

Universidad Nacional de San Juan  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Electrónica

PROYECTO INTEGRADOR DEL ÁREA TELECOMUNICACIONES  
**“Recepción de imágenes de satélites meteorológicos a través del sistema APT”**

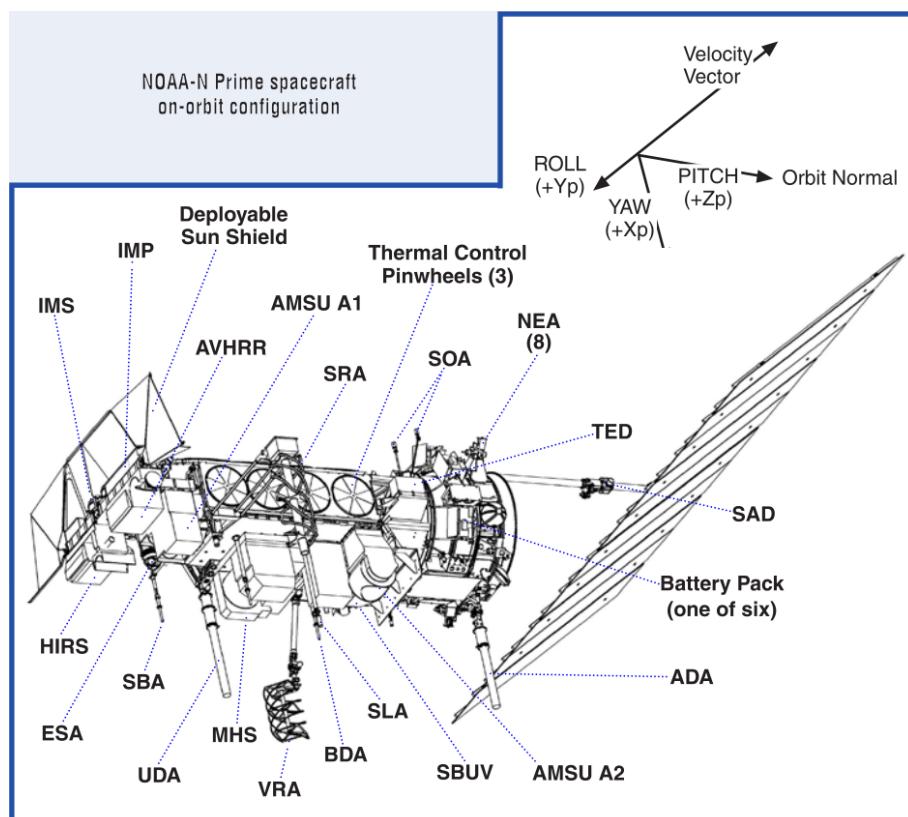
Edwin Barragán      23714  
Pablo Aguado      23724

2015



## CONTENIDO

1. Introducción.....	2
2. Automatic Picture Transmission .....	2
Historia.....	2
AVHRR .....	3
Transmisiones.....	7
Formato.....	7
Hardware para transmisión y recepción.....	10
Software para decodificación .....	13
Satélites con APT.....	13
Futuro de APT.....	13
3. Hardware utilizado .....	14
4. Recepción .....	15
5. Ancho de banda.....	24
6. Análisis de la señal recibida .....	26
7. Conclusiones .....	29
8. Referencias y enlaces de interés .....	30
Anexo 1: Imágenes captadas.....	32
Anexo 2: Código de Matlab .....	36



## **1. INTRODUCCIÓN**

---

El objetivo general de este proyecto es utilizar y relacionar los conocimientos adquiridos durante el cursado de la carrera Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional de San Juan, en el área Telecomunicaciones, comprendiendo las materias Propagación y Radiación, Telecomunicaciones I (analógicas) y Telecomunicaciones II (digitales). Elegimos intentar la recepción de imágenes provenientes de satélites meteorológicos de órbita polar, ya que lo consideramos un desafío interesante y motivador que podía abarcar varias áreas de conocimiento. Nos enfocamos en el sistema *Automatic Picture Transmission* (APT, Transmisión Automática de Imágenes) ya que es el que puede recibirse con equipamiento de uso general en comunicaciones, y además disponible para nuestro uso. Cabe destacar que los satélites en cuestión orbitan a 800 km de altura a una velocidad de 27.000 km/h, transmitiendo APT con una potencia de sólo 5 W. En este informe detallaremos el sistema y luego daremos cuenta de los intentos llevados a cabo, mencionando los problemas y soluciones encontradas.

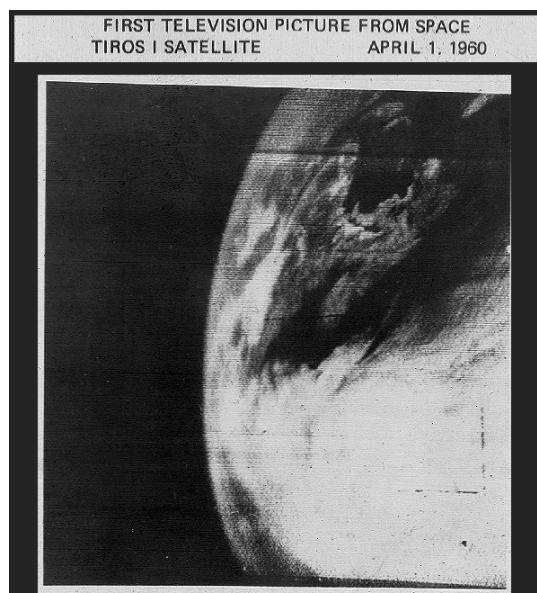
## **2. AUTOMATIC PICTURE TRANSMISSION**

---

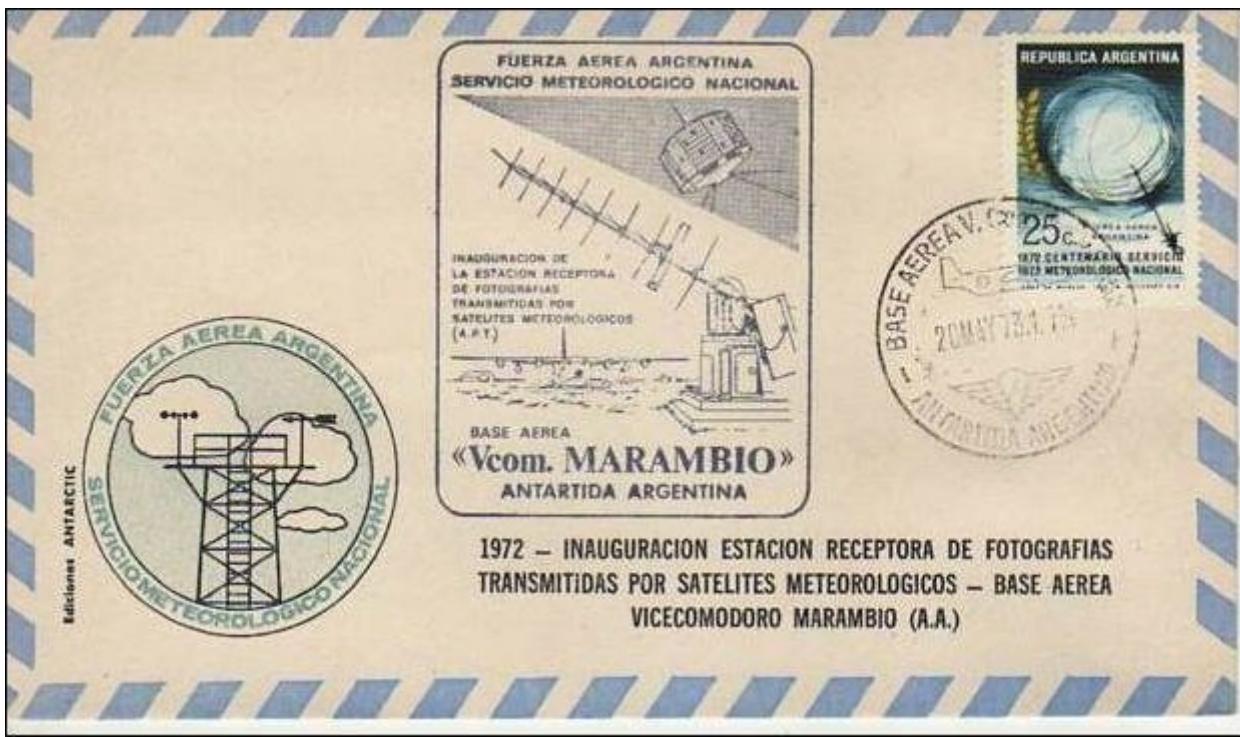
### **Historia**

A principios de la década de 1960, las imágenes enviadas por satélites meteorológicos eran recibidas y analizadas por meteorólogos de las agencias que operaban los proyectos. Los meteorólogos elaboraban cartas e interpretaciones que luego enviaban por tierra o fax a diversos centros de pronóstico del mundo. Muchas veces esta información llegaba demasiado tarde como para ser de utilidad práctica.

Por esta razón se desarrollaron sistemas conocidos como “de difusión directa” o “lectura directa”, que transmiten imágenes en tiempo real a estaciones terrestres que estén en su rango, sin necesidad de permiso o pago alguno. Estas imágenes fueron diseñadas con un formato que pudiese ser recibido y demodulado con equipamiento relativamente accesible. Uno de estos sistemas de lectura directa es APT, funcionando en forma muy similar a la televisión de la época. El primer sistema APT fue implementado en el satélite TIROS-VIII (*Television InfraRed Observation Satellite*), lanzado en diciembre de 1963, siendo este el octavo satélite de la serie TIROS de la NASA (el satélite TIROS-I, lanzado en 1960, fue el primer satélite en sensar remotamente la tierra). APT y sus mejoras o sistemas similares formaron parte del resto de la serie TIROS, dos satélites NIMBUS, la serie ESSA, la serie ITOS, la serie NOAA (todos de Estados Unidos), la serie METEOR rusa, y algunos Feng Yun chinos. Todos estos satélites son de órbita terrestre baja (entre 160 km y 2000 km de altura), y al menos desde 1978 de órbita polar y heliosincrónica, lo que permite obtener imágenes al menos dos veces por día y siempre a la misma hora (o aproximada).



Además de proveer información para el estudio de la tierra, APT demostró ser de utilidad invaluable para la predicción meteorológica de corto plazo en todo el mundo, especialmente en lugares remotos como islas y barcos en el océano. A modo de ejemplo, una estampa conmemorativa (cachet) de la inauguración en 1972 de una estación receptora de APT en la Base Marambio.



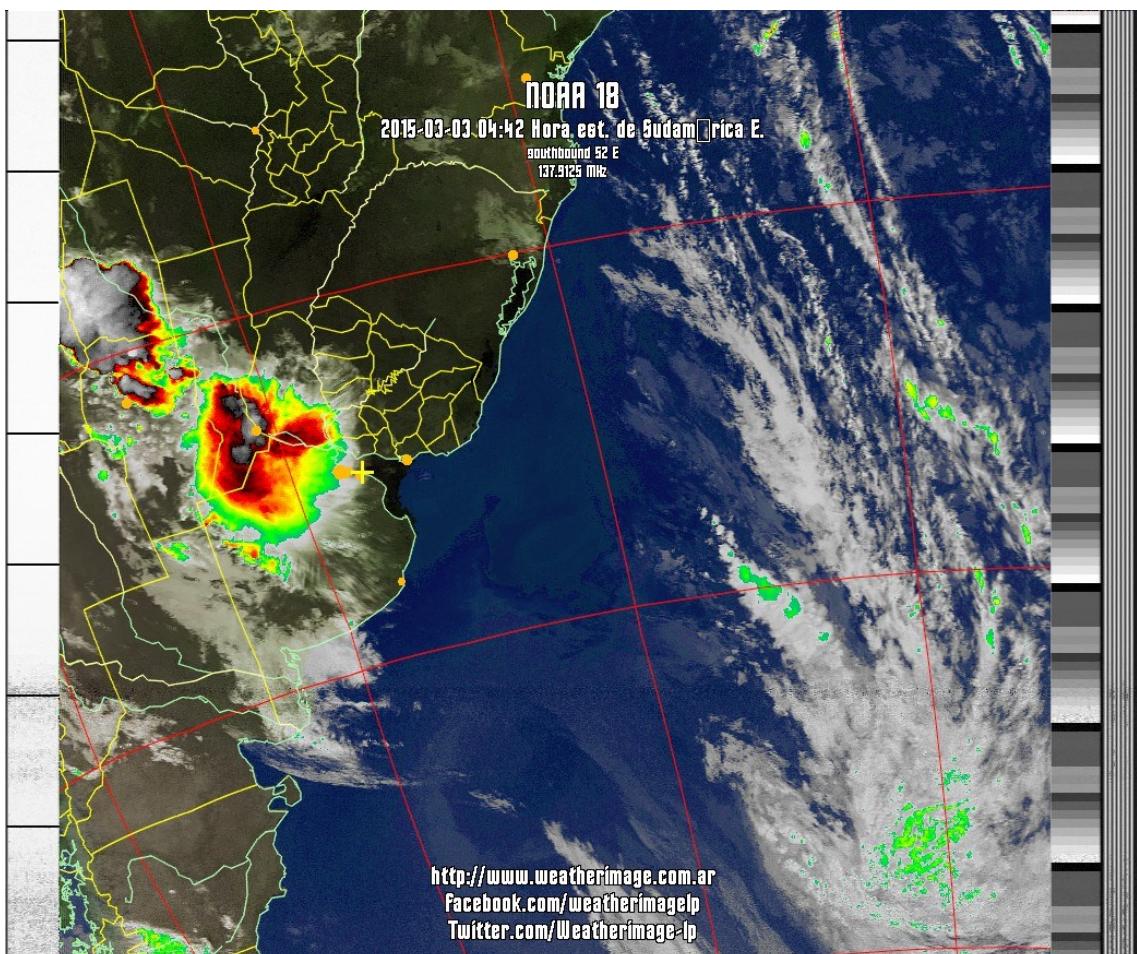
### AVHRR

El sistema APT transmite en forma analógica la información preprocesada (y con una resolución disminuida) de dos canales de un Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR, *Advanced Very High Resolution Radiometer*). Éste es un instrumento que mide la emisión/reflexión terrestre de ondas electromagnéticas en distintas porciones del espectro. Básicamente, consiste en un sistema de diversas lentes, un espejo giratorio y sensores electrónicos sensibles a distintas longitudes de onda. Su funcionamiento es análogo al de una cámara fotográfica, pero no construye las imágenes en una sola toma, sino que las forma escaneando líneas perpendiculares a la órbita a medida que se mueve. Las últimas versiones de AVHRR poseen 6 canales:

Canal	Rangopectral [μm]	Interpretaciones y usos principales
1	0,58 - 0,68 (visible, color rojo)	Delimitación de nubes y superficie durante el día, derretimiento de hielos y nieve.
2	0,725 - 1,00 (cercano al infrarrojo)	Delimitación de agua y superficie, temperatura del mar, índice de vegetación.
3A	1,58 - 1,64 (cercano al infrarrojo)	Discriminación nieve/hielo
3B	3,55 - 3,93 (infrarrojo/térmico)	Incendios forestales, temperatura de la superficie, mapeo de nubes
4	10,30 - 11,30 (infrarrojo/térmico)	Temperatura del mar, mapeo de nubes, humedad del suelo
5	11,50 - 12,50	Temperatura del mar, mapeo de nubes

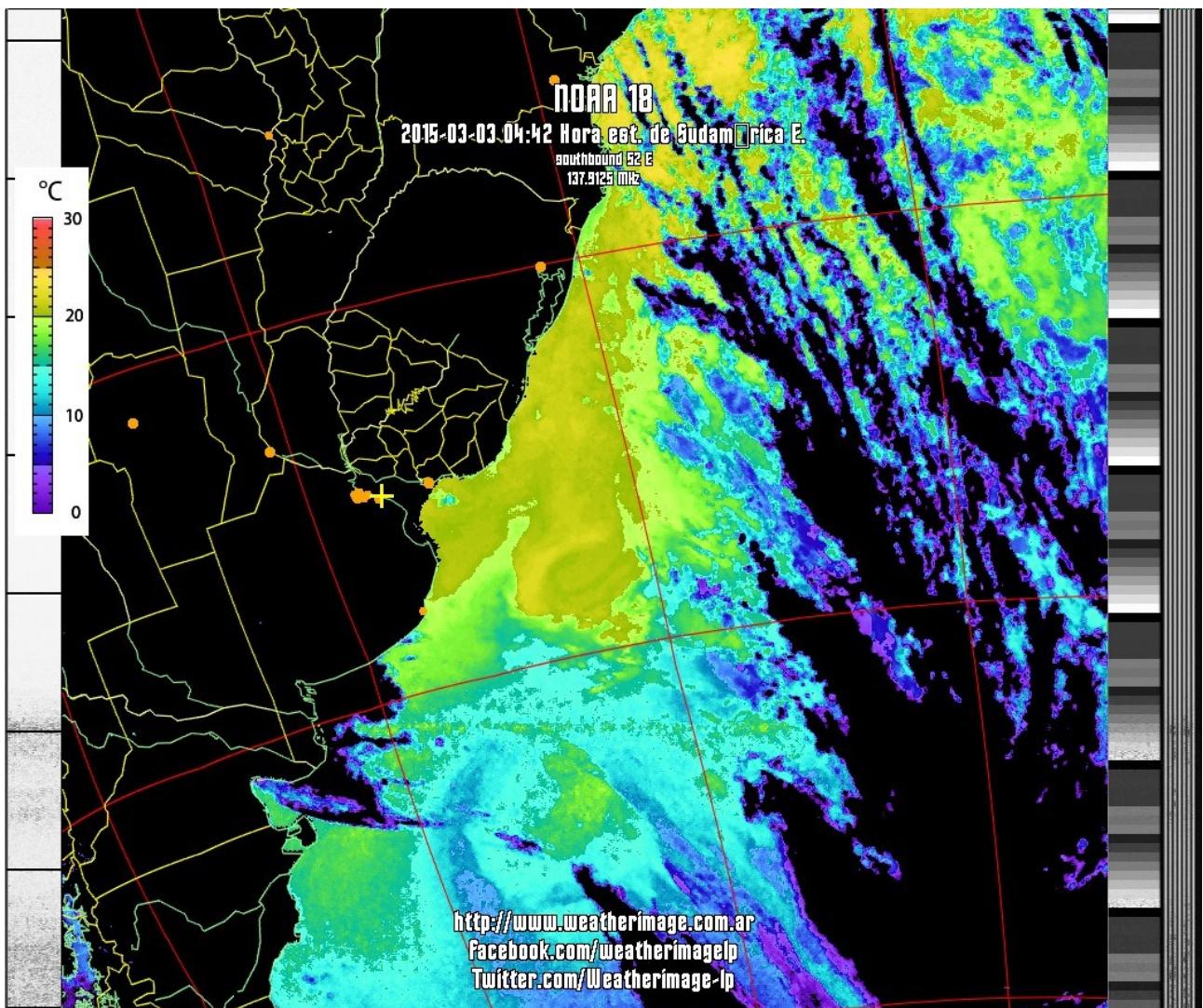
El AVHRR genera imágenes de 2048 pixeles por línea, con una resolución máxima de 1,08 km/pixel en la zona inmediatamente por debajo del satélite (nadir). La resolución disminuye mientras más se aleja el pixel del nadir, llegando hasta unos 5 km/pixel en los extremos.

