



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA DOUBLE CROSS  
PARA LA RECEPCIÓN DE IMÁGENES PROCEDENTES DE  
SATÉLITES DE ÓRBITA POLAR***

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentada ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**  
**Como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**REALIZADO POR** Carlo Wilfredo Alvarez Busani

**TUTOR** Ing. José María Miguel

**FECHA** Julio de 2012



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA DOUBLE CROSS  
PARA LA RECEPCIÓN DE IMÁGENES PROCEDENTES DE  
SATÉLITES DE ÓRBITA POLAR***

REALIZADO POR Carlo Wilfredo Alvarez Busani

TUTOR Ing. José María Miguel

FECHA Julio de 2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA DOUBLE CROSS  
PARA LA RECEPCIÓN DE IMÁGENES PROCEDENTES DE  
SATÉLITES DE ÓRBITA POLAR***

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido  
con \_\_\_\_\_ el \_\_\_\_\_ resultado:

---

JURADO EXAMINADOR

Firma: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_  
Nombre: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

REALIZADO POR Carlo Wilfredo Alvarez Busani

TUTOR Ing. José María Miguel

FECHA Julio de 2012

## **Dedicatoria**

Un gran agradecimiento a mi familia y amigos, pilar fundamental y apoyo durante toda mi carrera de pregrado por estar siempre a mi lado en todo momento. Al profesor Jose M. Miguel que me ha dado la oportunidad de desarrollar a fondo el área de los satélites de órbita polar y antenas.

A Jordi que siempre me ayudo a realizar las labores de elaboración y preparación de los materiales para agilizar el proceso de construcción de las antenas.

Agradecimientos especiales a Carolina Busani mi madre que siempre me ha apoyado y ha hecho siempre sacar lo mejor de mí, Sonia Fuentes por ayudarme a crecer, conocer las cosas y mejorar como persona cada día, Carlo Busani la calma y paciencia para poder desarrollar mis metas. Por ultimo a Wilfredo Alejandro Alvarez y Shadia Reyes, por ayudarme siempre en todo momento.

## Resumen

El Trabajo Especial de Grado consiste en el diseño y construcción de una antena de tipo *Double Cross* para la recepción de imágenes provenientes de satélites de orbita polar en tiempo real, con el fin de dar una solución mas sencilla sobre las antenas de recepción actuales de tipo Cuadrifilar.

El desarrollo de esta antena se realizara en dentro del marco de la frecuencia necesaria para la recepción al igual que el tipo de orbita que presentan los satélites. Se presentarán los pasos a seguir para realizar la construcción y la instalación del software *APTdecoder* (necesario para interpretación de los datos enviados por el satélite), se mostrarán todos los pasos de calidad que son necesarios para el correcto funcionamiento de la antena y el acople de las impedancias lo que garantiza la mayor transferencia de potencia luego los resultados de múltiples capturas y sobrevuelos de los satélites de la agencia espacial NOAA. Por ultimo se realizara una comparativa entre la antena Double Cross y la antena de tipo Cuadrifilar en donde se escogerá cual de ellas dos presenta el mejor desempeño.

## Índice General

Dedicatoria.....	ii
Resumen .....	iii
Índice General.....	iv
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas .....	xiv
Introducción .....	1
Capítulo I .....	3
Planteamiento del Proyecto .....	3
I.1.Planteamiento del Problema .....	3
I.2. Objetivos .....	4
I.2.1 Objetivo General .....	4
I.2.2 Objetivos Específicos .....	5
I.3 Alcances y Limitaciones.....	5
Capítulo II.....	7
Marco Teórico.....	7
II.1 Órbitas y tipos de satélites de la agencia espacial NOAA .....	7
II.1.2 Reseña histórica de la agencia espacial NOAA .....	7
II.1.3 Órbitas y tipos de satélites.....	8
II.1.3.1 Satélites de Órbita Geoestacionaria.....	9
II.1.3.2 Satélites de órbita polar .....	10
II.2. Teledetección .....	15
II.2.1 Principios físicos de la teledetección .....	16
II.2.1.1 Descripción de campo radiactivo y propiedades radiactivas de la materia .....	20
II.2.1.2 Leyes de la radiación electromagnética.....	23
II.2.1.3 Dominio del infrarrojo térmico .....	25
II.2.2 Sensores satelitales.....	27

II.2.2.1 Sensor Pasivo .....	28
II.3.Satélites de órbita polar .....	30
II.3.1Satélites actuales POES.....	32
II.3.1 Sensor pasivo satélites NOAA AVHRR/3 .....	35
II.3.2 Transmisión Satelital Formato APT.....	38
II.3.2.1 Bandas de Telemetría e información adicional del formato ATP .....	41
II.4. Estación Receptora.....	44
II.4.1 Instalación de una Estación de Recepción Meteorológica .....	46
II.4.1.1 Pre-amplificadores .....	47
II.4.1.2 Receptores .....	48
II.4.1.3 Software de recepción de señal y procesado .....	51
II.5. Antenas.....	52
II.5.1Parámetros de antenas .....	54
II.5.1.1 Diagrama de Radiación .....	54
II.5.1.2 Polarización.....	57
II.5.1.3 Adaptación .....	60
II.5.1.4 Relación de onda estacionaria ROE.....	60
II.5.1.5 Área y longitud efectiva .....	63
II.5.2 Antenas para recepción de satélites de órbita polar NOAA.....	64
II.5.2.1 Antena Turnstile.....	65
II.5.2.2 Antena Cuadrifilar Helicoidal (QHA).....	68
II.5.2.3 Antena Double Cross (DCA) .....	72
Capítulo III.....	77
Marco Metodológico.....	77
III.1 Investigación Teórica sobre los sistemas de transmisión satelital, satélites polares y antenas de tipo <i>Double Cross</i> . .....	77
III.2 Diseño de la antena <i>Double Cross</i> .....	77
III.3 Construcción de la antena Double Cross. ....	78
III.4 Realización de pruebas de calidad e instalación de la antena. ....	78
III.5 Recepción de imágenes en tiempo real y obtención del diagrama de radiación por parte de la antena DCA .....	78

III.6 Comparativa entre las antenas de tipo DCA y Cuadrifilares ubicadas en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.....	79
III.7 Elaboración del Manual .....	79
Capítulo IV .....	81
Desarrollo .....	81
IV.1 Investigación documental .....	81
IV.2 Diseño de la antena <i>Double Cross</i> .....	82
IV.3 Construcción de la antena <i>Double Cross</i> .....	85
IV.3.1 Materiales .....	85
IV.3.2 Pasos a seguir y forma de ensamblar una antena DCA .....	86
IV.4 Realización de pruebas de calidad e instalación de la antena.....	91
IV.4.1 Equipo de Medición de ROE.....	91
IV.4.2 Medición y Mejora de ROE de la antena DCA diámetro 12mm.....	95
IV.5 Recepción de imágenes en tiempo real y obtención del diagrama de radiación por parte de la antena DCA.....	96
IV.6 Comparativa entre las antenas de tipo DCA y Cuadrifilares ubicadas en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.....	97
IV.7 Elaboración del Manual.....	97
Capitulo V.....	99
Resultados.....	99
V.1) Investigación documental .....	99
V.2)Diseño de la antena <i>Double Cross</i> .....	100
V.3)Construcción de la antena <i>Double Cross</i> .....	100
IV.4 Realización de pruebas de calidad e instalación de la antena .....	102
IV.4.1 Equipo de Medición de ROE.....	102
V.5 Recepción de imágenes en tiempo real y obtención del diagrama de radiación por parte de la antena DCA.....	105
V.5.1 Recepción de imágenes en tiempo real de una antena <i>Double Cross</i> .....	106
V.5.1.1 DCA baja altura. ....	106
V.5.1.2 DCA alta. ....	111
V.5.2 Antena DCA diámetro con dipolo de 12mm a diferentes alturas y mejoras con las ferritas.....	116

V.6 Comparativa entre las antenas de tipo DCA y Cuadrifilares ubicadas en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.....	118
Capítulo VI .....	123
Conclusiones y Recomendaciones .....	123
Bibliografía: .....	125
<b>ANEXOS</b> .....	<b>1</b>
ANEXO 1. Guía para construcción de antena de 3mm .....	3
Materiales.....	3
Pasos a seguir y forma de ensamblar .....	3
ANEXO 2 Manual la instalación de una estación meteorológica.....	11
ANEXO 3. Imágenes recibidas de la DCA de 12mm.....	32

## Índice de Figuras

Figura 1. Satélites de órbita geoestacionaria y su área de cobertura. Satélites Americanos como son (GOES East and GOES West), Agencia espacial europea (METEOSAT), India, (INSAT), China (FY-2), y Japón (MTSAT). (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 15). .....	9
Figura 2. Satélite polar orbitando en la tierra. (Friedt & European Journal Of Physics , 2006, p. 2). .....	11
Figura 3. Máxima cobertura en latitud que puede ser detectada por una estación base ubicada en Barcelona, España. ....	13
Figura 4. Satélite órbita polar. (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 16). .....	14
Figura 5. Satélite polar después de pasada 24 horas catorce diferentes pasadas sobre la tierra. (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 17). .....	14
Figura 6. Esquema de onda electromagnética. (Carrillo, 1994). .....	17
Figura 7. Espectro de ondas Electromagnéticas. (Gómez, 2008). .....	19
Figura 8. Flujos de energía. (ScanTerra). .....	22
Figura 9. Flujo de energía para diferentes temperaturas. (Copernico). .....	24
Figura 10. Inercia Térmica. (Chuvieco Salinero, 2008, p. 70). .....	27
Figura 11. Diagrama de escaneo de la tierra con un sensor pasivo de barrido. ....	29
Figura 12. Composición Satélite NOAA. (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 21). .....	31
Figura 13. Componentes y estructura del sensor pasivo de barrido AVHRR/3. (Kramer, NOAA POES Series - "Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors", 2008). .....	36
Figura 14. NOAA 18 Imagen de la derecha espectro visible y el de la izquierda espectro infrarrojo. ....	38
Figura 15. Formato de la trama ATP. (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 41). .....	39
Figura 16. Tramas de telemetría usado para los satélites de órbita polar de la NOAA que usan el formato de transmisión APT. ....	42
Figura 17. Estación receptoras, componentes que la integran y señales a diferentes etapas de la recepción. ....	45
Figura 18. Pre-amplificador. (Chile D. d., 2010). .....	47

Figura 19. APTdecoder. (Patrik, 2007).....	51
Figura 20. Diagrama de radiación de un antena Yagi en coordenadas cartesianas.(Montevideo). ....	56
Figura 21. Diagrama de radiación de un antena Yagi en coordenadas polares.(Montevideo).56	
Figura 22. Señal polarizada verticalmente $E = x.ej\omega t - kz$ , dando por resultado propagación en z. (Chile S. , 2009).....	58
Figura 23. Señal polarizada circularmente a la izquierda, dirección de propagación Z. (Chile S. , 2009).....	59
Figura 24. Propagación omnidireccional que se busca para los satélites polares NOAA.....	64
Figura 25. Diagrama de radiación de una antena Turnstile en 3D en el espacio libre. (Elaboración propia programa MMANA-GAL).....	66
Figura 26. Diagrama de radiación en 2D en el espacio libre. (Elaboración propia programa MMANA-GAL).....	66
Figura 27. Antena Turnstile. (Lombry).....	67
Figura 28. Longitud dipolos y colocación de la misma. (Lombry).....	67
Figura 29. Alimentación de los dipolos. (Lombry).....	68
Figura 30. Antena Cuadrifilar Helicoidal de media vuelta. (Coppens).....	69
Figura 31. Diagrama de radiación de una antena cuadrifilar helicoidal de media vuelta.(Coppens). ....	69
Figura 32. Antena QHA dimensionado en la calculadora. (Coppens).....	71
Figura 33. Antena QHA a la derecha elaborada con cable coaxial y a la izquierda elaborada con tubo. (Coppens).....	72
Figura 34. Diagrama de radiación de un dipolo simple, imagen superior izquierda polarización horizontal, superior derecha polarización vertical y la inferior es diagonal. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 1). ....	73
Figura 35. Dipolo cruzado, separado a un cuarto de longitud de onda y cruzados a 90 grados. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 7).....	73
Figura 36. Se muestra todos los planos en el espacio como se observa la alimentación de los dipolos. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 9). ....	74
Figura 37. Diagrama de radiaciones de una DCA y posición de los dipolos en el espacio espaciados un cuarto de longitud de onda. (Tast & Martes, 2008, p. 6). ....	75
Figura 38. Diferentes planos para observar la polarización circular que presenta la antena DCA para recibir la señal satelital. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 19).....	76
Figura 39. Configuración de antena y ubicación correcta de los dipolos. (Martes J. , Double Cross Antena, 2008, p. 2).....	83
Figura 40. Conexiones internas de la DCA. (Martes J. , Double Cross Antena, 2008, p. 3)..	84
Figura 41. Dipolo de media onda sin ferrita. ....	85
Figura 42. Orificios ubicados en el centro de cada uno de las placas.....	87
Figura 43. Caja armada y con los tubos de 20 cm colocados que hacen una distancia de un cuarto de longitud de onda. ....	88

Figura 44. Perforación de tubo para la colocación de tornillo con arandela.....	88
Figura 45. Dipolo ya armado, con punto de conexión lijados para aumentar la conductividad. .....	89
Figura 46. Conexión del cable coaxial al dipolo.....	89
Figura 47. Dipolo con el trozo de aluminio que permitirá el cambio de longitud del mismo.	90
Figura 48. RigExpert AA-520 vista frontal y botones importantes. (RigExpert, pág. 3). ....	93
Figura 49. Medición de ROE para una frecuencia en específico. (RigExpert, pág. 7). ....	94
Figura 50. Medición de ROE para una frecuencia de 6,598Mhz y 500kHz de span. (RigExpert, pág. 9).....	95
Figura 51. Tejado del departamento D4 con diferentes ubicaciones de mediciones de la DCA. .....	96
Figura 52. Mapa conceptual de contenidos involucrados en la investigación documental....	99
Figura 53. Antena Double Cross de dipolos de 12mm de diámetro. ....	101
Figura 54. ROE a una distancia total de dipolo 1,04metros, las barras indican el rango donde debe tener el menor valor de ROE la antena. ....	103
Figura 55. ROE a una distancia total de dipolo 97 cm, las barras indican un mega en el lugar uno, un span de 20MHz. ....	104
Figura 56. Grafica de ROE y parámetros a la frecuencia de 137,5MHz, medición en la parte superior del tejado del D4 antena ubicada a una altura de 2 metros, usando el instrumento de medición RigExpert. ....	105
Figura 57. Imagen NOAA 18 recepción antena DCA diámetro de 12mm baja altura, Sábado 29 de Octubre hora 14:47, estación base Barcelona, España. ....	106
Figura 58. Diagrama de radiación DCA de 12mm una longitud de onda de altura. ....	107
Figura 59. Pasada capturada con el Orbitron. ....	107
Figura 60. Imagen NOAA 15 recepción antena DCA diámetro de 12mm a una longitud de onda de altura, Sábado 29 de Octubre hora 17:29, estación base Barcelona, España. .....	108
Figura 61. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 28° a 62°. ....	109
Figura 62. Diagrama de radiación DCA de 12mm a una altura de una longitud de onda. ...	110
Figura 63. Pasada capturada con el Orbitron. ....	110
Figura 64. Imagen NOAA 18 recepción antena DCA diámetro de 12mm altura de dos longitudes de onda, Martes 01 de Noviembre hora 14:27, estación base Barcelona, España. ....	111
Figura 65. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 14° a 62°. ....	112
Figura 66. Diagrama de radiación DCA de 12mm altura de dos longitudes de onda.....	113
Figura 67. Pasada capturada con el Orbitron. ....	113

Figura 68. Imagen NOAA 18 recepción antena DCA diámetro de 12mm a dos longitudes de onda de altura, Martes 01 de Noviembre hora 15:06, estación base Barcelona, España. ....	114
Figura 69. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 12° a 60°. ....	115
Figura 70. Pasada capturada con el Orbitron. ....	116
Figura 71. Comparación de sobrevuelo del NOAA15, en el espectro visible, derecha DCA a una altura de metro y medio en el tejado del módulo D4 día Miércoles 26 de octubre, hora 18:35. Medio DCA a una altura de tres metros en el tejado del módulo D4 día Jueves 27 de octubre, hora 18:05. Izquierda DCA a una altura de 6 metros en el tejado módulo D4 día Martes 1 de noviembre, hora 16:50. ....	117
Figura 72. Comparación de sobrevuelo del NOAA 18, en el espectro visible ambas. Derecha DCA con dipolos de 12mm de diámetro. Medio QHA tubular. Izquierda QHA coaxial. Día Martes 1 de noviembre, hora 14:27. ....	119
Figura 73. Comparación de sobrevuelo del NOAA 18, en el espectro visible ambas. Derecha DCA con dipolos de 12mm de diámetro. Medio QHA tubular. Izquierda QHA coaxial. Día Martes 1 de noviembre, hora 14:27. ....	120
Figura 74. Diagrama de radiación para el satélite NOAA 19 a diferentes días. Derecha DCA con dipolos de 12mm de diámetro, día Miércoles 2 de noviembre, hora 13:00. Izquierda QHA coaxial. Día Martes 9 de octubre, hora 14:27. ....	121

### Anexos:

Figura 75. Materiales cortados y perforados. ....	5
Figura 76. Material aislante que permitirá sujetar el dipolo. ....	5
Figura 77. Conexión de los dipolos con sujetados. ....	6
Figura 78. Introducir los dipolos dentro de la conexión T de material PVC. ....	7
Figura 79. Dipolo. ....	7
Figura 80. Todos los dipolos de media onda con sus respectivas identificaciones como nombre del elemento y ubicación del vivo del coaxial. ....	8
Figura 81. Cajetín con los tubos de PVC de 22cm que sumado todo da una distancia entre dipolos de un cuarto de longitud de onda. ....	9
Figura 82. Diseño del circuito impreso con las conexiones en papel transparente y conexiones en el mismo. ....	10
Figura 83. Antena DCA de dipolos de 3 milímetros. ....	10
Figura 84. Lugar de descarga del APTdecoder. ....	11
Figura 85. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 1. ....	12
Figura 86. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 3. ....	12
Figura 87. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 6. ....	13

Figura 88. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 9. ....	14
Figura 89. Icono en el escritorio del APTdecoder al ser correctamente instalado.....	14
Figura 90. Configuración APTdecoder paso 1. ....	15
Figura 91. Configuración APTdecoder paso 2, Opciones Generales.....	16
Figura 92. Configuración APTdecoder paso 3, Umbral. ....	17
Figura 93. Configuración APTdecoder paso 5, Coordenadas para la estación Barcelona, Campus Nord departamento D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña. ....	17
Figura 94. Configuración APTdecoder paso 6, Direcciones web a las cuales se les debe colocar <i>YES</i> para poder descargar satisfactoriamente las keplerianas. ....	18
Figura 95. Conexión de receptores dedicados. ....	19
Figura 96. Selección de dispositivo de grabación.....	19
Figura 97. Selección de dispositivo de grabación.....	20
Figura 98. Panel Frontal donde se muestran los próximos satélites que serán recibidos por la estación meteorológica.....	21
Figura 99. Panel Frontal durante la recepción del satélite. ....	21
Figura 100. Diferentes formas de procesado: en la imagen de la derecha opciones de ecualizar y normalizar la señal, en la imagen de la izquierda efectos que permiten mejorar la señal. ....	22
Figura 101 Funciones de <i>Images</i> . ....	22
Figura 102. Paso 1, instalación del Orbitron selección del idioma.....	24
Figura 103. Paso 3, instalación del Orbitron selección carpeta en donde será descargado el programa. ....	24
Figura 104. Paso 5, instalación del Orbitron selección de tareas adicionales.....	25
Figura 105. Paso 6, instalación del Orbitron listo para ser instalado con todos los componentes y tareas que han sido previamente seleccionadas. ....	26
Figura 106. Icono en el escritorio del Orbitron al ser correctamente instalado. ....	26
Figura 107. Panel frontal de Orbitron. ....	27
Figura 108. Selección del documento necesario para poner en marcha el Orbitron.....	27
Figura 109. Panel frontal en opción simulación. ....	28
Figura 110. Configuración del receptor ICOM paso 2. ....	29
Figura 111. ICOM PCR-1500 Tuner, controla el receptor desde el APTdecoder. ....	30
Figura 112. Signal Plotter en APTdecoder permite conocer la recepción de la antena. ....	31
Figura 113. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 10° a 65°, NOAA 18, Sábado 05 de Noviembre 2011 hora 13:44 .....	32
Figura 114. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 20° a 65°, NOAA 19, Domingo 06 de Noviembre 2011 hora 15:33. ....	32

Figura 115. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 12° a 65°, NOAA 19 y NOAA 18, Lunes 07 de noviembre de 2011, horas 14:03 y 15:03, se observa un ruido entre las latitudes 15° y 16°. .....	33
Figura 116. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 12° a 63°, NOAA 18 y NOAA 15, Martes 08 de noviembre de 2011, horas 14:52 y 17:28.....	33
Figura 117. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 18° a 50°, NOAA 19 y NOAA 18, Miércoles 09 de noviembre de 2011, horas 15:22 y 16:21.....	34
Figura 118. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 15° a 65° para la mejor pasada las otras dos 14,5° a 54°, NOAA 19, NOAA 19 y NOAA 18, Jueves 10 de noviembre de 2011, horas 13:31, 15:12 y 16:11. ....	34
Figura 119. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 16° a 66° para la mejor pasada las otras dos 14,5° a 65°, NOAA 19, Viernes 11 de noviembre de 2011, horas 13:21 y 15:01.....	35
Figura 120. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 16° a 66° para la mejor pasada las otras dos 14,5° a 55°, NOAA 18, Viernes 11 de noviembre de 2011, horas 14:20 y 16:00.....	35
Figura 121. Imagen NOAA 18 recepción antena DCA diámetro de dos longitudes de onda alta, domingo 13 de Noviembre hora 13:58, estación base Barcelona, España. ....	36
Figura 122. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 18° a 66° para la mejor pasada las otras dos 14° a 58°, NOAA 19, NOAA 18 y NOAA 19, Domingo 13 de noviembre de 2011, horas 12:59, 13:58 y 14:40. ....	37

## Índice de Tablas

Tabla I: Magnitudes radiométricas comúnmente usadas en la teledetección, .....	21
Tabla II: Componentes que conforma el satélite NOA.....	31
Tabla III: Ficha Técnica Satélite NOAA 15 .....	32
Tabla IV: Ficha Técnica Satélite NOAA 17 .....	33
Tabla V: Ficha Técnica Satélite NOAA 18 .....	34
Tabla VI: Ficha Técnica Satélite NOAA 19 .....	34
Tabla VII: Canales usado por el AVHRR durante el tiempo y longitudes de ondas asociadas a dichos canales. ....	36
Tabla VIII: Valor que indica el valor de la barra 16 que permite determinar el canal usado .	43
Tabla IX: Parámetros de transmisión de los satélites POES de la NOAA.....	48
Tabla X: Espectro electromagnético para bandas de frecuencia de trasmisión. ....	53



## Introducción

Un sistema de telecomunicaciones está compuesto por múltiples etapas las cuales al trabajar en armonía permiten la recepción o la transmisión de señales electromagnéticas por el espacio.

Una estación receptora es un sistema de comunicaciones que sirve para la recepción de señales provenientes de los satélites de órbita polar. Dicha estación consta de una antena receptora que se encarga de recibir la información proveniente de los satélites de órbita polar, un receptor con la utilidad de detectar la componente de alta frecuencia a la cual transmiten los satélites de órbita polar y demodular la señal, y por último un sistema de visualización que normalmente es un computador en donde se observa la imagen enviada por el satélite.

Todo este proceso ocurre en tiempo real, haciendo así mucho más rápido comprender los frentes de nubes y las condiciones meteorológicas del sector del planeta donde esté la estación receptora.

Actualmente la gran mayoría de estaciones receptoras para la recepción de satélites de órbita polar poseen Antenas de tipo Cuadrifilar, antenas que presentan las prestaciones adecuadas para la recepción de los satélites de órbita polar, ya que sin el uso de un sistema de seguimiento motorizado se logra detectar y recibir la señal durante todo el sobrevuelo del satélite sobre la estación receptora, esto se logra debido a que la antena presenta un diagrama de radiación omnidireccional de media esfera. Sin embargo la antena de tipo Cuadrifilar presenta una desventaja que su construcción es complicada.

Recientemente se ha desarrollado nuevas investigaciones y documentación sobre un nuevo tipo de antena, llamada *Double Cross*, la cual según las nuevas investigaciones presenta mejores prestaciones a la antena Cuadrifilar, con la principal diferencia que su construcción es mucho más sencilla.

El objetivo principal de este proyecto se centrará en el estudio de la Antena *Double Cross* donde se contrastarán los resultados obtenidos en el proyecto con los documentos previamente desarrollados sobre la antena y la comparación entre la antena *Double Cross* contra la antena de tipo Cuadrifilar.

