarán en una base de datos donde se podrá acceder a ellas desde el internet a través de una aplicación web. Se realizará pruebas sobre todos los componentes del prototipo y se brindará las herramientas para poder replicar el sistema, donde los

aficionados al tema podrán observar las imágenes a través del internet sin necesidad de contar con una suscripción.

### **Descripción de capítulos**

- En el capítulo uno se detalla el marco teórico de todos los parámetros que intervienen en el proyecto como información básica de los satélites NOAA, conceptos básicos sobre antenas, programas y aplicaciones web.
- El capítulo dos detalla la metodología de la investigación que se utilizó para el desarrollo del proyecto.
- El capítulo tres está enfocado a la propuesta para el desarrollo del proyecto.
- El capítulo cuatro describe el diseño e implementación de la antena y el hardware del proyecto, así como programación, pruebas de funcionamiento y manejo del aplicativo por medio de la web.
- En capítulo cinco se presentan las conclusiones, recomendaciones y fuentes bibliográficas.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Se presenta a continuación la definición de los conceptos relacionados que sustentan la base del desarrollo teórico del proyecto.

### 1.1 Satélites artificiales

Se define como satélite artificial a cualquier objeto que fue puesto en órbita por el hombre, que gira alrededor de los planetas con innumerables aplicaciones como científicas, militares y tecnológicas (Ciafardini, 2010). En la figura 1.1 se puede observar una representación de satélites artificiales orbitando la tierra.

Con respecto al Ecuador, se ha enviado solamente un satélite artificial, el NEE-01 Pegaso (Nave Espacial Ecuatoriana Pegaso) el cual fue construido en abril del 2013 y fue lanzado al espacio con la proyección de que esté en órbita alrededor de un año, pero en mayo del 2013 colisionó con basura espacial dejando de transmitir y dando por terminado el aporte en materia de satélites artificiales del país.



**Figura 1. 1** Satélite artificial rotando la tierra.

**Fuente:** (Themes, 2016)

### 1.1.1 Países con capacidad de lanzamiento.

A nivel mundial, un total de 10 países en conjunto con el grupo ESA (*European Spacial Agency*, Agencia Europea Espacial) han realizado diseños y puestas en órbitas de satélites. En la tabla 1.1 se puede ver un resumen de los principales países y su participación en los diferentes lanzamientos satelitales.

**Tabla 1. 1** Países con capacidad de lanzamiento.

País	Año del primer lanzamiento	Primer satélite
Unión Soviética	1957	Sputnik 1
Estados Unidos	1958	Explorer 1
Francia	1965	Asterix
Japón	1970	Osumi
China	1970	Dong Fang Hong 1
Reino Unido	1971	Prospero X-3
India	1981	Rohini
Israel	1988	Ofec 1
Irán	2009	Omid
Corea del Norte	2012	Kwanggmyongsong-3

**Fuente:** Kramer, 2002

### 1.1.2 Meteorología.

Es una ciencia encargada del estudio de la atmósfera, las propiedades y los fenómenos que se presentan en ella. (Roth, 2002). La meteorología nace en el año 340 AC donde Aristóteles manifiesta especulaciones del origen de los fenómenos celestes y atmosféricos; en etimología la palabra se compone del griego *meteoron* que significa “altos en el cielo entre la tierra y en el reino de las estrellas”. Desde sus orígenes, el estudio de la meteorología se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes y variables como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad.

En el año de 1960 fue lanzado el primer satélite artificial para uso exclusivo de la meteorología llamado TIROS-1, que se puede ver en la figura 1.2. Los satélites meteorológicos se usan para la supervisión del clima, el tiempo atmosférico, las nubes y tormentas que se aproximan. Son especialmente útiles para encontrar, monitorear predecir la trayectoria y magnitud de algunos fenómenos atmosféricos que pueden ser perjudiciales, como huracanes o tornados.



**Figura 1. 2** Satélite TIROS-1.

**Fuente:** Kramer, 2002

En la actualidad existen 11 grupos de satélites meteorológicos destacados: Meteostat, GOES, GMS, GOMS, INSAT, FY-2B, Radarsat los cuales son de tipo geoestacionario; NOAA, QuikSCAT, Meteor-3, FY-1 de tipo polar.

## 1.2 Satélites.

### 1.2.1 Órbitas satelitales.

En el proyecto que se desarrolla, se debe tener clara la definición de órbita como el recorrido o trayectoria de un cuerpo bajo la influencia de fuerzas de atracción y repulsión; en el caso de los satélites artificiales la fuerza de atracción es la gravedad de la tierra. Para efectos del proyecto, se tiene tres categorías de órbitas representadas en la figura 1.3.

- LEO (*low earth orbit*, órbita terrestre baja), este tipo de órbita tiene un rango de monitoreo que varía en 160 km hasta los 2000 Km de altura. Como esta órbita está más cerca del planeta definida en las leyes de Kepler la misma ira a mayor velocidad, recorriendo en pocas horas toda una trayectoria completa, Los satélites NOAA se encuentran en este rango de trabajo.
- MEO (*médium earth orbit*, órbita terrestre media), este tipo de órbita tiene un rango de monitoreo que va desde los 2000 y 35000 km de distancia de la superficie terrestre.
- GEO (*geostationary orbit*, órbita geoestacionaria), esta órbita se ubica a 35700 km de la superficie de la tierra y tiene un tiempo de recorrido de 2393446 horas, el tiempo que demora en recorrer es igual a un día sideral es decir van a la misma velocidad de la tierra, lo que puesto en órbita parezcan inmóviles en el espacio. (Kramer, 2002).

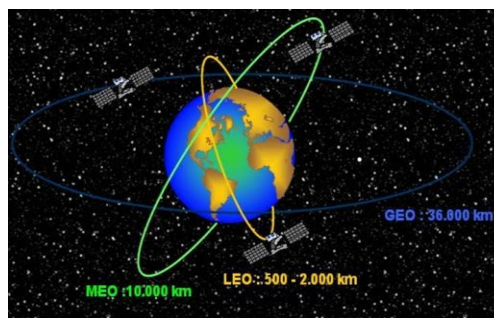


Figura 1. 3 Órbitas satelitales.

Fuente: (Themes, 2016)



Los satélites se clasifican de acuerdo a su funcionalidad, altura orbital, masa e inclinación orbital. En la figura 1.4 se puede ver un mapa conceptual con la clasificación mencionada.



**Figura 1. 4** Satélites y su clasificación.

**Fuente:** Del autor.

### 1.2.2 Satélite NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration, Administración Nacional de Océanos y Atmósfera*).

En la actualidad los satélites NOAA que están en operación forman parte del programa POES (*Polar Orbiting Operational Enviroment Satellite, Satélite operacional ambiental de órbita polar*). Tiene como función recorrer la órbita alrededor de la tierra con una sincronización correcta de inclinación y altitud, debido a esto realizan el paso por Ecuador aproximadamente a la misma hora lo que se denomina como órbita sol-sincrónica, además escanea la tierra de polo a polo a una altura aproximada de 860 km con lo que entra en el rango de satélites “LEO”; estas órbitas se sincronizan con el sol por lo que en condiciones de iluminación adecuadas parecen tener una posición constante. (Graumann, 2014). En la figura 1.5 se puede ver una representación de los satélites NOAA.



**Figura 1. 5** Representación satélite NOAA.

**Fuente:** (NOAA, 2018)

### 1.3 Sistema satelital POES/NOAA.

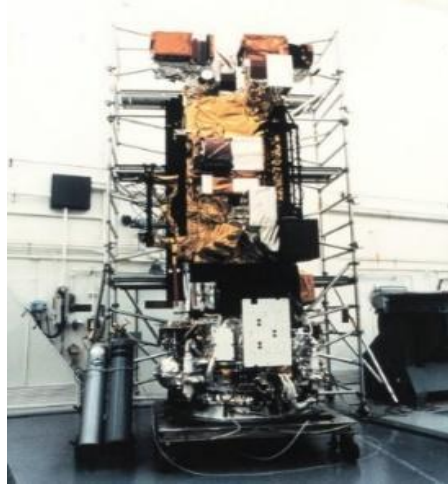
El sistema satelital POES (*Operational Environmental Satellite, Satélite operacional ambiental*) forma parte de un conjunto de satélites artificiales que corresponde al grupo de los NOAA, la ventaja de estos satélites es que ofrecen una cobertura diaria completa por lo que se encuentran en órbita un satélite matutino y un vespertino (Graumann, 2014). Los satélites POES de la NOAA se han puesto en órbita de acuerdo a la tabla 1.2.

**Tabla 1. 2** Fecha de lanzamiento de los satélites NOAA.

Satélite	Fecha de Lanzamiento	Operatividad
TIROS-N	13/10/1978	Inactivo
NOAA-6	27/06/1979	Inactivo
NOAA-7	23/06/1981	Inactivo
NOAA-8	28/03/1983	Inactivo
NOAA-9	12/12/1984	Inactivo
NOAA-10	17/09/1986	Inactivo
NOAA-11	24/09/1988	Inactivo
NOAA-12	14/05/1991	Inactivo
NOAA-13	09/08/1993	Inactivo
NOAA-14	30/12/1994	Inactivo
NOAA-15	17/05/1998	Activo
NOAA-16	21/09/2000	Inactivo
NOAA-17	24/06/2002	Inactivo
NOAA-18	20/05/2005	Activo
NOAA-19	06/02/2009	Activo

Fuente: (NOAA, 2018)

De los satélites POES activos, el NOAA-15 que está representado en la figura 1.6, proviene de la serie de satélites de predicción meteorológica TIROS, otorgada por la NASA y administradas por NOAA. Este satélite fue lanzado el 13 de mayo de 1998 y actualmente está en funcionamiento a 807 km de la tierra, orbitando cada 101 min. Su frecuencia de transmisión es en APT (sistema de transmisión automática de imágenes) de 137.62 MHz. (NOAA, 2018).



**Figura 1. 6** Satélite NOAA-15 en tierra.

**Fuente:** [www.ospo.noaa.gov](http://www.ospo.noaa.gov).

El satélite para predicción meteorológico dirigido NOAA-18, fue lanzado al espacio el 20 de mayo del 2005 y se encuentra orbitando a unos 854 km sobre la superficie terrestre con un periodo orbital de 102 min. (NOAA, 2018). En este satélite se encuentran equipos como la AMSU (unidad avanzada de sondeo de microondas) y la MHS (Sonda de Humedad de Microondas); la frecuencia de transmisión es de 137.91 en APT. Se puede observar una imagen del NOAA 18 en la figura 1.7.



**Figura 1.7** Satélite NOAA 18.

**Fuente:** [www.ospo.noaa.gov](http://www.ospo.noaa.gov).

El último satélite de la serie, el NOAA-19 mostrado en la figura 1.8, es el último lanzado por parte de los Estados Unidos. Este equipo fue lanzado al espacio el 6 de febrero 2009 y lleva una variedad de instrumentos que proporcionan datos para la predicción meteorológica y climática con tecnología avanzada con respecto a sus antecesores, este satélite transmite las imágenes en cinco bandas diferentes, además de transmitir en formato HRPT (transmisiones de imágenes de alta resolución).



**Figura 1. 8** Satélite NOAA-19 en tierra.

**Fuente:** [www.ospo.noaa.gov](http://www.ospo.noaa.gov).

En la tabla 1.3 se muestra un resumen de las características más destacadas de los satélites NOAA que se encuentran en operación.

**Tabla 1. 3** Tabla de resumen de satélites NOAA.

	NOAA-15	NOAA-18	NOAA-19
Lanzamiento	13 de mayo 1998	20 de mayo de 2005	20 de mayo 2009
Nombre del satélite	K	N	N-PRIME
Nombre actual	NOAA-15	NOAA-18	NOAA-19
Altura aproximada de funcionamiento	807	854	870 km
Inclinación orbital	98,5°	98,74°	98.7°
Periodo de la órbita	101,1 min	102,12 min	102,14 min
Frecuencia APT	137,5 MHz	137,91 MHz	137,1 MHz
	137,62 MHz	137,1 MHz	137,9 MHz
Frecuencia HRPT	1702,5 MHz	1698 MHz	1698 MHz
	1707 MHz	1707 MHz	1707 MHz

Fuente: (NOAA, 2018)

### 1.3.1 Estructura de los satélites NOAA.

Los satélites NOAA poseen equipos normados de manera que puedan comunicarse entre ellos, para el análisis que se realiza en este proyecto se considera dos tecnologías de transmisión de los satélites: la APT (*Automatic Picture Transmission*) y la HRPT (*High-resolution picture transmissions*). Tanto la APT como la HRPT se encuentran instaladas en los satélites y trabajan

en forma paralela entre los satélites NOAA que se encuentran activos. En la tabla 1.4 se muestra un cuadro comparativo de las características de las tecnologías de transmisión en forma paralela entre los satélites NOAA que se encuentran activos. En la tabla 1.4 se muestra un cuadro comparativo de las características de las tecnologías de transmisión.

**Tabla 1. 4** Cuadro comparativo de la tecnología HRPT con la tecnología APT.

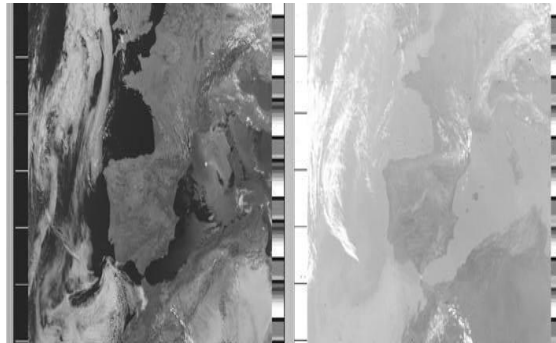
	APT	HRTP
Acrónimo	<i>Automatic Picture transmission</i>	<i>High-resolution picture transmissions</i>
Modulación	FM	BPSK, QPSK
Señal	Analógica	Digital
Antena de transmisión	antena APT antena FM	Parabólica corneta
Frecuencia de operación	137.5 MHz o 137,67 MHz	1.670-1.710 GHz
Potencia	5 watts (37 dBm)	6.35 watts (38.03)
Resolución	4 km	1.1 Km
Antena de recepción	helicoidal, parabólica, yagi	parabólica, helicoidal, yagi
Tiempo de transmisión	15 min	15 min
sensor para captura de imagen	APT camera	AVHRR

**Fuente:** (Isabel, 2000)

### 1.3.2 Sistema APT (*Automatic Picture Transfer*).

El sistema APT es un sistema de transmisión análogo desarrollado para ser usado en satélites de clima y provee imágenes a estaciones en todo el mundo, una estación puede recibir datos al menos dos veces por día cada vez que el satélite pasa sobre dicha estación.

Las imágenes en formato APT manejan escala de grises, donde las partes más oscuras representan regiones cálidas y los tonos más claros presentan regiones frías. Además, se utilizan dos canales para la captura de imágenes: el canal A utiliza una banda de espectro visible para el día y una banda infrarroja para la noche mientras el canal B tiene una banda infrarroja térmica durante el día y la noche. Un ejemplo de las imágenes generadas se puede ver en la figura 1.9.

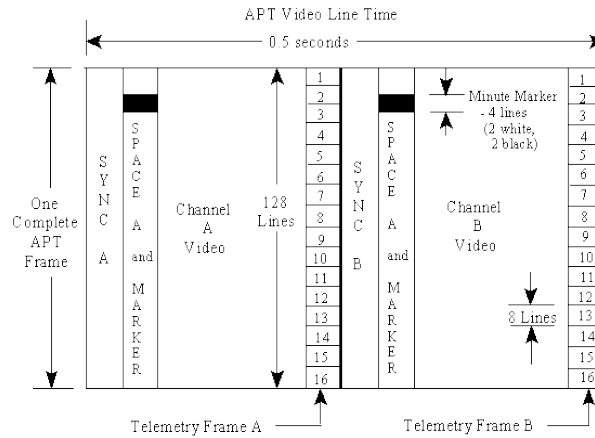


**Figura 1. 9** Imagen de la derecha canal A y de la izquierda canal B.

**Fuente:** (Graumann, 2014)

Los datos APT se transmiten de forma continua como señales analógicas usando modulación de amplitud en la portadora de 2400 Hz, los datos se transmiten cada medio segundo en el que se envía una imagen de dos canales en AVHRR, como se indica la figura 1.10. Los datos que se procesan provenientes de la instrumentación AVHRR modulan una sub portadora de 2400Hz, los cuales siguiendo la analogía de los APT tienen dos líneas donde cada línea lleva información diferente, además cada línea posee su propia sincronización: 7 pulsos de 1040 Hz para el canal A y 7 pulsos de 832 Hz para el canal B. Las frecuencias en que se transmiten las líneas son de 120 por minuto, o también una línea por cada medio segundo.





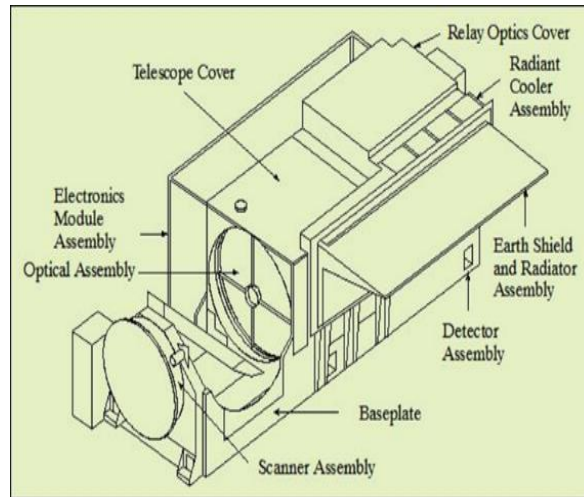
**Figura 1. 10** Formato APT de la trama de una imagen.

**Fuente:** (Corona, Pablo Cruz, 2018).

### 1.3.3 Sensor AVHRR (*Advanced Very High-Resolution Radiometer*, Radiómetro de resolución avanzada muy alta).

El sensor AVHRR es un equipo diseñado específicamente para la observación meteorológica, determinación de la cobertura de las nubes y temperatura de la superficie; se lo define de forma genérica como un generador de imágenes satelitales de alta resolución.

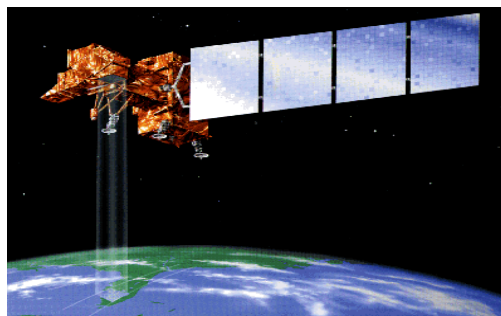
El primer AVHRR fue construido con un radiómetro de 4 canales, usado por primera vez en TIROS-N, en su siguiente versión se lo mejoró a cinco canales el llamado AVHRR/2 utilizado por el NOAA-7 y presenta su última versión VHRR/3 representada en la figura 1.11, donde se puede apreciar los módulos: módulo electrónico, módulo escáner, sistema óptico, la unidad de la placa base y el sistema de enfriador radiante.



**Figura 1. 11** Sensor AVHRR/3.

**Fuente:** (Corona, Pablo Cruz, 2018).

La franja de barrido del sensor AVHRR es de aproximadamente 2700 Km y el ángulo de barrido varía entre 0° a 56° en los contornos de la imagen, una representación gráfica se puede ver en la figura 1.12.



**Figura 1. 12** Barrido del sensor AVHRR.

**Fuente:** [www.ospo.noaa.gov](http://www.ospo.noaa.gov).

Los sensores AVHRR/3 trabajan con 6 canales (bandas) que son muestreadas simultáneamente a 40 KHz y luego convertidas en palabras binarias de 10 bits de longitud. Usando las imágenes provistas por las diferentes bandas se generan imágenes con falso color para aclarar elementos de mayor relevancia. En la tabla 1.5 se muestra un cuadro de las bandas con sus características.

**Tabla 1. 5** Características y aplicaciones del sensor AVHRR/3.

<b>Aplicaciones y características del canal AVHRR/3</b>			
Número de canal	Resolución nidar	longitud de onda (um)	Aplicación
1	1.09 km	0.58-0.68	Mapeo diurno de nubes y superficie
2	1.09 km	0.725-1.00	Límites de agua y tierra
3A	1.09 km	1.58-1.64	Detección de nieve - hielo
3B	1.09 km	3.55-3.93	Cartografía de las nubes nocturnas, temperatura de la superficie del mar
4	1.09 km	10.30-11.30	Mapeo nocturno de nubes y temperatura de la superficie marina
5	1.09 km	11.50-12-50	Temperatura de la superficie del mar

Fuente: (Corona, Pablo Cruz, 2018)

#### **1.3.4 HRTP (*High-resolution picture transmissions*, transmisión de imágenes de alta resolución).**

El sistema HRPT trabaja en conjunto con el AVHRR en los satélites meteorológicos polares y en los geoestacionarios NOAA. La banda de transmisión corresponde a la banda L de 1670 a 1710 GHz, en la cual cada satélite tiene su espacio de banda como se resumen en la tabla 1.6; el tipo de modulación que ocupa es BPSK y QPSK. (NOAA, 2018).

Para receptrar las señales HRTP se debe usar antenas de alta ganancia que pueden ser la antena Yagi cruzada, antena helicoidal o la antena parabólica, así mismo, se requiere un programa que permita decodificar las señales recibidas. Existen algunos programas incluso de licencia abierta, como DWDSAT HRTP Viewer V1.1.0 que podrían ser de utilidad.

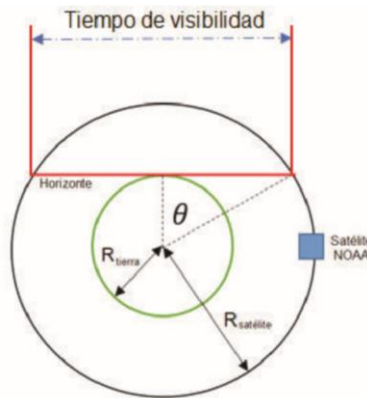
**Tabla 1. 6** Frecuencias de trabajo del HRTP.

Nombre del satélite	Formato	Frecuencia
NOAA-15	HRPT	1702.5 MHz
NOAA-18	HRPT	1707.0 MHz
NOAA-19	HRPT	1698.0 MHz

**Fuente:** (Corona, Pablo Cruz, 2018)

### 1.3.5 Tiempo de paso de los satélites NOAA.

Los satélites NOAA no tienen un movimiento geostacionario, por lo que no son visibles en todo momento desde un mismo punto, sino que pasan sobre las diferentes estaciones en determinados lapsos de tiempo. En la figura 1.13 se puede ver el rango de recorrido en el espacio aéreo del satélite sobre una estación, representado por la línea roja donde los extremos de la misma corresponden al horizonte.



**Figura 1. 13** Tiempo de visibilidad de los satélites NOAA.

**Fuente:** (Administration, 2018)

Matemáticamente y por medio de la geometría se puede calcular el tiempo de visibilidad de paso del satélite utilizando como datos el radio de la tierra de 6378 Km y el período orbital de los satélites NOAA de 101 minutos en el que recorre un ciclo completo es decir  $360^\circ$  o  $2\pi$ .

Con estos datos se calcula el ángulo  $\Theta$  usando la ecuación 1.1:

$$\text{Cos } \Theta = \frac{\text{Radio de la tierra}}{\text{Radio de la tierra} + \text{Radio Polar}} \quad (1.1)$$

Para la ecuación 1.1 ocuparemos como dato el radio de los satélites polares con un aproximado de 865 Km. Con el valor del ángulo se hace una regla de tres que permite calcular el tiempo de visibilidad del satélite con respecto al tiempo correspondiente al ángulo de un ciclo completo.

Al realizar el cálculo de la regla de tres se obtiene un tiempo de 15.7 minutos en el que el satélite es visible para una estación en condiciones ideales.

### 1.3.6 Resolución de la imagen.

Los satélites NOAA transmiten imágenes en formato APT con una definición de cuatro por cuatro kilómetros cuadrados por pixel.

Para el cálculo de este valor de definición de la imagen se tiene como dato que los satélites poseen un periodo de 101 min en el cual recorren la circunferencia terrestre de 40000 kilómetros, además se sabe que los satélites transmiten una línea cada 0,5 segundos; todos estos datos son expresados en forma matemática en la ecuación 1.2.

$$\frac{40000 \text{ km}}{101 \times 60 \text{ seg}} \times 0,5 \text{ seg} = 3.3 \text{ km/línea} \quad (1.2)$$

Se considera que el satélite pasa por el receptor en un lapso de 15 minutos aproximadamente, de acuerdo al cálculo anterior, que se puede observar una línea por cada 0,5 segundos o a su vez 2 líneas por cada segundo y que cada pixel cubrirá 3,3 kilómetros. Todos estos datos entregan un valor de ángulo de 53.46 de acuerdo a la ecuación 1.3 y corresponden a la proporcional inicial planteado de cuatro por cuatro kilómetros cuadrados por pixel.

$$\frac{(15 \times 60 \text{ seg}) \times \left(2 \frac{\text{pixel}}{\text{seg}}\right) \times \left(3,3 \frac{\text{km}}{\text{pixel}}\right)}{40000 \text{ km}} \times 360^\circ = 53,46^\circ \quad (1.3)$$

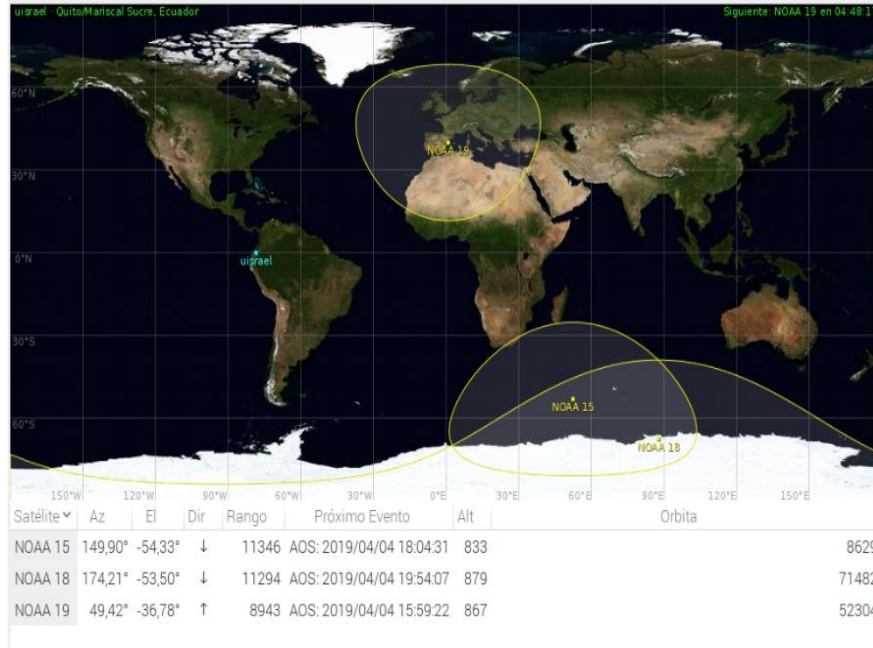
### **1.3.7 Predicción del paso de los satélites NOAA.**

En el presente proyecto se requiere determinar la hora inicial en la que el satélite va a cruzar sobre la posición de un receptor determinado, para ello existen programas informáticos de monitoreo y seguimiento de los satélites los cuales fueron diseñados para poder determinar la ubicación de los satélites usando métodos keplerianos; con estos cálculos se busca estimar con gran precisión cuando se puede recibir la señal de los satélites y determinar cuándo van a ser visibles, entonces para el caso citaremos dos ejemplos comunes:

- Predict
- Orbitron

Para el desarrollo del presente proyecto, se decide utilizar el programa Predict, ya que es más amistoso con el usuario final y más comprensible. Este programa nos entrega información de los satélites como fecha de lanzamiento, hora local, hora UTC y se puede configurar para definir mediante coordenadas GPS la posición del usuario, con lo que se puede realizar la predicción del paso de los satélites.

Con el programa seleccionado se ha enfocado el seguimiento y monitoreo a los satélites NOAA 15-18-19 como se puede ver en la figura 1.14. Para recuperar la información de dichos satélites se indica la posición del receptor que en este caso es Quito-Ecuador con ubicación geográfica de valores de longitud  $78.5188^{\circ}$  O y latitud  $0.2159^{\circ}$  S.



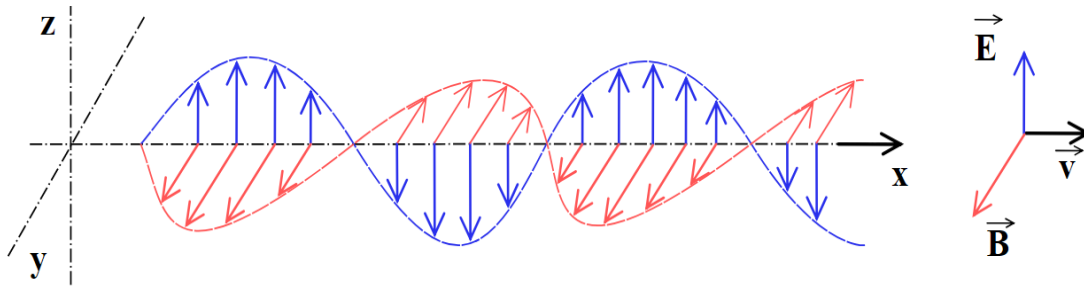
**Figura 1. 14** Programa Geopredict.

**Fuente:** Del autor.

#### 1.4 Espectro electromagnético.

Las ondas electromagnéticas se originan a partir de vibraciones de electrones que generan perturbaciones que hacen variar los campos eléctricos y magnéticos, que son perpendiculares entre sí (Belletti, 2011). Las ondas electromagnéticas son ondas que no necesitan un medio material para su propagación, estas ondas también permiten la transmisión de información mediante la modulación con portadora.

En la figura 1.15 se tiene una representación de las ondas electromagnéticas como la propagación transversal de los campos eléctricos y magnéticos en un campo vectorial, también se puede observar que las ondas presentan oscilaciones en dirección perpendicular a la dirección de la propagación (Salinero, Teledetccion Ambiental , 2008).



**Figura 1. 15** Bosquejo de una onda electromagnética.

**Fuente:** (Salinero, 2002)

La combinación de los campos magnéticos y eléctricos en su propagación a través del espacio va transportando energía de una posición a otra, conocida como radiación. La radiación electromagnética está relacionada a la ecuación 1.4 donde se define la longitud de onda con relación a la frecuencia.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.4)$$

Donde:

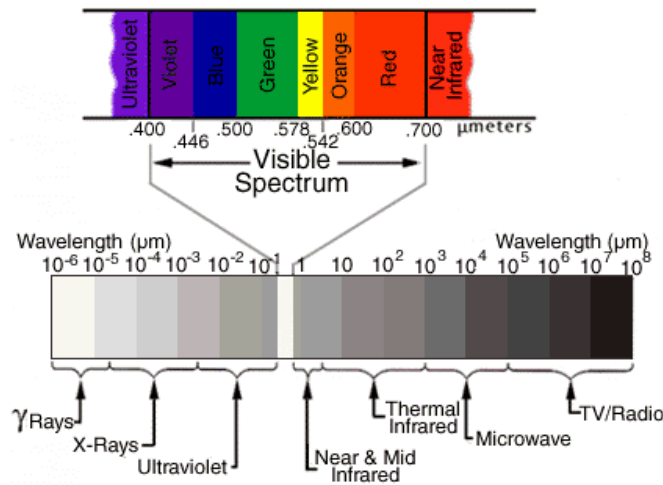
- $\lambda$  es la longitud de la onda.
- $f$  la frecuencia medida en Hertzios.
- $c$  la velocidad de la luz medida en el vacío como constante  $3 \times 10^8$  m/s.

Para que los equipos puedan comunicarse entre ellos aunque no haya contacto directo se determina el flujo de radiación que irradian los materiales hacia el sensor; en este caso se subdividen en tres grupos:

- Luz visible e infrarrojo reflejado, esta es la radiación solar reflejada por los objetos.
- Infrarrojo térmico, es la radiación terrestre emitida por los objetos
- Radar, es la radiación emitida por los sensores y reflejada por los objetos.

De la ecuación 1.4 se tiene que las longitudes de onda son variables e inversamente relacionadas a la frecuencia. El conjunto de todas las longitudes de ondas conforma el espectro electromagnético que está conformado por diversas regiones. En la figura 1.16 se tiene una representación gráfica del espectro electromagnético y sus rangos.





**Figura 1. 16** Espectro electromagnético.

**Fuente:** (Salinero, 2002)

### 1.5 Radioenlaces entre satélites NOAA y la Tierra.

Para establecer los radioenlaces entre satélites y la tierra se debe tomar en cuenta algunos parámetros como las órbitas LEO, el ruido en la tierra ya sea generado por la naturaleza o el hombre, los efectos de la ionosfera, etc. Por tanto, se han considerado los parámetros más representativos y se han establecido ciertas fórmulas y cálculos para establecer y cuantificar los radioenlaces.