Las imágenes de los distintos canales permiten analizar diversos fenómenos, descritos en la tabla. Esto es posible porque dichos fenómenos pueden identificarse con un nivel determinado de radiación en algún sector del espectro. Son encontrados en las imágenes a través de diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes. Mostramos algunos ejemplos:



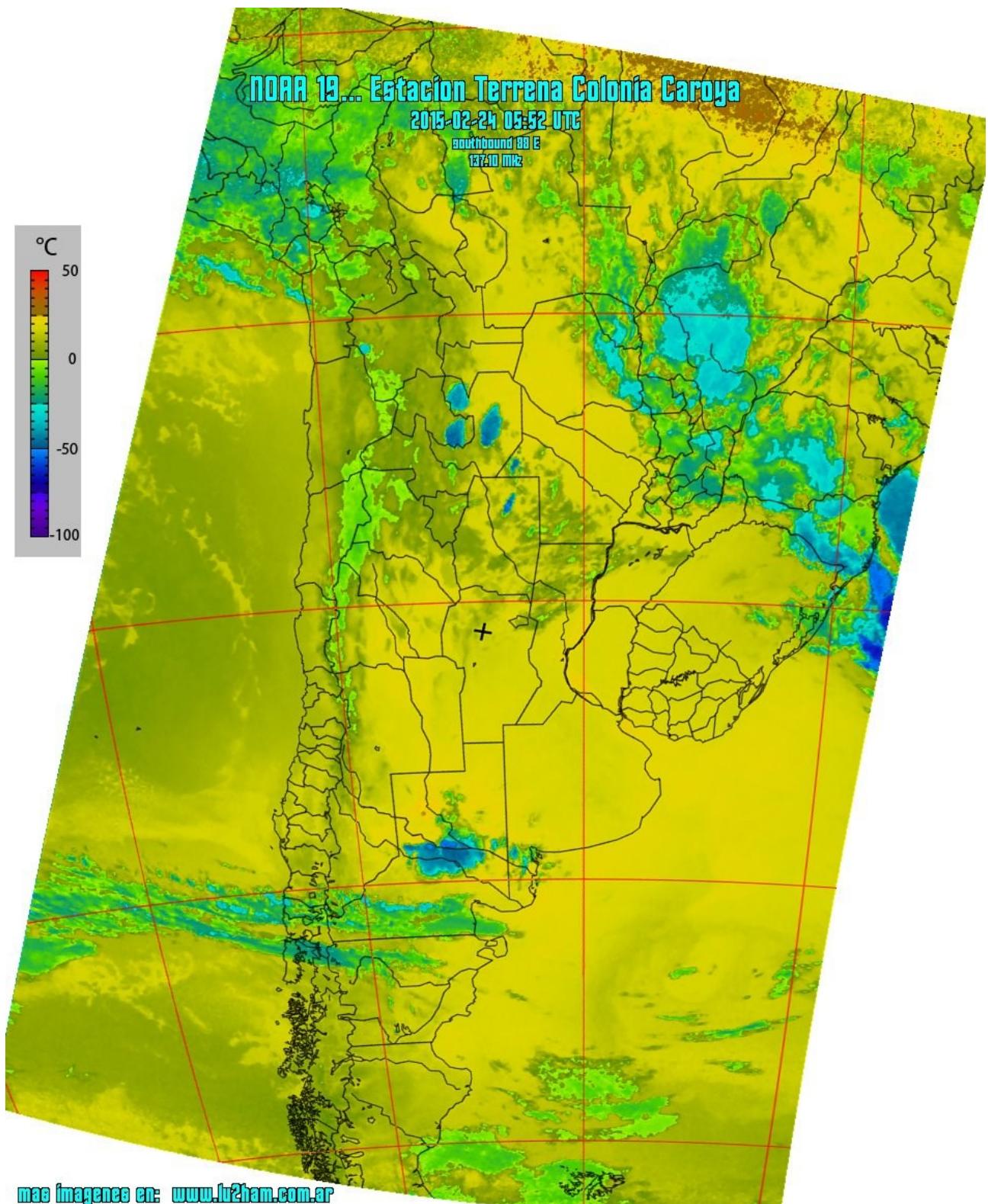
NOAA 18 Southbound 52° E on 137.9125MHz, MCIR with Precipitation Enhancement, Normal Projection, Channel A: 3 (Mid Infrared), Channel B: 4 (Thermal Infrared) – Este filtrado permite realzar aquellas zonas en donde muy probablemente hay precipitaciones. Tomada por Alberto Petruccelli en Villa Elisa, Argentina.

<http://www.weatherimage.com.ar/wxtoimg/images.html>



NOAA 18 Southbound 52° E on 137.9125MHz, Sea Surface Temperature Enhancement, Normal Projection, Channel A: 3 (Mid Infrared), Channel B: 4 (Thermal Infrared) – Este filtrado realza la temperatura de la superficie marina. Tomada por Alberto Petruccelli en Villa Elisa, Argentina.

<http://www.weatherimage.com.ar/wxtoimg/images.html>



NOAA 19 Southbound 88° E on 137.10MHz, Thermal Enhancement, Orthographic Projection, Channel A: 3 (Mid Infrared), Channel B: 4 (Thermal Infrared) – Este filtrado permite una rápida visualización de las temperaturas de las nubes. Tomada por Mario Wolcoff (LU2HAM) en Colonia Caroya, Córdoba.

<http://www.azafranplanb.com.ar/template1.html>

## Transmisiones

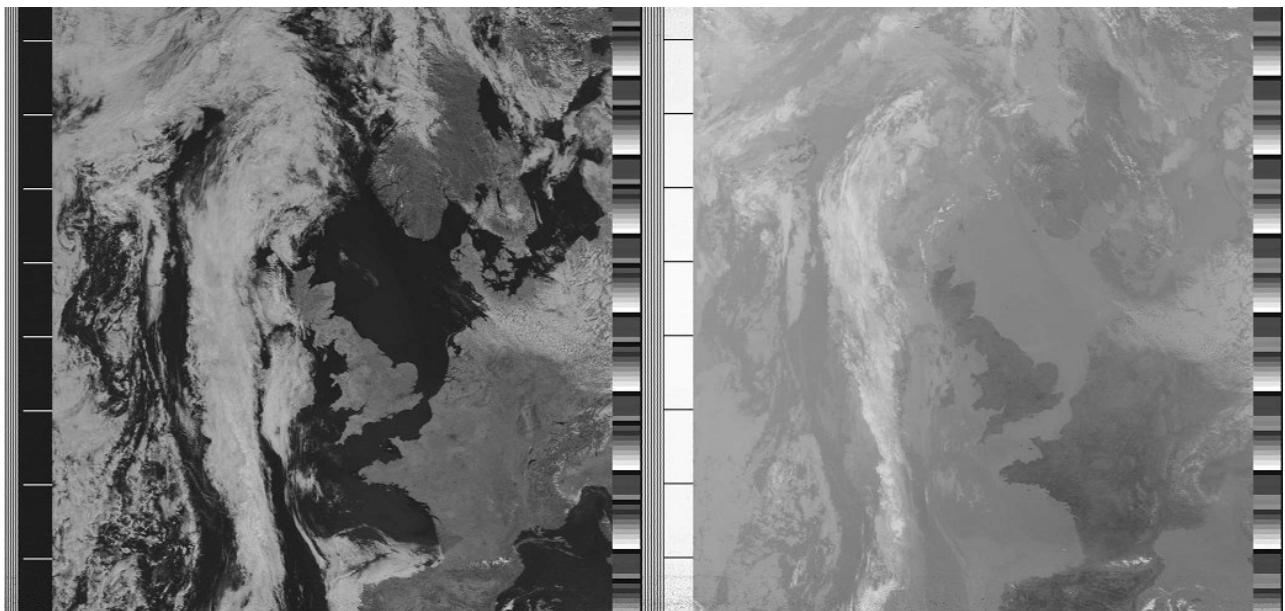
Toda la información generada por el AVHRR es transmitida de 4 formas a estaciones terrestres:

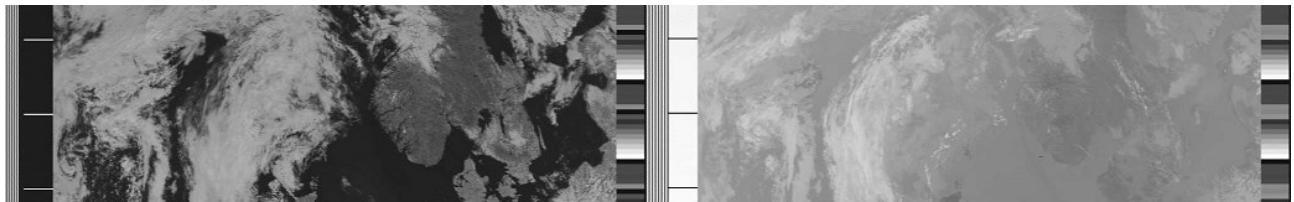
1. **High Resolution Picture Transmission** (HRPT, Transmisión de Imágenes en Alta Resolución). Esta es una transmisión digital en tiempo real de las imágenes que genera el AVHRR en 5 de sus canales, más la información de otros sensores. Las imágenes son monocromáticas de 10 bits de profundidad y tienen la máxima resolución posible. La codificación es del tipo Manchester / Bifase-L y la modulación es de fase en 1,7 GHz, logrando una tasa de transmisión de 665400 bits/s o 66540 palabras/s.
2. **Global Area Coverage** (LAC, Cobertura de Área Global). Imágenes de resolución disminuida (4 km/pixel en promedio) de diversas regiones de la tierra que son transmitidas a estaciones de la agencia NOAA cuando esta lo requiera.
3. **Local Area Coverage** (GAC, Cobertura de Área Local). Imágenes de alta resolución de puntos específicos de la tierra que son transmitidas a estaciones de la agencia NOAA cuando esta lo requiera.
4. **Automatic Picture Transmission** (APT, Transmisión Automática de Imágenes). Transmisión en tiempo real de resolución reducida. Para mantener una tasa de datos relativamente baja y con ello minimizar los costos del equipamiento de recepción, APT transmite sólo 2 canales de información (1 en el caso de los satélites Meteor rusos). En general, el canal B de APT transmite los datos del canal 4 del AVHRR, mientras que el canal A transmite el canal 1 (visible) o alguno infrarrojo según sea la iluminación de la superficie de la tierra. La resolución reducida se logra tomando solo  $\frac{1}{3}$  de las líneas de escaneo generadas por el AVHRR y luego promediando para tener una resolución uniforme de aproximadamente 1,1 km/pixel. Además, las imágenes tienen una profundidad de 8 bits, los más significativos de los datos originales.

La información modula en amplitud (+AM) una sub-portadora de 2400 kHz, y luego esta señal modula en frecuencia (FM) una portadora de 137,100 MHz, que es la que se finalmente se transmite, presentando una tasa de 4160 símbolos/s, equivalentes a 33280 bits/s (20 veces menos que HRPT). El índice de modulación de AM es de  $87\% \pm 5\%$ . El ancho de banda total es de 34 kHz.

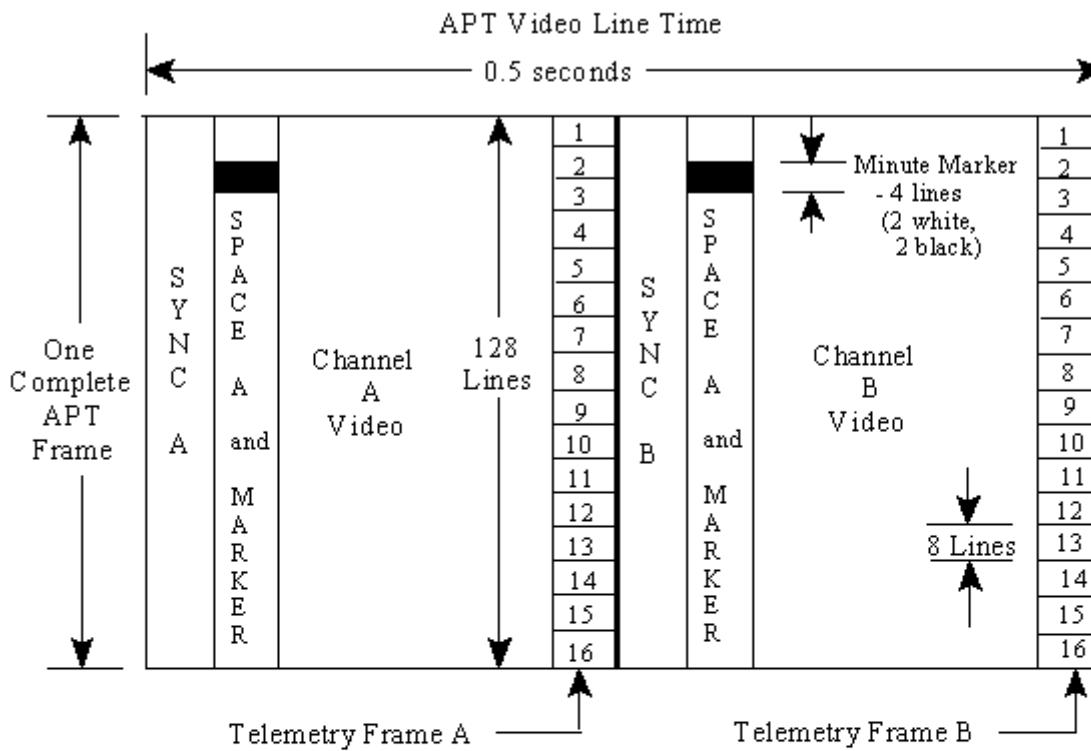
## Formato

La emisión se organiza en líneas horizontales que incluyen los dos canales de imagen más información de telemetría y sincronización. Una línea completa tiene 2080 símbolos/pixeles de ancho, lo que implica que el tiempo de línea es  $2080/4160 = 0,5$  segundos. 128 líneas forman un marco que dura 64 segundos, y en cada marco se repetirá la información de telemetría. Todo esto se puede ver a continuación:





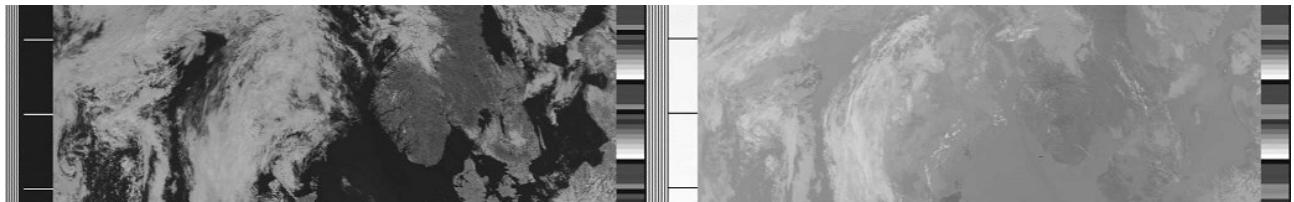
**Figure 4.2.2-1. APT Frame Format.**



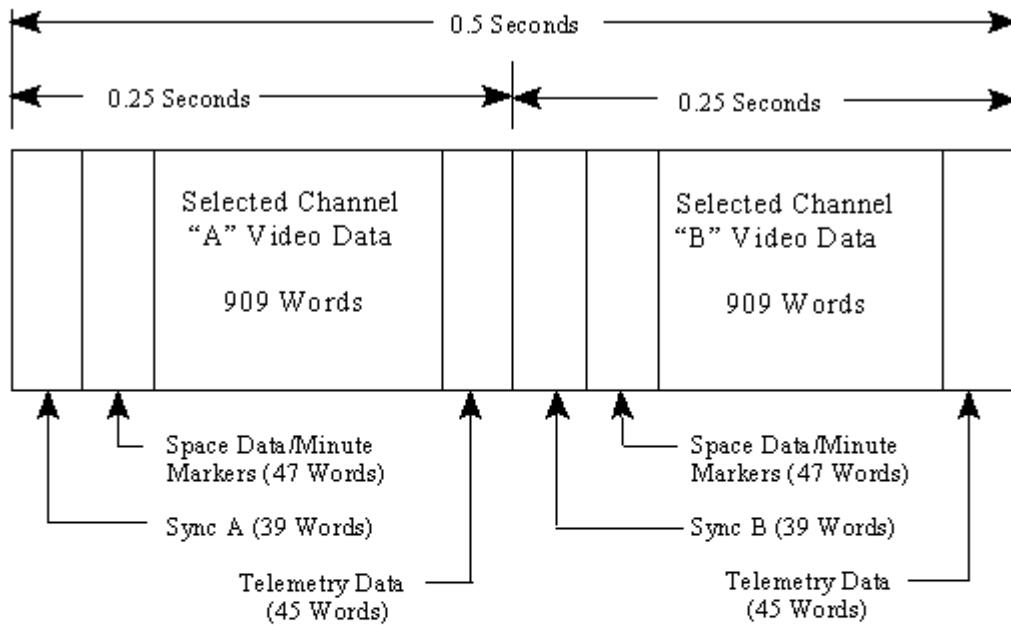
WEDGE #1	WEDGE #2	WEDGE #3	WEDGE #4	WEDGE #5	WEDGE #6	WEDGE #7	WEDGE #8
1	2	3	4	5	6	7	8
Zero Modulation Reference	Thermistor Temp. #1	Thermistor Temp. #2	Thermistor Temp. #3	Thermistor Temp. #4	Patch Temp.	Back Scan	Channel I.D. Wedge
9	10	11	12	13	14	15	16

Notes:

- 1) Each telemetry frames consists of 16 points
- 2) Telemetry frame rate is 1 frame per 84 seconds
- 3) Each telemetry point is repeated on 8 successive APT video lines



**Figure 4.2.3-2. APT Video Line Format.**



Notes:

- 1) Equivalent output digital data rate is 4160 words/second
- 2) Video line rate - 2 lines/second
- 3) APT frame size - 128 lines
- 4) Any two of the five (six for group 505) AVHRR channels may be selected for use
- 5) Sync A is a 1040-Hz square wave - 7 cycles
- 6) Sync B is an 832-pps pulse train - 7 pulses
- 7) Each of the 16 telemetry points is repeated on 8 successive lines
- 8) Minute markers are repeated on 4 successive lines, with 2 lines black and 2 lines white

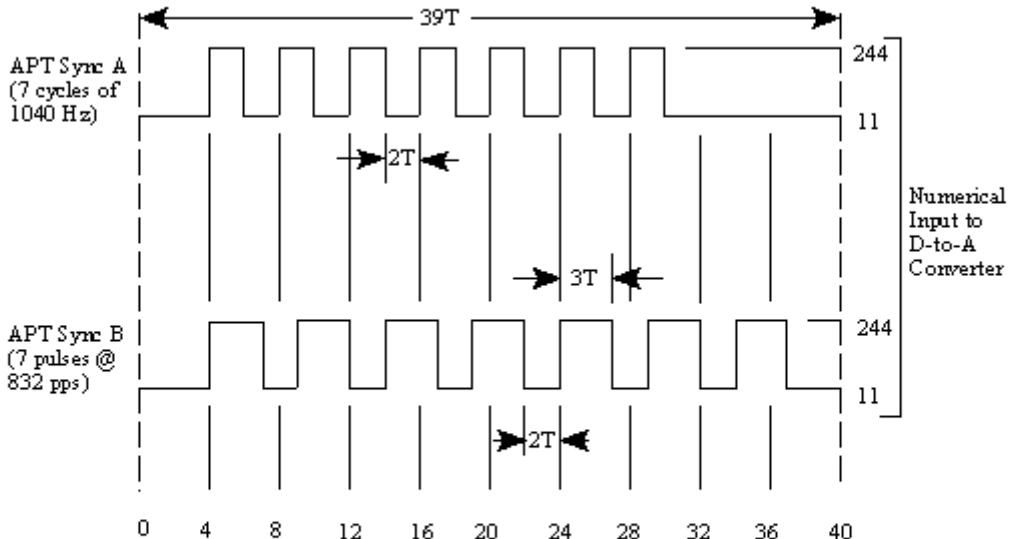
Cada mitad de línea dura 0,25 segundos y contiene:

- Secuencia de sincronización.
- Marcas de minuto y datos del espacio profundo.
- Datos de la imagen de la tierra que está escaneando el AVHRR.
- Segmento de telemetría.

Secuencia de sincronización del canal A: 7 ciclos de una señal cuadrada de 1040 Hz. Se observa como líneas blancas y negras a la izquierda del canal A.

Secuencia de sincronización del canal B: 7 pulsos de una señal cuadrada de 832 pulsos/s con ciclo de trabajo de 3%. Se observa como líneas blancas y negras a la izquierda del canal B, más espaciadas que las del canal A.

**Figure 4.2.3-3. APT Synchronization details.**



Notes:

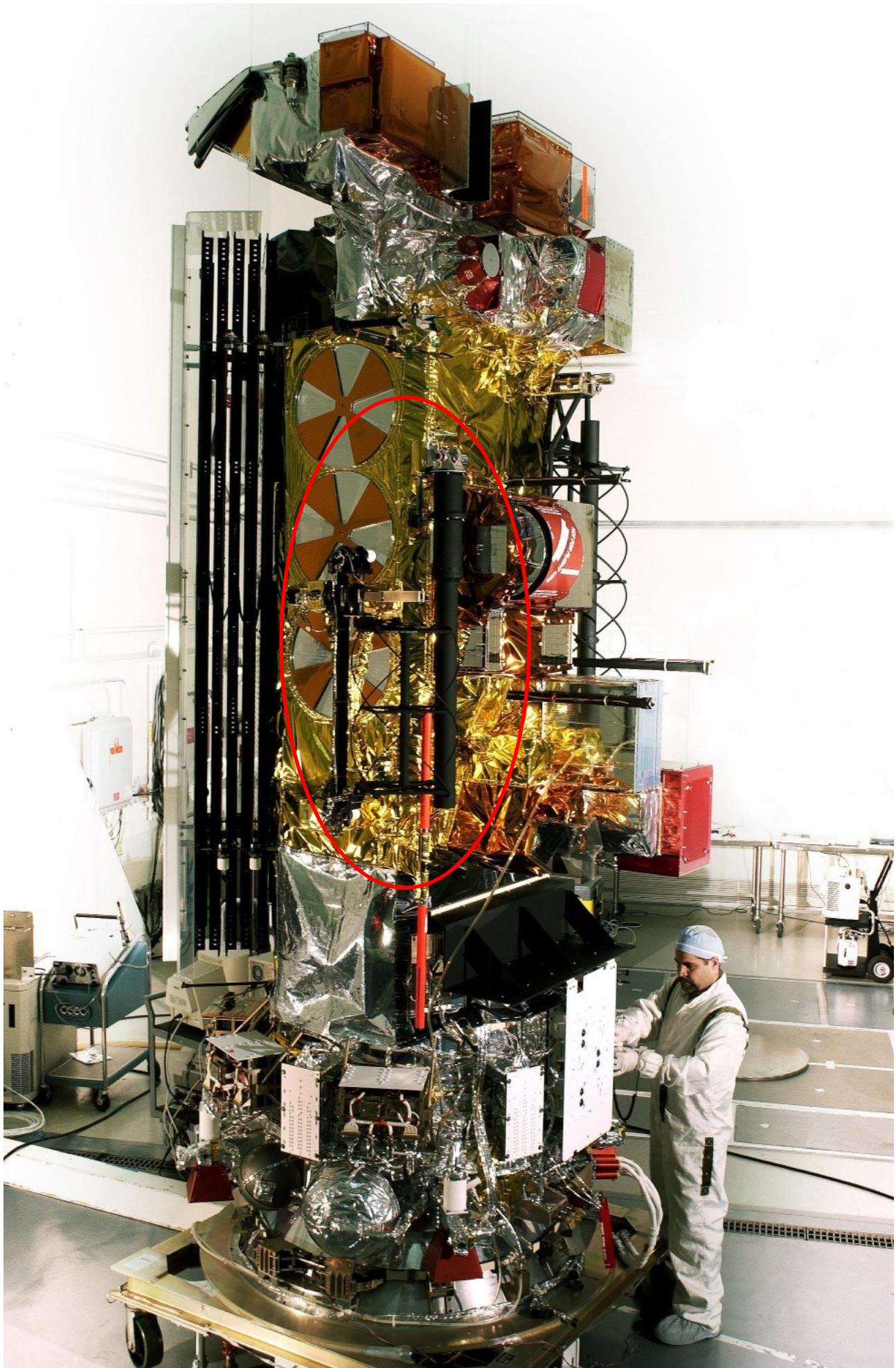
- 1)  $T = 1/4160$  second
- 2) Sync A precedes Channel A data
- 3) Sync B precedes Channel B data

Marcas de minuto y datos del espacio profundo: Se insertan marcas de minuto cada 120 líneas. Entre ellas, se añade información del espacio vacío que se escanea antes de escanear la tierra. En el canal visible serán líneas negras, mientras que en los infrarrojos se forma una línea de color blanco - esto porque el espacio es frío. Los datos del espacio profundo sirven para calibrar la decodificación de la imagen.

Segmentos de telemetría: Información de telemetría que se codifica en 16 segmentos. La información sirve para calibrar la decodificación. Los primeros 8 segmentos son distintas tonalidades de gris que corresponden a diversos niveles de salida del AVHRR. El 9º segmento es corresponde a la portadora de AM sin modular. Los segmentos desde el nº 10 hasta el 15 brindan información sobre la temperatura de los instrumentos y permiten ajustar la información según curvas de calibración. El segmento 16 identifica el canal en uso.

#### Hardware para transmisión y recepción

Los satélites NOAA tienen transmisores de VHF que emiten con una potencia de 5 W (37 dbm). Puesto que los satélites están en constante movimiento, y en particular de los de órbita polar, la transmisión se realiza habitualmente con antenas de polarización circular. Esto es porque señales con polarización lineal serían recibidas con intensidad variable en la tierra, según la orientación del satélite en ese momento. Los satélites NOAA transmiten APT con una polarización circular en sentido de la mano derecha, por medio de una antena helicoidal cuadrafilar (QFH). En la página siguiente, el NOAA-17 en tiempos de ensamblado; se señala la antena QFH, que se desplegará una vez en órbita. La antena en su posición final está graficada en la imagen que acompaña al índice de este trabajo, y se encuentra señalada como VRA (*VHF Realtime Antenna*).

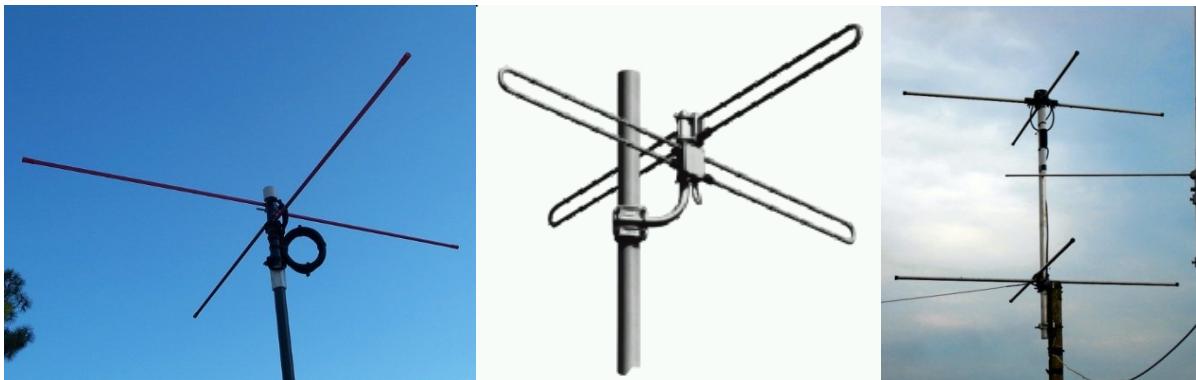


La recepción en tierra será óptima si se realiza con una antena de características similares. Nombramos a continuación dos tipos de antena que pueden construirse fácilmente y con materiales baratos.

**QFH:** Antena helicoidal cuadrafilar, conocida como QFH o QHA por sus siglas en inglés (QuadraFilar Helix - Quadrafilar Helix Antenna). Es una antena helicoidal de modo axial con cuatro hilos o hélices.



**Turnstile (dipolo cruzado):** Consisten en dos dipolos que se encuentran geométrica y eléctricamente en cuadratura. La cuadratura geométrica se logra alineando los dipolos a 90° uno del otro, mientras que la cuadratura en fase se logra añadiendo una tramo de línea de transmisión a uno de los dipolos, retrasando su señal en 90° respecto de la señal del otro.



Como se dijo anteriormente, el ancho de banda de APT en los satélites NOAA de órbita polar es de 34 kHz. Puesto que los satélites se trasladan a una velocidad de aproximadamente 27.000 km/h por el espacio, el efecto Doppler es apreciable y causa desvíos en frecuencia de hasta 5 kHz. El ancho de banda de recepción deberá ser entonces de aproximadamente 40 kHz, pudiendo lograr resultados poco ruidosos hasta con 60 kHz.

Las opciones clásicas para recibir han sido:

- Comprar/construir un equipo receptor diseñado específicamente para APT.
- Modificar un transceptor/escáner de VHF existente.

Esta última opción es viable para equipos no muy modernos, en los cuales se tenga fácil acceso a las partes. Hoy en día contamos con la alternativa de la Radio Definida por Software (SDR, *Software Defined Radio*). En estos sistemas el filtrado, mezclado y la demodulación de las señales se realiza en una computadora o sistema embebido, por lo que la versatilidad es inmensa. Se pueden adquirir equipos receptores muy baratos con rangos de frecuencia de hasta 2 GHz.

### **Software para decodificación**

La recepción, demodulación y almacenamiento de las imágenes se puede hacer con equipamiento especializado diseñado para el caso o por medio de una computadora con software específico. En cualquiera de los casos, si se desea marcar líneas geográficas en la imagen se deberán conocer:

1. Hora local. Pequeños desajustes implicarán grandes desfases entre las imágenes y el mapa.
2. Elementos Keplerianos. Son parámetros que permiten conocer la posición exacta del satélite en un momento dado. Varían en el tiempo por diversas perturbaciones, y por lo tanto deben estar actualizados.
3. Posición local, para determinar con exactitud el paso del satélite.

Para este trabajo nosotros usamos WXtoImg, software gratuito con muchas capacidades. Demodula la señal de AM grabada y la procesa para formar la imagen. Permite aplicar diversos filtros que dan lugar a la interpretación de varios fenómenos. Además, graba la señal recibida como un archivo de audio, para procesamiento posterior.

### **Satélites con APT**

Al momento de realizar este proyecto (febrero de 2015), sólo 3 satélites continúan transmitiendo APT:

<b>Satélite</b>	<b>Lanzamiento</b>	<b>Frecuencia APT</b>	<b>Detalles<sup>1</sup></b>
NOAA-15	13/05/1998	137,6200 MHz	Varios subsistemas presentan problemas o ya no están operativos.
NOAA-18	20/05/2005	137,9125 MHz	Dos subsistemas no operativos.
NOAA-19	02/06/2009	137,1000 MHz	Buen funcionamiento general.

Los tres han cumplido su vida mínima asegurada. Son operados por la agencia de Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) y, en conjunto con los satélites Metop-A y Metop-B son los últimos del proyecto POES (*Polar Orbiting Environmental Satellites*), que será reemplazado por el proyecto JPSS (*Joint Polar Satellite System*).

### **Futuro de APT**

APT se diseñó como un sistema de lectura directa (*Direct Readout*) útil y relativamente accesible para el público general, en una época en que el flujo de información global era nulo o pobre. En 2004 se estimaban entre 5000 y 10000 usuarios únicos de APT. Hoy en día, la tendencia es utilizar la mayor cantidad de datos posible, con la mayor resolución posible, de todas las variables posibles; esto supone la transmisión de una tasa de datos cada vez mayor, difícil de lograr con esquemas analógicos de baja potencia. Además hoy la disponibilidad de conexiones de internet de alta velocidad es muy alta, por lo que a muchos usuarios les conviene obtener los datos desde bases de datos gratuitas (como GEOSS o CLASS) en lugar de construir muy costosas estaciones de recepción. Por todo esto, APT es un sistema que se volverá obsoleto, y no hay planes concretos para construir un sistema similar. Sin embargo, muchas veces la información en tiempo real es indispensable, y la tecnología necesaria para construir estaciones que puedan recibir otros tipos de *direct readout* es ahora mucho más accesible, por lo que los usuarios de APT migran hacia otros esquemas.