Con el uso de este análisis se determinara si es necesario el remplazo de la antena Cuadrifilar por la nueva antena *Double Cross*.

Una vez acabada la lectura del trabajo, si es gusto del lector, es posible la construcción de una propia estación receptora. En todos los apartados usados se muestran todos los procesos de construcción de la antena los cuales están descritos al detalle, sustentados por imágenes para la facilidad del lector y materiales que deben ser usados para la construcción de la antena.

# Capítulo I

## Planteamiento del Proyecto

En este capítulo se describe el problema que motivó la ejecución del Trabajo Especial de Grado; también se presenta el objetivo general, los objetivos específicos, las justificaciones y finalmente los alcances y limitaciones del proyecto.

### I.1.Planteamiento del Problema

La Escuela de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña cuenta con una antena de tipo cuadrífilar, usada para la recepción de imágenes transmitidas a 137 MHz en formato APT (*Automatic Picture Transmission*) desde satélites de órbitas polares. Dichos satélites son los de la organización *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

El laboratorio **D4-212** se encuentra dotado con todos los equipos para poder recibir la imagen satelital, dichos equipos a su vez están apoyados sobre estándares internacionales y se encuentran conectados a la antena.

En el mundo se han desarrollado nuevas antenas y sistemas que permiten una detección óptima de las imágenes transmitidas por los satélites de órbita polar. Pero la mayoría del *software* usado para decodificación de la señal recibida son pagos y al igual que las antenas las cuales en su mayoría son manufacturadas por fabricantes tales como la compañía *SURREY*.

Existe también software de código abierto para decodificar la imagen el cual es proporcionado por NOAA de nombre *APTDecoder*, *The NOAA POES Wheatear Satellite Decoder* y también se tiene una manera de construir una antena que permita brindar la calidad que se busca.

Para resolver esta necesidad, este proyecto se enmarcó en el diseño y la construcción de una antena *Double Cross* la cual debe mejorar las prestaciones de la antena cuadrífilar que se encuentra en la Universidad. Al ser esta antena construida por uno mismo ayudará a disminuir el coste que representa adquirir una antena nueva.

El presente Trabajo Especial de Grado se fundamenta en la construcción de una antena de tipo *Double Cross* y adaptación de la misma a la mejora de la detección de la imagen.

La finalidad de resolver esta necesidad es brindarle a la UPC una nueva antena gratuita, en el que se pueda observar una mayor área de cobertura desde Mauritania hasta Islandia, ayudando a la persona encargada de la estación meteorológica a observar un área mayor de territorio. Dando así un pronóstico más claro y saber lo que ocurre en otra parte del globo terráqueo. Además, se intentará tener una antena portable para poseer un fácil traslado a diferentes áreas y un acceso remoto que permitirá el continuo monitoreo de la estación desde diferentes áreas de España y del mundo. Con ello se obtendría un mejor desempeño profesional, ahorro de tiempo y flexibilidad en cuanto a horarios y desarrollo de actividades.

Por todos estos beneficios que ofrece la construcción de esta antena, es el propósito de este trabajo presentar a la UPC una propuesta clara, concreta y aplicable, para poder implantar la antena *Double Cross* como nueva antena de esta estación meteorológica, disminuyendo los grandes costos que esto significa en la actualidad comparar una antena de una compañía encargada de construcción de antenas para este tipo de aplicación.

## **I.2. Objetivos**

### **I.2.1 Objetivo General**

El diseño y construcción de una antena de tipo *Double Cross* para la recepción de la imagen provenientes de satélites de órbita polar en tiempo real.

Imágenes que son transmitida a una frecuencia de 137 MHz en formato APT esperando una mejora sobre la antena cuadrifilar. La cual se encuentra ubicada en la estación meteorológica del departamentito de teoría de señales D4 laboratorio 212.

Las mejoras buscadas sobre la antena Cuadrifilar son tanto en la calidad de imagen como la recepción de la misma a las latitudes más extremas posibles.

### **I.2.2 Objetivos Específicos**

Para el alcance del objetivo general antes expuesto, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la teoría y especificaciones técnicas de una estación meteorológica, comunicaciones satelitales y teledetección.
- Determinar los requerimientos para el diseño y construcción de la antena que se adapte a los equipos de recepción que se tienen en la UPC e implementarlo.
- Diseño de una antena *Double Cross* para la recepción de imágenes de satélites de orbita polar.
- Construcción de la antena *Double Cross* para la recepción de imágenes de satélites en orbita polar.
- Acople de las impedancias entre la antena y la línea de transmisión garantizando la mayor trasferencia de potencia.
- Procesar la señal recibida mediante el uso del sistema de decodificación adecuado.

### **I.3 Alcances y Limitaciones**

El alcance de este proyecto es construir, instalar y tener una recepción optima con la antena DCA, junto al correcto funcionamiento de la estación meteorológica.

La limitación que se tiene en la estación de la UPC viene dada por la ubicación ya que al norte de la locación se presenta la montaña del Tibidabo, lo que hace imposible que se puede tener una recepción del 100% durante todo el sobre vuelo del satélite.



## Capítulo II

### Marco Teórico

En este capítulo se describen brevemente los conceptos, conocimientos y bases teóricas que engloba este Trabajo Especial de Grado.

Los conocimientos teóricos a tratar principalmente se basan en los sistemas de comunicación satelital y teledetección. Se mencionan definiciones de órbitas, leyes de Kepler y como determinar las keplerianas, tipos de satélites, protocolos utilizados para la transmisión de datos, sensores satelitales, antenas, esquemas de modulación, radio receptores, procesado de imagen, así también como conceptos básicos de la teledetección.

#### II.1 Órbitas y tipos de satélites de la agencia espacial NOAA

##### II.1.2 Reseña histórica de la agencia espacial NOAA<sup>1</sup>

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA) fue fundada bajo el mando del presidente Nixon en Estados Unidos. El propósito de la creación de NOAA es de servir las necesidades de los Estados Unidos con los intereses de mejor protección frente a los incidentes naturales, para mejor entendimiento de la naturaleza, y para la exploración y desarrollo del uso de los recursos marinos. Esta agencia está bajo la supervisión del departamento de comercio (*Department of Commerce*) de los Estados Unidos.

Más de 30 años después la NOAA continúa trabajando todos los días. Dando a sus usuarios información a tiempo real y precisa del clima, nubosidad y pronóstico, para monitorear el medio ambiente, administrar la pesca y la construcción de mejores zonas costeras, desarrollando lugares más seguros para la población minimizando el riesgo de que algo le suceda.

En momentos de crisis, NOAA es capaz de captar cualquier incidente sobre la faz de la tierra sea un tornado, huracán, derrames petroleros, actividad volcánica entre otros,

---

<sup>1</sup>NOAA: <http://www.noaa.gov/>

ya que tiene un punto de observación que ningún ser humano tiene y puede ver de manera limpia y clara lo que ocurre en el planeta tierra, permitiendo que nosotros podamos actuar para mejorar el planeta.

La NOAA comenzó únicamente como una agencia Americana pero al pasar de los años y con la puesta en marcha de los satélites polares que permiten el monitoreo de toda la tierra por lo que es posible saber qué está sucediendo en cualquier lugar del mundo.

De todos los departamentos que conforman la NOAA el mas importante es el NESDIS<sup>2</sup>, este departamento se encarga del programa espacial de los satélites de tipo geoestacionario y polar.

### **II.1.3 Órbitas y tipos de satélites**

Los satélites se clasifican más que todo por su función en el espacio. Existen infinidad de aplicaciones para el manejo de los mismos y de ellas depende la óptica diferente con la que se observa la tierra proporcionando la visualización de grandes extensiones de terreno muy fácilmente. Igualmente la altura de los satélites con respecto a la tierra juega un factor importante y determinante al momento de clasificarlos ya que presentaran cualidades diferentes al observar la tierra.

Las dos órbitas usadas hoy en día, son la órbita geoestacionaria y la órbita polar, la cual es la usada por la mayoría de los satélites de la NOAA y en el especial los satélites en el que se basará este estudio.

La elección de la órbita que ocupa un satélite viene determinado por las características de la misión para lo cual es diseñado. Si se pretende tomar datos de una gran superficie en una sola imagen a fin de observar fenómenos globales muy dinámicos como lo es la nubosidad se trabaja con satélites geoestacionarios que presenten un amplio campo de visión; por el contrario, si se pretende un mayor detalle en la observación, se usan satélites polares.

---

<sup>2</sup> NESDIS: <http://www.nesdis.noaa.gov/>

### II.1.3.1 Satélites de Órbita Geoestacionaria

El concepto de satélite de órbita geoestacionaria es muy simple, son aquellos satélites que siempre están en la misma posición con respecto a la tierra, es decir que el satélite presenta la misma velocidad de la tierra lo cual hace posible que capture siempre una región en específico. Esto quiere decir que este tipo de satélites presentarán imágenes en tiempo real dentro del rango de cobertura, su desventaja es que no se puede saber que ocurre fuera de su área de observación.

Los satélites de órbita geoestacionarias están ubicados a una altura con respecto a la corteza terrestre de aproximadamente unos treinta y seis mil kilómetros (36.000,00km), dicha altura permite al satélite mantener la sincronía con la rotación de la tierra y un periodo orbital de veinticuatro horas (24horas) aproximadamente, Véase Figura 1 . Este periodo de órbita le permite que siempre pueda observar el mismo punto de la tierra sin ningún problema.

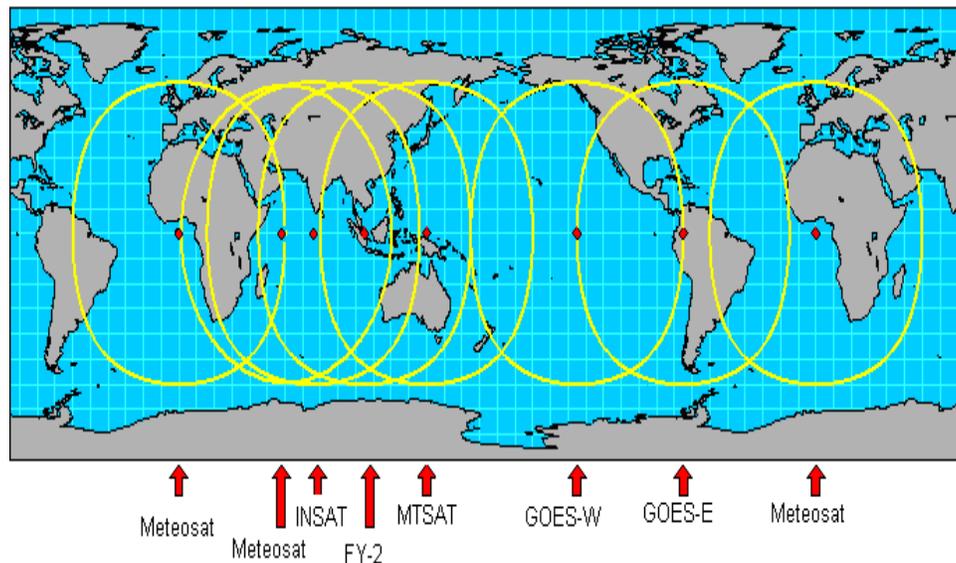


Figura 1. Satélites de órbita geoestacionaria y su área de cobertura. Satélites Americanos como son (GOES East and GOES West), Agencia espacial europea (METEOSAT), India, (INSAT), China (FY-2), y Japón (MTSAT). (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 15).

La ventaja que presenta este tipo de satélite es que permite el monitoreo exclusivo de un sólo terreno o área en específico por lo que se puede saber que está sucediendo en ese sector en tiempo real y esta información puede ser almacenada e interpretada de la mejor manera para saber el comportamiento de los cúmulos de nubes.

Sin embargo no todo es bueno, existen desventajas en este tipo de satélites, como son:

- La lejanía con respecto a la tierra, hace que su resolución no sea tan buena, igualmente los equipos en estas naves deben ser muy complejos
- Al monitorear siempre una sola zona en concreto, no se puede saber qué está ocurriendo fuera de la misma. Si sucede algún evento que pueda afectar de manera importante todo el sector que es monitoreado por el satélite geoestacionario fuera de su zona de cobertura, no se sabrá del mismo sino hasta que pueda ser observado.

Por las desventajas antes comentadas es necesario satélites que permitan la observación y monitoreo de toda la tierra, para ello han sido creados los satélites de órbita polar.

### **II.1.3.2 Satélites de órbita polar**

Un satélite de órbita polar es aquel tipo de satélite que gira alrededor del globo terráqueo durante ese mismo periodo, observando y monitoreando toda la tierra.

Estos satélites reciben este nombre ya que presentan un ángulo de noventa grados (90) con respecto al ecuador (en el caso de los satélites de la NOAA y para algunos meteorológicos ese ángulo es de noventa y ocho grados). Normalmente estos satélites poseen una altura de ochocientos kilómetros pero puede variar dependiendo la aplicación.

El punto más importante de los satélites de órbita polar es el ángulo con el ecuador y sus múltiples pasadas por la tierra lo que permite una visión general de la misma.

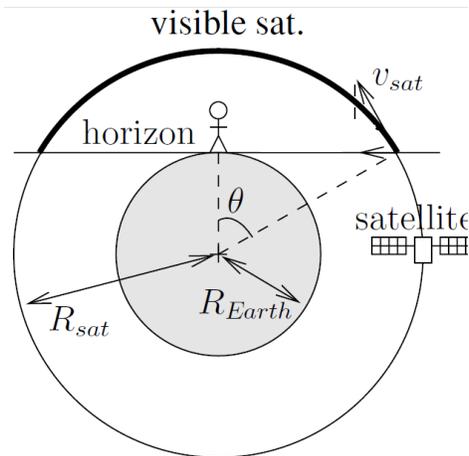


Figura 2. Satélite polar orbitando en la tierra. (Friedt & European Journal Of Physics , 2006, p. 2).

El satélite de órbita polar presenta un periodo constante alrededor de los polos, el cual puede ser estimado usando la tercera ley de Kepler.

Kepler en su tercera ley expone lo siguiente, el cuadrado del periodo orbital de un planeta es proporcional al cubo de la distancia media desde el sol o también se puede conseguir como los cuadrados de los periodos ( $P$ ) de revolución son proporcionales al cubo de los semiejes mayores ( $a$ ) de la elipse. Esta ley se puede usar para determinar el periodo que dura un satélite de órbita polar usando como referencia un satélite geoestacionario.

$$\frac{T^2}{R^3} = T_{visualizacion}(1)$$

Donde la  $T$  es el periodo del satélite polar,  $R$  la distancia con el centro de la tierra y el tiempo de visualización es igual al periodo de un satélite de órbita geoestacionaria. Con el uso de esta fórmula, considerando que una satélite geoestacionario órbita la tierra a 36.000 Km y que la altura del satélite de orbita polar es 800 Km, se puede deducir el periodo para un satélite de órbita polar,  $T_{polar}$ :

$$T_{polar} = \sqrt{\left(\frac{R_{tierra+h_{polar}}}{R_{tierra+h_{geo}}}\right)^3 + T_{geo}^2} \approx 101min(2)$$

Sin embargo al conocer el periodo del satélite solo sirve para predecir en que momento el satélite será visible en el horizonte. Eso es lo importante el tiempo en el cual el satélite es visible ya que durante ese periodo de tiempo se podrá recibir la señal satelital. Con el uso de Figura 2 se deduce el siguiente análisis que permite el cálculo del tiempo de recepción del satelital.

Sabiendo que es posible solo observar el satélite en el horizonte y ese punto equivale cuando  $\cos(\theta) = \frac{R_{tierra}}{h_{polar} + R_{tierra}}$ , desde ese momento el satélite puede ser visible lo que lleva a la siguiente ecuación que determina la fracción de ángulo  $\theta$  en donde el satélite sobrevuela la estación meteorologica:

$$\frac{2\theta}{2\pi} = \frac{2 \cos^{-1}\left(\frac{R_{tierra}}{h_{polar} + R_{tierra}}\right)}{2\pi} \rightarrow \theta \approx 0.151 \text{ radianes} \quad (3)$$

Donde el máximo tiempo que dura un satélite de órbita polar en completar su periodo es 101min se deduce que el tiempo máximo en el cual una estación receptora puede recibir información de un satélite de órbita polar es la siguiente:

$$T_{polar \text{ visible } MAX} = T_{polar} * 0.151 \text{ radianes} \approx 15.1 \text{ min} \quad (4)$$

De esta fórmula se observa que el máximo tiempo en el que una estación base puede recibir de un satélite de órbita polar a ochocientos kilómetros de la superficie terrestre es de quince minutos aproximadamente.

Por lo que también se puede obtener el ángulo de visión máximo que puede tener un satélite orbital polar usando simplemente el teorema del seno, con lo que se puede entender el máximo ángulo teórico que debemos recibir es:

$$\frac{h_{polar} + R_{tierra}}{\sin(90^\circ)} = \frac{R_{tierra}}{\sin(\alpha)} \rightarrow \alpha = 62^\circ \quad (5)$$



Figura 3. Máxima cobertura en latitud que puede ser detectada por una estación base ubicada en Barcelona, España.

Siendo el ángulo máximo de apertura que existe en el nadir ( punto en donde el satélite está ubicado encima de la estación receptora) de las pasada del satélite por la tierra es de  $69^\circ$ , dando como resultado en el mejor de los casos se podrá tener  $\pm 28^\circ$ , sabiendo que España está en la latitud  $41^\circ$ , en la imagen recibida se podría ser capaz de observar desde la isla de cabo verde latitud  $13^\circ$  hasta las islas Feroe en latitud  $69^\circ$ . Dicha recepción se lograría si no se encontrará la montaña al norte de Barcelona que imposibilita tener una visión global de todo el horizonte. Véase Figura 3.

El satélite es lanzado en una órbita que está en sincronía con la del sol por lo que guarda una relación con el sol, lo que permite mantener una exactitud con respecto al paso de los satélites sobre la misma zona de la tierra. Esto permite que el satélite haga el mismo paso por la misma zona dos veces al día.

A continuación en la Figura 4 se observa como orbita el satélite alrededor de la tierra, mientras que en la Figura 5 se ve los continuos pasos del satélite sobre la tierra.

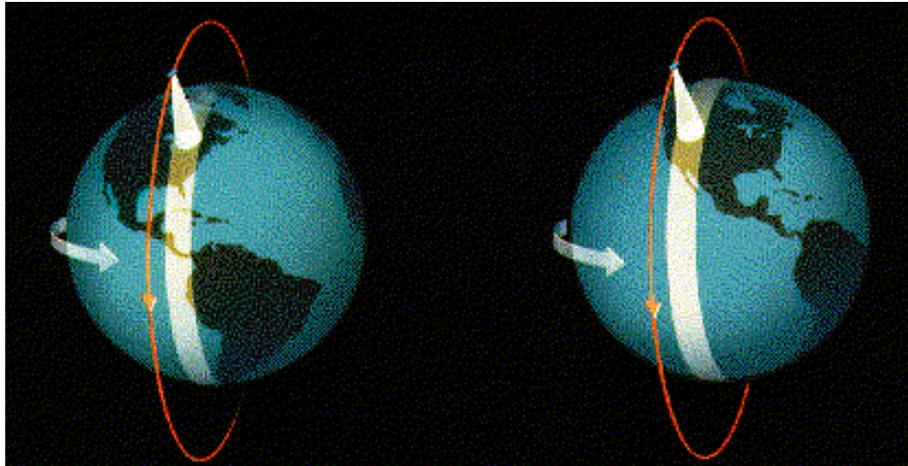


Figura 4. Satélite órbita polar. (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 16).

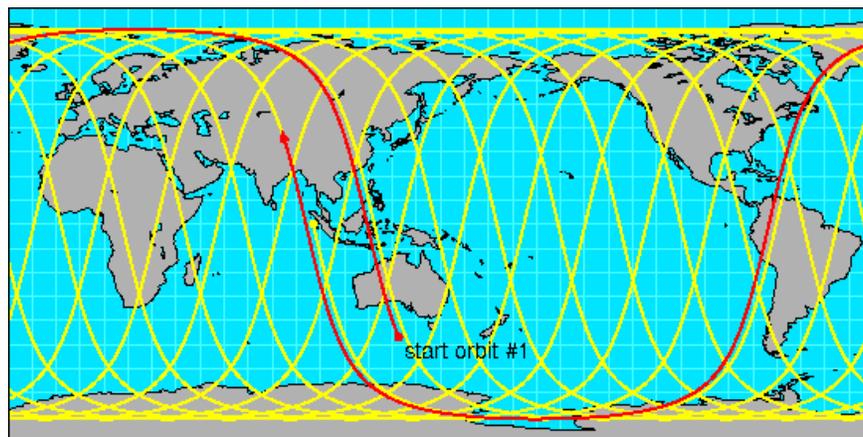


Figura 5. Satélite polar después de pasada 24 horas catorce diferentes pasadas sobre la tierra. (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 17).

Si se tiene un satélite de órbita polar a cuatrocientos kilómetros (400 km) de altura de la superficie terrestre la duración que puede ser observado y su señal puede ser recibida es de un máximo de 9,7 minutos. Este resultado es posible con el uso de las formulas (2), (3) y (4), siendo  $h_{\text{polar}} = 400 \text{ Km}$ .

## II.2. Teledetección

La definición de teledetección es muy variada, no existe un concepto que abarque todo lo que es la teledetección en sí. En su más amplio sentido se entiende por teledetección (Chuvienco Salinero, 2008) *“la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador”*. La definición antes mencionada presenta el caso más simple que es la observación humana sobre un objeto, nuestro ojo es un sensor pasivo el cual capta las imágenes procedentes del entorno en el espectro del visible, pero también abarca otras técnicas de exploración como es el sonar, ecografía o fotografías aéreas. El principio básico de la teledetección parte con una perturbación (energía electromagnética, fuerzas orbitales,...) que el sistema observado produce en el medio, la cual puede ser detectada y registrada por un receptor, para su posterior análisis. Este es el aspecto más importante del concepto de teledetección que no es el hecho de observar, lo que es relevante es el almacenar esta información observada para su próximo estudio.

Así, para algunos autores prevalece el concepto usado por Sabins (Sabins, 1978) en donde postula que la teledetección es:

*“el registro de información de un objeto sin entrar en contacto material con, el en las regiones del ultravioleta, visual, infrarrojo y microondas, por medio de instrumentos como escaneas y cámaras localizadas en plataformas móviles (avión o satélite) y análisis de la información adquirida por medio de técnicas de fotointerpretación, interpretación de imágenes y procesado de las mismas”*.

En base a los conceptos antes mencionados se pueden destacar los siguientes aspectos con respecto a la teledetección:

- Adquisición de información a distancia, sin entrar en contacto material con el objeto encontrado.
- Se realiza a través de sensores localizados en plataformas móviles.

- La información observada es almacenada para su posterior análisis.
- Las transformaciones de los datos obtenidos son después procesados e interpretados.

La teledetección no es únicamente la observación espacial sino que puede ser la observación terrestre, pero hoy en día este tipo de teledetección se ha dejado de realizar debido a que se tienen unos nuevos equipos a una mayor altura (satélites). Dichos elementos proporcionan un mejor radio de cobertura, lo que garantizan imágenes de grandes extensiones de terreno brindando una gran calidad en resolución.

La característica más importante de la teledetección es la gestión frente a una catástrofe humana, ya que al manejar dicha información a tiempo real como en el caso de un tsunami, o el de un volcán activo, entre otros, las agencias internacionales pueden actuar de manera rápida y eficaz sobre el lugar del siniestro. Pero no todo es positivo en este campo, también existen sus limitaciones que vienen dadas por los siguientes factores:

- Mientras el fenómeno pueda reflejar o emitir energía podrá ser detectado pero si dicho fenómeno no afecta el exterior que lo está cubriendo no podrá ser detectado. Por ejemplo el volcán de la isla del Hierro en las Canarias.
- Sólo se observa lo que ocurre en el exterior de los elementos, si un objeto se encuentra por debajo o dentro de un elemento mucho mayor que él no será detectado. (Ejemplo: Un objeto como un centro comercial puede ser detectado por un satélite pero no se podrá observar las personas los negocios o lo que está sucediendo dentro del mismo).
- La tecnología cada día avanza más y es más problemático hacer que los nuevos elementos de alta tecnología puedan ser compatibles a las transmisiones satelitales.

### **II.2.1 Principios físicos de la teledetección**

Los principios físicos permiten la comprensión y el entendimiento de cómo se pueden observar todas las perturbaciones que se realizan en la tierra tanto por señales que

se transmitan por los satélites o que sean percibidos por ellos mismos sin la necesidad de enviar una señal. Los tres principales elementos de un sistema de teledetección son: sensor, el objeto que se observa y el flujo energético que se pone en relación.

En todo este proceso de entender el funcionamiento físico de cómo se puede percibir el flujo energético, se generaron diferentes postulados que pasaron a ser leyes físicas universales.

