



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA BASADO EN RADIO
DEFINIDA POR
SOFTWARE PARA LA
RECEPCIÓN DE SEÑALES APT**

Alumno: Manuel Luis Villar Campo

Tutor: Pedro Jesús Reche López

Depto.: Ingeniería de Telecomunicación

Octubre, 2023



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA BASADO EN RADIO
DEFINIDA POR
SOFTWARE PARA LA
RECEPCIÓN DE SEÑALES APT**

Alumno: Manuel Luis Villar Campo

Tutor: Pedro Jesús Reche López

Depto.: Ingeniería de Telecomunicación

Octubre, 2023

INDICE

LISTADO DE FIGURAS	3
LISTADO DE TABLAS	6
GLOSARIO.....	1
ABSTRACT	9
RESUMEN.....	11
1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 MOTIVACIÓN.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO.....	14
2 TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL APT.....	17
2.1 SATÉLITES NOAA.....	17
2.2 SEÑAL APT	17
3 DETECCIÓN DE LA SEÑAL APT	21
3.1 PREDICCIÓN PASE SATELITAL	21
MODELOS ORBITALES.....	23
3.1.1 TRACKING NOAA.....	25
3.2 ANTENAS PARA LA DETECCIÓN DE LA SEÑAL APT	29
3.2.1 ANTENA DIPOLO	30
3.2.2 ANTENA DIPOLO EN V	30
3.2.3 ANTENA TURNSTILE	31
3.2.4 ANTENA YAGI-UDA.....	31
3.2.5 ANTENA CUADRIFILAR HELICOIDAL.....	32
3.2.6 COMPARACIÓN DE ANTENAS	33

3.3	RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE (SDR)	34
3.3.1	FUNCIONAMIENTO RTL2832U	35
3.4	CABECERA DE RADIOFRECUENCIA	36
4	MATERIALES Y MÉTODOS	39
4.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA RECEPTOR	39
4.2	ANTENAS EMPLEADAS EN EL PROYECTO	40
4.2.1	ANTENA DIPOLO EN V	41
4.2.2	ANTENA CUADRIFILAR HELICOIDAL	46
4.3	PREDICCIÓN DEL PASE SATELITAL MEDIANTE GPREDICT	51
4.3.1	CONFIGURACIÓN GPREDICT.	51
4.4	GRABACIÓN DEL PASE SATELITAL MEDIANTE SDRSHARP	53
4.4.1	PLUGIN PARA MINIMIZAR EL EFECTO DOPPLER	55
4.4.2	CALIBRACIÓN DEL OSCILADOR LOCAL DEL RTL2832U	58
4.5	DEMODULACIÓN DE LA SEÑAL AM.	60
4.5.1	DEMODULACIÓN AM MEDIANTE NOAA-APT	60
4.5.2	DEMODULACIÓN AM MEDIANTE SCRIPT EN MATLAB	62
4.6	PÁGINA WEB	67
4.6.1	PUBLICACIÓN WEB	69
5	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	73
5.1	PRUEBAS LABORATORIO	73
5.1.1	ANTENA DIPOLO EN V	74
5.1.2	ANTENA CUADRIFILAR HELICOIDAL	77
5.2	IMÁGENES CAPTADAS	79
5.2.1	ANTENA DIPOLO EN V	79
5.2.2	CUADRIFILAR	85
6	LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS	91
7	ANEXO	93
8	BIBLIOGRAFÍA	97

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1 MIRP: Manipulated Information Rate Processo.	19
Figura 2.2 Características imagen APT.	20
Figura 2.3 Formato APT.	20
Figura 3.1 Órbita polar.	21
Figura 3.2 Órbita polar NOAA, durante 24 horas.	22
Figura 3.3 TLE NOAA-19.	25
Figura 3.4 Mapa terrestre de Gpredict.	26
Figura 3.5 N2yo predicción de 10 días NOAA-15.	28
Figura 3.6 Dipolo simple.	30
Figura 3.7 Dipolo en V.	30
Figura 3.8 Antena Turnstile.	31
Figura 3.9 Antena Yagi-Uda.	32
Figura 3.10 Antena cuadrifilar helicoidal.	32
Figura 3.11 Diagrama de radiación de la antena cudrifilar helicoidal.	33
Figura 3.12 Diagrama de bloques SDR.	35
Figura 3.13 RTL2832U.	36
Figura 4.1 Grafico del sistema receptor y servicio Web.	39
Figura 4.2 Detalle de la parte Hardware.	39
Figura 4.3 Detalle del software del sistema receptor.	40
Figura 4.4 Dipolo V.	41
Figura 4.5 Diagrama de radiación del dipolo en V.	42
Figura.4.6 Impedancia dipolo en V, a media longitud de onda.	43
Figura 4.7 Impedancia del dipolo en V con un factor de corrección del 5.6%. ...	44
Figura 4.8 Materiales dipolo en V.	45
Figura 4.9 Dipolo en V.	45
Figura 4.10 Esquema de diseño antena cuadrifilar.	46
Figura 4.11 Parámetros de la calculadora de la antena cuadrifilar.	46
Figura 4.12 Resultados de la calculadora cuadrifilar.	47
Figura 4.13 Dimensiones espira larga, calculadora cuadrifilar.	48
Figura 4.14 Dimensiones espira corta, calculadora cuadrifilar.	49

Figura 4.15 Detalle de conexiones antena cuadrifilar.	50
Figura 4.16 Antena cuadrifilar helicoidal.	50
Figura 4.17 Pantalla principal Gpredict.	51
Figura 4.18 Configuración Ground station Gpredict.	52
Figura 4.19 Configuración ubicación Gpredict.....	52
Figura 4.20 Ubicación del sistema receptor.....	53
Figura 4.21 Actualización TLE Gpredict.	53
Figura 4.22 SDRSharp, captación del NOAA-18.	55
Figura 4.23 Configuración Doppler Gpredict.	56
Figura 4.24 Radio control Gpredict.....	56
Figura 4.25 GpredictorConnector.....	57
Figura 4.26 Imagen de señal del NOAA-15 corrección Doppler.....	57
Figura 4.27 Corrección Doppler NOAA-15.	57
Figura 4.28 Calibración de frecuencias SDR 137.1 MHz.	58
Figura 4.29 Calibración de frecuencias SDR 137.625 MHz.	59
Figura 4.30 Calibración de frecuencias SDR 137.902 MHz	60
Figura 4.31 noaa-apt ventana de decodificación.....	61
Figura 4.32 Noaa-APT processing.	61
Figura 4.33 Noaa-apt imagen final.....	62
Figura 4.34 Señal demodulada AM, muestras durante un segundo.	63
Figura 4.35 Detalle formato APT.....	64
Figura 4.36 Señal demodula de longitud fs.	64
Figura 4.37 Detalle sincronismo, telemetría y marcador.....	65
Figura 4.38 Imagen sin sincronizar.	65
Figura 4.39 Sincronismo señal APT.....	66
Figura 4.40 Detalle de la señal de sincronización, señal demodulada en AM, señal sincronizada y correlación.....	66
Figura 4.41 Imagen final sincronizada.	67
Figura 4.42 Panel de administración de Django	68
Figura 4.43 Pagina Web, ventana de inicio.	68
Figura 4.44 Pases satelitales a 10 días, NOAA-15.....	69
Figura 4.45 Creación del servicio web en Render.....	69
Figura 4.46 Enlace de repositorio a la página web.	70

Figura 4.47 Deploy de la última actualización.....	70
Figura 4.48 Creación de base de datos PostgreSQL.	71
Figura 4.49 Creación base de datos en Render-Cloud.....	71
Figura 4.50 Pagina para la subida de imágenes y audios.....	72
Figura 5.1 ROE del dipolo V.	74
Figura 5.2 Carta de Smith del Dipolo V	75
Figura 5.3 ROE del dipolo rediseñado.	75
Figura 5.4 Captura del analizador vectorial de redes, Dipolo V.....	76
Figura 5.5 Smith del dipolo rediseñado.....	76
Figura 5.6 ROE de la antena cuadrifilar.	77
Figura 5.7 Impedancia antena cuadrifilar.	77
Figura 5.8 ROE ajustada antena cuadrifilar.....	78
Figura 5.9 Impedancia ajustada de la antena cuadrifilar.	78
Figura 5.10 Imagen 1, dipolo en V.....	79
Figura 5.11 Densidad espectral de imagen 1, dipolo en V.	80
Figura 5.12 Espectrograma imagen 1, dipolo en V.....	80
Figura 5.13 Imagen 2, dipolo en V.....	80
Figura 5.14 Imagen 2, densidad espectral dipolo en V	81
Figura 5.15 Espectrograma imagen 2, dipolo en V.....	81
Figura 5.16 Imagen 3, dipolo en V.....	82
Figura 5.17 Densidad espectral imagen 3, dipolo en V.....	82
Figura 5.18 Espectrograma imagen 3, dipolo en V.....	82
Figura 5.19 Imagen 4, dipolo en V.....	83
Figura 5.20 Densidad espectral imagen 4, dipolo en V.....	83
Figura 5.21 Espectrograma imagen 4, dipolo en V.....	83
Figura 5.22 Imagen 5, dipolo en V.....	84
Figura 5.23 Densidad espectral imagen 5, dipolo en V.....	84
Figura 5.24 Espectrograma imagen 5, dipolo en V.....	85
Figura 5.25 Imagen 1, cuadrifilar helicoidal.....	85
Figura 5.26 Densidad espectral imagen 1, cuadrifilar helicoidal.....	85
Figura 5.27 Espectrograma imagen 1, cuadrifilar helicoidal.	86
Figura 5.28 Imagen 2 cuadrifilar helicoidal.....	86
Figura 5.29 Densidad espectral imagen 2, cuadrifilar helicoidal.....	86

Figura 5.30 Espectrograma imagen 2, cuadrifilar helicoidal.....	87
Figura 5.31 Imagen 3, cuadrifilar helicoidal.....	87
Figura 5.32 Densidad espectral imagen 3, cuadrifilar helicoidal.....	87
Figura 5.33 Espectrograma imagen 3, cuadrifilar helicoidal.....	88
Figura 5.34 Imagen 4, cuadrifilar helicoidal.....	88
Figura 5.35 Densidad espectral imagen 4, cuadrifilar helicoidal.....	88
Figura 5.36 Espectrograma imagen 4, cuadrifilar helicoidal.....	89
Figura 5.37 Imagen 5, cuadrifilar helicoidal.....	89
Figura 5.38 Densidad espectral imagen 5, cuadrifilar helicoidal.....	89
Figura 5.39 Espectrograma imagen 4, cuadrifilar helicoidal.....	90

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 Frecuencia downlink.	18
Tabla 2.2 Características técnicas de la señal APT.	18
Tabla 2.3 Canales AVHRR/3.	19
Tabla 3.1 Codificación línea 1.	23
Tabla 3.2 Codificación TLE línea 2.	24
Tabla 3.3 Comparativa de antenas.....	33
Tabla 3.4 Comparación SDRs.....	34
Tabla 3.5 Atribuciones de frecuencias.	37
Tabla 3.6 Filtro SAW características técnicas.	38
Tabla 5.1 Comparación imágenes obtenidas.....	90

Glosario.

ADC: Analog to Digital Converter.

AOS: Stands for acquisition of signal.

API: Application Programming Interface.

APT: Automatic picture transmission.

AVHRR: Advanced very high-resolution radiometer 3^o generation.

BALUN: Balanced to unbalanced.

DDC: Digital Down Converter.

DSP: Digital Signal Processing.

GOES: Geostationary operational environmental satellite.

HRPT: High resolution picture transmission.

LNA: Low Noise Amplifier.

LOS: Loss of signal.

MIRP: Manipulated Information Rate Processor.

MSB: Most significant bits.

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

NESDIS: The National Environmental Satellite, Data, and Information Service.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

NORAD: North American Aerospace Defense Command.

PCM: Pulse code modulation.

POES: Polar Operational Environmental Satellites.

PPM: Partes por millón.

RHCP: Right hand circular polarization.

ROE: Relación de Onda Estacionaria.

SAW: Surface Acoustic Wave Filter.

SDP: Deep Space Satellites.

SDR: Software Define Radio.

SGP: Simplified General Perturbation.

SNR: Signal to noise ratio.

SSTV: Slow scan TV.

TCXO: Temperature compensated crystal oscillator

TIROS: Television Infrared Observation System.

TLE: Two-line element

VHF: Very High Frequency.

VNA: Vector Network Analyzer.

WFM: Wide Frequency Modulation.

Abstract

In this project, the aim is to capture the APT signal from NOAA satellites using a low-cost ground station. To achieve this, we will utilize a low-cost SDR device and homemade antennas, which we will analyze theoretically and practically. We will use Matlab software with the Antenna Toolbox and the network vector analyzer in the RF laboratory. We will use multiple antennas for comparison and analyze which one best meets the technical requirements of the signal.

NOAA satellites transmit real-time images of the Earth's surface. The captured images are related to meteorological conditions and are used by the NOAA agency to study the atmosphere and oceans. These images are transmitted in various formats and frequencies, but our focus will be on the APT transmission format, which sends two channels or images captured by a device called AVHRR/3. This device captures six infrared bands to construct black and white images. The APT signal is transmitted in the VHF band from 137 to 138 MHz, using analog format and frequency modulation.

Currently, there are only three operational satellites that transmit the APT signal: NOAA-15, NOAA-18, and NOAA-19. These signals use SSTV transmission, which is a method for the slow scanning transmission of black and white images. Each second, they generate two lines of 2080 pixels. Since these satellites have polar orbits, the size of the image obtained varies depending on the satellite's trajectory and location.

To visualize the resulting images, the proposal is to create a webpage where we will upload the obtained images and WAV files. The signal capture is stored in audio format and is subsequently decoded to create the image.

Resumen.

En este proyecto se pretende captar la señal APT de los satélites NOAA, con una estación terrena de bajo coste, para ello utilizaremos un dispositivo SDR de bajo coste y unas antenas construidas artesanalmente, las cuales analizaremos teórica y prácticamente. Para ello haremos uso del software Matlab mediante la *Antenna ToolBox* y del analizador vectorial de redes del laboratorio de radiofrecuencias. Usaremos varias antenas a modo de comparación entre ellas y analizaremos cual se adapta mejor a los requisitos técnicos de la señal.

Los satélites NOAA emiten imágenes de la superficie terrestre en tiempo real. Las imágenes captadas son de ámbito meteorológico y son usadas por la agencia NOAA para el estudio de la atmosfera y los océanos, estas son enviadas en varios formatos de transmisión y en distintas frecuencias, pero nos centraremos en el formato de transmisión APT, el cual envía dos canales o imágenes que son captadas por un dispositivo llamado AVHRR/3. Este dispositivo capta seis bandas infrarrojas, con las que construye la imagen en blanco y negro. La emisión de la señal APT se realiza en la banda de VHF de 137 a 138 MHz, en formato analógico y modulación en frecuencia.

Actualmente solo quedan tres satélites operativos emitiendo la señal APT, estos son el NOAA-15, NOAA-18 y NOAA-19, estas señales realizan una emisión de SSTV, es un método de transmisión de barrido lento de imágenes en blanco y negro, cada segundo genera dos líneas de 2080 pixeles, como los satélites son de órbita polar y el tiempo que esta sobre la estación varía según la trayectoria del satélite y la ubicación, obtendremos una imagen de mayor o menor tamaño.

Para visualizar el resultado de las imágenes se propone crear una página web donde subiremos las imágenes obtenidas y los archivos WAV, ya que la captación de la señal se almacena en formato de audio y posteriormente se decodifica, creando la imagen.

1 INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta una breve introducción del trabajo de fin de grado, el cual es de tipo teórico experimental, ya que se realizarán casos prácticos, como recepción de señales radioeléctricas, simulaciones, análisis de dispositivos y elementos electrónicos en el laboratorio.

1.1 Motivación

La elección para mi trabajo de fin de grado sobre SDR (*Software Define Radio*) fue el resultado de un profundo interés en esta tecnología desde el momento en que la descubrí. Me di cuenta de que los SDR poseen un potencial extraordinario, ya que permiten la captura de una amplia variedad de señales y la aplicación de muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera.

Uno de los aspectos más cautivadores de la ingeniería de telecomunicaciones para mí es la transmisión de datos a través de comunicaciones satelitales, por la capacidad de establecer comunicaciones a larga distancia desde el espacio exterior. Mi inspiración para abordar el proyecto de crear un receptor de señales APT surgió de la web RTL-SDR, donde radioaficionados de todo el mundo comparten proyectos. Este proyecto me pareció una oportunidad ideal, ya que combina aspectos teóricos con experimentales, me brinda la posibilidad de trabajar con dispositivos como SDR, herramientas de análisis como el analizador vectorial y Matlab, y permite explorar temas fundamentales como las modulaciones y el procesamiento de señales.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es la creación de una estación terrena capaz de captar las señales APT procedentes de los satélites NOAA, para ello haremos uso de una antena receptora, un SDR y un computador el cual nos permite ejecutar los software y scripts necesarios para procesar la señal y convertirla en imágenes de la superficie terrestre. En este proyecto también se pretende dar un enfoque analítico de los dispositivos, sobre todo de las antenas utilizadas, ya que proponemos varias antenas a modo de comparación. Para ello analizaremos los elementos receptores con software y con analizadores del laboratorio de la politécnica de Linares.

Tendremos cuatro objetivos fundamentales a desarrollar.

- Recepción de la señal analógica, mediante componentes hardware, antena receptora, filtros y amplificadores.
- Predicción del pase satelital, la señal no está siempre disponible, por lo que debemos de predecir cuándo pasara por nuestra ubicación.
- Procesado de la señal, aplicando una conversión analógica a digital, demodularla y convertirla en formato imagen.
- Creación de un sitio web en el que publicaremos las imágenes obtenidas e información relevante.

1.3 Organización y estructura del trabajo de fin de grado

El proyecto estará estructurado en cinco capítulos numerados. Incluirá un resumen inicial, una sección de referencias bibliográficas y un anexo que contendrá documentación técnica sobre elementos específicos utilizados, como el cable coaxial. A continuación, se resume brevemente resumen del contenido de cada capítulo:

Capítulo 1: Introducción: En este capítulo, se presentará una breve introducción al proyecto, así como los objetivos que se pretenden alcanzar.

Capítulo 2: Transmisión de la señal APT: Aquí se detallarán las características de la señal APT y sus particularidades. Además, se proporcionará una explicación sobre el uso de la señal y la fuente de emisión de esta por los satélites NOAA.

Capítulo 3: Detección de la señal APT: En este capítulo, se discutirán los requisitos técnicos necesarios debido a las características vistas en el capítulo anterior y se abordarán los principales desafíos que deben superarse.

Capítulo 4: Materiales y Métodos: Se desarrollará el sistema de recepción en términos de hardware y software, teniendo en consideración las características y desafíos vistos en los capítulos dos y tres.

Capítulo 5: Resultados y Conclusiones: Se llevará a cabo un análisis de la calidad del sistema y se presentarán los resultados y conclusiones obtenidas.

Capítulo 6: Líneas de trabajo futuras: En este capítulo final se propondrán posibles mejoras y líneas de investigación futuras, tales como antenas, SDR, software o señales similares a captar.

2 TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL APT

2.1 Satélites NOAA

El emisor de la señal APT (*Automatic Picture Transmission*), son los satélites de la agencia NOAA, los cuales obtienen imágenes utilizando sensores a bordo que capturan datos en diferentes bandas espectrales, como la banda visible e infrarroja. Los datos obtenidos se utilizan para generar imágenes en blanco y negro las cuales son transmitidas en el formato de transmisión APT.

NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) es una agencia estadounidense que se dedica al estudio atmosférico, oceanográfico y espacial, con el fin de proteger los recursos medioambientales y advertir de posibles amenazas. Para la monitorización de distintos parámetros utiliza diferentes herramientas, entre ellas satélites meteorológicos, estos satélites son los emisores de la señal que deseamos recibir. Los satélites que emiten la señal APT son cinco que van del NOAA-15 al NOAA-19, aunque a día de hoy solo hay tres satélites operativos que siguen emitiendo la señal APT, NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19.

El NOAA-15 fue lanzado el 13 de mayo de 1998, con una vida útil estimada de dos a tres años y sigue emitiendo en 2023 la señal APT, aunque para la agencia NOAA ya no está en uso ya que dejó de emitir en 2010 ciertos datos necesarios para la misión que fue lanzado, debido a un fallo en un sensor, en la página [1] podemos ver el estado del satélite y que sensores o dispositivos están operativos.

2.2 Señal APT

El formato de transmisión de imágenes analógicas en tiempo real conocido como señal APT fue desarrollado en 1963 por el NESDIS (*The National Environmental Satellite, Data, and Information Service*) de Estados Unidos y posteriormente adoptado por la NOAA, para su uso en satélites meteorológicos. En la actualidad, continúan emitiendo tres satélites NOAA la señal las 24 horas del día, los siete días de la semana, con el propósito de proporcionar imágenes meteorológicas y datos meteorológicos de forma gratuita y abierta para que sean utilizados por investigadores y el público en general.

La señal APT se transmite en la banda de frecuencia de VHF, en el rango de 137 MHz a 138 MHz. Se modula en frecuencia con una desviación de 17 KHz y una subportadora modulada en amplitud, filtrada 2.4 KHz. La modulación en AM, contiene la información de la imagen, los cambios en la amplitud representan los valores de los píxeles de la imagen [2].

NOAA-15	137.62 MHz
NOAA-18	137.9125 MHz
NOAA-19	137.1 MHz

Tabla 2.1 Frecuencia downlink [2]

En la tabla 2.2 podemos observar las principales características técnicas de la señal APT.

Banda de frecuencia	137 a 138 MHz
PIRE	± 33.5 dBm
Polarización de la señal	Circular a derechas
Modulación FM (desviación en frecuencia)	± 17 KHz
Subportadora AM	2.4 KHz

Tabla 2.2 Características técnicas de la señal APT [2]

Los datos captados por el satélite, son obtenidos mediante un sensor radiométrico llamado AVHRR/3 (*Advanced very High-Resolution Radiometer 3^o generation*). Este sensor mide la reflectancia de la Tierra en seis bandas espectrales, aunque solo procesa cinco de las seis bandas. Las imágenes enviadas mediante APT envían dos imágenes, imagen A e imagen B, estas imágenes se forman multiplexando dos de los cinco canales espectrales, en la tabla 2.3 podemos observar los canales y las bandas espectrales de cada uno, los canales asignados varían, según la luz captada por los sensores, si es un pase por un área diurna o nocturna [3].

Canal	Bandas espectrales
1 (visible)	0.580-0.68
2 (IR cercano)	0.725-1.00
3A (IR cercano)	1.580-1.64
3B (Ventana IR)	3.55-3.93
4 (Ventana IR)	10.30-11.3
5 (Ventana IR)	11.5-12.5

Tabla 2.3 Canales AVHRR/3 [3]

El AVHRR/3 envía los datos a un subsistema del satélite llamado MIRP (*Manipulated Information Rate Processor*), que es el encargado de procesar y manipular los datos recogidos por los distintos sensores que tiene el satélite tanto AVHRR/3 como otros. El MIRP convierte de digital a analógico la señal con un ancho de banda de 2080 Hz y la modula en amplitud con una portadora de 2.4 KHz, esta señal resultante se filtra a 4160 Hz y se modula en frecuencia con una portadora que va de 137 MHz a 137.9 MHz y una desviación en frecuencia de 17 KHz [2].

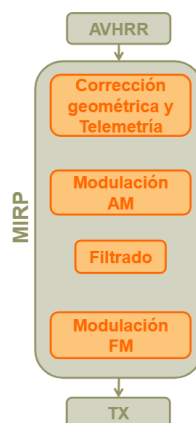


Figura 2.1 MIRP: *Manipulated Information Rate Processo* [4]

La señal se compone de dos canales o imágenes A y B, cada canal tiene 909 palabras de imagen más 131 palabras para señalización y telemetría. Cada palabra se muestrea utilizando 10 bits de los cuales 8 bits son los utilizados para generar la imagen a lo largo de una línea. Estos 8 bits representan la tonalidad de grises en un rango de 256 niveles, cada línea generada dura 0.5 segundos, por lo que cada 0.5 segundos tenemos 2080 palabras, en total con los dos canales 4160 cada segundo, en la figura 2.2 vemos un ejemplo de una imagen real y las componentes de sincronización, telemetría y marcado temporal [3].

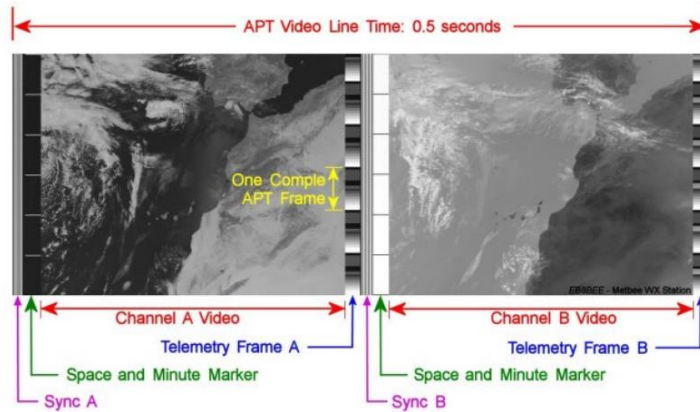


Figura 2.2 Características imagen APT [3]

A continuación, hacemos un resumen de los valores más significativos.

- Una línea tiene 2080 palabras.
- Cada segundo tiene 2 líneas.
- En un segundo tenemos 4160 palabras.
- Las imágenes tienen 909 palabras.
- Cada canal tiene una señal de sincronización de 39 palabras.
- La sincronización del canal A, es un tren de pulsos de 1040 Hz
- La sincronización del canal B, es compuesta por un tren de pulsos de 832 Hz
- Cada minuto en el marcado temporal viene dado por dos líneas blancas en el canal A y dos negras en el canal B.