---

<sup>1</sup> <http://www.ospo.noaa.gov/Operations/POES/status.html>

### 3. HARDWARE UTILIZADO

Para recibir la señal de los satélites usamos:

1. Transceptor multibanda de radioaficionados Yaesu FT-857. El receptor es un superheterodino de doble conversión. El ancho de banda para FM es de menos de 15 kHz:

<b>Selectivity</b> (-6/-60 dB):	SSB/CW: 2.2 kHz/4.5 kHz AM: 6 kHz/20 kHz FM: 15 kHz/30 kHz FM-N: 9 kHz/25 kHz
---------------------------------	--



2. Transceptor VHF FM de radioaficionados FT-1802M. El receptor es un superheterodino de doble conversión. El ancho de banda de los filtros de frecuencia intermedia es de menos de 12 kHz:

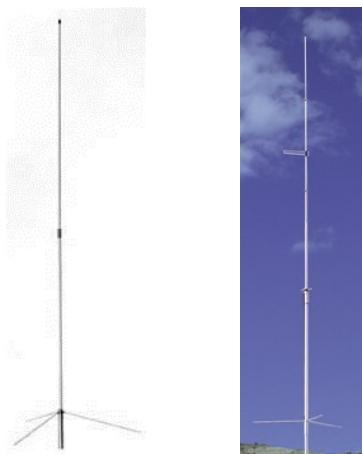
<b>Selectivity</b> (-6/-60dB):	12 kHz/28 kHz (Wide) 9 kHz/22 kHz (Narrow)
--------------------------------	---



3. Analizador de espectro Insteek GSP-810 provisto por la cátedra. Puede utilizarse para demodular, con un ancho de banda de recepción de 220 kHz y un ancho de banda del filtro de frecuencia intermedia de 30, 75 o 120 kHz:

Receiver	
WB FM	120 kHz deviation
MB FM	75 kHz deviation
NB FM	30 kHz deviation
AM	
Outputs	Internal speaker, 3.5mm stereo jack, wired for mono operation

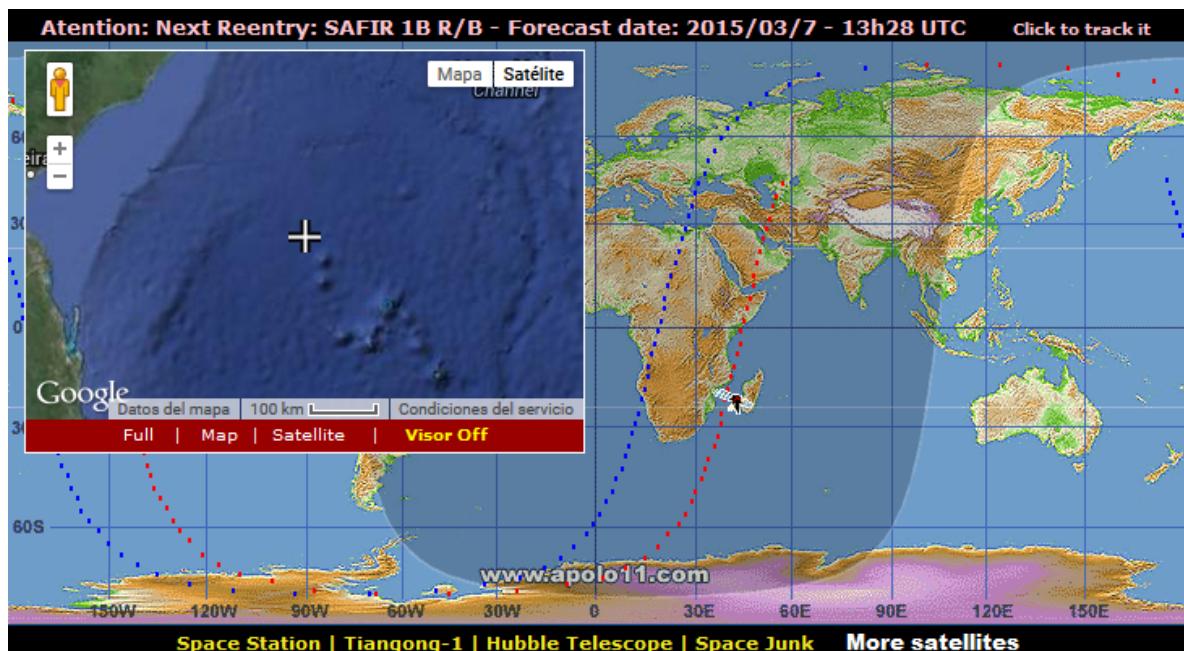
4. Antena omnidireccional símil Diamond X300, con ganancia de 6,5 dBi. Montada a 5 metros de altura, en un techo. Sintonizada a 146 MHz.
5. Antena omnidireccional marca "Proyectos Creativos", símil Ringo Ranger 2, con ganancia de 5,5 dBi. Su base está a 4 metros de altura en un techo. En un principio sintonizada a 146 MHz, luego ajustada a 137 MHz.
6. Antena direccional WALMAR MA-1240 tipo Yagi de dos elementos para la banda de 40 metros, sintonizada a 7 MHz. Tiene una ganancia de 7,85 dBi y se encuentra montada en una torre de 24 metros de altura.



#### 4. RECEPCIÓN

El primer intento de recepción fue fructífero en el sentido de que se recibió la señal del satélite NOAA-19, aunque con mucho ruido. Nótese como la intensidad de la señal aumenta al acercarse el satélite. La información fue insuficiente para generar una imagen postprocesada con falso color.

Previmos y observamos el paso del satélite por medio de [www.satview.org](http://www.satview.org), que también permite visualizar la posición de una gran variedad de satélites en tiempos pasados.



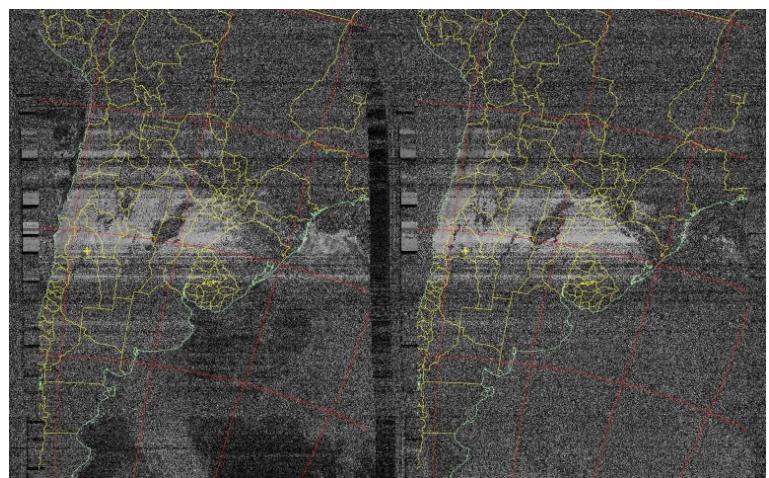
Satélite: NOAA-19

Día: 16/02/15

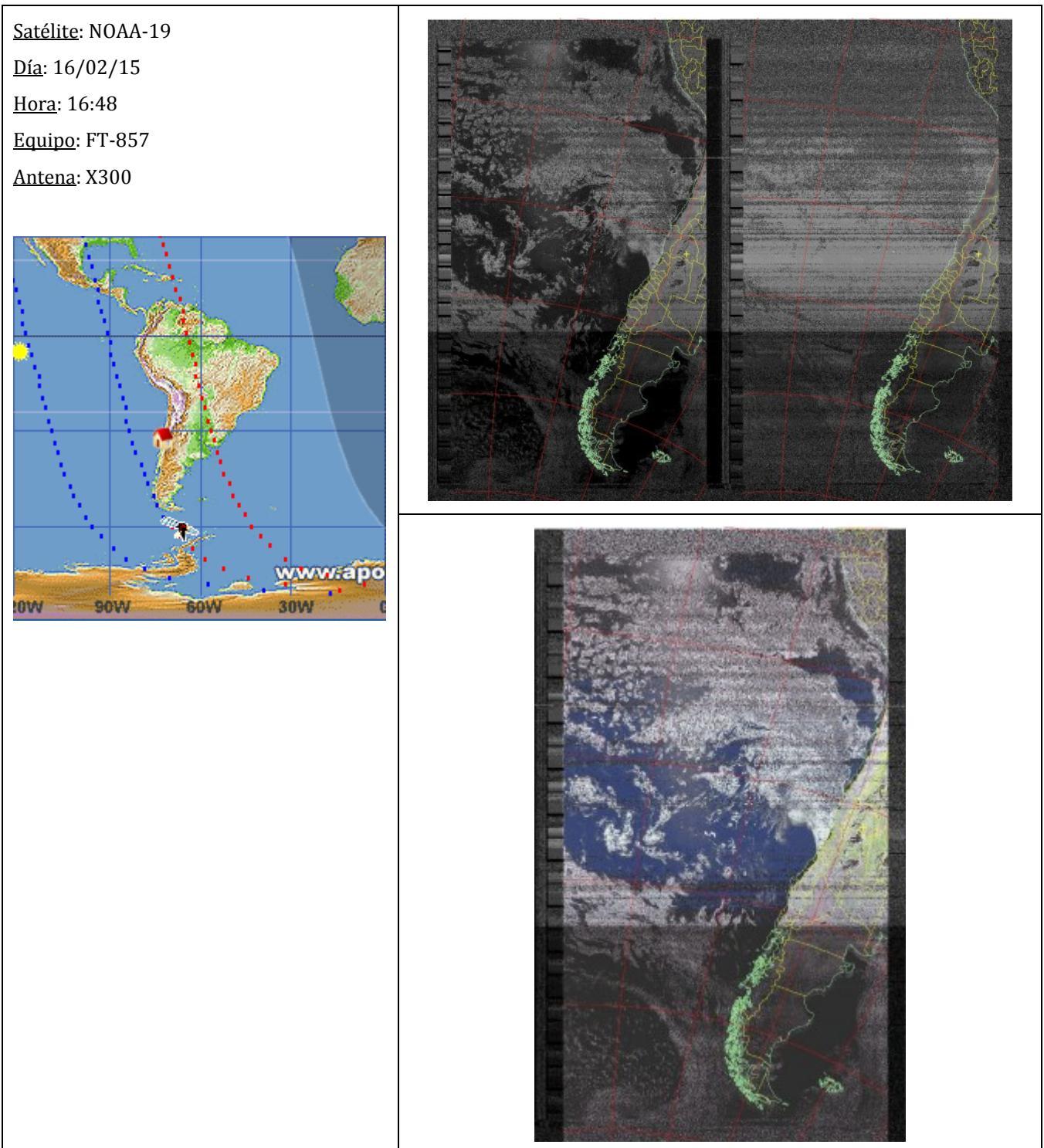
Hora: 15:09

Equipo: FT-1802M

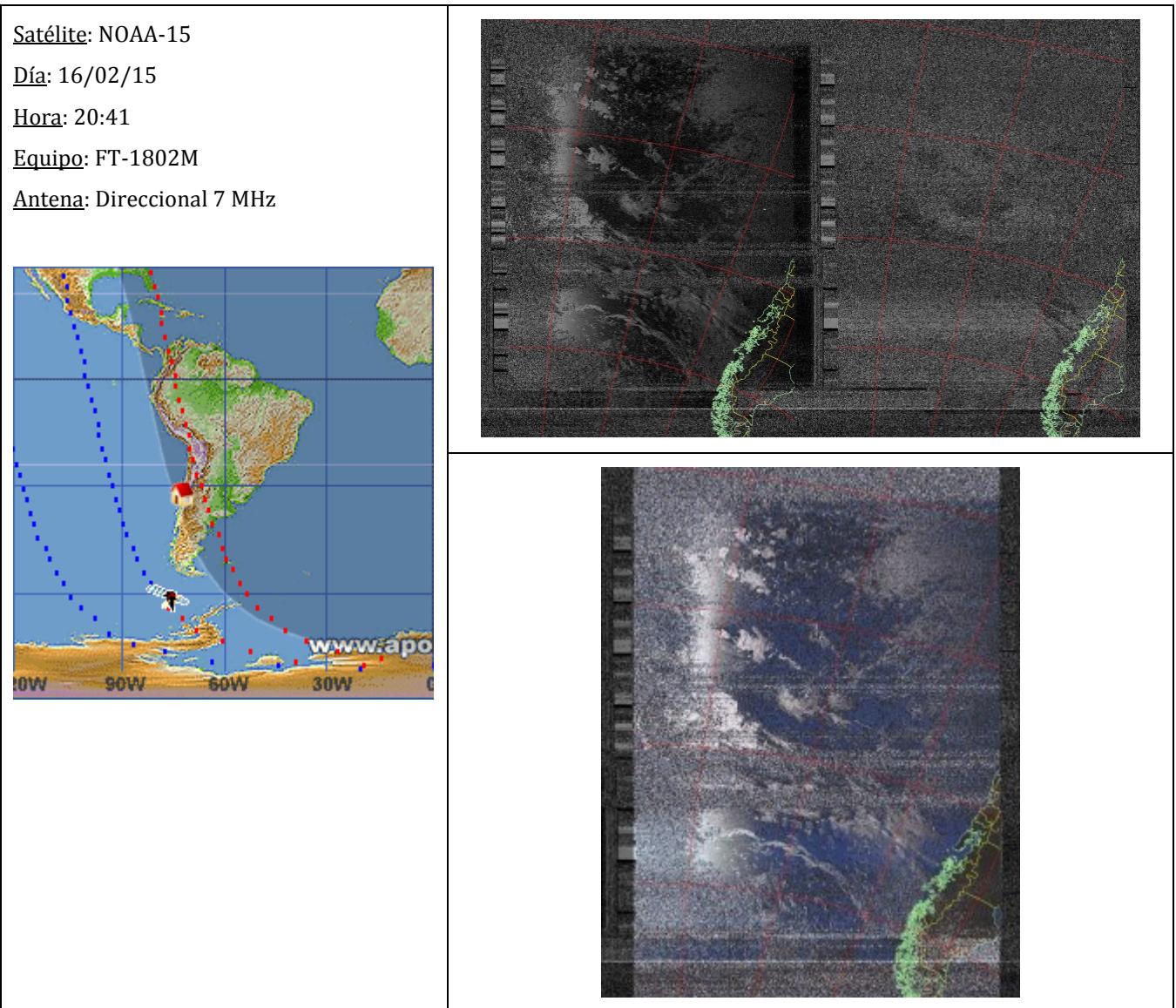
Antena: Ringo a 90° del suelo, sintonizada a 146 MHz



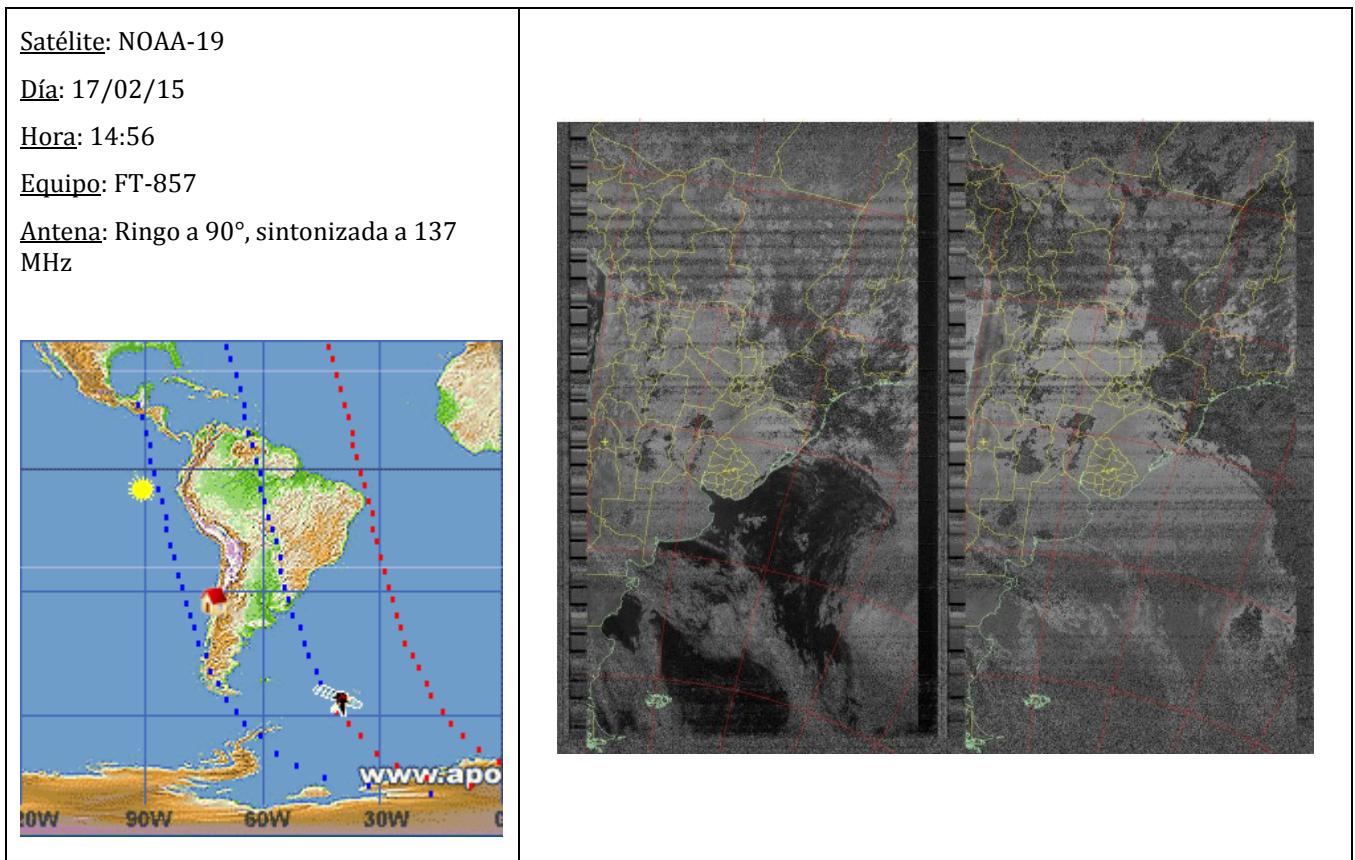
Menos de dos horas más tarde el NOAA-19 pasó nuevamente en rango de recepción, pero está vez por el Pacífico. Cambiamos de equipo y de antena. El cambio abrupto en el brillo de la imagen corresponde al momento en que aumentamos el volumen de salida del equipo. Esta vez la información fue suficiente como para poder generar una imagen en falso color; en la parte superior se puede apreciar el brillo del sol en el océano.