Se sabe que un satélite se encuentra a una distancia  $d$  y que irradia una potencia isotrópica  $P_t$  que genera una densidad de potencia  $S_d$  de acuerdo a la ecuación 1.5

$$S_d = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (1.5)$$

El satélite tiene una antena con una ganancia  $G_t$  conectada a un transmisor mediante una línea que presenta pérdidas  $L_t$ , considerando estos parámetros se reescribe la ecuación 1.5 como se tiene en la ecuación 1.6.

$$S_d = \frac{P_t L_t G_t}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (1.6)$$

Se conoce que la *PIRE* (potencia efectiva radiada isotrópica) se calcula siguiendo la ecuación 1.7 en un campo eléctrico transmitido.

$$PIRE = P_t L_t G_t \quad [W] \quad (1.7)$$

A su vez, la potencia originada por las antenas del satélite es receptada en la estación terrestre por una antena con área *A* y una eficiencia  $\eta$ . El producto de la eficiencia y el área da como resultado el área efectiva de la antena, *Aef*. En la ecuación 1.8 se tiene la ecuación que relaciona el área efectiva con la longitud de onda en la que trabaja la antena.

$$A_{ef} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad [W] \quad (1.8)$$

Por lo que la potencia efectiva radiada efectiva isotrópicamente por el área efectiva de la captura nos dará la potencia recibida que definiremos como:

$$P_r = \frac{PIRE \times A_{ef}}{4\pi d^2} \quad [W] \quad (1.9)$$

La antena receptora y la antena transmisora realizan la transferencia de potencia donde el *Pel* en la que la onda se propaga directamente es la pérdida de transmisión en el espacio libre está en función de la distancia entre la estación en tierra y el satélite, por lo tanto:

$$\frac{P_r}{PIRE} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = \frac{l}{P_{el}} \quad (1.10)$$

Considerando que la antena receptora tiene una ganancia *Gr* con respecto a un radiador isotrópico la potencia que recibe la base terrestre se define de acuerdo a la ecuación 1.11.

$$P_t = \frac{PIRE \times G_r}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2} \quad [W] \quad (1.11)$$

Siguiendo con el análisis, se debe considerar la relación portadora a ruido como se tiene en la ecuación 1.12. Con esta ecuación se puede obtener la evaluación del enlace de bajada y por tanto la obtención de datos en el receptor.

$$\frac{C}{N_o} = \frac{PIRE \times Gr \times K}{Pel \times Te} \quad (1.12)$$

Donde:

$C$ : potencia de la portadora

$N_o$ : densidad de ruido

$Te$ : temperatura equivalente

$K$ : constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$ )

En la ecuación 1.13 se introduce adicionalmente el concepto de ancho de banda de la señal  $B$  como en función de la amplitud que disminuye en 3 dB.

$$N = N_o \times B = K \times Te \times B [W] \quad (1.13)$$

Integrando todos los parámetros se puede establecer finalmente la ecuación 1.14 que nos permitirá evaluar el enlace.

$$\frac{C}{N} = \frac{PIRE \times Gr}{K \times Te \times B \times Pel} \quad (1.14)$$

## 1.6 Efecto Doppler.

El fenómeno Doppler fue descubierto por un matemático Austriaco Christian Andreas Doppler en 1842, donde afirmaba que si dos objetos, transmisor y receptor, se encuentran desplazándose a diferentes posiciones entre intervalos de tiempo la longitud de onda tiende a variar y esta variación será percibida en el receptor mostrando valores más bajos o más altos en función de la frecuencia y la distancia entre los objetos. (Liu, 1999).

Conocer el efecto Doppler permite realizar la corrección en el cálculo del enlace pues al momento del desplazamiento del satélite se tiene una variación en la frecuencia. Según datos proporcionados por NOAA, la corrección del efecto Doppler en recepción está en el rango de  $\pm 3$  KHz.

La corrección para el efecto Doppler se realiza con la implementación de equipos de seguimiento al satélite en el receptor, la desventaja de esta solución es que los equipos de seguimiento tienen un costo muy elevado. Una solución alternativa más conveniente es aumentar el ancho de banda de la frecuencia intermedia a 6 KHz, este cálculo se puede obtener con las ecuaciones 1.15 y 1.16 basándose en la regla de Carson, que relaciona en ancho de banda  $B$ , el índice de modulación  $D$  y el ancho de banda de la señal moduladora  $W$ . El ancho de banda de la señal modulada  $W$  será 4160Hz y la desviación con respecto a la portadora provocada por la modulación de FM es de  $\pm 17$  KHz, por lo tanto el índice de modulación  $D$  tiene un valor de 4.

$$B = 2(D + 1)W \quad (1.15)$$

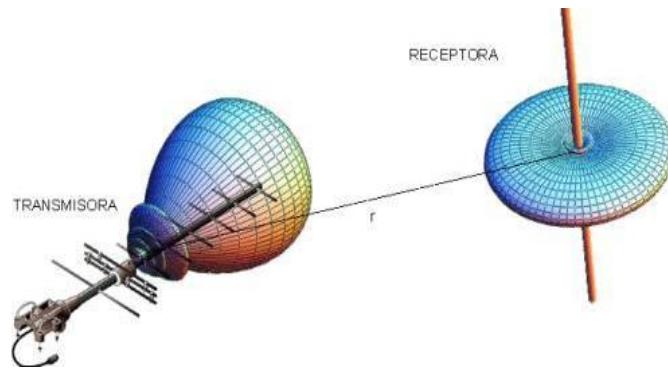
$$D = \frac{\text{desviacion de frecuencia maxima}}{W} \quad (1.16)$$

Reemplazando los valores en 1.13 obtendremos  $B= 41,6$ KHz que sumado a los 6 KHz entrega un ancho de banda de frecuencia intermedia mínimo de 47.6 KHz (Graumann, 2014).

### 1.7 Antenas.

La antena es un dispositivo que permite transmitir o recibir ondas electromagnéticas en el espacio libre. (Ecured, 2016) Una representación de las antenas se tiene en la figura 1.17.

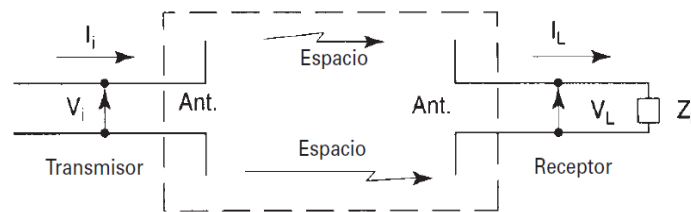
La antena de la estación en tierra es la que se debe adaptar y configurar para establecer el radio enlace con los satélites.



**Figura 1. 17** Antenas radiación y recepción.

**Fuente:** (Pérez J. A., 2008)

Las antenas deben cumplir con el teorema de reciprocidad pasiva, en el que la fuerza electromagnética aplicada en un punto A genera un flujo de electrones con un valor de corriente en un punto B. Entonces, si se aplica misma fuente en el punto B dará una corriente igual en el punto A. Aplicando este teorema a las antenas, si se aplica una fuerza electromagnética a la entrada de una antena A, esta producirá una corriente en una antena B que debe ser igual a la producida por los terminales de A. Una representación de este teorema se puede ver en la figura 1.18.



**Figura 1. 18** Reciprocidad de antenas.

**Fuente:** (Tomasi, 2003)

### 1.7.1 Campos generados por una antena.

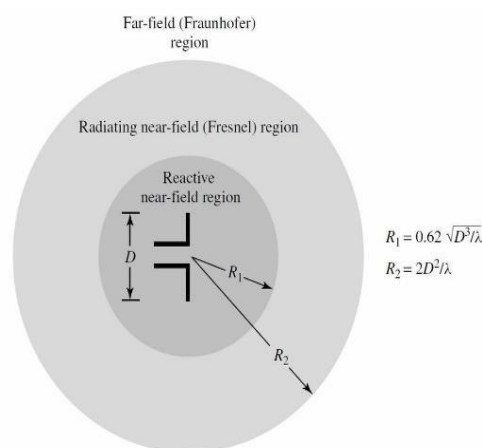
De acuerdo a lo que se ha estudiado en los fenómenos electromagnéticos y los enlaces, se puede deducir que, al momento de establecer y recibir las ondas, se genera un campo electromagnético radiante en las inmediaciones de una antena. Estos campos se estudian de acuerdo a la proximidad.

### 1.7.1.1 Campo cercano y lejano.

El campo cercano es una parte de campo que rodea las proximidades de una antena y la potencia que irradia está constituida mayormente por potencia reactiva, mientras que un campo lejano la radiación está a una distancia mayor. (Tomasi, 2003, págs. 377 - 410).

Para la región de campo cercano a las antenas se extiende aproximadamente entre el rango  $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ , donde  $\lambda$  es longitud de onda y  $D$  son las dimensiones de la antena. A su vez también tenemos campo cercano radiante donde predominan los campos radiados, pero esta depende de la distancia de la antena, para la distribución de campo está relacionado con la longitud de onda con las dimensiones de la antena, esta región va desde rango de  $R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ , hasta una distancia  $R < \frac{2D^2}{\lambda}$ .

El campo lejano se define como la región donde la distribución del campo es independiente a las distancias de la antena, como las distancias son en gran medida los rayos radiantes son paralelos entre sí y la distribución angular es independiente a la distancia de la antena, para el rango de esta se define  $R > \frac{2D^2}{\lambda}$ . En la figura 1.19 se tiene una representación de los campos lejano y cercano para una antena isotrópica.

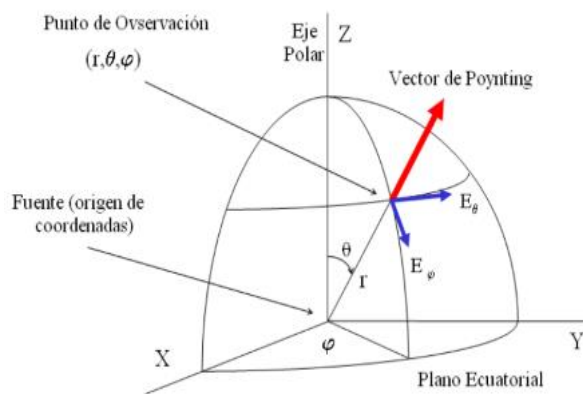


**Figura 1. 19** Regiones de campo.

**Fuente:** (Pérez J. A., 2008)

### 1.7.2 Patrón de radiación.

El patrón de radiación se puede representar en un plano cartesiano o un plano polar de dos o tres dimensiones, en la figura 1.20 se puede ver la representación de un patrón de radiación en tres dimensiones donde el ángulo  $\theta$  nos indicara el plano de elevación y el ángulo  $\varphi$  nos indicara el plano de azimut. (Tomasi, 2003).



**Figura 1. 20** Patrón de radiación en tres dimensiones.

**Fuente:** (Tomasi, 2003)

En la figura 1.21 se tiene gráficas de radiación bidimensionales para efectos de visualización y estudio, pero en la realidad la radiación en una antena es tridimensional. En la figura 1.21-d se puede ver que en plano horizontal y vertical las gráficas de radiación son circulares e iguales, porque la radiación isotrópica en forma real es una esfera. Para los diagramas de radiación se tienen las siguientes definiciones:

- El lóbulo principal contiene la máxima radiación y da la dirección de máxima radiación generada por el campo eléctrico.
- Los lóbulos menores o secundarios son los lóbulos de menor tamaño en comparación al lóbulo principal, por lo general estos se los suele especificar en -dB en comparación al lóbulo principal.
- Los lóbulos laterales también son lóbulos menores y están contiguos al lóbulo principal, por lo general estos son de mayor tamaño que los lóbulos secundarios.

- El lóbulo trasero se encuentra de manera opuesta al lóbulo principal y es el lóbulo de menor tamaño en el sistema.

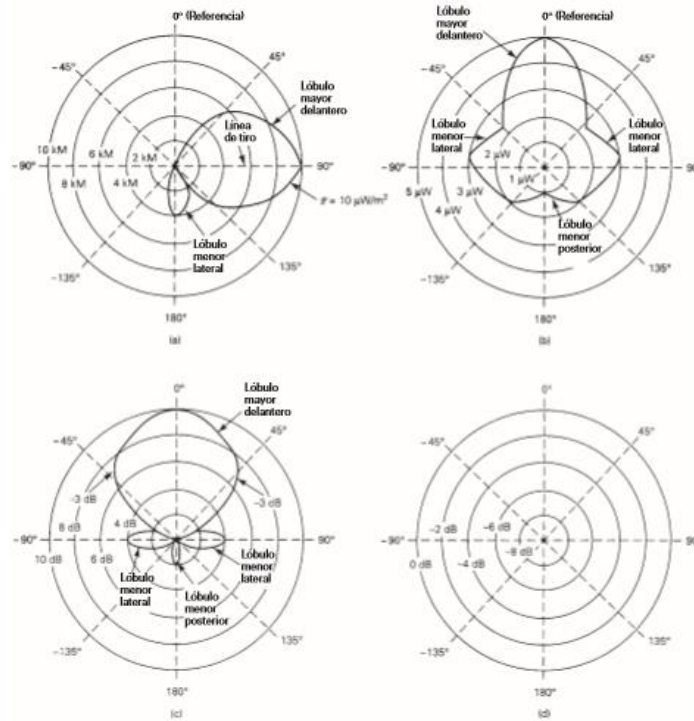


Figura 1. 21 Graficas de radiación.

Fuente: (Tomasi, 2003)

### 1.7.3 Densidad de potencia radiada.

La densidad de potencia radiada por una onda electromagnética se define como la unidad de superficie en una determinada dirección dado por el vector Poynting, la unidad es el vatio por metro cuadrado y se calcula realizando el producto cruz del campo eléctrico E por la intensidad del campo magnético de acuerdo a la ecuación 1.17. (Roca, 2001).

$$S = \vec{E} \times \vec{H} \text{ [W/M}^2\text{]} \quad (1.17)$$

Para obtener la potencia promedio radiada  $P$ , utilizando la ecuación 1.17, se considera un punto radiante con un radio de radiación  $r$  constante en una esfera de superficie cerrada que puede



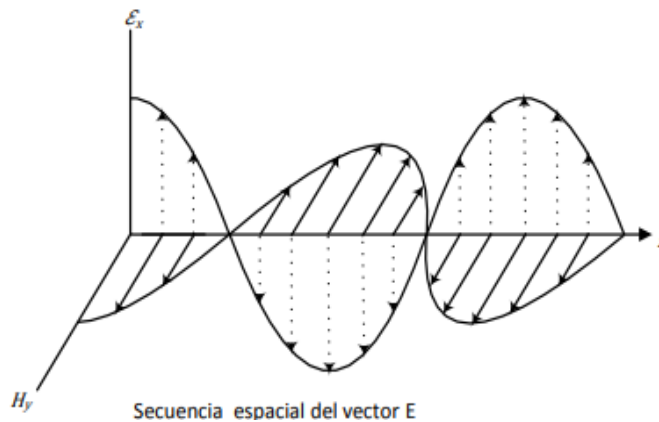
presentar perturbaciones en su interior. La ecuación 1.18 define integrales cerradas aplicadas a la ecuación anterior para obtener la fórmula final usada para la potencia promedio radiada.

$$P_{rad} = \oint_S \vec{S} \cdot \vec{n} \, dS = \frac{1}{2} \oint_S \operatorname{Re} (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot \vec{n} \, dS \quad (1.18)$$

### 1.7.4 Polarización.

La polarización de una antena es la orientación del vector que radia por dicha antena en una dirección dada. La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse.

En la figura 1.22 se puede ver un campo eléctrico, en un punto fijo que oscila desde una parte superior a una parte inferior a lo largo de una línea longitudinal como la representación de la propagación con trayectoria que presenta el vector del campo eléctrico en función del tiempo. (Roca, 2001).

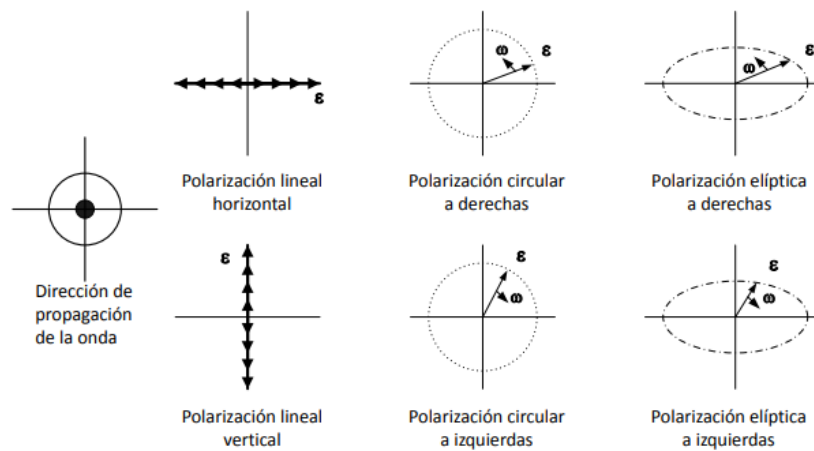


**Figura 1. 22** Polarización de antena.

**Fuente:** (Pérez J. A., 2008)

En la figura 1.23 se tiene una representación de los tipos de polarización de las antenas, definidas como:

- Polarización lineal cuando una onda electromagnética plana, el campo eléctrico transversal de la onda va acompañada de un campo magnético, entonces tendremos polarización lineal horizontal y vertical.
- Polarización circular cuando una onda electromagnética no cambia la fuerza sino su dirección, pero de forma rotativa, es por ello que el campo magnético describe un círculo con función del tiempo. El sentido de rotación es siempre determinado girando de la componente de fase principal hacia la componente de la fase retrasada y observando la rotación del vector de campo, (Tomasi, 2003).

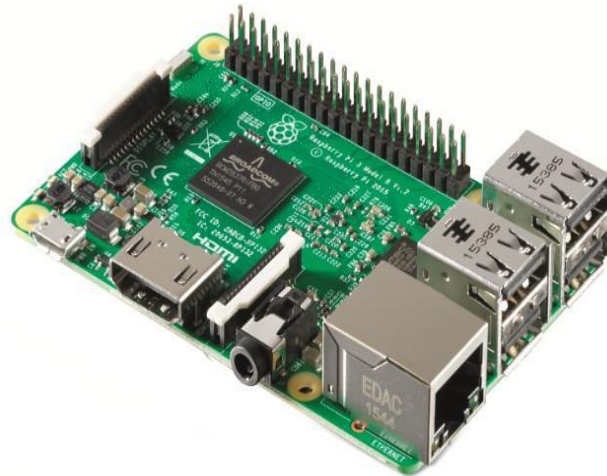


**Figura 1. 23** Polarización lineal, circular, elíptica.

**Fuente:** (Pérez J. A., 2008)

### 1.8 Raspberry Pi 3.

Raspberry Pi es una serie de mini computadoras de tamaño reducido, que puede ser utilizada en proyectos donde se requiere la capacidad de un equipo de computación en un tamaño accesible y puede ser utilizada para practicar programación y construcción de proyectos electrónicos. En la figura 1.24 se puede observar una imagen de la versión 3 de Raspberry Pi.



**Figura 1. 24** Raspberry pi 3.

**Fuente:** [www.Raspberrypi.org](http://www.Raspberrypi.org)

El sistema operativo que maneja es una versión adaptada de Debian con un software de código abierto ya que usa un núcleo Linux con herramientas GNU desarrollado por miles de voluntarios alrededor del mundo que prestan su colaboración libre a través de internet. Entre las características destacadas se tiene que Raspberry Pi 3 posee una memoria RAM de 512 MB, 4 puestos USB, un conector RJ-45 y en la placa está integrada la conectividad WIFI 802.11n y Bluetooth 4.1.

## **1.9 RTL-SDR.**

El RTL-SDR es un escáner de radio de bajo costo que toma una muestra del espectro, lo digitaliza por medio de sistemas computarizado y procesa de forma matemática la información en un microprocesador llamado procesador digital de señal. Entre los procesos que ejecuta se tiene filtrado, frecuencia central, ancho de banda, demodulación y recuperación de audio. Dependiendo de las características del equipo este podría captar frecuencias entre valores de 500 KHz hasta 1.75 KHz y utiliza un software libre para el control del equipo. Este equipo es conocido como dongle y se mantendrá esta nomenclatura en el presente proyecto, se tiene una imagen del equipo en la figura 1.25.



**Figura 1. 25** RTL-SDR.

**Fuente:** Autor.

El dongle en sus comienzos se produjo por los requerimientos de los sintonizadores de TV DVB-T que se producían basados en el chip RTL2832U, investigaciones posteriores determinaron se podía acceder a los datos I/Q del RTL2832. Con el paso del tiempo el RTL-SDR es un elemento ideal para que personas interesadas en el estudio de la radiofrecuencia pueda tener acceso al espectro de radio. En la tabla 1.7 se tiene una tabla comparativa de herramientas SDR (Radio Definido por Software).

**Tabla 1. 7** Comparación de elementos SDR.

SDR	Sintonizador bajo (MHz)	Sintonizador Max (MHz)	Ancho de Banda RX (MHz)	Resolución (Bits)	Transmisor (si-no)	Precio
RTL-SDR (R820T)	24	1766	3.2	8	NO	28
Funcude Pro+	410	2050		16	NO	200
Airspy	24	1800	10	12	NO	199
SDRPlay	0.1	2000	8	12	NO	149
HackRF	30	6000	20	8	SI	299
BladeRF	300	3800	40	12	SI	600
USRP 1	corriente continua	6000	64	12	SI	1000

**Fuente:** (RTL-SDR, 2018)

El radio definido por software (SDR) posee componentes de hardware de radio como los moduladores, demoduladores y sintonizadores que en conjunto con convertidores análogo a digital permite la implementación de su funcionalidad en un programa, es por ello que se lo denomina Radio Definido por Software.

### 1.9.1 Componentes del RTL.

El elemento RTL está compuesto por un demodulador RTL2832U que utiliza multiplexado por división de frecuencia Ortogonal COFDM, con conexión de puerto USB 2.0 y soporta frecuencias para AM, FM, LSB, DSB. El equipo puede captar frecuencias en el rango de 4,57MHz a 36167MHz. El circuito del elemento está construido para rechazar el ruido de impulsos, posee características de recuperación automática de la portadora en un amplio rango de desplazamiento. Se puede ver un diagrama de componentes en la figura 1.26.

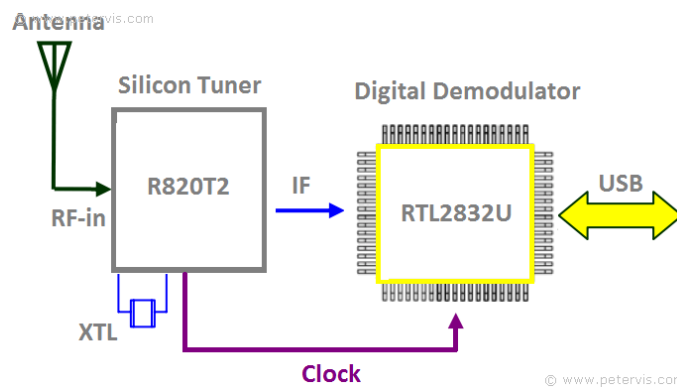


Figura 1. 26 Componentes del RTL-SDR.

Fuente: (RTL-SDR, 2018)

Otro elemento indispensable es el R820T2, un sintonizador de silicio con su función de amplificador de bajo ruido (LNA), regulador de voltaje y además filtro de seguimiento con lo que eliminamos la necesidad de filtros externos, por su estructura este es un elemento de bajo costo. (Domínguez, 2011).

## **CAPITULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

El capítulo presente se detalla las metodologías de investigación utilizada para el desarrollo del prototipo de recepción y proceso de imágenes satelitales, se describe los aspectos relevantes de la metodología y como es aplicada al proyecto.

#### **2.1. Metodología documental**

La metodología de investigación documental se basa en la obtención de datos de diferentes fuentes confiables para obtener información relevante al proyecto. (Bunge, 2002).

Esta metodología se utiliza para recopilar la documentación con la que se realiza el marco teórico recopilando y citando los conceptos básicos sobre los que se basa el desarrollo. También se utiliza en la propuesta al momento de comparar las diferentes tecnologías para cada uno de los componentes del prototipo y poder definir la mejor opción a implementarse.

#### **2.2. Metodología experimental.**

Para el diseño del prototipo se utiliza una metodología experimental que se define como el método por excelencia con el objetivo de identificar las causas y evaluar los efectos (Fernández, 2002).

En la etapa de experimentación se realiza el diseño del prototipo mediante una serie de cálculos y correlaciones para que la antena realice la captura de las imágenes y el software realice el procesamiento de las mismas. La medición se realiza comparando la cantidad y calidad de imágenes obtenidas por el prototipo desde su recepción hasta su despliegue en la página web.

### **2.3 Metodología de campo.**

La metodología de campo es aquella en la que los datos se recolectan o provienen directamente de los sujetos investigados o de la realidad en la que ocurren los hechos, estos datos se conocen como datos primarios. (Arias F. , 1999).

La metodología de campo es aplicada desde la implementación de la antena, para la que se hicieron pruebas en las diferentes etapas y de acuerdo a los datos obtenidos se realizaron ajustes sobre la implementación para alcanzar los parámetros establecidos en el diseño.

También se aplica al momento de la implementación del prototipo, donde de acuerdo a los datos recuperados se cambia líneas de código en los programas implementados para mejorar el tiempo de recolección de las imágenes.

### **2.4 Población y muestra.**

En el presente proyecto no fue necesario desarrollar muestras de la población, muestras estadísticas, etc., debido a que el mismo se enfoca en un proceso experimental y de campo.

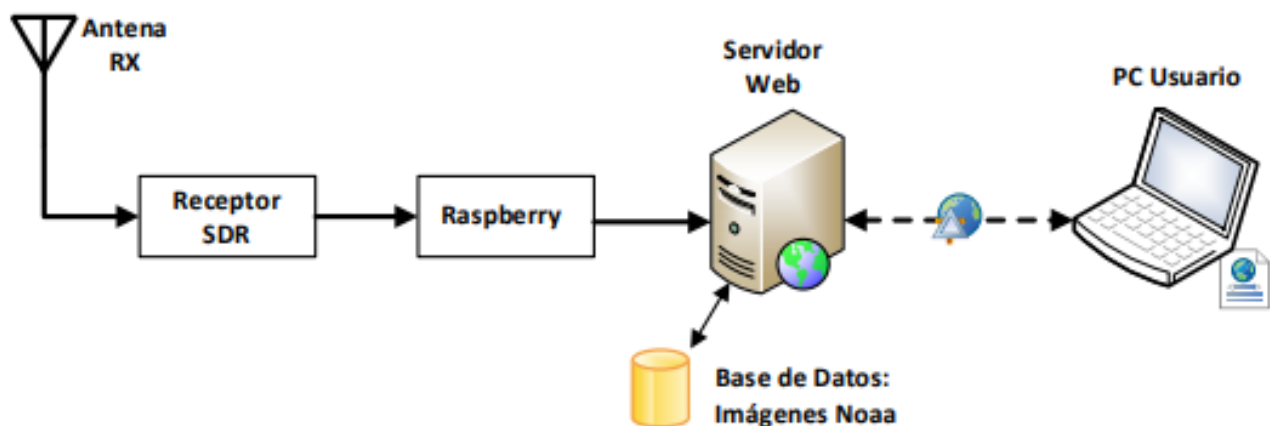
## CAPITULO III

### 3.1 Propuesta.

El presente proyecto tiene como objetivo obtener, procesar y presentar imágenes meteorológicas APT del territorio Ecuatoriano.

En la figura 3.1 se tiene un esquema de la arquitectura del prototipo; el proceso comienza con la configuración de la antena cuadrifilar para la recepción de la señal de los satélites NOAA, a continuación, se realiza la digitalización y proceso de la señal mediante programas de radio definidos por software (RTL-SDR) que se desarrollan y ejecutan en la computadora Raspberry PI sobre el sistema operativo Linux Raspbian.

Estas imágenes son cargadas al servidor web de Amazon y almacenadas en una base de datos, para ser presentadas a través de una página web. El objetivo es proporcionar a la comunidad la visualización de las imágenes meteorológicas del Ecuador.



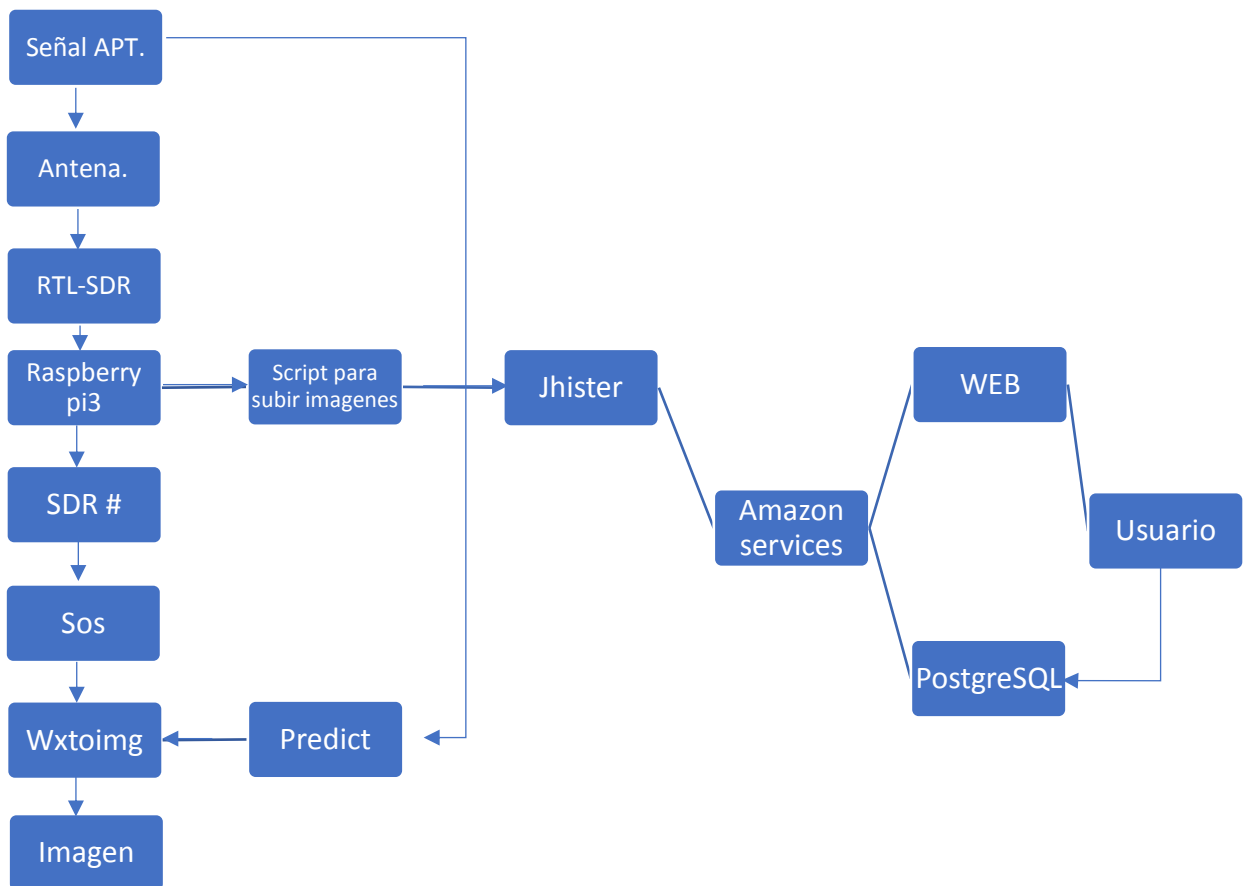
**Figura 3. 1** Arquitectura de recepción de imágenes APT.

**Fuente:** (González, 2014)



### 3.2 Diagrama de bloques del sistema.

El diagrama de bloques del proyecto se puede ver en la figura 3.2.

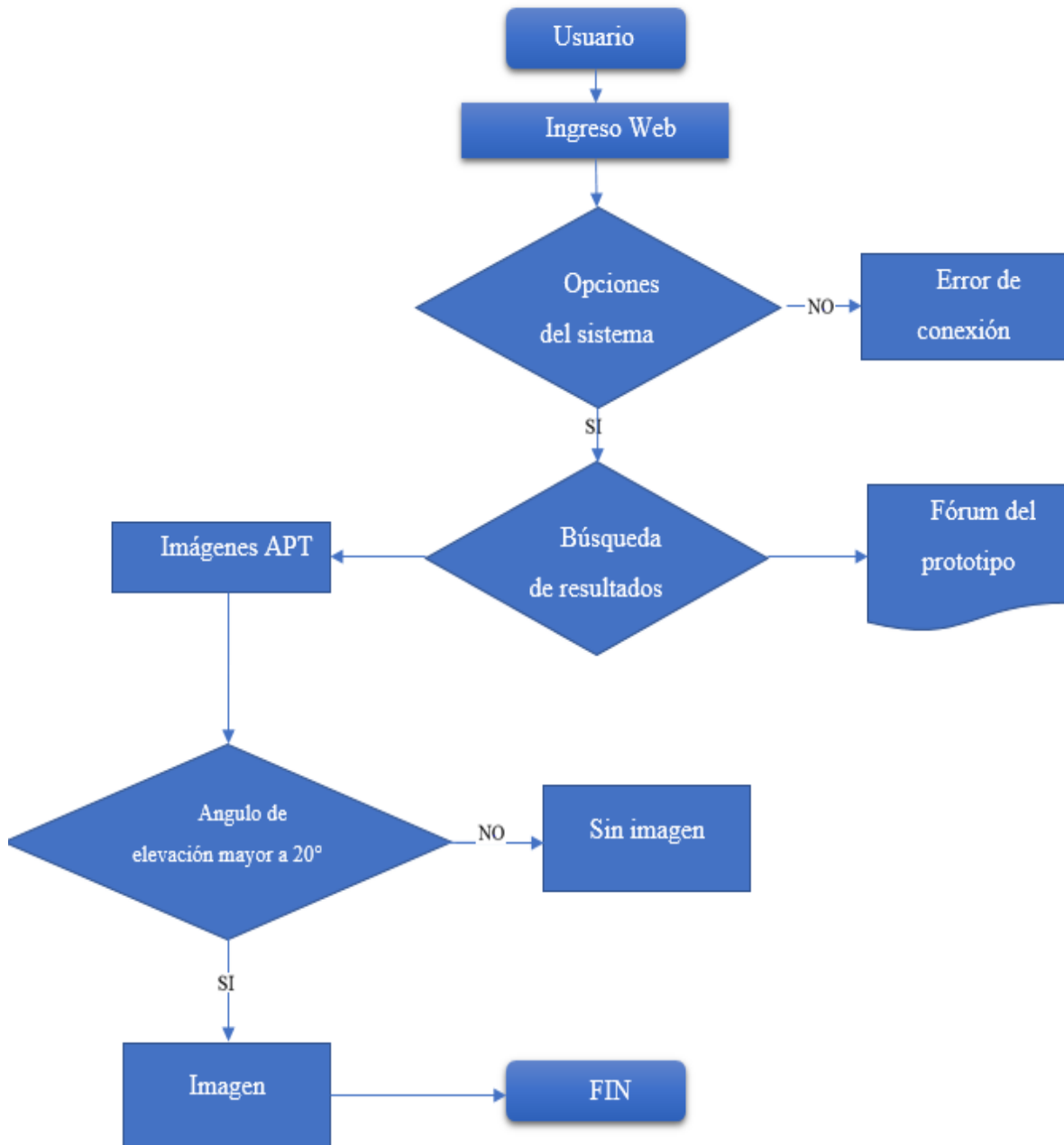


**Figura 3. 2** Diagrama de bloques del sistema.

**Fuente:** Autor

### 3.3 Diagrama de flujo.

El diagrama de flujo de la figura 3.3 corresponde al funcionamiento del sitio web al que el usuario accede por medio de la conexión a internet.