En la figura 2.3 podemos observar la posición de cada componente como de las palabras con las que se forman cada una de estas.

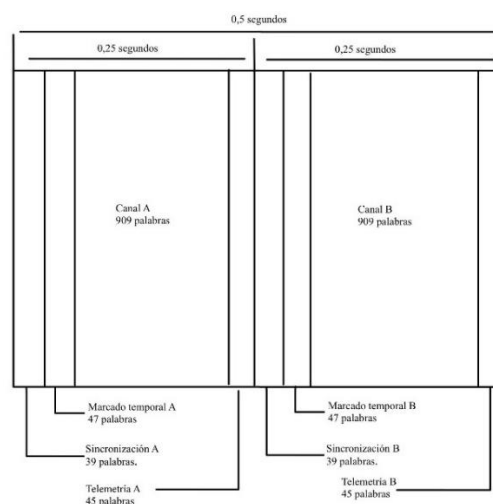


Figura 2.3 Formato APT [3]

3 DETECCIÓN DE LA SEÑAL APT

En este tercer capítulo hablaremos sobre los requisitos técnicos que deben de tener nuestro sistema receptor y los principales desafíos que debemos solventar. Principalmente los *handicap* vienen dados por la órbita del satélite.

La disponibilidad de la señal no es constante debido a la órbita del satélite, lo que nos obliga a anticipar la hora, el tiempo y la ubicación en la que estará disponible para su recepción. Debido a la distancia, la potencia de radiación y las interferencias electromagnéticas, la señal suele ser de baja intensidad. Además de estas interferencias, debemos tener en cuenta el efecto Doppler, que se produce debido al movimiento del satélite y provoca variaciones en la frecuencia de la señal. Por tanto, es necesario ajustar la frecuencia durante la trayectoria del satélite para garantizar una recepción adecuada. Todos estos problemas los veremos en profundidad en este capítulo y sus apartados.

3.1 Predicción pase satelital

Los satélites NOAA son de órbita polar, esto supone que, debido a la órbita, el satélite es visible sobre nuestra posición durante un cierto tiempo. El tiempo varía según la elevación del pase y la orografía del receptor. Este rango de tiempo se le denomina, en el argot, como ventana temporal y es el tiempo del que disponemos para captar la señal APT. Para saber la posición del satélite y el pase sobre nuestra ubicación debemos conocer los elementos orbitales o efemérides que son usados para calcular la trayectoria la cual nos indica el grado de elevación, el tiempo que será visible y la dirección de la trayectoria.

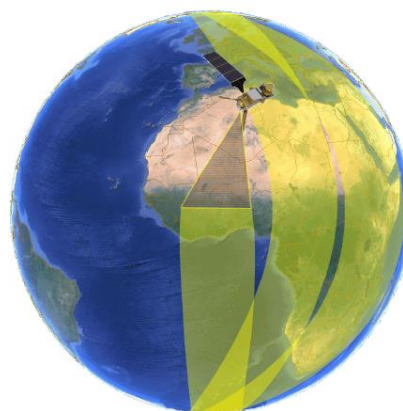


Figura 3.1 Órbita polar [5]

La principal ventaja que tiene la órbita polar es que produce un barrido de toda la superficie terrestre debido al movimiento rotacional de la tierra. En la figura 3.1 podemos ver como el satélite va barriendo toda la superficie con su huella satelital. Esta característica es distinta en comparación con los satélites geoestacionarios, ya que dan siempre la información sobre el mismo punto debido a una huella satelital constante. Por el contrario, los satélites polares varían continuamente su huella satelital. Esto permite la adquisición de datos de toda la tierra con un numero pequeño de satélites. Pero a su vez, tiene el inconveniente de que no siempre están disponibles para captarlos por estaciones terrenas, por lo que debemos de predecir su llegada a nuestro campo de visión, en ingles denominado como AOS (*Stands for acquisition Of Signal*) y su salida LOS (*Loss Of Signal*).

Los satélites NOAA tiene un periodo orbital a la tierra que va de 101 minutos a 102 minutos. Este periodo varía según la altura a la que se encuentre el satélite, que está en un rango de 830 km a 870 km, en lo que se denomina orbita baja. Las orbitas bajas son las que están por debajo de los 1500 km de altitud. El satélite orbita a la tierra catorce veces a lo largo de un día. Podemos ver todas las pasadas durante 24 h de un satélite NOAA en la figura 3.2, la línea roja representa una vuelta completa a la tierra. Como podemos observar en la misma vuelta el satélite pude ser visible dos veces, desde un mismo punto, por ejemplo, Australia [3].

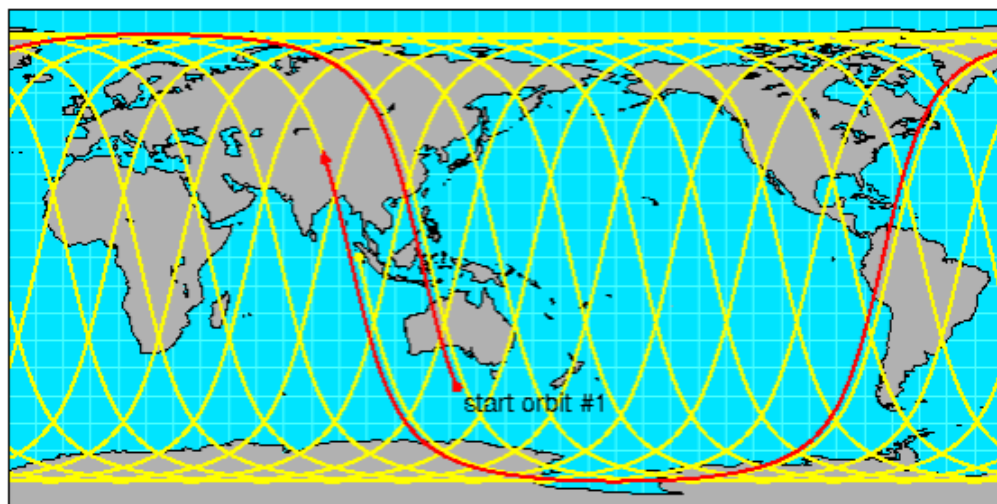


Figura 3.2 Órbita polar NOAA, durante 24 horas [3]

Modelos orbitales

Los modelos orbitales son usados para predecir las trayectorias u orbitas, la velocidad del objeto y su posición, entre otras características. Algunos de estos modelos son los SGP (*Simplified General Perturbation*), son un conjunto de cinco modelos matemáticos, SGP, SGP4 usado en periodos menores a 225 minutos, SDP4 (*Deep Space Perturbation*) usado en periodos mayores de 225 minutos, SGP8 y SDP8.

Estos modelos están pensados para que sean nutridos por los TLE (*Two-Line Element*) [6].

La NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y NORAD (*North American Aerospace Defense Command*) en 1970 creo un sistema estándar que albergara los datos necesarios para poder predecir la ubicación de satélites. Este sistema se llamó TLE y sirve para codificar la información necesaria para saber el pase futuro o pasado de un satélite. Consta de dos líneas y 69 caracteres que contienen números y letras. En la tabla 3.1 y tabla 3.2 podemos observar cada grupo de caracteres al que corresponde la codificación [6].

Columna	Descripción
01	Numero de línea
03-07	Numero satélite
08	Clasificación
10-17	Identificador internacional
19-20	Época año
21-32	Época día
34-43	1ª derivada del movimiento medio
45-52	2ª derivada del movimiento medio
54-61	Término B-Star Drag
63	Efemerides
69	Checksum

Tabla 3.1 Codificación línea 1 [6]

Columna	Descripción
01	Numero de línea
03-07	Numero satélite
09-16	Inclinación
10-17	Identificador internacional
18-25	Ascensión recta del nodo
27-33	Excentricidad
35-42	Argumento del perigeo
44-51	Anomalía media
53-63	Motivo medio
64-68	N.º revolución época
69	Checksum

Tabla 3.2 Codificación TLE línea 2 [6]

A continuación, vamos a detallar la codificación del TLE del NOAA-15 marcada en la figura 3.3.

1. Clasificación del satélite, U satélite no clasificado.
2. Identificador internacional.
3. Época, día. Año.
4. Año.
5. Inclinación medida en grados.
6. RAAN, Ascensión recta del nodo ascendente.
7. Excentricidad.
8. 1ª derivada del movimiento medio.
9. Argumento del perigeo medido en grados.
10. 2ª derivada del movimiento medio.
11. Termino de arrastre.
12. Anomalía media.
13. Movimiento medio.
14. Tipo de efemérides.
15. Numero de elemento.
16. Numero de revolución de época.

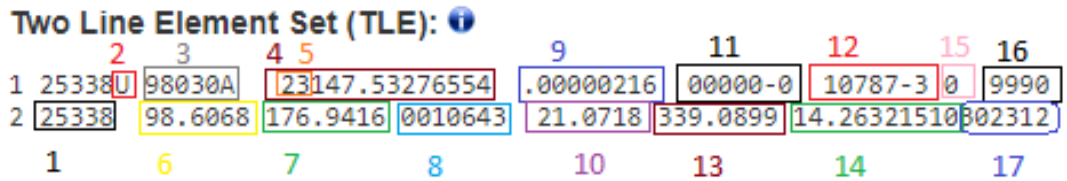


Figura 3.3 TLE NOAA-19 [7]

3.1.1 Tracking NOAA

Para captar la señal de manera efectiva, es fundamental tener un conocimiento detallado de la órbita del satélite y su aproximación a nuestra ubicación. Esto nos permite determinar cuándo debemos activar nuestro receptor para recibir la señal con éxito. Para planificar la recepción de una pasada satelital, es esencial obtener ciertos parámetros, ya que no todas las pasadas proporcionarán una señal de calidad aceptable. Los parámetros clave que debemos conocer para evaluar la calidad de una pasada son los siguientes.

- **Horario:** Es importante conocer el horario de pasada del satélite NOAA que deseas recibir en tu ubicación, ya que esto te permitirá estar preparado para la recepción.
- **Elevación:** Este parámetro se refiere a los grados de separación entre el cenit (punto en el cielo que se encuentra justo sobre un observador) en el punto de recepción y el horizonte, con valores que oscilan entre 0 y 90 grados. Al evaluar la elevación, debemos de considerar que la elevación no es constante a lo largo de toda la trayectoria del satélite y varía con el tiempo [8] [9].
- **Azimut:** Es el ángulo formado sobre el horizonte, tomando el norte como punto de referencia. Este parámetro lo usaremos para ver el punto de entrada del satélite en nuestra ubicación y el punto de salida [8].
- **Tiempo de recepción:** El tiempo de recepción desempeña un papel crítico en el proceso, ya que generalmente oscila entre ocho y quince minutos. Sin embargo, debido a las fluctuaciones en la elevación del satélite, la ventana de tiempo para recibir una señal nítida suele ser de aproximadamente el 50%. Por lo tanto, es crucial estar completamente preparado y operativo antes del inicio de la pasada del satélite.

El azimut de entrada y salida nos ofrece una referencia sólida de la trayectoria prevista del satélite, mientras que la elevación nos suministra información crucial sobre la calidad e intensidad de la señal. Una elevación baja puede dar lugar a áreas de pérdida

de la señal debido a obstáculos como edificios o montañas, y, por el contrario, cuando el satélite se encuentra directamente sobre nuestra ubicación, generalmente proporciona la señal más sólida y confiable. Esto puede prevenir la pérdida de la señal. Además, es importante resaltar que, como exploraremos en secciones posteriores, las antenas tienden a captar de manera más eficaz las señales cuando la elevación es mayor, debido al patrón de radiación de las antenas usadas.

Para adquirir estos parámetros, disponemos de múltiples alternativas a nuestra disposición. Podemos emplear varios softwares específicos, dado que existen diversas opciones de acceso gratuito. Asimismo, contamos con scripts y bibliotecas disponibles en diversos lenguajes de programación, accesibles a través de repositorios como GitHub. Además, también tenemos la opción de consultar páginas web sin necesidad de descargar ningún software.

- Gprecit

Como programa tenemos la opción de usar Gpredict. Te permite hacer un seguimiento del satélite en tiempo real, ofrece la posibilidad de ubicar tu estación terrena, con las coordenadas exactas para aumentar la precisión o por defecto tiene unos puntos de referencia como capitales, estaciones terrestres o aeropuertos. Tiene un mapa terrestre donde puedes ver la trayectoria del pase y un plano en coordenadas polares donde visualizar el pase sobre tu AOS [10].

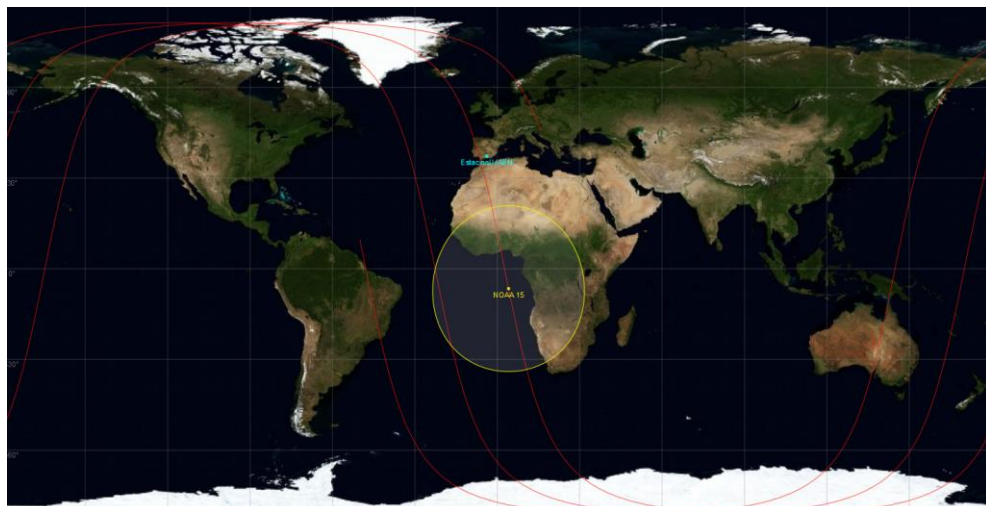


Figura 3.4 Mapa terrestre de Gpredict [10]

- Librerías o bibliotecas.

Python-predict, es una librería escrita en Python que se encuentra disponible en GitHub, debes introducir las coordenadas del receptor y el TLE. Está basado en la librería `orbit_predictor`.

OrbitPropagator, está escrito en Matlab y es modelado en simulink [11].

PyEphem: PyEphem es una biblioteca de Python que permite realizar cálculos astronómicos precisos, incluyendo la predicción de pasadas de satélites y la ubicación de cuerpos celestes en el cielo en un momento dado [12].

CelesTrak: es una fuente en línea de datos orbitales de satélites. Aunque no es una biblioteca de código, puedes acceder a sus datos para realizar tus propias predicciones de pasadas satelitales. Es una herramienta interesante para descargar y actualizar los TLE de software como Gpredict, o comprobar que los TLE que utiliza el software están actualizados [13].

- N2yo

Es una web que ofrece la posibilidad de seguir en tiempo real multitud de satélites, ofrece un servicio de API (*Application Programming Interface*) el cual se puede obtener información de las peticiones posibles del servicio [7].

Una funcionalidad que ofrece N2yo es dar la predicción a diez días, lo que permite planificar los pases con bastante antelación.

En la figura 3.5 podemos observar los pases a diez días y como N2Yo te da los datos de azimut de entrada, el azimut en el punto máximo de elevación ya que la elevación no es constante y el azimut de salida. Además, te marca en colores el pase que considera con mayor calidad siendo el naranja el mejor. Podemos observar que cataloga como mejor el de mayor elevación.

10-DAY PREDICTIONS

Object name	NOAA 15 Live tracking More info	Uplink (MHz):	
Catalog #	25338 ⓘ, 1998-030A ⓘ	Downlink (MHz):	137.620/1702.500
Observing location	COORD 36.77233302706747, -3.7524356157735856	Beacon (MHz):	
Observing coord.	Lat: 36.77°, Lng: -3.75° Change	Mode:	
Local time zone	GMT +2 ⓘ	Call sign:	
		Status:	Unknown

Visible passes		AM/PM time		UTC	Print as PDF			
Start 		Max altitude			End 		All passes	
Date, Local time	Az	Local time	Az	EI	Local time	Az	Mag 	Info
9-May 20:53	SSE 156°	21:00	E 78°	62°	21:07	N 352°	+5.8	Map and details
9-May 22:34	SW 213°	22:40	W 268°	14°	22:46	NW 323°	+7.6	Map and details
10-May 09:10	NNE 26°	09:17	E 96°	28°	09:24	S 165°	+6.8	Map and details
10-May 10:50	N 1°	10:57	WNW 293°	32°	11:04	SW 221°	+6.7	Map and details
10-May 20:28	SE 142°	20:35	ENE 68°	35°	20:42	N 358°	+6.5	Map and details
10-May 22:08	SSW 197°	22:15	W 264°	25°	22:21	NNW 332°	+7.0	Map and details
11-May 08:45	NE 34°	08:51	E 92°	16°	08:58	SE 150°	+7.5	Map and details
11-May 10:24	N 7°	10:32	W 285°	55°	10:39	SSW 207°	+5.9	Map and details
11-May 20:03	SE 128°	20:10	ENE 66°	21°	20:16	N 4°	+7.2	Map and details
11-May 21:42	S 182°	21:49	W 262°	44°	21:56	NNW 339°	+6.2	Map and details
12-May 09:59	N 13°	10:06	E 83°	85°	10:13	S 193°	+5.5	Map and details
12-May 11:40	N 348°	11:45	WNW 300°	11°	11:51	WSW 251°	+7.8	Map and details
12-May 19:39	ESE 112°	19:44	ENE 62°	12°	19:50	N 12°	+7.7	Map and details
12-May 21:16	S 169°	21:24	W 262°	79°	21:31	N 346°	+5.6	Map and details

Figura 3.5 N2yo predicción de 10 días NOAA-15 [7]

En nuestro caso, para el proyecto que deseamos realizar utilizaremos Gpredict en el momento del pase. Debido a que tiene un plugin que permite solventar el efecto Doppler, conectado el software controlador del SDR y Gpredict para que varíe la frecuencia según la posición del satélite. Como comentamos anteriormente haremos uso de Celestrak para actualizar los TLE de Gpredict.

Además, utilizaremos la API disponible de N2yo, para la página web, donde publicaremos los pases a diez días con una elevación mayor a 40°, nos parece más interesante utilizar la API que las librerías comentadas, ya que N2yo es más efectividad en las predicciones.

3.2 Antenas para la detección de la señal APT

En este apartado, realizaremos un análisis de las características técnicas de las antenas. Estas son un elemento fundamental dentro de la estructura del sistema, ya que su desempeño afecta directamente a la SNR (*Signal to Noise Ratio*), asegurando así una decodificación adecuada y una calidad de imagen aceptable.

Describiremos las diversas antenas que podemos emplear en el sistema receptor, destacando las características distintivas de cada una. Evaluaremos cada tipo de antena propuesta para determinar cuál se adapta mejor a los requisitos técnicos del sistema y, al mismo tiempo, facilite su construcción e implementación sin comprometer la relación calidad-precio.

La polarización de los satélites NOAA que recibiremos es RHCP (*Right hand circular polarization*), que es un tipo de polarización típicamente utilizada en sistemas satelitales para mitigar el efecto de rotación de Faraday. Este fenómeno se produce en las señales espaciales que provienen del exterior de la Tierra al atravesar el campo magnético terrestre. También se utiliza este tipo de polarización, para simplificar el alineamiento de las antenas terrestres con las antenas del satélite, ya que es compleja la alineación y pueden girarse durante su órbita [14].

A la hora de escoger la antena debemos de tener en cuenta un factor determinante, la trayectoria del satélite. Si escogemos una antena con mucha directividad, tendrá una elevada ganancia, esto supone apuntar al satélite con exactitud ya que toda la ganancia de la antena está concentrada en una pequeña área del patrón de radiación. Por lo que deberíamos de incorporar al sistema un seguidor con rotor automatizado que apunte al satélite en toda su trayectoria. Si no hacemos una buena alineación con la antena emisora perderemos la señal, esto implica más complejidad al sistema y lo encarece, por lo que se ha decidido descartar antenas con mucha directividad y escoger antenas que sean omnidireccionales para evitar incorporar el seguidor con rotor. En consecuencia, tendremos que descartar elevaciones bajas y medias, además de suplir la carencia de ganancia en la antena con un amplificador y con la amplificación del propio SDR.

A continuación, haremos un análisis de algunas de las antenas que podemos utilizar a la hora de recibir la señal APT.

3.2.1 Antena dipolo de media longitud de onda.

El dipolo es la antena más básica y simple a utilizar, está formada por dos conductores lineales alimentados por la unión de dichos conductores. La más conocida es el dipolo de media onda. Tiene una baja ganancia 2.15 dBi y un diagrama de radiación omnidireccional su polarización es lineal, por lo que tendremos perdidas por polarización ya que la señal APT tiene una polarización RHCP.

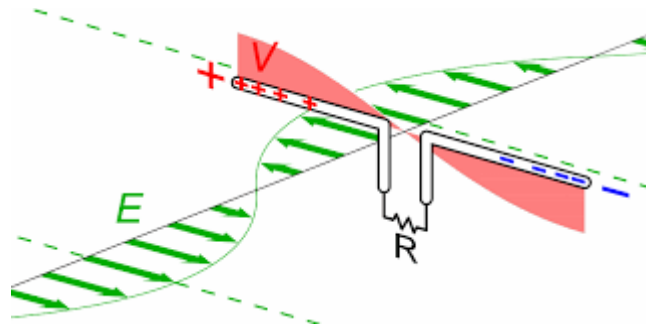


Figura 3.6 Dipolo referido a media longitud de onda

3.2.2 Antena dipolo en V

Es una modificación del dipolo, modificando el ángulo formado entre los dos conductores. Esta modificación es propuesta en [15], dando un ángulo de 120° entre los dos conductores. Esto hace que el diagrama de radiación tienda a concentrarse en la parte superior, si dejamos los conductores en el plano horizontal. En la figura 3.7 podemos ver el detalle de la antena.

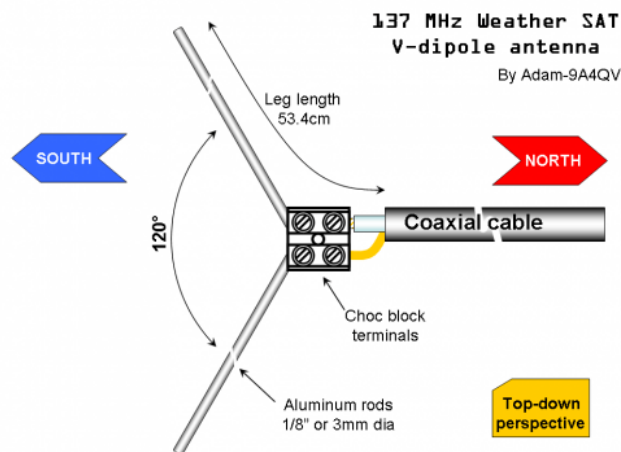


Figura 3.7 Dipolo en V [15]

3.2.3 Antena Turnstile

Esta antena consiste en una serie de dipolos en cuadratura es decir a 90° el uno del otro y desfasados en corriente a 90° , para conseguir la polarización circular a partir de una geometría lineal, debemos de desfasar las corrientes para conseguir una polarización circular. Se puede añadir un dipolo reflector con la misma geometría para mejorar la directividad, en figura 3.8 podemos ver un ejemplo de una antena Turnstile con un reflector [16].

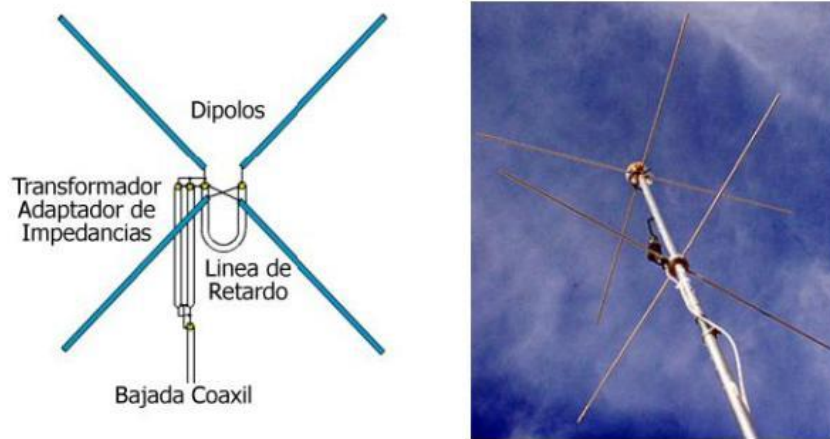


Figura 3.8 Antena Turnstile [17]

3.2.4 Antena Yagi-Uda

La antena Yagi-Uda es una antena direccional inventada a mediados de los años 20 del siglo pasado por S. Uda de la Universidad Imperial de Tohoku (Japón) [19] aunque fue popularizada por su compañero H. Yagi [20]. La característica de esta antena es la utilización de elementos parásitos o pasivos, para mejorar la directividad y la ganancia de la antena. Su funcionamiento consiste en que el elemento activo radia la señal electromagnética y esta es recibida y radiada por los elementos pasivos (directores y reflectores) variando así la ganancia y directividad en función del número de elementos en la antena y la distancia entre ellos [18].