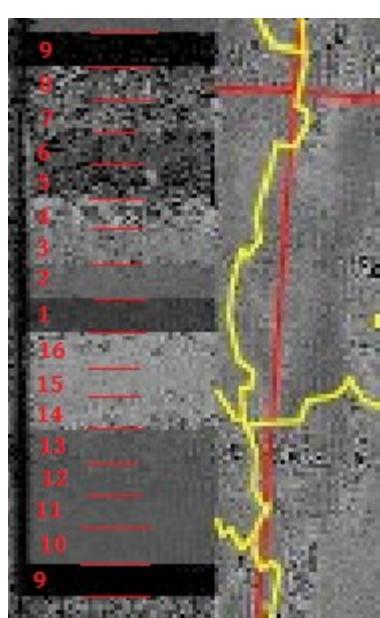
El último paso del mismo día fue del NOAA-15, a las 20:41 horas. Ésta vez se probó la antena direccional Walmar sintonizada a 7 MHz; el paso fue sobre el pacífico, por lo cual orientamos la antena hacia el oeste. La antena está paralela al suelo, por lo que el hecho de que el satélite pasara más cerca del horizonte que del cenit fue de ayuda para la recepción. Contra todos nuestros pronósticos, puesto que no es una antena diseñada para 137 MHz. se recibió señal del satélite, aunque no en mejores condiciones que los anteriores intentos. Creemos que fue posible por alguna resonancia; muy posiblemente el 20° armónico.



El día 17 comenzamos la recepción con nuestro equipo con mayor ancho de banda (15 kHz), el transceptor Yaesu FT-857. Habiendo recibido ya imágenes con antenas no óptimas para el caso, intentamos mejorar la calidad de recepción. Como primer medida, ajustamos la antena Ringo a la frecuencia de 137 MHz, alargando sus segmentos de acuerdo a lo señalado por el fabricante. Elegimos esta antena por ser la que estaba situada en el lugar más accesible y cercano a la estación. Verificamos que la Relación de Onda Estacionaria fuera unitaria. La primera pasada del día corresponde al NOAA-19 y, a pesar de los ajustes, la imagen no fue buena. La trayectoria fue con un ángulo elevado respecto al horizonte.



No se pudo generar una imagen en falso color. WXtoImg acusa no tener una imagen infrarroja como para hacerlo. En realidad, no puede distinguir de qué canal del AVHRR proviene, y esto es porque el segmento 16° de la información de telemetría, correspondiente a la identificación del canal, no está claro en ninguno de los cuadros, tal como se observa en la siguiente imagen.

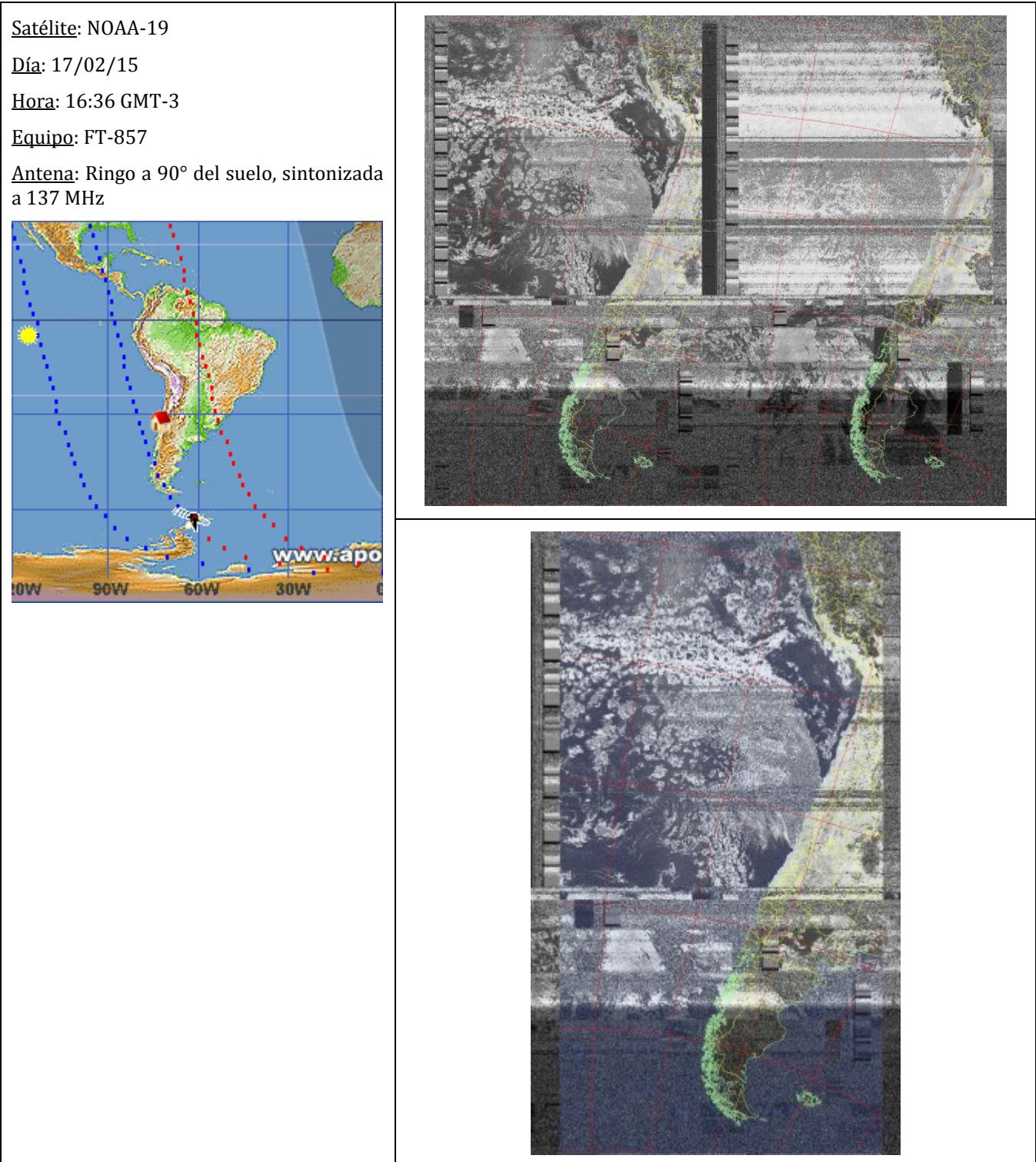


Como se explicó anteriormente, los segmentos desde el 1° al 8° asocian una intensidad del AVHRR con un color. Debería observarse tonalidades cada vez más claras de gris, comenzando con la más oscura en el segmento 1 y terminando con blanco en el 8; sin embargo, esto sólo se cumple hasta el segmento 3, obteniendo información incorrecta en los restantes.

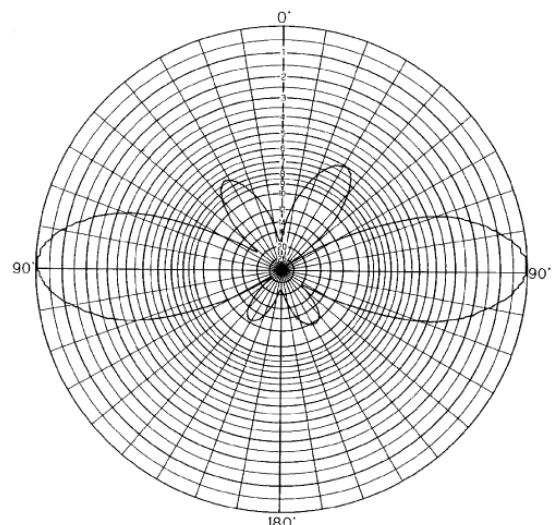
El segmento 16° indica el canal del AVHRR que está generando la imagen y debería ser igual a una de las primeras 6 tonalidades de gris, pero es mucho más claro.

Estas anomalías en la información son causadas por el ruido y la distorsión introducida por el ancho de banda limitado de los receptores utilizados. Este último fenómeno será analizado en la próxima sección.

La siguiente imagen fue del mismo satélite y en las mismas condiciones de recepción, pero esta vez centrada en el océano Pacífico. Se pueden observar grandes formaciones nubosas en el océano, pero la calidad de la imagen no es buena en la parte continental.



Para las siguientes imágenes decidimos cambiar la inclinación de la antena de forma tal que el lóbulo principal estuviese orientado hacia la trayectoria del satélite. Esta modificación afectó de gran manera la calidad de las imágenes recibidas. Obsérvese el patrón de radiación de la antena X300 a modo de ejemplo (la antena se observaría a lo largo del eje vertical, desde el origen):



La mayor ganancia se encuentra en los lóbulos principales que tienen una apertura de aproximadamente  $20^\circ$ . Uno de estos fue enfocado hacia la línea por la que pasaría el satélite:



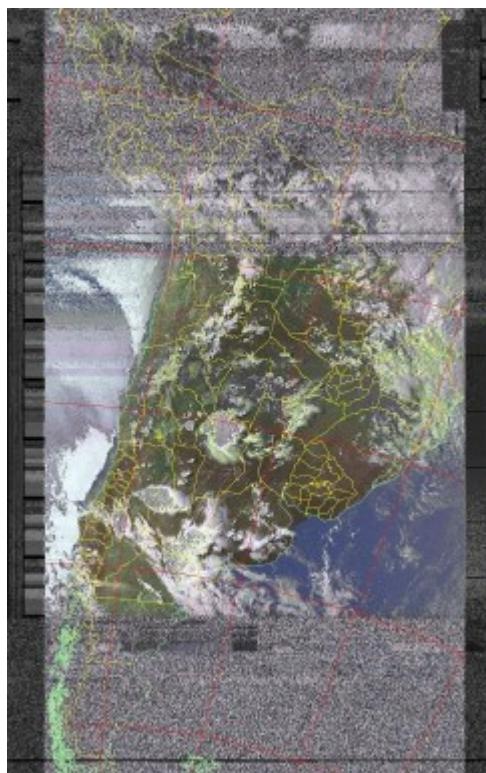
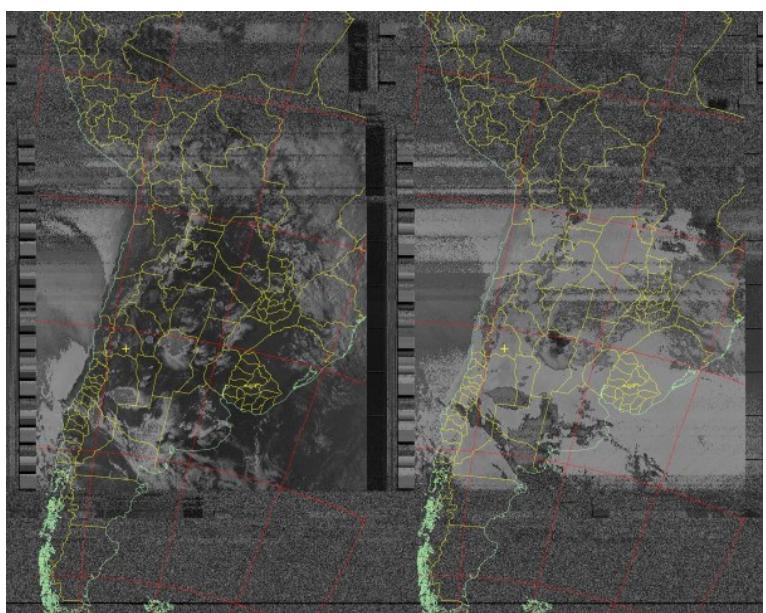
Satélite: NOAA-18