**Figura 3. 3** Diagrama de flujo del sistema.

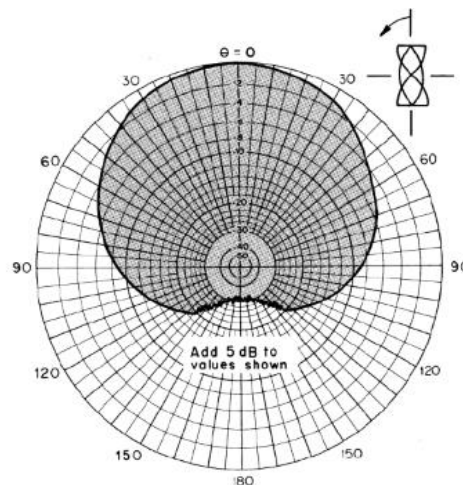
**Fuente:** Autor

### 3.4 Propuesta de antena.

#### 3.4.1 Consideraciones previas.

Para poder determinar el tipo de antena que se va a utilizar se considera que el satélite es de órbita geoestacionaria y por tanto la antena utilizada debe ser de tipo omnidireccional, un ejemplo se puede ver en la figura 3.4.

Para el presente proyecto, la antena debe tener una ganancia máxima entre los ángulos de elevación  $10^\circ$  a  $90^\circ$ , considerando el azimut. Las antenas que podrían ser utilizadas son las de dipolo cruzado (Turnstile) o la antena de hélice cuadrifilar, de las que se obtiene un diagrama de radiación como se puede ver en la figura 3.4.



**Figura 3. 4** Diagrama de radiación Omnidireccional.

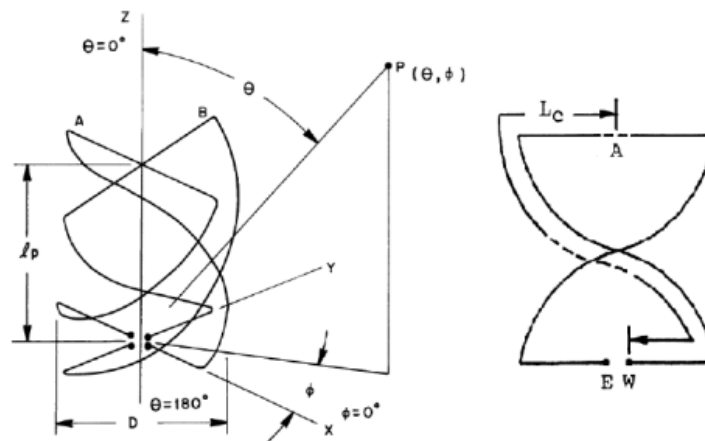
**Fuente:** (Ciafardini, 2010)

Para determinar el patrón óptimo de radiación se considera que durante el paso sobre la posición de la antena la radiación debe ser sensitiva al máximo en el hemisferio superior y mínima en el hemisferio inferior, para impedir captaciones de ruido por reflexión desde la tierra y el ruido causado por los diferentes equipos en tierra. Se considera también que la antena debe ser sensible a la polarización circular derecha por que las señales APT transmitidas desde los satélites NOAA son de polarización circular derecha. Por tanto, se debe desechar las señales recibidas en polarización izquierda pues en su mayoría son reflejos de las señales transmitidas en polarización derecha y pueden provocar distorsiones de las imágenes.

Con estas consideraciones se procede al diseño de la antena usando el modelo helicoidal cuadrifilar.

La antena helicoidal cuadrifilar (QHA) posee un patrón de radiación de forma omnidireccional (Union, 1978), además mejora el patrón de radiación con respecto a las antenas Turnstile y sufre pérdidas muy bajas de intensidad.

La antena QHA está diseñada con dos lazos helicoidales bifilares, orientados ortogonalmente entre sí sobre su mismo eje. Estos dos brazos envuelven un volumen en común y tienen una corriente que se encuentran en cuadratura de fase de 90°. En la figura 3.5 se observa un esquema donde cada segmento se encuentra geométricamente girado en 90°.



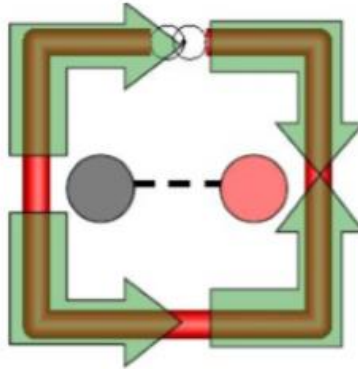
**Figura 3. 5** Antenas Cuadrifilar Helicoidal.

**Fuente:** (Union, 1978)

En la figura 3.5 en la gráfica de la izquierda, se puede ver la representación de los lazos que genera la antena donde  $lp$  representa la longitud axial del cilindro imaginario de la antena. Se calcula  $lp$  con el número de vueltas  $T$ , el diámetro imaginario de la antena  $D$  y el largo del conductor de cada media sección  $Lc$ , donde los  $T$ ,  $D$  y  $lc$  son variables independientes; la ecuación 3.1 define la fórmula de cálculo para  $lc$

$$lp = \sqrt{(lc - D)^2 (\pi \cdot T \cdot D)^2} \quad (3.1)$$

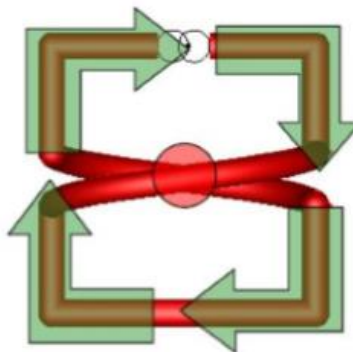
La antena cuadrifilar está formado por dos espiras desfasadas entre sí  $90^\circ$ . El flujo de corriente para una espira se puede ver en la figura 3.6 donde formando un circuito de perímetro  $\lambda$  de forma cuadrada con una longitud de  $\lambda/4$ , se alimenta desde el centro entre los extremos del cuadrado. Con esta configuración el flujo de corriente neto es cero ya que los flujos se anulan entre sí.



**Figura 3. 6** Flujo de corriente en una espira.

**Fuente:** (Thomas, 2005)

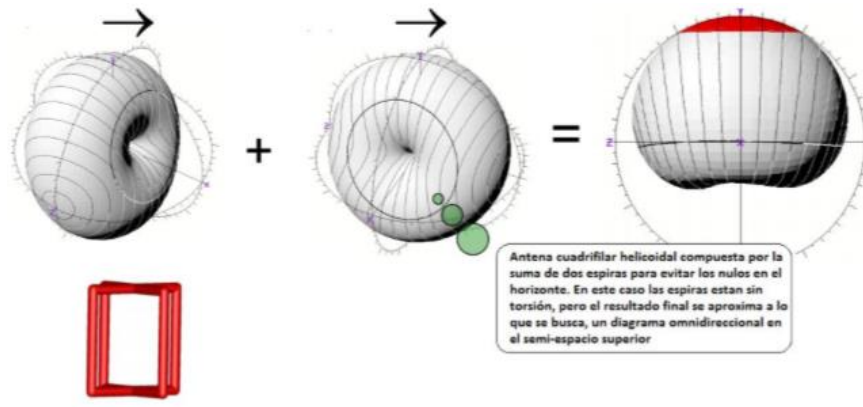
La cancelación de flujo se puede evitar al tomar el lazo cuadrado y torcerlo sobre una base cilíndrica imaginaria cuidando que la estructura quede en paralelo tanto en la parte superior como inferior. Esto resulta en una semi espira con distancias disminuidas a  $\lambda/4$ , pero con una longitud constante como se puede ver en la figura 3.7. Esta nueva configuración permite que el flujo de corriente circule en el mismo sentido a través de las espiras.



**Figura 3. 7** Flujo de corriente en dos espiras.

**Fuente:** (Thomas, 2005)

Para cumplir el requisito de polarización circular derecha omnidireccional se realiza la unión de dos espiras como se puede ver en la figura 3.8.

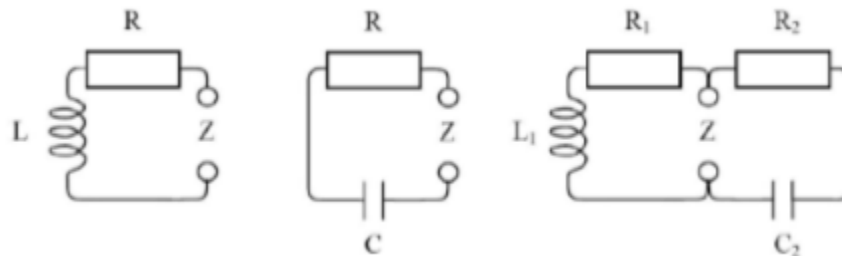


**Figura 3. 8** Polarización de la antena.

**Fuente:** (Thomas, 2005)

### 3.4.2 Diseño antena helicoidal cuadrifilar.

Con los requerimientos definidos, se plantea el diseño de una antena cuadrifilar de media vuelta y media longitud de onda, donde los dos lazos deben tener una diferencia entre sus espiras de  $90^\circ$ . Para su construcción se requiere dos lazos de diferentes tamaños, un lazo compondrá su longitud de onda mayor y entre sus componentes formará un circuito inductivo, el otro lazo ocupará una longitud de onda menor lo que formará un circuito capacitivo. En la figura 3.9 se puede ver el circuito equivalente de la antena confirmado por el circuito capacitivo y el inductivo.



**Figura 3. 9** Circuito equivalente de una antena cuadrifilar.

**Fuente:** (Thomas, 2005)

La alimentación al circuito se hace en paralelo, el lazo inductivo XL debe corresponder a R, así como también el lazo capacitivo XC corresponde a R en su circuito. Con esta condición, el lazo mayor retrasa la corriente en 45°, mientras que en lazo menor la corriente se adelantara en 45°. Las reactancias inductivas y capacitivas se cancelan por el desfase por lo que la impedancia a la entrada vuelve una impedancia resistiva pura.

Milligan (2005) determina que, para obtener la relación de fase, se debe considerar el diámetro del conductor con el que se construye la antena para obtener los parámetros del lazo mayor LM y los del lazo menor Lm de acuerdo a las ecuaciones 3.2 y 3.3.

$$LM = 1.0255 \times 2 Le \quad (3.2)$$

$$Lm = 0.975 \times 2 Le \quad (3.3)$$

$Le$  en las ecuaciones 3.2 y 3.2 corresponde a un factor de corrección que se debe aplicar a la longitud de onda a las secciones curvas que componen los codos, pues la unión de los tramos rectos con los tramos curvos o helicoidales puede producir efectos capacitivos y que los lazos parezcan más cortos. Este factor se calcula con la ecuación 3.4

$$Le = 1.072 \times \frac{\lambda}{2} \quad (3.4)$$

Para el dimensionamiento se requiere contar con el valor de longitud de onda en cada una de las espiras, la longitud de onda se calcula con la ecuación 3.5

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.5)$$

El valor de la velocidad de propagación  $v$  es de  $3 \times 10^8$  m/s, correspondiente a la velocidad de la luz; en el caso de usar cable coaxial (RG-58) la velocidad de propagación se reduce al 66% con una frecuencia de 137.5 MHz correspondiente a las señales APT de los NOAA.

Los cálculos de las dimensiones para la antena de este proyecto se resumen en la tabla 3.1.

**Tabla 3. 1** Dimensiones antena cuadrifilar helicoidal.

Lazo Mayor	D	29.16 cm
	Le	2397 cm
	Lp	85.87 cm
Lazo menor	D	27.58 cm
	Le	2218.9 cm
	Lp	81.52 cm

Como respaldo a los cálculos presentados, se realizó el ingreso de datos en una aplicación java (Coppens, 2010) que se utilizará como herramienta adicional para el dimensionamiento la antena cuadrifilar helicoidal, figura 3.10.



**Figura 3. 10** Aplicación Java para calculo antena cuadrifilar.

**Fuente:** (Coppens, 2010)

En la aplicación se ingresan los parámetros solicitados en la figura 3.11.



Frecuencia de diseño	137.5	MHz
Cantidad de vueltas	0.5	
Largo de una vuelta	1	largos de onda
Radio del doblado	15	mm
Diámetro del conductor	7	mm (valor óptimo: 20.5 mm)
Relación diámetro/altura	0.44	
		Calcular

Figura 3. 11 Calculadora Jcoppens.

Fuente: (Coppens, 2010)

Para el cálculo la aplicación considera la compensación por efecto de las curvas y solicita una relación diámetro/altura, para el presente proyecto se determina el 44% con respecto al diámetro del conductor, un cable coaxial RG-58 con impedancia de 50 ohmios y diámetro de 7 mm. En el anexo 1 se tiene la hoja de datos completa del conductor.

La aplicación nos entrega un cuadro de resultados como se ve en la figura 3.12 para los cálculos del cuadro mayor y la figura 3.13 para los cálculos del cuadro menor. Con los datos calculados previamente más los entregados por la aplicación se empieza el proceso de construcción de la antena.

Largo de onda	2181.8 mm
Largo de onda compensado	2336.7 mm
Corrección por doblado	6.4 mm

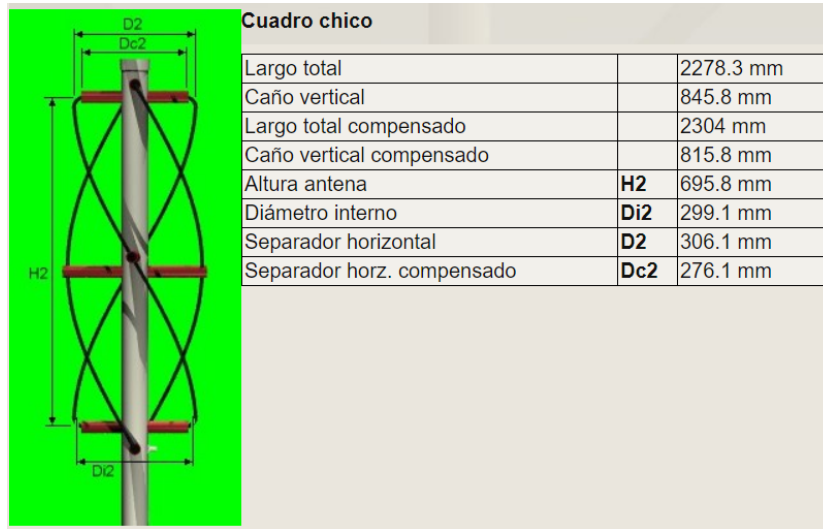
<b>Cuadro grande</b>	
Largo total	2397.4 mm
Separación vertical	889.6 mm
Largo total compensado	2423.2 mm
Separación vertical compensada	859.6 mm
Altura antena	<b>H1</b> 731.8 mm
Diámetro interno	<b>DI1</b> 315 mm
Separador horizontal	<b>D1</b> 322 mm
Separador horz. compensado	<b>Dc1</b> 292 mm



The diagram shows a helical antenna structure with a central vertical axis. The height of the antenna is labeled H1. The diameter of the helix is labeled D1, and the diameter of the central conductor is labeled DI1. The diameter of the helix at the top is labeled Dc1. The helix is shown with two turns, and the central conductor is shown with two turns.

Figura 3. 12 Dimensiones cuadro mayor.

**Fuente:** Calculos obtenidos de (Coppens, 2010).



**Figura 3. 13** Dimensiones del cuadro menor.

**Fuente:** Calculos obtenidos de (Coppens, 2010).

### 3.4.3. Construcción de la antena cuadrifilar helicoidal.

#### 3.4.3.1 Simulación.

Para la construcción de la antena, se realiza un paso previo de simulación. La simulación se realiza mediante el programa de versión libre 4NEC2 (Kraus, 2010). Este programa permite representar las propiedades electromagnéticas de la antena y entrega soluciones numéricas a las ecuaciones para corrientes inducidas.

Para el inicio de la simulación se requiere las dimensiones de la antena que han sido calculadas previamente, para el ingreso de datos se utiliza la opción gráfica Geometry edit, como se ve en la figura 3.14.

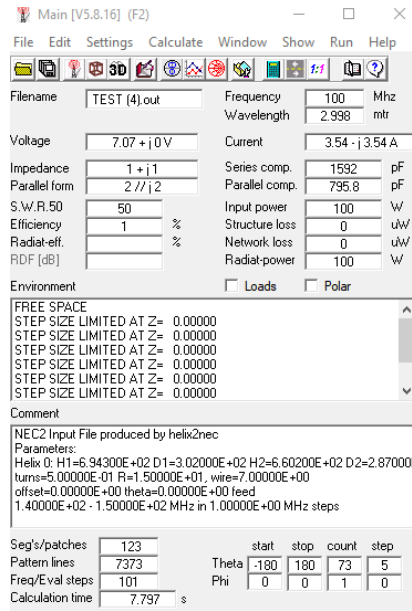


Figura 3. 14 Pantalla Principal del software 4NEC2.

Fuente: Autor

Para el inicio de la simulación debemos tener en claro las dimensiones de la antena para ello esta información la tenemos ya en la sección anterior, al ser un programa amigable escogeremos la opción grafica para el ingreso de datos en Setting en la opción Geometry edit ver figura 3.15.

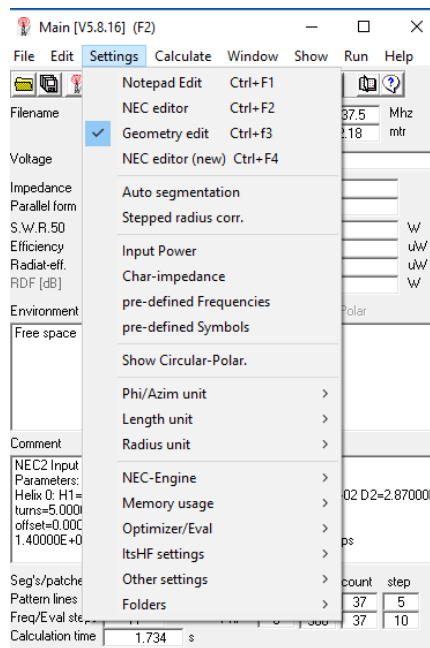
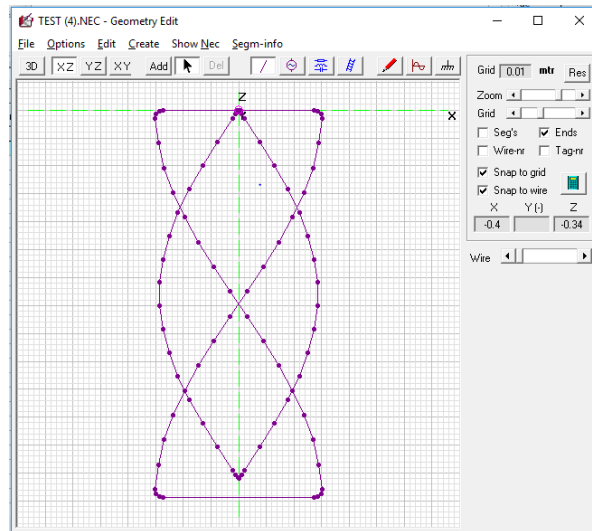


Figura 3.15 Ingreso de datos gráficos.

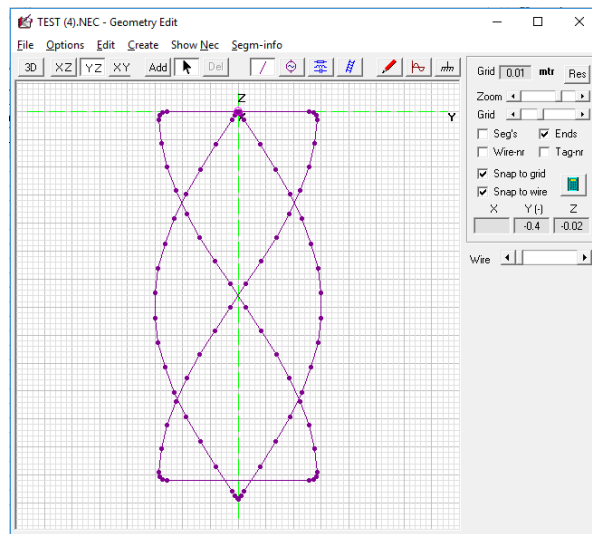
Fuente: Autor.

Para el ingreso de los datos se debe considerar las tres dimensiones tanto en el eje z, eje x y eje y como se aprecia en las figuras 3.16 a 3.19. A partir de los datos ingresados para los ejes y planos se puede generar una representación 3D como se puede observar en la figura 3.18. La colocación de la fuente de alimentación de la antena debe ser en el centro geométrico para evitar algún desequilibrio.



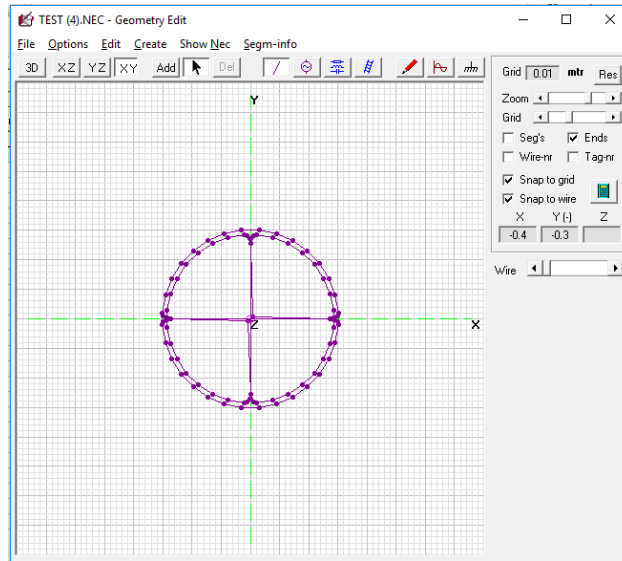
**Figura 3. 16** Plano XZ

**Fuente:** Autor



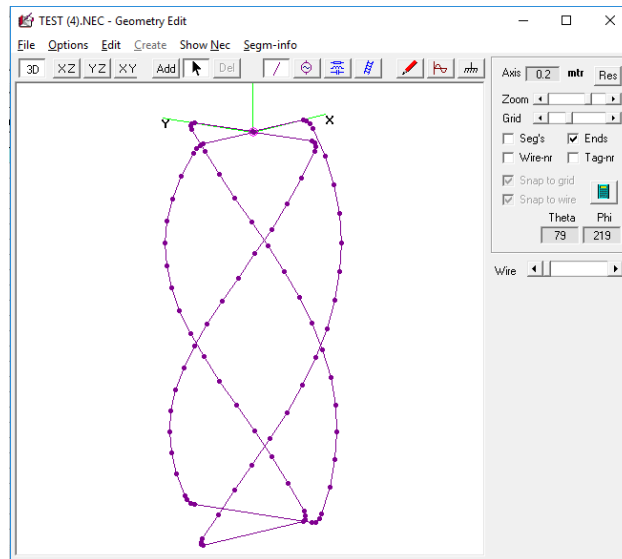
**Figura 3. 17** Plano YZ

**Fuente:** Autor



**Figura 3. 18** Plano XY

**Fuente:** Del autor



**Figura 3. 19** Detalle 3D.

**Fuente:** Autor

El proceso anterior se puede realizar también con *NEC editor*, en este editor el diseño resulta más complejo, al requerir el ingreso de datos de forma que cada medida debe coincidir de forma exacta con cada una de las tres dimensiones, como se tiene en la figura 3.20.

TEST (4).NEC - Geometry Edit

File Cell Rows Selection Options

End:1: Z coordinate

Symbols			Geometry			Source/Load			Freq./Ground		
Geometry (Scaling=Meters)											
Nr	Type	Tag	Segs	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Radius	
1	Wire	1	5	3.53553E-03	3.53553E-03	0	1.36000E-01	0	0	3.50000E-03	
2	Wire	2	5	-3.53553E-03	-3.53553E-03	0	-1.36000E-01	0	0	3.50000E-03	
3	Wire	3	1	1.36000E-01	0	0	1.43494E-01	-1.30486E-03	-2.00962E-03	3.50000E-03	
4	Wire	4	1	-1.36000E-01	0	0	-1.43494E-01	1.30486E-03	-2.00962E-03	3.50000E-03	
5	Wire	5	1	1.43494E-01	-1.30486E-03	-2.00962E-03	1.48905E-01	-5.05521E-03	-7.50000E-03	3.50000E-03	
6	Wire	6	1	-1.43494E-01	1.30486E-03	-2.00962E-03	-1.48905E-01	5.05521E-03	-7.50000E-03	3.50000E-03	
7	Wire	7	1	1.48905E-01	-5.05521E-03	-7.50000E-03	1.50652E-01	-1.02409E-02	-1.50000E-02	3.50000E-03	
8	Wire	8	1	-1.48905E-01	5.05521E-03	-7.50000E-03	-1.50652E-01	1.02409E-02	-1.50000E-02	3.50000E-03	
9	Wire	9	1	1.50652E-01	-1.02409E-02	-1.50000E-02	1.45599E-01	-4.00235E-02	-5.92867E-02	3.50000E-03	
10	Wire	10	1	-1.50652E-01	1.02409E-02	-1.50000E-02	-1.45599E-01	4.00235E-02	-5.92867E-02	3.50000E-03	
11	Wire	11	1	1.45599E-01	-4.00235E-02	-5.92867E-02	1.34719E-01	-6.82043E-02	-1.03573E-01	3.50000E-03	
12	Wire	12	1	-1.45599E-01	4.00235E-02	-5.92867E-02	-1.34719E-01	6.82043E-02	-1.03573E-01	3.50000E-03	
13	Wire	13	1	1.34719E-01	-6.82043E-02	-1.03573E-01	1.18447E-01	-9.36555E-02	-1.47860E-01	3.50000E-03	
14	Wire	14	1	-1.34719E-01	6.82043E-02	-1.03573E-01	-1.18447E-01	9.36555E-02	-1.47860E-01	3.50000E-03	
15	Wire	15	1	1.18447E-01	-9.36555E-02	-1.47860E-01	9.74344E-02	-1.15358E-01	-1.92147E-01	3.50000E-03	
16	Wire	16	1	-1.18447E-01	9.36555E-02	-1.47860E-01	-9.74344E-02	1.15358E-01	-1.92147E-01	3.50000E-03	
17	Wire	17	1	9.74344E-02	-1.15358E-01	-1.92147E-01	7.25224E-02	-1.32444E-01	-2.36433E-01	3.50000E-03	
18	Wire	18	1	-9.74344E-02	1.15358E-01	-1.92147E-01	-7.25224E-02	1.32444E-01	-2.36433E-01	3.50000E-03	
19	Wire	19	1	7.25224E-02	-1.32444E-01	-2.36433E-01	4.47079E-02	-1.44230E-01	-2.80720E-01	3.50000E-03	
20	Wire	20	1	-7.25224E-02	1.32444E-01	-2.36433E-01	-4.47079E-02	1.44230E-01	-2.80720E-01	3.50000E-03	
21	Wire	21	1	4.47079E-02	-1.44230E-01	-2.80720E-01	1.51041E-02	-1.50243E-01	-3.25007E-01	3.50000E-03	
22	Wire	22	1	-4.47079E-02	1.44230E-01	-2.80720E-01	-1.51041E-02	1.50243E-01	-3.25007E-01	3.50000E-03	
23	Wire	23	1	1.51041E-02	-1.50243E-01	-3.25007E-01	-1.51041E-02	-1.50243E-01	-3.69293E-01	3.50000E-03	
24	Wire	24	1	-1.51041E-02	1.50243E-01	-3.25007E-01	1.51041E-02	1.50243E-01	-3.69293E-01	3.50000E-03	
25	Wire	25	1	-1.51041E-02	-1.50243E-01	-3.69293E-01	-4.47079E-02	-1.44230E-01	-4.13580E-01	3.50000E-03	
26	Wire	26	1	1.51041E-02	1.50243E-01	-3.69293E-01	4.47079E-02	1.44230E-01	-4.13580E-01	3.50000E-03	
27	Wire	27	1	-4.47079E-02	-1.44230E-01	-4.13580E-01	-7.25224E-02	-1.32444E-01	-4.57867E-01	3.50000E-03	
28	Wire	28	1	4.47079E-02	1.44230E-01	-4.13580E-01	7.25224E-02	1.32444E-01	-4.57867E-01	3.50000E-03	
29	Wire	29	1	-7.25224E-02	-1.32444E-01	-4.57867E-01	-9.74344E-02	-1.15358E-01	-5.02153E-01	3.50000E-03	
30	Wire	30	1	7.25224E-02	1.32444E-01	-4.57867E-01	9.74344E-02	1.15358E-01	-5.02153E-01	3.50000E-03	
31	Wire	31	1	-9.74344E-02	-1.15358E-01	-5.02153E-01	-1.18447E-01	-9.36555E-02	-5.46440E-01	3.50000E-03	
32	Wire	32	1	9.74344E-02	1.15358E-01	-5.02153E-01	1.18447E-01	9.36555E-02	-5.46440E-01	3.50000E-03	
33	Wire	33	1	-1.18447E-01	-9.36555E-02	-5.46440E-01	-1.34719E-01	-6.82043E-02	-5.90727E-01	3.50000E-03	
34	Wire	34	1	1.18447E-01	9.36555E-02	-5.46440E-01	1.34719E-01	6.82043E-02	-5.90727E-01	3.50000E-03	
35	Wire	35	1	-1.34719E-01	-6.82043E-02	-5.90727E-01	-1.45599E-01	-4.00235E-02	-6.35013E-01	3.50000E-03	
36	Wire	36	1	1.34719E-01	6.82043E-02	-5.90727E-01	1.45599E-01	4.00235E-02	-6.35013E-01	3.50000E-03	
37	Wire	37	1	-1.45599E-01	-4.00235E-02	-6.35013E-01	-1.50652E-01	-1.02409E-02	-6.79300E-01	3.50000E-03	

Figura 3. 20 Diseño de antena con NEC editor.

Fuente: Autor.

Con la geometría de la antena definida se procede a la simulación con la opción *Calculate New Output*. Para la simulación se debe definir el rango de frecuencia sobre el que se desea trabajar para el barrido, como el rango central es 137.5 MHz, se ingresa el rango de 100 a 200 MHz. La pantalla de simulación se puede ver en la figura 3.21.

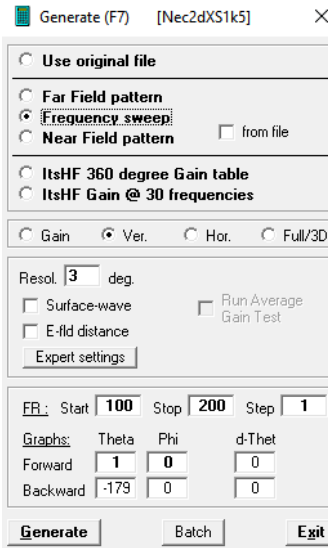


Figura 3. 21 Pantalla de simulación.

Fuente: Autor

Adicionalmente, se solicita la impedancia de adaptación que tiene un valor de  $50 \Omega$  para el presente proyecto. La simulación de la antena muestra un ROE (Relación de onda estacionaria) de 1.26 equivalente a menor potencia de reflejo, en la figura 3.22 se tiene los parámetros con la impedancia de  $50 \Omega$ .