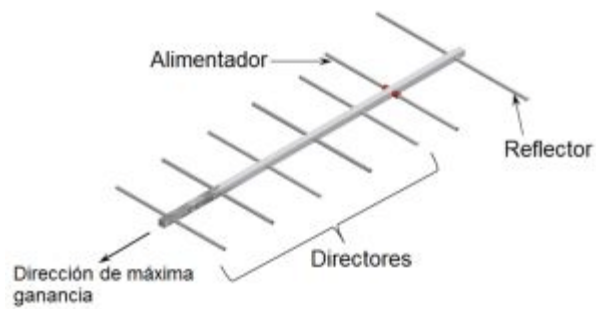


Figura 3.9 Antena Yagi-Uda [21]

3.2.5 Antena cuadrifilar helicoidal

Esta antena fue propuesta en 1970 por C.C Kilgus de la Universidad Johns Hopkins (EE.UU) [20].



Figura 3.10 Antena cuadrifilar helicoidal [23]

La antena está formada por dos conductores lineales formando una hélice, esta forma se hace para conseguir una polarización circular. La idea que se siguió al diseñar la antena fue la de tener dos antenas de lazo cuadrado, pero como se requería una polarización circular debido a que se diseñó para la captación de satélites con transmisiones RHCP, se deformó como hélice los lazos cuadrados resultando esta antena. Se según la relación alto y ancho de la antena y el giro de la hélice varía su directividad y diagrama de radiación. La más común para los satélites NOAA es con un giro de 180° y 0.44 la relación altura/diámetro, en la figura 3.11 vemos la comparación con distintas relaciones de altura, la ganancia de la relación ancho/alto 0.44 es de 4.12 dBi.

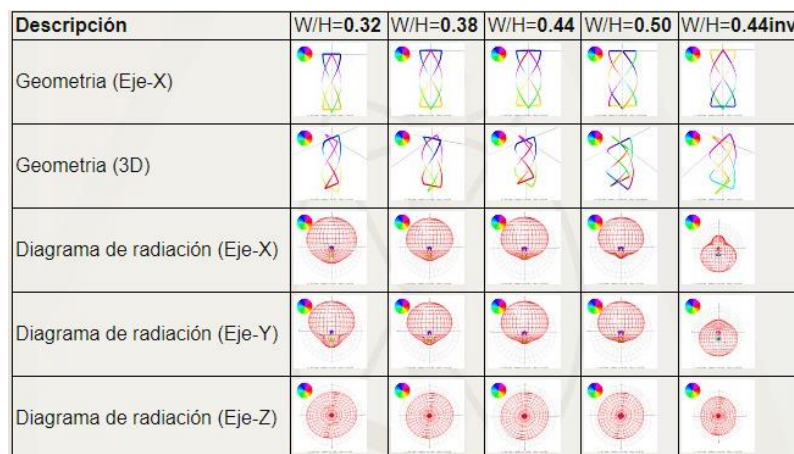


Figura 3.11 Diagrama de radiación de la antena cudrifilar helicoidal [23]

3.2.6 Comparación de antenas

En esta sección haremos una comparación de las antenas que hemos visto previamente, en la tabla 3.3 vemos una comparativa.

Antenas	Directividad	Polarización	Construcción	Comentarios
Yagi-Uda	Alta	Lineal	Media	Necesidad de un seguidor del satélite.
Dipolo	Baja	Lineal	Fácil	Fácil construcción y estudio.
Dipolo en V	Baja	Lineal	Fácil	Mejora en el diagrama de radiación.
Turnstile	Baja	Circular-Lineal	Fácil	Necesidad de crear líneas para desfase la corriente para la polarización.
Cuadrifilar	Baja	Circular	Media-Difícil	Fácil desfase de corrientes para la polarización

Tabla 3.3 Comparativa de antenas

- Dipolo: Esta en antena es la más simple, tanto para el cálculo y diseño como para el desarrollo de manera artesanal. No tiene polarización circular, pero a pesar de tener pérdidas por polarización y baja ganancia, decidimos usar esta antena por su sencillez.
- Turnstile. Tiene una polarización casi circular y una ganancia omnidireccional su construcción es sencilla, cumple los requisitos del sistema, pero la

descartamos en favor de la cuadrifilar, debido a que la polarización circular se consigue mediante un desfase en las corrientes mediante líneas de transmisión.

- Cuadrifilar Helicoidal: Tiene una polarización circular, diagrama de radiación omnidireccional, su construcción es algo más compleja al tener que realizar una elipse con los conductores, pero relativamente sencilla. Hay una calculadora en internet que propone un diseño con *loops* de diferentes tamaños para desfasear las corrientes y no tener que usar líneas de transmisión para ello. Nos decidimos por esta antena para evitar el diseño de las líneas de transmisión para adaptar y desfasear la antena.
- Yagi-Uda: Debido a su elevada ganancia debemos de implementar un seguidor para el seguir el satélite, lo más oportuno sería usar una antena con la máxima ganancia posible pero debido a la falta de un seguidor, su alto coste y la complejidad de realizar uno artesanalmente decidimos evitar antenas con alta directividad.

3.3 Radio definida por software (SDR)

Para la recepción de la señal haremos uso de un SDR. Esta tecnología consiste en simular con un software componentes como filtros, mezcladores, amplificadores, demoduladores, etc. Elementos ampliamente utilizados en la recepción de una señal radio. Para ello consta de un dispositivo hardware, como puerta de enlace entre la antena y el computador que ejecuta el software, a continuación, haremos una descripción sobre los posibles SDR que nos podemos encontrar en el mercado y utilizar para captar la señal APT.

<i>SDR</i>	<i>Precio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Ancho de banda (MHz)</i>	<i>ADC</i>	<i>Transmisión</i>	<i>Impedancia</i>
RTL2832U	25-45 €	500 KHz- 1.7 GHz	3.2	8 bits	No	50 ohmios
HackRFOne	309.99- 360 €	1 MHz – 6 GHz	8	12	Si	50 ohmios
BladeRF	780- 825 \$	300 MHz- 3.8 GHz	12	12	Si	50 ohmios

Tabla 3.4 Comparación SDRs

El BladeRF está disponible por el departamento de telecomunicaciones de la universidad de Jaén, pero debido a que la frecuencia de la señal APT (137 MHz) está por

debajo de la frecuencia mínima del BladeRF (300 MHz) lo descartamos ya que no es posible la captación de la señal.

El HackRFOne tiene unas buenas prestaciones y la señal APT está dentro del rango de frecuencias, pero debido a su elevado precio lo descartamos.

El RTL2832U cumple con los requisitos técnicos para la captación de la señal y tiene un bajo coste y calidad/precio, por ello lo seleccionamos.

3.3.1 Funcionamiento RTL2832U

Las partes que componen principalmente el receptor SDR son cuatro. En la figura 3.12 podemos ver el diagrama de bloques del SDR.

- La primera etapa *RF Tunner* se encarga de realizar una amplificación y filtrado de la señal analógica recibida.
- La segunda etapa es el ADC (*Analog to Digital Converter*) que es el encargado de digitalizar la señal y pasar un numero de muestras según el dispositivo, el RTL2832U tiene una resolución de ocho bits, estas muestras son recibidas por el DDC (*Digital Down Converter*) tercera etapa.
- La tercera etapa DDC es muy similar a un receptor superheterodino, ya que una frecuencia local es mezclada para convertir las muestras recibidas a una frecuencia en banda base antes de pasar a la última etapa DSP (*Digital Signal Processing*) donde se aplican los procesados de la señal mediante un software [24].

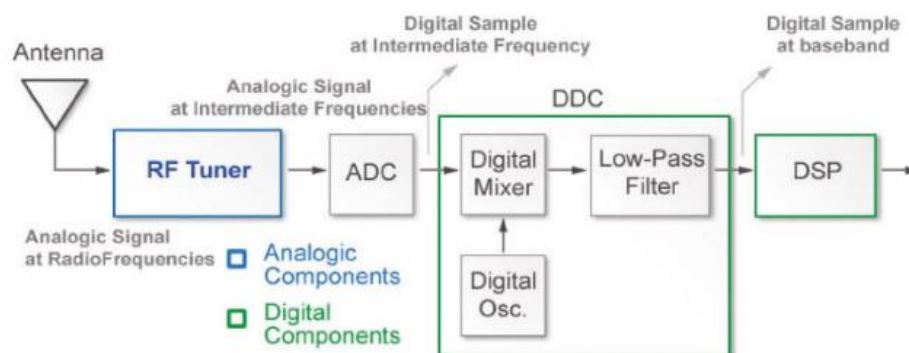


Figura 3.12 Diagrama de bloques SDR [24]

En la figura 3.13 vemos los componentes del RTL2832U. El conector SMA es el encargado de recibir la señal analógica. El TCXO (*Temperature compensated crystal*

oscillator) es un compensador del oscilador con una precisión de 1 ppm (partes por millon). Otro componente a destacar es el sintonizador R820T2 realiza la función de mezcla y conversión de frecuencia.

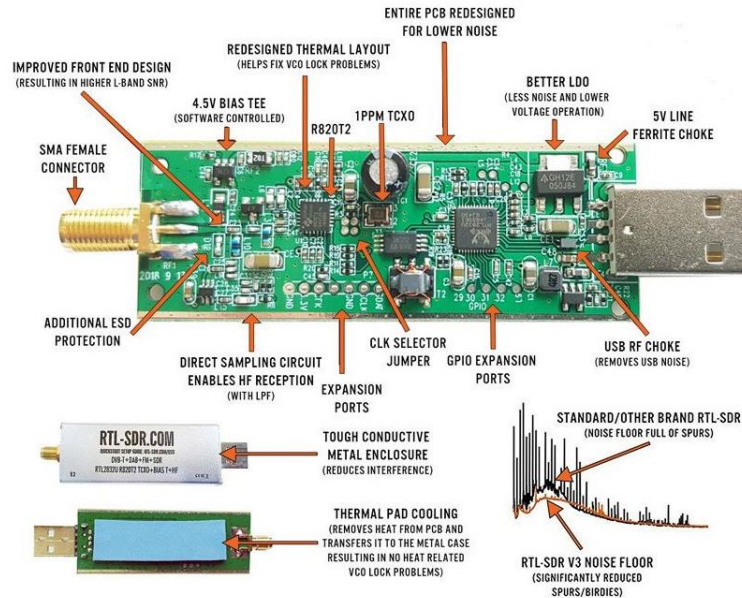


Figura 3.13 RTL2832U [25]

3.4 Cabecera de radiofrecuencia

Debido al empleo de antenas de baja ganancia, la señal tiende a ser generalmente débil. Sin embargo, su intensidad varía especialmente cuando la elevación es baja, momento en el cual la señal se vuelve extremadamente tenue. Esto puede resultar en una calidad de imagen recibida muy deficiente e incluso llegar a un punto en el que sea imposible obtener la imagen. Para superar este problema, se propone la utilización de un dispositivo diseñado para amplificar la señal y, al mismo tiempo, filtrar el ruido y las interferencias originadas por señales cercanas a la frecuencia de recepción. A continuación, se presentan algunas frecuencias próximas que pueden causar interferencias por su proximidad.

Decisión/Recomendación	Frecuencias	Nota UN
ERC/DEC(99)05 Libre circulación, uso y exención de licencia individual de las estaciones móviles terrestres S-PCS por debajo de 1 GHz.	137-137,025 MHz 137,025-137,175 MHz 137,175-137,825 MHz 137,825-138 MHz 148-149,9 MHz 149,9-150,05 MHz	
Se reserva al servicio móvil aeronáutico	138 - 144 MHz	UN-19
Nota UN-102 Usos civiles del servicio móvil aeronáutico (OR)	122,000-123,050 MHz 123,150-123,675 MHz 129,700-130,875 MHz	UN-102
Nota UN-102 lucha contra incendios de ámbito multiprovincia	122,350 MHz. 122,475 MHz 123,425 MHz. 129,825 MHz 130,325 MHz. 130,500 MHz	
Radio comercial FM	88-108 MHz	

Tabla 3.5 Atribuciones de frecuencias [26]

El termino cabecera de radiofrecuencia se refiere a la primera etapa del receptor que está directamente conectada a la antena y que se encarga de capturar y acondicionar la señal radioeléctrica entrante antes de ser procesada en las etapas posteriores del receptor.

En nuestro caso hemos utilizado un LNA (*Low Noise Amplifier*) o Amplificador de Bajo Ruido. Es un dispositivo electrónico utilizado en sistemas de comunicación y recepción de señales de radio para amplificar una señal débil mientras se introduce la menor cantidad posible de ruido adicional en la señal.

El dispositivo utilizado cuenta además con un filtro paso banda tipo SAW (*Surface Acoustic Wave Filter*). Estos filtros se basan en ondas acústicas superficiales que se propagan en un sustrato de cristal piezoeléctrico, como el cuarzo. A continuación, se muestra la tabla 3.6 con las características técnicas del filtro utilizado [27].

<i>137MHz LNA + SAW BPF</i>	
Frecuencia central	137.5 MHz
Ancho de banda a 3 dB (Típico)	2.6 MHz
Impedancia	50 ohmios
Voltaje	4.5-5 V
Corriente	35 mA
Precio	11 euros (aprox.)

Tabla 3.6 Filtro SAW características técnicas

Dado que este dispositivo tiene un bajo coste, consideramos oportuno su adquisición, aunque no es imprescindible, nos brinda la posibilidad de captar una cantidad mayor de pases satelitales ya que podemos captar pases con elevación media y aumenta la calidad de las imágenes.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo analizaremos los componentes y los programas necesarios para el diseño y construcción del sistema receptor, además desarrollaremos las funcionalidades que debe de tener para la captación de la señal APT y su posterior procesado para convertir la señal en imágenes, así como la publicación en un sitio web para su visualización.

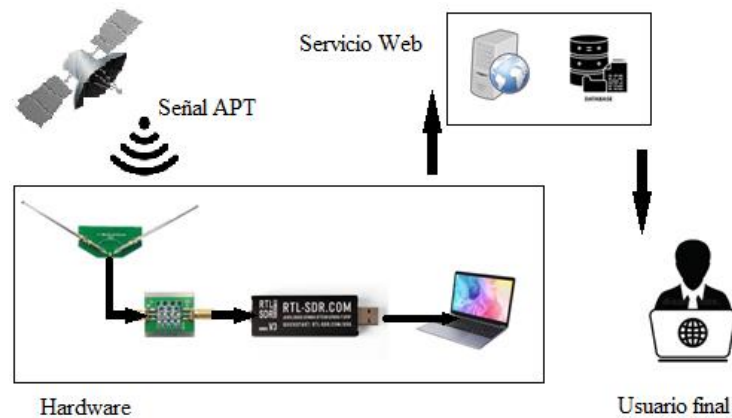


Figura 4.1 Grafico del sistema receptor y servicio Web

4.1 Descripción del sistema receptor

En la figura 4.2 vemos un esquema grafico de todo el proceso, en primer lugar, tenemos una parte hardware, que se compone de:

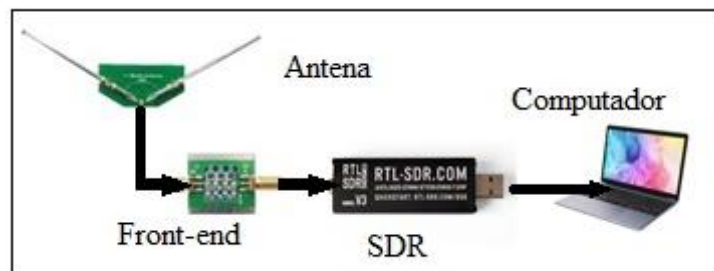


Figura 4.2 Detalle de la parte Hardware

1. Antena: Es el elemento receptor de la señal.
2. Cabecera RF o *Front-end*: Se compone de un filtro y un amplificador.
3. SDR: Nos permite captar la señal y convertir la de analógico a digital, para su posterior procesado.

4. Computador: Puede ser un ordenador o microcontrolador tipo Raspberry Pi o similar ya que debido a los bajos rendimientos de procesado no necesitamos una gran máquina de procesado.
5. Cableado: Es un elemento pasivo que nos permite conectar todos los componentes anteriormente citados.

Por otro lado, tenemos la parte software:

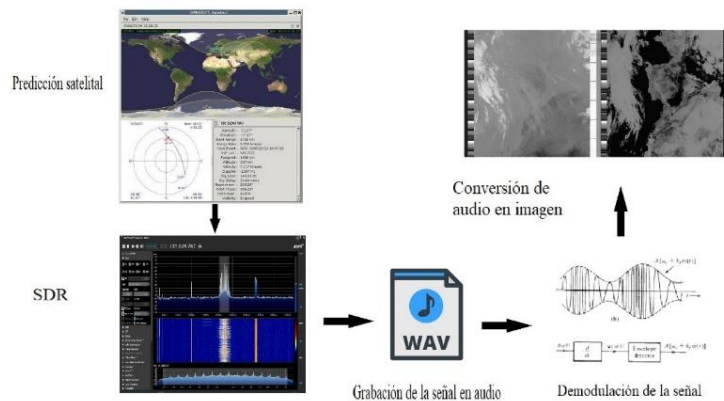


Figura 4.3 Detalle del software del sistema receptor

1. Predictor satelital: Predice la hora y trayectoria satelital.
2. Software SDR: Nos permite demodular la señal en FM y grabar la señal en WAV.
3. Demodulación de la señal: La señal grabada en WAV esta modulada en AM.
4. Conversión de audio a imagen: Una vez demodulada la imagen hay que procesarla para convertirla a imagen.

Por ultimo los resultados finales se subirán a una página web, tanto los archivos audio como las imágenes obtenidas a partir de los audios. En las secciones siguientes se explicará cada componente y sus características.

4.2 Antenas empleadas en el proyecto

En este capítulo realizaremos la construcción de las antenas que utilizaremos en el sistema receptor.

4.2.1 Antena dipolo en V

El dipolo en V es una variación del dipolo simple, esta modificación consiste en dar un ángulo de 120° respecto a cada varilla, el dipolo elemental tiene un ángulo de 180° , en la figura 4.4 vemos una representación de la antena y de dicho ángulo.

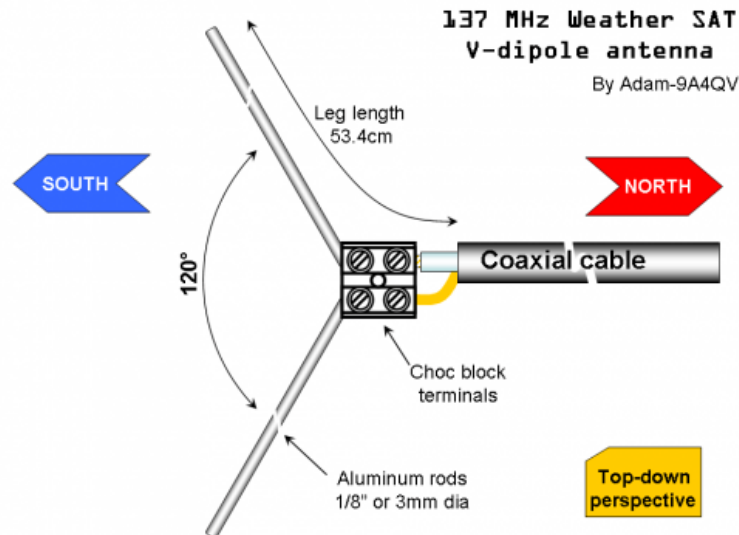


Figura 4.4 Dipolo en V [15]

Cálculos teóricos

Esta modificación produce un aumento de la ganancia en la dirección de elevación, este aumento de la ganancia en el eje Z de la antena o zenit es favorable para la recepción de la señal, por esto buscaremos los pases con mayor elevación. La orientación de la antena debe ser horizontal, para que el punto de máxima ganancia quede hacia el cenit de la antena.

La trayectoria del satélite va de norte a sur o viceversa, así que debemos dirigir la antena en dirección horizontal hacia el sur o norte esto es indiferente ya que es aproximadamente omnidireccional.

A la hora del diseño de la antena, debemos de calcular la longitud de la antena para la frecuencia de trabajo. Como tenemos tres satélites emitiendo en distintas portadoras seleccionaremos un rango de 137.1 MHz a 137.9 MHz y haremos la media entre estas dos frecuencias.

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2} = 137.5 \text{ MHz} \quad (1)$$

En la ecuación 2 hemos calculado la longitud de onda.

$$\lambda = \frac{c}{f} \approx 2.18 \text{ m} \quad (2)$$

Cada brazo de la antena será una varilla conductora de la misma longitud H , por lo que cada una tendrá una longitud de $\lambda/4$, ya que tenemos dos elementos conductores, en la ecuación 3, vemos la longitud de cada varilla.

$$H = \frac{\lambda}{4} \approx 54.54 \text{ cm} \quad (3)$$

Análisis Matlab

Con el software Matlab y la *Antenna Toolbox* tenemos la posibilidad de simular antenas, por el método de los momentos. Simularemos la antena y realizaremos una serie de pruebas antes de su construcción.

Una de las simulaciones interesantes es la representación del diagrama de radiación en la figura 4.5 podemos verlo.

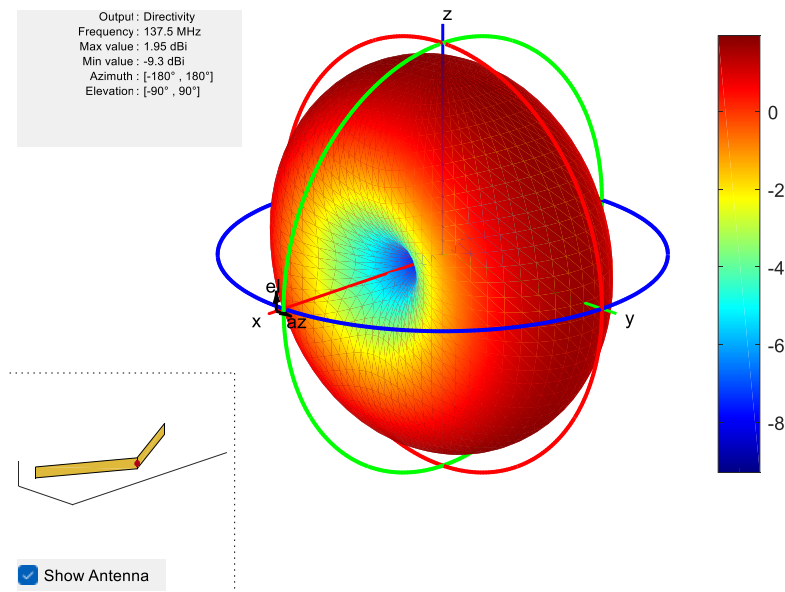


Figura 4.5 Diagrama de radiación del dipolo en V

Otra característica que podemos analizar es la impedancia que tiene a la frecuencia de diseño. Debemos comprobar si la impedancia de la línea y la antena están adaptadas. Si las impedancias están adaptadas permite transferir toda la potencia recibida a la línea. La línea de transmisión será de 50 ohms, para estar adaptada con el SDR ya que tiene una impedancia de 50 ohms.

En la figura 4.6 podemos ver la gráfica de la impedancia del dipolo en V a media longitud de onda. Tiene aproximadamente el valor típico del dipolo de media onda, 73 ohms y una reactancia de 42, en este caso la reactancia varía [18].

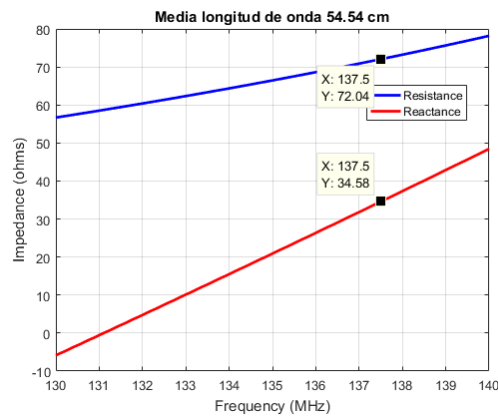


Figura.4.6 Impedancia dipolo en V, a media longitud de onda

Normalmente en los dipolos de media longitud de onda, a la hora de diseñar la antena se hace un ajuste de entre el 10% al 5% a la longitud diseño principal, según el diámetro del conductor. Dependiendo de si la resonancia está por encima o debajo de la frecuencia de diseño se reduce o se alarga esta longitud, en nuestro caso debemos de reducirla [28].

$$H' = \frac{\lambda}{4} \cdot \eta \quad (4)$$

Aplicando una disminución del tamaño de la longitud del dipolo de aproximadamente 5.6% conseguimos la adaptación de impedancias. La longitud del dipolo resultante es de aproximadamente 51.5 cm, en la vemos la impedancia resultante aplicado el factor de corrección y como está prácticamente adaptada excepto por una pequeña componente capacitiva.

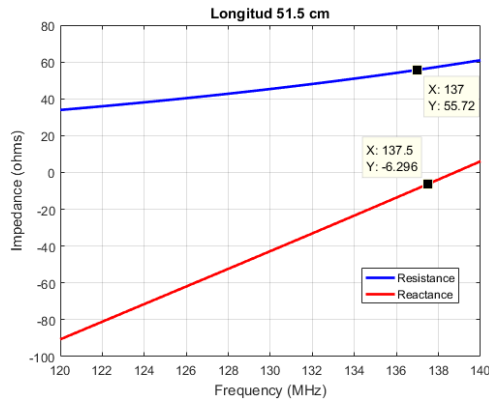


Figura 4.7 Impedancia del dipolo en V con un factor de corrección del 5.6%

Construcción

Haremos primero el diseño inicial sin corrección y según las pruebas de laboratorio haremos un pequeño ajuste.

Para la construcción de la antena debemos de tener unos conductores de la distancia calculada en la ecuación 1, en nuestro caso hemos utilizado unas varillas de aluminio de 6 mm de diámetro. Estas varillas son de 1 m de longitud por lo que debemos de cortar dos varillas de 54.5 cm.

Para la construcción de la antena hemos utilizado los siguientes materiales:

- Varillas de aluminio.
- Conectores eléctricos de 8 mm.
- Coaxial a 50 ohmios.
- Conector SMA.
- Fundas termorretráctiles.