Día: 17/02/15

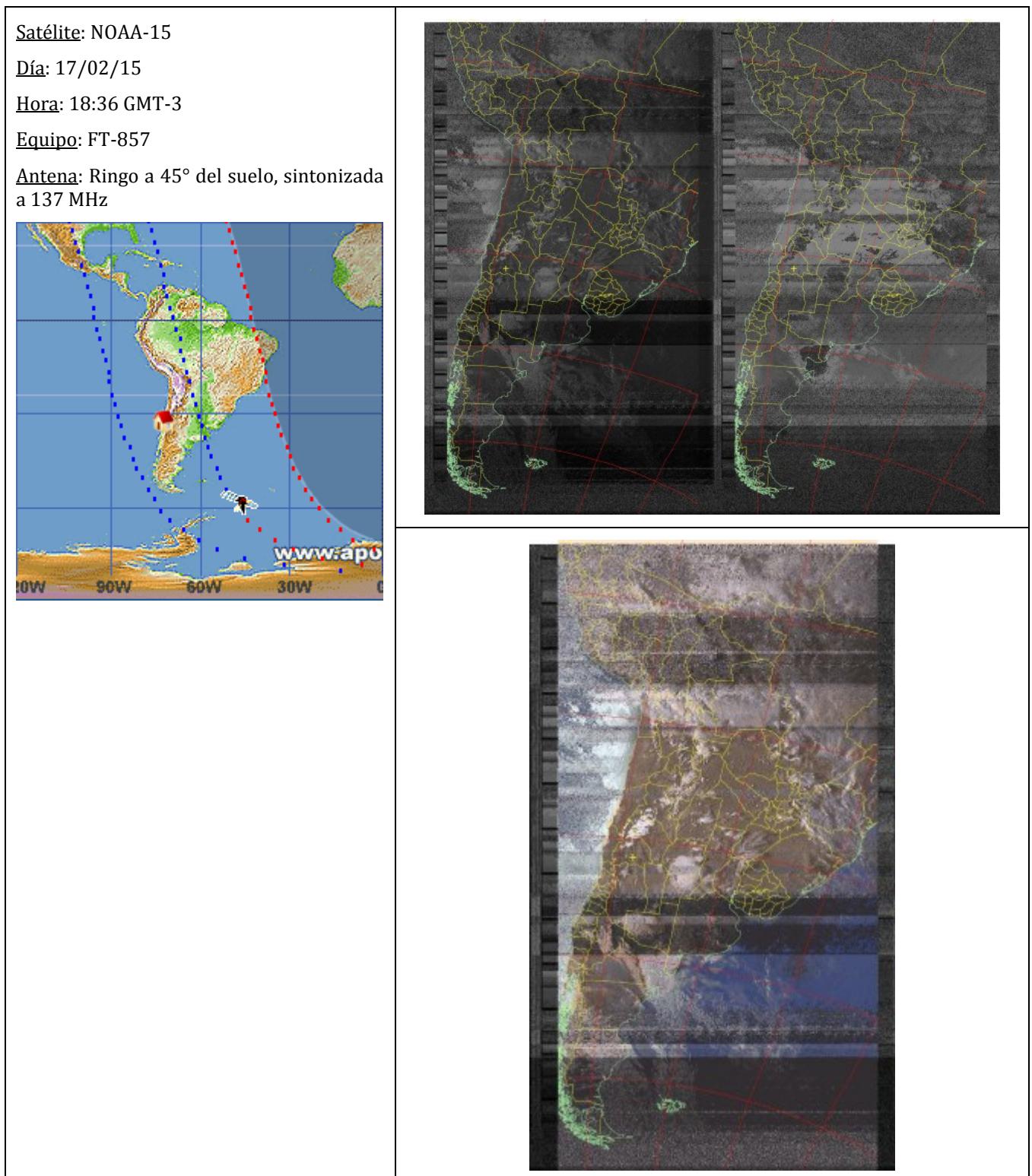
Hora: 18:05 GMT-3

Equipo: FT-857

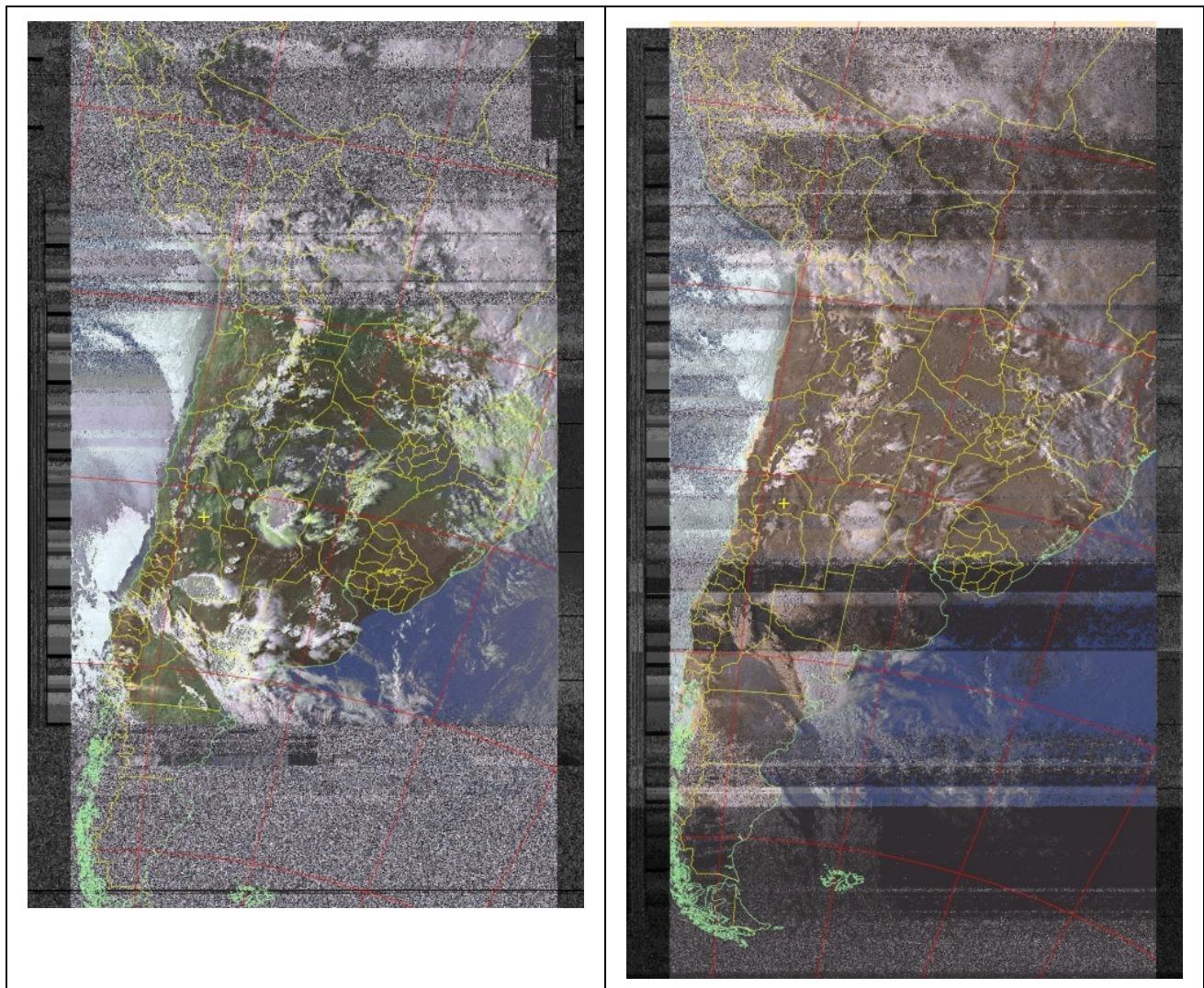
Antena: Ringo a 45° del suelo, sintonizada a 137 MHz



Por alguna razón, la porción útil de la última imagen mostrada es menor a las anteriores. Para intentar compensarlo, decidimos realizar un ajuste manual de la frecuencia a medida que pasaba el satélite, luchando contra el efecto Doppler. Esta imagen corresponde al NOAA-15.



Aunque el análisis de las imágenes sobrepasa los objetivos de este informe, en estas dos últimas tomas podemos observar una gran masa de nubes sobre la provincia de Córdoba, avanzando hacia el sur. Coincide con una serie de grandes tormentas que causaron inundaciones en dicha provincia.



## 5. ANCHO DE BANDA

---

Como se mencionó anteriormente, el ancho de banda nominal de APT es de 34 kHz. Sin embargo, y debido al efecto Doppler, se necesitan al menos 40 kHz de ancho de banda para una correcta demodulación, a menos que se cuente con un sistema de seguimiento automático.

Los equipos utilizados para este proyecto tenían 12 kHz y 15 kHz respectivamente (a -6 dB), lo cual demostró ser insuficiente para obtener imágenes de calidad óptima. A continuación intentaremos explicar las deficiencias observadas:

- La información en 8 bits del AVHRR modula en amplitud (AM) una portadora de 2400 Hz. La palabra nulla corresponde al color negro y se asocia con un índice de modulación de amplitud  $m = 0\%$ . La palabra 11111111 corresponde al color blanco y se asocia con  $m = 87\%$ . Así, los colores más claros tendrán amplitudes mayores.
- La información modulada en amplitud es usada para modular en frecuencia (FM) una portadora de 137 MHz. Sea una señal modulada en frecuencia

$$x_{FM}(t) = A_c \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \phi(t))$$

Donde  $\phi(t)$  es su fase instantánea y puede representarse, para FM, como

$$\phi(t) = 2 \cdot \pi \cdot f_\Delta \cdot \int^t A_x \cdot x(\lambda) \cdot d\lambda$$

$x(\lambda)$  es un mensaje arbitrario con amplitud  $A_x$ , y  $f_\Delta$  es un parámetro de amplitud del modulador.

La frecuencia de la señal modulada  $x_{FM}$  será

$$f_{FM}(t) = f_c + f_\Delta \cdot A_x \cdot x(t)$$

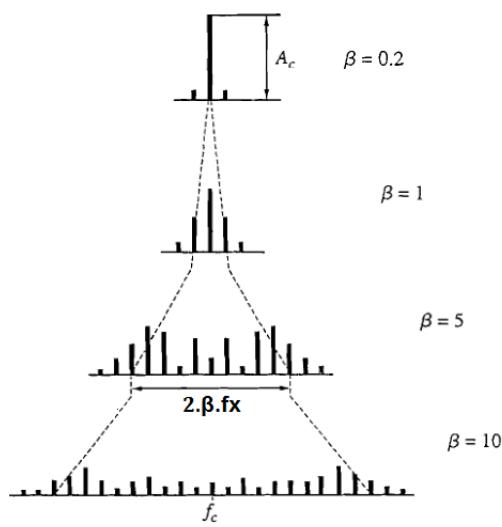
Para el caso en estudio, la señal moduladora es un tono de frecuencia constante y amplitud variable,

$$x(t) = A_x(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_x \cdot t).$$

La fase instantánea es

$$\phi(t) = \frac{A_x \cdot f_\Delta}{f_x} \cdot \operatorname{sen}(2 \cdot \pi \cdot f_x \cdot t)$$

Puede definirse un índice de modulación de fase  $\beta = \frac{A_x \cdot f_\Delta}{f_x}$ . Se observa la siguiente variación según la amplitud  $A_x \cdot f_\Delta$



Espectro de FM modulada por un tono, con  $f_x$  fija

- De acuerdo a lo anterior, entonces, los colores más claros significan amplitudes de AM mayores, y esto implica mayor desviación de frecuencia en FM, y mayor ancho de banda. Es por ello que los colores más claros de las imágenes son los más afectados por el ruido, hasta el punto de desaparecer en el ruido. Nótese el efecto de saturación en las zonas claras de las imágenes:

Aquí, la zona central de la nube sobre Córdoba debería ser de color blanco, lo que significaría una zona fría de la nube, con alta probabilidad de tormentas.



Observamos los datos de telemetría de la misma imagen. Al igual que en el caso mencionado anteriormente, la línea debajo de la sección negra debería ser blanca, y las 7 siguientes de gamas cada vez más oscuras de gris.

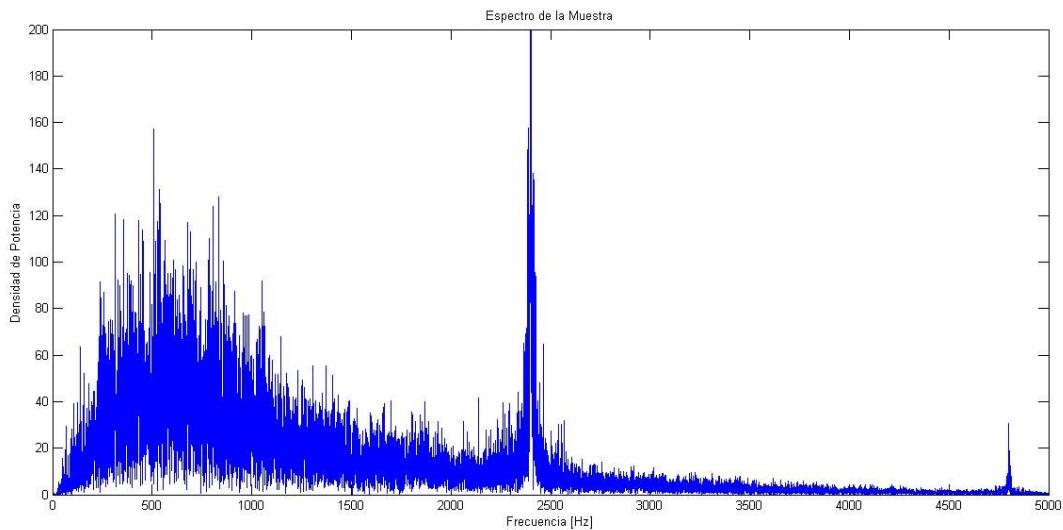
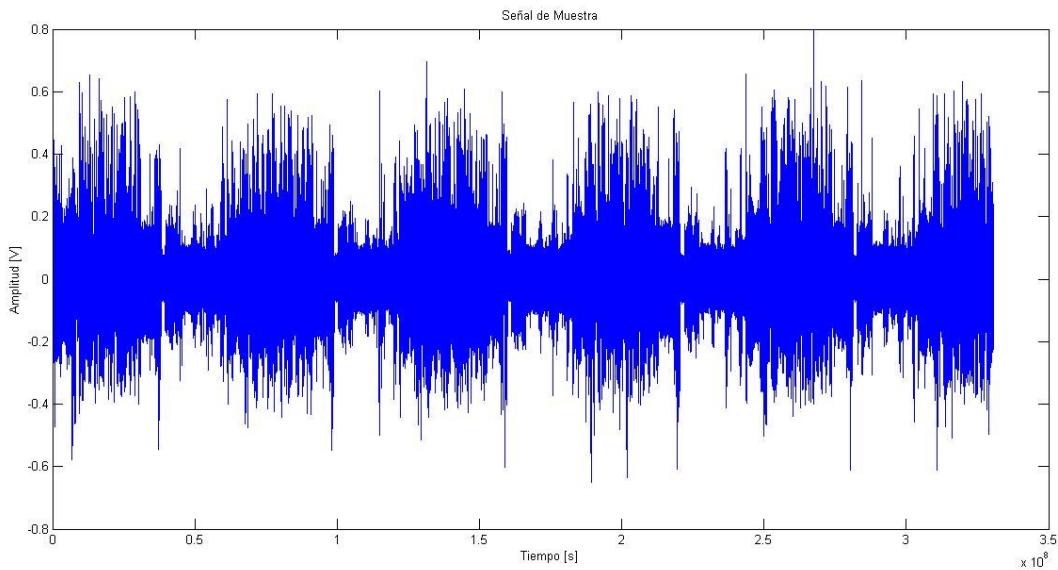


## 6. ANÁLISIS DE LA SEÑAL RECIBIDA

A través de Matlab se pudo realizar el análisis espectral y temporal de una muestra del audio recibido en una de las diferentes pruebas, junto con las diferentes señales obtenidas en el proceso de demodulación.

El programa con el que obtuvieron las gráficas que se mostrarán a continuación se encuentra anexado al final del presente informe.

En primer lugar, se puede observar la evolución temporal de la muestra de la señal sin procesar. En ella se nota una señal de AM-LSB, con portadora en los 2400 Hz. Esto se puede apreciar mejor, en el diagrama de espectro, que se muestra en la imagen siguiente. Se debe tener en cuenta que esta señal es una decodificación de la señal de FM que emite el satélite. También, a efectos prácticos, y en todos los casos, la portadora ha sido recortada debido a que su gran amplitud dificultaba la apreciación del resto de las componentes frecuenciales



Por tanto, al tener AM-LSB con portadora en 2400 Hz, se procedió a desplazar la señal, multiplicándola por una señal cosenoidal con la misma frecuencia que la portadora. Se espera así, obtener una señal con espectro invertido y con la componente de la portadora en 0 Hz. Vale decir que es una sorpresa encontrar LSB y no AM como se

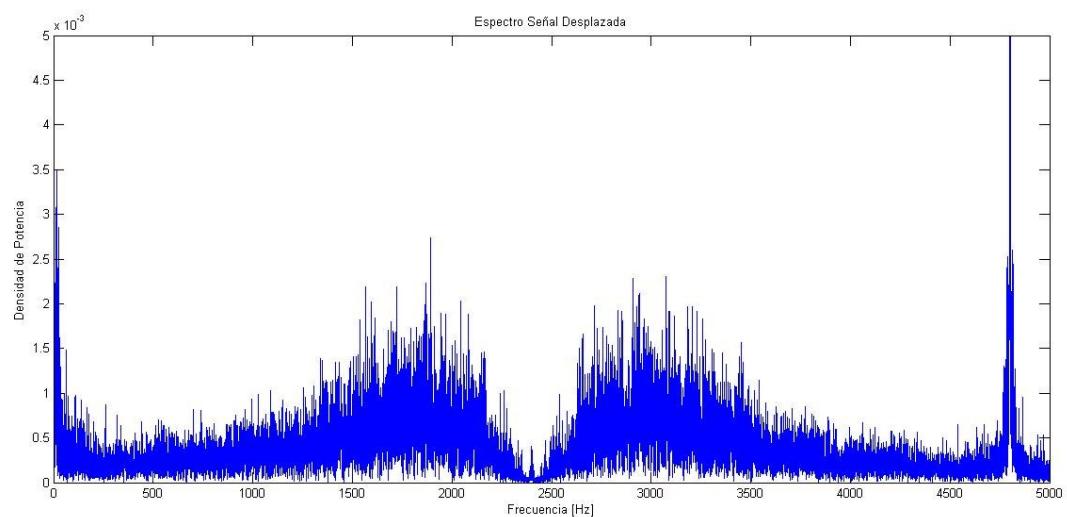
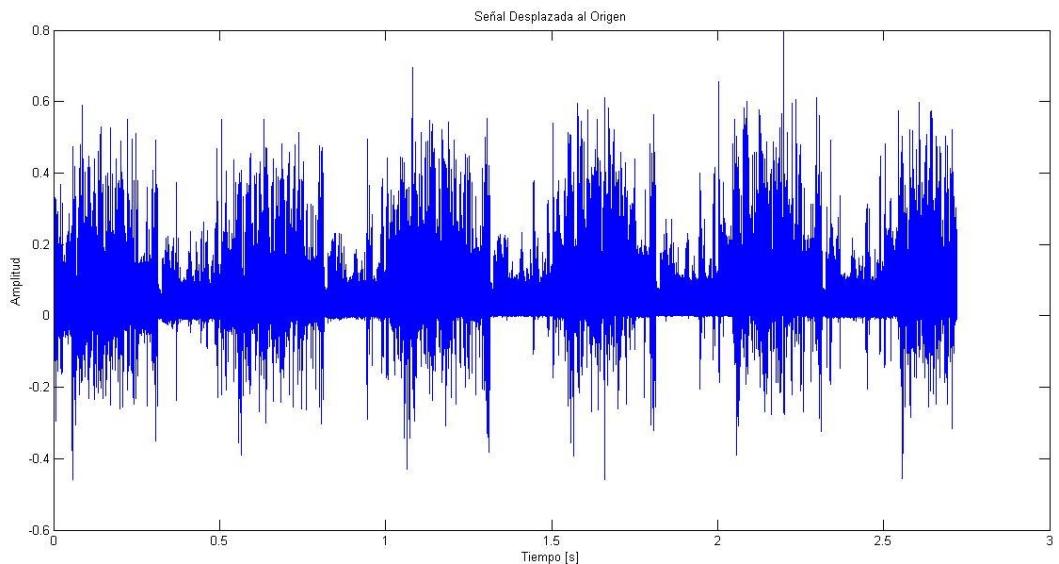
esperaba y supone. Creemos que esto puede deberse al filtrado de des-énfasis que realizó el equipo receptor, tal como afirma en su manual de servicio:

No encontramos detalles sobre la modulación de FM de los satélites NOAA, pero podemos sospechar que no realizan pre-énfasis de la señal.