Como es sabido la energía se transfiere de un lugar a otro en tres procesos: convección, conducción y radiación. Para el verdadero estudio físico es necesario enfocarse el último término la radiación, la cual es simplemente la propagación de energía en forma electromagnética.

La forma que se puede observar una onda electromagnética depende del punto de vista con el cual se observe la onda, debido a que existe la teoría de Maxwell donde la onda es considerada como un haz ondulatorio y la teoría de Plank donde la onda se considera como una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos, con masa igual a cero.

Usando el modelo ondulatorio, basado en las leyes de Maxwell donde la energía electromagnética se transmite usando un modelo armónico continuo. Las características de dicho flujo energético se describe por dos elementos: longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia ( $f$ ). Véase Figura 6.

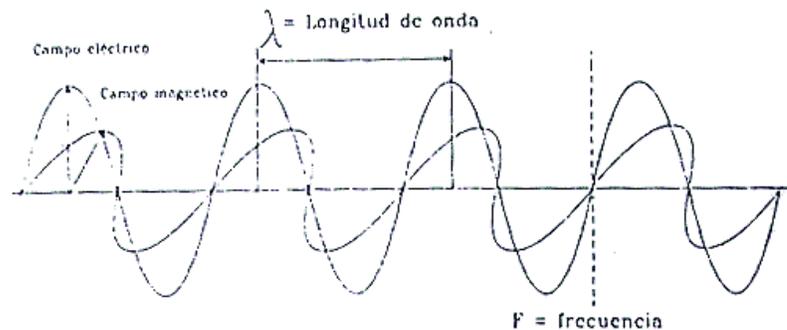


Figura 6. Esquema de onda electromagnética.(Carrillo, 1994).

La longitud de onda, es la diferencia en referencia a dos picos sucesivos de una onda y la frecuencia es la cantidad de ciclos sucesivos que pasan por un punto fijo en una

unidad de tiempo. Ambos elementos están inversamente relacionados, con lo que se puede determinar qué:

$$c = \lambda \cdot f \quad (6)$$

En esta fórmula se puede determinar que la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$ ) es igual a una longitud de onda de tres metros por una frecuencia de 100 MHz.

Con el uso de la teoría cuántica, podemos calcular la cantidad de energía transportada por un fotón, siempre que se conozca su frecuencia.

$$Q = h \cdot f \quad (7)$$

Se determina que Q es la energía radiante de un fotón (en julios), h es la constante de Plank ( $6,6 \times 10^{-34}$  J s). Sustituyendo la ecuación  $c = \lambda \cdot f$  (6) en  $Q = h \cdot f$  (7) se obtiene:

$$Q = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (8)$$

Se determina que a menor longitud de onda se obtendrá un mayor cantidad de energía, por lo que señales que tengan una longitud de onda muy grande será más complicado su detección comparándola con una de señal con longitud de onda pequeña.

De las ecuaciones antes expresadas se encontró la relación entre la longitud de onda y frecuencia con la cantidad de energía radiada. Para valores de longitud de onda se establecen una serie de bandas en donde la energía electromagnética presenta un comportamiento parecido, comprende desde longitudes muy cortas (Rayos X, Rayos Gamma), hasta las más grandes (Aplicaciones comerciales en bandas des de baja frecuencia a microondas).

El espectro electromagnético para las señales dependiendo su longitud de onda, Véase Figura 7:

- *Espectro Visible (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ )*, esta es la única radiación que puede ser percibida por nuestros ojos por eso lleva este nombre. Existen el azul 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ , el verde 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$  y el rojo 0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ , con estas tres tonalidades nuestros ojos pueden hacer una gama infinitas de colores.
- *Infrarrojo cercano (IRC, 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ )*, mayormente usado para determinar la concentración de humedad en la atmosfera.
- *Infrarrojo medio (IRM, 1,3 a 8  $\mu\text{m}$ )*, longitud de onda que permite determinar focos de altas temperaturas como los volcanes
- *Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8 a 14  $\mu\text{m}$ )*, permite observar los cambios térmicos de la superficie terrestre.
- *Micro-ondas (M, 1microm en adelante)*, utilizado para la parte de comunicaciones. Dentro de las microondas existen una gran gama de subdivisiones que no serán necesarias su explicación.

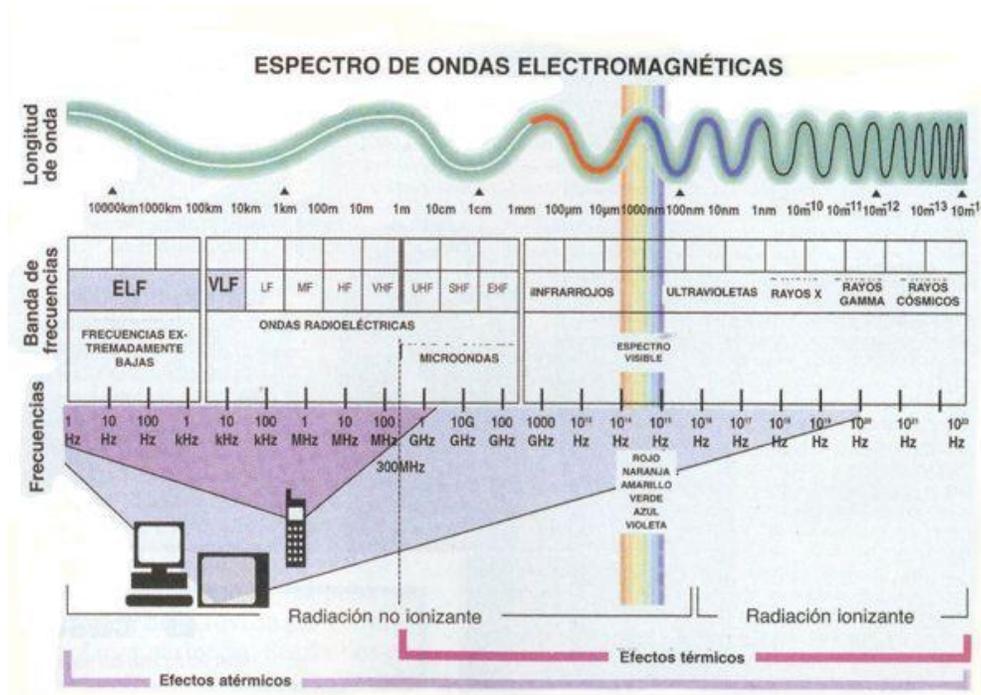


Figura 7. Espectro de ondas Electromagnéticas. (Gómez, 2008).

### II.2.1.1 Descripción de campo radiactivo y propiedades radiactivas de la materia

Para estos diferentes tipos de longitudes de onda existe un flujo de energía el cual es emitido y puede ser captado por los sensores de los satélites.

El campo radiativo es el campo electromagnético transportado por las ondas entre la fuente emisora y el detector. La energía asociada con la onda electromagnética fue

anteriormente calculada en la ecuación  $Q = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ , donde Q es la energía radiante. Sin embargo, es necesario conocer otros conceptos que vienen ligados con la energía radiante de un objeto.

El flujo radiante, definido teóricamente como  $\Phi = \delta Q / \delta t$ , representa al total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W). Esta magnitud no brinda ninguna información sobre la distribución de la radiación. En su contraparte, la densidad del flujo radiante, se denomina con la letra E o  $M = d\Phi / dS$ , se define radiante sobre una superficie. Se distingue el caso en que la energía sea radiada por la superficie en todas las direcciones, conocida como exitancia y emitancia radiante (M), y en aquellos casos cuando la energía incide en la superficie se llama irradiancia (E).

Únicamente se han definido magnitudes que emiten radiación a todas las direcciones pero en el caso de presentar una emisión puntual no pueden ser utilizadas por lo que se debe introducir un nuevo término la intensidad radiante, el cual está definido como  $I = d\Phi / d\Omega$ , que es el flujo radiante transportado por unidad de ángulo sólido. Este ángulo tridimensional, que refiere a la sección completa de energía transmitida y tiene como unidades estereo-radianes. Cuando se habla de superficies extensas de terreno, se usa la radiancia (L) que se define como total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo sólido de medida.

Al igual que la radiancia y la emitancia existen mas magnitudes que es necesario conocer su significado, Ver Tabla I.

Tabla I: Magnitudes radiométricas comúnmente usadas en la teledetección.

Concepto	Símbolo	Fórmula	Unidad de medida
Energía Radiante	$Q$	—	Julios (J)
Flujo Radiante	$\Phi$	$\delta Q / \delta t$	Vatios (W)
Emitancia	M	$\delta \Phi / \delta A$	$W m^{-2}$
Irradiancia	E	$\delta \Phi / \delta t$	$W m^{-1}$
Intensidad Radiante	I	$\delta \Phi / \delta \Omega$	$W sr^{-1}$
Radiancia	L	$\delta \Phi / \delta A \cos \theta$	$W m^{-2} sr^{-1}$
Radiancia Espectral	$L_{\lambda}$	$\delta L / \delta \lambda$	$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$
Emisividad	E	$M / M_{\lambda}$	
Reflectividad	P	$\varphi_r / \varphi_i$	
Absortividad	A	$\varphi_a / \varphi_i$	
Transmisividad	T	$\varphi_t / \varphi_i$	

sr : Estéreo-radián, medida del ángulo sólido.  
 $\mu m$ : Micrómetro o micra ( $10^{-6}$  metros).  
 $\varphi_i$ : Flujo incidente.  
 $\varphi_r$ : Flujo reflejado.  
 $\varphi_a$ : Flujo absorbido  
 $\varphi_t$ : Flujo transmitido.  
 $\theta$ : Ángulo formado por el flujo y la dirección normal.

En transmisión siempre ha sucedido que al hacer incidir ( $\varphi_i$ ) un flujo de energía radiada sobre algún material u objeto esta radiación es reflejada ( $\varphi_r$ ) ocasionando un flujo de energía que se regresa directamente a la fuente, otra parte de la radiación es absorbida por el objeto ( $\varphi_a$ ) y por ultimo esta energía que incide puede ser transmitida ( $\varphi_t$ ) a través del cuerpo que está atravesando. También existe un flujo de energía que es el que produce el cuerpo por si solo que es la energía emitida ( $\varphi_e$ ). Véase figura 8.

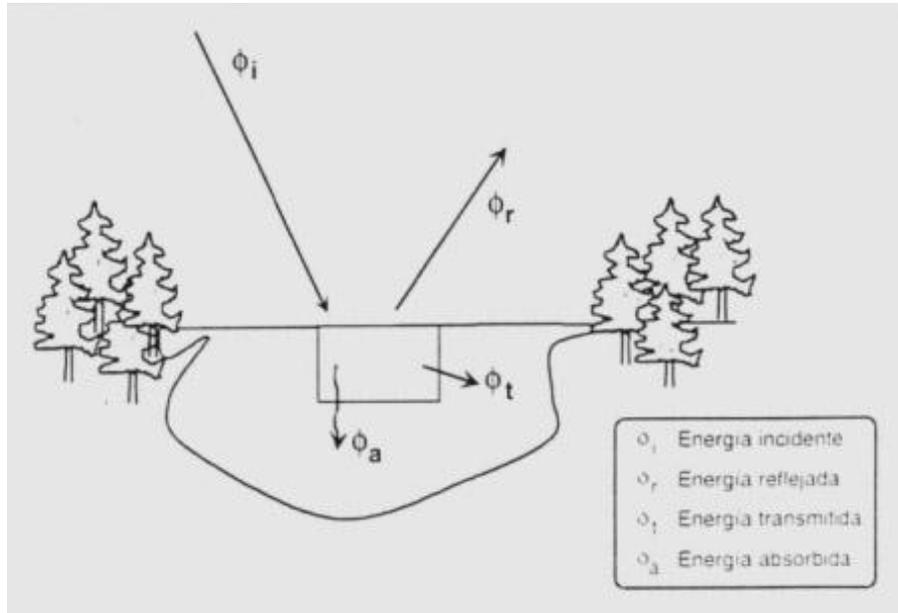


Figura 8. Flujos de energía. (ScanTerra).

Con el uso de la conservación de la energía podemos conseguir una ecuación que permita entender lo que sucede con la energía incidente.

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t \quad (9)$$

Comúnmente esta ecuación es usada con los valores relativos por lo que se debe dividir todo entre el flujo incidente, llegando a la siguiente expresión

$$\phi_i / \phi_i = \phi_r / \phi_i + \phi_a / \phi_i + \phi_t / \phi_i \rightarrow 1 = \rho + \tau + \alpha \quad (10)$$

Donde:

- Reflectividad ( $\rho$ ), relación entre el flujo incidente y el flujo reflejado por una superficie en todas sus direcciones.
- Absortividad ( $\alpha$ ), relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie.

- Transmisividad ( $\tau$ ), relación entre el flujo incidente y el que logra ser transmitido por una superficie.

Por último falta introducir un último concepto referente a campos radiativos que es la emisividad ( $\epsilon$ ), es la relación que existe entre la emitancia de una superficie ( $M$ ), y la que ofrecería un emisor perfecto, denominado cuerpo negro, a las mismas temperaturas ( $M_n$ ).

### II.2.1.2 Leyes de la radiación electromagnética

En este apartado se explican las leyes por las cuales se rige la radiación electromagnética ya que de esta manera se podrá entender más a fondo la forma de obtener las imágenes satelitales.

#### II.2.1.2.1 Ley de Kirchhoff

A la tierra no estar en equilibrio termodinámico hace que para cada punto en la atmósfera el flujo de radiación emitido es diferente, sin embargo se puede asumir que los primeros 50 a 60 Km de la atmósfera (diciendo que la altura cero es igual a 0 m) se encuentran en un equilibrio termodinámico local, por lo que la ley Kirchhoff juega un papel muy importante para el análisis del mismo.

Por lo que la energía absorbida espectral es igual a la emisividad. En otras palabras, a mayor absorción, mayor emisión, por lo que se puede expresar la fórmula  $\varphi_i / \varphi_i = \varphi_r / \varphi_i + \varphi_a / \varphi_i + \varphi_t / \varphi_i \rightarrow 1 = \rho + \tau + \alpha$  (10) de la siguiente manera, la siguiente fórmula es usada únicamente para el momento en el que se encuentre trabajando en infrarrojo térmico.

$$1 = \rho_{\lambda}(t) + \epsilon_{\lambda}(t) \quad (11)$$

Lo que quiere decir que superficies que tengan alta reflectividad (caso de la nieve) son poco emisivas por lo que será más complicado ser detectadas en el espectro del infrarrojo térmico.

### II.2.1.2.2 Ley de Planck

Max Planck, alrededor de los 1900 abandona sus ideas de la física electromagnética clásica, propuso un modelo que para cada uno de los osciladores elementales que componen la materia, su energía es proporcional a su frecuencia  $n$ , siendo esta múltiplo entero de  $h \cdot v$ , donde  $h$  es la constante universal de Planck ( $6,6 \times 10^{-34}$  J s) y  $v$  es la velocidad de propagación de la onda en el medio de estudio. Al basarse en esto Planck consiguió la fórmula que proporcionaba correctamente la distribución de la energía en función de la longitud de la onda.

$$M_{n,\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^2 \cdot e^{hc/(\lambda KT - 1)}} \quad (12)$$

Planck con su ley demuestra que un elemento por encima del cero absoluto (-273K) puede radiar energía. Mientras mayor sea la temperatura y menor la longitud de onda, el objeto radiará mucha más energía. Véase Figura 9.

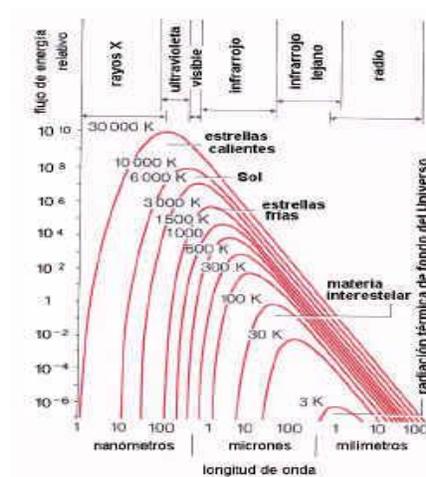


Figura 9. Flujo de energía para diferentes temperaturas. (Copernico).

### II.2.1.2.3 Ley de Wien

Con el uso de la ley de Planck, Wien dedujo la máxima longitud de onda que produce la máxima emitancia de un cuerpo negro conociendo su temperatura.

$$\lambda_{MAX T} = 2,8975 \times 10^{-3} m \cdot K(13)$$

Al observar la formula se puede deducir que para una radiación como la de una estrella incandescente es decir el sol (6000K°) la máxima longitud de onda para poder detectarla es 17,3856 metros, mientras que para un área terrestres el caso de Caracas (Venezuela) cuya temperatura promedio es de 270K° su longitud de onda es 0,78 metros.

### II.2.1.2.4 Ley de Stefan-Boltzmann

Con su postulado el científico Stefan-Boltzmann propuso que la energía radiada por unidad de superficie.

Esta ley se puede comprobar integrando analíticamente la ley de Planck para todas las longitudes de onda del espectro electromagnético.

$$M_n = \sigma \cdot T^4 \text{ con } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} (W m^{-2} K^{-4})(14)$$

Donde se observa que la emitancia global de un objeto en función de su temperatura y pequeños cambios en ella suponen notables cambios en la misma.

### II.2.1.3 Dominio del infrarrojo térmico

Con las leyes de Planck y Wien, la longitud de onda se fija entre 8 y 14  $\mu m$  necesaria para captar la emitancia espectral de la superficie terrestre. Para esta banda la radiancia que recibe el sensor no es el resultado de la reflexión de la luz solar con la superficie terrestre, sino la radiación emitida por está.

La ley de Kirchoff indica que la absorptividad espectral es igual a la emisividad para esta longitud de onda, formula  $1 = \rho_{\lambda}(t) + \epsilon_{\lambda}(t)$  (11).

$$\alpha_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} \quad (15)$$

Por lo que para una longitud de onda, el coeficiente de absorción  $\alpha_{\lambda}$  de una superficie dada es igual a la emisividad  $\epsilon_{\lambda}$  de esta misma superficie a la misma temperatura.

En el caso del medio ambiente la emisividad es variable por lo que la ley de Stefan-Boltzman se le debe agregar el parámetro de emisividad.

$$M_n = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (16)$$

Al colocarse este término se puede decir que cada elemento en el planeta puede tener un coeficiente de emisividad diferente dando que para una temperatura igual presentara un valor diferente de emitancia. Siendo así la formula  $M_n = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$  (16) la cual define que la emitancia de los objetos puede ser diferente a iguales temperaturas.

A demás de la emisividad el comportamiento térmico de los elementos tiene que ver con otros parámetros tales como:

- La *capacidad térmica*,  $C$ : capacidad que posee la cubierta para almacenar calor, la capacidad térmica por unidad de masa se denomina calor específico ( $c$ ).
- La *conductividad térmica*,  $k$ : mide ritmo al que se transmite el calor en esa cubierta.
- La *difusividad térmica*,  $a$ : es una medida del cambio de temperatura que se produce en el interior de una cubierta.
- *Inercia Térmica*,  $P$ : Resistencia de un material a cambiar de temperatura, se logra con la raíz del producto de la distancia ( $D$ ) por la capacidad

térmica del elemento (c) por la temperatura del elemento (K). Véase Figura 10.

$$P = \sqrt{D \cdot c \cdot K} \quad (17)$$

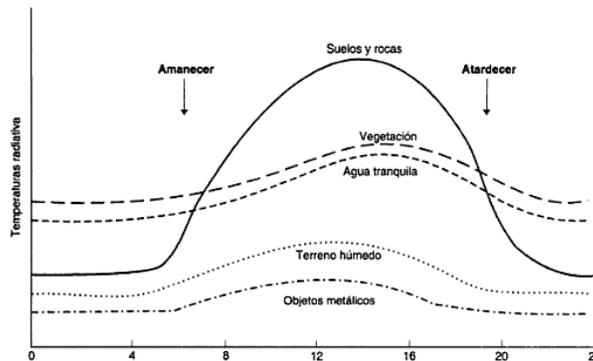


Figura 10. Inercia Térmica. (Chuvienco Salinero, 2008, p. 70).

## II.2.2 Sensores satelitales

Como ya se ha comentado anteriormente un sistema satelital necesita de tres componentes: un foco energético, superficie terrestre y un sensor. Existe una forma de clasificar los sensores, la más fácil es clasificarlos por su procedimiento de recepción de energía. La cual es procedente de las distintas cubiertas de los elementos a captar, de esta manera, se hablan de dos tipos de sensores:

- *Sensores pasivos*, son aquel tipo de sensor que se limita únicamente a recibir la energía procedente de otro foco que no sea el mismo.
- *Sensores activos*, es cuando el sensor es capaz de emitir su propio haz de energía y esta energía regresa a el sensor para su posterior estudio.

### El caso de los satélites NOAA:

- El sensor usado es el pasivo ya que únicamente se encarga de recibir información de la energía que emana o refleja la tierra. En el caso de la

emanada para el uso del espectro térmico y en el caso de la reflejada para el espectro visible.

- El tipo de receptor con el que se trabaja es un receptor de tipo AVHRR (*Advance Very High Resolution Radiometer*), dicho receptor presenta una resolución radiométrica de 10bits (1024 niveles) de codificación en radiometría digital. Con respecto a la resolución temporal de los satélites depende en realidad de su órbita ya que si se refiere a un satélite de órbita polar su resolución temporal será de cada 12 horas para pasar por el mismo punto, en contra parte los satélites geoestacionario siempre están observando el mismo punto en la tierra ya que están fijos en el espacio y orbitan a la misma velocidad de la tierra por lo que brindan la misma imagen todo el tiempo, dando una resolución temporal de 24 horas.
- Por último la resolución angular que presenta el NOAA-AVHRR la cual observa a la superficie terrestre, va a variar con el pasar de los días debido a que los satélites de órbita polar presentan un periodo con respecto a su posición de nueve días respectivamente.

### II.2.2.1 Sensor Pasivo<sup>3</sup>

Como se comentó anteriormente el sensor pasivo es aquel que únicamente se encarga de recibir la información de un foco localizado, existe una cantidad grande de sensores pasivos pero el que más importa es el sensor que posee el satélite NOAA, que es conocido como explorador de barrido.

El explorador de barrido es un espejo móvil que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria. Esto permite explorar una franja de terreno a ambos lados de la traza del satélite. La radiancia recibida por este componente óptico se dirige a una serie de detectores, que la amplifican y la convierten en señal eléctrica. Esta a su vez se transforma en un valor numérico que en el caso de los satélites NOAA se transmite directamente a la tierra.

---

<sup>3</sup>[http://www.com.uvigo.es/asignaturas/scvs/trabajos/curso9900/Teledeteccion/tema4\\_2\\_2.htm](http://www.com.uvigo.es/asignaturas/scvs/trabajos/curso9900/Teledeteccion/tema4_2_2.htm)

El sensor convierte una señal analógica, la radiancia procedente del suelo, en su valor digital, siguiendo unos parámetros dados por el fabricante en donde irán codificados los datos. El número que es enviado equivale a una línea píxel de la pantalla que equivale a un sector de barrido. Véase Figura 11.

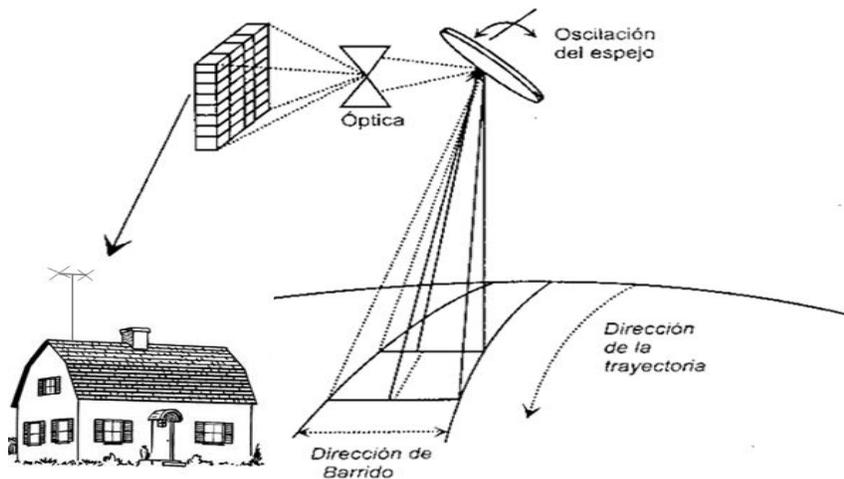


Figura 11. Diagrama de escaneo de la tierra con un sensor pasivo de barrido.

La ventaja que presentan los sensores de barrido frente a los sensores fotográficos:

1. Permiten expandir la banda de espectro detectadas a longitudes de onda mayores que el visible.
2. Capacidad para convertir los datos registrados en radiaciones para su posterior transmisión.
3. Posibilidad de realizar coberturas sistemáticas, de grandes extensiones de terreno y transmitir las en tiempo real.
4. Grabación digital.