Figura 4.8 Materiales dipolo en V

Una de las ventajas de esta antena es la facilidad en la construcción ya que solo debemos de unir, una de las varillas a la malla del coaxial y la otra al vivo. Hemos obviado el uso de un BALUN (*Balanced to Unbalanced*) para solventar la alimentación asimétrica, para mantener la sencillez en el diseño de la antena.

Para el mástil usaremos un trípode de fotografía y para el soporte un taco de madera en el que podamos anclar los conectores que nos servirán para unir la varilla conductora de la antena y el cable coaxial. En la figura 4.9 vemos el detalle del resultado final, en uno de los pases capturados.



Figura 4.9 Dipolo en V

4.2.2 Antena cuadrifilar helicoidal

A modo de comparación hemos decidido implementar esta antena y comparar una antena con más ganancia y polarización circular.

Para que la antena tenga polarización circular, las espiras deben estar desfasadas 90° la una de la otra, para ello se plantea crear una espira más larga que la otra. La espira más corta tendrá una impedancia inductiva y la más larga una impedancia capacitiva, al unirse en paralelo los dos *loop* debe resultar que la impedancia sea real y de 50 ohmios, para que este adaptada a la impedancia del coaxial [23].

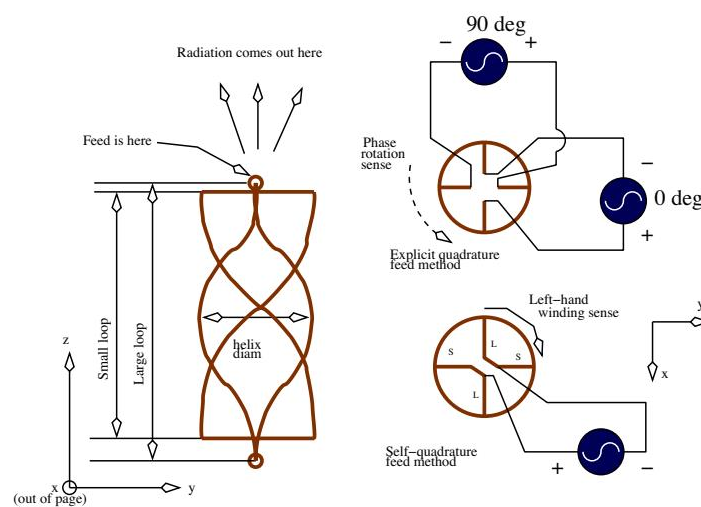


Figura 4.10 Esquema de diseño antena cuadrifilar [29]

En comparación con el dipolo de media longitud de onda, que sus cálculos son muy simples en esta antena hay múltiples factores a tener en cuenta. La *toolbox* de Matlab no dispone de esta antena por lo que hemos recurrido a una calculadora que recomiendan en [21]. En la web de [21], puedes calcular fácilmente las dimensiones de tu antena introduciendo una serie de datos. En la figura 4.11 vemos los parámetros que nos piden para el cálculo.

Design frequency	137.5 MHz
Number of turns (twist)	0.5
Length of one turn	1 wavelengths
Bending radius	15 mm
Conductor diameter	25 mm (optimum: 20.5 mm)
Width/height ratio	0.44
Calculate	

Figura 4.11 Parámetros de la calculadora de la antena cuadrifilar [23]

- *Desing frequency*: Hace referencia a la frecuencia portadora, como ya vimos en el cálculo del dipolo de media onda, escogemos la media entre la frecuencia portadora del satélite a mayor frecuencia y el de menor frecuencia.
- *Number of turns(twist)*. Esta antena se puede diseñar con varios giros, teniendo la forma de una espiral o muelle, en nuestro caso solo realizara media vuelta.
- *Length of one turn*: Es la longitud en longitudes de onda que tendrá el conductor, en nuestro caso lo haremos a una longitud de onda.
- *Benging radius*: Este parámetro consiste en el radio entre el conductor y el soporte de la antena, por lo que no es muy relevante en los parámetros técnicos, este valor lo dejaremos por defecto.
- *Conductor diameter*: Diámetro del conductor.
- *Width/Height ratio*: Es la relación alto y ancho de la antena, este parámetro afecta al diagrama de radiación, en la figura 3.11 vemos una comparativa de distintas relaciones alto, ancho y 0.44 es la que concentra más la radiación en el eje Z, para optimizar los pases con una elevación alta.

A continuación, nos devuelve una serie de resultados, que son:

- *Wavelength*: Es la longitud de onda de la frecuencia de trabajo que le hemos dado, como vemos coincide con la calculada en el diseño del dipolo en la ecuación 2.
- *Compensated wavelength*: Calcula una longitud de onda adaptada debido al diseño de la antena y el volumen de la espira.
- *Bending correction*: Realiza una corrección del radio entre la espira y el soporte.

En la figura 4.12 vemos los resultados obtenidos.

Results	
<u>Wavelength</u>	2181.8 mm
<u>Compensated wavelength</u>	2330.1 mm
<u>Bending correction</u>	6.4 mm

Figura 4.12 Resultados de la calculadora cuadrifilar [23]

Además, nos da los cálculos de diseño de la espira larga y la espira corta. En la figura 4.13 y figura 4.14 vemos el detalle de los resultados obtenidos por la calculadora.

- *Total length*: Longitud total del conductor teniendo en cuenta el doblado de la espira.
- *Vertical separator*: Es la longitud que tendrá cada conductor, ya que tenemos cuatro conductores tiene $\lambda/4$ de longitud.
- *Total compensated length*: Longitud total según la longitud compensada.
- *Antenna height*: Altura la antena desde la parte superior de la espira hasta la parte inferior.
- *Internal diameter*: Distancia entre el soporte inferior y el mástil, sin contar el radio de giro de la espira y el grosos de esta.
- *Horizontal separator*: Distancia entre espira y espira.

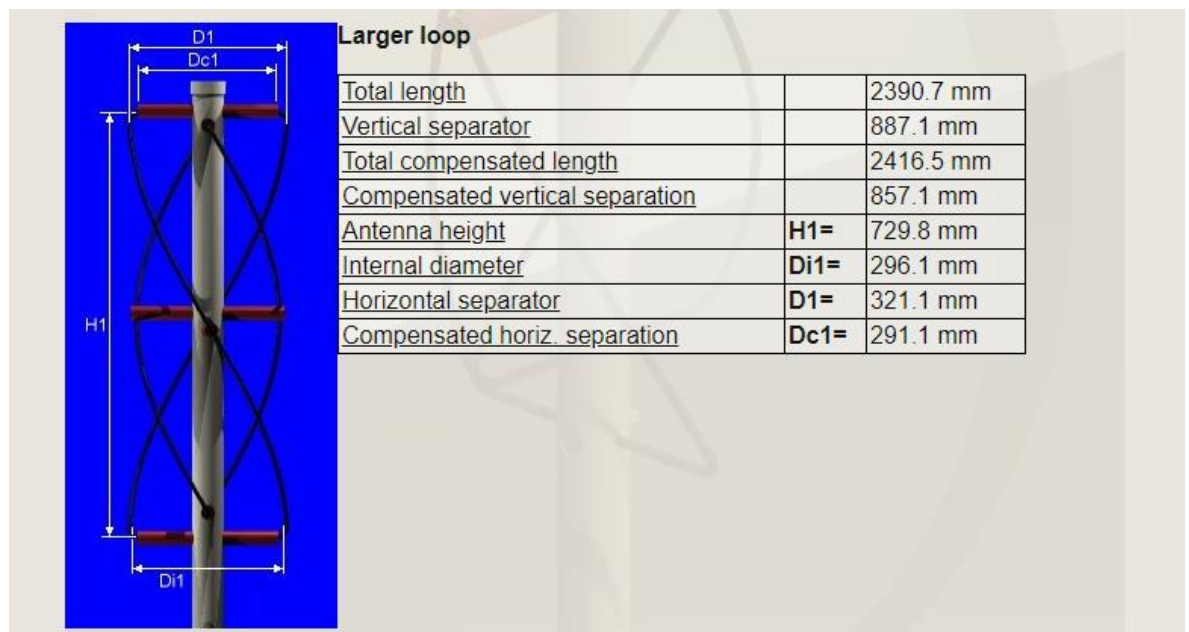


Figura 4.13 Dimensiones espira larga, calculadora cuadrifilar [23]

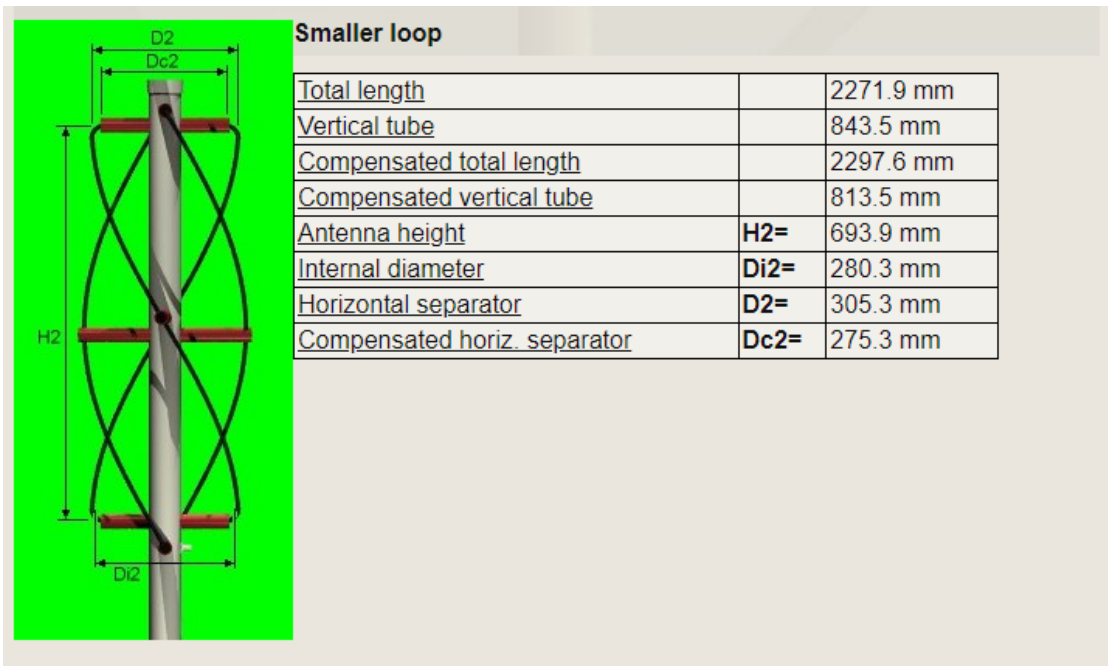


Figura 4.14 Dimensiones espira corta, calculadora cuadrifilar [23]

Construcción antena cuadrifilar

Con los cálculos realizados en la calculadora, realizaremos la construcción de la antena, los materiales utilizados para la antena y el soporte son.

- Pletinas de aluminio de 10 mm ancho por 1 mm de grosor por 1000 mm de largo.
- Varillas roscadas de aluminio de 5 mm de diametro.
- Tuercas de 5 mm de diametro.
- Tubo de pvc de 750 mm de diametro.
- Regletas conectoras.
- Conectores de anillo.
- Cable coaxial RG58.
- Conectores SMA macho.

Para realizar los loop utilizaremos las pletinas de aluminio, debemos de tener dos de ellas con una longitud de 843.5 mm para el loop corto y para el loop largo.

Una vez cortados a la medida todos los elementos que actuaran como conductores debemos de unir los al mastil, y realizar las conexiones entre las espiras.

Identificaremos como A y C las espiras para el loop corto, como B y D para el loop largo. A y B se conectaran al vivo y D y C a la malla del coaxial

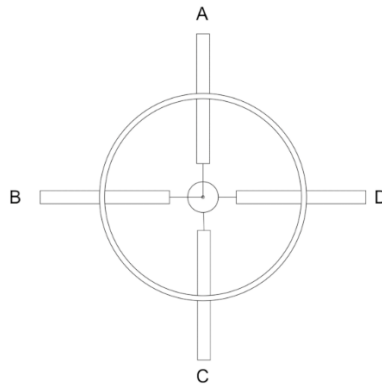


Figura 4.15 Detalle de conexiones antena cuadrifilar [23]

Finalmente en la figura 4.16, vemos una imagen cenital de la antena ya construida y las uniones realizadas entre las espiras. El cable marron son las conexiones entre A y B y el cable amarillo entre C y D .



Figura 4.16 Antena cuadrifilar helicoidal

4.3 Predicción del pase satelital mediante Gpredict

Como ya comentamos en secciones anteriores la señal no siempre está disponible para ser captada, por lo que debemos predecir cuándo estará disponible. Para ello haremos uso de un software el Gpredict.

Este software es de uso libre y gratuito, es un software de seguimiento de satélites y predicción de órbitas en tiempo real. Puede rastrear una gran cantidad de satélites y mostrar su posición y otros datos en listas, tablas, mapas y diagramas polares. Gpredict también puede predecir el tiempo de pases futuros de un satélite y brindarle información detallada sobre cada pase [10].

4.3.1 Configuración Gpredict

Una vez instalado el programa debemos hacer una serie de configuraciones. En la parte superior izquierda de la pantalla principal vemos un botón desplegable, en el que debemos escoger el apartado de configuración.

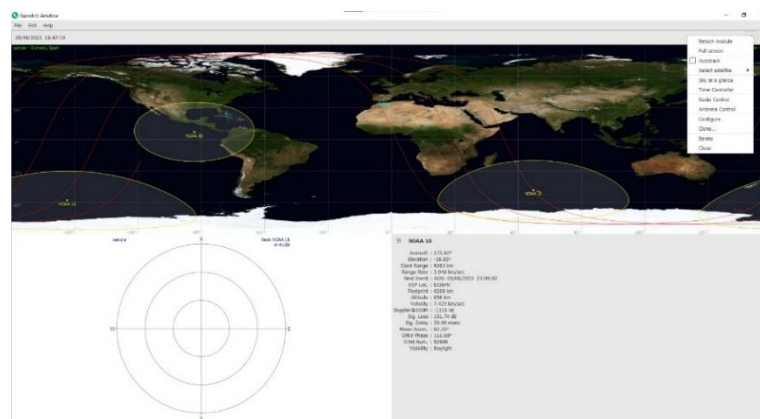


Figura 4.17 Pantalla principal Gpredict [10]

Dentro de la configuración te permite crear un “Ground Station”, con los satélites que quieres hacer un seguimiento, en la figura 4.18 vemos un detalle del cuadro de dialogo.

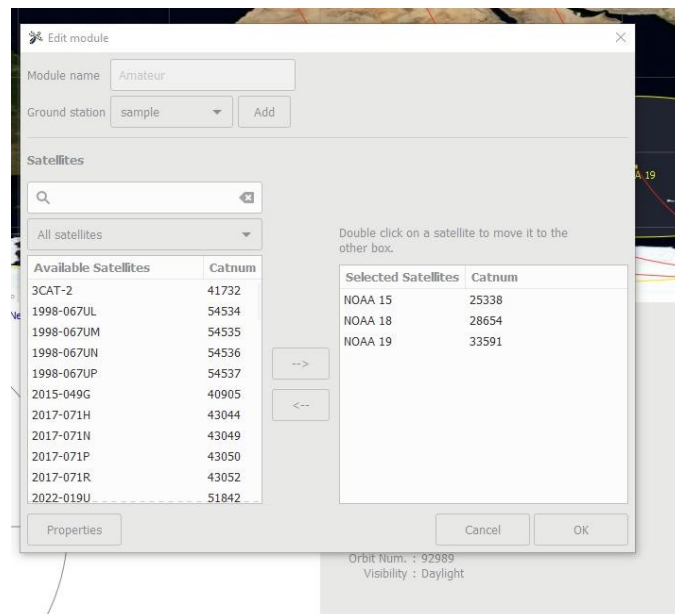


Figura 4.18 Configuración Ground station Gpredict [10]

Además, es fundamental introducir las coordenadas de tu ubicación de recepción. Por defecto al añadir una estación nos salta la venta emergente de la figura 4.19.

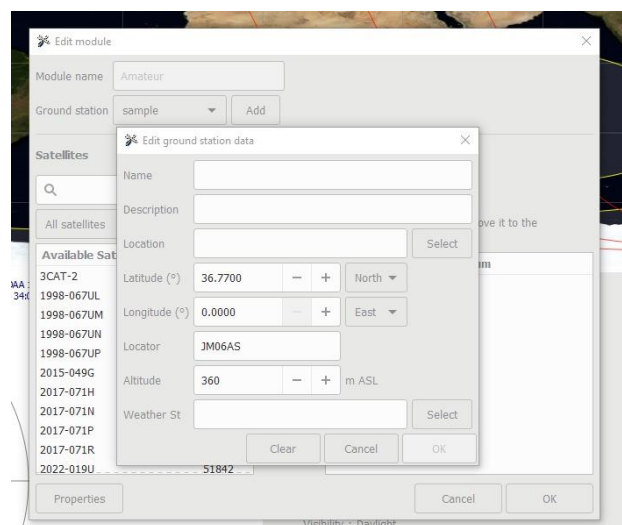


Figura 4.19 Configuración ubicación Gpredict [10]

En nuestro caso, la ubicación es en La Herradura, Granada, coordenadas 36.77, -3.75, con una altitud de 360 m, aproximadamente.

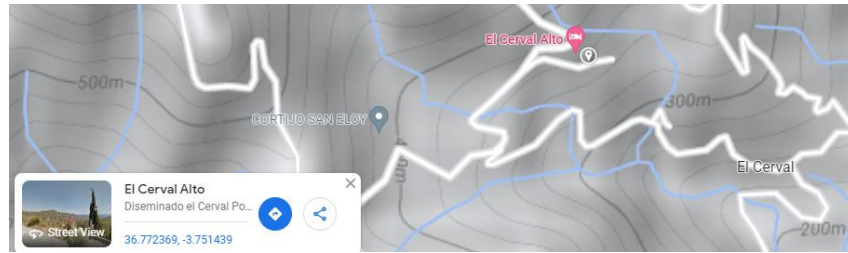


Figura 4.20 Ubicación del sistema receptor

Otra configuración fundamental para la predicción de los satélites es la actualización de los TLE, que ya comentamos en secciones previas, con ellos el programa tiene todos los datos necesarios para predecir las orbitas y la hora en que aparecen en nuestro AOS.

Para la actualización de los TLE, lo haremos en la parte superior derecha en la pestaña de 'Edit' y pincharemos en 'Update TLE data from network', para ello necesitaremos conexión a internet, en la figura 4.21, vemos un detalle.

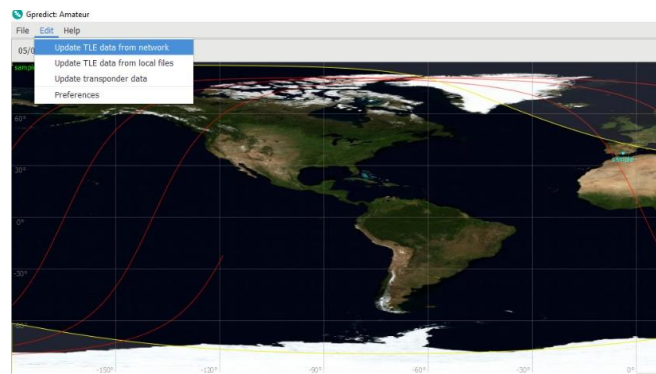


Figura 4.21 Actualización TLE Gpredict [10]

La actualización de los TLE es recomendable realizarla cada pase, para que este lo más actualizada posible.

4.4 Grabación del pase satelital mediante SDRSharp

El software controlador del SDR que usaremos para captar la señal es el SDRSharp. Es un popular programa que es compatible con el RTL2832U y varios dispositivos SDR. Una característica es la posibilidad de añadirle *plugins*, que han sido desarrollados por terceros, en nuestro caso usaremos un plugin, para solucionar el efecto Doppler [30].

En la figura 6.6 vemos un detalle del software SDRSharp.

1. A la izquierda en la parte superior de la figura 4.22, vemos la configuración del grabador de audio. Es indiferente si lo grabamos en mono o estero, ya que en estero duplicaría la señal en los dos canales. La elección del número de bits también depende de la tarjeta de sonido del dispositivo con el que grabes el audio en mi caso a 8 bit muestrea a 37.5 KHz y a 16 bits a 64 KHz, cumpliendo en los dos casos la tasa mínima de muestreo de 8.3 KHz.
2. En parte superior izquierda de la figura 4.22, en un recuadro rojo tenemos los parámetros radio de la señal, en este panel de control podemos modificar el tipo de modulación de la señal, ancho de banda. En nuestro caso seleccionaremos la WFM (*Wide Frequency Modulation*), ya que el SDRSharp es el encargado de realizar la primera demodulación en FM. El ancho de banda de la señal es de 38 KHz pero debido a la desviación por el efecto Doppler de entorno a ± 3 KHz, NOAA recomienda 50 KHz con un margen de ± 20 KHz.
3. La frecuencia portadora la vemos en el centro de la figura 4.22 en la parte superior remarcada con un recuadro amarillo. La frecuencia portadora tiene cuatro secciones separadas por un punto cada sección, la primera hace referencia a los GHz, la tercera a los MHz, la segunda a los KHz y la primera a los hercios.
4. En el centro de la pantalla del software vemos la representación espectral de las señales captadas por la antena, en la, remarcado en verde, se puede ver la señal del NOAA-18 y la forma característica de las señales moduladas en frecuencia.

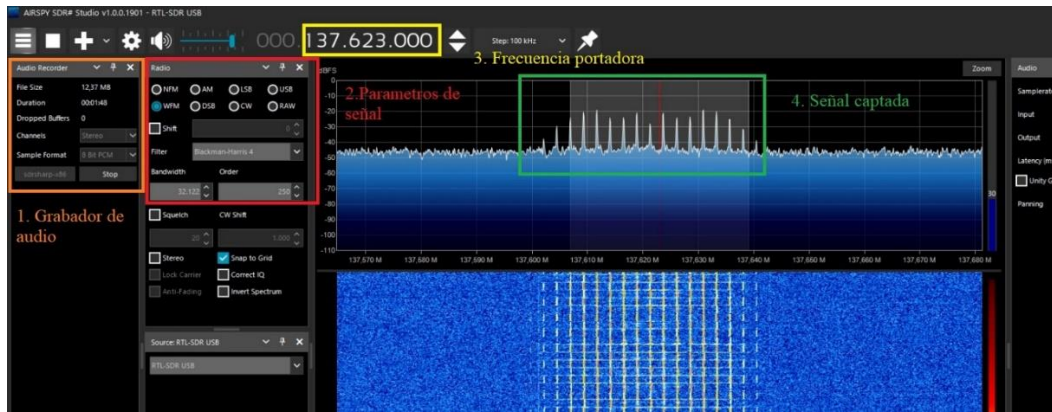


Figura 4.22 SDRSharp, captación del NOAA-18 [30]

Debemos de grabar el audio de la señal captada, ya que con este audio haremos la demodulación y conversión a imagen. El SDRSharp es el encargado de demodular la señal en FM y grabar la señal resultante en un fichero WAV. El cual contiene la señal modulada en AM que demodularemos mediante un script o software.

4.4.1 Plugin para minimizar el efecto Doppler

Una característica de la órbita polar es que debido a que el satélite realiza un desplazamiento sobre nuestro campo de visión, se produce una variación de entorno a ± 3 KHz de la frecuencia debido al efecto Doppler. Para corregir este problema debemos de ajustar la frecuencia portadora durante el pase del satélite ya que la señal se irá hacia frecuencias más altas cuando el satélite se aproxime a nuestra ubicación y cuando se aleje se desplaza a frecuencias más bajas.

En las primeras pruebas realizamos la corrección manualmente, pero hemos descubierto que hay un plugin disponible para el SDRSharp que conjunto al programa Gpredict corrige la frecuencia en función de la órbita.

Para instalar el plugin descargamos del siguiente enlace de GitHub [31], copiamos el archivo en el directorio de SDRSharp y en el documento de plugins.xml, añadimos la siguiente línea.

```
<add key="GpredictConnector"
value="SDRSharp.GpredictConnector.GpredictConnectorPlugin,SDRSharp.Gpr
edictConnector" />
```

Para utilizar lo primero tenemos que ir al Gpredict y en la pantalla de inicio en la parte superior derecha en le desplegable seleccionar la opción de *Radio control*

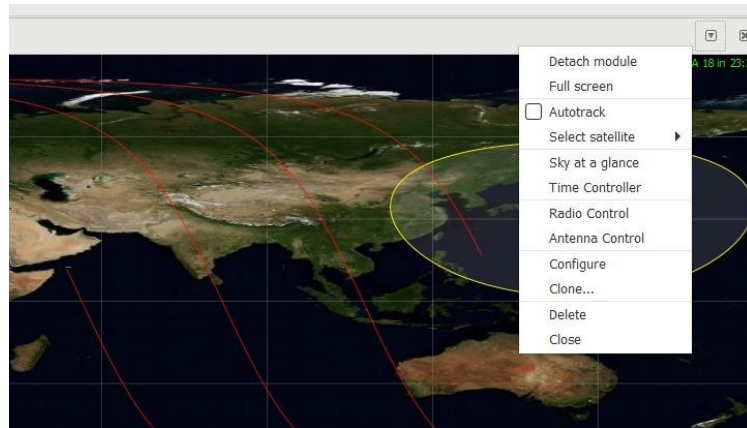


Figura 4.23 Configuración Doppler Gpredict [10]

Una vez seleccionado nos abre una ventana donde elegimos el satélite y la señal a captar y pinchamos en *Track*, en la figura 4.24 vemos el detalle de la ventana y como nos indica el tiempo restante para el inicio del satélite en nuestro campo de visión (AOS).