### **FM IF Circuit/FM Demodulator Circuit**

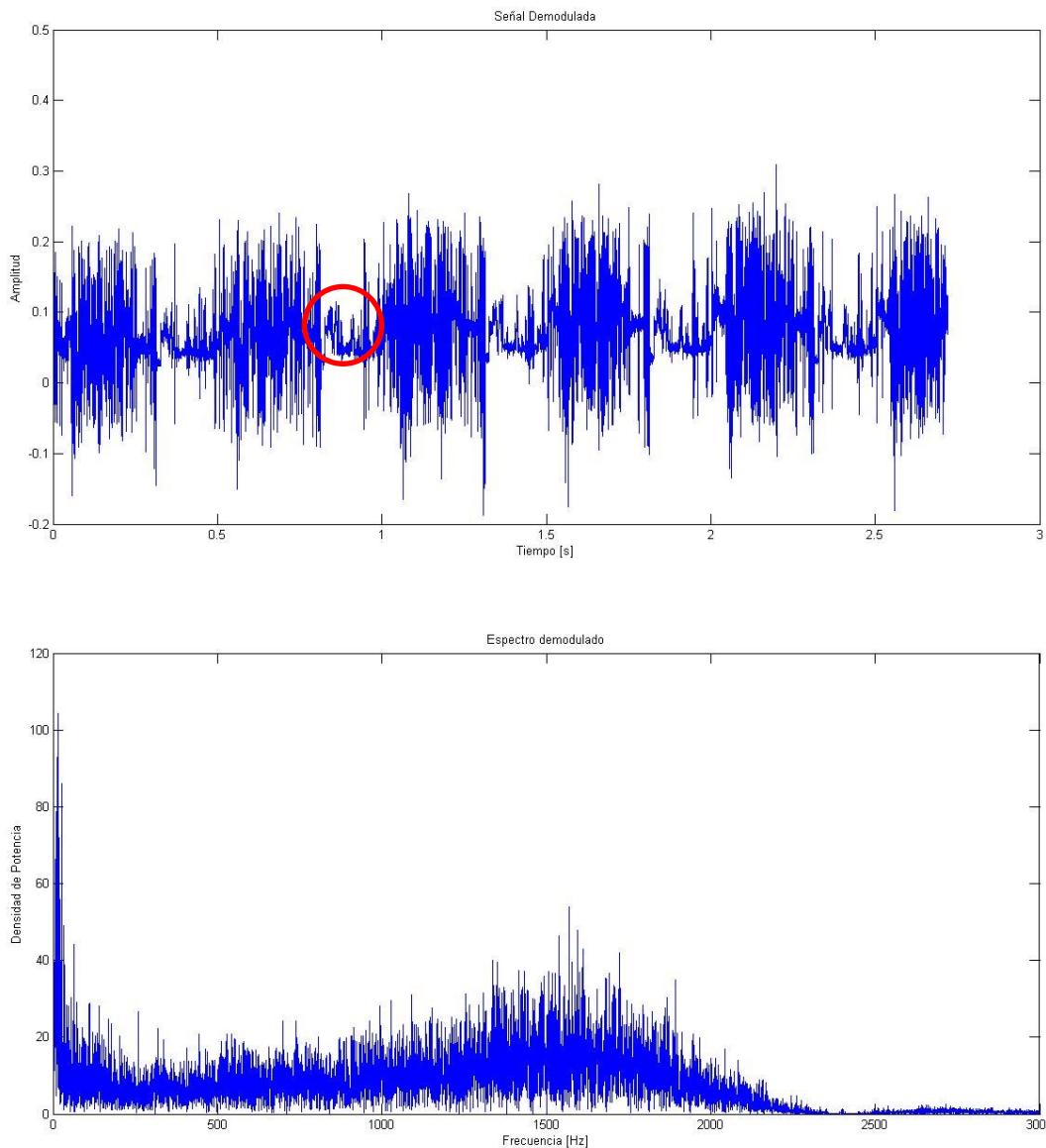
On FM, the 2nd IF signal passes through the buffer amplifier **Q1094 (2SC4154E)** and 2nd IF filters (CF1002 and CF1003) to the FM IF IC **Q1080 (TA31135FN)** which contains a mixer, limiter amplifier, filter amplifier, squelch trigger, and demodulator. The demodulated audio signal at **Q1080** passes through a low-pass filter (R1339 and C1282) and a de-emphasis circuit (R1303 and C1345), then proceeds to the Audio Amplifier Circuit.

En las siguientes imágenes podemos visualizar la multiplicación por la portadora.



Se puede apreciar, en el diagrama espectral anterior que el desplazamiento produce una imagen muy próxima, por lo que se procede a filtrar dicha imagen.

De esta forma, la demodulación resultaría completa, obteniéndose las siguientes señales:



Finalmente, podemos observar un espectro con mucha potencia en la portadora y, relativamente, poca potencia en su emisión de datos. Se vuelve a hacer hincapié en que la señal portadora fue recortada en los gráficos, con el objeto de poder visualizar de mejor manera el resto de las componentes frecuenciales.

Sin embargo, si se analiza la evolución de la señal en el tiempo, se puede notar, por ejemplo, aunque un poco ruidosa, la sincronización (ver la señal cuadrada que se observa en las regiones de baja intensidad de señal, marcada en rojo) y los cuadros de información (perfectamente delimitados en las regiones de mayor intensidad de señal).

Esta señal, luego es procesada con el programa específico WXtoImg, que evidentemente hace un arduo trabajo para obtener la imagen.

## 7. CONCLUSIONES

---

Logramos la recepción de imágenes provenientes de los satélites NOAA-15, NOAA-18 y NOAA-19 de manera relativamente exitosa, y aunque las imágenes están lejos de ser ideales, podrían permitir un nefoanálisis básico.

Probamos distintos receptores y antenas, a diversas horas del día. No hicimos capturas durante la noche, y por lo tanto no podemos sugerir relaciones entre la hora del día y la calidad de recepción.

El factor más influyente (al menos a primera vista) fue la antena. En nuestro caso, la calidad mejoró mucho al orientar la antena para aprovechar su directividad. Consideramos la construcción de una antena QFH, idónea para la tarea, pero la desestimamos ya que las últimas imágenes casi habían llegado al límite de calidad impuesto por el ancho de banda del receptor. De cualquier manera, antenas QFH o turnstile hubiesen captado la señal con mayor intensidad y de horizonte a horizonte.

En cuanto al receptor, intentamos captar la señal con el analizador de espectro Instek GSP-810 en conjunto con la antena Ringo, pero el resultado fue un fracaso, ya que no se escuchó ni siquiera una señal muy débil. Creemos que las posibles causas fueron:

- Uso de un adaptador de conector tipo N a conector tipo UHF (PL-259).
- Antena mal posicionada. Estaba sobre un techo, sin más elevación, y muy cercana a líneas de baja tensión.

Si bien APT fue diseñado como un sistema de televisión analógica, en sus inicios recibido con sistemas de fax, se origina en datos digitales del AVHRR y a grandes rasgos podemos decir que se trata de Modulación de Amplitud de Pulso (PAM). El formato tiene muchas características propias de los sistemas digitales, tales como las secuencias de sincronización, tiempos de símbolo fijos y un conjunto discreto de valores de salida. Todo esto permite que, por medio de técnicas de procesamiento de señales digitales, se pueda lograr una reconstrucción fiel de la imagen generada originalmente en el satélite.

Pudimos apreciar la utilidad de la información brindada por los satélites. Gobierno, industrias, escuelas<sup>2</sup>, universidades e individuos hacen uso de sistemas de lectura directa para prevención, proyección y estudio. Citando a [USERS], “Los satélites nos han brindado la oportunidad única de mirar la Tierra desde el espacio. Estas aeronaves nos permiten observar y medir las muchas fuerzas de la naturaleza que convergen en nuestro planeta. La humanidad puede ahora observar la naturaleza global de factores medioambientales que interactúan para formar el complejo sistema al que llamamos Tierra. [...] sofisticados satélites nos brindan información sobre formaciones nubosas y sus movimientos, precipitaciones, temperaturas, corrientes oceánicas, temperatura de la superficie marina, contaminantes del aire y del agua, inundaciones y condiciones climáticas severas, vegetación, plagas, ozono en la atmósfera, erupciones volcánicas y otros factores que pueden afectar nuestra vida cotidiana. También nos han provisto de valores estéticos menos tangibles que ayudan a moldear nuestras actitudes respecto al ambiente de este planeta. **Esta visión global es, quizás, tan importante como los datos cuantitativos que entregan los satélites.**”

*Agradecemos a Daniel Aguado, LU1PGO, por facilitarnos su estación para la recepción de los satélites.*

---

<sup>2</sup> No se relaciona con sistemas de lectura directa, pero vale mencionarlo: El Programa 2Mp de la CONAE (Agencia Espacial de Argentina) tiene el objetivo de acercar la tecnología satelital a millones de chicos en edad escolar. A través del desarrollo del Programa 2Mp se busca que los alumnos a partir de 8 años de las escuelas de nuestro país conozcan, tengan acceso y utilicen la información de origen satelital, y que puedan aplicarla en lo sucesivo a las actividades que desarrollan en el ámbito de su vida cotidiana. <https://2mp.conae.gov.ar>

## 8. REFERENCIAS Y ENLACES DE INTERÉS

---

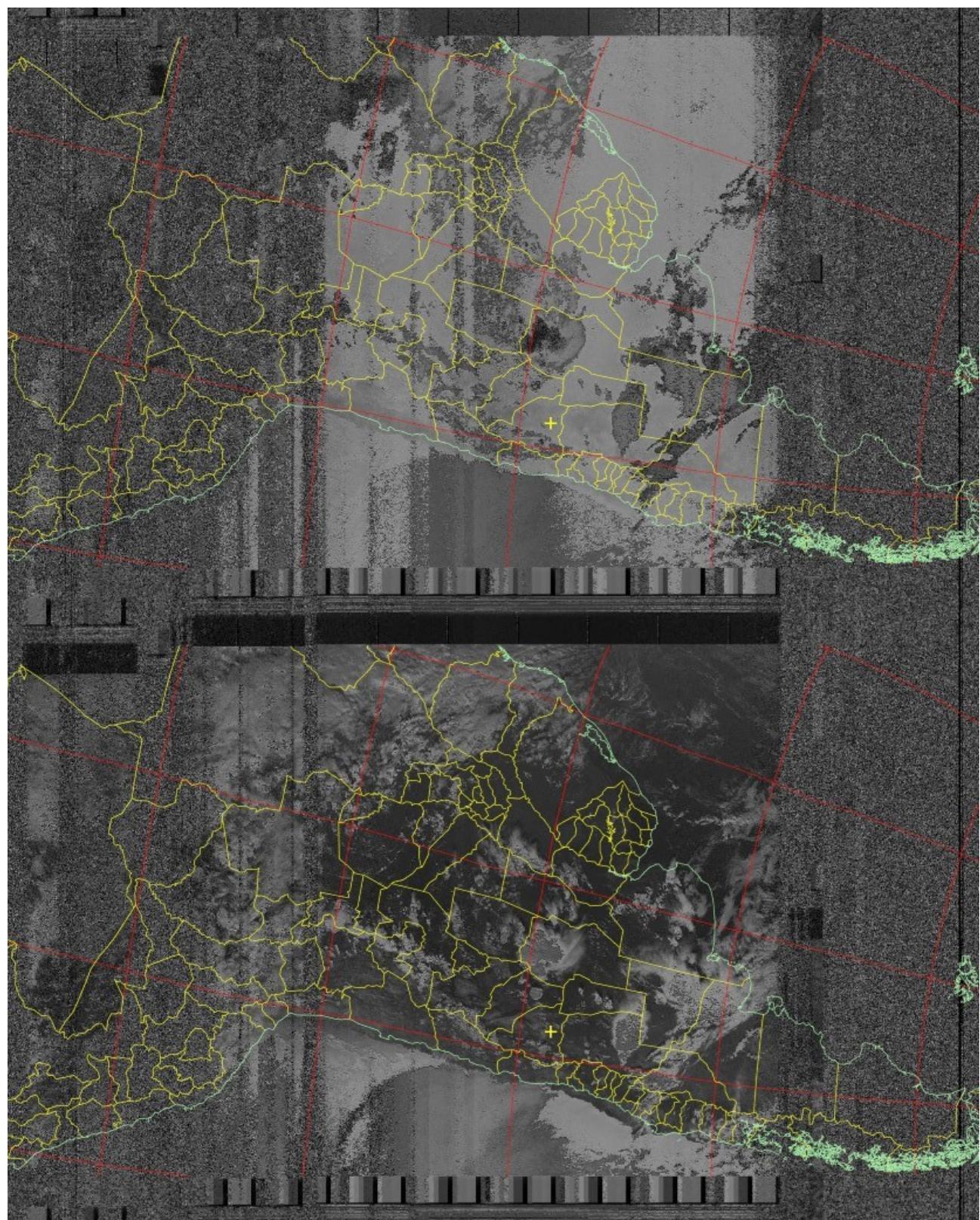
Como fuentes principales, citamos a la *Guía de usuario para construir y operar estaciones receptoras de satélites medioambientales* [6] y la *Guía de usuario de los satélites de órbita polar del NOAA* [14].

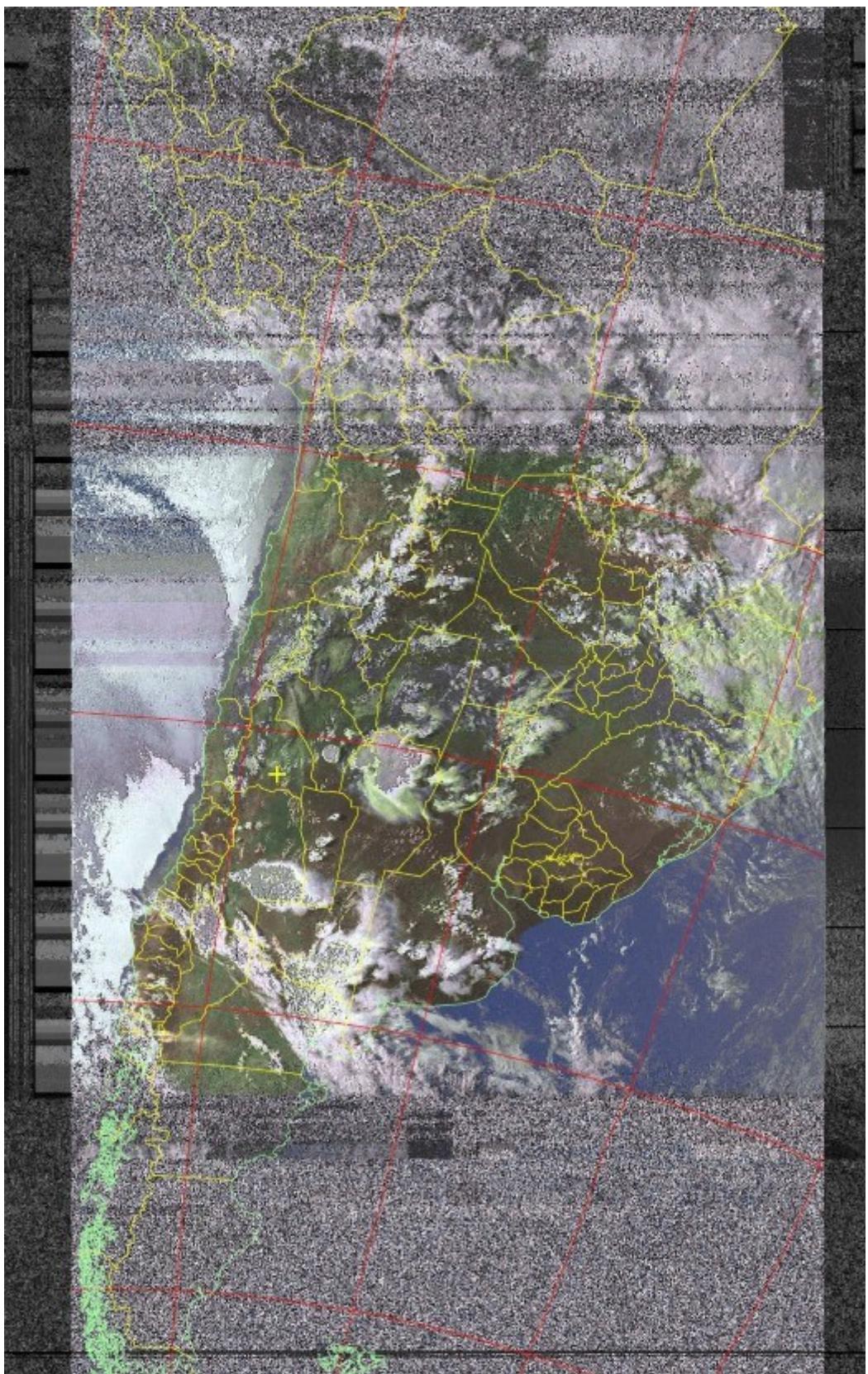
1. **Sacco, Mario.** Cómo bajar imágenes de un satélite, parte 1. *Neoteo*. [En línea] [www.neoteo.com/como-bajar-imagenes-desde-un-satelite/](http://www.neoteo.com/como-bajar-imagenes-desde-un-satelite/).
2. —. Cómo bajar imágenes de un satélite, parte 2. *Neoteo*. [En línea] <http://www.neoteo.com/como-bajar-imagenes-desde-un-satelite-parte-ii/>.
3. **Moss, Julian (G4ILO).** A QFH antenna for the weather satellite band. *G4ILO's Shack*. [En línea] [www.g4ilo.com/qfh.html](http://www.g4ilo.com/qfh.html).
4. **Central North Publishing Limited.** WXtoImg. *sitio web de WXtoImg*. [En línea] [www.wxtoimg.com](http://www.wxtoimg.com).
5. **GEO.** The quick guide. *web de Group for Earth Observation*. [En línea] [www.geo-web.org.uk/quickstart.php](http://www.geo-web.org.uk/quickstart.php).
6. **NOAA.** User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations. *NOAASIS*. [En línea] febrero de 2009. [http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users\\_Guide-Building\\_Receive\\_Stations\\_March\\_2009.pdf](http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users_Guide-Building_Receive_Stations_March_2009.pdf).
7. **KA7OEI, Clint.** Weather Satellite Page. *página web de KA7OEI*. [En línea] <http://www.ka7oei.com>.
8. **Hillger, Don y Toth, Gary.** Automatic Picture Transmission Philately. *Collective Philatelic Works*. [En línea] <http://rammb.cira.colostate.edu/dev/hillger/APT.htm>.
9. **Griffiths, Mark.** 137MHz Turnstile Antenna for APT satellite reception. *Digital Ham*. [En línea] <http://www.digitalham.co.uk/turnstile-antenna/>.
10. **NOAA.** Conference Presentations, Publications and Technical Reports. *NOAASIS*. [En línea] <http://www.noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/tutorials.html>.
11. **Ross, Steven y Ross, Carol.** Steven's APT Station. *weatherscience.net*. [En línea] [http://www.weatherscience.net/My\\_APT\\_Station.html](http://www.weatherscience.net/My_APT_Station.html).
12. **NOAA.** Guía de usuario de los satélites de órbita polar del NOAA. *NOAA KLM User's Guide - Section 1.2.7: Communications Subsystems*. [En línea] <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/html/c1/sec12-7.htm>.
13. —. Guía de usuario de los satélites de órbita polar del NOAA. *NOAA KLM User's Guide - Section 4.2: APT System*. [En línea] <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/html/c4/sec4-2.htm>.
14. —. Guía de usuario de los satélites de órbita polar del NOAA. *NOAA KLM User's Guide*. [En línea] <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/index.htm>.
15. **Group on Earth Observations.** GEOSS Portal. [En línea] <http://www.geoportal.org/>.
16. **Davis, Gary.** History of the NOAA Satellite Program. *NOAA/NESDIS Office of Systems Development*. [En línea] octubre de 2009. [http://www.osd.noaa.gov/Documents/History\\_NOAA\\_Satellite\\_Programs.pdf](http://www.osd.noaa.gov/Documents/History_NOAA_Satellite_Programs.pdf).
17. **NASA.** NOAA-N Prime Booklet. *NOAA/NESDIS Office of Systems Development*. [En línea] 2008. [http://www.osd.noaa.gov/Spacecraft%20Systems/Polar\\_Orbiting\\_Sat/NOAA\\_N\\_Prime/NOAA\\_NP\\_Booklet.pdf](http://www.osd.noaa.gov/Spacecraft%20Systems/Polar_Orbiting_Sat/NOAA_N_Prime/NOAA_NP_Booklet.pdf).
18. —. NOAA-N Booklet. *sitio web de la NASA*. [En línea] 2004. [http://www.nasa.gov/pdf/111742main\\_noaa\\_n\\_booklet.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/111742main_noaa_n_booklet.pdf).
19. **Robertson, Darrel.** NOAA Satellite Direct Readout. *NOAA Satellite conferences*. [En línea] 2004. [http://directreadout.noaa.gov/Miami04/docs/Darrell\\_Robertson.pdf](http://directreadout.noaa.gov/Miami04/docs/Darrell_Robertson.pdf).
20. **NASA.** TIROS Missions. *web de la NASA*. [En línea] <http://science1.nasa.gov/missions/tiros/>.