Al ser el sensor pasivo de barrido mecánico, es decir tiene un espejo que tiene que barrer la superficie de la tierra. Estos sensores al ser mecánicos pueden descomponerse en el espacio, dicho problema le ocurre al satélite NOAA 17, el cual puede transmitir una señal pero no se observa ningún tipo de imagen ya que posee un desperfecto en el sensor pasivo.

### **II.3.Satélites de órbita polar: *Polar Orbit Environmental Satellite (POES)***

Esta familia de satélites constituye unas de las múltiples naves encargadas de enviar información meteorológica a la superficie terrestre. Los satélites meteorológicos son uno de los satélites más antiguos y han desempeñado su tarea por mucho tiempo.

El primer satélite meteorológico de este tipo fue el TIROS el cual fue lanzado en los años sesenta. Más tarde pasó a llamarse NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite*), a partir de su sexto satélite en el año 1979.

Al tener en cuenta que el objetivo principal de esta misión era facilitar la información sobre el estado actual de la atmósfera, el satélite NOAA se diseñó para tener un ciclo de cobertura corto ya que es un satélite de órbita polar, el cual pasa por el mismo lugar cada doce horas en la latitud que se encuentra ubicada la estación receptora en la UPC. Este ciclo es mejorado a seis horas ya que se sincronizó un nuevo satélite que opera simultáneamente. Estos satélites tienen una altura entre los 833 Km a 870 Km de altura con respecto a la superficie terrestre, logrando cubrir un área de tres mil kilómetros aproximadamente de ancho.

Aparte de información meteorológica los POES (Véase Figura 12 para entender como es el satélite de orbita polar y Tabla I

Tabla II que indica los componentes del satélite) aportan una información variada ya que pueden monitorear la dinámica del océano, volcanes, erupciones, bosques, cosechas, etc. Aparte de lo dicho anteriormente los POES presentan las siguientes funciones:

- Monitoreo del medio ambiente de la tierra, su imagen, superficie, cobertura de nieve, radiación de la tierra, ozono en la atmósfera, distribución de aerosol, temperatura de la superficie del mar y, temperatura de la troposfera y estratosfera.
- Medir el flujo de protones y neutrones en la órbita terrestre.
- Recolección de datos de estaciones remotas y otros satélites.
- Búsqueda y localización de receptores de emergencia (*Beacon*).

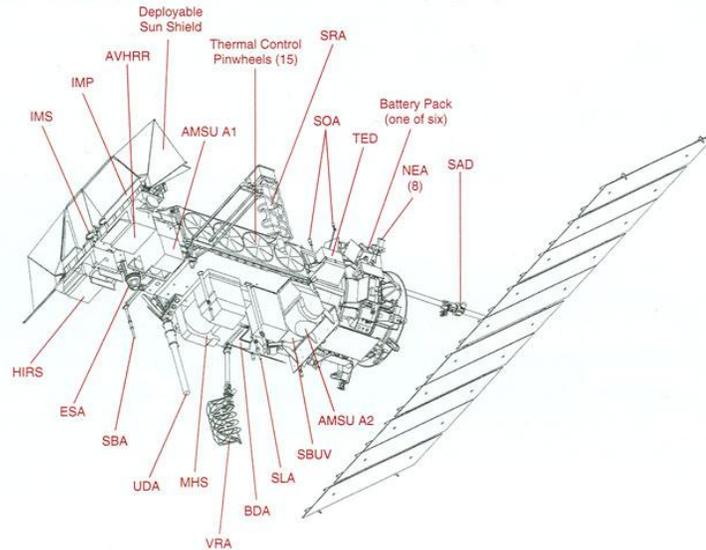


Figura 12. ComposiciónSatélite NOAA.(U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 21).

Tabla II: Componentes que conforma el satélite NOA

LEGEND
<b>NOAA-N spacecraft on-orbit configuration</b>
AMSU Advanced Microwave Sounding Unit
AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer
BDA Beacon Dipole Antenna
*DCS Data Collection System
ESA Earth Sensor Assembly
HIRS High Resolution Infrared Radiation Sounder
IMP Instrument Mounting Platform
IMS Inertial Measurement System
*MEPED Medium Energy Proton/Electron Detector
MHS Microwave Humidity Sounder
NEA Nitrogen Engine Assembly
SAD Solar Array Drive
*SAR Search and Rescue
SBA S-Band Antenna
SBUV Solar Backscatter Ultraviolet Radiometer
SLA Search and Rescue Transmitting Antenna (L-Band)
SOA S-Band Omni Antenna (2 of 6 shown)
SRA Search-and-Rescue Receiving Antenna
TED Total Energy Detector
UDA Ultra High Frequency Data Collection System Antenna
VRA Very High Frequency Real-time Antenna
*Not shown in this view

### II.3.1 Satélites actuales POES

Entre los diferentes satélites POES de la NOAA que se encuentran orbitando sobre el planeta tierra y son en los cuales se enfocará este estudio son los siguientes:

- **NOAA 15:** satélite norteamericano de órbita polar, periodo de 102 minutos aproximadamente, lanzado el día 13 de mayo de 1998. El satélite registra imágenes en 5 bandas espectrales diferentes, en el rango de luz visible a infrarrojo. Esta información es transmitida en dos formatos diferentes: HRPT y APT. El NOAA 15 se encuentra en perfecto funcionamiento. Ver ficha técnica
- Tabla III.

Tabla III: Ficha Técnica Satélite NOAA 15

Descripción	Valor	Unidad
Lanzamiento	13/05/1998	
Nombre de la nave	K	
Nombre actual	NOAA-15	
NASA ID	25338	
Altura aproximada	807	Km
Inclinación de la órbita	98,5	Grados
Período de la órbita	101.1	Min
Frecuencias APT	<b>137,50</b>	MHz
	137,62	
Frecuencias HRPT	1698	MHz
	<b>1702,5</b>	
	1707	

❖ Nota: satélite funcionado en la frecuencia de 137,5MHz para el formato ATP

- **NOAA 17:** satélite norteamericano de órbita polar, periodo de 102 minutos aproximadamente, lanzado el día 24 de junio de 2002. El satélite registra imágenes en 5 bandas espectrales diferentes, en el rango de luz visible a infrarrojo. Esta información es transmitida en dos formatos diferentes: HRPT y APT. Este satélite se encuentra fuera de funcionamiento debido a problemas en el sensor pasivo lo que no permite captar la información correctamente. Ver ficha técnica Tabla IV.

Tabla IV: Ficha Técnica Satélite NOAA 17

Descripción	Valor	Unidad
Lanzamiento	24/06/2002	
Nombre de la nave	M	
Nombre actual	NOAA-17	
NASA ID	27453	
Altura aproximada	810	Km
Inclinación de la órbita	98,7	grados
Período de la órbita	101,1	Min
Frecuencias APT	<b>137,62</b>	MHz
	137,50	
Frecuencias HRPT	1698	MHz
	<b>1707</b>	

❖ Nota: satélite funcionado en la frecuencia de 137,62MHz para el formato ATP

- **NOAA 18:** satélite norteamericano de órbita polar, periodo de 102 minutos aproximadamente, lanzado el día 20 de mayo de 2005. El satélite registra imágenes en 5 bandas espectrales diferentes, en el rango de luz visible a infrarrojo. Esta información es transmitida en dos formatos diferentes: HRPT y

APT. El NOAA 18 se encuentra en perfecto funcionamiento. Ver ficha técnica  
Tabla V.

Tabla V: Ficha Técnica Satélite NOAA 18

Descripción	Valor	Unidad
Lanzamiento	20/05/2005	
Nombre de la nave	N	
Nombre actual	NOAA-18	
NASA ID	28654	
Altura aproximada	854	Km
Inclinación de la órbita	98,74	Grados
Período de la órbita	102.12	Min
Frecuencias APT	<b>137,9125</b>	MHz
	137,10	
Frecuencias HRPT	1698	MHz
	<b>1707</b>	

- **NOAA 19:** satélite norteamericano de órbita polar, periodo de 102 minutos aproximadamente, lanzado el día 04 de noviembre de 2008. El satélite registra imágenes en 5 bandas espectrales diferentes, en el rango de luz visible a infrarrojo. Esta información es transmitida en dos formatos diferentes: HRPT y APT. El NOAA 19 se encuentra en perfecto funcionamiento. Ver ficha técnica  
Tabla VI.

Tabla VI: Ficha Técnica Satélite NOAA 19

Descripción	Valor	Unidad
Lanzamiento	20/05/2005	

Nombre de la nave	N-PRIME	
Nombre actual	NOAA-19	
NASA ID	33591	
Altura aproximada	870	Km
Inclinación de la órbita	98,7	Grados
Período de la órbita	102.14	Min
Frecuencias APT	<b>137,10</b>	MHz
	137,9125	
Frecuencias HRPT	<b>1698</b>	MHz
	1707	

### II.3.1 Sensor pasivo satélites NOAA AVHRR/3

El sensor primario de estos satélites es el sensor *Advance Very High Resolution Radiometer*(AVHRR/3), el AVRR es el sensor de mejor desempeño en una larga lista de instrumentos de medición usados en satélites polares. El sensor original de los satélites meteorológico se basaba en un sistema de televisión que transmitía la imagen de forma análoga, dicha forma de transmisión era muy complicada ya que los equipos de recepción eran muy delicados. Todo esto cambio con la radiometría.

Durante los años se ha mejorado el sistema del AVHRR/3 el primer AVHRR/1 instalado fue de cuatro canales radiométricos, el primer satélite que cargo con este dispositivo fue el satélite TIROS-N, rápidamente fue mejorado y creado el AVHRR/2 el cual poseía cinco canales fue instalado en el satélite NOAA 7. Por último el más novedoso de los sensores el AVHRR/3 y el usado actualmente en los satélites de la NOAA.

Sus dimensiones son muy pequeñas por lo que es un instrumento que puede llevar un satélite sin ningún problema ya que pesa solo 36 kilogramos (76 libras), y mide 11.5x14.4x31.4 consumiendo 28,5 vatios de potencia. Véase Figura 13.

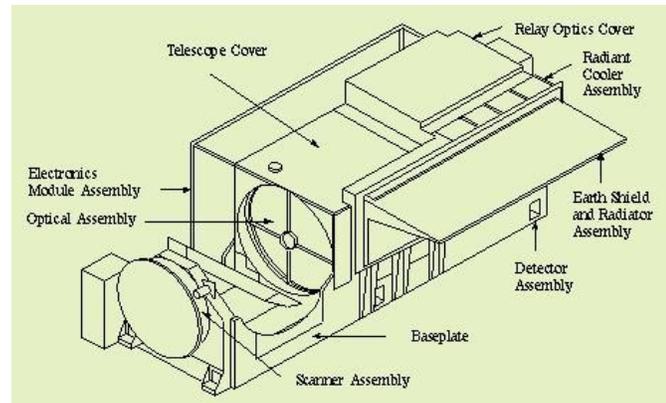


Figura 13. Componentes y estructura del sensor pasivo de barrido AVHRR/3. (Kramer, NOAA POES Series - "Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors", 2008).

El AVHRR/3 es básicamente un sistema de un espejo motorizado y una serie de sensores que se encargan de detectar las diferentes longitudes de ondas del espectro electromagnético. El espejo de AVHRR/3 rota a una velocidad de 360 rpm, con cada revolución del espejo se obtiene información del espacio exterior, de la tierra y la radiación del cuerpo negro; la energía espectral tomada por el espejo pasa por seis diferentes detectores separados en canales del espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico.

Tabla VII: Canales usado por el AVHRR durante el tiempo y longitudes de ondas asociadas a dichos canales.

AVHRR/1 <sup>1</sup>	AVHRR/2 <sup>2</sup>	AVHRR/3 <sup>3</sup>	
		Diurno	Nocturno
1 0,58-0,68 $\mu\text{m}$	1 0,58-0,68 $\mu\text{m}$	1 0,58-0,68 $\mu\text{m}$	0,58-0,68 $\mu\text{m}$
2 0,72-1,10 $\mu\text{m}$	2 0,72-1,10 $\mu\text{m}$	2 0,72-1,10 $\mu\text{m}$	0,72-1,10 $\mu\text{m}$
3 3,55-3,93 $\mu\text{m}$	3 3,55-3,93 $\mu\text{m}$	3 1,58-1,64 $\mu\text{m}$	3,55-3,93 $\mu\text{m}$
4 10,3-11,3 $\mu\text{m}$	4 10,3-11,3 $\mu\text{m}$	4 10,3-11,3 $\mu\text{m}$	10,3-11,3 $\mu\text{m}$
	5 11,5-12,5 $\mu\text{m}$	5 11,5-12,5 $\mu\text{m}$	11,5-12,5 $\mu\text{m}$

Resolución espacial: todos 1,1 x 1,1 km en el nadir

1. En los satélites pares hasta el NOAA-10.
2. En el resto hasta el NOAA-15.
3. A partir del NOAA-15

Ver Tabla VII. El canal uno (1) es sensible a la luz visible, por lo que ese canal depende únicamente para la luz solar reflejada en la tierra; los niveles de iluminación sobre la tierra deben ser un poco elevado, de lo contrario la imagen no tendrá una buena resolución y no se podrá observar bien lo que sucede en la tierra.

El canal dos (2) es la energía reflejada en el infrarrojo cercano. Este canal es usualmente usado por ser el canal “visible” en el APT; con el uso del infrarrojo cercano se puede observar las fronteras entre lo que es la tierra/mar y también la nubosidad.

El canal cuatro (4) es el infrarrojo térmico de mayor longitud de onda, es una canal muy bueno para el horario nocturno, también da las mismas prestaciones que el canal dos (2) de día y es usado por el APT como el visible en las noches.

El canal cinco (5) es muy parecido al canal cuatro pero se encarga de recibir la energía emitida de la tierra. El canal tres (3) recibe tanto la energía emitida por la tierra como la reflejada por el sol.

Cuando la energía recibida sobre sensor es muy pobre el AVHRR/3 transporta una corriente eléctrica a sus amplificadores para poder crear la imagen la cual es amplificada y digitalizada para su transmisión. La imagen es compuesta por dos mil cuarenta y ocho (2048) píxeles por línea, el número de líneas recibidas varía. Esto depende a la duración que tenga el satélite sobre la estación o su línea de visión. Cada píxel es transmitido con una resolución de 1,08 Km en el nadir (punto en el que satélite esta perpendicular a la estación de recepción), sin embargo si el satélite pasa alejado del nadir pierde resolución y puede bajar hasta unos 5 Km por píxel.

La información digital del AVHRR/3 es procesada y separa en diferentes tramas que son transmitidas desde el satélite a las estaciones meteorológicas en la tierra. Las formas de transmisión son las siguientes

1. *High Resolution Picture Transmission (HRPT)*- transmisión que brinda una resolución de 1,1Km, conteniendo todos los cinco canales espectrales y información telemétrica. Esta información es transmitida a alta velocidad.
2. *Global Area Coverage(GAC)* – Cubre 4Km, las imágenes digitales se producen sobre todas las regiones de la tierra, dichas imágenes son transmitidas las centro de comando de la NOAA y las estaciones meteorológicas de la tierra.

3. *Local Area Coverage*(LAC) – Resolución total de información es transmitida en HRPT pero únicamente hace esto para ciertas partes de la tierra.
4. *Automatic Picture Transmisión* (APT) – Transmisión continua de información en formato análogo solamente se transmiten dos canales y reduce la resolución de la información del AVHRR/3.

### II.3.2 Transmisión Satelital Formato APT<sup>4</sup>

La transmisión digital satelital usada por los satélites NOAA para una estación meteorológica de baja escala como la del laboratorio presenta un formato APT ya que tener los equipos de recepción para la transmisión HRPT es muy costoso por su gran complejidad.

Como se conoce anteriormente el sistema APT reduce el formato del flujo de datos del AVHRR/3 de seis canales a dos canales. El primer canal usa el espectro visible, el cual suministrar una imagen visible de la tierra en APT durante el día y un canal sobre el infrarrojo térmico es usado constantemente (día y noche). Se tiene un segundo canal puede ser usado para remplazar el visible en las órbitas nocturnas. El sistema de transmisión satelital ATP es diseñado para transmitir imágenes de video a tiempo real, las cuales pueden ser recibidas por una estación base de bajo costo.

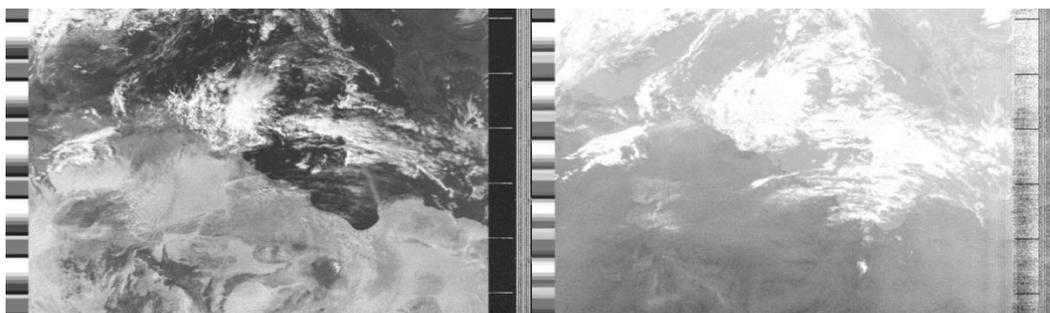


Figura 14. NOAA 18 Imagen de la derecha espectro visible y el de la izquierda espectro infrarrojo.

El flujo de datos es modulado en amplitud (AM) a una frecuencia de 2400Hz donde se transmiten 10bits de información codificada, los 8 bits más significativos son

---

<sup>4</sup>APT: *Automatic Picture Transmisión*

información del AVHRR/3. Esto da como resultado una señal que varía en amplitud dependiendo de la información proveniente del AVHRR/3. Dos de los posibles canales espectrales del AVHRR/3 son multiplexados. En el canal A del ATP se obtiene la información de un canal espectral de la primera línea escaneada por el AVHRR/3 y el canal B de otro canal espectral que contiene la segunda línea escaneada por el AVHRR/3. Los canales espectrales transmitidos son determinados por la estación que controla los satélites NOAA, no por los usuarios.

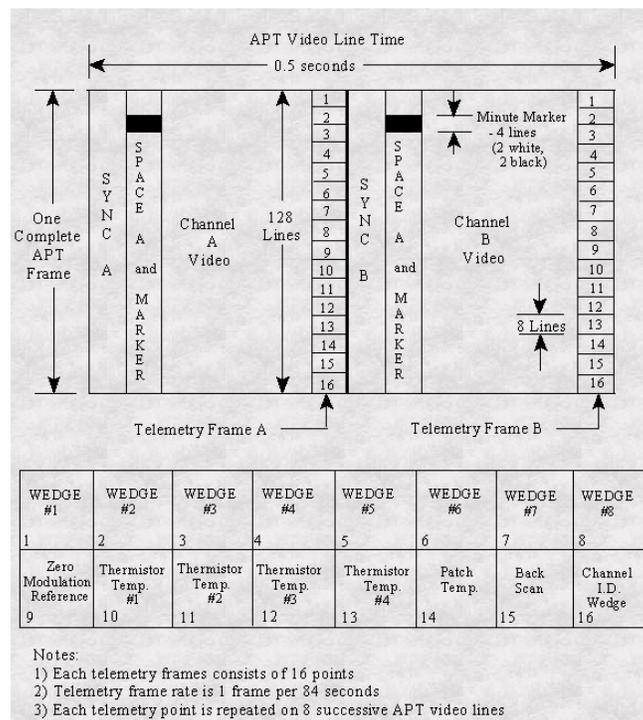


Figura 15. Formato de la trama ATP. (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform, 2009, p. 41).

Usando este método el APT contiene 1/3 de la información enviada por el AVHRR/3, por lo que de 360 líneas por minuto escaneadas la estación base solo podrá recibir 120 líneas por minuto de ahí la verdadera resolución del ATP. Una línea de video del APT tiene una duración de 0,5 segundos, la cual contiene dos segmentos de información. Cada uno de los segmentos tiene una duración de 0,25 segundos y contiene los siguientes parámetros:

1. Pulso de sincronización. *Sync A* o *Sync B*.

2. Espacio de información con diferencia de un minuto, *space A o B marker*.
3. Imagen escaneada por el sensor AVHRR/3, *channel video*.
4. Trama de telemetría.

Al llegar la información comienza con la sincronización del espectro visible o canal A de recepción, comienza con 7 pulsos de secuencia de sincronización de una frecuencia de 1040Hz. Los pulsos de sincronismo se observan en la imagen recibida como líneas de color blanco y negro en la parte inferior derecha de la imagen a diferencia del IR, Ver Figura 15.

Siguiendo con el canal A, Figura 14, al iniciar el escaneo la tierra primero se observa el espacio en el espectro visible produce una línea negra al lado de la imagen que se consigue cuando el sensor observa al cuerpo negro (al espacio), esta línea dura un lapso de 60 segundos; al culminar los 60 segundos se coloca una línea blanca para delimitar dicha barrera, luego continua con las líneas negras. Seguido de esto está la imagen en el espectro visible donde se usan la mayor parte de los 250 ms escaneando la superficie de la tierra. Donde las nubes aparecen de color blanco, el mar negro y tierra en diferentes tonalidades de gris. Por último se transmite la telemetría del satélite, información de calibración de la temperatura de las imágenes.

El canal B, Figura 14, pasa por las mismas etapas que el canal pero con la diferencia que ahora se está trabajando en la banda espectral del infrarrojo térmico. Cada línea de escaneo en infrarrojo comienza con una señal cuadrada sincronía de 832 Hz, esta subportadora está entre ciclos de negro y blanco. Para comenzar el escaneo de la tierra primero el sensor observa al espacio y al ser este medio libre de calor alguno el infrarrojo no capta nada por lo que tramite un color blanco, al igual que en canal A después de 60 segundos se coloca una línea de color negro para delimitar que se ha cumplido ese periodo de tiempo. El escaneo de la tierra en infrarrojo toma la mayor parte de los 250 ms y escanea la superficie de la tierra, donde los objetos calientes aparecen en color negro o sombras grises oscuras y los objetos fríos aparecen en blanco o sombras muy opacas. Por último la trama de telemetría que ayuda al satélite a medir el brillo e interpretar como el satélite esta enviando las imágenes.

Es importante resaltar que en las horas en las que el satélite pase que sea de noche, la estación de comando informará al satélite que agregue otro canal infrarrojo de tal manera que este nuevo canal suplirá al espectro visible durante el tiempo que dure la noche.

### **II.3.2.1 Bandas de Telemetría e información adicional del formato ATP**

Con el uso del formato ATP al momento de transmitir Figura 15 es suministrada un información muy importante junto a la imagen la cual es la telemetría en donde se puede conocer qué tipo de información está siendo transmitida por el satélite, al igual qué canal está siendo usado por el sensor AVHRR/3.

La clave para la calibración de la temperatura en formato ATP para los canales infrarrojos es la información que se obtiene del espacio y a su vez con las barras de telemetría que son usadas para medir dichos valores. En la Figura 16 se observan todas las bandas telemétricas que están en la transmisión de tipo ATP en los satélites de órbita polar NOAA. Una trama de telemetría consta de 16 bandas que cada una está constituida por ocho líneas sucesivas de video. Estas tramas son continuamente repetidos durante toda la órbita del satélite, con esto se garantiza que la estación base sea capaz de obtener esta información varias veces en el caso que sea una recepción muy pobre.

Se ha de notar que en todos las tramas de telemetría las primeras 14 barras son iguales tanto en el canal A como en el canal B, pero la 15 y 16 son diferentes en cada uno de los canales.

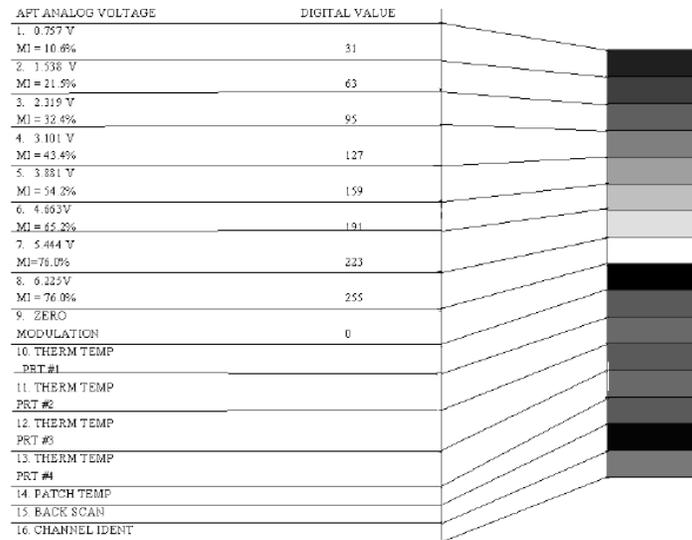


Figura 16. Tramas de telemetría usado para los satélites de órbita polar de la NOAA que usan el formato de transmisión APT.