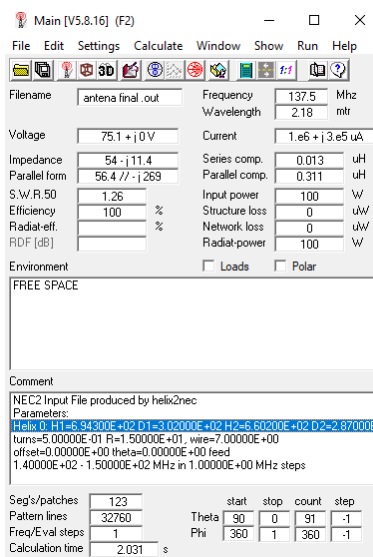
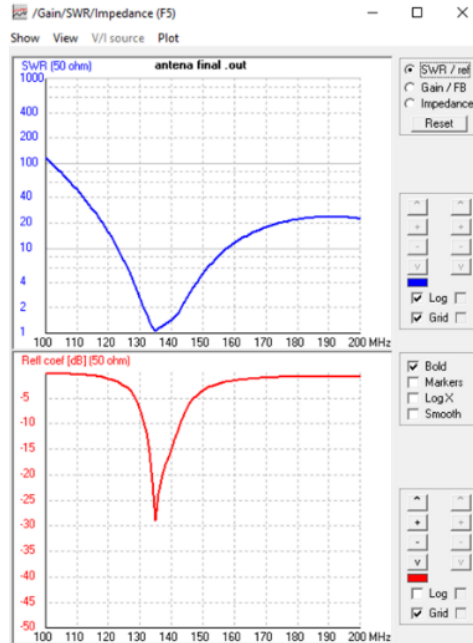


Figura 3. 22 VSWR a 50 Ohms.

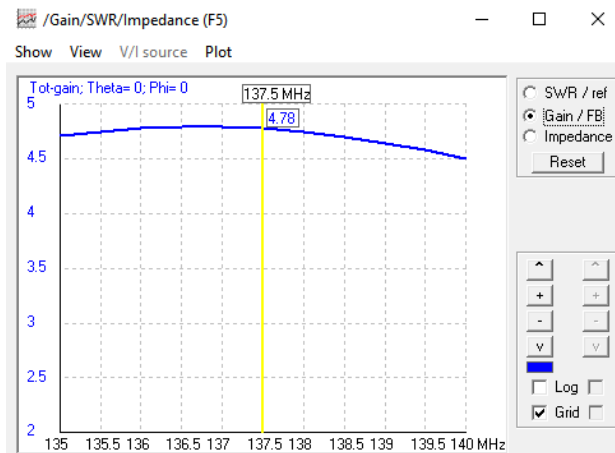
Fuente: Datos simulados de 4Nec2.

La simulación entrega una gráfica de la resonancia de la antena para 137.5 MHz, en la figura 3.23, en la figura 3.24 nos despliega una gráfica de ganancia de 4.78 dBi, en la figura 3.25 muestra el diagrama de radiación, el patrón de campo lejano y el coeficiente de reflexión en la carta de Smith se pueden ver en las figuras 3.26 y 3.27.



**Figura 3. 23** VSWR a 50 Ohms.

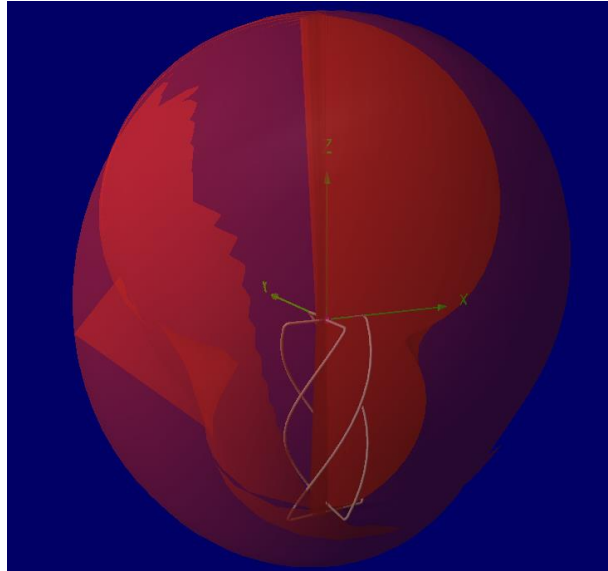
**Fuente:** Simulación obtenida de 4Nec2.



**Figura 3. 24** Ganancia de la antena 4.79 dBi.

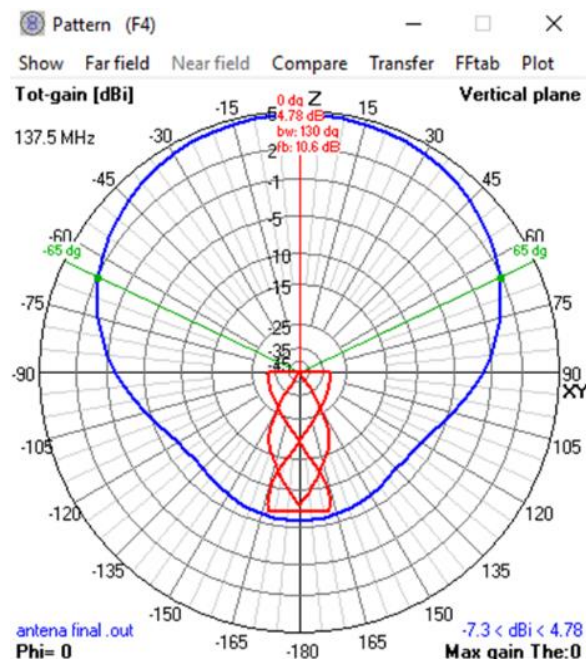
**Fuente:** Simulación obtenida de 4Nec2.





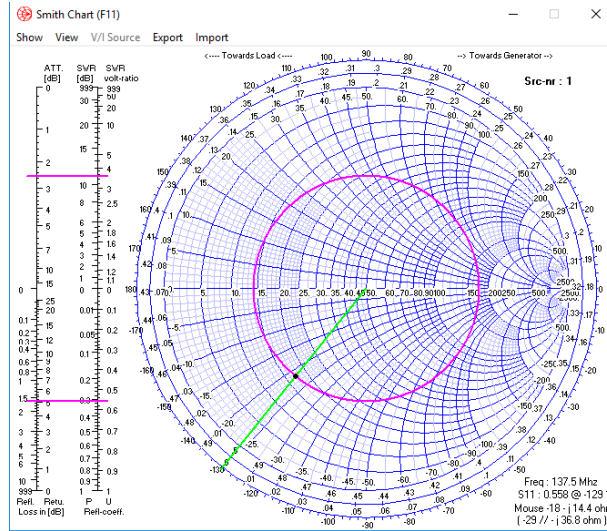
**Figura 3. 25** Diagrama de radiación.

**Fuente:** Simulación obtenida de 4Nec2.



**Figura 3. 26** Patrón de campo lejano.

**Fuente:** Simulación obtenida de 4Nec2.

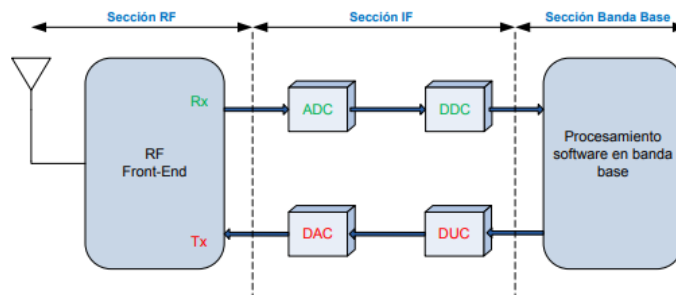


**Figura 3. 27** Coeficiente de reflexión en la carta de Smith.

**Fuente:** Simulación obtenida de 4Nec2.

### 3.5 Propuesta del uso del RTL-SDR.

El RTL-SDR es un demodulador digital controlado por software, un sistema que consiste de un convertidor análogo digital y un programa que procesa la señal digital. En la figura 3.28 se muestra el diagrama de bloques del SDR en donde se muestra la función del convertidor análogo digital y viceversa. La sección RF se encarga de la captación de señal de frecuencia desde la antena cuadrifilar helicoidal que será amplificada por medio de mezcladores. En la sección IF se encuentran los convertidores análogos a digital, la sección de filtros de demodulación y el procesador de base donde se extrae la señal deseada, que pueden ser varias señales simultáneas dentro del espectro.



**Figura 3. 28** Diagrama de bloques del SDR.

**Fuente:** (Laufer, 2011)

### 3.6 Propuestas de sistemas operativos y programas.

Para el proyecto, se trabaja sobre un sistema operativo Linux, a través de una computadora que corresponde a una Raspberry Pi que se usa para el proyecto. Sobre este sistema operativo se usan los programas citados a continuación:

#### 3.6.1 Software Raspbian.

Raspbian es un sistema operativo basado en Debian Stretch Linux, su distribución es libre la cual fue diseñada y desarrollada por diferentes usuarios usando los códigos abiertos. Este sistema operativo es optimizado e idóneo para el Raspberry Pi.

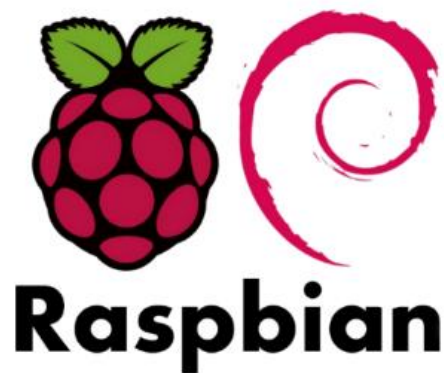


Figura 3. 29 Raspbian logo.

Fuente: Autor

#### 3.6.2 Software RTL-SDR.

Es una aplicación de RTL-SDR para la plataforma Linux que está escrito en C#, esta aplicación está diseñada para trabajar en frecuencias en el rango de los KHz hasta los MHz. Este programa es de código abierto y desarrollado como soporte para temas educativos, se descarga de la página oficial de AirSPY donde además se puede encontrar información relacionada al programa. En el capítulo cuatro se detalla el proceso de instalación y configuración en Raspberry Pi 3.

### **3.6.3 Software SOX de audio.**

En Linux se dispone del programa SOX para la transferencia de secuencias de audio de una aplicación a otra, esta transferencia es realizada digitalmente para evitar pérdidas de audio. Este programa se utilizará para llevar el audio digitalizado del programa SDR hacia el programa Wxtoimg, se detalla el proceso de instalación en Raspberry Pi 3 en el capítulo 4.

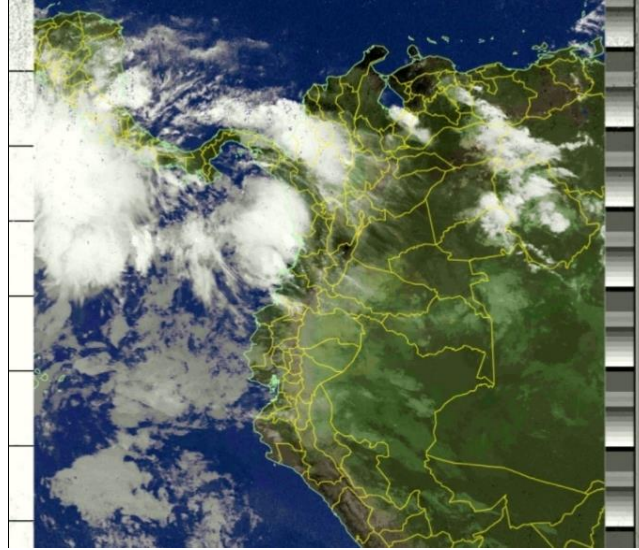
### **3.6.4 Software Predict.**

Predict es una aplicación para la predicción de órbitas y rastreo de satélites en tiempo real, se puede dar seguimiento a una gran variedad de satélites mostrándonos su ubicación. La aplicación también permite predecir los pasos futuros de los satélites usando librerías de predicción, estas se actualizan cada día a través del internet. La información de predicción es necesaria para la recepción de la señal APT para lo cual trabaja en conjunto con SDR y Predict con una configuración complementaria.

Predict se instala y configura en Raspberry Pi 3, esta librería se activa cuando los satélites estén a 20° de elevación sobre las estaciones y de la misma manera se desactiva cuando detecte que los satélites hayan finalizado su paso sobre la estación.

### **3.6.5 Software Wxtoimg.**

La aplicación Wxtoimg utiliza interfaces gráficas en conjunto con Predict para conformar un sistema netamente automatizado para imágenes en tiempo real de imágenes APT. La aplicación realiza la decodificación de las señales que emiten los satélites meteorológicos NOAA para transformarlas en un formato de imagen como PNG, JPEG, AVI. Además, se encarga de la edición y visualización de las imágenes en forma automática, también permite la superposición de mapas geográficos de modo transparente con las imágenes recolectadas, lo que ayuda al intérprete a comprender la posición geográfica que se encuentra. En la figura 3.30 se puede observar el mapa del Ecuador con imágenes meteorológicas superpuestas.



**Figura 3. 30** Superposición del mapa del Ecuador.

**Fuente:** Autor

### **3.7 Análisis del costo del proyecto.**

Para el análisis de costos se debe priorizar cumplir con los objetivos planteados, lo que implica que el prototipo final debe tener todos los elementos que componen el alcance del proyecto. Para el análisis se busca en el mercado las mejores opciones que correspondan al diseño con un valor económico moderado versus los resultados esperados.

#### **3.7.1 Unidad Central de Proceso.**

Para la unidad central de proceso se debe tomar en cuenta algunas consideraciones:

- El equipo debe estar en funcionamiento durante todo el día ya que los programas deben estar listos para capturar las señales que los satélites nos proporcionan.
- El equipo debe ser compacto para el menor consumo de energía
- El equipo debe trabajar con un sistema operativo Linux Raspbian
- Debe tener conectividad inalámbrica, puertos USB 2.0, conectividad a red LAN, HDMI y un puerto para una tarjeta SD

En el mercado los equipos CPU tradicionales no cumplen con la eficiencia energética y tienen características sobredimensionadas para este proyecto que también influyen en el costo. En la tabla 3.2 se puede ver una comparación de costos entre un CPU tradicional y un Raspberry PI, por lo que para este proyecto se opta por un Raspberry PI.

**Tabla 3. 2.** Comparación de costos para CPU.

Comparación de precios		
	Raspberry pi3	CPU
valor	\$85	\$350

### 3.7.2 Radio definido por software.

Para el elemento encargado de digitalizar la señal se tiene como primera opción RTL-SDR, este equipo tiene una recepción de frecuencia entre el rango de 24 MHz hasta 1766 MHz, que coincide con la frecuencia de muestreo de 137.5 MHz que se requiere para este proyecto.

Como segunda opción el HackRF, este equipo posee más prestaciones y trabaja en el rango de frecuencia entre los 30 MHz hasta los 6000 MHz con un ancho de banda de 20 MHz, entre sus características posee las funciones de TX-RX. Al realizar la comparación entre estos dos equipos se puede notar claramente el HackRF posee más prestaciones y nos da mejores características, pero también se considera la parte económica. En la tabla 3.3 se tiene la comparación de precios entre estos dispositivos.

En resumen, se puede ver que la segunda opción tiene un costo muy elevado y no se aprovecharían las funciones adicionales que corresponden a su precio, por lo que se escoge la primera opción para este caso.

**Tabla 3. 3** Costo de equipo Radio Definido por Software.

Comparación de precios		
	RTL-SDR	HackRF
valor	\$28	\$299

### 3.7.3 Presupuesto requerido para el proyecto.

Con base a los objetivos se consideró la disponibilidad de los elementos en el mercado, por ser tecnología que en nuestro país aún no se encuentra comercializada se considera importar algunos elementos. En la tabla 3.4 se tiene un detalle de los costos para el proyecto.

**Tabla 3. 4** Tabla de costos totales.

COSTO DEL PROYECTO			
Cantidad	Elemento o material	Valor unitario	Valor total
2	Módulo RTL-SDR	28	56
1	Raspberry Pi3	85	85
2	PVC 4"	8	16
2	PVC 1/2"	6	12
10	Cable RG 58	1.23	12.3
1	Importación cable RG 58 de cobre	36	36
1	Importación RTL-SDR	50	50
4	Conector BNC macho	2.65	10.6
1	Curso capacitación página WEB	200	200
1	Tarjeta Micro SD 32 GB	1	35
1	Costos varios	150	150
200	Mano de obra	4	800
Total			1462.9

### **3.8 Ventajas y desventajas del producto.**

#### **3.8.1 Ventajas.**

- El prototipo de obtención de imágenes satelitales es un incentivo para que la comunidad pueda ingresar al mundo de las telecomunicaciones y al estudio de la meteorología.
- El prototipo se puede replicar usando el documento del proceso resumido de todos los elementos que intervienen en el sistema.
- El prototipo realiza un despliegue de las imágenes captadas en una aplicación web, lo que permite plantear un análisis científico y determinar estadísticas meteorológicas.

#### **3.8.2 Desventajas.**

- Algunos elementos son de difícil adquisición.
- En ciertos lugares el ruido provocado por otras antenas afecta al resultado final, lo que puede desalentar al aficionado.
- El tiempo base del prototipo en la aplicación web es de un año de gratuidad, pasado este tiempo se encarece el costo por la compra del host.



## CAPITULO IV

### IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se describe los procesos de implementación de cada uno de los componentes del prototipo con base en los diseños planteados en el capítulo anterior.

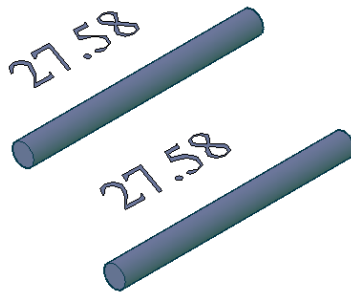
#### 4.1 Construcción de la antena cuadrifilar helicoidal.

En el capítulo anterior se realizó el diseño de la antena con la frecuencia de trabajo definida y los parámetros entregados por el programa Jcoppens. Con esto se tienen las dimensiones más adecuadas para la antena, utilizando las figuras 2.12 y 2.13 que representan la contracción se determina los materiales que se pueden conseguir en mercado nacional los cuales están detallados como sigue:

- Cable coaxial Rg-58
- Tubo PVC de 2".
- Tubo de PVC de ½".
- Conector SMA.

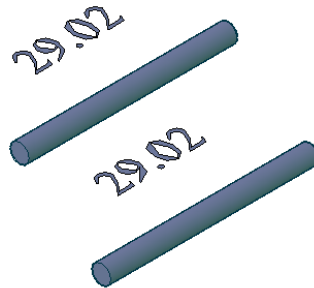
El detalle de los conectores se encuentra en la hoja de datos en el anexo.

El proceso de construcción comienza con el corte de las secciones de los brazos tanto del lazo mayor como del lazo menor con tubería PVC de ½", que serán 2 tubos de 29.02 centímetros y 2 tubos de 27.58 centímetros mostrados en la figura 4.1 que corresponde al cuadro pequeño y la figura 4.2 que corresponde al cuadro grande.



**Figura 4. 1** Brazos cortos.

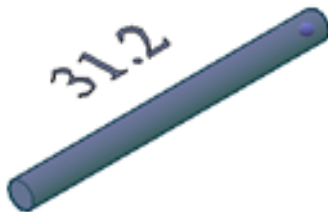
**Fuente:** Autor



**Figura 4. 2** Brazos largos.

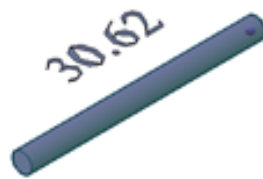
**Fuente:** Autor

En el centro de la antena se debe poner dos soportes para el cable RG58, este debe ser tubo PVC de ½” con dos orificios a los extremos que deben formar 90° entre sí, los cables atravesarán los orificios y la configuración final debe formar una cruz vista desde la parte superior. En las figuras 4.3 y 4.4 se tienen los esquemas de las piezas citadas.



**Figura 4. 3** Sección central mayor.

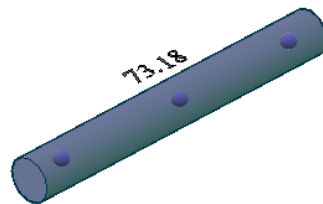
**Fuente:** Autor



**Figura 4. 4** Sección central menor.

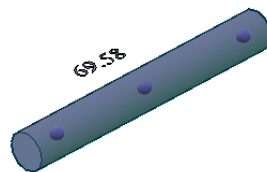
**Fuente:** Autor

Para el soporte principal de los brazos tanto del cuadro pequeño como del cuadro grande se usa un tubo de PVC de 2" al cual se le realizará agujeros de  $\frac{1}{2}$ " en los extremos para el cuadro grande con una separación entre ellos de 73.18 cm, dato mostrado como H1 en la figura 4.5, y dos agujeros de  $\frac{1}{2}$ " con separación entre ellos 69.58 cm para el cuadro menor mostrado en la figura 4.6 como el dato H2.



**Figura 4. 5** Separación del cuadro mayor.

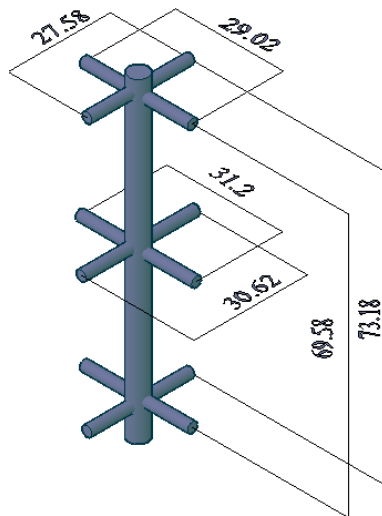
**Fuente:** Autor



**Figura 4. 6** Separación del cuadro menor.

**Fuente:** Autor

Una vez que se tiene el soporte principal con las perforaciones del cuadro grande en los extremos y las perforaciones para el cuadro pequeño que debe estar a 90° de separación del cuadro grande, donde se aloja los brazos para dar soporte al cable coaxial. Una vez terminada la estructura como se puede ver en la figura 4.7 se pasa el cable RG-58. En la figura 4.8 se puede ver la representación real de cómo queda el resultado final de nuestra estructura de la antena.



**Figura 4. 7** Estructura de la antena.

**Fuente:** Autor

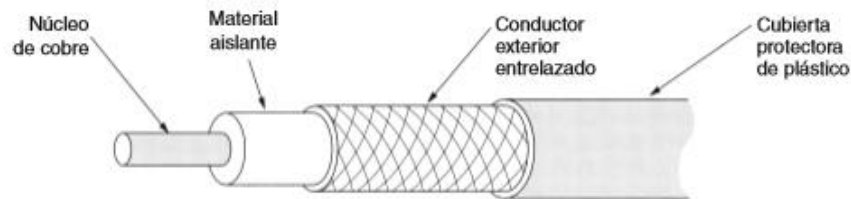


**Figura 4. 8** Estructura de la antena.

**Fuente:** Autor

### 4.1.1 Cable coaxial.

El cable para la conformación de la antena cuadrifilar de nuestro proyecto será el cable coaxial RG-58CU, este por lo general es usado en telecomunicaciones, se caracteriza por tener los dos conductores que son necesarios para formar un circuito, tanto el de ida como el de retorno, todo este conjunto en un conductor concéntrico, de esta manera el conductor interno lleva la energía y el conductor externo en este caso la malla que lo rodea será el retorno a su vez estos separados por un dieléctrico de polietileno que los mantendrá aislados el uno del otro, en la figura 4.9 podemos ver la estructura del cable coaxial.



**Figura 4. 9** Estructura del cable coaxial.

**Fuente:** (Tanenbaum, 2003)

### 4.1.2 Conector SMA.

Se escogió este conector por que el RTL-SDR posee en su configuración de fábrica un conector SMA hembra para la salida de comunicación.

El SMA es de modelo *subminiature versión A* y posee entre sus características una conexión física tipo rosca diseñado para cable coaxial, además posee una impedancia característica de 50 ohmios lo que se encuentra dentro de nuestro rango de trabajo. En la figura 4.10 se puede ver el elemento SMA en detalle.



**Figura 4. 10** Conector SMA.

**Fuente:** Autor

### **4.1.3 Conexión de circuito de la antena cuadrifilar.**

Con la estructura lista, se procede con la construcción del circuito de la antena para lo cual se usa cable RG-58. Con base a las medidas definidas en la propuesta, se corta el cable coaxial para el cuadro grande de 2423.2 mm y para el cuadro pequeño de 2304.4 mm con una holgura de un centímetro por lado antes de realizar el corte.

Los cables pasan por el interior de los brazos para dar forma a la antena cuadrifilar helicoidal y se disponen como se muestra en la figura 4.11.



**Figura 4. 11** Colocación de cables.

**Fuente:** Autor

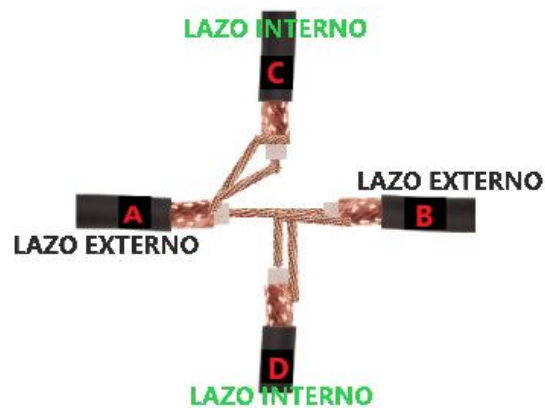
Tras la colocación de los cables se procede a la conexión, para facilitar esta disposición se da etiquetas a cada extremo de nuestra antena como se muestra en la figura 4.12.



**Figura 4. 12** Designación de nomenclatura.

**Fuente:** Autor

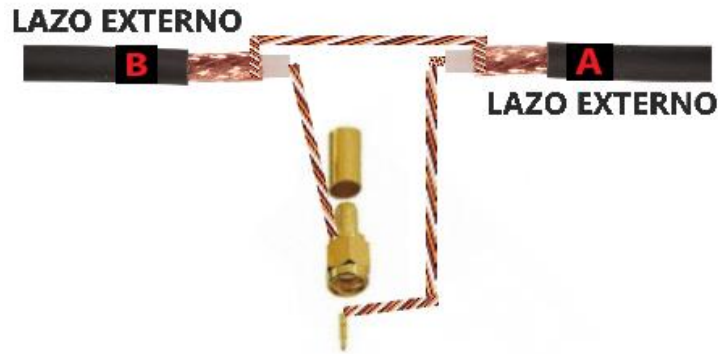
Al cuadro mayor le damos nombre con A-B, al cuadro menor le damos el nombre de C-D. Se realiza las conexiones con estas indicaciones, el extremo del cable C de malla se empalma con el cable central de la sección A, el cable central de A se conecta a la malla y conductor central en conjunto de las secciones B y D. En la figura 4.13 se ve las conexiones con detalle.



**Figura 4. 13** Conexión de la parte superior.

**Fuente:** Autor

Para el extremo inferior de la estructura la conexión será solo del cuadro mayor como se muestra en la figura 4.14, mientras el cuadro menor será un camino sin conexión.



**Figura 4. 14** Conexión de la parte inferior.

**Fuente:** Autor

#### 4.1.4 Análisis de funcionamiento.

Finalizada la construcción de la antena, se procede a realizar pruebas con un equipo de medición llamado RigEXpert AA-230 y el programa AntScope v.1.0.11. El equipo permite tomar lecturas del ROE, frecuencia de resonancia e impedancias. El rango de frecuencias de análisis está entre los 100KHz a 230 MHz que contiene a la frecuencia de la antena que se construyó. En la figura 4.15 nos muestra el equipo de medición.



**Figura 4. 15** Equipo de medicion RigExpert AA-230.

**Fuente:** Autor



La primera prueba realizada a la antena se muestra en la figura 4.16, donde no se recuperó información válida por colocarse lejos del punto deseado. Se obtuvo a la frecuencia de resonancia a la cual fue diseñada la antena y por tanto el resultado de la prueba fue inválido.

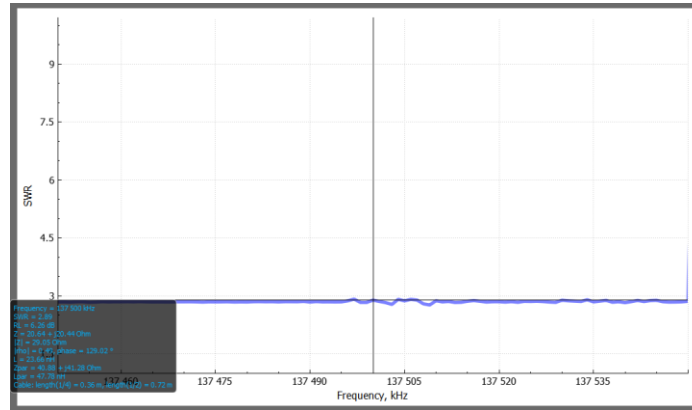


Figura 4. 16 Primera prueba.

Fuente: Autor

Tras los resultados se revisó el proceso de construcción, donde en cierto punto se pintó la estructura sin tomar en cuenta que la pintura contenía productos como polvos metálicos y minerales como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>0</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ca<sub>0</sub> y carbonatos CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>. La solución fue eliminar la pintura de la estructura y se procedió a una segunda prueba como se muestra en la figura 4.17 con los siguientes resultados que detallamos.

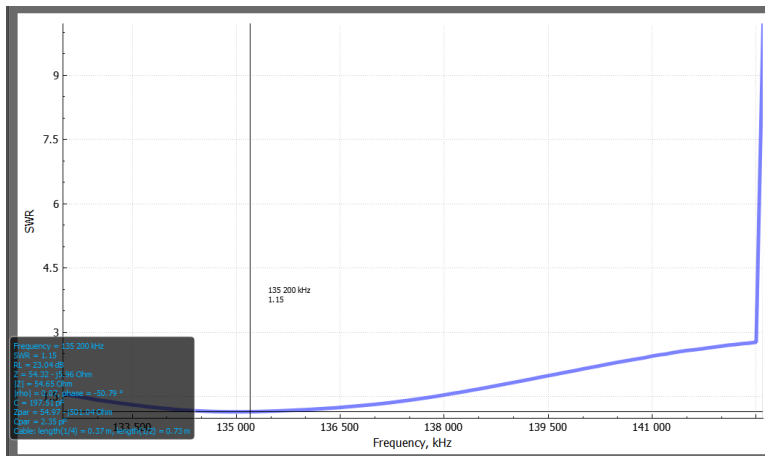
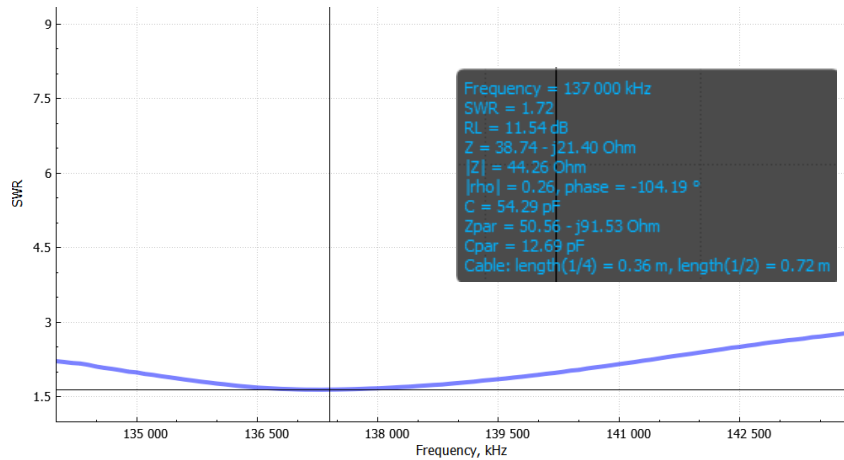


Figura 4. 17 Segunda prueba.

Fuente: Autor

La frecuencia de resonancia que se muestra en la figura 4.17 es de 135,2 MHz y está mucho más cerca del requerimiento final, además posee una impedancia de 54.65  $\Omega$ . Para ajustar estos valores al diseño se procedió con la experimentación de los parámetros físicos, cortando 1.5 centímetros del largo total de la espira mayor. Con las modificaciones, se realiza una prueba nuevamente con los resultados de la figura 4.18.



**Figura 4. 18** Medición final de la antena.

**Fuente:** Autor

Los resultados de la última prueba son óptimos de acuerdo al diseño.

- SWR de 1.72
- Impedancia de 44.25  $\Omega$

Por lo que las medidas finales de los cuadros son:

- Cuadro menor de 2304.4 mm
- Cuadro mayor 2443.2 mm

#### 4.1.5 Medición del espectro con RTL-SDR y SDRSHARP.

Para la medición del espectro se utiliza un programa de análisis de las señales captadas por los satélites. El programa es SDRSHARP libre e instalado en Windows de acuerdo al anexo 2, se puede ver una captura de la pantalla principal en la figura 4.19.



**Figura 4. 19** Ventana SDR#.

**Fuente:** Autor

Para el uso del programa SDR# se debe conocer el momento del paso de los satélites NOAA, para lo cual se usa el programa Predict que muestra una tabla que contiene datos de tiempos estimados en la que el satélite pasará por la estación como se tiene en la figura 4.20.