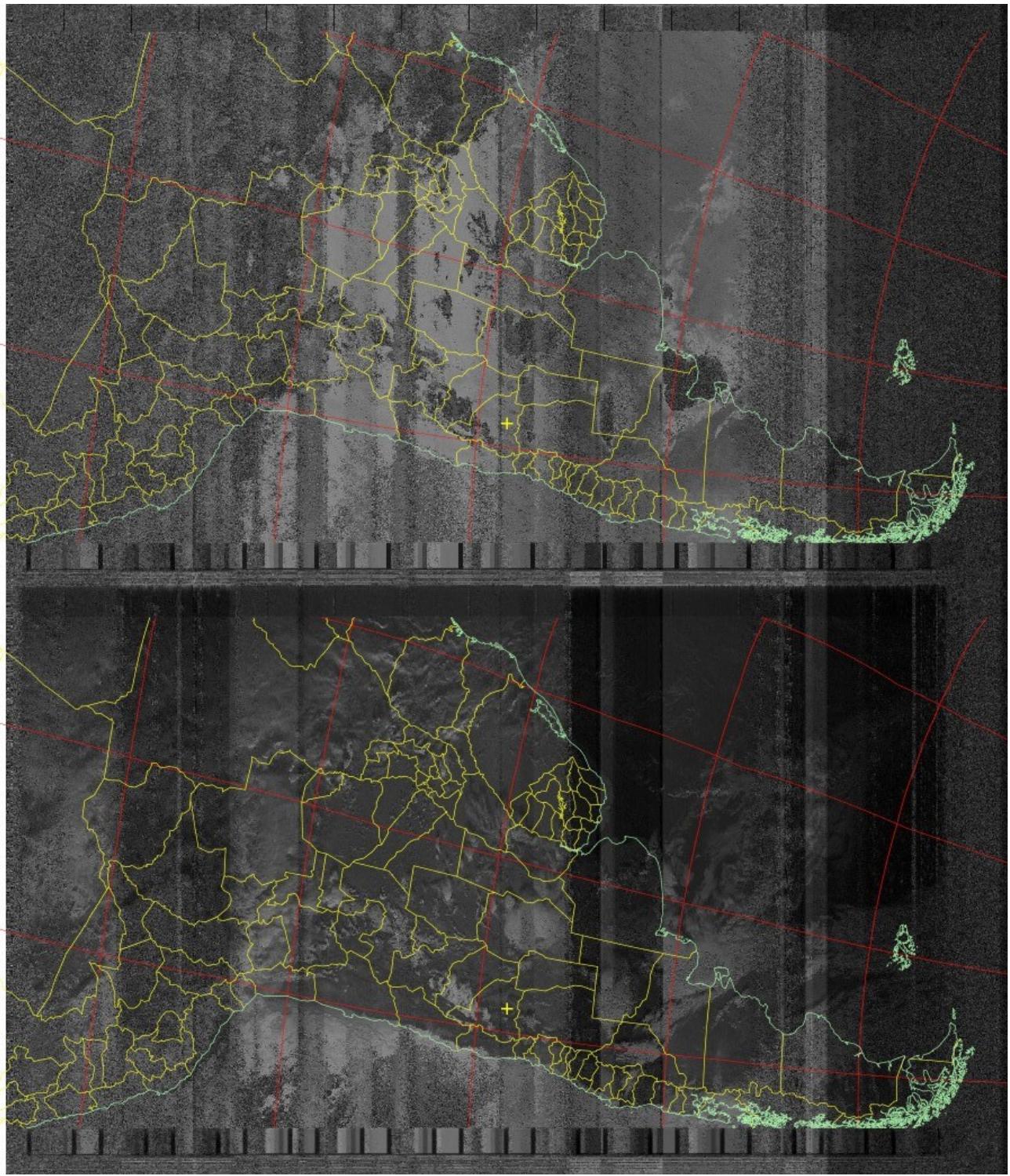
21. **Taylor, David.** Measured comparison of Turnstile and QFH. *sitio web de David Taylor*. [En línea] 18 de enero de 2015. <http://www.satsignal.eu/wxsat/antennas/>.
22. **RIG.** Remote Imaging Group. [En línea] <http://www.rig.org.uk/>.
23. **Cobey, Bob (G0HPO) y Sykes, Bill (G2HCG).** Taming the quadrafilar helical antenna. [En línea] <http://www.askrlc.co.uk/>.
24. ? Building a Quadrifilar Helix Antenna for Undergraduate Researchers. *GNU Radio Beacon Receiver*. [En línea] [http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/digitalbeacon/information/Building\\_QFH\\_Antenna\\_Guide.pdf](http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/digitalbeacon/information/Building_QFH_Antenna_Guide.pdf).
25. **Daz.** Weather Satellite APT Receiver. *The Daz Cave*. [En línea] <http://homepages.ihug.com.au/~daz2002/tech/wxsat/index.html>.
26. **LX4SKY.** Satellites reception. *web de LX4SKY*. [En línea] <http://www.astrosurf.com/luxorion/qsl-satellites-reception2.htm>.
27. **Csete, Alexandru (OZ9AEC).** How to receive and decode NOAA APT images with the Funcube Dongle and Gqrx. *web de OZ9AEC*. [En línea] <http://www.oz9aec.net/index.php/gnu-radio-blog/451-howto-receive-and-decode-noaa-apt-images-with-the-funcube-dongle-and-gqrx>.
28. **RTL-SDR.** RTL-SDR Tutorial: Receiving NOAA Weather Satellite Images. [En línea] 13 de mayo de 2013. <http://www rtl-sdr com/rtl-sdr-tutorial-receiving-noaa-weather-satellite-images/>.
29. **Autores varios.** artículo en inglés de Radio definida por software. *Wikipedia*. [En línea] [http://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined\\_radio](http://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_radio).
30. —. List of software-defined radios. *Wikipedia*. [En línea] [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_software-defined\\_radios](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_software-defined_radios).
31. **Yaesu.** *Manual de usuario del FT-857D*.
32. —. *Manual de servicio del FT-857D*.
33. **Instek.** *Manual de usuario del GSP-810*.
34. **Autores varios.** Artículo en inglés de APT. *Wikipedia*. [En línea] [http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_Picture\\_Transmission](http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Picture_Transmission).
35. —. Artículo en inglés de NOAA-17. *Wikipedia*. [En línea] <http://en.wikipedia.org/wiki/NOAA-17>.
36. —. Artículo en inglés de NOAA-19. *Wikipedia*. [En línea] <http://en.wikipedia.org/wiki/NOAA-19>.
37. —. Artículo en inglés de órbitas polares. *Wikipedia*. [En línea] [http://en.wikipedia.org/wiki/Polar\\_orbit](http://en.wikipedia.org/wiki/Polar_orbit).
38. —. Artículo en inglés de TIROS. *Wikipedia*. [En línea] [http://en.wikipedia.org/wiki/Television\\_Infrared\\_Observation\\_Satellite](http://en.wikipedia.org/wiki/Television_Infrared_Observation_Satellite).
39. **Carlson, Bruce, Crilly, Paul y Rutledge, Janet.** *Communication Systems*. Cuarta. s.l. : McGraw-Hill, 2002.

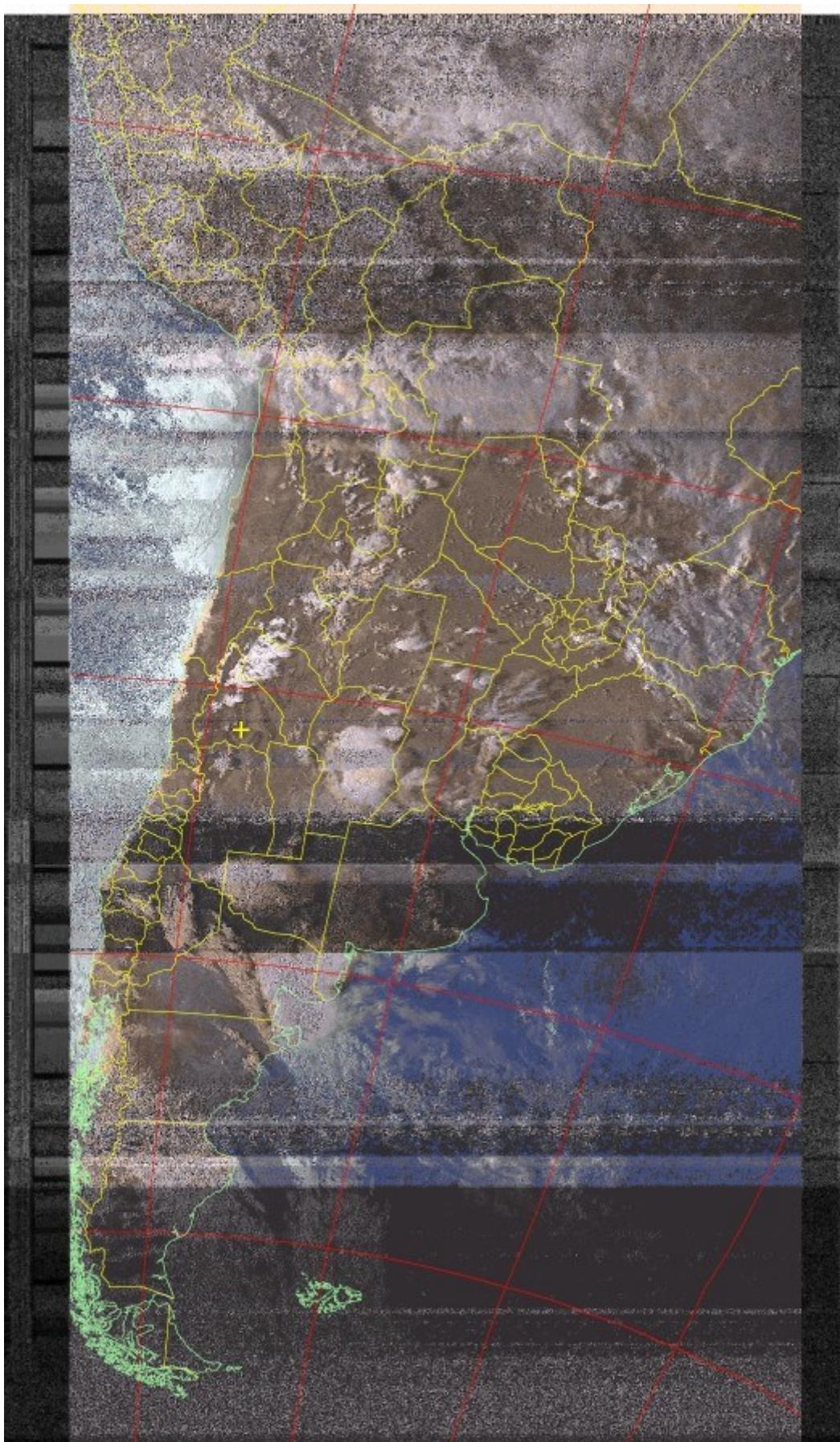
**ANEXO 1: IMÁGENES CAPTADAS**

---









## ANEXO 2: CÓDIGO DE MATLAB

---

```
%Este programa realiza el análisis frecuencial de una muestra de una señal
%recibida de desde un satélite tipo NOAA

wave = audioread('..Grabaciones/201502172105.wav');
N = 30000;
samplewave = wave(length(wave)/2-N/2:length(wave)/2+N/2);
samplefreq = 11025;
freqs = (0:N) * samplefreq/N;

figure(1);
ejetemp = (0:length(samplewave)-1)/samplefreq;
plot(ejetemp,samplewave);
title('Señal de Muestra');
xlabel('Tiempo [s]'), ylabel('Amplitud [V]');

%Frecuencias mostradas son digitales.
%Resta calcular y colocar los ejes con frecuencias analógicas
figure(2);
sampfou = abs(fft(samplewave));
plot(freqs(1:N/2),sampfou(1:N/2));
title('Espectro de la Muestra');
xlabel('Frecuencia [Hz]'), ylabel('Densidad de Potencia');

%Demodulación - Filtrado
%Filtro Diseñado mediante el comando lpp del paquete ADSP
shiftwave = cos(2*pi*2400*(0:N)/11025).*samplewave';
filtwave(1:N+1) = 0;
for i = 6:N+1
    filtwave(i) = 0.0072 * shiftwave(i) + 0.0359 * shiftwave(i-1) + 0.0719 * shiftwave(i-2) + 0.0719
    * shiftwave(i-3) + 0.0359 * shiftwave(i-4) + 0.0072 * shiftwave(i-5) + 1.9494 * filtwave(i-1) -
    1.9763 * filtwave(i-2) + 1.0761 * filtwave(i-3) - 0.3186 * filtwave(i-4) + 0.0394 * filtwave(i-5);
end
figure(3);
plot(ejetemp,shiftwave);
title('Señal Desplazada al Origen')
xlabel('Tiempo [s]'), ylabel('Amplitud');

figure(4);
sftfou = abs(fft(shiftwave))/N;
plot(freqs(1:N/2),sftfou(1:N/2));
title('Espectro Señal Desplazada');
xlabel('Frecuencia [Hz]'), ylabel('Densidad de Potencia');

figure(5);
plot(ejetemp,filtwave);
title('Señal Demodulada')
xlabel('Tiempo [s]'), ylabel('Amplitud');

%Espectro de la señal filtrada
figure(6);
filtfou = abs(fft(filtwave));
plot(freqs(1:N/2),filtfou(1:N/2));
title('Espectro demodulado');
xlabel('Frecuencia [Hz]'), ylabel('Densidad de Potencia');

clear all;
```