- Barras 1-8 Valores de calibración:

Las primeras 8 barras de las 16 que forman el trama son producidas por la modulación de 2400Hz APT con una subportadora lineal de 8 bits, estos valores vienen de MIRP<sup>5</sup> ubicado en el satélite. El valor digital de cada una de las barras es igual o muy parecido al que se obtiene en la Figura 16, la estación base obtienen valores de voltajes por lo que el programa que se está usando para desmodular la señal posee un umbral (MI<sup>6</sup>) por lo que para cada barra existe un voltaje asociado. En la estación base se observan 8 barras en las escalas de grises que van desde el gris oscuro hasta el gris muy claro (MI= 10,6% hasta 87,0%).

- Barra 9 Modulación Cero:

La barra 9 no contiene ninguna señal o información relacionada con ella, representa la señal de referencia. Siempre se observa con el color negro el cual posee un voltaje asociado de cero y en formato digital para el sistema AVHRR/3 equivale al valor cero.

<sup>5</sup>Manipulated Information Rate Processor

<sup>6</sup>Indice de Modulación

- Barra10-13 Temperaturas del cuerpo negro:

Durante la operación del AVHRR/3 el sensor periódicamente observa la radiación del cuerpo negro. Las barras 10 y 13 proporcionan la información necesaria para determinar el valor de la radiación del cuerpo negro cuando se encuentra en el satélite en órbita.

- Barra 14 Parche de Temperaturas:

La barra 14 da información del menor valor que puede ser captado con el infrarrojo térmico el cual normalmente posee un valor de 105K°.

- Barra 15 Back Scan:

El back scan se realiza cuando el espejo que se encuentra en el sensor AVHRR/3 observa al espacio en donde detecta el valor de la radiación del cuerpo negro. Este valor puede variar dependiendo del tipo de longitud de onda que está en estudio (Canales 3, 4, 5,1 en el AVHRR/3).

- Barra 16 Identificador del canal:

La barra de 16 contiene información vital la cual permite saber cuál de los 6 canales del AVHRR/3, Ver Tabla VII, está siendo recibida por la estación. Esto se logra modulando una porción de la señal ATP con un valor que corresponde a los primeros seis valores de grises. Cada canal AVHRR/3 tiene su valor digital y su valor en las barras dentro de la trama de telemetría.

Tabla VIII: Valor que indica el valor de la barra 16 que permite determinar el canal usado

Canal en uso	Valor en barra de trama
1	1
2	2
3A	3
3B	6
4	4
5	5

NOTA: Los valores en barra de trama deben ser aproximados a los de la Figura 16

La telemetría en la recepción satelital es muy importante ya que permita la correcta calibración tanto de los canales usados para la observación de la tierra como los cálculos correspondientes que permiten el óptimo funcionamiento de la estación receptora.

Al tener el AVHRR/3 diferentes detectores que permiten la recolección de información de la tierra. Los detectores se encargan de recibir las longitudes de ondas asociadas a cada uno de ellos, dichas longitudes varían desde el infrarrojo térmico hasta el espectro visible. Con el uso de la banda de telemetría se puede saber qué tipo de detector está siendo usado ya que en la noche el satélite no envía información del espectro visible sino del infrarrojo cercano canal 2 o canal 3 en el AVHRR/3.

Con el uso de los canales en el infrarrojo lejano es posible conocer la temperatura de las zonas por donde el satélite se encuentra sobrevolando, de la misma manera el infrarrojo lejano siempre está en el canal B del APTdecoder el cual normalmente en invierno no se puede observar mucho ya que al estar la superficie muy fría la tierra no radia el mismo calor que en verano.

En secciones siguientes se observarán diferentes imágenes recibidas y se observará que para diversas horas del día en meses diferentes el espectro infrarrojo cambia radicalmente, al igual que el visible ya que al sol incidir menor tiempo sobre Europa en invierno esto no permite que esta luz sea reflejada y capotara con el detector de luz visible.

#### **II.4. Estación Receptora**

Para comprender el funcionamiento de una estación meteorológica se debe conocer que existe una serie de elementos que conectados correctamente permiten la recepción satelital. Una estación meteorológica para satélites polares de la NOAA consiste primordialmente en un satélite el cual transmite información a la estación de la observación de la tierra, seguido de esto es necesaria una antena ubicada en la tierra que permite recibir la señal que es transmitida del satélite. Como la señal recibida es tan débil de alrededor de -140 dBm por lo que es necesario conectar a la antena un pre amplificador que se encarga de amplificar las señales entre 136 MHz hasta 139 MHz

siendo 137.5 MHz el punto donde se amplificará de mayor manera la señal que recibe la antena.

A la salida del pre-amplificador se conecta un pilar fundamental de la estación receptora el receptor el cual se encarga de lograr la demodulación de la señal que viene amplificada. Posee una modulación en frecuencia (FM) de 137.XX MHz como frecuencia central y con un corrimiento en frecuencia de 30 KHz (ancho de banda).

Por último está el computador el cual recibe una señal modulada en amplitud (AM) de 2,4 KHz la cual es interpretada por la tarjeta de audio del computador. La interpretación es posible ya que la señal de 2,4 KHz es una señal audible por el oído humano por lo tanto la tarjeta de audio puede interpretar esta información y para finalizar esta información es procesada por el programa que tenga el computador para decodificar esta señal AM.

Ver Figura 17 para observar lo que es una estación receptora para satélites en orbita polar.

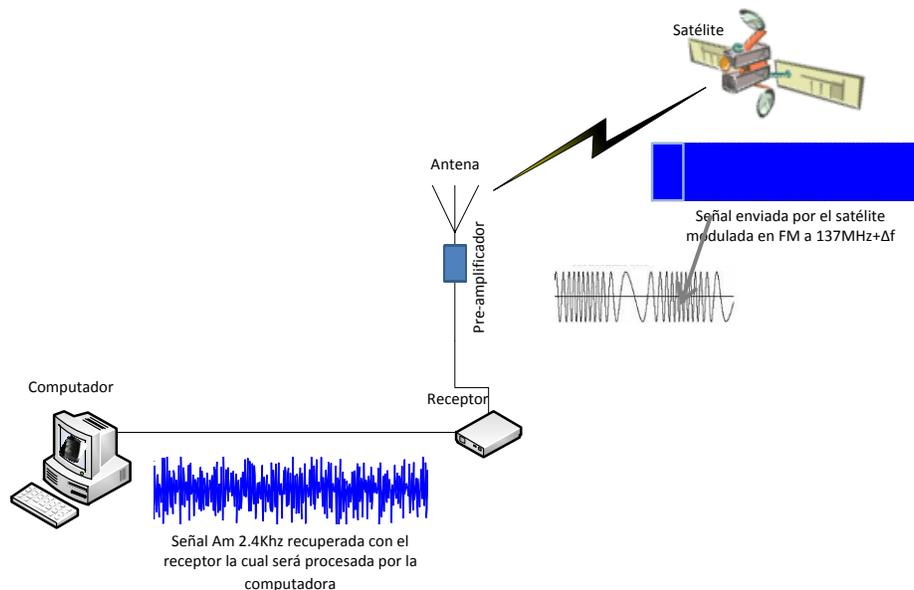


Figura 17. Estación receptoras, componentes que la integran y señales a diferentes etapas de la recepción.

La Figura 17, se observa lo antes comentado con respecto a la correcta colocación de todos los elementos que son necesarios para poder recibir correctamente las imágenes

transmitidas de los satélites, si en algún caso algún elemento no se conecta de la manera antes mostrada recuperar la imagen transmitida por el satélite será una misión imposible.

En el caso de una estación receptora todos los componentes seguirán siendo los mismos por lo cual el único elemento de toda la cadena que conforma la estación receptora que puede ser mejorado y cambiado muy fácilmente, es la antena receptora, por lo que en este punto se centrará el estudio.

En la Escuela de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña se cuenta con una antena de tipo cuadrifilar helicoidal, usada para la recepción de imágenes transmitidas a 137 MHz en formato APT desde satélites de órbitas polares. Dichos satélites son los de la organización NOAA. El laboratorio ubicado en el edificio del D4 laboratorio 212, el cual se encuentra dotado con todos los equipos de recepción óptimos antes mencionados.

La finalidad del trabajo especial de grado es brindarle a la UPC una nueva antena de bajo coste y mejor desempeño, en el que se pueda observar una mayor área de cobertura desde la latitud 12° hasta latitud 68° ayudando a aumentar el área de cobertura, dando así un pronóstico más claro y saber lo que ocurre en otra parte del globo terráqueo. Además, se intentará ser portable para tener un fácil traslado a diferentes áreas y un acceso remoto que permitirá el continuo monitoreo de la estación desde diferentes áreas de España y del mundo.

#### **II.4.1 Instalación de una Estación de Recepción Meteorológica**

La instalación adecuada de una estación de recepción meteorológica es muy importante como se relató anteriormente. Si algún dispositivo no es colocado correctamente esto traerá notables consecuencias e imposibilitará la recepción adecuada de la transmisión satelital, por lo consiguiente se obtendrá únicamente ruido o cualquier otra cosa menos lo que se desea obtener.

Todos los dispositivos necesarios para la instalación de una estación meteorológica han sido ya señalados, por lo que el computador debe poseer instalados todos los *softwares* necesarios para decodificar la información y saber la perfecta ubicación de los satélites con respecto a la estación meteorológica.

### II.4.1.1 Pre-amplificadores

Son dispositivos conectados a la antena, permiten la amplificación de la señal recibida por la antena la cual normalmente es una señal de muy poca potencia, sin embargo cuando se tiene un cable de alimentación muy cortos para lo que no es necesario el uso de un pre-amplificador. Para largas líneas de alimentación es necesario el uso de un pre-amplificador el cual ofrece menos de 0,5 dB de ruido, 20 dB de ganancia y está fabricado para amplificar las frecuencias que estén alrededor de los 137,5 MHz. El ancho de banda que manejan estos amplificadores es perfecto para los satélites polares de la NOAA.

El pre-amplificador debe estar conectado en su entrada a un cable RG-58 que posee una impedancia característica de 50 Ohm, la cual debe ser la misma que posea la antena para así tener la mayor transferencia de potencia del pre-amplificador al receptor los cuales se encuentran conectados a través de un cable de televisión que posee una impedancia de 75 Ohm.

La mayoría de estos dispositivos permite que sean a prueba de agua y fácilmente ubicados en un entorno externo. Todos los preamplificadores deben ser alimentados por un voltaje DC de +12 voltios. Dicha alimentación viene directamente del cable que va conectado al receptor. Véase el pre-amplificador Figura 18.



Figura 18. Pre-amplificador.(Chile D. d., 2010).

Sin embargo anteriormente fue mencionado que existen casos en donde el pre-amplificador no es necesario aunque siempre es bueno tener presente este dispositivo en la estación de recepción ya que aporta una potencia extra a la señal por lo que permite que los receptores puedan detectar la señal y todo el proceso de demodulación de la señal

recibida por la antena sea posible. La regla general de todo pre-amplificador es generar la ganancia posible para colocar la figura de ruido adecuada y poder superar todas las pérdidas generada por los cables, conexiones, entre otros.

El exceso de ganancia en la señal puede contribuir a que el receptor presente problemas de intermodulación. Dicho inconveniente se presenta en estaciones que están colocadas en ciudades grandes. Se puede conocer cuando existe un problema de intermodulación cuando se puede escuchar radios de aviones o algún radio aficionado que esté transmitiendo en esa frecuencia.

#### II.4.1.2 Receptores

Dispositivo primordial en la recepción de señales satélites ya que sin este no puede ser posible demodular la señal captada por la antena. El receptor debe tener unas características mínimas para su óptimo funcionamiento que permita que el usuario final pueda tener los resultados buscados.

Estas características son implementadas en función del formato APT que transmite el satélite. Los parámetros de transmisión de un satélite polar NOAA se observan en la Tabla IX.

Tabla IX: Parámetros de transmisión de los satélites POES de la NOAA

Parámetros	Satélites POES de la NOAA
Frecuencia	137,5 137,62 137,1 137,9125 MHz
Modulaciones	AM/FM
Potencia Transmitida	5 Vatios
Polarización de la Antena	Circular a la derecha
Desviación de la portadora	±17KHz

La banda de trabajo para estos receptores está entre los 137 MHz hasta los 138 MHz. Esta pequeña banda de frecuencia está colocada entre el radio aficionado y la aeronáutica comercial, por lo que los receptores deben tener filtros que permitan separar estas frecuencias vecinas. Todos los satélites transmiten la información en formato APT modulada en FM.

Sabiendo esto el receptor que es necesario para obtener la señal es simplemente uno que permita estar dentro de las bandas de frecuencia de los satélites NOAA.

El ancho de banda de la señal APT es influenciada por dos factores, la desviación de la transmisión por la atmósfera y el efecto Doppler, el cual hace que la frecuencia varíe rápidamente mientras el satélite pasa sobre la estación meteorológica. La desviación de la señal de un satélites NOAA esta ente  $\pm 15$  KHz, el efecto Doppler hace que la señal varíe en  $\pm 4.5$  KHz durante el paso del satélite. Tomando la información antes mencionada el ancho de banda óptimo para la recepción de los satélites es 40 KHz ( $\pm 20$ KHz).

Luego de saber la frecuencia necesaria a la que debe trabajar el receptor es necesario que dicho dispositivo presente una sensibilidad que permita recuperar la señal de manera óptima. La sensibilidad se refiere a la capacidad que posee un receptor en detectar el mínimo nivel de potencia de señal. Este concepto es muy importante ya que sabiendo que la señal que se recibe es de unos pocos micro voltios el receptor debe ser capaz de recibir dichas intensidades.

En el mercado existen dos tipos de receptores para la recepción de información proveniente de satélites meteorológicos polares con formato APT.

#### **II.4.1.2.1 Receptores Específicos**

Es aquel receptor que únicamente cumple con la finalidad de barrer las frecuencias en las cuales trabajan los satélites POES de la NOAA (137 MHz-138 MHz) por lo que se puede decir que son receptores de una función específica.

En el laboratorio 212 del módulo D4 se tienen dos receptores de este tipo, los cuales son construidos según las especificaciones de la revista *Nueva Electrónica*.

El procedimiento de estos dispositivos es realizar un escaneo en todas las frecuencias en las cuales los satélites POES de la NOAA transmiten las cuales se encuentran configuradas en la memoria de cada uno de ellos. Si el receptor recibe un determinado nivel de señal en dicha frecuencia hace que un PLL<sup>7</sup> se enganche a la frecuencia de 137,XX MHz y comience la transmisión, mientras que al terminar ya la señal volverá a estar por debajo del umbral haciendo que el PLL se desenganche y continúe el escaneo de frecuencias.

La ventaja de dichos receptores es que presentan ya una alimentación de 12 voltios al pre-amplificador y que siempre se engancharán al paso del satélite sin tener que programarlos con el computador.

#### **II.4.1.2.2 Receptores de uso Generales**

El receptor de uso general es aquel que es usado en múltiples aplicaciones ya que permite que el receptor pueda variar en múltiples frecuencias desde pocos KHz hasta GHz y es controlado a través del computador.

A diferencia de los receptores específicos estos dispositivos son configurados directamente por los programas que se encargan de tratar la señal recibida por el computador. En el laboratorio 212 del D4 se tiene un receptor de uso general de la compañía ICOM producto IC-PCR1500<sup>8</sup> el cual no alimenta directamente al previo por lo que se debe colocar un dispositivo que haga esta función que también se encuentra en dicho laboratorio.

Como fue antes señalado, este receptor puede ser configurado directamente por el usuario colocando en la frecuencia del satélite que se desea estudiar, pero también con el uso de los programas de recepción de satélite el cual aporta información enviada por el satélite conocidas como keplerianas hace que la computadora directamente puede colocarle al dispositivo la frecuencia de recepción para el satélite que este sobrevolando la estación.

---

<sup>7</sup>PLL (*Phase-Locked Loop*)

<sup>8</sup>IC-PCR1500: <http://www.icomamerica.com/es/products/receivers/pc/pcr1500/default.aspx>

### II.4.1.3 Software de recepción de señal y procesado

Son herramientas usadas en la computadora los cuales deben ser instalados como última etapa para recepción de la información proveniente los satélites POES de la NOAA. Estos *softwares* permitirán saber cómo pasará el satélite con respecto a Barcelona, lo que permite conocer si el sobrevuelo del satélite será cercano al nadir de la estación o alejado. Procesar la señal que será captada a través de la tarjeta de audio del computador y por ultimo poder controlar el receptor en el caso que se esté usando un receptor de uso general.

Por lo que lo más importante en esta etapa de instalación y procesado de la señal es:

- Cable de audio mono a estéreo en el caso que se vaya a recibir la señal de un receptor de uso específico.
- Computadora con tarjeta de audio y entrada de micrófono.
- Acceso a internet.

#### II.4.1.3.1 APTdecoder

El APTdecoder (véase Figura 19) es un programa de software libre usado para grabar y decodificar la señal transmitida por los satélites POES de la NOAA que usan formato ATP. Este software funciona en Windows. Necesita un mínimo de 128 MB de memoria RAM para el funcionamiento del programa. Es conveniente tener un poco más de memoria ya que el programa salvará la información que es decodificada correctamente por lo que se recomienda tener entre 524 MB a 1 GB de memoria RAM para el correcto funcionamiento del programa.

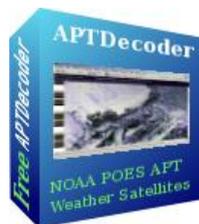


Figura 19. APTdecoder. (Patrik, 2007).

Este se encarga de recibir la señal que proviene modulada en AM a 2.4 KHz a la tarjeta de sonido de la computadora y de ahí con la intensidad que presenta la señal la cual permite que el programa interprete qué tipo de tonalidad gris debe colocar para cada línea. Toda la teoría del formato ATP es tratado en la sección 3.2 de este capítulo.

## **II.5. Antenas**

Al comienzo de la historia, las manifestaciones de fenómenos eléctricos y magnéticos se observaban por medio de las fuerzas que actuaban sobre las cargas y corrientes, utilizando métodos de medición de estas fuerzas lo que permite el estudio de la propagación y radiación de ondas.

Con el uso de las ecuaciones de Maxwell se relaciona el campo eléctrico y campo magnético con las cargas y corrientes que los originan. La solución de dichas ecuaciones en el caso que varíen con el tiempo es en forma de onda. Esta solución puede estar ligada a una estructura, como es el caso de una línea de transmisión o la misma propagación en el espacio libre como la producida por las antenas.

Las antenas son fundamentales para cualquier tipo de recepción o transmisión de onda electromagnética, según el *Institute of Electrical and Electronics Engineers*(IEEE). Se define como una antena toda aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE Std. 145-1983). Se puede entender que la antena es una zona de transición entre dos medios, por lo que la antena pasa la onda electromagnética del espacio libre a una onda electromagnética guiada, la cual puede ser redireccionada por voltajes y corrientes (hilos conductores, cable coaxial, entre otros) o por campos (guías de ondas).

Las dimensiones y la forma de la antena depende de la aplicación a la cual está destinada. Existe una diversidad enorme de antenas pero siempre provienen de conceptos elementales y diseños que no varían con el tiempo. Lo que ha sucedido es que las frecuencias de trabajo han aumentado lo que hace que cada vez las antenas sean más pequeñas ya que depende de la longitud de onda. También otro factor que es importante

para una antena es su directividad en el caso de la transmisión y del área efectiva en la recepción donde se determina el radio efectivo de señal recibida.

Toda onda se caracteriza por su frecuencia y su longitud de onda, ambas son relacionadas a la velocidad de propagación del medio donde se encuentran. Por lo general si nos referimos a una antena nos encontramos en el espacio libre es decir el vacío, donde la velocidad de la onda es igual a la velocidad de la luz en el vacío, véase ecuación  $c = \lambda \cdot f$  (6). Las frecuencias de trabajo se encuentran delimitadas por estándares internacionales los cuales separan las frecuencias en intervalos para su mejor uso. La denominación de los rangos se observan en la Tabla X. Cada aplicación tiene una frecuencia la cual es regulada por los organismos nacionales encargados de la asignación de dicho espectro.

Tabla X: Espectro electromagnético para bandas de frecuencia de trasmisión.

Banda	Frecuencia	Long. de onda	Denominación	
ELF	< 3 kHz	> 100 Km	ExtremelyLowFrecuency	λ kilométrico
VLF	3-30 kHz	100-10 Km	VeryLowFrecuency	
LF	30-300 kHz	10 -1 Km	LowFrecuency	
MF	0,3-3 MHz	1000-100 m	Medium Frecuency	λ metro
VLF	3-30 MHz	100-10 m	High Frecuency	
LF	30-300 MHz	10 -1 m	Very High Frecuency	
UHF	0,3-3 GHz	1000-100 m	Ultra High Frecuency	λ centímetro
SHF	3-30 GHz	100-10 m	Super High Frecuency	
EHF	30-300 GHz	10 -1 mm	Extremely High Frecuency	

Las bandas usadas normalmente para la construcción de antenas para la trasmisión de datos es desde la banda de *Low frecuency* hasta *Extremely High Frecuency*. Por debajo de estas bandas es muy complicado la construcción de antenas y por encima de estas la

atenuación en el espacio es tan grande que la comunicación entre los puntos tendría que ser de centímetros o pocos metros.

Para cada aplicación y cada banda de frecuencia se necesitan características particulares que dan origen a diferentes tipologías de antenas.

Los tipos más comunes de antenas se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Antenas alámbricas: Se distinguen por ser construidas por hilos conductores que soportan corrientes que dan origen a campos radiados y de esta forma permite la transmisión de la onda electromagnética en el espacio. Puede estar formada por hilos rectos (dipolos), espiras y hélices.
- Antenas de apertura y reflectores: La generación de la onda radiada se consigue a partir de una distribución de campos soportada por la antena y suelen ser excitadas con guías de onda. Son antenas de apertura las bocinas, mientras que los reflectores son asociados con un alimentador primario. Estas antenas son muy directivas y sirven para comunicaciones a largas distancias.
- Agrupaciones de antenas: Existen ciertas aplicaciones que requieren una propagación la cual no puede ser conseguida mediante un solo elemento, sin embargo, con la combinación de diferentes elementos se logra conseguir la propagación deseada.

### **II.5.1 Parámetros de antenas**

Una antena en recepción capta una onda incidente sobre ella en donde parte de la potencia que recibe la trasfiere al receptor. La antena actúa como un sensor la cual interacciona con la onda y el receptor, dando de esta forma la posible detección de la señal transmitida.

#### **II.5.1.1 Diagrama de Radiación**

Es la representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija a la zona lejana.

Normalmente se representa en un sistema de coordenadas esféricas tridimensionales. Los niveles se expresan en decibelios respecto al máximo de radiación.

En la práctica generalmente su representación es en dos planos. Los cortes bidimensionales del diagrama de radiación se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas.

En el primer caso el ángulo en el diagrama polar representa la dirección del espacio, mientras que el radio representa la intensidad del campo eléctrico o la densidad de la potencia radiada.

En el segundo caso, coordenadas cartesianas se representa el ángulo en el eje de las abscisas y el campo o la densidad de potencia en el eje de las ordenadas. La representación en coordenadas cartesianas permite observar los detalles en antenas muy directivas, mientras que el diagrama polar suministra una información más clara de la distribución de la potencia en las diferentes direcciones del espacio. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia se expresara el campo eléctrico en función de las variables angulares ( $\theta$ ,  $\phi$ ). Como el campo es una magnitud vectorial, habrá que determinar en cada punto de la esfera de radio constante el valor de los dos campos ortogonales. Como el campo magnético se deriva directamente del eléctrico, la representación podría realizarse a partir del cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico.

El campo se puede representar de forma absoluta o relativa, normalizando el valor máximo a la unidad. También es bastante habitual la representación del diagrama con la escala en decibelios. El máximo del diagrama de radiación es cero decibelios y en las restantes direcciones del espacio los valores son negativos.

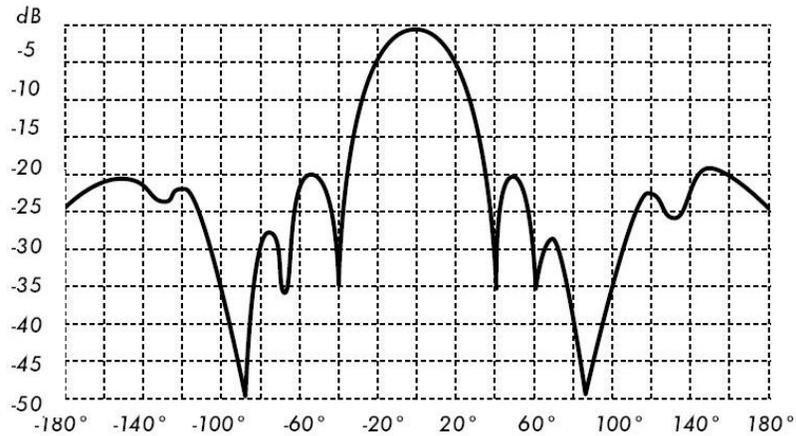


Figura 20. Diagrama de radiación de un antenna Yagi en coordenadas cartesianas.(Montevideo).