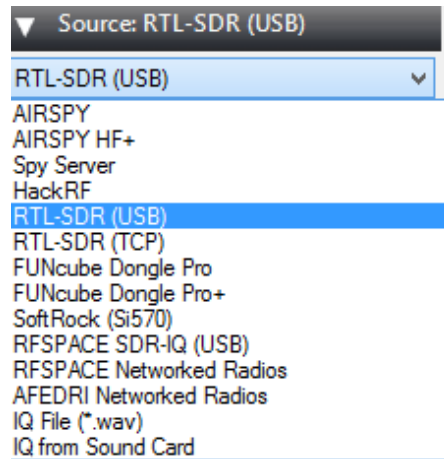
Fecha - LOC	Satélite	Acm	Alt	Mag	Dist.	Acm.S	Alt.S
2019-04-04 12:44:43	NOAA 20 [+]	128.5	10.0	?	2429	311.1	80.9
2019-04-04 12:48:54	NOAA 20 [+]	77.2	23.1	?	1679	307.2	80.1
2019-04-04 12:53:04	NOAA 20 [+]	25.9	10.0	?	2423	303.9	79.2
2019-04-04 13:28:44	NOAA 17 [-]	118.7	10.0	9.1	2389	288.9	71.1
2019-04-04 13:32:12	NOAA 17 [-]	77.3	17.7	8.9	1894	288.1	70.3
2019-04-04 13:35:38	NOAA 17 [-]	26.1	10.0	9.1	2377	287.4	69.5

**Figura 4. 20** Tiempo estimado de paso de los satélites NOAA.

**Fuente:** Autor

El análisis del espectro en recepción con el RTL-SDR se realiza durante 15 minutos, tiempo que la satélite demora en pasar por la estación en tierra. Para empezar, se debe modificar algunos parámetros al programa:

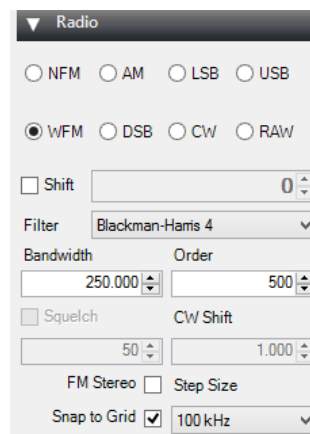
- Source. En el mercado hay diferentes equipos compatibles al programa SDR# por ende se debe escoger el hardware correcto, figura 4.21.



**Figura 4. 21** Configuración de SDRSHARP.

**Fuente:** Autor

- Radio. La demodulación se realiza en WFM que es diseñada para señales meteorológicas, con un ancho de banda de 250 KHz y un filtro Blackman-harris con 500 valor nominal intermedio para escuchar señales dentro del ancho de banda sintonizado. En la figura 4.22 se puede ver un detalle de los parámetros de radio.

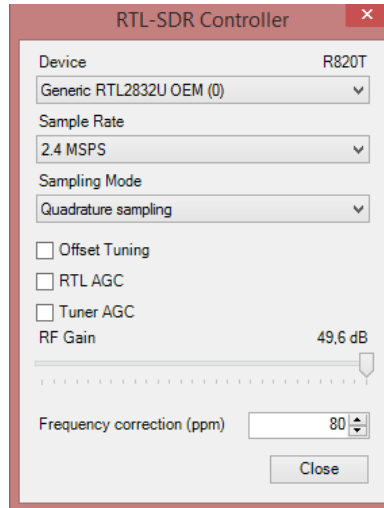


**Figura 4. 22** Configuración de SDRSHARP.

**Fuente:** Autor

- *RTL-SDR Controller*. Con el dispositivo se determina la frecuencia de muestreo a 2.4 MSPS para el ancho de banda instantánea, la ganancia se determina de forma manual

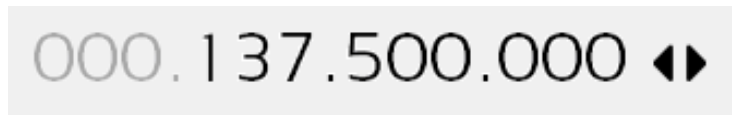
por lo que Offset Tuning, RTL AGC y Tuner AGC se configuran en modo OFF como se ve en la figura 4.23.



**Figura 4. 23** Configuración de SDRSHARP.

**Fuente:** Autor

- En el análisis se tiene tres satélites operativos en la familia de los NOAA 15, 18 y 19 por lo cual se modifica la frecuencia para que corresponda a cada uno de los satélites como se tiene en la figura 4.24.

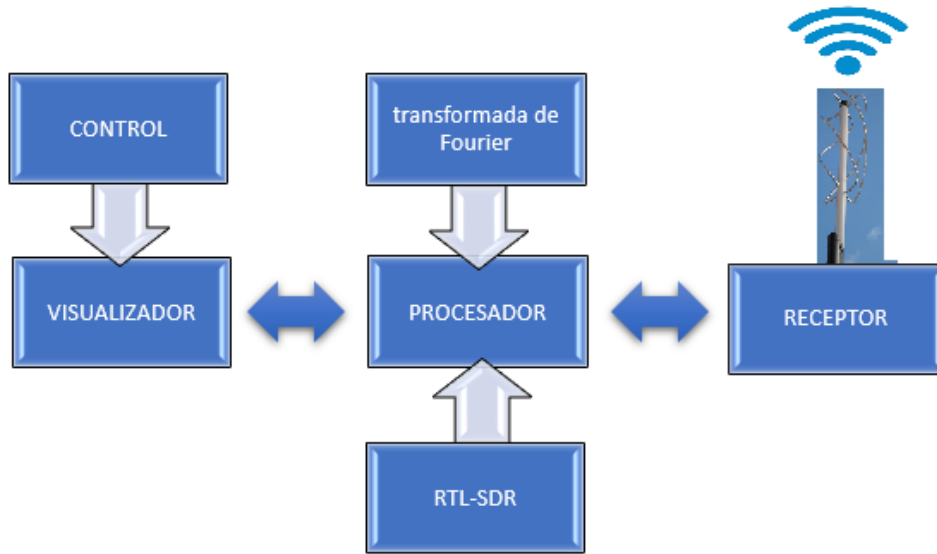


**Figura 4. 24** Configuración de la frecuencia de los satélites NOAA.

**Fuente:** Autor

#### **4.1.5.1** *Analizador de espectro.*

El programa realiza un análisis de acuerdo a la arquitectura mostrada en la figura 4.25. Con este sistema se identifica las señales captadas por los satélites y se observa su comportamiento.

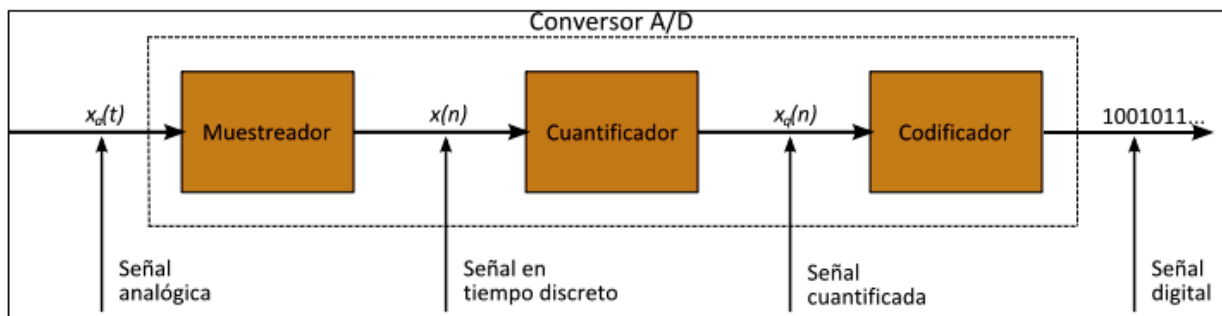


**Figura 4. 25** Arquitectura del sistema para análisis del espectro.

**Fuente:** Autor

Las señales analógicas recibidas por la antena se procesan para obtener señales digitales usando el RTL-SDR, la información digital pasa por un proceso de muestreo y es captada por el procesador en la Raspberry pi 3.

En la figura 4.5 se tiene un esquema del proceso de digitalización en el RTL-SDR, donde se toman las muestras que nos proporcionan los satélites, luego a cada muestra se da un valor digital, proceso lo cual se denomina cuantificación y por último a estos datos se realiza el proceso de codificación.



**Figura 4. 26.** Digitalización de la muestra.

**Fuente:** (Laufer, 2011)

Este proceso se realiza dentro del circuito integrado el RTL-SDR el R820T, donde se puede recibir hasta 130 millones muestras por segundo y el proceso de cuantificación es de 16 bits.

El proceso de muestreo por segundo se basa en el criterio de Nyquist (ecuación 4.1) concepto donde se debe tener en cuenta que no necesariamente a mayor cantidad de muestras se tiene una mejor digitalización.

$$f_{max} \leq f_s/2 \quad (4.1)$$

Donde

$f_{max}$  es la frecuencia máxima de la señal

$f_s$  es la frecuencia máxima de muestreo.

Después del proceso de toma de muestras el siguiente paso es asignar un valor a cada una de las muestras en valores binarios. Para ello el equipo proporciona un máximo de 8 bits con una tasa de datos de salida de 3.2 MS/s. En el proceso de cuantificación no todas las muestras van a ser codificadas por lo que se va a generar valores de error a esto se los denomina ruido y se lo puede expresar matemáticamente como se tiene en la ecuación 4.2.

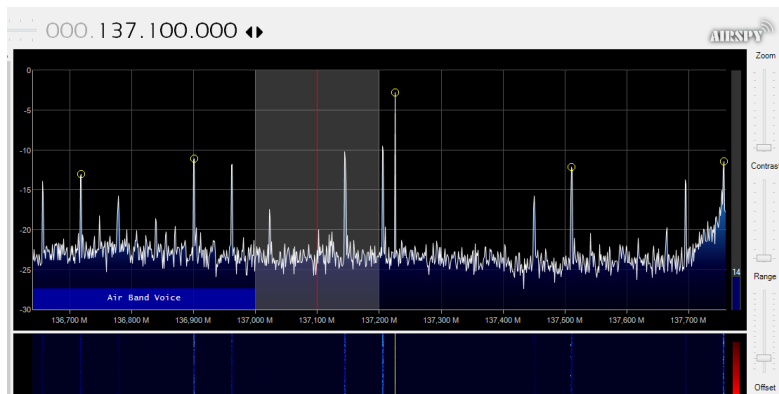
$$SNR = 6.02 \times N + 1.76dB \quad (4.2)$$

$SNR$  (*Signal to Noise Ratio*, relación señal/ruido) donde  $N$  corresponde al número de bits, esta relación es la diferencia entre la máxima señal que se puede procesar en el proceso de digitalización con respecto al ruido.

Para visibilizar los cambios en el espectro es necesario una herramienta matemática conocida como la transformada de Fourier, la cual ayuda a definir las características en el dominio de la frecuencia.

**4.1.5.2 Análisis de espectro.**

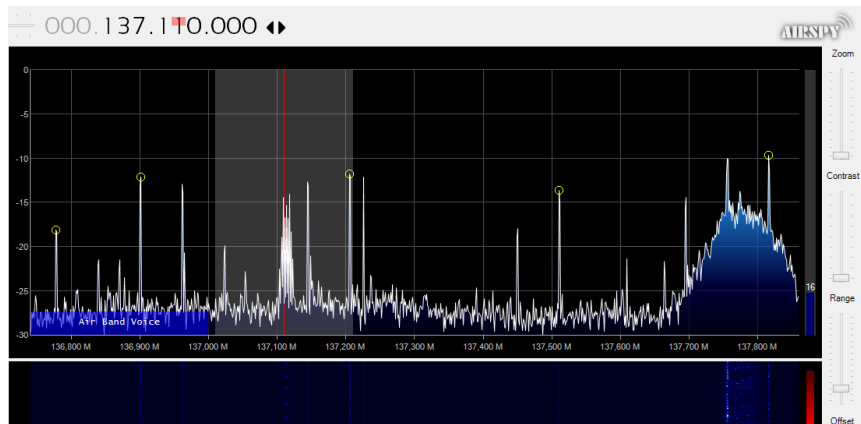
El espectro de radio es un recurso limitado por lo que debe ser administrado y controlado para detectar anomalías en calidad de transmisión. Para estudiar el espectro en este proyecto se toma muestras en el transcurso del paso de los satélites, en la figura 4.27 se puede ver las muestras del NOAA 19 con frecuencia central 137.1 MHz sin la proximidad necesaria para para la captación de señales.



**Figura 4. 27** Frecuencia del NOAA 19.

**Fuente:** Simulación obtenida con SDRSharp V1.0.0.1666.

Al acercarse el satélite, se captan señales como se puede ver en figura 4.28 donde se muestra pequeñas ráfagas de señales.

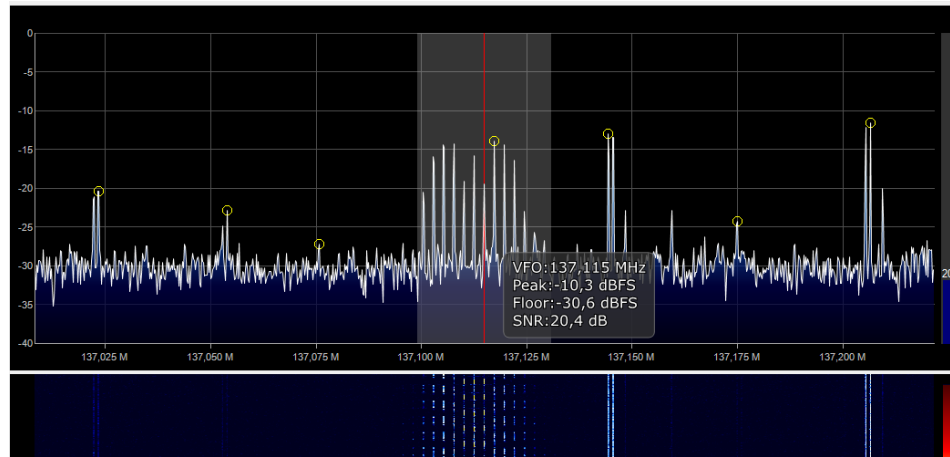


**Figura 4. 28** Digitalización de la muestra.

**Fuente:** Simulación obtenida con SDRSharp V1.0.0.1666.



En la figura 4.29 se toma la muestra en el momento del paso del satélite sobre la estación, como se puede observar las frecuencias son más consistentes en esta captura.



**Figura 4. 29** Digitalización de la muestra.

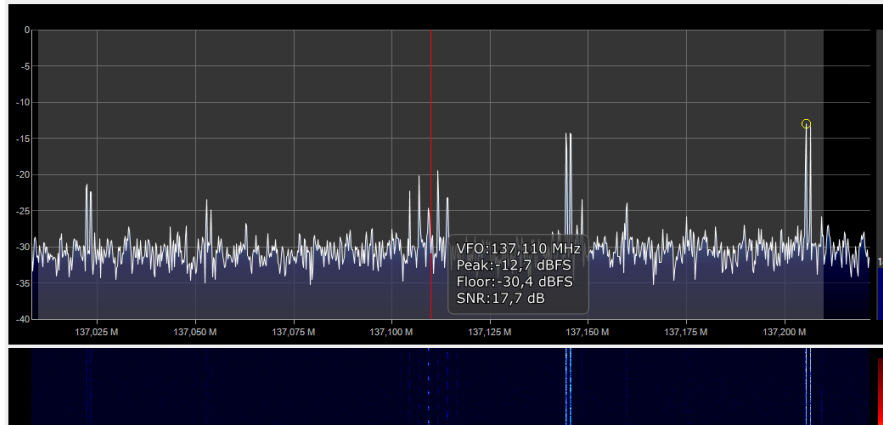
**Fuente:** Simulación obtenida con SDRSharp V1.0.0.1666.

De la figura 4.29 se tiene los resultados:

- VFO (*Variable Frequency Oscillator*, Oscilador de Frecuencia Variable) que determina la frecuencia de resonancia para el NOAA 19 de 137.1 MHz
- PEAL (Máxima cresta pico) con un valor de -10.3 dBFS (Decibelios comparado con escala completa).
- FLOOR indica la sección mínima de muestreo con el límite del nivel de ruido la parte mínima de la ventana del espectro con un valor de -30.6 dBFS.
- Con la cresta máxima en la señal de muestreo y la mínima al borde del ruido se obtiene de manera gráfica la relación señal a ruido SNR que para el caso es de 20.4 dB.

Al finalizar el paso del satélite se toma nuevamente los datos como se tiene en la figura 4.30 donde se ven los siguientes resultados:

- VFO: 137.11 MHz.
- PEAK: -12.7 dBFS.
- FLOOR: -30.4 dBFS.
- SNR: 17.7 dB.



**Figura 4. 30** Digitalización de la muestra.

**Fuente:** Simulación obtenida con SDRSharp V1.0.0.1666.

#### 4.1.6 Construcción del *hardware*.

La construcción del prototipo inicia con una caja que puede ser colocada en el interior o en el exterior, por lo tanto, debe manejar características apropiadas de aislamiento. Se selecciona una IP 65 que tiene protección contra polvo y agua, en la figura 4.31 se observan los elementos instalados.

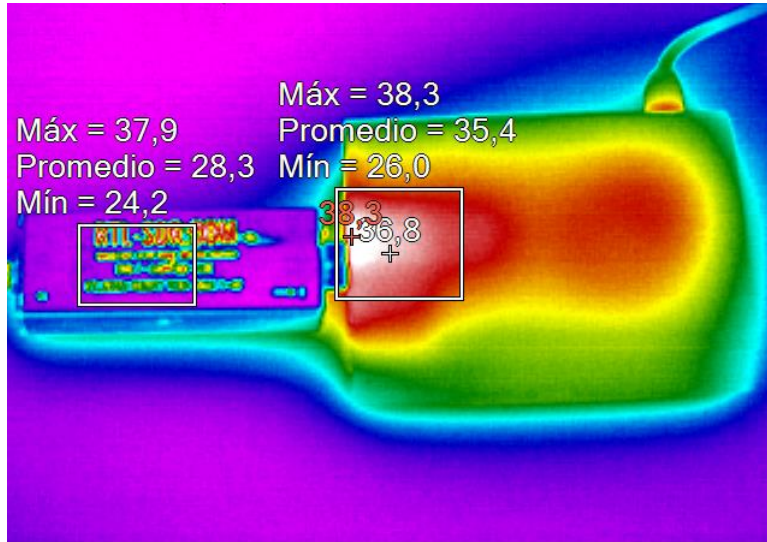


**Figura 4. 31** Colocación de los equipos en el Rack.

**Fuente:** Autor

En el transcurso del proyecto se detectó que el sistema tiende a recalentar tanto el RTL-SDR como el Raspberry pi, como lo indica la figura 4.32 que puede llegar hasta los 38°, por ello en

aparatos electrónicos este factor no es amigable, por lo tanto se coloca un sistema de refrigeración mediante un ventilador controlado que funcionará de manera permanente.



**Figura 4. 32** Termografía al RTL-SDR.

**Fuente:** Autor

Para el sistema de alimentación eléctrica se toma en cuenta los parámetros de corriente de los elementos como se tiene en la tabla 4.1. Con estos valores también se dimensiona la capacidad del UPS que es necesario para evitar la interrupción del funcionamiento por falta de fluido eléctrico.

**Tabla 4. 1** Carga del sistema.

Consumo de Corriente	
	Corriente
Raspberry Pi3	3 A
Sistema redundante	3 A
Ventilador	0.3 A

Con los parámetros detallados se determina que la carga total del sistema es de 6.3 A con lo que se calcula el UPS de 756 VA, se adquiere un equipo UPS de 800 VA por disponibilidad. El diagrama de consumo de energía final se tiene en la figura 4.33.

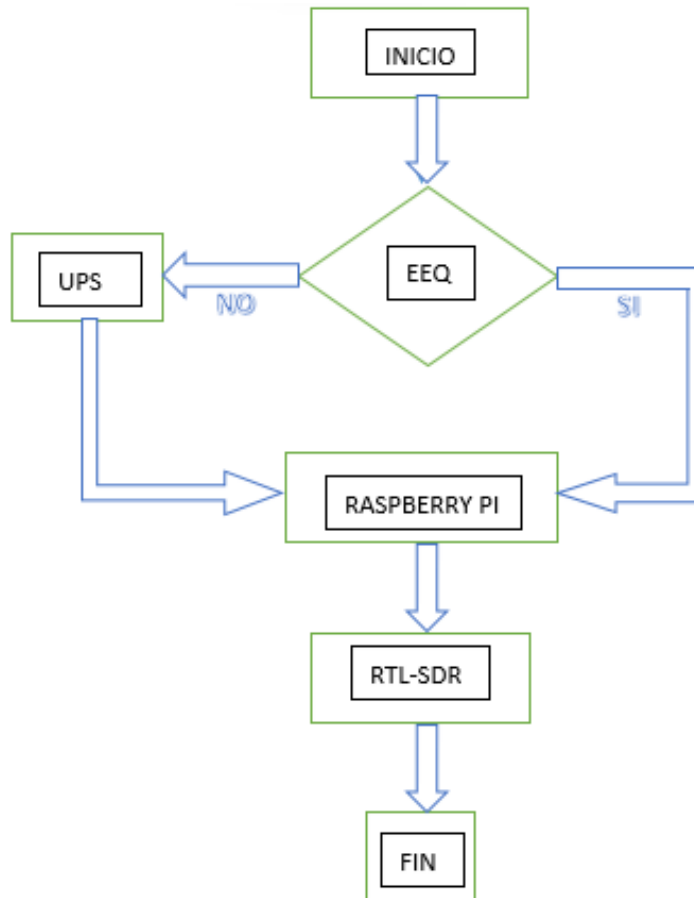


Figura 4. 33 Energía del sistema.

Fuente: Autor

## 4.2 Instalación de sistema operativo y programas.

Raspberry PI 3 utiliza Raspbian Stretch, el sistema operativo se descarga de la página de Raspberry en formato ZIP y copiado en una memoria SD con ayuda del programa gratuito BalenaEther mostrado en la figura 4.34, este programa permite clonar el sistema operativo en la memoria SD para ser instalado en el CPU de la Raspberry.



**Figura 4. 34** Clonar sistema operativo.

**Fuente:** Autor

Tras la instalación del sistema operativo se instalan las aplicaciones necesarias para el prototipo. El primer paso es realizar una actualización en Raspberry con los comandos:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
sudo reboot
```

Para descargar e instalar los controladores USB para el RTL-SDR se usa el comando:

```
sudo apt-get install lisbusb-1.0
```

Luego, para acceder a la última versión de nuestro dongle RTL-SDR se instala la versión cmake con versión V2 para el dongle para lo cual se ejecuta el comando.

```
sudo apt-get install cmake
```

Se instalan los controladores del RTL-SDR mediante la ejecución un archivo en el editor de texto sudo nano, en la dirección /etc/mobprobe.d/no-rtl.conf usando los comandos:

```
Blacklist dvd_usb_rtl128xxu
Blacklist rtl2832
Blacklist rtl2830
```

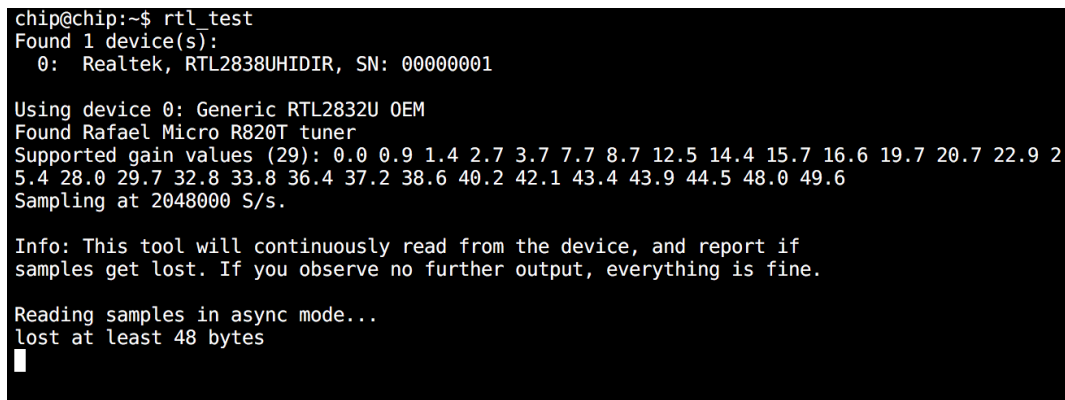
Se obtiene la compilación más reciente del RTL-SDR esto se obtiene de los repositorios de la página web de la siguiente dirección web, <https://github.com/> con los siguientes comandos:

```
cd ~
git clone https://github.com/keenerd/rtl-sdr.git
cd rtl-sdr/
mkdir build
cd build
cmake ../ -DINSTALL_UDEV_RULES=ON
make
sudo make install
sudo ldconfig
cd ~
sudo cp ./rtl-sdr/rtl-sdr.rules /etc/udev/rules.d/
sudo reboot
```

Tras la instalación, se ejecuta el comando para verificar las instalaciones:

```
sudo rtl-test
```

En la figura 4.35 se muestra el resultado del comando



```
chip@chip:~$ rtl_test
Found 1 device(s):
 0: Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: 00000001

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Supported gain values (29): 0.0 0.9 1.4 2.7 3.7 7.7 8.7 12.5 14.4 15.7 16.6 19.7 20.7 22.9 2
5.4 28.0 29.7 32.8 33.8 36.4 37.2 38.6 40.2 42.1 43.4 43.9 44.5 48.0 49.6
Sampling at 2048000 S/s.

Info: This tool will continuously read from the device, and report if
samples get lost. If you observe no further output, everything is fine.

Reading samples in async mode...
lost at least 48 bytes
█
```

**Figura 4. 35** Resultado de la prueba del RTL-SDR.

**Fuente:** Autor

Se configura la comunicación entre el sdr# y el programa Wxtoimg con un cable de audio virtual, para esto se tiene una herramienta de audio que nos permite hacer esta tarea, que se instala con el comando:

```
sudo apt-get install sox
```

Para poder captar las señales satelitales a una hora determinada se instala la aplicación AT con el comando:

```
sudo apt-get install at
```

La aplicación anterior debemos mantenerle informado de las estimaciones de cuando los satélites pasaran sobre la estación para ello tenemos una aplicación denominado Predict, y procedemos a instalar de la siguiente manera:

```
sudo apt-get install predict
```

Una vez instalado el programa Predict, se ejecuta y solicita la ubicación en tierra mediante los datos de longitud y latitud, para obtener los datos se puede usar Google maps seleccionando la ubicación actual como se puede ver en la figura 4.36. Se debe considerar que Google maps entrega los datos tomando el norte y el este como positivo mientras que Predict toma al norte y al oeste como positivo, por lo tanto se debe realizar un ajuste. En la figura 4.37 se puede ver una captura de la ejecución de Predict.

```

                                     ---- PREDICT v2.2.3 ----
                                     Released by John A. Magliacane, KD2BD
jun 2018

----[ Main Menu ]----

[P]: Predict Satellite Passes           [I]: Program Information
[V]: Predict Visible Passes           [G]: Edit Ground Station Information
[S]: Solar Illumination Predictions    [D]: Display Satellite Orbital Data
[L]: Lunar Predictions                 [U]: Update Sat Elements From File
[O]: Solar Predictions                 [E]: Manually Edit Orbital Elements
[T]: Single Satellite Tracking Mode    [B]: Edit Transponder Database
[M]: Multi-satellite Tracking Mode    [Q]: Exit PREDICT

```

**Figura 4. 36** Edición de estación en tierra.

**Fuente:** Autor

**Figura 4. 37** Ground Station Location Editing Utility.

**Fuente:** Autor.

Con los datos de Google maps y realizando el ajuste se edita en la opción G de Predict.

```

Station Callsign : w1AW
Station Latitude : -0.27589
Station Longitude : 78.5537
Station Altitude : 2853 [m]
    
```

El programa encargado de convertir el audio digitalizado del SDR# a imagen en tiempo real es Wxtoimg (Wxtoimg, 2018), el cual se instala con los siguientes comandos:

```

cd ~
wget http://www.wxtoimg.com/beta/wxtoimg-armhf-2.11.2-beta.deb
sudo dpkg -i wxtoimg-armhf-2.11.2-beta.deb
    
```

Para su configuración se debe indicar la ubicación para que el programa genere el mapa y lo superponga en las imágenes captadas, la ubicación debe ser configurada correctamente ya que puede ocasionar imágenes distorsionadas. Tanto Wxtoimg como Predict requieren el ajuste de las coordenadas de Google Maps, para esto debemos tomar en cuenta que el programa considera el



Norte y al Este como valores positivos, ahora configuraremos nuestra aplicación, en primer lugar, debemos usar el editor de texto en nuestro caso “sudo nano” para crear un nuevo archivo llamado `~/wxtoimgrc`, en este archivo colocaremos nuestra ubicación como lo mostramos en la siguiente manera:

```
Latitude: -0.27589
Longitude: -78.5537
Altitude: 2853
```

Para la automatización de los procesos se genera un directorio para el proyecto usando los comandos, los códigos de los scripts para la automatización que van en este directorio se encuentran en el anexo 3.

```
cd ~
mkdir tiempo
cd clima
mkdir predecir
cd predecir
```

Para la automatización se genera tres Script de programación (RTL-SDR, 2018). El primer script es “*schedule\_all.sh*”, que permite actualizar la información de las TLE. El segundo script “*Schedule\_satellite.sh*” permite captar imágenes con un ángulo de elevación mayor a 20° para obtener imágenes de mejor calidad.

El tercer script “*receive\_and\_process\_satellite.sh*” recibirá el audio de los satélites al RTL-SDR y por medio del cable de audio SOX, lo comunicará al Wxtoimg para generar la imagen.

Para la ejecución de los scripts, primero se coloca los permisos completos en los archivos con los comandos:

```
chmod + x schedule_all.sh
chmod + x schedule_satellite.sh
chmod + x receive_and_process_satellite.sh
```

Luego se configura la hora de ejecución mediante Cron, una herramienta de linux para ejecutar tareas automáticas