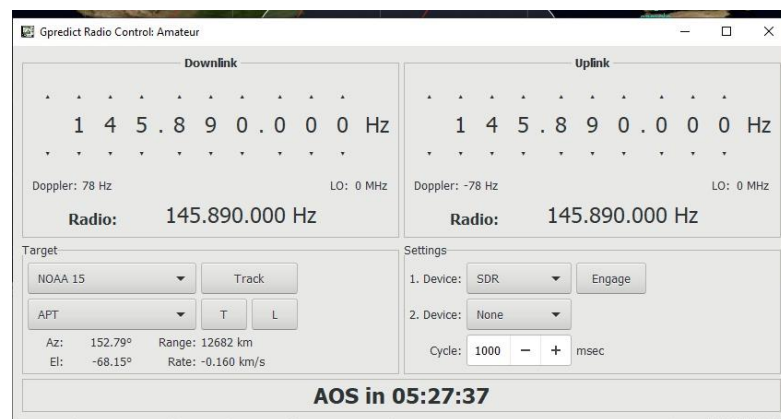


Figura 4.24 Radio control Gpredict

Una vez activado en el programa Gpredict abrimos el SDRSharp y en la parte superior izquierda, en el desplegable indicado con tres franjas horizontales, seleccionamos el apartado de *plugins* y una vez abierto pinchamos en ‘enable’.

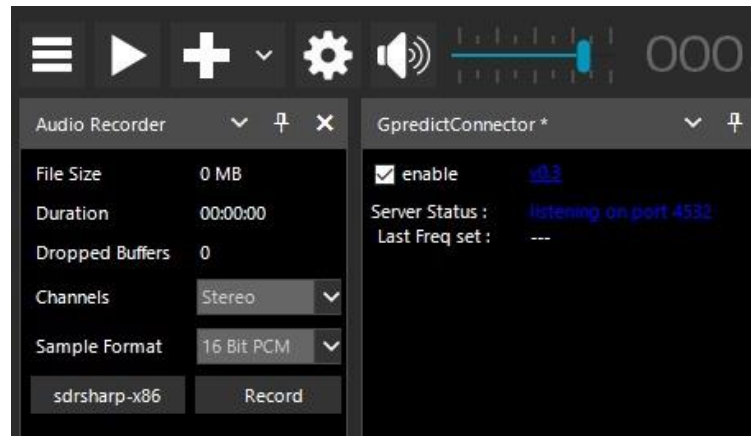


Figura 4.25 GpredictConnector [30]

En las figura 4.26 y figura 4.27 vemos un pase captado del NOAA-15 y como se ha corregido las frecuencias ligeramente.

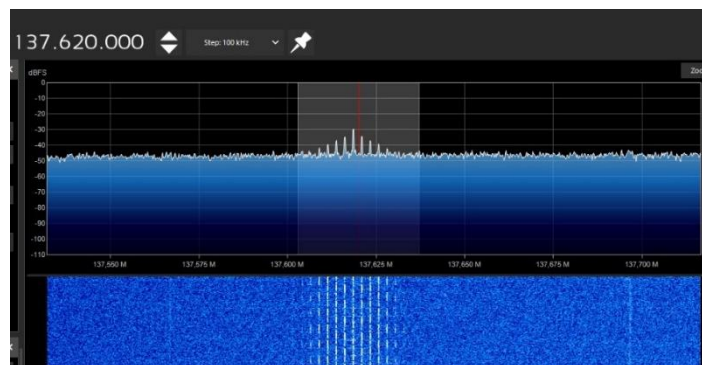


Figura 4.26 Imagen de señal del NOAA-15 corrección Doppler [30]

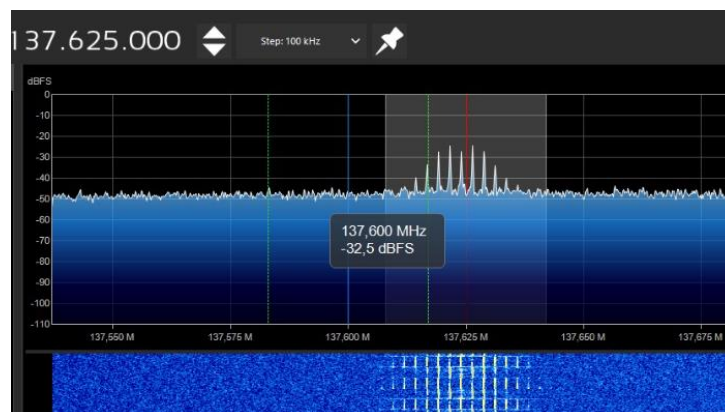


Figura 4.27 Corrección Doppler NOAA-15 [30]

4.4.2 Calibración del oscilador local del RTL2832U

El SDR permite realizar una calibración de la frecuencia mediante el TCXO. Para ello lo que haremos en el laboratorio de radio frecuencias, es conectar el SDR a un generador de señales por el conector tipo SMA mediante un cable coaxial y a una computadora por el puerto USB. Por lo que la fuente de las frecuencias recibidas por el SDR será el generador de señales el cual es una fuente fiable que emite tonos de manera precisa. Desde una computadora y el software SDRSharp veremos si el tono lo capta adecuadamente o si hay un desplazamiento y debemos corregirlo.

En la figura 4.28 vemos como hemos tenido que realizar una pequeña corrección de -3 ppm para la frecuencia 137.100 MHz. El valor negativo del ppm indica que la corrección es hacia frecuencia bajas.

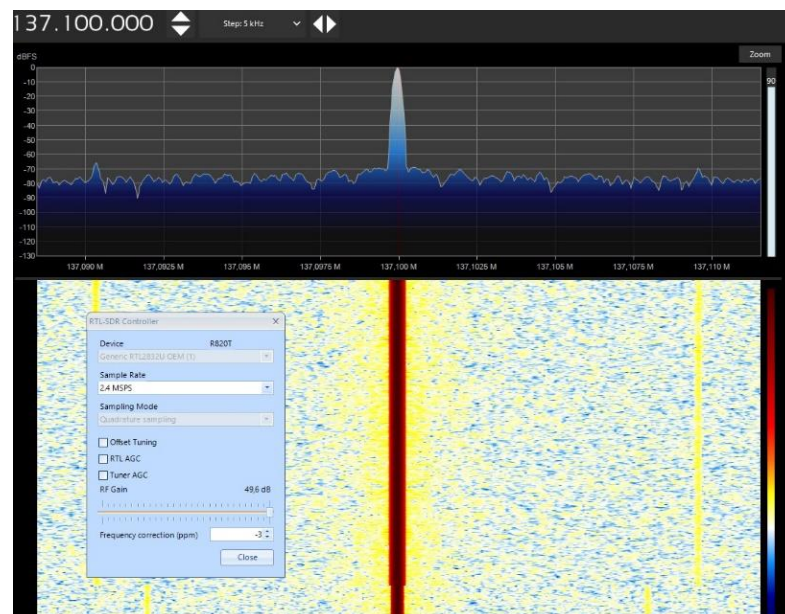


Figura 4.28 Calibración de frecuencias SDR 137.1 MHz [30]

Para la frecuencia 137.625 MHz correspondiente al satélite NOAA-15, hemos realizado una corrección de -3 ppm.

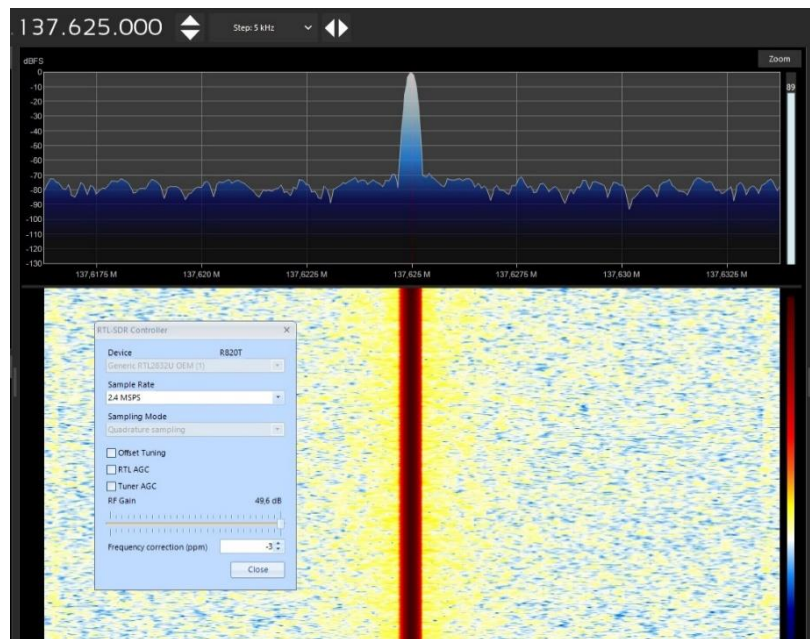


Figura 4.29 Calibración de frecuencias SDR 137.625 MHz [30]

Por último, en la figura 4.30, vemos la corrección para la frecuencia del satélite NOAA-18 la cual es la que más corrección tiene de 12 ppm.

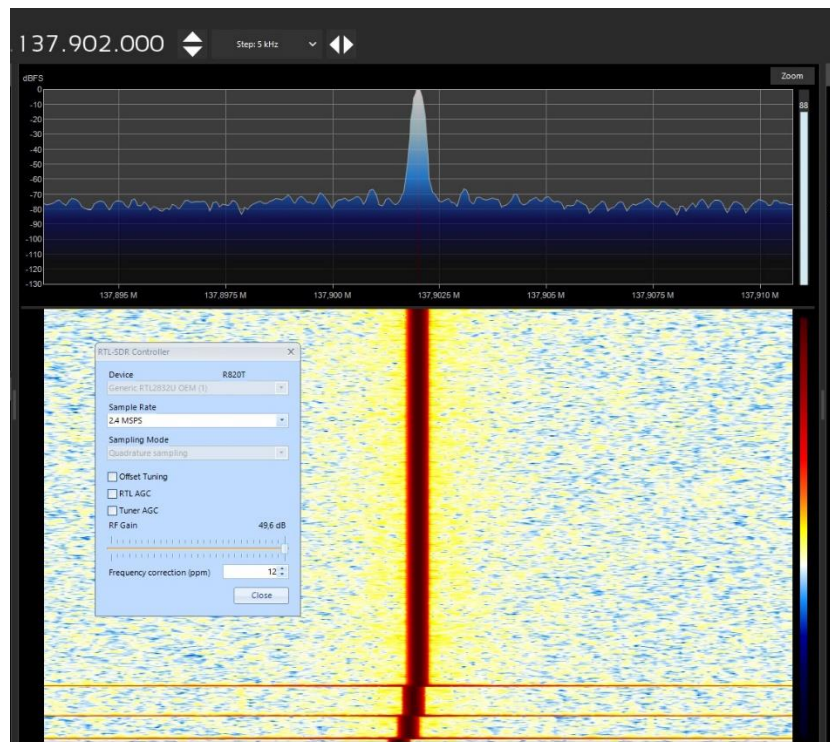


Figura 4.30 Calibración de frecuencias SDR 137.902 MHz [30]

Como resultado de las pruebas, se observa que las frecuencias están tan cercanas entre sí que la variación en la corrección es mínima. Sin embargo, se aprecia que a medida que aumenta la separación entre las frecuencias que se analizan, se hace necesario aplicar una corrección mayor.

4.5 Demodulación de la señal AM.

Una vez captada la señal por el SDR y almacena como archivo WAV, utilizaremos un software para demodular en AM la señal contenida en el archivo WAV y convertir el audio en imagen. Este software es el NOAA-APT, disponible para su descarga gratuita en [30], el software más popular para la decodificación de imagen es el WXtoIMG, pero este ya no se mantiene ni actualiza, la desventaja de NOAA-APT en comparación con WXtoIMG, es que no tiene la decodificación en tiempo real, podemos comunicar el software SDR con WXtoIMG y decodificar en tiempo real y ver cómo se van añadiendo las líneas de la imagen.

4.5.1 Demodulación AM mediante NOAA-APT

El software es portable por lo que no tenemos que hacer ninguna instalación solo descargar los archivos desde la web [32].

En la carpeta descargada ejecutamos el archivo noaa-apt.exe, se nos abrirá una imagen emergente como la figura 4.31, cargamos el fichero de audio y pulsamos en el botón de ‘Decode’.

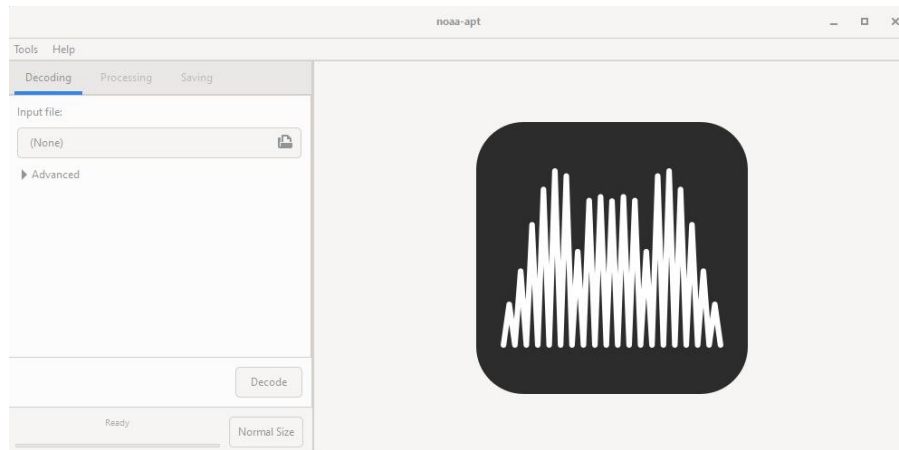


Figura 4.31 NOAA-APT ventana de decodificación [32]

Una vez termina el proceso de ‘Decode’ vamos a la pestaña de ‘Procesing’, en ella podemos ajustar el histograma de la imagen dejaremos el que viene por defecto.

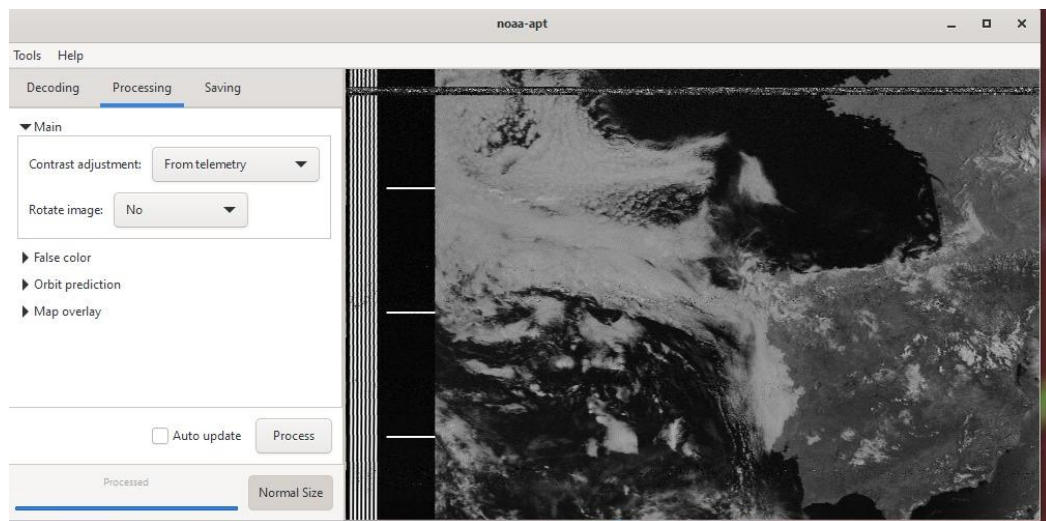


Figura 4.32 NOAA-APT processing [32]

Ya hemos obtenido la imagen en la tercera pestaña ‘Saving’ podemos guardar la en la carpeta que deseamos, en figura 4.33.

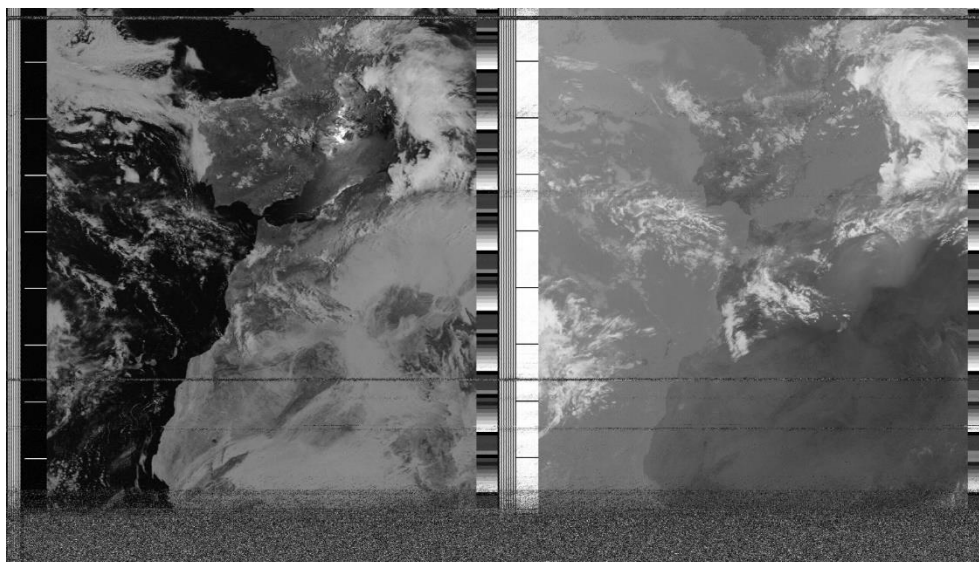


Figura 4.33 NOAA-APT imagen final [32]

4.5.2 Demodulación AM mediante script en Matlab

Hemos creado un script en Matlab que nos permite demodular la señal AM contenida en el fichero WAV. En este apartado describiremos los procesos que hemos seguido para obtener la imagen final.

Como ya se comentó en puntos anteriores la señal recibida por el SDR, esta modulada en frecuencia y amplitud. El software controlador del SDR (en nuestro caso SDRSharp) es el encargado de hacer la demodulación en FM y grabar la señal resultante en un fichero WAV. La señal resultante sigue estando modulada en AM y es esta la demodulación que realizamos en Matlab.

El primer paso consiste en realizar un detector de envolvente de la señal modulada, para ello determinamos el módulo de la señal analítica de la señal modulada. La función '*hilbert*' de Matlab calcula la señal analítica de una señal real de tiempo discreto mediante el cálculo de su transformada de Hilbert.

El segundo paso consiste en pasar las muestras de un vector a una matriz. Para ello establecemos un ancho y un largo de imagen. Debemos de calcular la longitud de las líneas que componen la imagen, ya que están consecutivamente una de tras de otra en un vector y deben pasar a formar filas de nuestra matriz. Donde nuestro ancho de imagen será la longitud de las líneas y el largo de imagen el número de líneas captadas en un

determinado pase satelital. Recordemos que la duración del pase puede variar según nuestra ubicación y elevación del satélite.

El formato de imágenes APT tiene 2080 píxeles o muestras. Recordemos que cada segundo tenemos dos líneas, por tanto, debemos quedarnos con la mitad de las muestras obtenidas en un segundo para solo seleccionar una línea y no dos.

En la figura 4.34 vemos una porción de la señal durante un segundo. Se puede observar los trenes de pulsos de la señal de sincronización, que marcan el inicio de una línea y como en un segundo tenemos cuatro pulsos.

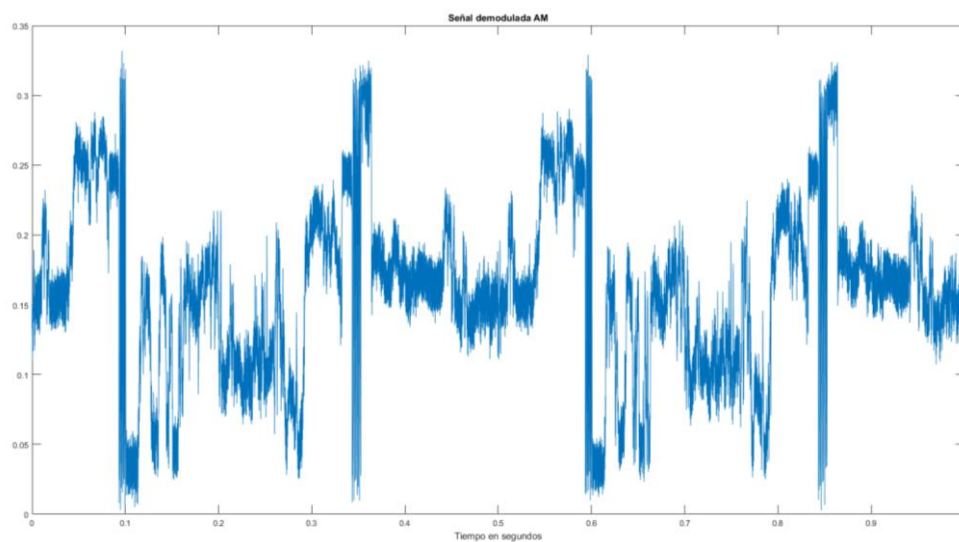


Figura 4.34 Señal demodulada AM, muestras durante un segundo

Si recordamos la imagen viene, dada por dos canales, canal A y canal B. Cada canal está compuesto por unas marcas de sincronismo, telemetría y marcadores temporales.

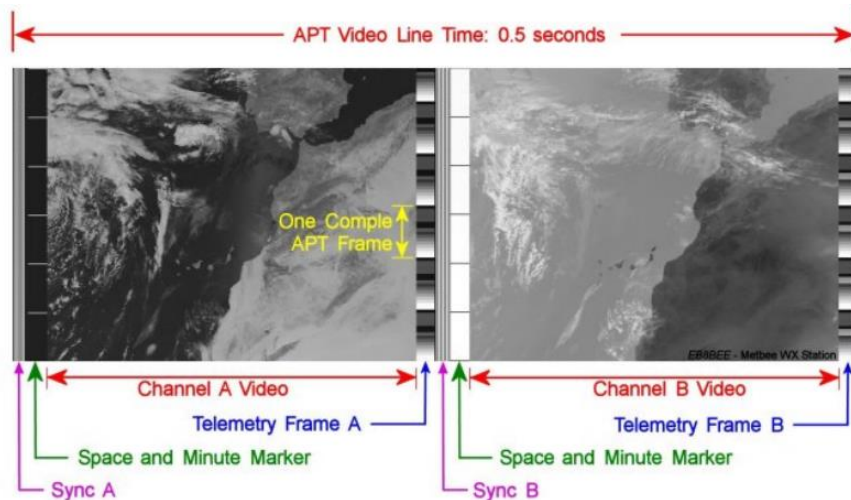


Figura 4.35 Detalle formato APT [3]

Si nos quedamos con la mitad de la frecuencia de muestreo, vemos que nos quedamos con una sola línea. En la figura 4.36 vemos una porción de la señal de longitud igual a la mitad de la frecuencia de muestreo, donde apreciamos todas las componentes de la imagen.

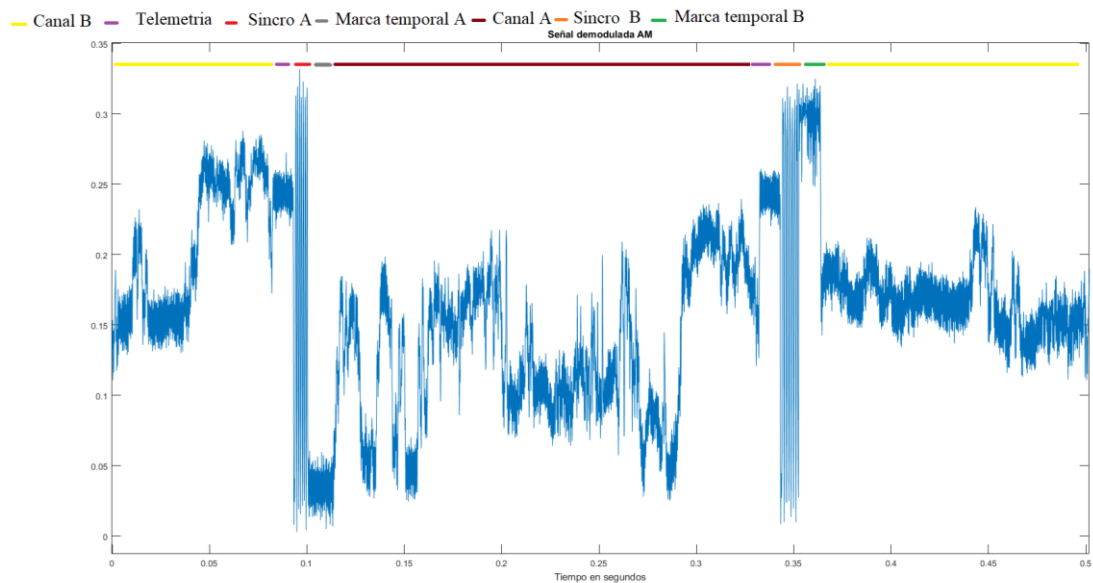


Figura 4.36 Señal demodula de longitud fs

Si nos quedamos con una porcion mas pequeña de la señal mostrada en la figura 4.36 en concreto del 0.08 seg a 0.115 seg, vemos con más detalle la telemetría, el sincronismo y la marca temporal del canal A. Se puede observar como el sincronismo son siete pulsos y la marca temporal del canal A es en negro ya que los valores son próximos a cero.