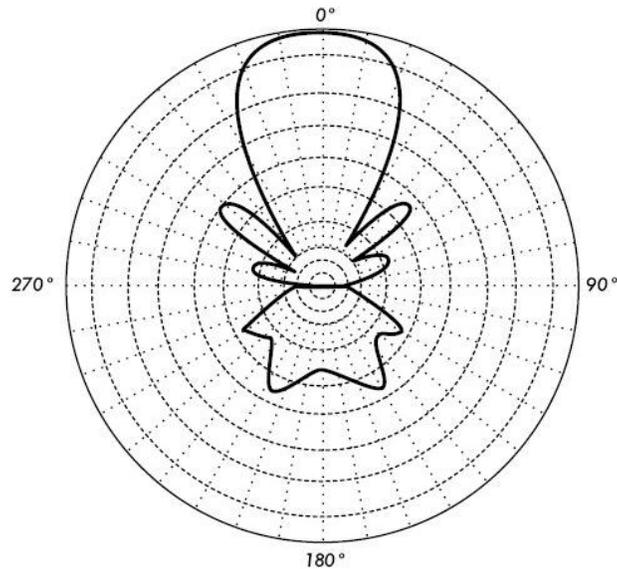


Figura 21. Diagrama de radiación de un antenna Yagi en coordenadas polares.(Montevideo).

En un diagrama de radiación típico, como los mostrados en la Figura 20 y Figura 21, se aprecia una zona en donde la radiación es máxima, a la que se denomina haz principal o lóbulo principal. Las zonas que rodean a los máximos de menor amplitud se denominan lóbulos laterales y al lóbulo lateral de mayor amplitud se le denomina lóbulo secundario.

Parámetros importantes del diagrama:

- El ancho del haz a -3dB ( $\Delta\theta$ -3dB) es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia toma el valor mitad del máximo.
- Relación lóbulo principal a secundario (NLPS), es el cociente, expresado en dB entre el valor del diagrama en la dirección de máxima radiación y el valor del diagrama en la dirección del máximo del lóbulo secundario (generalmente el de mayor amplitud adyacente al lóbulo principal).
- La relación delante atrás (D/A) es el cociente, también en dB, entre el valor del diagrama en la dirección del máximo y el valor en la dirección diametralmente opuesta.

Según sea la forma del diagrama de radiación, las antenas se pueden clasificar en:

- Isotrópicas: Antenas hipotéticas, sin pérdidas, que emiten o reciben señales con igual intensidad en todas las direcciones.
- Omnidireccionales: Antenas que tienen un diagrama de radiación de 360°.
- Unidireccionales: Antenas que tienen una sola dirección de ganancia máxima.
- Multidireccionales: Antenas que tienen la propiedad de radiar o recibir señales en distintas direcciones.

### **II.5.1.2 Polarización**

En cada punto del espacio existirá un vector de campo  $\vec{E}(r,t)$ , en función de la posición y del tiempo. La polarización es una indicación de la orientación del vector campo en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo.

Polarización se define como la orientación en el tiempo del campo eléctrico radiado con respecto a una dirección dada y puede ser: lineal (horizontal o vertical), circular o elíptica.

Si los componentes del vector del campo eléctrico  $\vec{E}$  de una onda electromagnética tienen la misma magnitud, fase y frecuencia, de modo que el vector resultante esté siempre en un mismo plano, y su extremo describa una línea, se dice que la onda está linealmente polarizada cuando la polarización del vector  $\vec{E}$  con respecto al

plano horizontal la polarización puede ser vertical u horizontal (véase Figura 22). La dirección de propagación una onda es igual a su vector campo eléctrico cruz vector campo magnético, véase fórmula (18).

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (18)$$

Cuando los componentes del vector del campo eléctrico no tienen la misma fase y/o frecuencia de modo que el vector  $\vec{E}$  resultante varíe y su extremo describa una circunferencia o una elipse, se habla de polarización circular o elíptica (véase Figura 23) y puede ser hacia la derecha o izquierda.

Para una onda plana en el cual la señal se propaga en la dirección z del eje cartesiano y tiene componentes tanto en y como x, presentan las siguientes formas de onda,:

- Polarización lineal:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \hat{x} \cdot e^{j(\omega t - kz)} \\ \vec{E} &= 2\hat{y} \cdot e^{j(\omega t - kz)} \\ \vec{E} &= (\hat{x} + \hat{y}) \cdot e^{j(\omega t - kz)} \end{aligned} \quad (19)$$

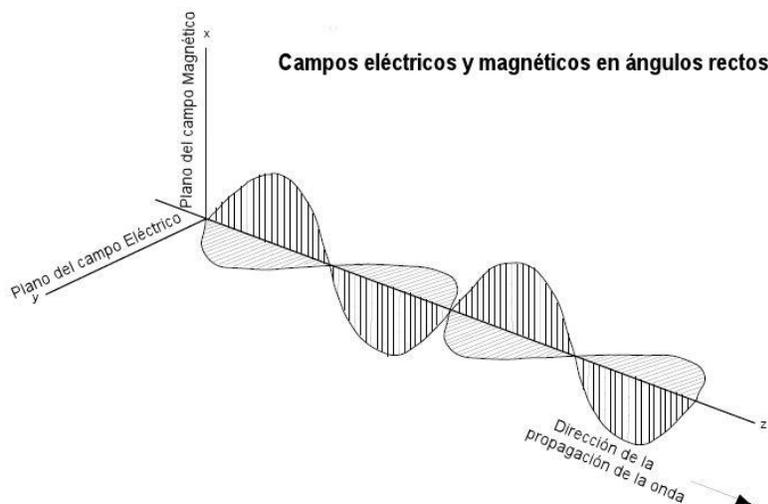


Figura 22. Señal polarizada verticalmente  $\vec{E} = \hat{x} \cdot e^{j(\omega t - kz)}$ , dando por resultado propagación en z. (Chile S. , 2009).

- Polarización circular: primero a la derecha segunda a la izquierda

$$\vec{E} = (\hat{x} + j\hat{y}) \cdot e^{j(\omega t - kz)} \quad (20)$$

$$\vec{E} = (\hat{x} - j\hat{y}) \cdot e^{j(\omega t - kz)}$$

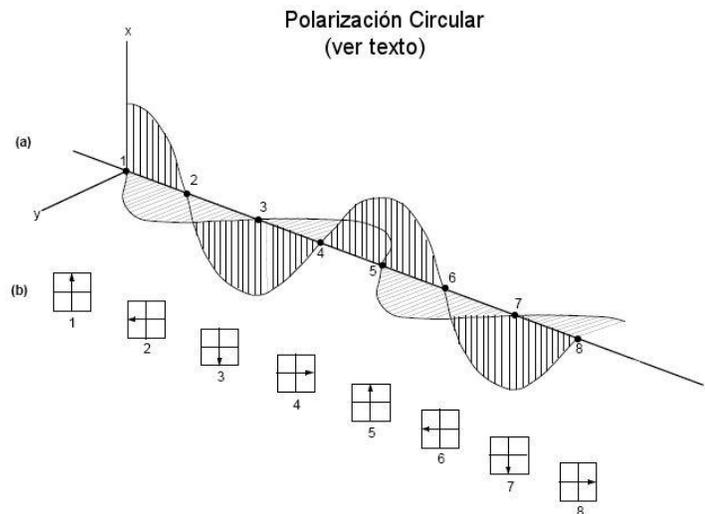


Figura 23. Señal polarizada circularmente a la izquierda, dirección de propagación Z. (Chile S. , 2009).

Se produce una polarización lineal cuando las fases de las dos componentes ortogonales del campo eléctrico son iguales o difieren en un número entero de  $\pi$ . Se produce polarización circular cuando las amplitudes de ambas componentes son iguales y sus fases se diferencian en  $\pi/2$  o en  $3\pi/2$  radianes.

En el caso de satélites de órbita polar es necesario una polarización de tipo circular, ya que el satélite se encuentra en continuo movimiento sobre la tierra, y la linealidad de las señales polarizadas se encontrarán en un continuo cambio de polarización, por lo que si la antena no presenta dicha polarización no se podrá recibir la señal o las pérdidas serán tan grandes que no permitirá su buena recepción de la señal enviada por el satélite. La polarización circular tanto en la antena de recepción como en el satélite proporciona una mejor estabilidad a la señal y una mayor potencia en la señal recibida.

### II.5.1.3 Adaptación

La antena capta la onda incidente la cual es enviada al receptor al cual esta conectada. La adaptación es usada para la recepción, donde gracias a esto se puede tener la mayor transferencia de potencia antena/receptor obteniendo la menor perdida posible. En el proceso de recepción de la información el receptor se observa como una impedancia de carga  $Z_L = R_L + jX_L$ , mientras que el receptor observa a la antena como un generador cuyo voltaje es  $V_{antena}$  e impedancia  $Z_a = R_a + jX_a$ . Para lograr la mayor transferencia de potencia cuando exista la adaptación conjugada ( $Z_L = (Z_a)^*$ ), por lo que la potencia máxima de la antena a la carga es:

$$P_{Lmax} = \frac{|V_{ca}|^2}{4 R_a} \quad (21)$$

En el caso que no exista adaptación se tiene:

$$P_L = P_{Lmax} C_a \quad (22)$$

Siendo  $C_a$  igual al coeficiente de desadaptación que viene dado como:

$$C_a = 1 - |\rho_L|^2 = \frac{4R_aR_L}{(R_a+R_L)^2(X_a+X_L)^2} \quad (23)$$

Donde  $\rho_L$  es el coeficiente de reflexión.

### II.5.1.4 Relación de onda estacionaria ROE

Si la carga (antena) conectada a la línea no es resistiva pura y de valor igual a la impedancia característica ( $Z_0$ ) de la línea de transmisión, no se cumple el teorema de la máxima transferencia de energía y parte de la potencia que incide en la carga (Potencia

incidente  $P_i$ ), es reflejada hacia la fuente de potencia (Potencia reflejada  $P_r$ ), “viajando” en sentido contrario al de la Potencia incidente.

La suma de los voltajes o corrientes instantáneos de las dos señales presentes a lo largo de la línea da lugar a otra onda, que tiene siempre los mismos valores en cada punto de la línea, adquiriendo un carácter estacionario (onda estacionaria).

En esencia se define como la relación de voltaje máximo con respecto al voltaje mínimo, o de la corriente máxima con la corriente mínima de una onda estacionaria en una línea de transmisión. Frecuentemente se denomina Relación de Ondas Estacionarias de Voltaje (VSWR).

Matemáticamente ROE se expresa:

$$ROE = \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (24)$$

El máximo voltaje ( $V_{max}$ ) ocurre cuando las ondas incidentes y reflejadas en fase (o sea, que sus picos máximos pasan por el mismo punto en la línea con la misma polaridad). El mínimo voltaje ( $V_{mín}$ ) ocurre cuando las ondas incidentes y reflejadas están  $180^\circ$  fuera de fase. El valor de ROE será siempre mayor que 1.

Matemáticamente,  $V_{max}$  y  $V_{mín}$  son:

$$V_{max} = V_i + V_r \quad (25)$$

$$V_{mín} = V_i - V_r \quad (26)$$

Así mismo se denomina coeficiente de reflexión  $\rho$  (Rho) la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{V_r}{V_i} = \sqrt{\frac{P_r}{P_i}} \quad (27)$$

Este valor que es menor que 1 indica el porcentaje de potencia que es reflejada (por ejemplo, un valor de  $\rho = 0,25$  significa que el 6,26% de la potencia ha sido reflejada).

Este valor solo es válido para un determinado punto de la línea (valor instantáneo) el cual tiene un determinado valor complejo (amplitud y fase).

A efectos prácticos, estos puntos considerados, normalmente son los terminales de entrada de la línea y de conexión a la carga o antena en nuestro caso. Los resultados obtenidos son siempre función de la naturaleza de la carga o terminación y su adaptación a la línea.

En caso de una carga puramente resistiva ( $Z_c$ ), diferente de  $Z_o$  de la línea, el ROE en el punto de conexión de la carga viene dado por:

$$\text{ROE} = \frac{Z_c}{Z_o} \quad (\text{o al revés, } \text{ROE} > 1) \quad (28)$$

Cuando la carga o antena no es resistiva pura, sino que además tiene componente reactiva (como por ejemplo una antena trabajando fuera de su banda de resonancia), la ROE es mayor ante esta impedancia compleja que una resistencia pura del mismo valor que el módulo de la impedancia.

Si la Impedancia compleja de una carga es conocida ( $R_c + jX_c$ ), el ROE en el punto de conexión se puede determinar por:

$$\text{ROE} = \frac{A+B}{A-B} \quad (29)$$

Siendo:

$$A = \sqrt{(R_c + Z_o)^2 + X_c^2} \quad (30)$$

$$B = \sqrt{(R_c - Z_o)^2 + X_c^2} \quad (31)$$

Las desventajas de no tener una línea de transmisión acoplada puede resumirse en:

- Existe pérdida de potencia por desadaptación.
- Existe alta probabilidad de que el conductor se dañe.
- El desacoplamiento causa interferencia por ruido.
- Las reflexiones causan imágenes fantasmas.

### II.5.1.5 Área y longitud efectiva

Se acostumbra usar el área efectiva y la longitud efectiva para la recepción porque es donde tiene especial significado. En la recepción se define el área efectiva como, el área equivalente a través de la cual se extrae la energía de las ondas electromagnéticas que llegan a la antena que ha sido polarizada adecuadamente. Se determina con la siguiente ecuación:

$$A_{ef} = \frac{P_L}{\rho} \quad (32)$$

Donde el valor de  $\rho = |E|^2/\eta$ , en pocas palabras esta fórmula es la representación física de la proporción de frente de onda que la antena ha de interceptar para ser transmitida al receptor.

Mientras que la longitud efectiva, es la longitud que permite conseguir una distribución uniforme de la corriente y de la energía radiada sea la misma que sin acortar; otra definición que se puede usar es la relación entre la tensión inducida en circuito abierto en bornes de la antena y la intensidad de campo incidente en la onda.

$$L_{ef} = \frac{|V_{ca}|}{|E|} \quad (33)$$

## II.5.2 Antenas para recepción de satélites de órbita polar NOAA

En el mundo de las telecomunicaciones existen casi un número infinito de antenas, cada una diseñada dependiendo de las aplicaciones y de la frecuencia para las cuales son necesarias. Como ya se explicó en la sección anterior existen toda una serie de parámetros que hacen que las antenas funcionen adecuadamente para la razón para lo que es creada.

Para la recepción de satélites de órbita polar es necesario una antena que no sea muy directiva pero sí que busque un área de captura muy grande, es decir que permita sin la necesidad de moverla recibir la señal del satélite alrededor de ella. Aparte de esto es necesario que tenga una polarización de tipo circular igual que la polarización con la que transmite el satélite. La antena debe presentar un área de captura como se muestra en la Figura 24, el cual permite la recepción del satélite en todos los puntos del plano z homogéneamente mientras el satélite sea visible en el horizonte.

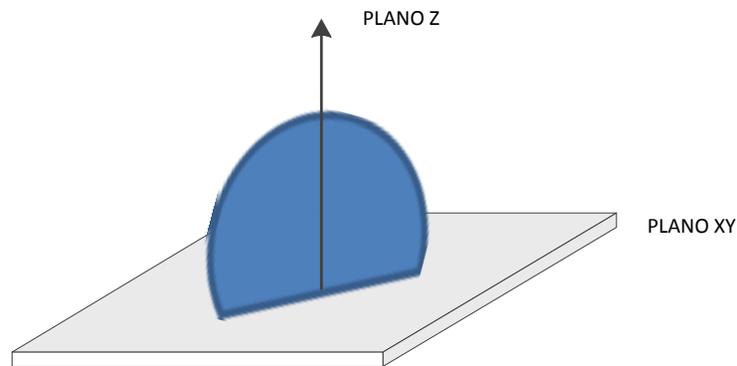


Figura 24. Propagación omnidireccional que se busca para los satélites polares NOAA.

Al conocer el tipo de diagrama que se necesita es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones de la antena viene dado por la frecuencia de transmisión, en el caso de los satélites NOAA de órbita polar la banda de frecuencia es la VHF. La mayoría de antenas para esta banda de frecuencia presentan elementos radiativos que son usualmente de un cuarto de longitud de onda o media onda.

- El diseño de la antena debe ser del mismo tipo de la polarización que presenta la señal transmitida por el satélite. En el caso de los satélites NOAA la antena debe estar polarizada circularmente.
- Por último la antena debe tener una ganancia que permita una recepción libre de ruido. Sin embargo con el uso de un receptor esto se puede solucionar.

Luego de considerar la frecuencia de trabajo y la polarización de la señal que se transmite de los satélites NOAA, se puede observar que una gran variedad de antenas cumplen con las especificaciones de recepción para el formato APT siempre que se tenga un buen preamplificador y un receptor propio para la banda de frecuencia.

Con el uso de la tecnología moderna en toda la parte electrónica, es decir preamplificador y receptor, la antena sigue siendo un factor determinante para la recepción del satélite el cual consta de una agrupación de elementos que puede ser construida por una persona sin la necesidad de invertir una gran suma de dinero y consiguiendo un buen desempeño de la misma. Las antenas expresadas en la siguiente sección son de tipo omnidireccionales que pueden ser construidas por alguien con conocimientos básicos de antenas. Estas son de tipo omnidireccional y de poca ganancia.

### **II.5.2.1 Antena Turnstile**

Esta antena es una de las más simples y menos costosas que se puede realizar para la recepción de señales en formato ATP. Esta antena presenta un diagrama de radiación omnidireccional, Figura 25 y Figura 26, por lo que teóricamente se podrá recibir la señal proveniente del satélite de órbita polar en todo el posible sobrevuelo alrededor de la antena.

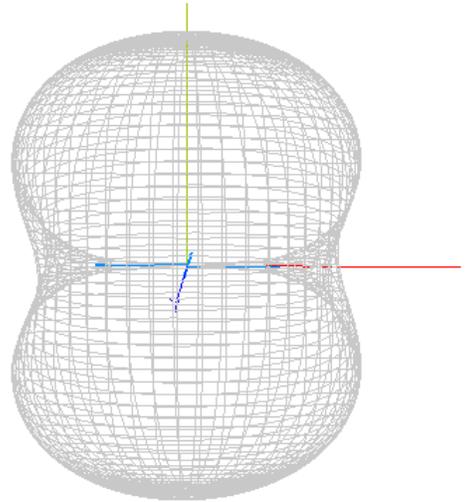


Figura 25. Diagrama de radiación de una antena Turnstile en 3D en el espacio libre. **(Elaboración propia programa MMANA-GAL).**

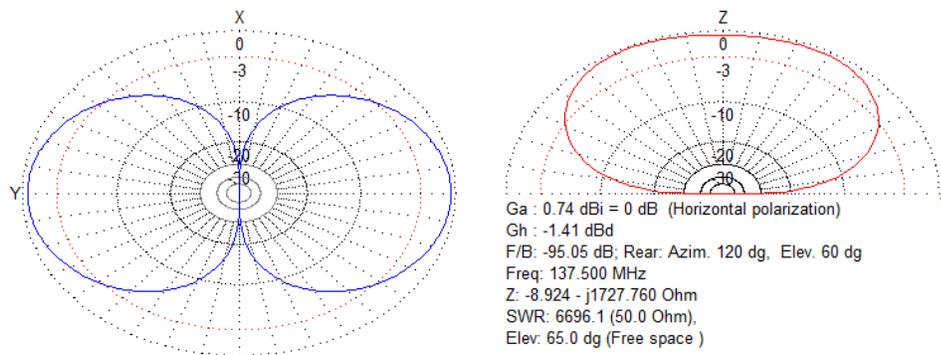


Figura 26. Diagrama de radiación en 2D en el espacio libre. **(Elaboración propia programa MMANA-GAL).**

La Turnstile es una antena muy simple de realizar y no se necesita una gran complejidad para el seguimiento de los satélites, como el que si es necesario para las antenas directivas. La construcción de esta antena es muy sencilla ya que solo se necesitan dos dipolos de una longitud de media onda colocados como en la Figura 27.



Figura 27. Antena Turnstile. (Lombry).

La manera de hacer la alimentación de dichos dipolos es la siguiente, Véase Figura 28.

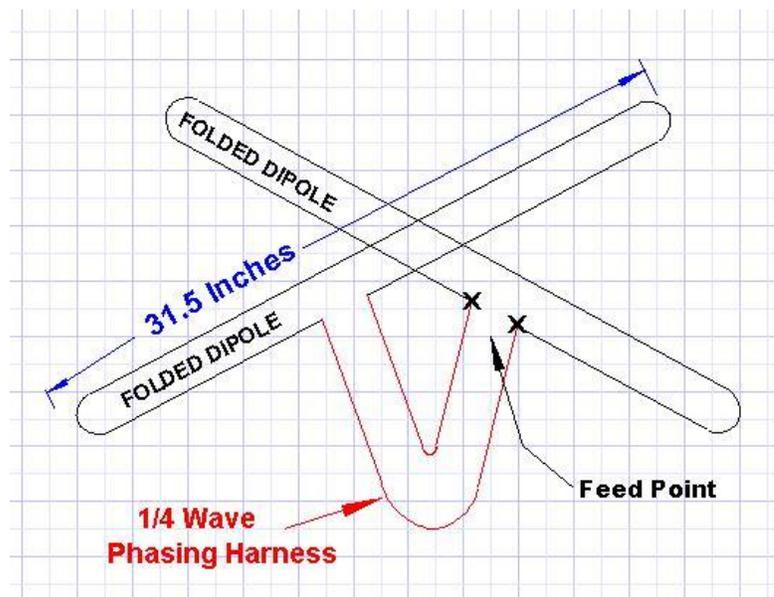


Figura 28. Longitud dipolos y colocación de la misma. (Lombry).

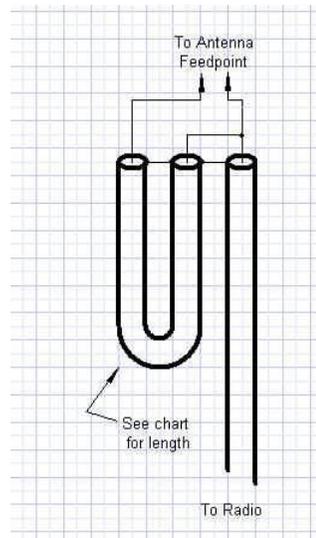


Figura 29. Alimentación de los dipolos. (Lombry).

Al alimentar los dipolos de forma correcta (Véase Figura 29) se garantiza una conexión en donde se obtiene un diagrama de radiación omnidireccional, esta antena como se observa su construcción es muy simple y sencilla, pero como todo lo simple no siempre es la mejor solución. Esta antena presenta unos problemas con respecto a la ganancia ya que no aporta casi ningún aumento considerable de la intensidad de la señal por lo que la recepción de la señal no posee la mejor calidad.

Existe muchas variaciones de esta antena donde se coloca un reflector para poder mejorar el diagrama de radiación de la misma y hacer que tenga un poco más de ganancia.

### II.5.2.2 Antena Cuadrifilar Helicoidal (QHA)

La QHA es un tipo especial de antena omnidireccional que proporciona un mejor diagrama de radiación comparado con la antena de tipo Turnstile y no sufre de las pérdidas de intensidad de señal que sí sucede en las antenas de este tipo. La QHA consiste simplemente en cuatro elipses de media vuelta igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia que genera un cilindro, como se observa en la Figura 30.

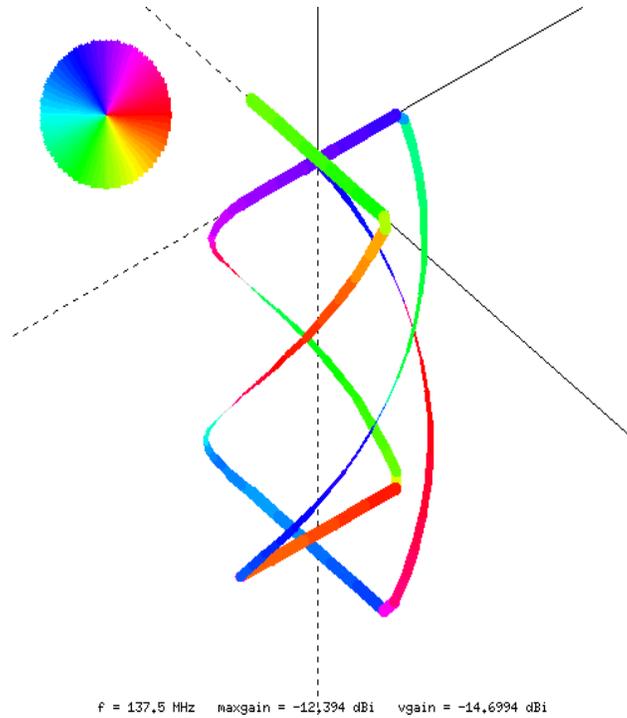


Figura 30. Antena Cuadrifilar Helicoidal de media vuelta. (Coppens).