```
10 * * * /home/pi/weather/predict/schedule_all.sh
```

En la figura 4.38 se puede ver las imágenes generadas por los scripts dentro de la carpeta *weather* del proyecto, las imágenes se generan con una extensión png.

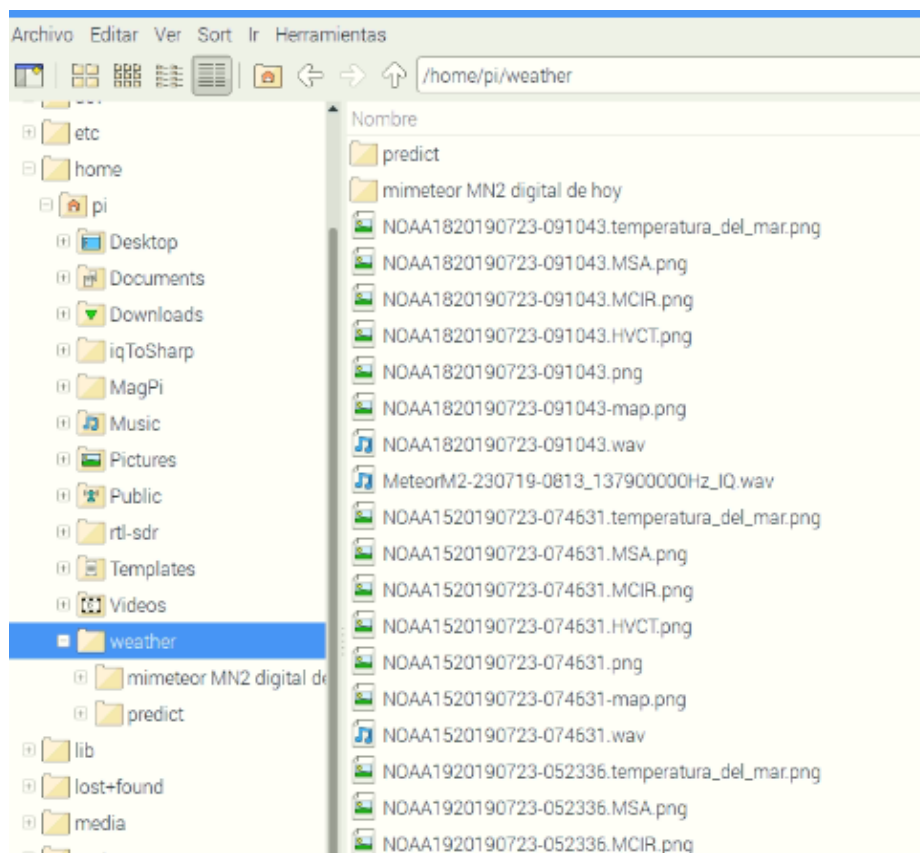


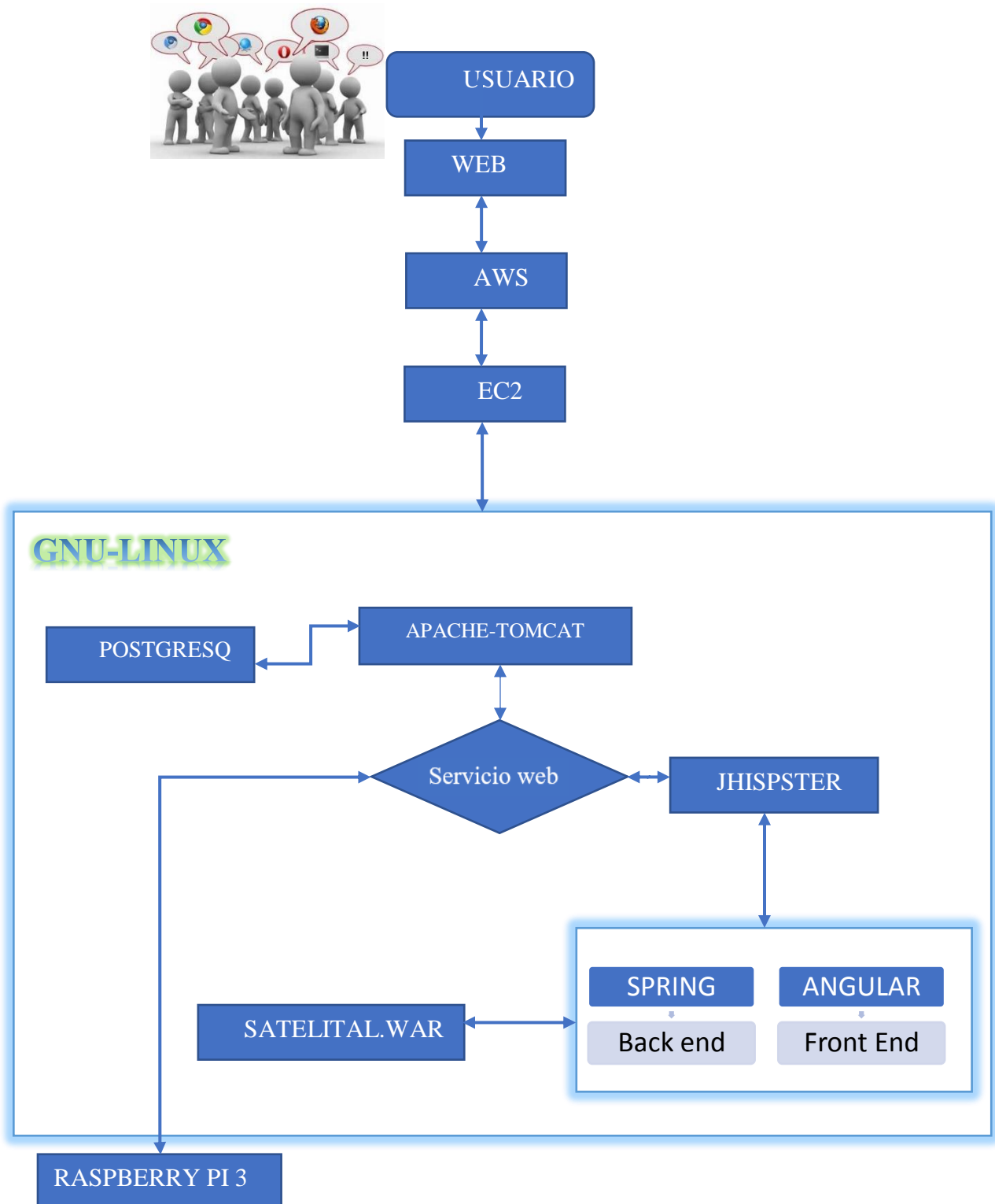
Figura 4. 38 Repositorio de imagenes en la carpeta weather.

Fuente: Autor

### 4.3. Desarrollo de la aplicación WEB.

Las imágenes de los NOAA 15-18-19 serán compartidas mediante la internet con una aplicación webweb SATELITAL V1.0 a la cual se puede acceder digitando el siguiente link

<http://18.191.207.66:8080/satelital/#/> en la barra de dirección de cualquier navegador, para la cual se define un diagrama de bloques como se puede ver en la figura 4.39.



**Figura 4. 39.** Diagrama de bloques de la aplicación WEB.

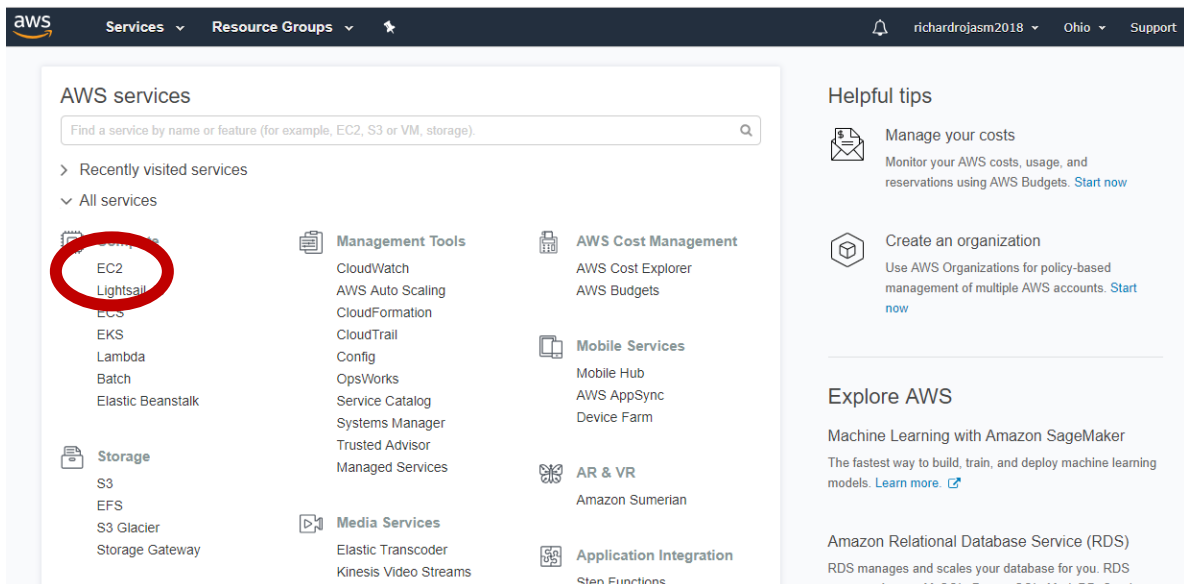
**Fuente:** Autor

### 4.3.1 Configuración de servidor virtual.

Para el alojamiento de la aplicación, se utiliza Amazon EC2 o también conocida como *Amazon Elastic Cloud Computing* que permite trabajar en una plataforma robusta que proporciona capacidad de computación escalable a través de la web, madurez en su servicio, sistemas de base de datos y seguridad. Con una capacidad de 750 horas libres al mes y capacidad de almacenamiento se puede desplegar la aplicación y mantenerla disponible.

Para la aplicación de este proyecto se configuran los siguientes parámetros mediante la consola web de amazon server que se puede ver en la figura 4.40.

- Memoria de 1.7 Gb hasta 15Gb.
- Procesador de hasta 4 núcleos.
- Almacenamiento de 60 Gb.



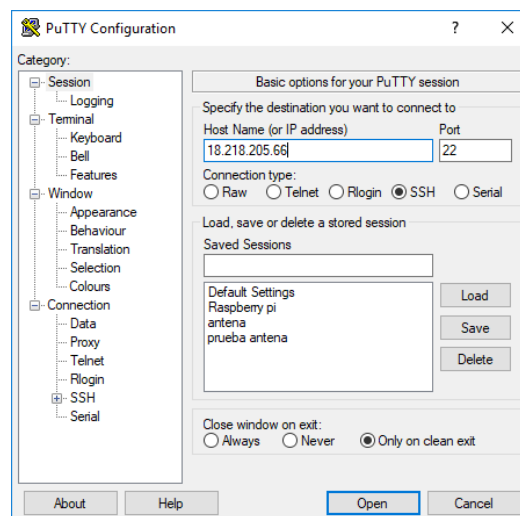
**Figura 4. 40** Página principal de Amazon Server.

**Fuente:** Autor

Como se observa en la figura 4.40, una vez creado el usuario de AWS (Amazon Web Service) se escoge la interfaz en la que se va a trabajar, para este proyecto es EC2 (Elastic Compute Cloud) que proporciona un control completo sobre los recursos informáticos.

AWS proporciona una dirección IP pública para el proyecto que tiene un valor de 18.191.207.66:8080

Para poder acceder al servidor virtual de amazon se puede acceder a través de protocolo SSH por medio del puerto 22. Con el acceso remote se puede administrar al sistema operativo, instalar aplicaciones y paquetes desde cualquier máquina con una conexión a internet y que soporte el protocolo SSH. En la figura 4.41 se puede ver un ejemplo de acceso SSH con PuTTY.



**Figura 4. 41** Ingreso a AWS por PuTTY.

**Fuente:** Autor

Con el acceso, se configura las reglas del servidor virtual, la primera es la regla del firewall para la conexión a la red para la que se habilita el puerto 8080 usado por Apache Tomcat para publicar recursos web mediante protocolo HTTP, el puerto 5432 dedicado para la base de datos PostgreSQL y el puerto 22 para comunicación SSH. En la figura 4.42 se tiene un resumen de los puertos habilitados en el servidor.

Security Groups associated with i-0e364cc43c0e61ce8			
Ports	Protocol	Source	launch-wizard-1
80	tcp	0.0.0.0/0, ::/0	✓
5432	tcp	0.0.0.0/0, ::/0	✓
22	tcp	0.0.0.0/0	✓

**Figura 4. 42** Habilitación de puertos.

Fuente: Autor

### 4.3.2 Creación de la base de datos PostgreSQL.

Las imágenes generadas por Raspberry se almacenan en una base de datos PostgreSQL, para instalar la base de datos en la computadora, se usan los comandos:

```
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install postgresql postgresql-contrib
```

En la fase de comunicación de los datos entre la Raspberry Pi3 y la base de datos se ocupa un servicio web hacia el servidor de Amazon para almacenar las imágenes en el repositorio. Esto se realiza creando un script donde se indica hacia donde se debe enviar los datos configurando el puerto 8080 y la dirección IP. El código de este script se puede ver en el siguiente segmento:

```
#!/bin/sh
inotifywait -m /home/pi/weather -e create -e moved_to |
while read path action file; do
    echo "The file '$file' appeared in directory '$path'
via '$action'"
    FILENAME="$path$file"
    EXTN="${FILENAME##*.}"
    PNG="png"
    echo $EXTN
    if [ "$EXTN" = "$PNG" ];
    then
        curl -F file=@$FILENAME
http://3.15.9.56:8080/satelital/api/photos/file
    fi
done
```

### 4.3.3 Servidor Apache Tomcat.

Al habilitar el puerto 8080 se puede iniciar la aplicación tomcat, que es una implementación de código abierto de tecnología Java. Para esto se instala la aplicación siguiendo los pasos:

- Realizar una actualización con el comando.

```
apt-get update && apt-get upgrade
```

- Obtener de los repositorios de ubuntu tomcat 8 e instalarlo

```
apt-get install tomcat8
```

- Instalar las aplicaciones web de tomcat para la administración.

```
apt-get install tomcat8-docs tomcat8-examples tomcat8-admin
```

### 4.3.4 Página web con Jhipster.

La aplicación Jhipster es un generador de aplicaciones web libre. Para instalarlo se ejecutan los siguientes comandos en la máquina virtual:

```
npm install -g npm
```

```
npm install -g yo
```

```
npm install -g generator-jhipster
```

### 4.3.5 Satelital V1.0.

Satelital V1.0 permite la compartición de imágenes satelitales, esta herramienta nos permitirá el despliegue de las imágenes en la página web. Para ello se escribe el código de la página principal como se puede ver en el siguiente segmento.

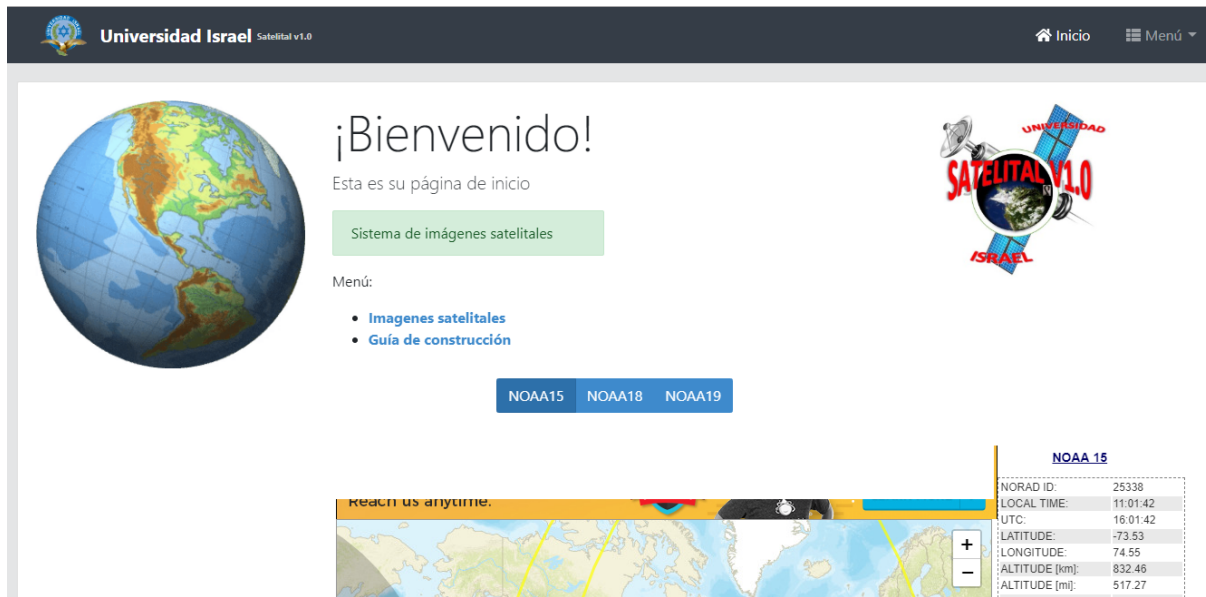
```

<h1 class="display-4">¡Bienvenido!</h1>
<p class="lead" jhiTranslate="home.subtitle">This is your homepage</p>
<div>
  <div class="alert alert-success">
    <span id="home-logged-message">
      Sistema de imágenes satelitales</span>
  </div>
  Menú:
  <li><a      routerLink="photos"      routerLinkActive="active"
[routerLinkActiveOptions]="{ exact: true }">Imágenes satelitales</a></li>
  <li><a      routerLink="construction"  routerLinkActive="active"
[routerLinkActiveOptions]="{ exact: true }">Guía
    de construcción</a></li>
  <div class="btn-group btn-group-toggle justify-content-center w-100"
ngbRadioGroup name="radioBasic" [(ngModel)]="model">
    <label ngbButtonLabel class="btn-primary">
      <input ngbButton type="radio" [value]="15"> NOAA15
    </label>
    <label ngbButtonLabel class="btn-primary">
      <input ngbButton type="radio" [value]="18"> NOAA18
    </label>
  </div>

```

En la figura 4.43 se puede ver el resultado final de la aplicación web, como se muestra al público general.





**Figura 4. 43** Satelital V1.0.

**Fuente:** Autor

La aplicación web está almacenada en Amazon Web Service, de modo de resumen diremos que EC2 nos ofrece un entorno virtual. La aplicación tiene el nombre de “SATELITAL.WAR” y se transfiere mediante los comandos:

```
scp -i "satelitalpro.pem" satelital.war ubuntu@3.15.9.56:satelital.war
```

Ingresamos al servidor mediante ssh con la llaves:

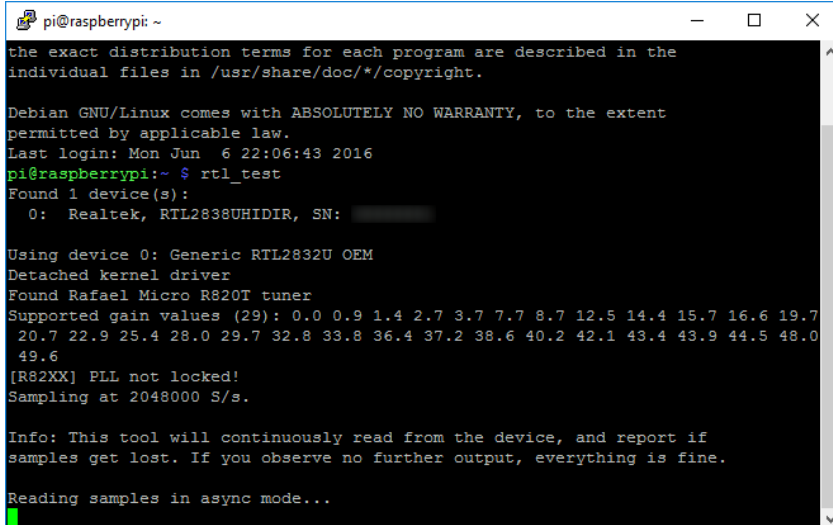
```
ssh -i "satelitalpro.pem" ubuntu@3.15.9.56
```

Ahora en esta instancia ya tenemos en nuestra máquina virtual una copia de SATELITAL.WAR, el siguiente paso es iniciar el servidor tomcat, para ello digitamos el siguiente comando:

```
sudo mv /home/ubuntu/satelital.war /opt/tomcat/apache-tomcat-8.5.40/webapps/satelital.war
```

#### 4.4 Pruebas de funcionamiento.

Para las pruebas de funcionamiento, se revisa que el RTL-SDR esté operando con normalidad ejecutando el comando `rtl_test` en Raspberry. En la figura 4.46 se muestra el resultado del comando de prueba satisfactoria.



```

pi@raspberrypi: ~
The exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Jun  6 22:06:43 2016
pi@raspberrypi:~ $ rtl_test
Found 1 device(s):
 0: Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: ██████████

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Detached kernel driver
Found Rafael Micro R820T tuner
Supported gain values (29): 0.0 0.9 1.4 2.7 3.7 7.7 8.7 12.5 14.4 15.7 16.6 19.7
20.7 22.9 25.4 28.0 29.7 32.8 33.8 36.4 37.2 38.6 40.2 42.1 43.4 43.9 44.5 48.0
49.6
[R82XX] PLL not locked!
Sampling at 2048000 S/s.

Info: This tool will continuously read from the device, and report if
samples get lost. If you observe no further output, everything is fine.

Reading samples in async mode...

```

Figura 4. 44 Pruebas al RTL-SDR .

Fuente: Autor

Para determinar la operatividad de la aplicación, se ejecuta el script `sat.sh` que es el encargado de enviar las imágenes a la aplicación web, como se puede ver en la figura 4.45 el servicio está operativo.

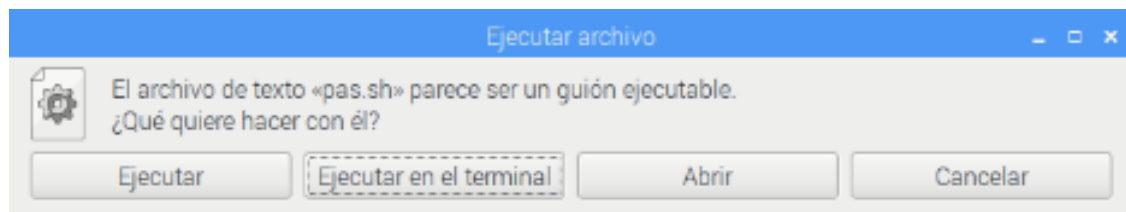


Figura 4. 45 Ejecución de la aplicación `sat.sh` .

Fuente: Autor

Este script también notifica el cambio en la carpeta donde se almacenan las imágenes, para una prueba se realiza una inserción manual de una imagen para ver la notificación que se muestra en la figura 4.46.

```

Archivo  Editar  Pestañas  Ayuda
Setting up watches.
Watches established.
The file 'NOAA1820190506-091930.Temperatura_del_mar.png' appeared in directory '
/home/pi/weather/' via 'MOVED_TO'
png
    
```

**Figura 4. 46** Ejecución de la aplicación sat.sh.

**Fuente:** Autor

Para determinar si la nueva imagen se actualiza en la web se revisa en el servidor que se haya actualizado la lista de imágenes, como se puede ver en la figura 4.47.

## Fotos

Nombre↕	Fecha y hora↕	Satélite↕	
NOAA1820190506-091930.Temperatura_del_mar.png	06/05/2019 09:19	NOAA18	<a href="#">Vista</a>

**Figura 4. 47** Prueba de ingreso de imágenes a la base de datos.

**Fuente:** Autor

Durante el proceso de pruebas se determina que el tiempo de transmisión de las imágenes en tiempo real puede llegar a causar conflicto debido a que se debe considerar 15 minutos por el transcurso del paso satelital y el tiempo de procesamiento y almacenamiento de las imágenes, por lo que se define un tiempo de latencia de 30 minutos en la programación sat.sh como se ve en el siguiente segmento.

```
#!/bin/sh
```

```
inotifywait -m /home/pi/weather -e create -e moved_to |
    while read path action file; do
        echo "The file '$file' appeared in directory '$path' via '$action'"
        FILENAME="$path$file"
        EXTN="{FILENAME##*}"
        PNG="png"
        echo $EXTN
        sleep 30m
        if [ "$EXTN" = "$PNG" ];
        then
            curl -F file=@$FILENAME http://3.15.9.56:8080/satelital/api/photos/file

        fi

    done
```

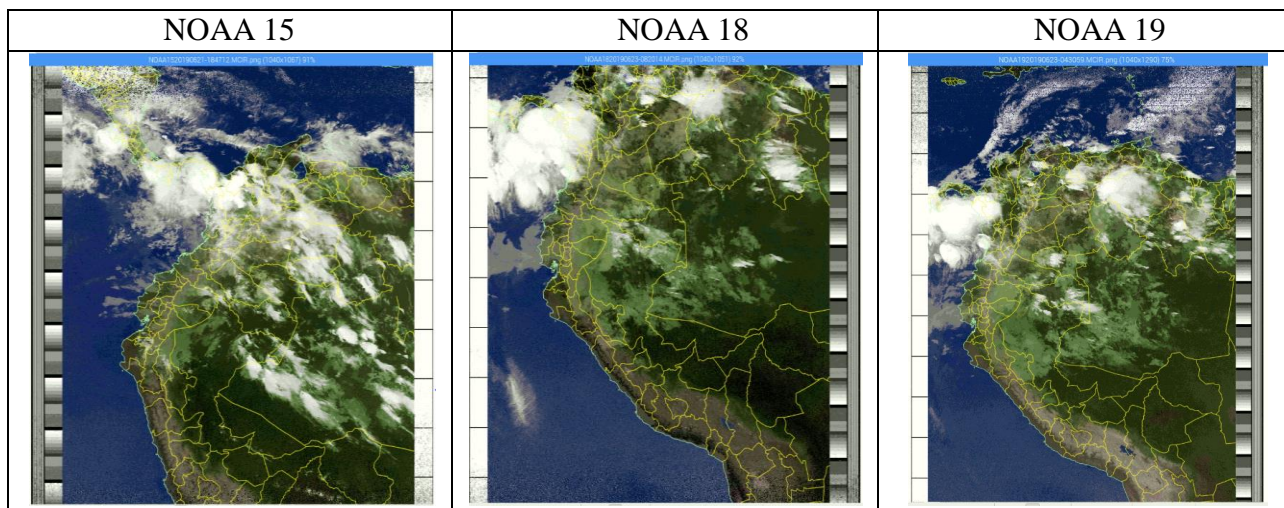
## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### DISCUSIÓN

El planteamiento principal de mi investigación es obtener imágenes meteorológicas APT de los satelitales NOAA, la cual los resultados obtenidos son imágenes notablemente mejoradas en comparación de trabajos previos, esto da una certeza que este prototipo cumplirá con el objetivo de ser usado por personas expertas y aficionados a la meteorología.

Para esto se genera la tabla 4.2, donde generamos los resultados obtenidos de los tres satélites NOAA en operación. La calidad de las imágenes está garantizada debido a los Scrip de programación.

**Tabla 4. 2.** Resultados de imágenes obtenidos.



## CONCLUSIONES

En el transcurso del proyecto se integró una serie de desarrollos, desde la construcción de la antena, pasando por la implementación del hardware y la programación tanto de los scripts como de la página web. Se puede decir que este proyecto integra varias tecnologías lo que genera una solución integral.

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento del sistema se analiza los resultados obtenidos y se llega a las siguientes conclusiones con los aspectos más importantes en el proceso de simulación, desarrollo, construcción y ejecución del proyecto.

- El diseño de la antena se realiza por dos métodos, una parte matemática y mediante una aplicación Java. Se concluye que tanto los resultados por cálculos matemáticos como los resultados de la aplicación son similares, siendo la variación entre estos muy pequeña.
- En el desarrollo de la antena cuadrifilar se logra alcanzar unos resultados teóricos-prácticos muy cercanos, donde la frecuencia de resonancia cumple el rango de 137.5 MHz y el ROE de 1.5, parámetros muy importantes para el requerimiento del sistema.
- En el proceso de construcción para mitigar el ruido producido por las conexiones propias de la antena y por experiencia en la práctica se llegó a la conclusión que el cable coaxial R58 de cobre es mejor que el cable coaxial de RG58 de aluminio, debido a que las soldaduras por empalmes entre el estaño y cobre son de mejor calidad.

- En la programación de los Scrip de control del automatismo del sistema el ángulo de elevación superior a 20° garantiza obtener imágenes de buena calidad.
- En el análisis del espectro electromagnético, se determina que la antena cuadrifilar helicoidal requiere una línea de vista al horizonte para evitar la zona de Fresnel y establecer un enlace directo entre el satélite y la antena.
- En la fase de pruebas el aumento de tiempo a 30 minutos en el proceso de comunicación entre la Raspberry y la base de datos para el intercambio de información es importante para que la información llegue de forma completa hacia la Web.

## RECOMENDACIONES

Cualquier sistema necesita en futuros trabajos mejoras por ende Satelital V1.0 no queda exento de esto para ello se detalla las siguientes recomendaciones.

- En el proyecto de captación de imágenes APT, se lo realiza con una antena cuadrifilar helicoidal con su frecuencia de resonancia en 137.5 MHz, esta antena de lóbulo de radiación omnidireccional, pero por sus características no es de alta ganancia en comparación con una antena de radiación en su plano horizontal, para ello se plantea generar un nuevo proyecto con una antena con motores que controlen la dirección del desplazamiento de los satélites.
- Se recomienda realizar mantenimientos preventivos a la antena cuadrifilar helicoidal, además partes y conexiones.
- Buscar nuevos programas decodificadores y nuevos aplicativos de los TLE en el proceso de actualización del paso satelital.
- Incentivar a usar la herramienta Satelital V1.0, para nuevos proyectos en el campo de la meteorología.



## BIBLIOGRAFÍA

- Administration, N. O. (2018). *www.noaa.gov/satellites*. Obtenido de <https://www.noaa.gov/satellites>
- Arias, C. A. (2016). *Repositorio Digital - EPN*. Obtenido de Repositorio Digital - EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec>
- Arias, F. (1999). *El Proyecto de Investigación*. Caracas.
- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Teory Analysis* . John Wiley and sons.
- Belletti, S. (2011). Ondas Electromagnéticas. *masterización, 2*.
- Castillo, J. P. (2016). <http://repositorio.upct.es>. Obtenido de <http://repositorio.upct.es>
- Ciafardini, J. P. (2010). *Receptor de señales APT de Satélites Meterológicos*. La Plata.
- Coppens, J. (2010). *www.jcoppens.com*. Obtenido de <http://jcoppens.com>
- Corona, P. C. (2000). *Radioaficionado, Satelites y naves espaciales* . Obtenido de <http://descargalibros.online/autor/pablo-cruz-corona>
- Corona, Pablo Cruz. (12 de 10 de 2018). *Libros Online*. Obtenido de Libros Online.: <https://descargalibros.online>
- Dominguez, A. G. (2010). *Calculo de Antenas* . Barcelona : Marcombo .
- Domínguez, I. P. (2011). *Laboratorio de Comunicaciones*. Sevilla.
- Dubois, J. (Noviembre de 2018). *Hipsters*. Obtenido de Hipsters: <https://www.jhipster.tech>
- Fernández, S. P. (2002). *Investigación cunatitativa y cualitativa*. Coruña.
- González, M. P. (2014). <http://bibing.us.es>. Obtenido de [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12174/fichero/pfc\\_Manuel\\_Puerto.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12174/fichero/pfc_Manuel_Puerto.pdf):
- Graumann, J. R. (2014). *NOAA KLM USER'S GUIDE*. Obtenido de NOAA KLM USER'S [http://rain.atmos.colostate.edu/XCAL/docs/amsub/NOAA\\_KLM\\_Users\\_Guide.pdf](http://rain.atmos.colostate.edu/XCAL/docs/amsub/NOAA_KLM_Users_Guide.pdf)
- Gulabani, S. (2017). *books.google*. Obtenido de <https://books.google.com.ec>
- Hertzog, R. (26 de septiembre de 2016). *Books. google*. Obtenido de Books. google: <https://books.google.com.ec/books>
- Hiroaki Kogure, Y. K. (2011). *Introduction to Antenna Analysis Using EM Simulators*. Boston: Artech House .
- INAMHI. (2018). <http://www.serviciometeorologico.gob.ec>. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec>

io, B. (2018). *BalenaEther*. Obtenido de <https://www.balena.io/etcher/>

Isabel, J. M. (2000). <http://www.aet.org.es>. Obtenido de [http://www.aet.org.es/files/guia\\_teledeteccion\\_medio\\_ambiente.pdf](http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio_ambiente.pdf)

Kogure, H. K.-Y. (2011). *Introduction to Antenna Analysis Using Simulators*. Boston: Artech House.

Kramer, H. J. (2002). *books.google.com.ec*. Obtenido de <https://books.google.com.ec>.

Kraus, G. (15 de Agosto de 2010). *4Nec2*. Obtenido de [https://www.qsl.net/4nec2/Tutorial\\_4NEC2\\_english.pdf](https://www.qsl.net/4nec2/Tutorial_4NEC2_english.pdf)

Laufer, C. (02 de 2011). *RTL-SDR*. Obtenido de [www.rtl-sdr.com](http://www.rtl-sdr.com): <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>

Liu, Q. (1999). Sincronización de frecuencia en sistemas de comunicaciones satelitales globales. *IEEE*, 7.

Milligan, T. A. (2005). *www.books.google.com.ec*. Obtenido de <https://books.google.com.ec>

NOAA. (2018). *www.noaa.gov*. Obtenido de <https://www.noaa.gov/satellites>

Pérez, J. A. (2008). <http://www.salleurl.edu>. Obtenido de [http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook\\_teoría\\_antenas.pdf](http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf)

Pérez, J. A. (2008). *Teroría de Antenas*. Obtenido de LasSalles online: [http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook\\_teoría\\_antenas.pdf](http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf)

Raspberry. (Agosto de 2018). *www.raspberrypi.org*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/education/>

RigExpert. (Noviembre de 2018). *RigExpert*. Obtenido de RigExpert: <https://rigexpert.com/>

Roca, Á. C.-L. (2001). *Antenas*. Catalunya: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL .

Roth, G. D. (2002). *METEOROLOGIA* . Madrid: Ediciones Omega, S.A.

RTL-SDR. (SEPTIEMBRE de 2018). *RTL-SDR.COM*. Obtenido de <https://www.rtl-sdr.com/>

Salinero, E. C. (2002). *books.google.com.ec*. Obtenido de <https://books.google.com.ec>

Salinero, E. C. (2008). *Teledetccion Ambiental* . Obtenido de <https://books.google.com.ec>

Sampieri, R. H. (2006). *Metodología de la Investigación* . México: ISBN.

santander. (2016). *la biblioteca de la electronica*. Obtenido de a biblioteca de la electronica: [www.electronca.com](http://www.electronca.com)

Schoonover, M. (2017). *4NEC2 the Definitive Guide*. leanpub.

server, A. (2018). *Amazon Server*. Obtenido de Amazon Server:  
[https://docs.aws.amazon.com/es\\_es/elasticbeanstalk/latest/dg/java-tomcat-platform.html](https://docs.aws.amazon.com/es_es/elasticbeanstalk/latest/dg/java-tomcat-platform.html)

Service, A. (11 de 2018). *AWS*. Obtenido de AWS:  
[https://docs.aws.amazon.com/es\\_es/AmazonRDS/latest/UserGuide/CHAP\\_Tutorials.WebServerDB.CreateWebServer.html](https://docs.aws.amazon.com/es_es/AmazonRDS/latest/UserGuide/CHAP_Tutorials.WebServerDB.CreateWebServer.html)

Service, A. (11 de 2018). *AWS*. Obtenido de AWS:  
[https://docs.aws.amazon.com/es\\_es/opsworks/latest/userguide/create-custom.html](https://docs.aws.amazon.com/es_es/opsworks/latest/userguide/create-custom.html)

Service, T. a. (s.f.). *www.weather.gov*. Obtenido de <https://books.google.com.ec>

Severo., I. (1981). *Principios del método de la investigación científica*. Editorial Tiempo y Obra.

Sobrinó, J. A. (2000). *books.google.com.ec*. Obtenido de <https://books.google.com.ec>

Sons, A. J. (2008). *mirror.thelifeofkenneth.com*. Obtenido de  
[http://mirror.thelifeofkenneth.com/sites/erewhon.superkuh.com/library/Electromagnetics/Modern%20antenna%20handbook\\_%20Constantine%20A%20Balanis\\_%202008.pdf](http://mirror.thelifeofkenneth.com/sites/erewhon.superkuh.com/library/Electromagnetics/Modern%20antenna%20handbook_%20Constantine%20A%20Balanis_%202008.pdf)

Themes, E. (29 de Mayo de 2016). *GeoEnciclopedia*. Obtenido de GeoEnciclopedia:  
[www.geoenciclopedia.com](http://www.geoenciclopedia.com)

Thomas, M. A. (2005). *MODERN ANTENNA DESIGN*. New Jersey: WILY-INTERSCIENCE.

Tomasi, W. (2003). *SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRONICAS*. MEXICO:  
 Guillermo Trujano Mendoza.

Tonenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadoras*. México: Pearson.

Union, I. T. (1978). *RECOMMENDATIONS AND REPORTS OF THE CCIR*. Obtenido de CC  
<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.280.43.en.1008.pdf>

wxtoimg. (20 de julio de 2018). <https://www.wxforum.net/index.php>.

# **ANEXOS**

## Códigos de programación

### Home component. html

```
<div class="row" style="position: relative; z-index: 3;">
<div class="col-md-3">
  <span class="hipster img-fluid rounded"></span>
</div>
<div class="col-md-9">
  <h1 class="display-4">¡Bienvenido!</h1>
  <p class="lead" jhiTranslate="home.subtitle">This is your homepage</p>

  <div>
    <div class="alert alert-success">
      <span id="home-logged-message">
        Sistema de imágenes satelitales</span>
      </div>
    </div>

    <p>
      Menú:
    </p>

    <ul>
      <li><a routerLink="photos" routerLinkActive="active" [routerLinkActiveOptions]="{
exact: true }">Imagenes satelitales</a></li>
      <li><a routerLink="construction" routerLinkActive="active"
[routerLinkActiveOptions]="{ exact: true }">Guía
de construcción</a></li>
    </ul>
```