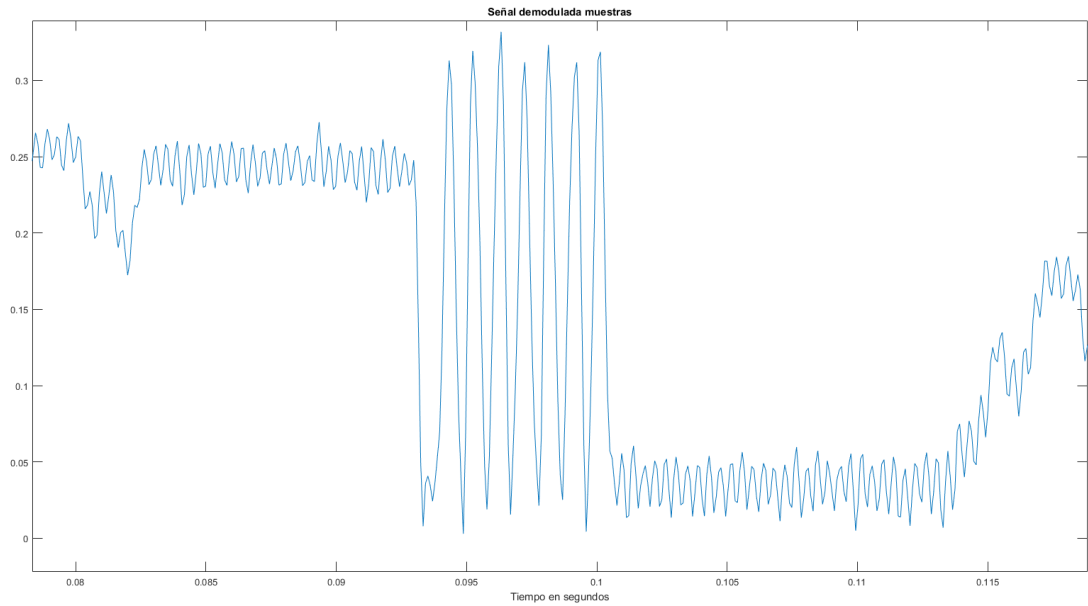


Figura 4.37 Detalle sincronismo, telemetría y marcador

Por tanto, el ancho de la imagen es:

$$\text{Ancho imagen} = \frac{\text{frecuencia muestro}}{2}$$

Y el largo.

$$\text{Largo imagen} = \frac{\text{Longitud de la señal}}{\text{Ancho imagen}}$$

Una vez demodulada y convertida a matriz la señal, ya podemos ver la imagen resultante. Pero debido a que no hemos, utilizado la sincronización para localizar el inicio de la imagen que corresponde con al canal A, la imagen esta descuadrada como podemos observar en la figura 4.38. Además, podemos ver la imagen curvada, debido al efecto Doppler.

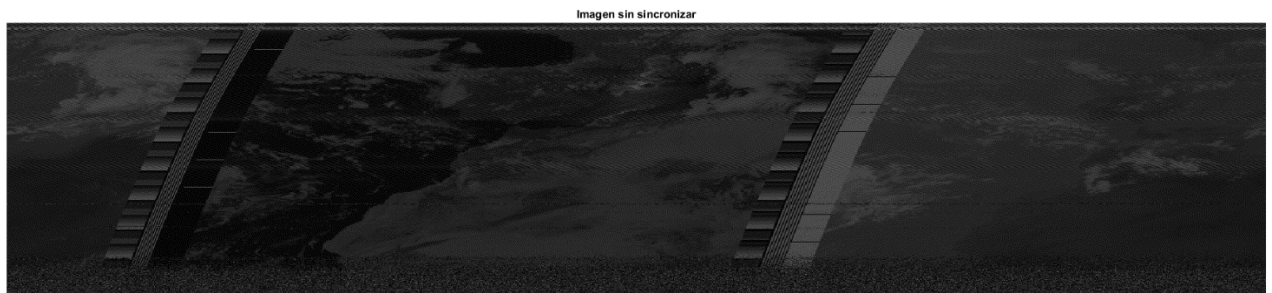


Figura 4.38 Imagen sin sincronizar

Para cuadra la imagen haremos uso de la señal de sincronización del canal A, que es un tren de pulsos de siete ciclos a 1040 Hz.

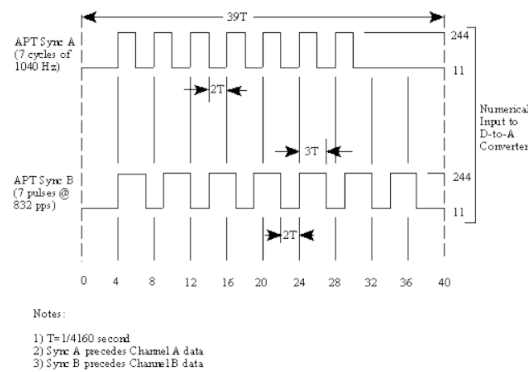


Figura 4.39 Sincronismo señal APT [3]

Realizando la correlación de la señal sincronizada con la señal demodulada en AM, obtenemos el inicio del canal A.

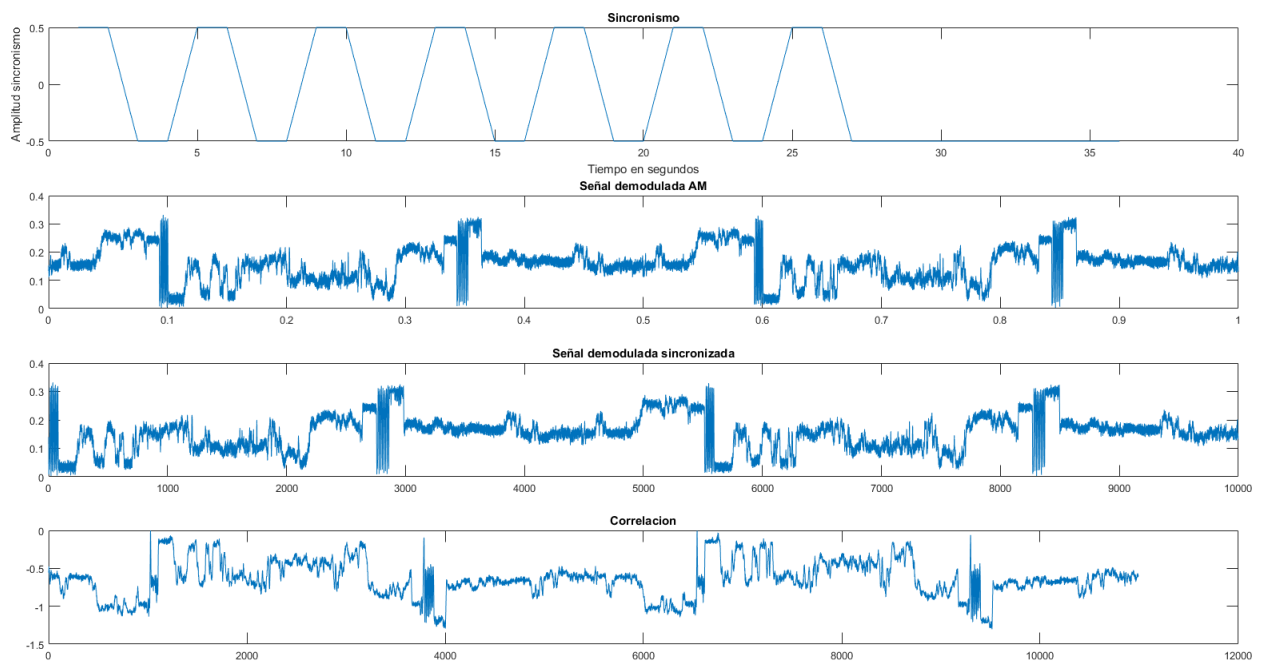


Figura 4.40 Detalle de la señal de sincronización, señal demodulada en AM, señal sincronizada y correlación

Finalmente en la figura 4.41 vemos la imagen resultante y como hemos reajustado el inicio de la señal y solventado el efecto Doppler en la imagen.



Figura 4.41 Imagen final sincronizada

4.6 Página web

Se propone crear una página web, para publicar las capturas del receptor y los archivos de audio como imágenes resultantes.

Hemos escogido a Django, como *framework* ya que está implementado con Python un lenguaje que nos permite desarrollar páginas web y con el que nos sentimos cómodos a la hora de programar.

La página mostrará los resultados de la recepción de la señal en la página de inicio. Subiremos a la web los audios e imágenes, para ello crearemos una base de datos y un área de administración para subir los archivos fácilmente, con el *framework Django* ofrece la posibilidad de crear este espacio de administración de usuarios, servicios o datos fácilmente.

La ruta de administración en local es <http://127.0.0.1:8000/admin/noaaWebApp>, en la figura 4.42 podemos ver el detalle de cómo es el área de administración.

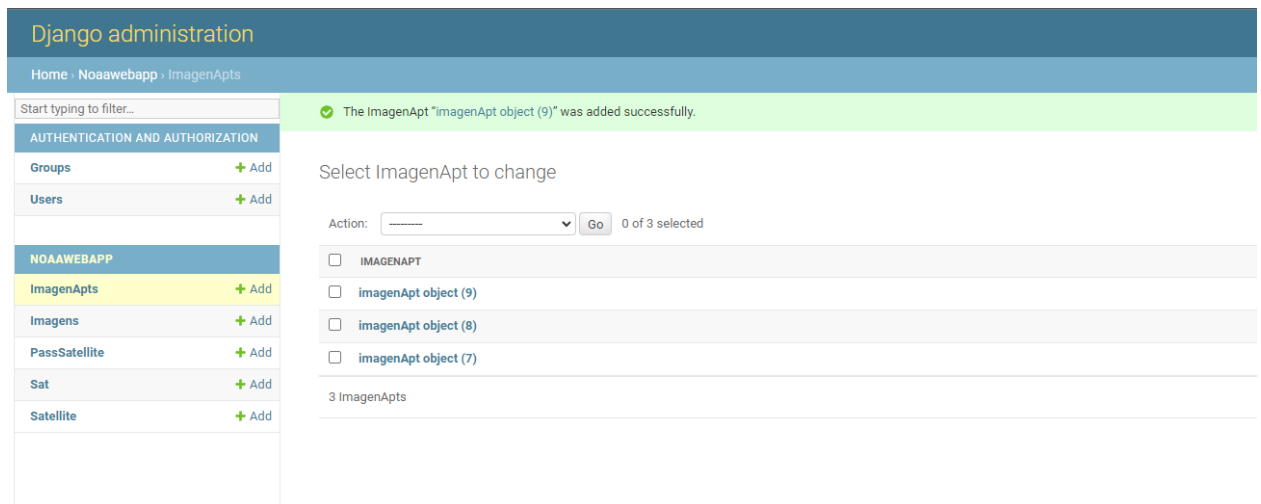


Figura 4.42 Panel de administración de Django

En la figura 4.43 vemos la página de inicio donde se publicarán los audios y las imágenes de dichos audios, para subir estos archivos lo haremos desde el panel de administración. Hemos creado un objeto en la base de datos llamado imagenApts para las imágenes y para los archivos de audio.

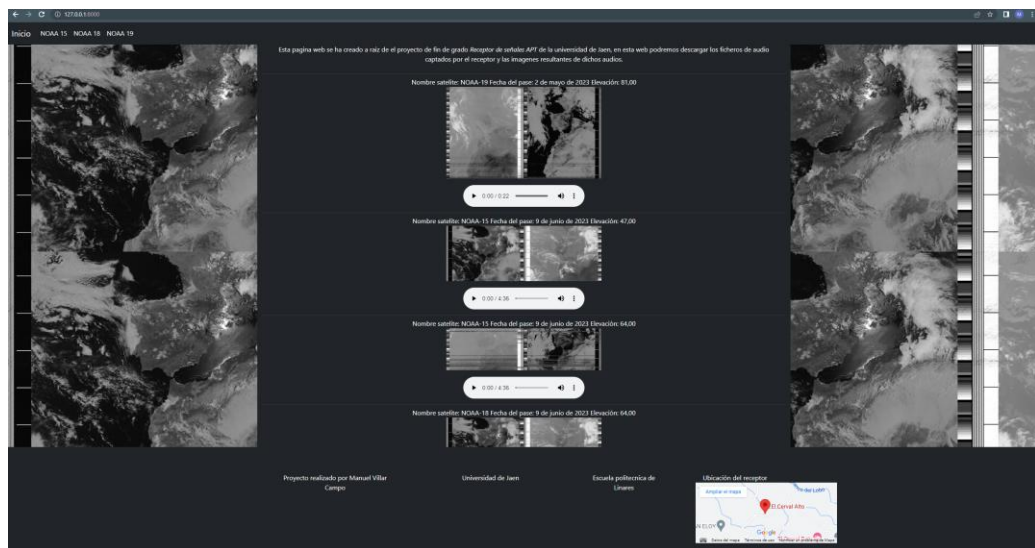


Figura 4.43 Página Web, ventana de inicio

Además de subir los resultados haremos una conexión API a la web de [7], para ver los pases satelitales a diez días, con lo que podemos planificar la recepción fácilmente. Para ver la predicción de un satélite a diez días pincharemos en el nombre del satélite en la barra superior. Este nos llevará a otra página donde se desglosará la información en una tabla. Para la predicción hemos aplicado un criterio donde filtramos los pases satelitales menores a una elevación de 40° .

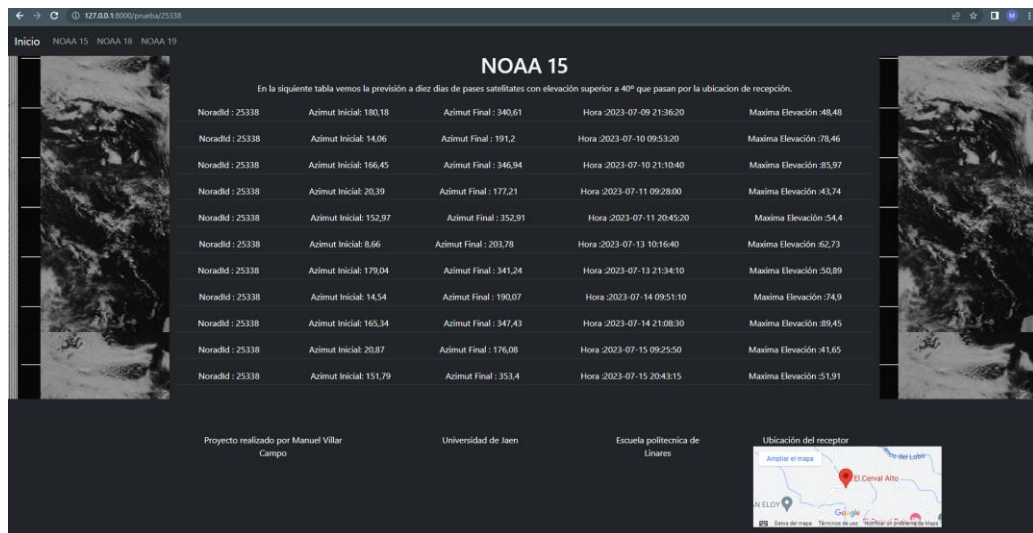


Figura 4.44 Pases satelitales a 10 días, NOAA-15

4.6.1 Publicación Web

Finalmente publicaremos la web, para tener acceso mediante internet ya que el desarrollo anterior de la página y los archivos estaban en un entorno local.

Para la publicación haremos uso de Render Cloud, que permite la publicación de la página web y de una base de datos de una manera gratuita.

Debemos crearnos una cuenta y una vez creada en el *Dashboard*, pinchar en *New* y seleccionar *Web service*.

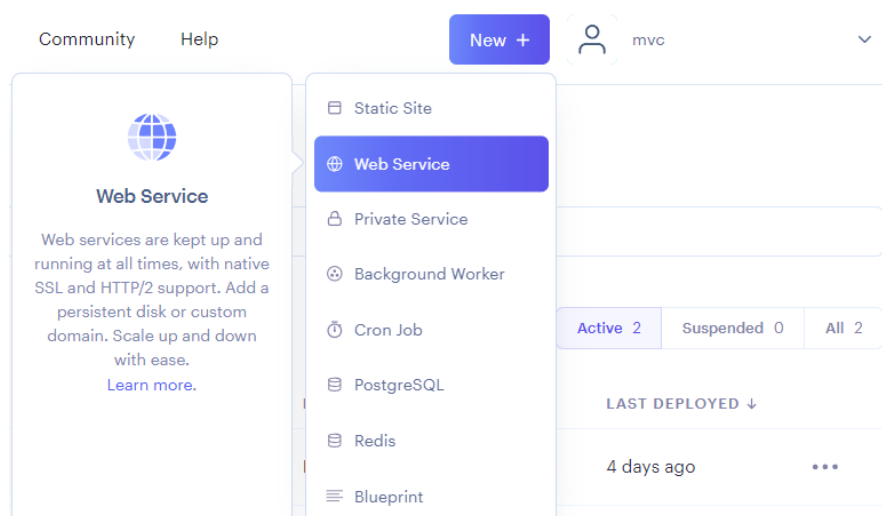


Figura 4.45 Creación del servicio web en Render [33]

La manera más sencilla es subir la página a un repositorio de GitHub y desde Render enlazar la página al repositorio.

Create a new **Web Service**

Connect a Git repository, or use an existing image.

How would you like to deploy your web service?

☒ Build and deploy from a Git repository
Connect a GitHub or GitLab repository.

☐ Deploy an existing image from a registry **ADVANCED**
Pull a public image from any registry or a private image from Docker Hub, GitHub, or GitLab.

Next

Figura 4.46 Enlace de repositorio a la página web [33]

De esta manera podemos realizar ajustes de manera local y una vez desarrollados subir las modificaciones a GitHub. Para mostrar los cambios en la página pública debemos de lanzar otra vez el *Deploy*.

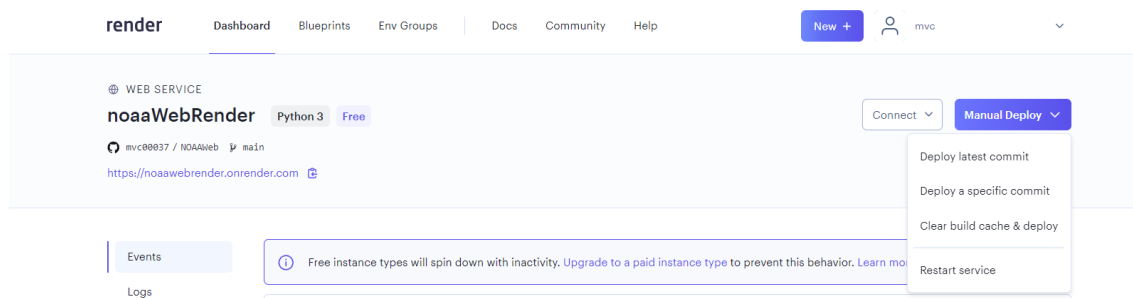


Figura 4.47 Deploy de la última actualización [33]

Una vez sincronizado debemos de hacer unos ajustes en Django para publicar la web. En el fichero de *settings*, la propia web de Render tiene un blog donde te da los pasos a seguir [31].

Posteriormente crearemos la base de datos, en este caso solo te permite crear en PostgreSQL.

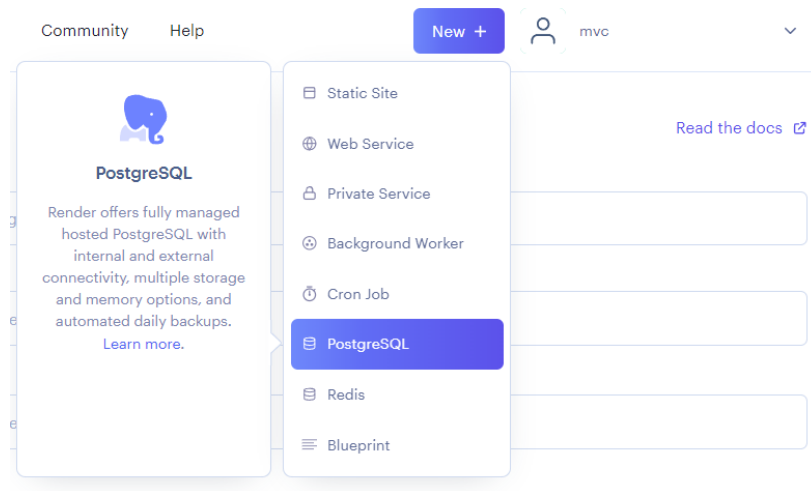


Figura 4.48 Creación de base de datos PostgreSQL [33]

Simplemente tenemos que dar un nombre a la base de datos, seleccionar la región (preferiblemente la más cercana), la versión de la base de datos y seleccionar la suscripción gratuita.

Instance Type	RAM	CPU	Storage	Price
Free	256 MB	0.5 CPU	1 GB	\$0 / month
Starter	256 MB	0.5 CPU	1 GB	\$7 / month

Figura 4.49 Creación base de datos en Render-Cloud [33]

Debido a la suscripción gratuita, no podemos subir archivos mediante el panel de administración como se comentó en el apartado donde se explicaba el desarrollo de manera local. Por lo que se ha optado a crear un enlace a un formulario de subida. Entrando en el enlace de la página web ya publicada, vemos un formulario para la subida de imágenes y audio en <https://noaawebrender.onrender.com/form/>.

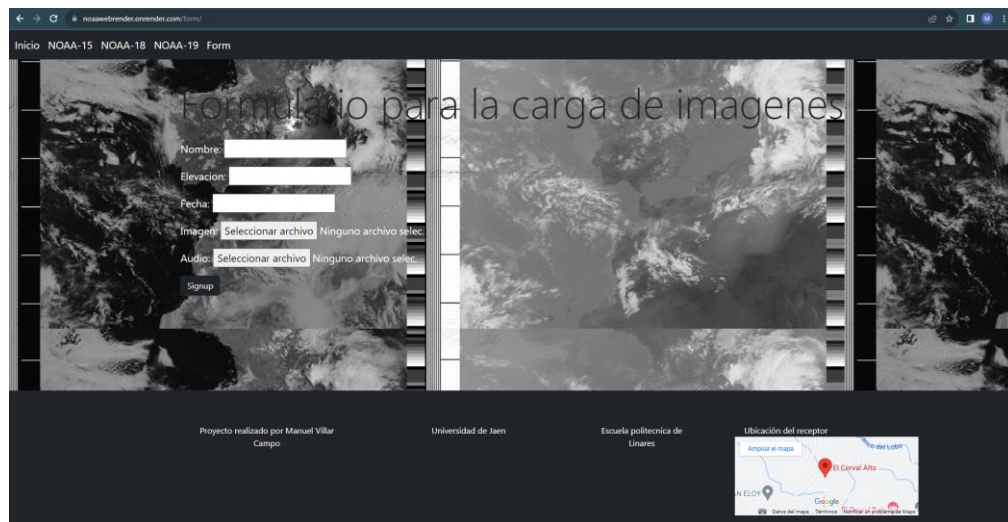


Figura 4.50 Pagina para la subida de imágenes y audios

La página inicial de la web es <https://noaawebrender.onrender.com/>.

5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores hemos visto cada elemento del sistema tanto hardware como software, en este capítulo implementaremos todos los componentes del sistema y realizaremos una evaluación comprobando si obtenemos resultados satisfactorios.

Como comentamos en capítulos anteriores, haremos una comparativa entre las antenas de dipolo en V y la antena cuadrifilar helicoidal, analizando los resultados obtenidos tanto de análisis de laboratorio como de las señales recibidas.

5.1 Pruebas laboratorio

Una vez diseñadas y construidas las antenas debemos de analizar en el laboratorio la eficiencia de las mismas, para ello haremos uso de los aparatos de medición del laboratorio de radiofrecuencia de la politécnica de Linares, en concreto del analizador vectorial de redes.

Un analizador vectorial de redes, también conocido como VNA (*Vector Network Analyzer*), es un instrumento de medición utilizado para caracterizar y analizar circuitos eléctricos y electrónicos, como antenas, filtros, líneas de transmisión y dispositivos de microondas. Nos permite medir los parámetros S, analizar la impedancia, medir la pérdida de la señal y generar gráficos con los que podemos analizar el funcionamiento de los dispositivos.

Con el VNA, mediremos la ROE (Relación de Onda Estacionaria) y la impedancia de las antenas y con ello determinaremos si se tenemos una buena adaptación de impedancias. Podemos realizar capturas de pantalla de las gráficas obtenidas, pero nos parece más interesante el realizar una exportación de los datos en formato CSV y crear las gráficas mediante Matlab.

A la hora de representar los datos gráficamente haremos uso de la carta de Smith, la cual es una herramienta grafica que permite la representación de impedancias, de esta manera vemos cómo se comporta la resistencia de la antena a diferentes frecuencias, en la carta de Smith se trabaja con impedancias normalizadas respecto de la línea en nuestro caso 50 ohmios.

A la hora de analizar las pruebas establecemos unos parámetros de calidad de ROE de 1.2 al 1.5

5.1.1 Antena dipolo en V

A continuación, mostraremos una serie de graficas exportadas de Matlab.

ROE: Debemos de tener el mínimo de ROE para la frecuencia de diseño 137.5 MHz, en la figura 5.1 podemos ver la gráfica y como el mínimo está a la frecuencia 131.5 MHz. Para la frecuencia de diseño 137.5 MHz tenemos una ROE de 1.76, por encima del mínimo que hemos establecido.

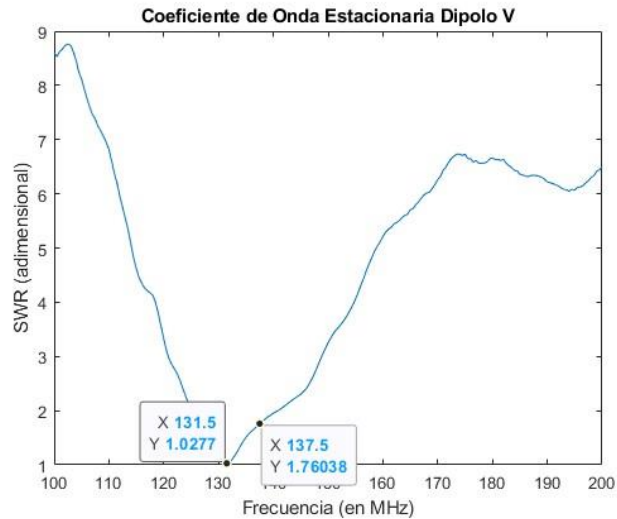


Figura 5.1 ROE del dipolo V

Impedancia: Para visualizar la impedancia de la antena hemos graficado en la carta de Smith. En la figura 5.2 vemos que la impedancia no está adaptada y tiene una componente capacitiva. Para la frecuencia de trabajo 137.5 MHz el valor de la impedancia es de $78.79 - j21.55 \Omega$. Para la frecuencia 131.5 la impedancia es de $50.11 - j1.36 \Omega$.