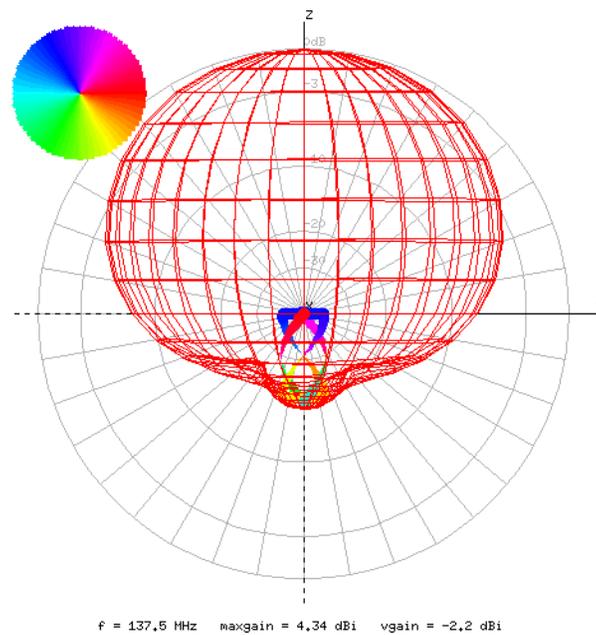


Figura 31. Diagrama de radiación de una antena cuadrifilar helicoidal de media vuelta.(Coppens).

Al observar la Figura 31, el diagrama de radiación de esta antena presenta notables mejoras a la antena Turnstile ya que toda la energía es radiada a la zona

superior, pudiendo cubrir el posible sobrevuelo del satélite. De la misma manera la QHA es una antena que es virtualmente libre de ruido para elevaciones mayores a 5 o 10 grados por encima del horizonte. Sin embargo la antena Turnstile es mucho más económica y simple de construir lo que hace que su diagrama de radiación no sea del todo isotropico, por lo que es comprensible que tendrá un desempeño por debajo de la QHA, esto queda ya en manos de los usuarios que pretendan construir dichas antenas.

Las QHA puede tener un material radiante que puede ser tubo o el mismo cable coaxial, la teoría sobre ellas es la misma a lo antes mencionado, la construcción de dicha antena ha sido altamente estudiada y existen páginas de internet donde existen calculadoras<sup>9</sup> que al colocar la frecuencia central de trabajo de la antena, indica las dimensiones de cada uno de los componentes radiativos para la construcción de la misma, Véase Figura 32.

LA QHA consiste en dos anillos, los cuales permiten obtener la polarización circular. Es necesario que las corrientes en ambas se encuentren desfasadas en 90°. Aunque existe la posibilidad de utilizar un desfasador con un trozo de cable de dimensión un cuarto de onda mas largo a la dimensión original, la solución más usada es la utilización de tamaños diferentes de anillos. Un anillo largo reacciona inductivamente, mientras que uno más corto reacciona capacitivamente (con respecto a la longitud entre cada uno de los elemento).

El único problema que esta presenta en casi todas las antenas es que la conexión debe ser simétrica, por lo que siempre se busca que la impedancia de salida de la antena sea igual a la de un cable coaxial de impedancia de 50 Ohms.

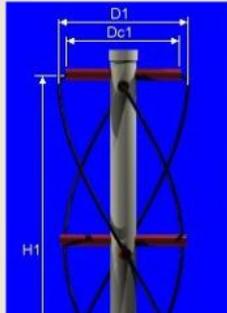
---

<sup>9</sup> Calculadora para QHA: <http://jcoppens.com/ant/qfh/calc.php>

Frecuencia de diseño	137.5 MHz
Cantidad de vueltas	0.5
Largo de una vuelta	1 largos de onda
Radio del doblado	15 mm
Diámetro del conductor	20.5 mm (valor óptimo: 20.5 mm)
Relación diámetro/altura	0.44
<input type="button" value="Calcular"/>	

**Los resultados**

Largo de onda	2181.8 mm
Largo de onda compensado	2330.1 mm
Corrección por doblado	6.4 mm



Cuadro grande	
Largo total	2390.7 mm
Separación vertical	887.1 mm
Largo total compensado	2416.5 mm
Separación vertical compensada	857.1 mm
Altura antena	<b>H1</b> 729.8 mm
Diámetro interno	<b>Di1</b> 300.6 mm
Separador horizontal	<b>D1</b> 321.1 mm
Separador horz. compensado	<b>Dc1</b> 291.1 mm

Figura 32. Antena QHA dimensionado en la calculadora. (Coppens).

Otra ventaja de esta antena es que puede funcionar a baja altura por lo que muy cerca del plano de tierra su desempeño no se ve mermado. La construcción de dicha antena es ligeramente complicada y puede construirse tanto de tubo como de cable coaxial como se observa en el Figura 33. El laboratorio tiene dos modelos de QHA una tubular y la otra de coaxial, las cuales presentan un muy buen desempeño y un buen funcionamiento.

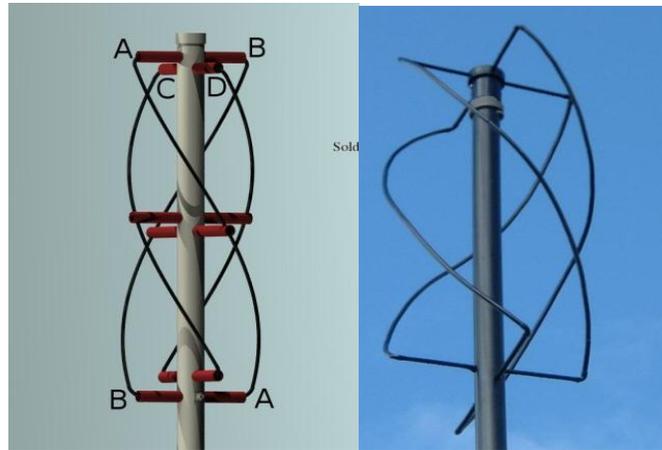


Figura 33. Antena QHA a la derecha elaborada con cable coaxial y a la izquierda elaborada con tubo. (Coppens).

### II.5.2.3 Antena Double Cross (DCA)

La DCA es una antena que está compuesta por cuatro dipolos de media onda. Como se ha comentado anteriormente los satélites POES de la NOAA trabajan entre la frecuencia de 137 a 138 MHz por lo que la longitud de media longitud de onda debe ser calculado para una frecuencia de 137.5 MHz.

Para comprender un poco más las DCA es necesario comprender las antenas que anteceden a la misma, ya que la teoría de la DCA está muy ligada al dipolo simple y a la antena de dipolos cruzados.

El dipolo simple de longitud de media onda, es la antena más elemental de todas presenta el siguiente diagrama de radiación Figura 34. El dipolo simple no sirve para la recepción satelital ya que no presenta una polarización circular. Con un solo dipolo se puede conseguir únicamente una polarización en un solo plano del espacio (horizontal, vertical o diagonal).

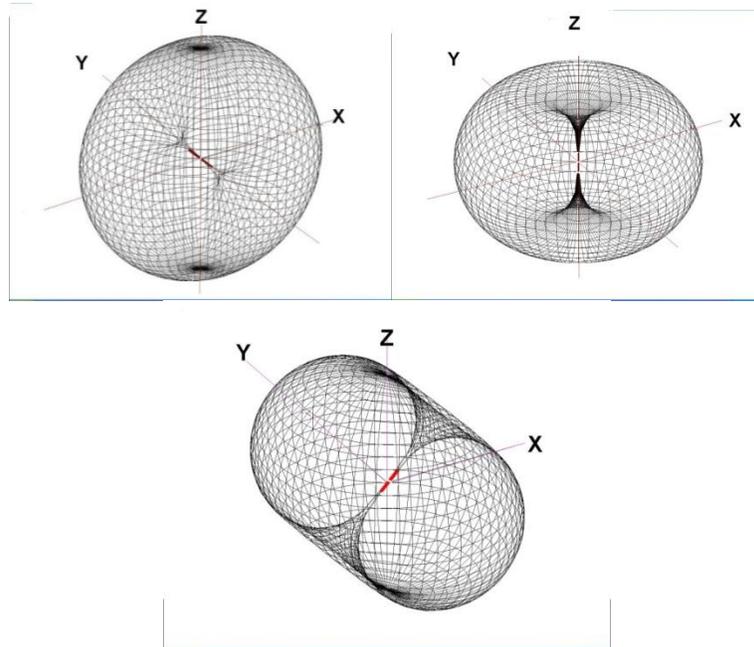


Figura 34. Diagrama de radiación de un dipolo simple, imagen superior izquierda polarización horizontal, superior derecha polarización vertical y la inferior es diagonal. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 1).

Al comprender que es imposible que con un dipolo recibir una señal polarizado circularmente, por lo que es necesario pensar cómo solucionar dicho problema. Para poder conseguir la polarización circular necesario el uso de dos dipolos cruzado a  $90^\circ$  y separados entre ellos una distancia de un cuarto de longitud de onda como se observa en la Figura 35. Puede ser posible que exista una cantidad de nulos hacia una dirección pero esto se puede arreglar moviendo la antena o cambiando un poco el ángulo entre ellos.

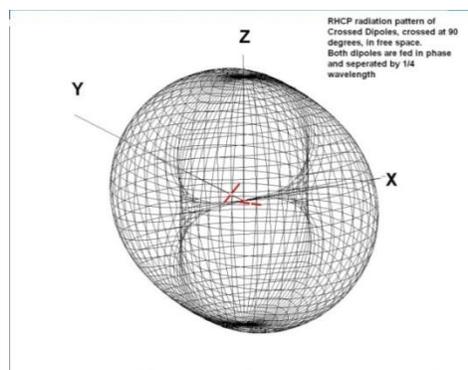


Figura 35. Dipolo cruzado, separado a un cuarto de longitud de onda y cruzados a 90 grados. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 7).

Como los dipolos se encuentran en el mismo plano y están alimentados linealmente hacen posible que presenten la polarización cruzada y el diagrama de radiación deseado. A continuación se observará de diferentes planos como este arreglo de dipolos genera una polarización circular.

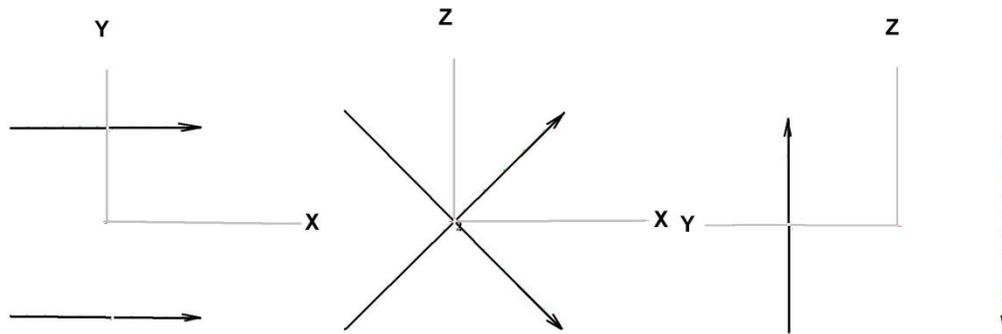


Figura 36. Se muestra todos los planos en el espacio como se observa la alimentación de los dipolos. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 9).

Cuando se analiza la Figura 36, al observar desde arriba, los dos dipolos se encuentran en fase. Al observar del plano Y son un radiador ideal de polarización circular. En el plano X se puede decir que los dipolos se encuentran desfasados, lo que resulta en que ellos se cancelan entre sí.

Ya que el objetivo de esta antena es recibir la señal satelital, la antena debe ser colocada a una buena altura sobre el plano de tierra para que se reciba de manera optima la información proveniente del satélite. Es muy importante saber que la señal en el zenit es veinte veces más potente que en el horizonte, por eso es necesario tener una mayor ganancia a ángulos bajos con respecto a la salida del satélite que en los puntos cuando el satélite está en el punto más cercano a la estación meteorológica.

Usando todo los análisis previos se entiende que esta antena puede ser mejorada ya que presenta nulos en los laterales y un lóbulo que está apuntando al suelo el cual no se debe tener ya que se pierde energía a una zona donde no pasa el satélite, por lo que se deberá diseñar una antena que presente su diagrama de radiación donde la mayoría de nulos se encuentren por debajo de la antena. Pensando en esto se ha diseñado una nueva antena la DCA.

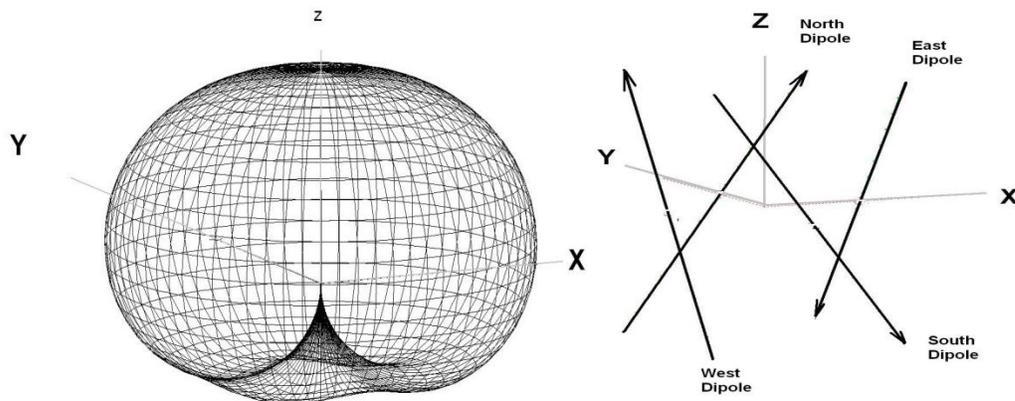


Figura 37. Diagrama de radiaciones de una DCA y posición de los dipolos en el espacio espaciados un cuarto de longitud de onda. (Tast & Martes, 2008, p. 6).

La DCA no es más que dos antenas de dipolos cruzados que al ser alimentadas correctamente se logra conseguir el diagrama de radiación óptimo para la recepción de los satélites POES de la NOAA Figura 37. El arreglo de cuatro dipolos espaciados en un cuarto de longitud de onda presenta una mayor ganancia para los ángulos bajos que para el zenit cuando el satélite pasa por la estación meteorológica. En donde los dipolos se encuentran alimentados con su propia polaridad y fase. La antena final no necesita ser movida tratando de conseguir el mejor desempeño ya que presentara un diagrama de radiación omnidireccional.

En cuanto a la polarización de los dipolos serán analizados como los puntos cardinales Norte, Sur, Este y Oeste. La primera pareja de dipolos o la antena de dipolos cruzados NORTE-SUR presentarán la misma polaridad y fase, mientras que la pareja ESTE-OESTE se encontraran desfasadas en  $90^\circ$ , como se observa en Figura 37. Para entender mejor el comportamiento y la polarización de esta antena se observarán diferentes planos de la misma en donde se comprenderá por la antena DCA presenta una polarización circular.

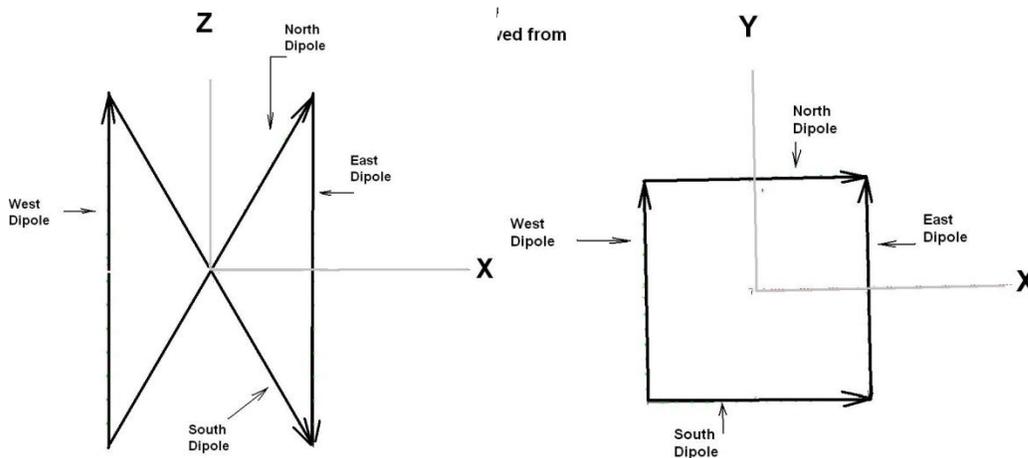


Figura 38. Diferentes planos para observar la polarización circular que presenta la antena DCA para recibir la señal satelital. (Martes J. , DCA for beginners, 2009, p. 19).

En la Figura 38, los dipolos oeste y este se encuentra desfasados en noventa grados y la polarización que presenta la antena es circular. Es necesario saber qué ángulos tendrán los dipolos entre ellos porque de esta manera se podrá determinar la impedancia de salida de la antena que como ya fue comentado es una propiedad que es necesario tener en cuenta al momento de diseñar antenas.

## Capítulo III

### Marco Metodológico

En este capítulo se describen cada una de las fases que se llevaron a cabo para lograr el cumplimiento de los objetivos tanto generales como específicos de este Trabajo Especial de Grado. A continuación se muestran las seis fases en las que fue dividida la ejecución del proyecto.

#### **III.1 Investigación Teórica sobre los sistemas de transmisión satelital, satélites polares y antenas de tipo *Double Cross*.**

En esta fase se investigó sobre los tipos de satélite que orbitan alrededor del globo terráqueo, para ser más específicos los de órbita polar de la NOAA. También sobre su forma de transmitir con el uso de un sistema de datos APT. Sobre todo proyectos existentes sobre diseños de antenas de tipo *Double Cross*, de los cuales se buscó información que puede ser fácilmente adquirida ya que no presentaba ningún derecho de autor. Tomando en cuenta todos los aspectos referentes a aplicaciones, compatibilidad y regulaciones utilizadas. Se tomó la decisión de sustentar este Proyecto final de Carrera en los proyectos realizados por la fundación NOAA, donde se encuentran proyectos como construcción de una antena cuadrifilar y el diseño de una antena de tipo *Double Cross*.

#### **III.2 Diseño de la antena *Double Cross***

Luego de estudiar todas las posibles opciones para la construcción de la antena, se realizó el diseño de la misma especificando primordialmente los elementos necesarios para su elaboración. Igualmente en la etapa de diseño se realizaron los cálculos pertinentes para el buen acople de impedancia con respecto al preamplificador y el tamaño que debían tener los dipolos para cumplir los requerimientos de recepción de la antena.

### **III.3 Construcción de la antena Double Cross.**

Una vez finalizada la parte del diseño se fue observando con mayor detenimiento qué tipo de materiales deben ser usados y cuál de ellos se acercaba más a las prestaciones que se buscan. Para la construcción se baso primordialmente de dos ayudas bibliográficas una que se encuentra en la pagina de NOAA y la otra de documento de Jerry Mast, que indican más o menos los pasos a seguir para la construcción de la antena.

### **III.4 Realización de pruebas de calidad e instalación de la antena.**

En esta fase se tomó la decisión de cuál es el lugar mas idóneo para la instalación de la antena ya que al ser un dipolo con diferencias de alturas y distinta ubicacion puede variar notablemente. En esta sección se realizará el acople de impedancia adecuado para obtener la mayor transferencia de potencia. Para lograr la máxima transferencia de potencia es necesario medir el valor de la relación de onda estacionaria (ROE) que permite conocer si la antena presenta la frecuencia de recepción correcta para esta aplicación en especifico. En el caso de no presentar el valor de ROE deseado para la frecuencia es necesario realizar modificaciones en la antena lo que permite la mejor recepción de la señal satelital.

De la misma manera se familiarizó con el software encargado de la decodificación de la información enviada por el satélite.

Por ultimo una vez que la antena supera las especificaciones de construcción es instalada en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.

### **III.5 Recepción de imágenes en tiempo real y obtención del diagrama de radiación por parte de la antena DCA**

En esta fase se realizó la recepción de las imágenes provenientes de los satélites de orbita polar en tiempo real. Inicialmente se realizaron pruebas de recepción en diferentes locaciones del tejado. La antena es ubicada primeramente en una locación

donde puede ser mas fácilmente manipulada en el caso de alguna falla. Luego es movida a un lugar fijo.

Igualmente con el uso del software de recepción se consigue conocer el diagrama de radiación de la antena DCA el cual permite conocer si la antena presenta el diagrama de radiación isotrópico de media esfera buscado en la etapa de diseño, garantizando así la recepción de la antena durante el mayor lapso de tiempo.

### **III.6 Comparativa entre las antenas de tipo DCA y Cuadrifilares ubicadas en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.**

Se realizaron la recepción de imágenes para todas las antenas de tipo DCA y Cuadrifilar, en las mismas condiciones de clima y hora. También se realizaron los diagramas de radiación que permiten identificar la cantidad de potencia recibida en cada uno de los puntos para realizar las comparaciones entre las antenas. Se identificará a través de las imágenes y el diagrama de radiación que antena DCA es la que presenta la mejor recepción.

Así mismo una vez escogida la mejor de las antenas DCA se comparará contra la antena Cuadrifilar en las mismas condiciones de recepción lo que permitirá conocer cuál de estas dos antenas presenta el mejor desempeño el cuál permitirá escoger de estas dos antenas merecen ser instaladas en la estación receptora de la UPC. Se evaluaron los resultados de dichas pruebas y se establecieron conclusiones, los cuales fueron plasmados en este Trabajo Especial de Grado en el Capítulo V

### **III.7 Elaboración del Manual**

En esta fase se procedió a realizar un Manual para la correcta instalación de una estación meteorológica amateur, en el que se explica paso a paso la instalación y el manejo del programa para la decodificación de la información proveniente del satélite. Asimismo, contiene también la instalación de equipos y programas adicionales que

ayudaran a tener una estación mucho mas completa con el fin de facilitar su uso por el usuario final. Dicho manual se incluye como Anexo 2 en este Trabajo Especial de Grado.

## Capítulo IV

### Desarrollo

A continuación se hace una descripción detallada de cada una de las fases establecidas anteriormente en la metodología de este Trabajo Especial de Grado. Las cuales se llevaron a cabo para lograr el cumplimiento de los objetivos fijados.

#### IV.1 Investigación documental

La investigación teórica y documental se basó en el estudio de los conceptos fundamentales y análisis de proyectos sobre las comunicaciones satelitales, específicamente para satélites meteorológicos de órbita polar. Dicho estudio se enfocó en las formas de transmisión de datos, cálculo de la cantidad de tiempo que dura una pasada de un satélite polar, análisis de los datos recibidos, sensores usados por los satélites NOAA y banda de frecuencia a la que se trabaja. Dando lugar al marco teórico y logrando así tener la base conceptual la cual dio sustento a este Trabajo Especial de Grado

La investigación se dividió en dos etapas; la primera se basó en la búsqueda de información para el mejor análisis de los satélites de órbita polar NOAA y del mejor paso diario que iban a tener sobre la ciudad de Barcelona, como el cálculo de la predicción y ubicación del satélite polar en la tierra. Para dicho cálculo se usa la tercera Ley de Kepler; con el uso de la misma se puede determinar el tiempo máximo en el que un satélite podrá transmitir y ser recibido. Se encontró diferentes autores que tocaban todos estos temas los cuales todos llegaban a la misma conclusión sobre la predicción de los satélites.

La segunda etapa de investigación consistió en el estudio de diversos diseños de antenas de tipo *Double Cross*, donde se pudo entender conceptualmente el funcionamiento de la antena para su posterior diseño, junto a la compatibilidad con los equipos a los cuales se encuentra conectada y entender los componentes que forman una estación meteorológica.

Las fuentes donde se obtuvieron todas las informaciones y conceptos previamente descritos fueron libros, trabajos especiales de grado de diversas universidades y países,

así como también fuentes electrónicas, documentos encontrados en la web, siendo estos uno de los principales usado para investigar a fondo sobre la NOAA, sobre la evolución de la antena *DoubleeCroos* y sus posibles mejoras sobre la antena como su mas fácil construcción adicionalmente estas informaciones mayormente son compartidas y publicadas para el uso de otras personas, el enriquecimiento y mejora de los proyectos ya existentes así como base para otros nuevos. Todas estas fuentes son referenciadas en el en la bibliografía.

#### **IV.2 Diseño de la antena *Double Cross***

Para el diseño de la antena se realizó una exhaustiva investigación sobre el *performance*, ventajas y construcciones previas de la misma y basado en esto se tomó la decisión de que iba a estar constituida por cuatros dipolos de media longitud de onda. Los cuales alimentados de una forma particular, al unirlos generan un diagrama de radiación isotrópico, el cual se adaptaba de mejor manera a las necesidades de un satélite de órbita polar de la NOAA.

Permitiendo que esta antena pueda recibir la información del satélite sin la necesidad de tener que variar su ángulo durante la recepción de la misma ni tener una directividad hacia cierto sector.