```

</div>
<div class="btn-group btn-group-toggle justify-content-center w-100" ngbRadioGroup
name="radioBasic" [(ngModel)]="model">
  <label ngbButtonLabel class="btn-primary">
    <input ngbButton type="radio" [value]="15"> NOAA15
  </label>
  <label ngbButtonLabel class="btn-primary">
    <input ngbButton type="radio" [value]="18"> NOAA18
  </label>
  <label ngbButtonLabel class="btn-primary">
    <input ngbButton type="radio" [value]="19"> NOAA19
  </label>
</div>
</div>
<ng-container>
  <div [hidden]="model !== 15" style="position: relative; top: -200px; z-index: 0; text-align:
right">
    <div style="width: 100%;height: 236px;background: white;position: absolute;top: 0;right:
0;"></div>
    <div style="width: 215px;height: 200px;background: white;position: absolute;top:
560px;right: 0;"></div>
    <div style="width: 726px;height: 100px;background: #ffffff;position: absolute;top:
195px;right: 220px;"></div>
    <iframe id="frame" sandbox="allow-forms allow-scripts allow-same-origin allow-popups
allow-pointer-lock" src="https://www.n2yo.com/?s=25338"
width="950" height="960" scrolling="no" style="border:0">
    </iframe>
  </div>
</ng-container>
<ng-container>

```

```
<div [hidden]="model !== 18" style="position: relative; top: -200px; z-index: 0; text-align:
right">
  <div style="width: 100%;height: 236px;background: white;position: absolute;top: 0;right:
0;"></div>
  <div style="width: 215px;height: 200px;background: white;position: absolute;top:
560px;right: 0;"></div>
  <div style="width: 726px;height: 100px;background: #ffffff;position: absolute;top:
120px;right: 220px;"></div>
  <div style="width: 726px;height: 100px;background: #ffffff;position: absolute;top:
865px;right: 220px;"></div>
  <iframe id="frame" sandbox="allow-forms allow-scripts allow-same-origin allow-popups
allow-pointer-lock" src="https://www.n2yo.com/?s=28654"
width="950" height="960" scrolling="no" style="border:0">
  </iframe>
</div>
</ng-container>
<ng-container>
  <div [hidden]="model !== 19" style="position: relative; top: -200px; z-index: 0; text-align:
right">
    <div style="width: 100%;height: 236px;background: white;position: absolute;top: 0;right:
0;"></div>
    <div style="width: 215px;height: 200px;background: white;position: absolute;top:
560px;right: 0;"></div>
    <div style="width: 726px;height: 100px;background: #ffffff;position: absolute;top:
136px;right: 220px;"></div>
    <div style="width: 726px;height: 100px;background: #ffffff;position: absolute;top:
865px;right: 220px;"></div>
    <iframe id="frame" sandbox="allow-forms allow-scripts allow-same-origin allow-popups
allow-pointer-lock" src="https://www.n2yo.com/?s=33591"
width="950" height="960" scrolling="no" style="border:0">
  </iframe>
```

```
</div>
</ng-container>
```

### **REST controller for managing Photos.**

```
@RestController
@RequestMapping("/api")
public class PhotosResource {

    private final Logger log = LoggerFactory.getLogger(PhotosResource.class);

    private static final String ENTITY_NAME = "photos";

    private final PhotosRepository photosRepository;

    @Autowired
    private PhotosAuxRepository photosAuxRepository;

    public PhotosResource(PhotosRepository photosRepository) {
        this.photosRepository = photosRepository;
    }

    /**
     * POST /photos : Create a new photos.
     *
     * @param photos the photos to create
     * @return the ResponseEntity with status 201 (Created) and with body the new photos, or
     with status 400 (Bad Request) if the photos has already an ID
     * @throws URISyntaxException if the Location URI syntax is incorrect
     */
}
```



```

*/
@PostMapping("/photos")
@Timed
public ResponseEntity<Photos> createPhotos(@RequestBody Photos photos) throws
URISyntaxException {
    log.debug("REST request to save Photos : {}", photos);
    if (photos.getId() != null) {
        throw new BadRequestAlertException("A new photos cannot already have an ID",
ENTITY_NAME, "idexists");
    }
    Photos result = photosRepository.save(photos);
    return ResponseEntity.created(new URI("/api/photos/" + result.getId()))
        .headers(HeaderUtil.createEntityCreationAlert(ENTITY_NAME,
result.getId().toString()))
        .body(result);
}

//raspberry

@PostMapping(path = "/photos/file", consumes = {"multipart/form-data"})
@Timed
public ResponseEntity<Boolean> uploadFile(@RequestPart("file") MultipartFile file)
throws URISyntaxException, ParseException, IOException {
    log.debug("REST request to save Product : {}", file);
    String fileName = file.getOriginalFilename();
    String fileYear, fileMonth, fileDay, fileHour, fileMinute, fileSecond, sateliteName;
    sateliteName = fileName.substring(0, 6);
    fileYear = fileName.substring(6, 10);
    fileMonth = fileName.substring(10, 12);
    fileDay = fileName.substring(12, 14);
    fileHour = fileName.substring(15, 17);
}

```

```

fileMinute = fileName.substring(17, 19);
fileSecond = fileName.substring(19, 21);
Calendar calendar = Calendar.getInstance();

calendar.set(Calendar.SECOND, Integer.parseInt(fileSecond));
calendar.set(Calendar.MINUTE, Integer.parseInt(fileMinute));
calendar.set(Calendar.HOUR_OF_DAY, Integer.parseInt(fileHour) + 5);
calendar.set(Calendar.MONTH, Integer.parseInt(fileMonth) - 1);
calendar.set(Calendar.DAY_OF_MONTH, Integer.parseInt(fileDay));
calendar.set(Calendar.YEAR, Integer.parseInt(fileYear));

Instant time = calendar.toInstant();

Photos photo = new Photos();
photo.setName(fileName);
photo.setDate(time);
photo.setSatelite(sateliteName);
photo.setPhoto(file.getBytes());
photo.setPhotoContentType("image/png");

photosRepository.save(photo);

return ResponseEntity.ok(true);
}

/**
 * PUT /photos : Updates an existing photos.
 *
 * @param photos the photos to update
 * @return the ResponseEntity with status 200 (OK) and with body the updated photos,
 * or with status 400 (Bad Request) if the photos is not valid,

```

```

* or with status 500 (Internal Server Error) if the photos couldn't be updated
* @throws URISyntaxException if the Location URI syntax is incorrect
*/
@PutMapping("/photos")
@Timed
public ResponseEntity<Photos> updatePhotos(@RequestBody Photos photos) throws
URISyntaxException {
    log.debug("REST request to update Photos : {}", photos);
    if (photos.getId() == null) {
        throw new BadRequestAlertException("Invalid id", ENTITY_NAME, "idnull");
    }
    Photos result = photosRepository.save(photos);
    return ResponseEntity.ok()
        .headers(HeaderUtil.createEntityUpdateAlert(ENTITY_NAME,
photos.getId().toString()))
        .body(result);
}

//lista web
/**
* GET /photos : get all the photos.
*
* @param pageable the pagination information
* @return the ResponseEntity with status 200 (OK) and the list of photos in body
*/
@GetMapping("/photos")
@Timed
public ResponseEntity<List<PhotosAux>> getAllPhotos(Pageable pageable) {
    log.debug("REST request to get a page of Photos");
    Page<PhotosAux> page = photosAuxRepository.findAll(pageable);
}

```

```

        HttpHeaders headers = PaginationUtil.generatePaginationHttpHeaders(page,
"/api/photos");
        return new ResponseEntity<>(page.getContent(), headers, HttpStatus.OK);
    }

/**
 * GET /photos : get all the photos.
 *
 * @param pageable the pagination information
 * @return the ResponseEntity with status 200 (OK) and the list of photos in body
 */
@GetMapping("/photosa")
@Timed
public ResponseEntity<List<PhotosAux>> getAllPhotos(Pageable pageable, String satellite,
LocalDate from, LocalDate to) {
    log.debug("REST request to get a page of Photos");
    Page<PhotosAux> page =
photosAuxRepository.findBySateliteAndDateBetween(pageable, satellite, from, to);
    HttpHeaders headers = PaginationUtil.generatePaginationHttpHeaders(page,
"/api/photos");
    return new ResponseEntity<>(page.getContent(), headers, HttpStatus.OK);
}

// detalle de c/foto

/**
 * GET /photos/:id : get the "id" photos.
 *
 * @param id the id of the photos to retrieve

```

\* @return the ResponseEntity with status 200 (OK) and with body the photos, or with status 404 (Not Found)

\*/

@GetMapping("/photos/{id}")

@Timed

```
public ResponseEntity<Photos> getPhotos(@PathVariable Long id) {
```

```
    log.debug("REST request to get Photos : {}", id);
```

```
    Optional<Photos> photos = photosRepository.findById(id);
```

```
    return ResponseUtil.wrapOrNotFound(photos);
```

```
}
```

```
/**
```

```
* DELETE /photos/:id : delete the "id" photos.
```

```
*
```

```
* @param id the id of the photos to delete
```

```
* @return the ResponseEntity with status 200 (OK)
```

```
*/
```

@DeleteMapping("/photos/{id}")

@Timed

```
public ResponseEntity<Void> deletePhotos(@PathVariable Long id) {
```

```
    log.debug("REST request to delete Photos : {}", id);
```

```
    photosRepository.deleteById(id);
```

```
    return
```

```
    ResponseEntity.ok().headers(HeaderUtil.createEntityDeletionAlert(ENTITY_NAME,  
id.toString())).build();
```

```
}
```

```
}
```

## **ANEXO 1: DATASHEET**

# CABLE RG-58

## Configuration

- Flexible Cable
- 1 Shield(s)

## Electrical Specifications

Description	Minimum	Typical	Maximum	Units
Frequency Range	DC		5	GHz
Impedance		50		Ohms
Velocity of Propagation		65.9		%
Operating Voltage (AC)			1,900	Vrms
Nominal Capacitance		30.8 [101.05]		pF/ft [pF/m]

## Performance by Frequency Band

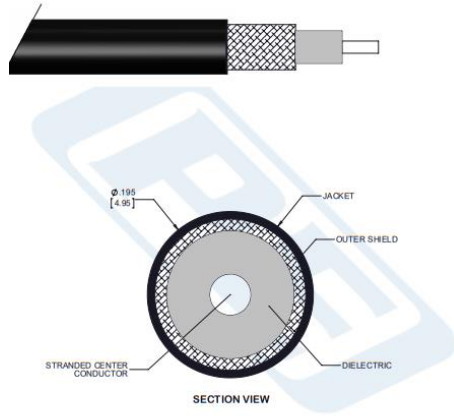
Description	F1	F2	F3	F4	F5	Units
Frequency	0.01	0.1	1	5		GHz
Attenuation, Typ	1.4	4.9	20	60		dB/100ft
	4.59	16.08	65.62	198.85		dB/100m
Input Power (CW), Max			44			Watts

## Mechanical Specifications

Diameter	0.195 in [4.95 mm]
Weight	0.025 lbs/ft [0.04 Kg/m]
Min. Bend Radius (Installation)	0.98 in [24.89 mm]
Min. Bend Radius (Repeated)	1.96 in [49.78 mm]

## Construction Specifications

Description	Material and Plating	Diameter
Inner Conductor	Copper, Tin, 19 Strands	0.036 in [0.91 mm]
Conductor Type	Stranded	
Dielectric	PE	0.116 in [2.95 mm]



## SERIE CONECTOR BNC





## BNC 50 OHM ESPECIFICACIONES

### Eléctrico

Impedancia	50 Ohm
Rango de frecuencia	0-4 GHz con baja reflexión
VSWR	
Conectores rectos M30912 0-4 GHz	1.30 max
Conectores de ángulo recto M30912 0-4 GHz	1.35 max
Voltaje que soporta dieléctrico	1500 VRMS
Voltaje	500V rms
Resistencia de aislamiento	5000 M $\Omega$ min
Resistencia de contacto	
Contacto del centro	1.5 m $\Omega$
Contacto externo	0.2 m $\Omega$
Trenza al cuerpo	0.1 m $\Omega$
RF de fugas	55 dB min @ 3GHz
Pérdida de inserción	0.2 dB max @ 3 GHz

### Ambiental

Rango de temperatura	
Aislamiento TFE	-65 toC a + 165°C
Copolimero De Estireno	-55 toC a 85°C
Sellado de juntas de abrazadera	Montaje de abrazadera
Tubo termoretráctil	Montaje estilo crimpado
Sellos hermeticos	Pasar prueba de fugas de helio de $2 \times 10^{-8}$ cc / seg.
Choque	Mil-STD-202, Método 202
Vibración	Mil-STD-202, Método 204 (prueba cond. D)
Resistencia a la humedad	MIL-STD-202 Método 106
Corrosión	Mil-STD-202, Método 101 (prueba cond. B)
Ciclo de temperatura	Mil-STD-202, Método 102 (prueba cond. D)
Altitud	MIL-STD-202 Método 105 (prueba cond. C)

# BNC Straight Bulkhead Jack Receptacle



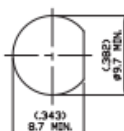
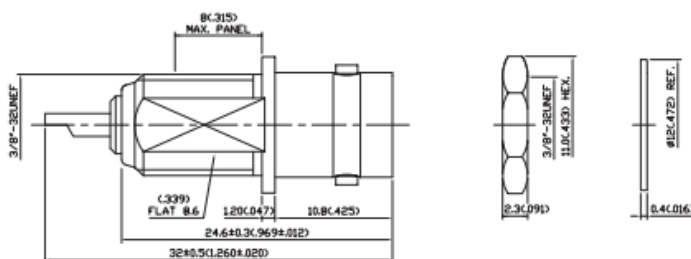
## Specifications:

Frequency Range : DC-4GHz  
 Nominal Impedance : 50Ω  
 Voltage Rating : 500V Max.

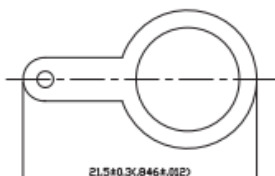
**RoHS  
Compliant**

## Materials:

Bodies : Brass per JIS-C3604  
 Center Contact : Brass per JIS-C3604  
 Insulation : PTFE per ASTM D1457 and ASTM D1710  
 Environmental  
 Operating Temperature Range : -65°C to +165°C



MOUNTING HOLE  
SCALE 3:1



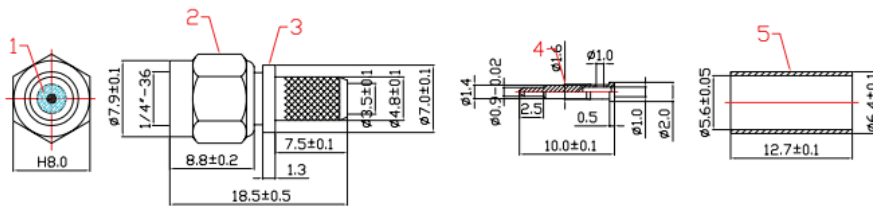
No	Description	Material	Q'ty	Finish
1	Nut	Brass	1	Nickel
2	Washer			
3	Grounding Tab			
4	Insulation	PTFE		None
5	Body	Brass		Nickel 100μ" Min.
6	Center Contact			Gold
7	Insulation	PTFE		None

# Conector SMA

## SMA Male Crimp Type



### Diagram



Dimensions : Millimetres

Item	Designation	Material
1	Dielectric	PTFE
2	Shell	Brass/Gold
3	Body	
4	Pin	
5	Crimping Tube	

Atributo	Valor
Género	Macho
Tipo de Montaje	Montaje de Cable
Orientación del Cuerpo	Recta
Tipo de Cable	RG174U
Método de Terminación	Crimpado
Polaridad	Normal
Impedancia	50Ω
Frecuencia de Funcionamiento	6GHz
Revestimiento del Cuerpo	Oro
Tamaño	Subminiatura
Material del Contacto	Latón
Revestimiento del Contacto	Oro

## **ANEXO 2: INSTALACIÓN SOFTWARE SDRSHARP.**

Guía de instalación de dispositivo RTL- SDR para Windows, para ello debemos conectar el equipo a una entrada USB y vamos a seguir los siguientes pasos.

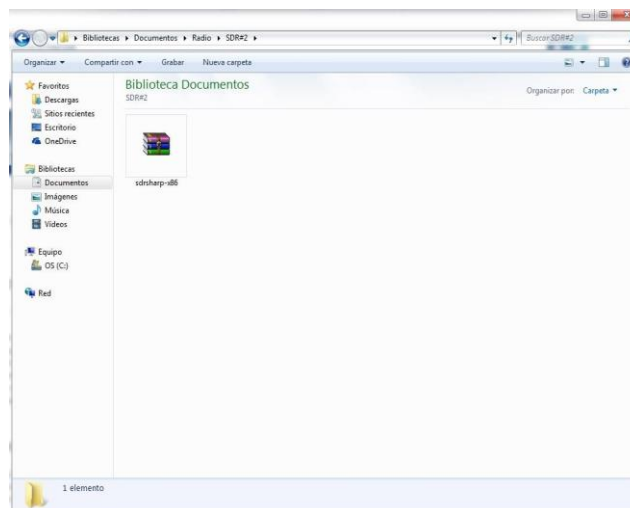
1. Descargar la aplicación de la dirección Web: <https://airspy.com/download/>

En la sección de descargas lo vamos a realizar tal como lo indica la figura 1.



*Ilustración 1: Descarga del archivo.*

2. Descargar el archivo



*Ilustración 2: Archivo descargado.*

### 3. Descomprimir el archivo

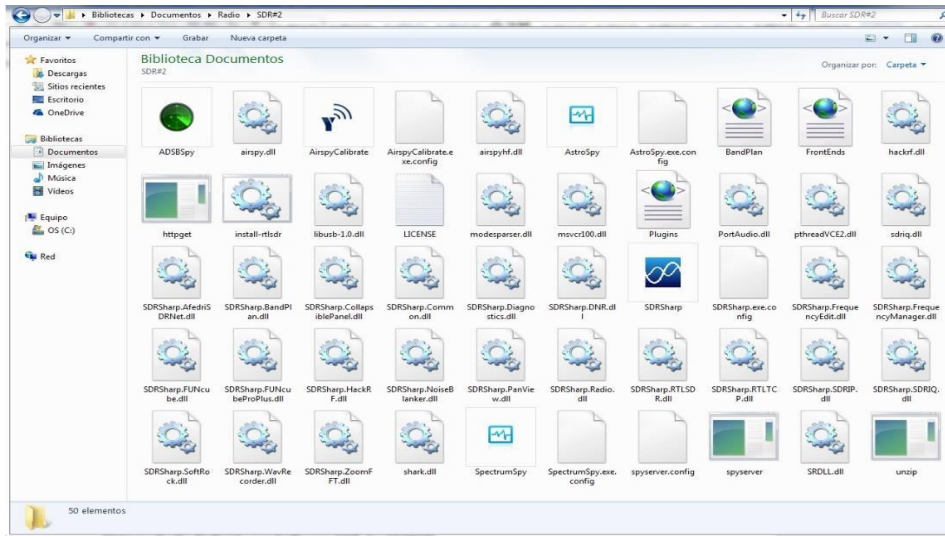


Ilustración 3: Archivo descomprimido.

### 4. Indagamos el archivo Zadig, este es el driver del RTL-SDR.

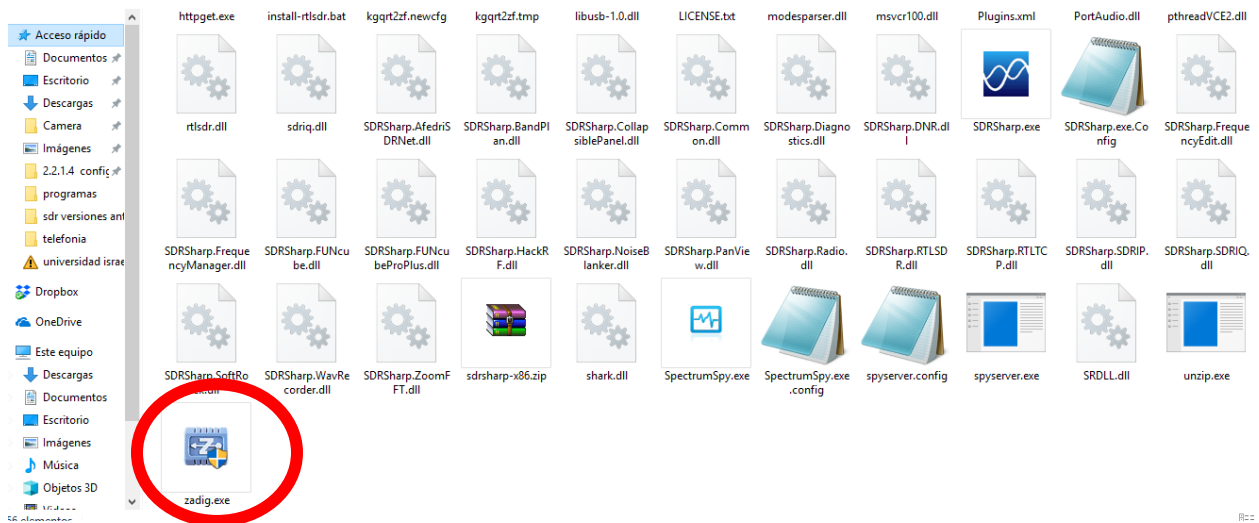


Ilustración 4: Driver Zadig.

5. Ejecutar Zadig y se desplegará la siguiente pantalla.

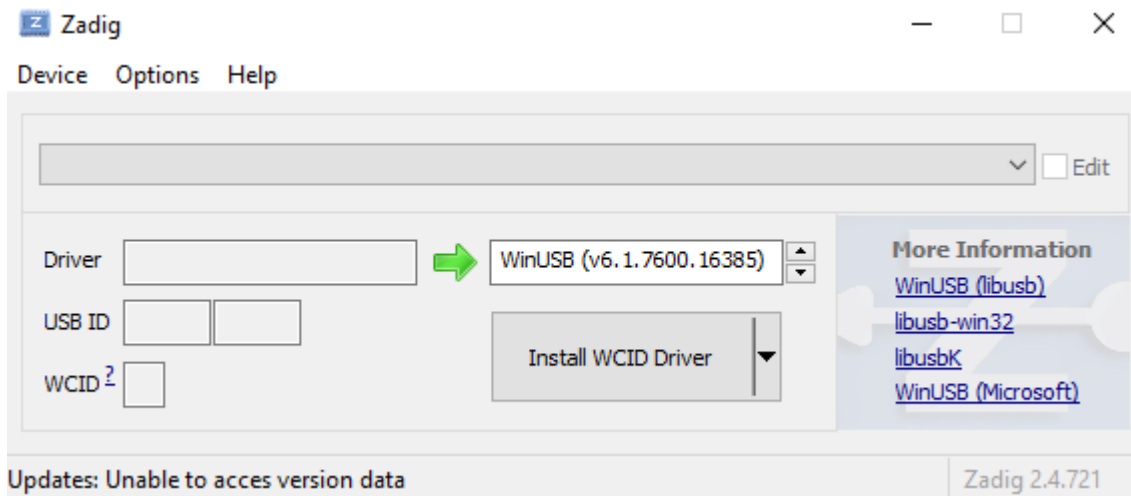


Ilustración 5: Instalación driver Zadig.

6. La opción de elegir todos los dispositivos.

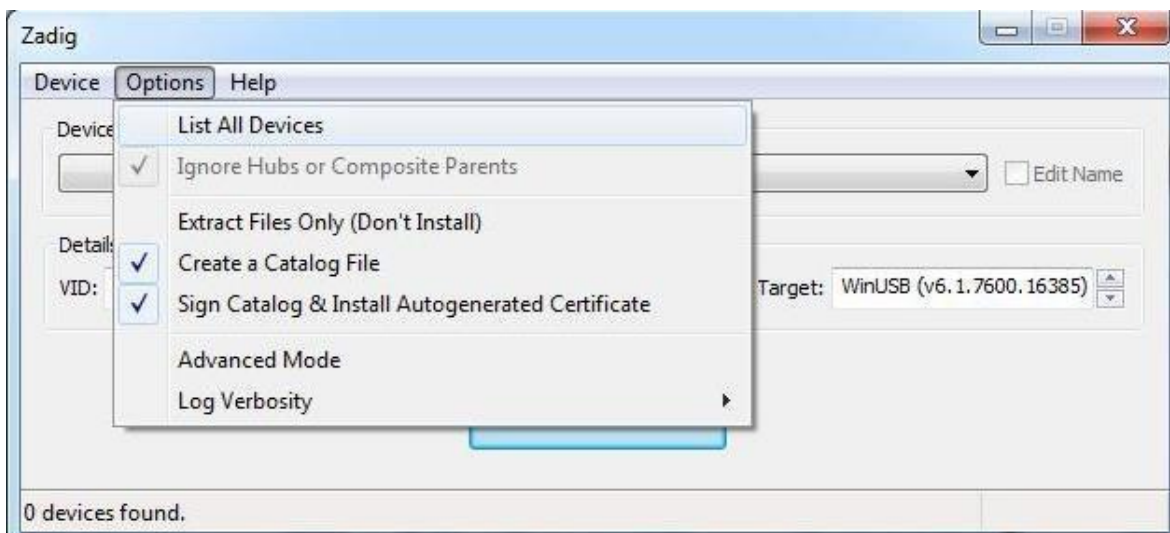
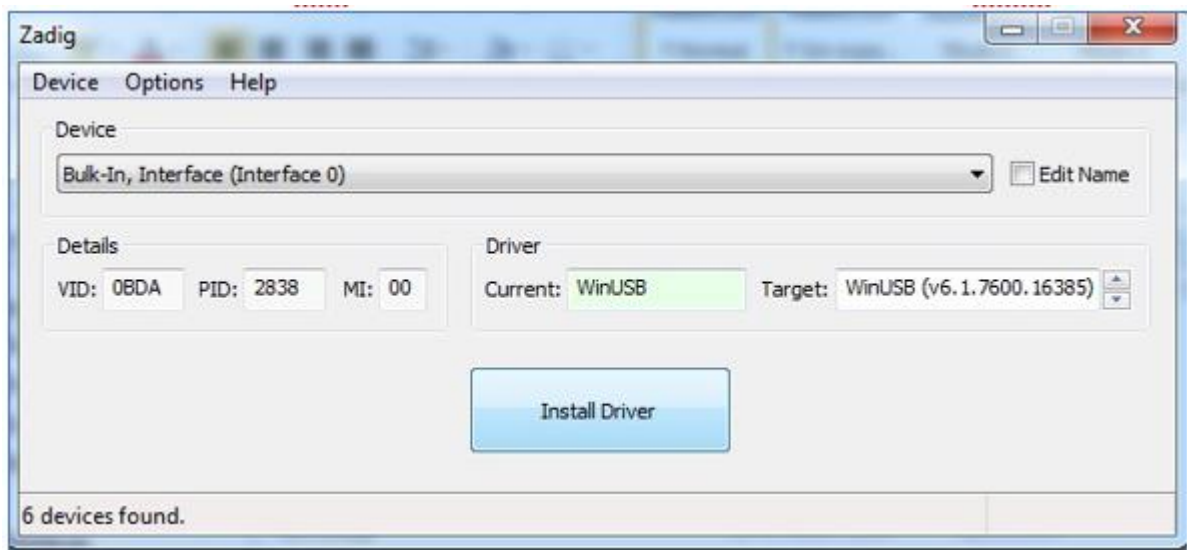


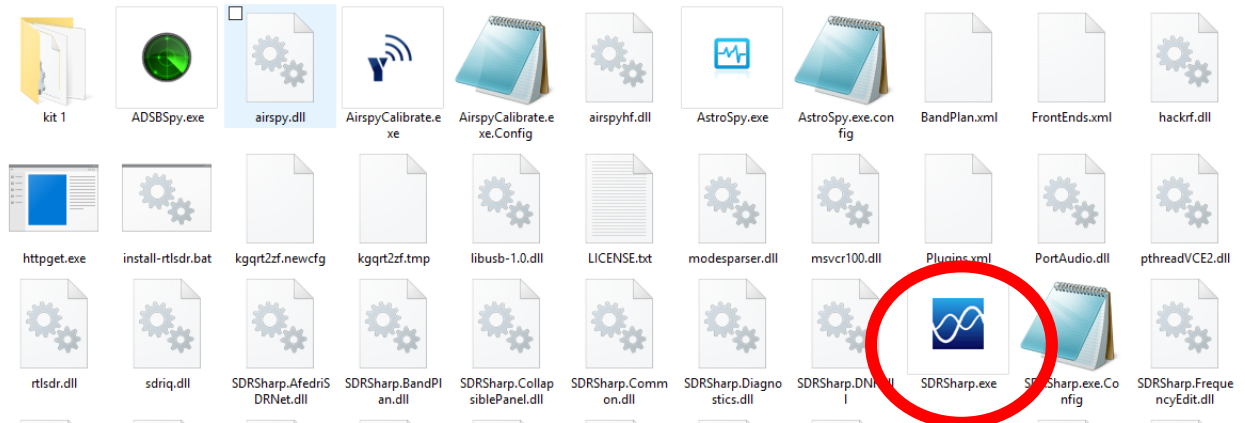
Ilustración 6: Listado de elementos.

7. Damos instalar como indica la figura.



*Ilustración 7: Instalación de driver.*

8. Una vez instalado el driver se puede ejecutar el programa SDRsharp.



*Ilustración 8: SDRsharp ejecutable.*



9. Ejecutado el programa podemos escoger el RTL-SDR USB.



Ilustración 9: Elección de equipo.

10. Para analizar los resultados en la frecuencia de los NOAA escogemos las opciones como indica el siguiente gráfico.



Ilustración 10: Software en funcionamiento.

## **ANEXO 3: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE SCRIPTS**

## schedule\_satellite.sh

```
#!/bin/bash
PREDICTION_START=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}" | awk
'{ if($5>=5) print $0}' | head -1`
PREDICTION_END=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}" | awk
'{ if($5>=5) print $0}' | tail -1`

var2=`echo $PREDICTION_END | cut -d " " -f 1`

var4=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}" | tail -1 | cut -d " " -f 1`

MAXELEV=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}" | awk -v max=0
'{if($5>max){max=$5}}END{print max}'`

while [ `date --date="TZ=\"UTC\" @$${var4}" +%D` == `date +%D` ]; do

START_TIME=`echo $PREDICTION_START | cut -d " " -f 3-4`
var1=`echo $PREDICTION_START | cut -d " " -f 1`

var3=`echo $START_TIME | cut -d " " -f 2 | cut -d ":" -f 3`

TIMER=`expr $var2 - $var1 + $var3`

OUTDATE=`date --date="TZ=\"UTC\" $START_TIME" +%Y%m%d-%H%M%S`

if [ $MAXELEV -gt 19 ]
then
echo ${1//"/"} `date --date="TZ=\"UTC\" $START_TIME" +%d/%m/%Y" "%H:%M:%S`
Max Elev: $MAXELEV >> /home/pi/weather/predict/pases.txt
echo "/home/pi/weather/predict/receive_and_process_satellite.sh \"${1}\" $2
/home/pi/weather/${1//"/"}${OUTDATE} /home/pi/weather/predict/weather.tle $var1 $TIMER"
| at `date --date="TZ=\"UTC\" $START_TIME" +%H:%M %D`

fi

nextpredict=`expr $var4 + 60`

PREDICTION_START=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}"
$nextpredict | awk '{ if($5>=5) print $0}' | head -1`
PREDICTION_END=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}"
$nextpredict | awk '{ if($5>=5) print $0}' | tail -1`
```

```
MAXELEV=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}" $nextpredict |  
awk -v max=0 '{if($5>max){max=$5}}END{print max}'`
```

```
var2=`echo $PREDICTION_END | cut -d " " -f 1`
```

```
var4=`/usr/bin/predict -t /home/pi/weather/predict/weather.tle -p "${1}" $nextpredict | tail -1 | cut  
-d " " -f 1`
```

```
done
```

### **schedule\_all.sh**

```
#!/bin/bash
```

```
# Actualiza la informacion de los pases
```

```
wget -qr https://www.celestrak.com/NORAD/elements/weather.txt -O  
/home/pi/weather/predict/weather.txt  
grep "NOAA 15" /home/pi/weather/predict/weather.txt -A 2 >  
/home/pi/weather/predict/weather.tle  
grep "NOAA 18" /home/pi/weather/predict/weather.txt -A 2 >>  
/home/pi/weather/predict/weather.tle  
grep "NOAA 19" /home/pi/weather/predict/weather.txt -A 2 >>  
/home/pi/weather/predict/weather.tle  
grep "METEOR-M 2" /home/pi/weather/predict/weather.txt -A 2 >>  
/home/pi/weather/predict/weather.tle
```

```
#Quita la cola de AT
```

```
for i in `atq | awk '{print $1}'`;do atrm $i;done
```

```
#programa la recepcion de los pases
```

```
/home/pi/weather/predict/schedule_meteor.sh  
/home/pi/weather/predict/schedule_satellite.sh "NOAA 19" 137.1000  
/home/pi/weather/predict/schedule_satellite.sh "NOAA 18" 137.9125  
/home/pi/weather/predict/schedule_satellite.sh "NOAA 15" 137.6200
```

## receive\_and\_process\_satellite.sh

```
#!/bin/bash

# $1 = Nombre satellite
# $2 = Frecuencia
# $3 = Nombre de fichero sin extension
# $4 = TLE Fichero
# $5 = EPOC tiempo inicio
# $6 = Tiempo de captura

sudo timeout $6 rtl_fm -f ${2}M -s 45k -g 48 -p 25 -E wav -E deemp -F 9 - | sox -t wav - $3.wav
rate 11025