Estos valores de impedancia lo hemos calculado mediante la ecuación 5.

$$Z(f) = Z_0 \cdot \frac{(1 + \Gamma)}{(1 - \Gamma)} \quad (5)$$

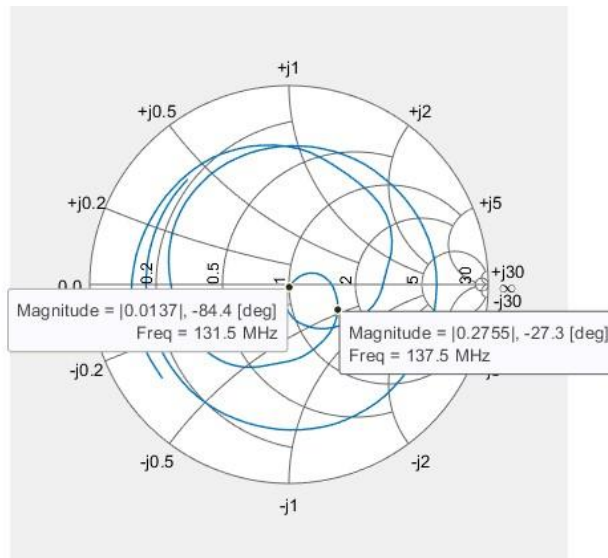


Figura 5.2 Carta de Smith del Dipolo V

Debido a que la ROE está por encima de 1.5 intentaremos hacer un ajuste de la antena para hacer que el mínimo de ROE que tenemos en la frecuencia de 131.5 MHz se desplace a 137.5 MHz.

En nuestro caso hemos acortado la distancia a 51.5 cm, valor que calculamos en Matlab.

- ROE: Con el ajuste aplicado el mínimo es a 134 MHz en vez de 131.5 MHz y a la frecuencia de diseño la ROE es de 1.35 en vez de 1.76

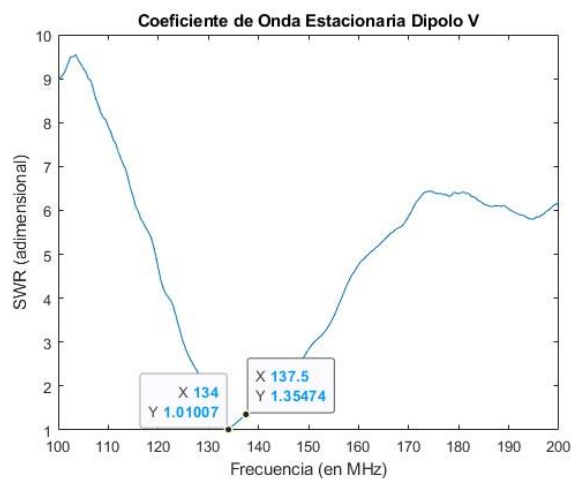


Figura 5.3 ROE del dipolo rediseñado

- Impedancia: La impedancia de la antena a la frecuencia 137.5 MHz es aproximadamente $65.9511 - j7.20191$ Ohm, hemos visto también una mejora significativa respecto a la anterior medición.

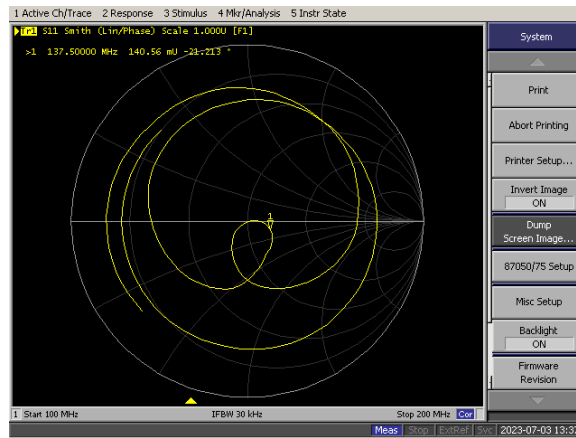


Figura 5.4 Captura del analizador vectorial de redes, Dipolo V

Comparando las dos imágenes vemos que obtenemos el mismo resultado graficando en Matlab lo valores exportados del VNA.

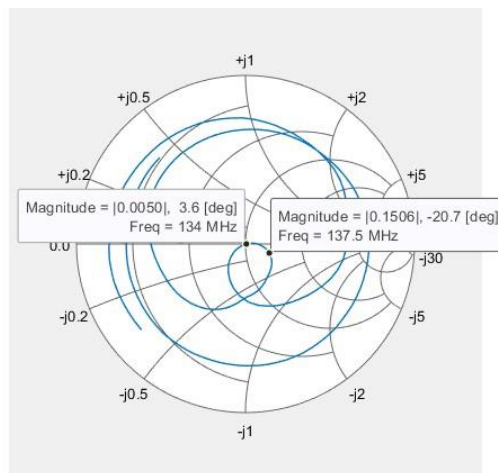


Figura 5.5 Smith del dipolo rediseñado

Como conclusión, podemos afirmar que el ajuste realizado ha resultado efectivo. Se plantea la posibilidad de realizar un ajuste adicional, aumentando la longitud reducida del 5.6% al 6% o 7%, lo que implicaría acortarla más con el objetivo de lograr una resonancia exacta a 137.5 MHz. Sin embargo, la ROE es aceptable a la frecuencia de diseño, y considerando que realizar cortes precisos y pequeños resultan complicados, hemos decidido no llevar a cabo un ajuste adicional en la longitud de la antena.

5.1.2 Antena cuadrifilar helicoidal

Como anteriormente con el dipolo en V debemos medir la ROE y la impedancia de la antena y comprobar si cumple los parámetros de calidad de ROE de 1.5 a 1.2 establecidos.

- ROE: Como vemos en la figura 5.6, la ROE para la frecuencia de diseño es muy elevada.

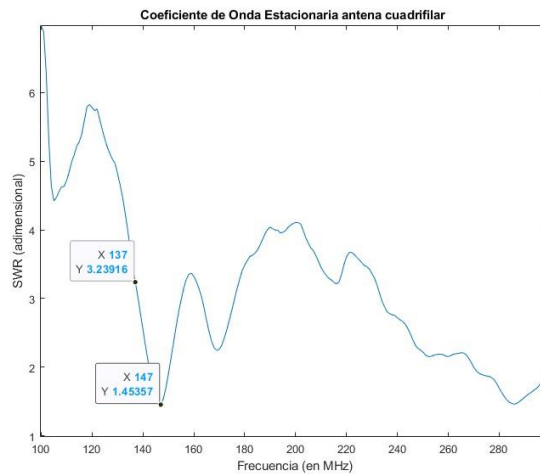


Figura 5.6 ROE de la antena cuadrifilar

- Impedancia: Para la frecuencia de trabajo 137.5 MHz el valor de la impedancia es de $57.7845 - j63.755 \Omega$. Para 147 MHz esta la mínima ROE e impedancia más adaptada $53.33 - j76 \Omega$.

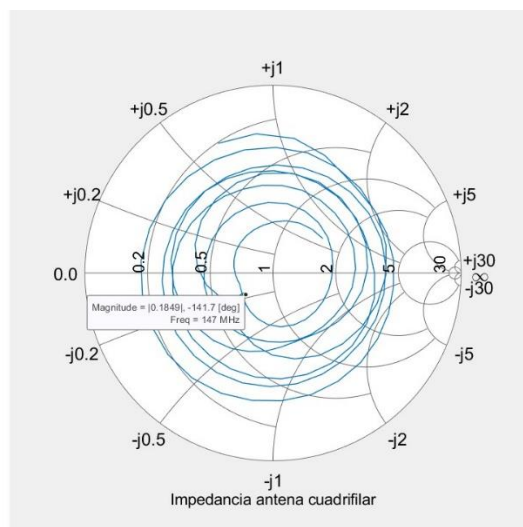


Figura 5.7 Impedancia antena cuadrifilar

Debemos de realizar un reajuste en la relación ancho alto para intentar conseguir una ROE más baja, el hecho de tener una ROE tan desajustada, nos empeora la ganancia y el patrón de radiación.

Para ajustar la antenna lo que hemos hecho ha sido ajustar la relación ancho alto, mediante las varillas roscadas, hemos ido reduciendo el ancho de las espiras conductoras hasta que hemos conseguido establecer un mínimo de ROE a la frecuencia deseada. En la figura 5.8 vemos la ROE conseguida para la frecuencia de diseño.

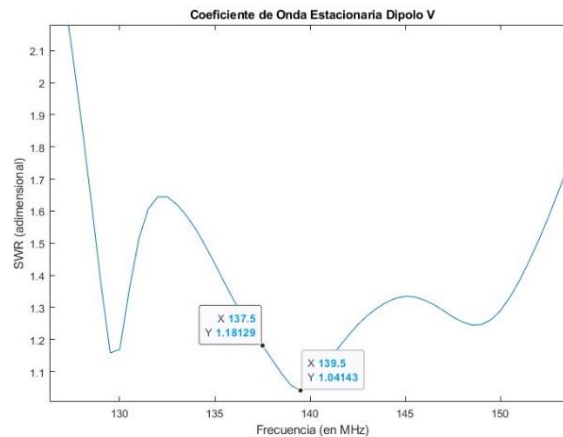


Figura 5.8 ROE ajustada antena cuadrifilar

En la figura 5.9 observamos como la frecuencia es muy proxima al centro, donde corresponde al valor de nuestra linea de transmision que seria 50Ω , para la frecuencia de diseño el valor de la impedancia es de $45.8075 - j6.79316 \Omega$.

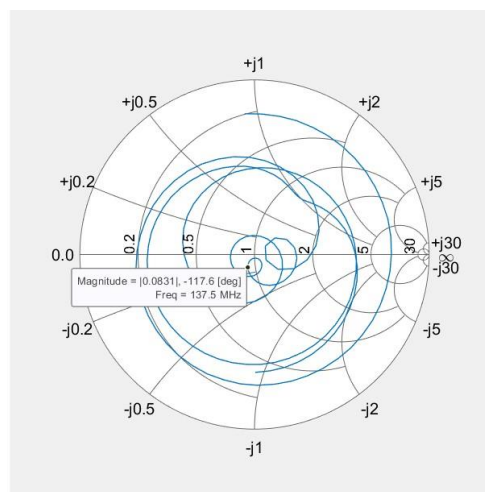


Figura 5.9 Impedancia ajustada de la antena cuadrifilar

Una vez ajustada la ROE volvemos a medir el ancho y calcular la relación alto ancho, ya que la calculadora realizo una relación de 0.44. Realizando las mediciones vemos que el *loop* más largo es de 29 cm de ancho y el *loop* corto de 27 cm.

- *Loop* corto

$$\frac{w}{h} = 0.270/0.693 = 0.389$$

- *Loop* largo

$$\frac{w}{h} = 0.290/0.730 = 0.397$$

5.2 Imágenes captadas

Para obtener unas conclusiones sobre las antenas empleadas y los elementos o configuraciones, como medida de calidad hemos decidido implementar la FFT de Matlab a la señal demodulada en AM. Con la consideración de que esta señal no es estacionaria. Pero analizando las componentes espectrales de la señal podemos determinar como de buena ha sido la recepción, una manera más o menos objetiva ya que la calidad de la imagen visualmente es totalmente subjetiva.

5.2.1 Antena dipolo en V

1. NOAA-15

Azimet entrada: 22° NNE. Elevación máxima: 36°. Azimet salida: 173° S, Azimet: 100° E.



Figura 5.10 Imagen 1, dipolo en V

Esta señal recibida es totalmente ruido. Vemos en la densidad espectral la portadora pero muy debil y los lobulos laterales apenas se aprecian. Si podemos apreciar la componente de continua a 0 Hz.

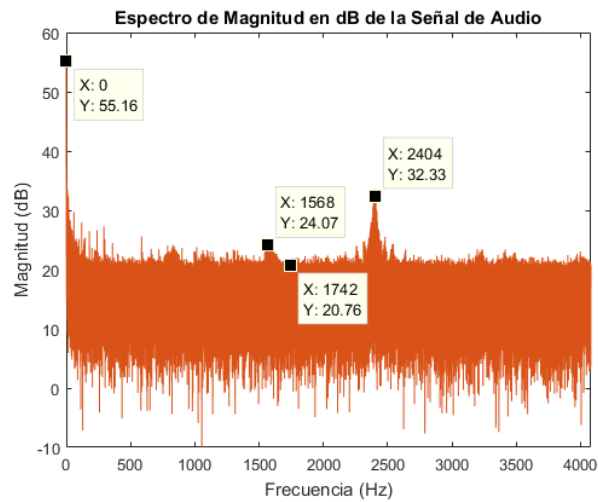


Figura 5.11 Densidad espectral de imagen 1, dipolo en V

El espectrograma lo vemos mas plano, sin ninguna señal a destacar excepto la componente de continua.

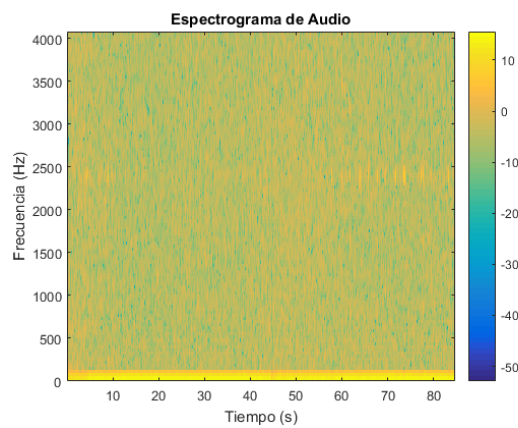


Figura 5.12 Espectrograma imagen 1, dipolo en V

2. NOAA-18

Azimut entrada: 147° SE. Elevación máxima: 54° Azimut: 70° E. Azimut salida: 355° N.

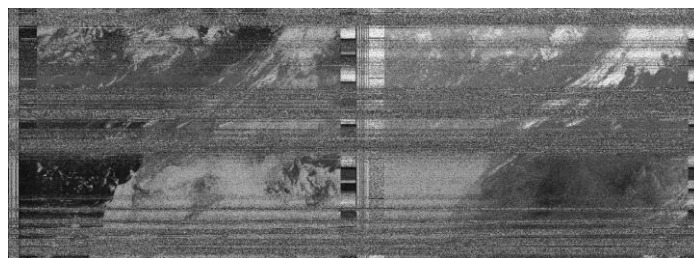


Figura 5.13 Imagen 2, dipolo en V.

En este caso vemos que se puede apreciar la imagen y la señal de sincronía y telemetría pero la imagen es de muy mala calidad. La densidad espectral de la señal también se ve sin definir los lóbulos secundarios.

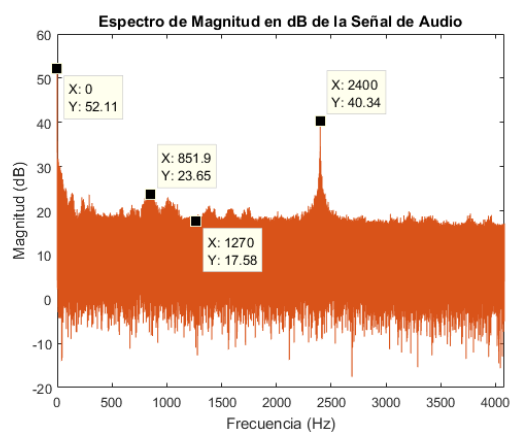


Figura 5.14 Imagen 2, densidad espectral dipolo en V

En el espectrograma podemos observar la portadora, pero mucho ruido en toda la imagen.

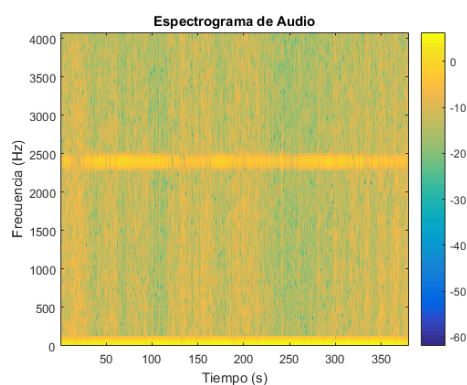


Figura 5.15 Espectrograma imagen 2, dipolo en V

3. NOAA-18

Azimut entrada: 161° SSE. Elevación máxima: 68° Azimut: 86° E. Azimut salida: 348° N.

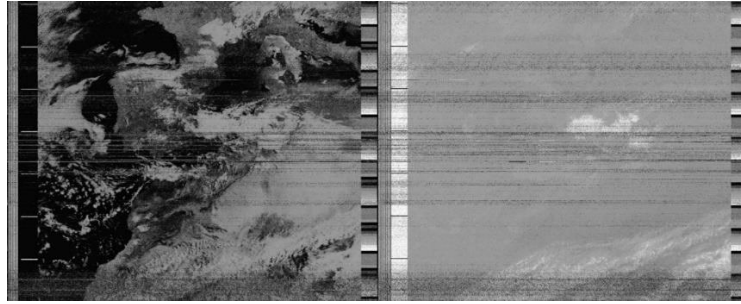


Figura 5.16 Imagen 3, dipolo en V

En este caso vemos la imagen con una calidad media, pero en el centro de la imagen vemos ruido. En la densidad espectral vemos los lóbulos secundarios más definidos y la portadora con más potencia.

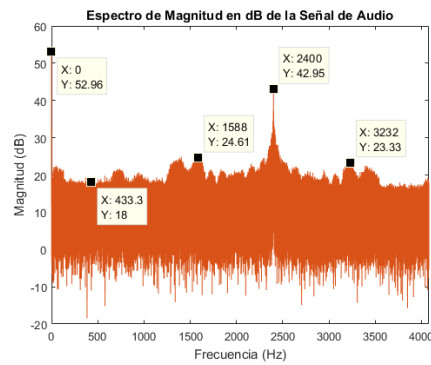


Figura 5.17 Densidad espectral imagen 3, dipolo en V

En el espectrograma vemos las componentes de ruido más débiles y la portadora más pronunciada.

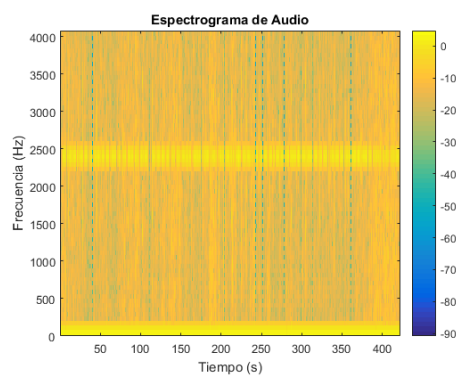


Figura 5.18 Espectrograma imagen 3, dipolo en V

4. NOAA-19 Azimut entrada: 174° S. Elevación máxima: 62°, Azimut: 256° E. Azimut salida: 343° N.

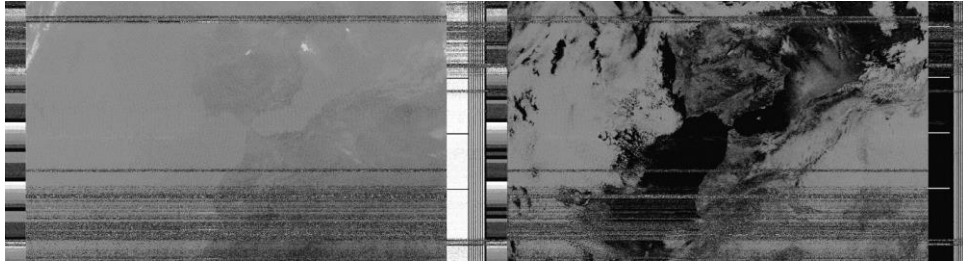


Figura 5.19 Imagen 4, dipolo en V

Este pase es muy similar al anterior y de una calidad parecida, aunque las señales de ruido están al principio y final del pase. Esto es normal y puede que sea por pérdidas de la señal por objetos, como edificios o montañas.

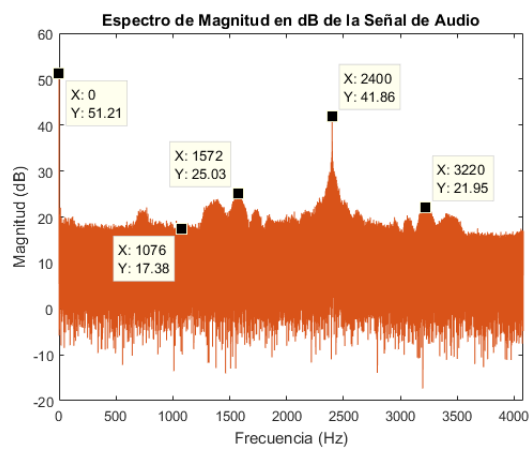


Figura 5.20 Densidad espectral imagen 4, dipolo en V

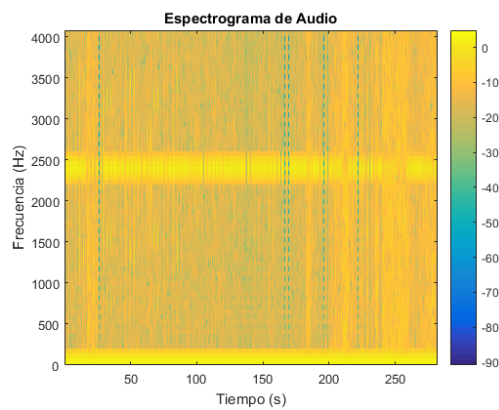


Figura 5.21 Espectrograma imagen 4, dipolo en V

5. NOAA-19 Azimut entrada: 13° N. Elevación máxima: 87° , Azimut: 56° NE. Azimut salida: 195° S.

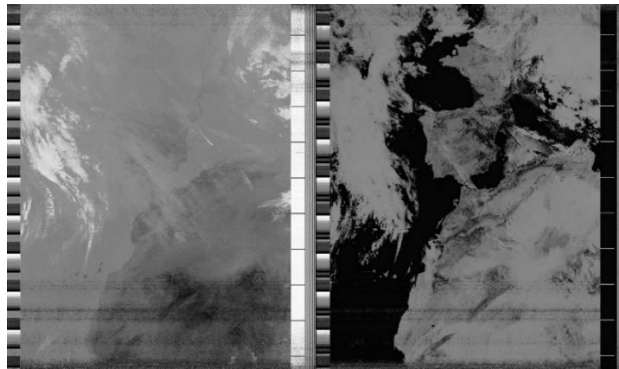


Figura 5.22 Imagen 5, dipolo en V

En este caso vemos que la imagen es de calidad, no hay ruido excepto al inicio y final del pase. La densidad espectral se ve que es la que mayor potencia tiene tanto en los lóbulos secundarios como en la portadora.

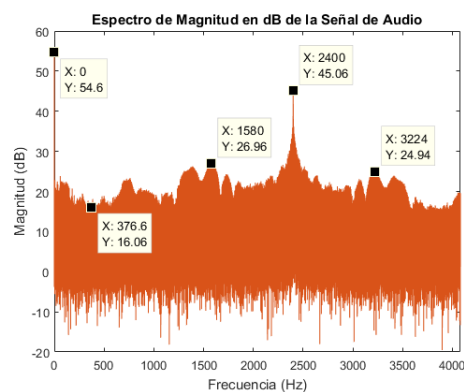


Figura 5.23 Densidad espectral imagen 5, dipolo en V

En el espectrograma se aprecia un poco de ruido, pero este no se percibe en la imagen final.

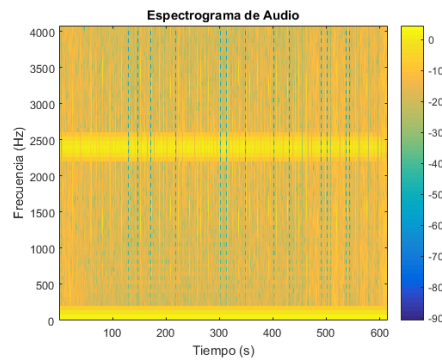


Figura 5.24 Espectrograma imagen 5, dipolo en V

5.2.2 Cuadrifilar

1. NOAA-15: Azimut entrada: 22° NNE. Elevación máxima: 40° Azimut: 98° . Azimut salida: 175° S.

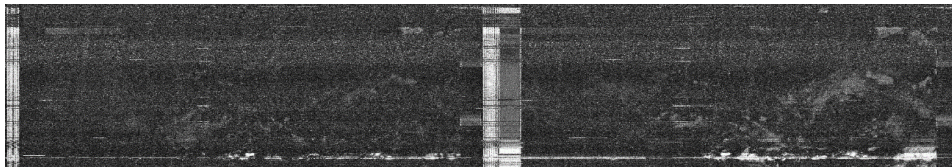


Figura 5.25 Imagen 1, cuadrifilar helicoidal

Vemos que es una señal totalmente ruidosa solo se aprecia la señal de sincronización.