PassStart=`expr $5 + 90`

if [ -e $3.wav ]
then
    /usr/local/bin/wxmap -T "${1}" -H $4 -p 0 -l 0 -g 0.0 -b 0 -o $PassStart ${3}-map.png

    /usr/local/bin/wxtoimg -m ${3}-map.png -e ZA -k "%N received by R. Rojas" -k
"%d/%m/%y %H:%M UTC %D %E %z" $3.wav $3.png
    /usr/local/bin/wxtoimg -m ${3}-map.png -e HVCT -k "%N received by R. Rojas" -k
"%d/%m/%y %H:%M UTC %D %E %z" $3.wav ${3}.HVCT.png
    /usr/local/bin/wxtoimg -m ${3}-map.png -e MCIR -k "%N received by R. Rojas" -k
"%d/%m/%y %H:%M UTC %D %E %z" $3.wav ${3}.MCIR.png
    /usr/local/bin/wxtoimg -m ${3}-map.png -e MSA -k "%N received by R. Rojas" -k
"%d/%m/%y %H:%M UTC %D %E %z" $3.wav ${3}.MSA.png
    /usr/local/bin/wxtoimg -m ${3}-map.png -e sea -k "%N received by R. Rojas" -k
"%d/%m/%y %H:%M UTC %D %E %z" $3.wav ${3}.Temperatura_del_mar.png
fi
```

## **ANEXO 4: CRONOGRAMA DEL PROYECTO**

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 2, 2018		tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 2019		tri 2, 2019			
						mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr
1		<i>Diseñar un prototipo de monitoreo para imágenes meteorológicas del sistema satelital NOAA usando SDR.</i>	200 días	sáb 28/04/18	jue 31/01/19														
2		<b>Diseñar el sistema de antena helicoidal cuadrifilar a través del programa JCOPPENS (software libre), para determinar los parámetros de la antena a utilizar para la recepción de la</b>	30 días	sáb 28/04/18	jue 07/06/18														
3		Investigar en libros o tesis la mejor opción de antenas que se podría utilizar.	13 días	sáb 28/04/18	mar 15/05/18														
4		Diseño preliminar de la antena en el software dedicado para la tarea.	16 días	mié 16/05/18	mié 06/06/18														
5		Fin de tarea de diseño de antena.	2 horas	jue 07/06/18	jue 07/06/18														
6		<b>Construcción de la antena con parámetros ya diseñados</b>	20 días	vie 08/06/18	jue 05/07/18														
7		compra de materiales de acuerdo a lo requerido en el diseño	1 día	vie 08/06/18	vie 08/06/18														
8		construccion de antena	7 días	lun 11/06/18	mar 19/06/18														
9		Pruebas de la antena	11 días	mié 20/06/18	mié 04/07/18														
10		Fin de construcción de	4 horas	jue 05/07/18	jue 05/07/18														

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 2. 2018		tri 3. 2018			tri 4. 2018			tri 1. 2019		tri 2. 2019		
						mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
11		<b>Decodificar los datos obtenidos de la antena diseñada a través del RTL-SDR, a la interfaz de Rapberry Pi para procesar la</b>	73 días	vie 06/07/18	mar 16/10/18													
12		Investigación del RTL-SDR	14 días	vie 06/07/18	mié 25/07/18													
13		Investigación del Rapberry Pi	58 días	jue 26/07/18	lun 15/10/18													
14		Fin de invetigacion de obtencion de datos anyena	6 horas	mar 16/10/18	mar 16/10/18													
15		<b>Pruebas del Espectro Electromagnético con ayuda de SDR-SHARP.</b>	13 días	mié 17/10/18	vie 02/11/18													
16		Investigar la funcionalidad del programa SDRSHARP.	5 días	mié 17/10/18	mar 23/10/18													
17		programa de bloques para instalar en Rapberry Pi	7 días	mié 24/10/18	jue 01/11/18													
18		fin de tarea de investigación de programa GNU radio	3 horas	vie 02/11/18	vie 02/11/18													

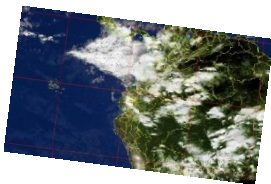


Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Gantt Chart												
						mar	tri 2. 2018		tri 3. 2018		tri 4. 2018		tri 1. 2019		tri 2. 2019			
						abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr
19		<b>Creación de pagina Web.</b>	65 días?	sáb 03/11/18	jue 31/01/19													
20		Investigacion sobre desarrollo en Amazon Web Service.	35 días	sáb 03/11/18	jue 20/12/18													
21		Integración del aplicativo en JHIPTER en servidores Amazon Web Service.	29 días	vie 21/12/18	mié 30/01/19													
22		Fin de la tarea	4 horas	jue 31/01/19	jue 31/01/19													
23		<b>Pruebas de funcionamiento</b>	20 días?	vie 01/02/19	jue 28/02/19													
24		Pruebas de descarga de imágenes	4 días	vie 01/02/19	mié 06/02/19													
25		Pruebas del RTL-SDR	2 días	jue 07/02/19	vie 08/02/19													
26		Pruebas de descarga de imágenes en servidor	9 días	lun 11/02/19	jue 21/02/19													
27		Pruebas de descarga en Internet	5 días	vie 22/02/19	jue 28/02/19													



## ANEXO 3 MANUAL DE USUARIO

### MANEJO DE SITIO WEB DE RECEPCIONES DE IMÁGENES SATELITALES



**Autor:**

**Richard David Rojas Molina  
QUITO, ECUADOR**

**2019**

## ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Objetivo	2
3. Requisitos del sistema	2
4. Visión general de la aplicación SATELITAL V1.0	3
5. Estructura del sistema	4

## **1. INTRODUCCIÓN**

Esta aplicación web es un interactivo libre fue creado por Richard Rojas estudiante de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel.

El presente manual de usuario permitirá conocer todas las funciones de la aplicación de SATELITAL V1.0.


## **2. Objetivo**

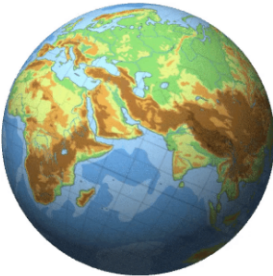
Lograr estimular a cualquier persona que pueda ingresar al estudio científico de la meteorología, por medio de esta herramienta.

## **3. Requisitos del sistema**

Se podrá hacer uso de la página web por medio de cualquier dispositivo que tenga acceso a internet como ordenador, Tablet o teléfonos inteligentes.

## 4. Visión general de la aplicación SATELITAL V1.0

 **Universidad Israel** SateLital v1.0
Inicio ☰ Menú



# ¡Bienvenido!

Esta es su página de inicio

Sistema de imágenes satelitales


Menú:

- [Imágenes satelitales](#)
- [Guía de construcción](#)

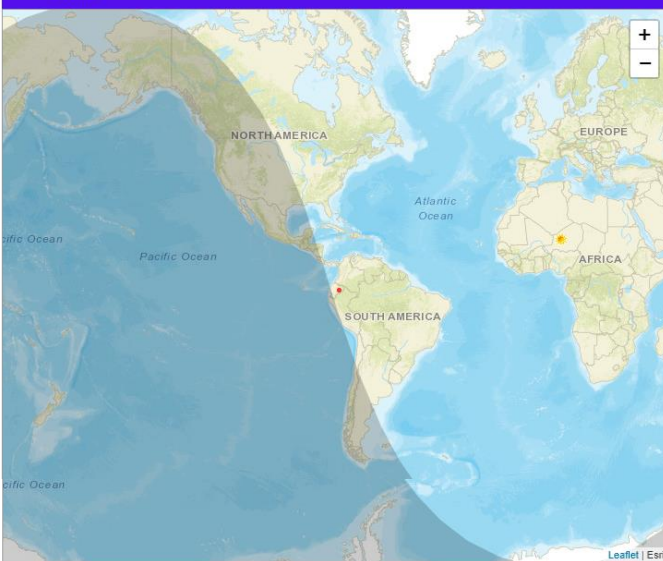
NOAA15

NOAA18

NOAA19



despegar



Draw orbits
 Draw footprint
 Keep selection centered
Large map

**NOAA 15**

NORAD ID:	25338
LOCAL TIME:	21:43:49
UTC:	02:43:49
LATITUDE:	-51.97
LONGITUDE:	51.57
ALTITUDE (km):	830.92
ALTITUDE (mi):	516.31
SPEED (km/s):	7.44
SPEED (mi/s):	4.62
AZIMUTH:	149.0 SE
ELEVATION:	-54.4
RIGHT ASCENSION:	23h 14m 19s
DECLINATION:	-30° 49' 08"
Local Sidereal Time:	21h 12m 37s

The satellite is in day light!

Your current location

Your IP	186.71.230.102
address:	
Latitude:	-0.22985°
Longitude:	-78.52495°
Magnetic decl.:	3° 0' W
Local time zone:	GMT-5

Is this incorrect?

Richard Rojas

## 5. Estructura del sistema

En la página principal en la parte superior de la aplicación cuenta de los siguientes elementos:

Logo de la universidad  
Tecnológica Israel

Página de inicio

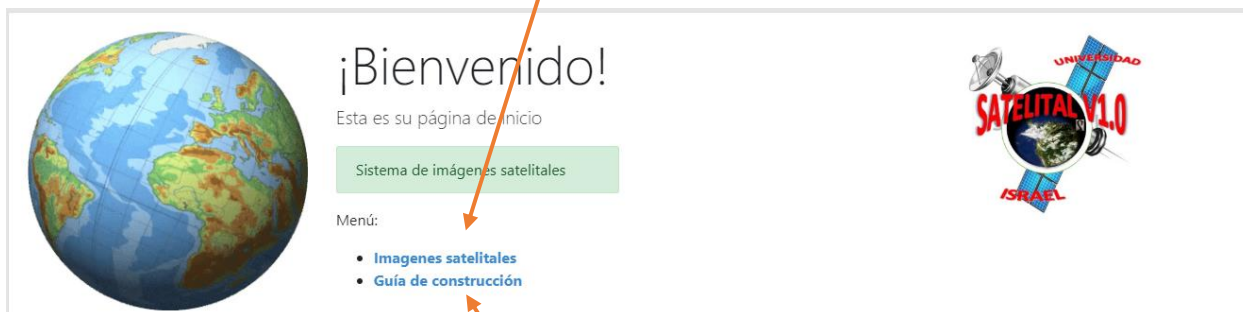


Menú de acceso rápido



Para ingresar a los detalles de las imágenes satelitales de los NOAA 15,18 y 19 se lo podrá hacer dando clic en [imágenes satelitales](#) y a su vez si se desea acceder a una réplica del sistema en obtención de imágenes satelitales se podrá tener acceso en la [guía de construcción](#).

Ingreso a imágenes satelitales



Guía de construcción donde podremos replicar el proyecto

En la sección de imágenes satelitales se desplegará todas las imágenes captadas de los satélites donde consta el formato de la imagen, la fecha-hora, indicara de cual satélite fue captado y por último dando clic en [vista](#) se podrá ver la imagen

Formato de la Imagen.

fecha y hora

Procedencia de la Imagen

**Fotos**

Nombre↕	Fecha y hora↕	Satélite↕	
NOAA1820190508-200008.MCIR.png	08/05/2019 20:00	NOAA18	<a href="#">Vista</a>
NOAA1820190508-200008.Temperatura_deL_mar.png	08/05/2019 20:00	NOAA18	<a href="#">Vista</a>
NOAA1820190508-200008.HVCT.png	08/05/2019 20:00	NOAA18	<a href="#">Vista</a>
NOAA1820190508-200008.png	08/05/2019 20:00	NOAA18	<a href="#">Vista</a>
NOAA1820190508-200008.MSA.png	08/05/2019 20:00	NOAA18	<a href="#">Vista</a>
NOAA1520190508-185143.png	08/05/2019 18:51	NOAA15	<a href="#">Vista</a>

Imágenes satelitales



Los detalles de las imágenes satelitales serán libres de ser interpretadas y dependerá de conocimientos previos para que sea analizadas con exactitud, para esto la imagen contara con el formato, fecha-hora y de cual satélite proviene la imagen.

Formato de la Imagen.

fecha y hora

procedencia de Imagen

NOAA1920190508-174810.png

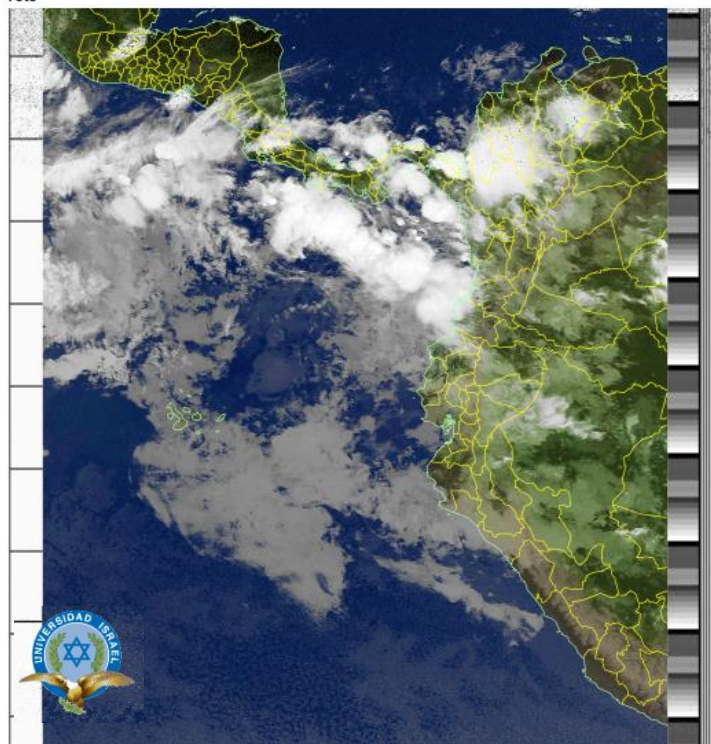
Fecha y hora

08/05/2019 17:48

Satélite

NOAA19

Foto



← Volver

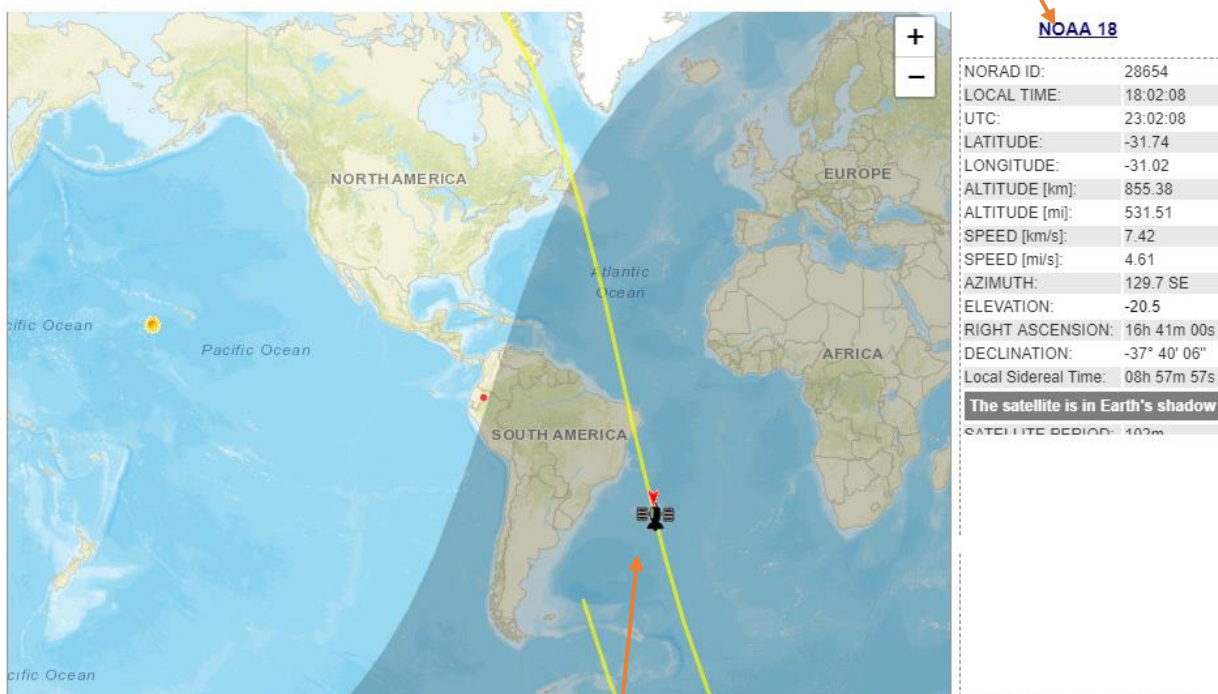
Regreso a la página anterior

Los satélites NOAA pertenecen al grupo que giran en la órbita Polar, los cuales son el 15,18 y 19 de los vigentes hasta el momento para ello contamos en nuestra aplicación el seguimiento de cada uno.

Selección de satélites NOAA

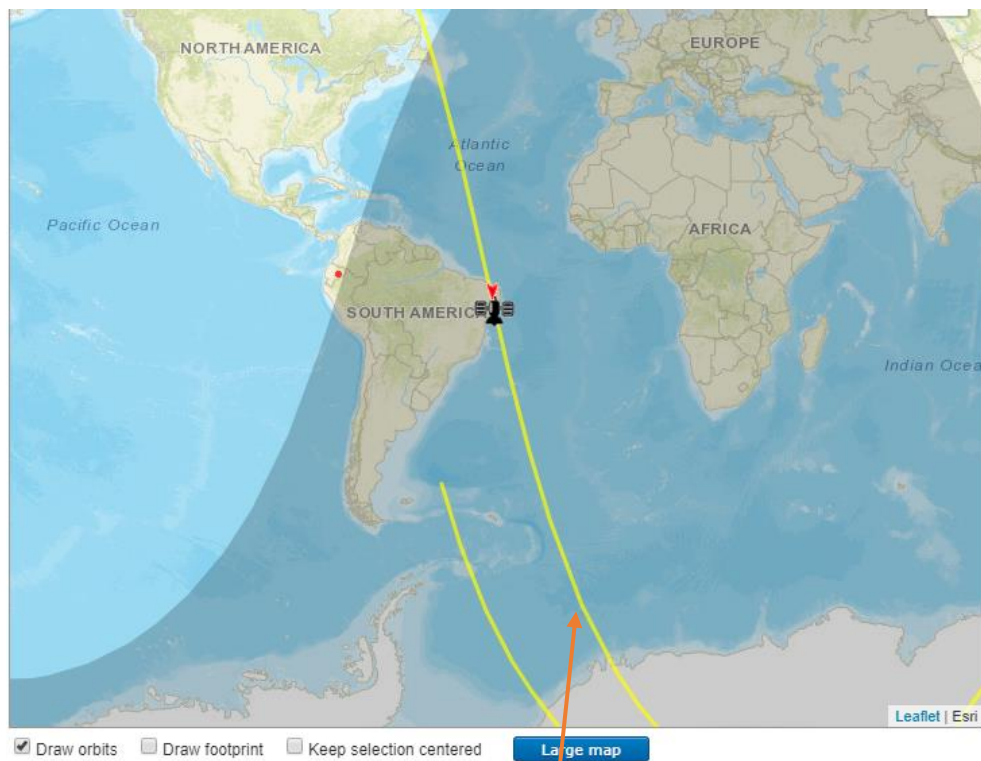
NOAA15 NOAA18 NOAA19

Datos del satélite  
De elección



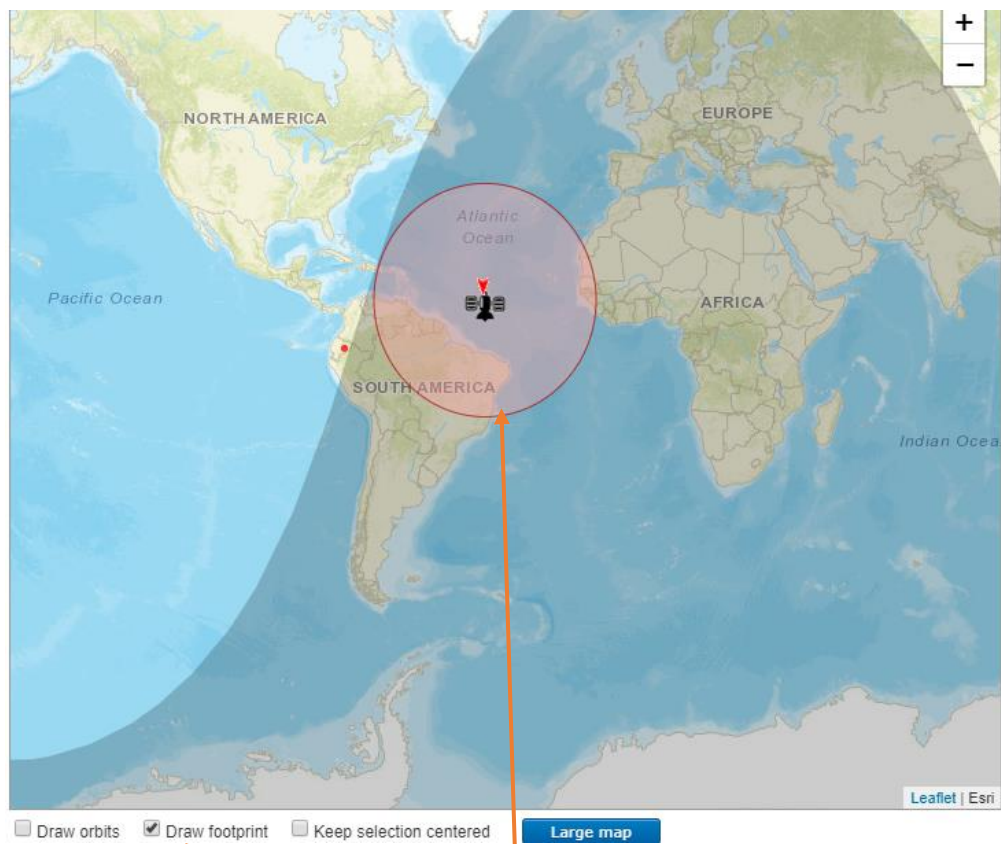
Ruta del satélite

Podemos escoger la selección de la órbita del camino del satélite dando clic en Draw orbits



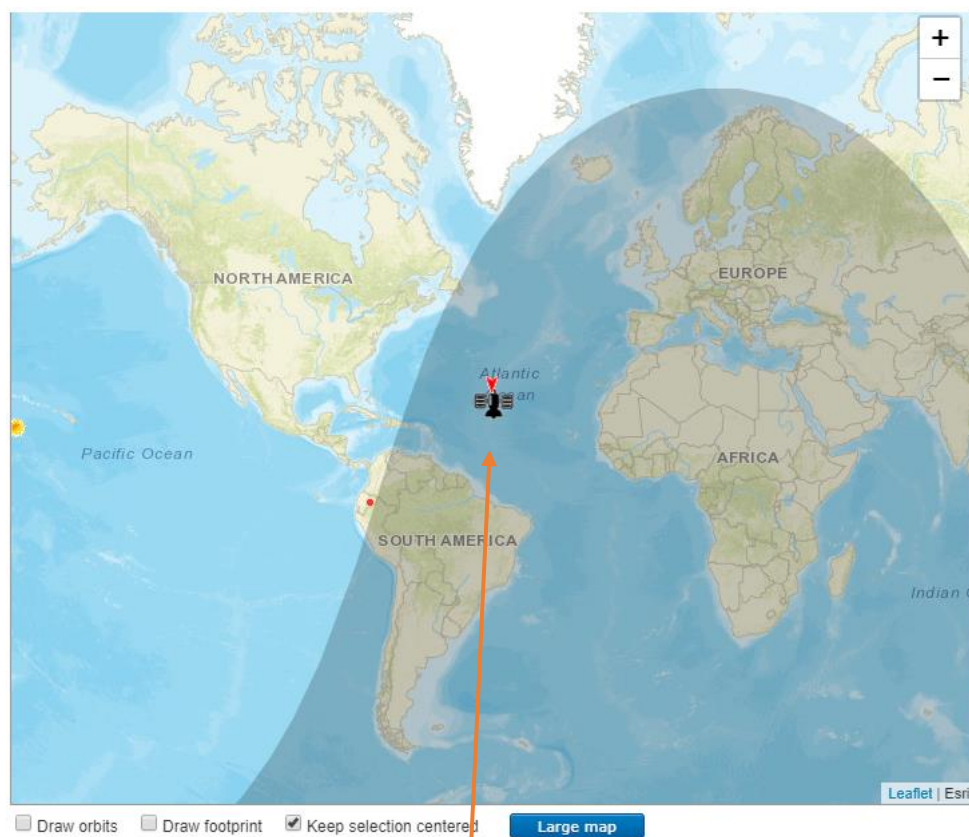
Dibuja las órbitas

Podemos escoger la huella dando clic en Draw Footprint.



Huella del satélite

Podemos tener un seguimiento al satélite de modo permanente dando clic en [keep selection centered](#).



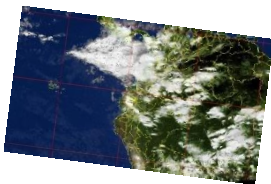
Mantenemos el seguimiento del satélite de forma centrada





**ANEXO 4 MANUAL TÉCNICO**

**RECEPCIÓN  
DE IMÁGENES SATELITALES**



**Autor:**

**Richard David Rojas Molina  
QUITO, ECUADOR**

**2019**

## **Introducción**

En recepción de imágenes satelitales presentamos el siguiente manual técnico con el afán de dar una breve descripción del sistema desarrollado donde constarán los pasos necesarios para que cualquier persona pueda tener bases para resolver problemas y dar soluciones inmediatas ante posibles fallas.

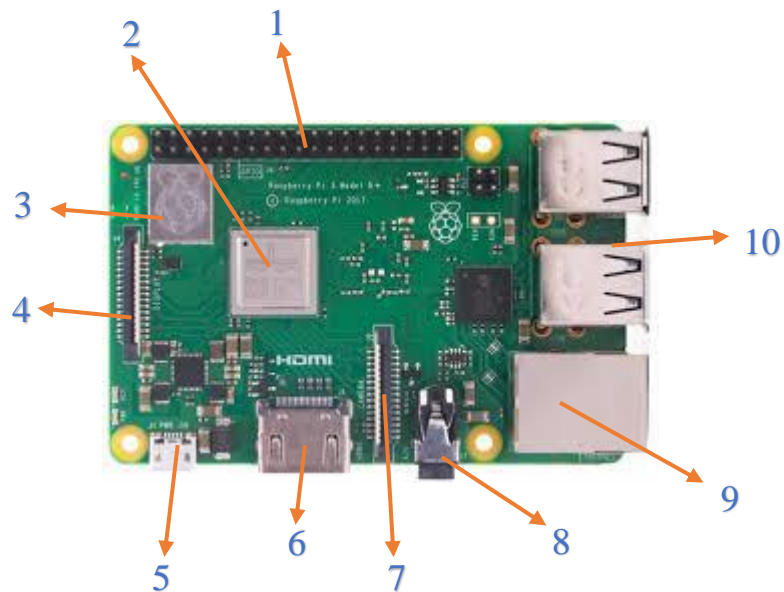
Además, el objetivo del uso de este manual servirá para ofrecer un mantenimiento preventivo al sistema para un buen funcionamiento y un buen desempeño.

Es importante mencionar y que el presente manual no pretende ser un curso de aprendizaje de cada una de las herramientas que utilizamos.

### **Requerimientos del sistema**

### **Requerimientos del hardware**

- Raspberry pi 3 B+, dispositivo donde darán cabida a los programas para la captura de imágenes satelitales, para ello posee las siguientes características:



1. Pines GPIO
2. Procesador BCM2837
3. Wifi-Bluetooth integrado
4. Conector display
5. Fuente de alimentación con puerto micro USB
6. Salida de periférico HDMI
7. Conector de cámara Raspberry
8. Salida de audio con conector Jack 3.5 mm
9. Puerto ethernet RJ45
10. 4 puertos USB 2.0

- Tarjeta micro SD clase 10 cuya velocidad de lectura es de 10 MB/s, para nuestro sistema dará cabida a nuestro sistema operativo y repositorio de imágenes.





- Energización del sistema, para evitar pérdidas de comunicación del sistema un equipo UPS es imprescindible por lo cual es necesario un elemento de 750 VA, para evitar pérdidas por falta de fluido eléctrico.



- Cable HDMI, para el periférico de salida.



- RTL-SDR transforma señales analógicas a digital.



- Antena cuadrifilar helicoidal, recepción de señales de frecuencia en 137.5 MHz, con lóbulo de radiación omnidireccional.

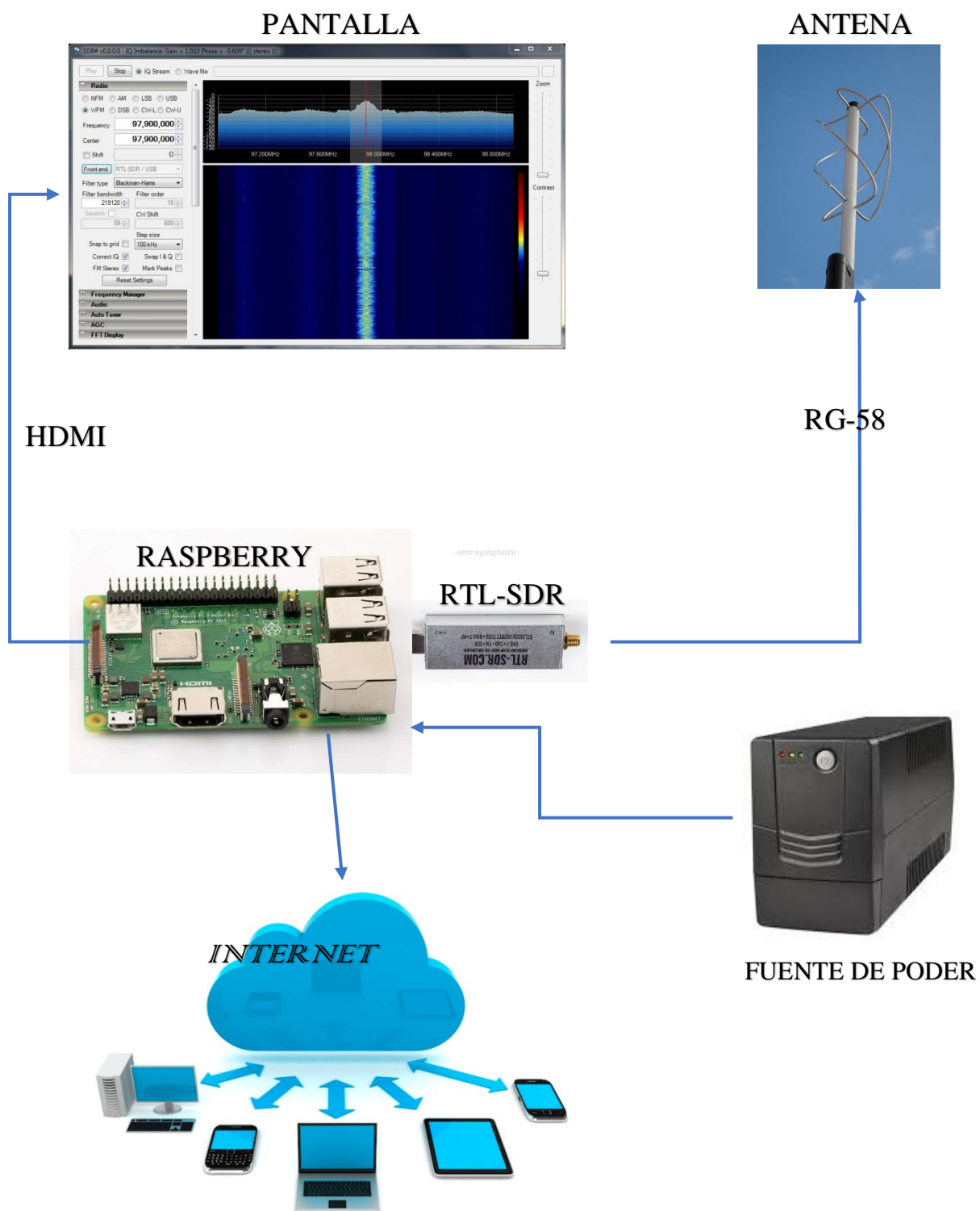


## Requerimientos técnicos

Se detallará los aspectos técnicos de todo el sistema

- Sistema operativo de la Raspberry: GNU/Linux Raspbian.
- Sistema operativo del servidor: GNU/Linux Ubuntu 18.04.2.
- Servidor de las aplicaciones: Apache-tomcat 8.5.40.
- Base de datos: PostgreSQL 10.
- Lenguaje de desarrollo: Angular 7. Java 8.
- Navegador web: cualquier navegador web.

# Sistema integrado del hardware



## **Solución de problemas**

1. Si en la Raspberry en el repositorio no recibe imágenes de debe ejecutar el siguiente comando.
  - rtl\_test
  - sudo reboot
2. Si no se puede conectar por medio del wiffi a la Raspberry verificar, la red o servicio de internet.
3. El sistema se apaga constantemente, se debe verificar el estado del ups, para ello realizar pruebas manuales de descarga.
4. La aplicación web no registra cambio deberá contactarse con el administrador.

## **Contacto de soporte técnico.**

Nombre: Richard Rojas

Correo electrónico: [richarddrmsi@hotmail.com](mailto:richarddrmsi@hotmail.com)

Teléfono celular: +593 995651034