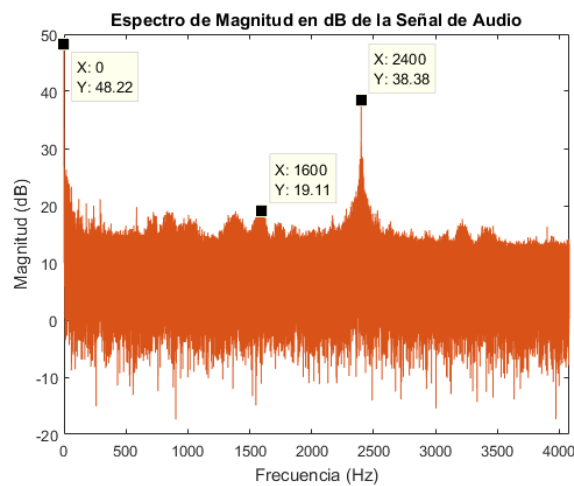


Figura 5.26 Densidad espectral imagen 1, cuadrifilar helicoidal

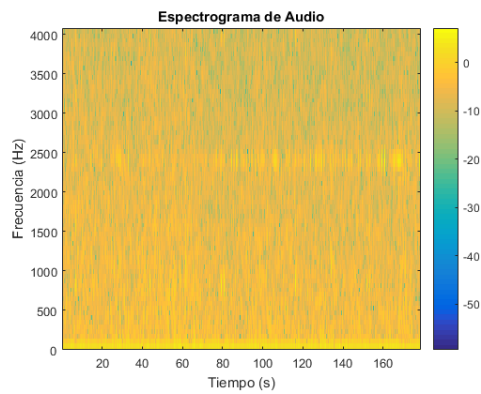


Figura 5.27 Espectrograma imagen 1, cuadrifilar helicoidal

2. NOAA-18 Azimut entrada: 180° S. Elevación máxima: 47° Azimut: 258°
W. Azimut salida: 340° NNW.

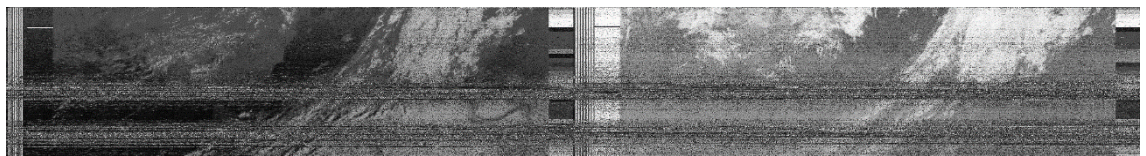


Figura 5.28 Imagen 2 cuadrifilar helicoidal

Este pase no se consiguió recibir desde el inicio debido a un fallo en la corrección Doppler que no ajusto debidamente la frecuencia. Vemos que la imagen es de mala calidad.

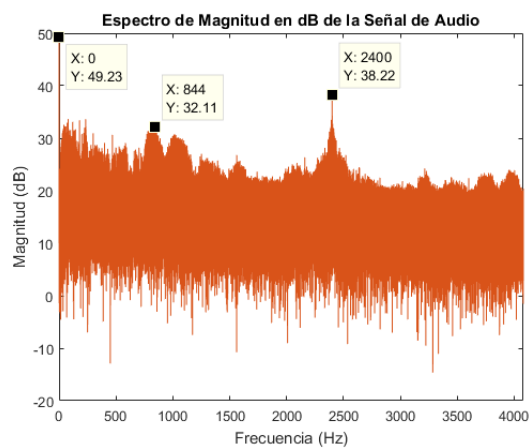


Figura 5.29 Densidad espectral imagen 2, cuadrifilar helicoidal

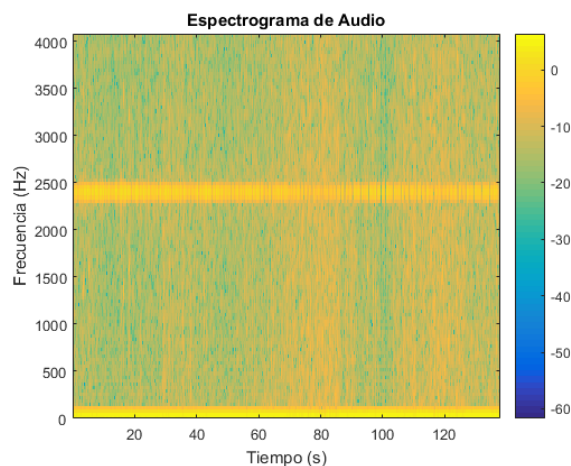


Figura 5.30 Espectrograma imagen 2, cuadrifilar helicoidal

3. NOAA-19 Azimut entrada: 154° SSE. Elevación máxima: 59° Azimut: 73° ENE. Azimut salida: 352° N.

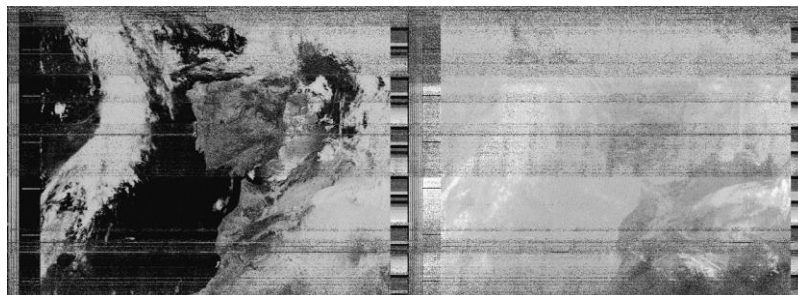


Figura 5.31 Imagen 3, cuadrifilar helicoidal

Vemos que la imagen tiene una calidad media ya que hay demasiado ruido en toda la imagen. Tanto el espectrograma como la densidad espectral se ve con poca potencia y sin definir.

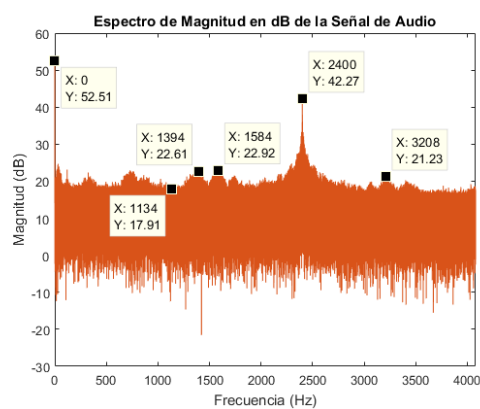


Figura 5.32 Densidad espectral imagen 3, cuadrifilar helicoidal

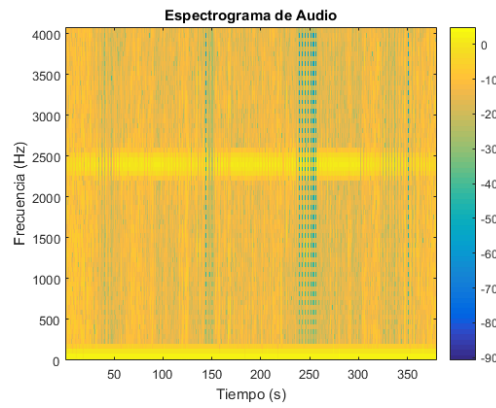


Figura 5.33 Espectrograma imagen 3, cuadrifilar helicoidal

4. NOAA-15 Azimut entrada: 167° SSE. Elevación máxima: 83° Azimut: 260° W. Azimut salida: 346 N.

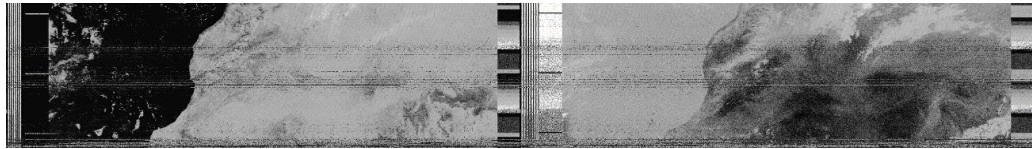


Figura 5.34 Imagen 4, cuadrifilar helicoidal

Este pase es bastante bueno ya que tiene mucha elevacion, pero solo recibimos el final debido a un error humano a la hora del pase. Debemos de tener en cuenta que la elevacion maxima solo se consigue en un determinado punto del pase y no es constante por lo que en este punto probablemente la elevacion no corresponde al punto maximo.

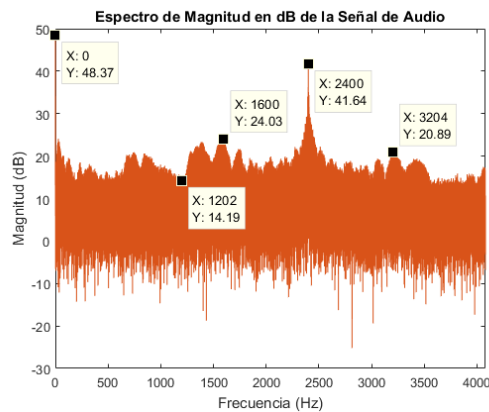


Figura 5.35 Densidad espectral imagen 4, cuadrifilar helicoidal

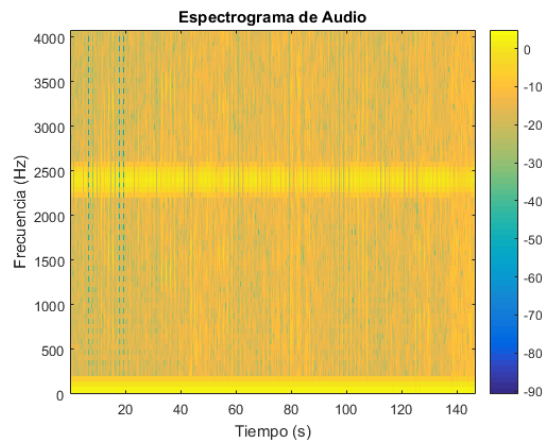


Figura 5.36 Espectrograma imagen 4, cuadrifilar helicoidal

5. NOAA-19 Azimut entrada: 168° SSE. Elevación máxima: 80° Azimut: 248 WSW. Azimut salida: 345 N.

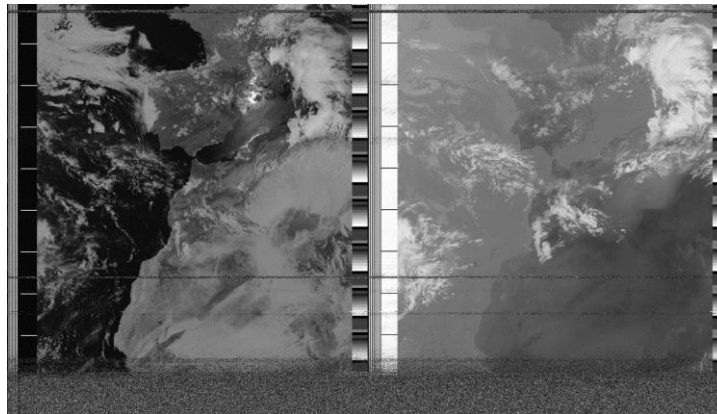


Figura 5.37 Imagen 5, cuadrifilar helicoidal

Este pase es muy similar al anterior, pero en este caso lo hemos recibido desde el inicio.

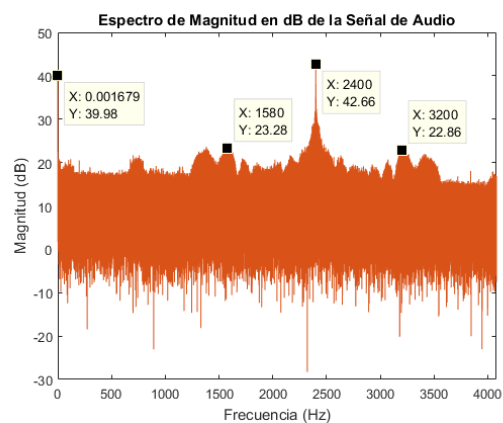


Figura 5.38 Densidad espectral imagen 5, cuadrifilar helicoidal

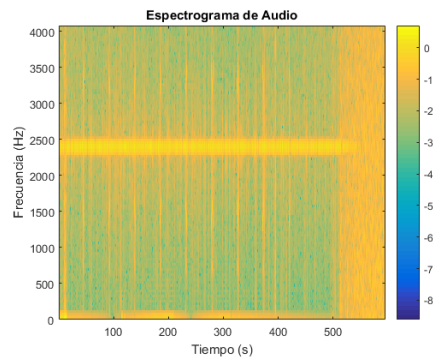


Figura 5.39 Espectrograma imagen 4, cuadrifilar helicoidal

A continuación, se muestra una tabla comparativa de resultados, donde comparamos la potencia de la portadora y asignamos una medida de calidad subjetiva al resultado de las imágenes finales. Todas las imágenes se han tomado con la cabecera de radiofrecuencia y sin adaptar el efecto Doppler con el plugin de Gpredict ya que no daba buenos resultados.

Antena	Satélite	Elevación	Potencia portadora	Imagen	Medida de calidad subjetiva
Dipolo en V	NOAA-15	36°	32.33 dBFS	Figura 5.10	Mala
Dipolo en V	NOAA-18	54°	40.34 dBFS	Figura 5.13	Mala
Dipolo en V	NOAA-18	68°	42.95 dBFS	Figura 5.16	Media
Dipolo en V	NOAA-19	62°	41.86 dBFS	Figura 5.19	Media/Baja
Dipolo en V	NOAA-19	87°	45.06 dBFS	Figura 5.22	Alta
Cuadrfilar	NOAA-15	40°	38.38 dBFS	Figura 5.25	Mala
Cuadrfilar	NOAA-18	47°	38.22 dBFS	Figura 5.28	Mala
Cuadrfilar	NOAA-19	59°	42.27 dBFS	Figura 5.31	Media/Baja
Cuadrfilar	NOAA-15	83°	41.64 dBFS	Figura 5.34	Media
Cuadrfilar	NOAA-19	80°	42.66 dBFS	Figura 5.37	Alta

Tabla 5.1 Comparación imágenes obtenidas

Como conclusión final podemos decir que las dos antenas dan resultados parecidos y que debido a su baja ganancia. Para obtener imágenes de calidad debemos de recibir pases con elevaciones superiores a 70°. Por otro lado, los pases han sido recibidos en el mismo lugar y la orografía del terreno no adecuada. Por lo que creemos que afectado algunos pases de elevaciones medias (50-60) de elevación.

6 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

Como mejoras del sistema a desarrollar sería interesante, automatizar los pases y tener una estación totalmente autónoma e independiente, para ellos deberíamos de implementar un computador de bajo coste, tipo *Raspberry Pi* para automatizar las pasadas de los satélites, con una serie de scripts que activaran la escucha del SDR, con una configuración preestablecida, con la frecuencia portadora del satélite, la ganancia, ancho de banda y tipo de modulación. Hay una librería disponible llamada *librtlsdr* escrita en C, que permite automatizar el pase y grabar el archivo de audio.

Otro punto interesante sería el de usar una antena de alta ganancia tipo Yagi-Uda, para ello debemos de utilizar un dispositivo que trace la órbita del satélite sobre nuestro campo de visión, sería necesario un tracking o rotor que haga el seguimiento al satélite, el problema es que este dispositivo es bastante caro y de manera casera es complejo y tedioso.

Con el dispositivo de seguimiento y una antena de alta ganancia podríamos intentar captar otras señales de NOAA u otros satélites, los satélites NOAA captados tienen varias señales en 1.7 MHz tiene la señal HRPT, que transmite señales en alta resolución y en color.

Sobre las mejoras en el sistema realizado una sería emplear el uso de un BALUN para corregir la alimentación asimétrica que realizamos mediante el cable coaxial RG-58, esto mejoraría el diagrama de radiación y la adaptación de impedancias.

7 ANEXO



Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded
with Black PVC (NC) Jacket

RF Cables Technical Data Sheet

RG58C/U

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	196.85		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]

Click the following link (or enter part number in "SEARCH" on website) to obtain additional part information including price, inventory and certifications: [Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC \(NC\) Jacket RG58C/U](#)

Pasternack Enterprises, Inc. • P.O. Box 16759, Irvine, CA 92623
Phone: (866) 727-8376 or (949) 261-1920 • Fax: (949) 261-7451
Sales@Pasternack.com • Techsupport@Pasternack.com

© 2017 Pasternack Enterprises All Rights Reserved

RG58C/U REV 1.3

ISO 9001:2008 Registered



1



Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded
with Black PVC (NC) Jacket

RF Cables Technical Data Sheet

RG58C/U

First Shield	Tinned Copper Braid	0.138 in [3.51 mm]
Jacket	PVC (NC), Black	0.195 in [4.95 mm]

Environmental Specifications

Temperature

Operating Range -40 to +80 deg C

Compliance Certifications (see [product page](#) for current document)

Plotted and Other Data

Notes:

Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC (NC) Jacket from Pasternack Enterprises has same day shipment for domestic and International orders. Our RF, microwave and millimeter wave products maintain a 99.4% availability and are part of the broadest selection in the industry.

Click the following link (or enter part number in "SEARCH" on website) to obtain additional part information including price, inventory and certifications: [Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC \(NC\) Jacket RG58C/U](#)

URL: <https://www.pasternack.com/flexible-0.195-rg58-50-ohm-coax-cable-pvc-jacket-rg58c-u-p.aspx>

The information contained in this document is accurate to the best of our knowledge and representative of the part described herein. It may be necessary to make modifications to the part and/or the documentation of the part, in order to implement improvements. Pasternack reserves the right to make such changes as required. Unless otherwise stated, all specifications are nominal. Pasternack does not make any representation or warranty regarding the suitability of the part described herein for any particular purpose, and Pasternack does not assume any liability arising out of the use of any part or documentation.

Pasternack Enterprises, Inc. • P.O. Box 16759, Irvine, CA 92623
Phone: (866) 727-8376 or (949) 261-1920 • Fax: (949) 261-7451
Sales@Pasternack.com • Techsupport@Pasternack.com

ISO 9001:2008 Registered

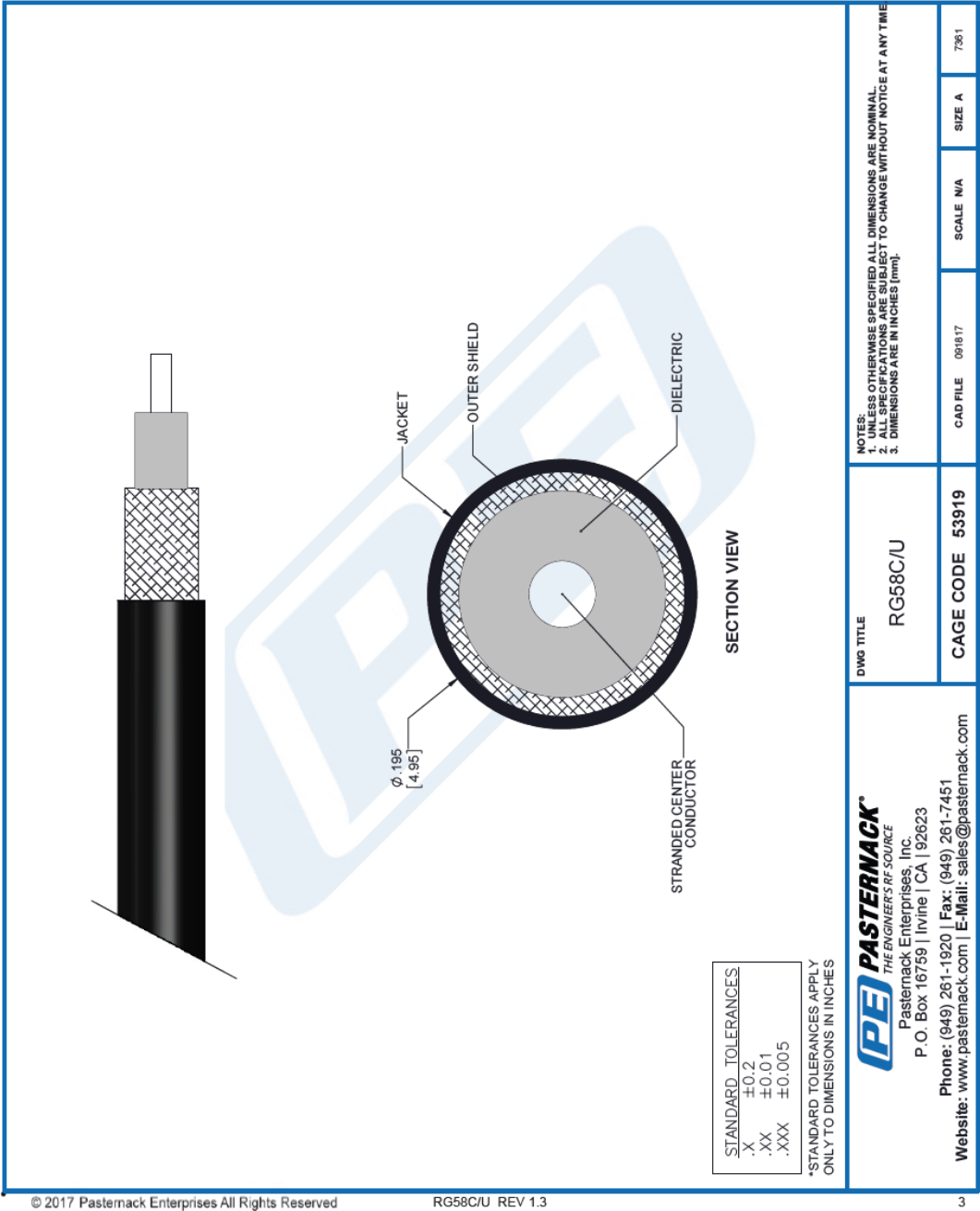


© 2017 Pasternack Enterprises All Rights Reserved

RG58C/U REV 1.3

2

RG58C/U CAD Drawing
Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC (NC) Jacket



8 Bibliografía

1. OSPO. Office of Satellite And Product Operations. [Online]
<https://www.ospo.noaa.gov/Operations/POES/status.html>. [Accessed: 2023]
2. NOAA. SYSTEM, INTRODUCTION TO THE NOAA KLM. [Online] 2009.
<https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/satellite/publications/podguides/N-15thruN-19/pdf/1.8Section1.0IntroductiontotheNOAAKLMSystem.pdf>. [Accessed: 2023]
3. NOAA. User's Guide for Building and Operating. [Online] 2009.
https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users_Guide-Building_Receive_Stations_March_2009.pdf. [Accessed: 2023]
4. A. Arboleya. [Online] Universidad de Oviedo, 2014. <https://docplayer.es/87316039-El-formato-de-imagenes-apt-de-los-satelites-noaa.html>. [Accessed: 2023]
5. C. Marcos Martín. Aemet. [Online]
<https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/10088>. [Accessed: 2023]
6. R. Martínez Rodríguez-Osorio. Parámetros orbitales Formato TLE de NORAD. [Online] 2008. https://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/csat/material/CSA08-2-FormatoTLE_2p.pdf. [Accessed: 2023]
7. N2YO. [Online] <https://www.n2yo.com/satellite/?s=33591#results>. [Accessed: 2023]
8. M.Tooley and D. Wyatt. *Aircraft Communications and Navigation Systems*. Burlington : Elsevier, 2007. [Accessed: 2023]
9. Cenit. Real Academia Española. [Online] <https://www.rae.es/dpd/cenit>. [Accessed: 2023]
10. Gpredict. [Online] <http://gpredict.oz9aec.net/>. [Accessed: 2023]
11. MathWorks. [Online] <https://es.mathworks.com/help/aeroblks/orbitpropagator.html>. [Accessed: 2023]
12. Pypi. [Online] <https://pypi.org/project/ephem/>. [Accessed: 2023]
13. Celestrak. [Online] <https://celestrak.org/>. [Accessed: 2023]

14. CSIC. [Online] Centro astrobiologia. https://partner.cab.inta-csic.es/index.php?Section=Curso_Fundamentos_Capitulo_4. [Accessed: 2023]
15. RTL-SDR. [Online] 2017. <https://www.rtl-sdr.com/simple-noaameteor-weather-satellite-antenna-137-mhz-v-dipole/>. [Accessed: 2023]
16. . D. Rocco, M. Midrio and C. De Angelis. *Polarization Independent Unidirectional Scattering With Turnstile Nanoantennas*, IEEE, 2020, Vol. 12.
17. Turnstile, Antena. [Online] <https://ea7eerblog.wordpress.com/2017/09/27/antena-turnstile-para-noaa/>. [Accessed: 2023]
18. Á. Cardama y otros. *Antenas*. Universitat Politècnica de Catalunya, 1998.
19. S. Uda, "Wireless beam of short electric waves", J. Inst. Elect. Eng. (Japan), vol. 452, pp. 273-282, Mar. 1926.
20. H. Yagi, "Beam transmission of the ultra short waves", Proc. IRE, vol. 26, pp. 715-741, Jun. 1928.
21. ResearchGate. [Online] https://www.researchgate.net/figure/Figura-3- Caracteristicas-fisicas-de-la-antena-Uda-Yagi-Estas-antenas-poseen-como_fig1_312056716. [Accessed: 2023]
- 22 C. C. Kilgus, "Resonant quadrifilar helix design", Microwave Journal, Vol 13, pp. 49–54, 1970
23. J. Coppens. *jcoppens.com*. [Online] <http://jcoppens.com/ant/qfh/index.php>. [Accessed: 2023]
24. J.R Machado Fernández. *Software Defined Radio: Basic Principles and Applications*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2015.
25. RTL-SDR. [Online] <https://www.rtl-sdr.com/>. [Accessed: 2023]
26. Boletín oficial del estado . Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. [Online] 13 de 07 de 2020. <https://www.boe.es/eli/es/o/2020/07/13/etd666>. [Accessed: 2023]
27. L. Guangxi, P. Chen and Z. Zhiyuan. *Development and Application of SAW Filter*. Micromachines, 2022.

28. A. Balanis Constantine. *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN*. John Wiley & Sons, 2005.
29. B. SLADE. *The basics of quadrifilar helix antennas*. Orban Microwave Inc, 2015.
30. RTL. rtl-sdr. [Online] <https://www.rtl-sdr.com/tag/sdrsharp/>. [Accessed: 2023]
31. A.Wahl. GitHub. [Online] <https://github.com/alexwahl/SDRSharp.GpredictConnector/>. [Accessed: 2023]
32. M. Bernardi. [Online] <https://noaa-apt.mbernardi.com.ar/index.html>. [Accessed: 2023]
33. Render Cloud. [Online] <https://render.com/docs/deploy-django>. [Accessed: 2023]