Al contar con cuatro dipolos es necesario el uso de cable coaxial para realizar las conexiones entre ellos y el receptor. Estos dipolos presentan una particularidad ya que dos de estos deben estar desfasados en  $90^\circ$  con respecto a la otra pareja. El desfasaje de  $90^\circ$  se logra haciendo que una pareja de dipolos estén conectados a una línea de un cuarto de longitud de onda mayor a la otra pareja.

Como parte fundamental del diseño siempre se buscará cortar el cable coaxial en múltiplos de media longitud de onda pero no en el vacío sino en relación a la velocidad que posee la luz en el cable, logrando el menor desfasaje posible y el mejor acople en la línea de trasmisión desde la antena hasta el receptor.

$$L_{\text{cable coaxial}} = \frac{c \cdot \text{factor de velocidad}(\text{coaxial})}{\text{frecuenciadetrabajo}} \cdot n \text{ metros}^{(34)}$$

$L_{\text{cablecoaxial}}$  = longitud a la que se tiene que cortar el coaxial

$c$  = velocidad de la luz

$n$  = numero entero

*factor de velocidad = depende del cable que se use, esta en sus especificaciones*

Los dipolos pueden ser señalados como Norte, Sur, Este y Oeste, lo cual sirve para identificar las posiciones de los mismos, ya que los dipolos de la pareja NORTE-SUR son los que estarán conectados a una línea coaxial de media longitud de onda en el medio de propagación, en cambio que los dipolos pareja ESTE-OESTE se encontrarán conectados a una línea de transmisión coaxial que presenta un mayor tamaño, equivalente a la media longitud de onda más un cuarto de longitud de onda. Siempre la pareja ESTE-OESTE será un cuarto de longitud de onda mas larga ya que de esta manera se logra conseguir así el desfase de 90°.

Los dipolos se encuentran ubicados como se muestra en la Figura 39. De esta forma cada uno tuvo la ubicación exacta en el espacio dando una radiación isotrópica hacia arriba, la separación que tendrá cada uno de estos dipolos con su coordenada será de un cuarto de longitud de onda y cada dipolo debe tener un ángulo de treinta grados con el origen de coordenadas. De esta forma se garantiza que la impedancia de cada dipolo será de aproximadamente 50 Ohm.

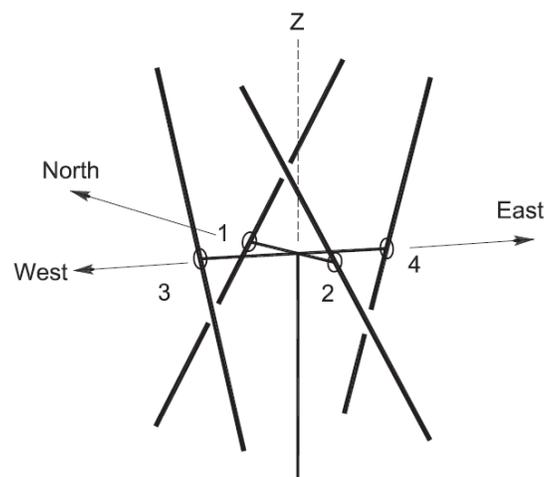


Figura 39. Configuración de antena y ubicación correcta de los dipolos. (Martes J. , **Double Cross Antena**, 2008, p. 2).

Por último, una de las partes más importantes del diseño para conseguir una impedancia en la línea de transmisión lo más cercano a 50 ohm, es conectar los cuatro dipolos como se muestra en la Figura 40, esto se realiza para que la suma de las resistencias de los cables coaxiales se haga en paralelo y no en serie, por lo que la resistencia total no es la suma de todas sus resistencias sino el paralelo de cuatro líneas de cincuenta ohm sumadas en serie y luego en paralelo que da como resultado el valor de 50 ohms.

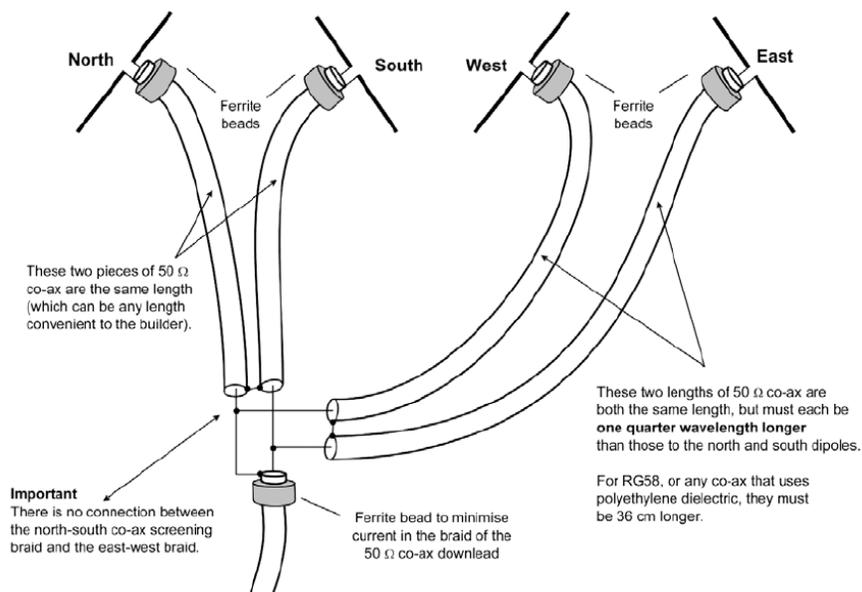


Figura 40. Conexiones internas de la DCA. (Martes J. , Double Cross Antena, 2008, p. 3).

Un elemento muy importante para el diseño son las ferritas que están colocadas en todos los puntos donde se realiza una nueva conexión. El fin de las ferritas es simple ya que hacen que la corriente que circule por el centro del cable coaxial no desvíe a la malla. Esto ocurre al momento de hacer las conexiones y que se genera una pequeña capacitancia parasita que filtra corriente del centro a la malla como se observa Figura 41.

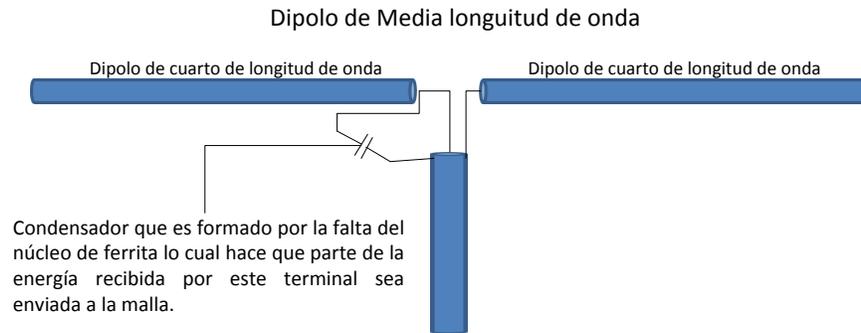


Figura 41. Dipolo de media onda sin ferrita.

El uso de las ferritas ayuda a un mejor acople en el cable coaxial y al mejor desempeño del mismo pudiendo tener la máxima transferencia de potencia. El concepto de la ferrita es disminuir la inductividad de la malla; de esta manera ninguna corriente proveniente del centro pueda filtrarse a la misma.

### IV.3 Construcción de la antena *Double Cross*

Al terminar de realizar todo lo que corresponde al diseño de la antena, se debe saber en qué lugar comprar y qué tipo de materiales son necesarios para la construcción de esta antena. También todos los materiales que se han usado para la construcción de la antena son de fácil acceso para cualquier usuario en el caso de que se desee realizar la construcción de esta antena.

#### IV.3.1 Materiales

Con respecto a esta antena que presentará dipolos de 12 milímetros de diámetros se utilizan prácticamente los mismos materiales para la construcción de la antena anterior. De todas maneras se señalan los materiales que son necesarios para la construcción de la misma, los cuales son los siguientes:

- Cuatro metros de tubo PVC de 25 mm de diámetro.
- Ocho tapones de PVC para encolar de 25 mm de diámetro.
- Ocho tubos metálicos de aluminio anodizado de 12 milímetros de diámetro hueco.

- Cuatro conexiones de PVC tipo T para encolar de 25 mm de diámetro.
- Cinco Reductores de 25 mm a 20 mm de PVC para encolar, tienen una forma de embudo.
- Tubo de cola para PVC.
- Tubo de aluminio de 10 milímetros
- Cuatro metros de cable coaxial del tipo RG-58
- Trozo de material PVC de un metro de largo por ancho y de un centímetro de profundidad.
- Tornillos de 14 mm, arandelas y sujetador.
- 6 ferritas y un toroide

#### **IV.3.2 Pasos a seguir y forma de ensamblar una antena DCA**

La DCA posee un diámetro 12 mm. El dipolo es un tubo de aluminio anodizado hueco del diámetro antes especificado; el hecho que sea hecho el tubo hueco no cambia nada ya que la corriente captada por el dipolo viaja por la superficie de la misma.

Dicho esto se comenzará la descripción de esta construcción, lo primero que se debe realizar es cortar todos los materiales en las dimensiones necesarias:

- Cortar tubo PVC de diámetro 25 mm, en ocho tubos más cortos de 14 cm de largo, estos tubos se cortaron con la utilización de una sierra y fueron fijados para realizar un corte simétrico.
- Cortar tubo PVC de diámetro 25 mm, en cuatro tubos de más cortos de 20 cm cada uno de largo, usar sierra para cortar el tubo.
- Cortar los ocho tubos de aluminio 52 cm.
- Perforar los ocho tapones en el medio con una broca de 12 mm, dimensiones para que pueda pasar la varilla metálica en el caso que no se consiga de 12 mm, se usó un aparato mecánico llamado torno manual el cual permitió realizar la perforación justamente en el centro de cada uno de los tapones.

- Para la construcción de un a caja es necesario cortar la lámina de PVC con las siguientes dimensiones: dos placas de 12 x 12 cm, otras dos placas de 10x4.5 cm y otras dos placas 12 x 4.5 cm.
- Cortar tubo de aluminio de 10mm en ocho pedazos más pequeños de 7cm cada uno.
- Conseguir un pedazo de pista de circuito que es aislante, dimensiones 15 x 40 mm, esta pieza puede ser cortada con el uso de una guillotina ya que realiza cortes de muy alta precisión con los ángulos deseados..
- Cortar dos piezas de cable coaxial RG-174 de longitud 72 cm.
- Cortar dos piezas de cable coaxial RG-174 de longitud 108 cm.
- Introducir solo 5 cm una broca de 10 mm dentro de cada tubo de aluminio de 12 mm para permitir el acceso de cada uno de los pedazos de 7 cm en cada uno de los dipolos.
- Perforar las placas de 10 x 4.5 cm en el centro y realizar un agujero de 25 mm, Figura 42.
- Perforar las placas de 12x4.5 cm en el centro y realizar un agujero de 25 mm, Figura 42.

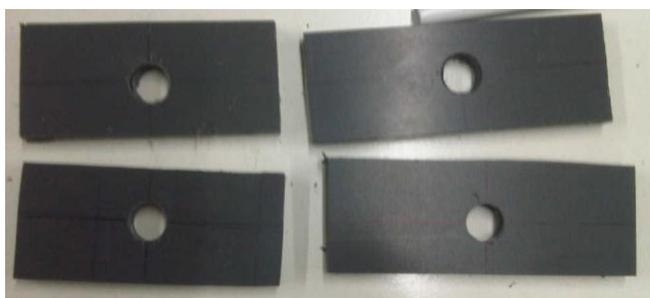


Figura 42. Orificios ubicados en el centro de cada uno de las placas.

Con las piezas cortadas para hacer la caja se ensambla y se encola la base y las paredes de la misma sin colocar la tapa, esperar unos 15 minutos mientras se seca la cola. Una vez pegado colocar los tubos de PVC de longitud de 20 cm dentro de los cuatro orificios de la caja, como se observa Figura 43.



Figura 43. Caja armada y con los tubos de 20 cm colocados que hacen una distancia de un cuarto de longitud de onda.

Una vez es realizada la etapa anterior, se prosigue con la elaboración y confección del dipolo, es necesario introducir dentro del dipolo un trozo de plástico, material aislante lo que hace que la conductividad y el diagrama de radiación no cambie. Este plástico fue perforado junto al tubo de aluminio el cual se atornillo dándole estabilidad a los dipolos para la manipulación y permitiendo así una distancia fija entre cada dipolo de cuarto de onda que al juntarlo se genera un dipolo de media onda.

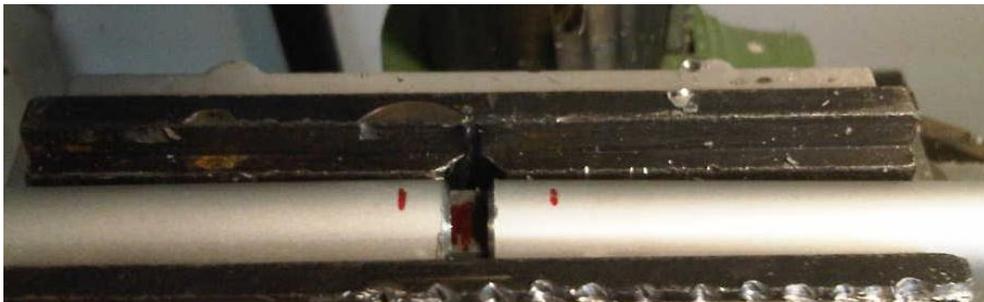


Figura 44. Perforación de tubo para la colocación de tornillo con arandela.



Figura 45. Dipolo ya armado, con punto de conexión lijados para aumentar la conductividad.

Para realizar las conexiones del cable coaxial con cada uno de los dipolos se debe realizar la siguiente conexión en el centro del cable conectado a una arandela y la malla a la otra como se observa en la Figura 46.



Figura 46. Conexión del cable coaxial al dipolo.

Una vez realizado este paso se debe colocar los trozos de aluminio en cada uno de los extremos de los tubos. Dichos trozos que darán una holgura al momento de realizar las mediciones de ROE y permitirán variar las dimensiones de la antena en caso que no esté sintonizada a la frecuencia de 137.5 MHz.



Figura 47. Dipolo con el trozo de aluminio que permitirá el cambio de longitud del mismo.

Es necesario colocar nombres a cada dipolo que tengan el cable coaxial más largo de longitud 108 cm. Esta pareja de dipolos se han de llamar los elementos tres (Este) y cuatro (Oeste).

Mientras que el más corto de 76 cm. Es la pareja que se han de llamar elementos uno (Norte) y dos (Sur). Se ha de identificar siempre la parte del dipolo que está conectada al vivo del cable coaxial con un símbolo de mas (+).

Para concluir la instalación se aproxima la parte más complicada de la construcción de la antena que consta en realizar las debidas conexión y soldar las mismas para presentar la mejor conectividad posible entre los elementos. La posición de los elementos es muy importante por lo tanto es necesario colocar los elementos 1 (Norte) y 2 (Sur) frente a frente en el cajetín, al igual que los elementos 3 (Este) y 4 (Oeste) uno al frente de otro.

Al saber las debidas posiciones y colocar cada uno de los elementos se procede a soldar todo la parte de las conexiones que ha sido explicado en el diseño de la antena, véase Figura 40. Se explicó en la parte de diseño pero igual se ha de retomar ya que es muy complicada de entender y de realizar, se toma el centro del elemento 3 (Oeste) y el elemento 1 (Norte), estos son conectados a la tierra del cable coaxial que va para la salida. El centro del elemento 2 (Sur) y 4 (Este) va conectado directo al centro del coaxial de salida. Seguido de esto las tierras de los elementos 1 y 2 están conectadas entre ellas, al igual que las tierras de los elementos 3 y 4.

Para realizar estas conexiones de manera más simple se diseñó un circuito impreso que permitió realizar las conexiones de una manera más sencilla y fiable.

Por ultimo introducir todo el cableado sobrante dentro del cajetín y cerrar, seguido de esto el cable que baja del cajetín es conectado a otra línea la cual va a tener el conector de tipo BNC, para poder conectarlo al transmisor. Al terminar esto se deben graduar los ángulos de los dipolos a treinta grados con respecto al origen.

#### **IV.4 Realización de pruebas de calidad e instalación de la antena.**

Una vez culminada la etapa de construcción de la antena *Double Cross* es necesario realizar pruebas de calidad de la antena lo que permite saber la frecuencia de trabajo de la antena y si es necesario realizar algún tipo de cambio o modificación en la antena.

Para el caso de las pruebas de calidad se cambiaran las dimensiones y de la ubicación de la antena en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña. Para cada uno de los puntos. Se ha de medir el valor de la relación de onda estacionaria (ROE) con este valor se conoce la frecuencia de trabajo de la antena lo que indicará si es necesario colocar un dipolo de menor longitud.

##### **IV.4.1 Equipo de Medición de ROE**

Para realizar las mediciones de ROE<sup>10</sup> se ha utilizado un equipo de medición que posee el nombre de RigExpert<sup>11</sup> modelo AA-520. Este equipo permitirá analizar la antena para poder calcular cuál es la frecuencia de trabajo de la misma y conociendo también su impedancia de salida garantizando el acople óptimo línea de transmisión de la antena.

RigExpert es un instrumento de medición vital para esta sección, ya que permite conocer la frecuencia de trabajo lo que ayudará a saber si la antena esta sintonizada con la frecuencia de los satélites POES de la NOAA. El conocimiento de la medida real del valor de ROE es más importante porque se debe conseguir el menor valor en la

---

<sup>10</sup>ROE: Relación de onda estacionaria

<sup>11</sup>RigExpert modelo AA-520: <http://www.rigexpert.com/index?s=aa520>

frecuencia de trabajo deseada, asegurando así que la antena recibirá la mayor cantidad de potencia en la banda de frecuencia de los satélites de la NOA, sin tener la mayor cantidad de pérdidas culpa del desacople de la antena.

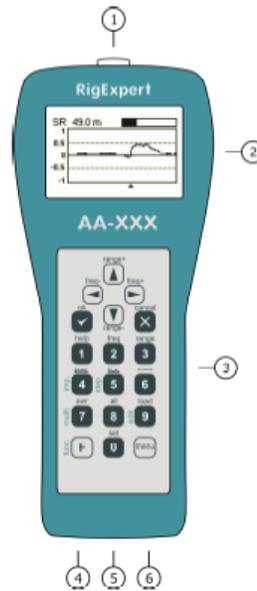
Al RigExpert AA-520 (véase la Figura 48) es un analizador de antenas diseñado para pruebas, chequeo, sintonización o reparación de antenas o líneas de alimentación de las mismas. La grafica de ROE (SWR<sup>12</sup>) e impedancia, son las más útiles de este analizador ya que reduce en gran medida el tiempo necesario para realizar los ajustes de las antenas mejorando así su performance. Este equipo es de muy fácil uso. Presenta una memoria para grabar la información y conexión a la computadora a través del puerto de USB.

Con el uso del RigExpert AA-520 se pueden realizar las siguientes tareas:

- Rápido chequeo de una antena.
- Sintonizar la antena hasta su punto de resonancia.
- Realizar comparativas de la antena antes y después de eventos específico tales como fuertes viento, lluvia, entre otros.
- Medición de parámetros de impedancia en los cables coaxiales o líneas de trasmisión.
- Localizar daños en el cable.
- Medir la capacitancia y la inductancia, de la antena.

---

<sup>12</sup> SWR: Standing Wave Radio



Leyenda:

1. Conector de antena.
2. Pantalla de LCD<sup>13</sup>.
3. Teclado.
4. Conector para cargar el equipo (9-14V, 500mA DC).
5. Botón de encendido.
6. Conector USB, para conectar equipo computador.

---

Figura 48. RigExpert AA-520 vista frontal y botones importantes. (**RigExpert**, pág. 3).

De todas las funciones que presenta este equipo la más importante para este caso en concreto es la medición de ROE la cual puede ser observado mediante una gráfica (*SWR graph*) que es un barrido en frecuencia permitiendo al usuario observar el punto de resonancia de la antena y al igual está la función *SWR mode* que permite evaluar el valor de ROE en un punto específico de frecuencia.

Para la medición en la función *SWR mode*, es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Se debe conectar la antena al RigExpert AA-520, se recomienda por lo menos tener una línea de cable coaxial entre tres a cuatro metros así el cuerpo humano no entorpecerá las medidas de la antena.

---

<sup>13</sup>LCD: Liquid Crystal Display

2. Encender el equipo y presionar la tecla número 7 en el teclado del menú principal, debería salir en la pantalla barrar del identificando el valor de ROE y el valor numérico de la misma. Véase Figura 49.

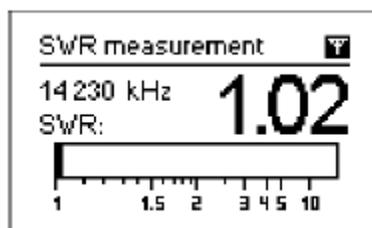


Figura 49. Medición de ROE para una frecuencia en específico. (**RigExpert, pág. 7**).

3. La frecuencia a la que se está trabajando se debe presionar el número 2 en el teclado lo que permitirá colocar el valor de frecuencia deseado o también con el uso de las flechas que se encuentran en el teclado.
4. Una vez colocada la frecuencia deseada y todo se encuentra conectado presionar el botón de OK para comenzar con la medición.

Con respecto a la obtención de la gráfica que permite visualizar más fácilmente en qué punto de frecuencia se encuentra resonando la antena, para poder realizar esta función de *SWR graph* con el RigExpert AA-520 se deben realizar los siguientes pasos:

1. Conectar la antena al RigExpert AA-520. Se recomienda por lo menos tener una línea de cable coaxial entre tres a cuatro metros así el cuerpo humano no entorpecerá con las medidas de la antena.
2. Encender el equipo y presionar la tecla número 4 en el teclado del menú principal, debería salir una pantalla en donde el ROE en el eje de las y mientras que el eje x se tendrá la frecuencia. Véase Figura 50.

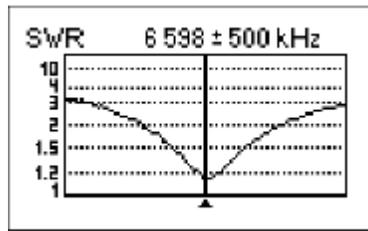


Figura 50. Medición de ROE para una frecuencia de 6,598Mhz y 500kHz de span. (**RigExpert, pág. 9**).

3. Para colocar la frecuencia a la que se está trabajando se debe presionar el número 2 en el teclado lo que permitirá colocar el valor de frecuencia deseado presionar OK, o se escoge el número 3 que permitirá aumentar el rango de cobertura de la imagen (span).
4. Una vez colocada la frecuencia deseada y rango, cuando todo se encuentra conectado presionar el botón de OK para comenzar con la medición.

Una vez comprendida el funcionamiento del equipo de medición es momento de indicar los tipos de experimentos que fueron realizados con este equipo, el cual ayudó a la toma de decisiones que mejoraron el desempeño y el desempeño de la antena.

#### **IV.4.2 Medición y Mejora de ROE de la antena DCA diámetro 12mm**

La medición consistió en colocar la antena en las localidades uno y dos (véase la Figura 51), en donde será medido el valor de ROE de la antena el cual determinara la resonancia de la misma manera se usará esta información para determinar las modificaciones en dimensiones que se deben realizar en la longitud de los dipolos. Todas las medidas son realizadas con el instrumento de medición RigExpert modelo AA-520, conectado a un cable coaxial de dos longitudes de onda para no afectar con el cuerpo el desempeño de la antena, ya que el cuerpo humano será visto como un obstáculo lo que hace que el diagrama de radiación presente variaciones.



diferentes mediciones a diferentes alturas lo que permitirá entender cómo el plano de tierra hace variar el desempeño de la antena.

#### **IV.6 Comparativa entre las antenas de tipo DCA y Cuadrifilares ubicadas en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.**

La estación receptora de la UPC, presenta dos antenas de tipo Cuadrifilar una que es de tipo coaxial y otra de tipo tubular, ambas ubicadas en el tejado de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ambas antenas se encuentran funcionando y recibiendo la señal enviada por el satélite. Se realizará una comparación entre las imágenes recibidas entre las antenas cuadrifilares y la DCA.

Dichas antenas estarán bajo las mismas condiciones atmosféricas y a las mismas alturas garantizando así la mejor recolección de información en el ambiente mas equitativo posible.

Se evaluará el porcentaje de señal recibida con el uso del programa APTdecoder, en donde obtiene el porcentaje de información recibida por la estación receptora. Por ultimo se observará el diagrama de radiación de cada antena.

#### **IV.7 Elaboración del Manual**

Finalmente se realizó un Manual en donde se explica paso a paso y de manera muy detallada la forma correcta de crear una estación receptora básica para la recepción de imágenes provenientes de satélites de orbita polar, donde se abarcaran todos los diferentes dispositivos que son necesarios para la estación al igual la instalación del software necesario para la decodificación de la señal proveniente de los diferentes satélites de orbita polar. Este documento fue incorporado como el Anexo 4 en este Trabajo Especial de Grado para facilitar la comprensión y el uso del proyecto realizado



## Capítulo V

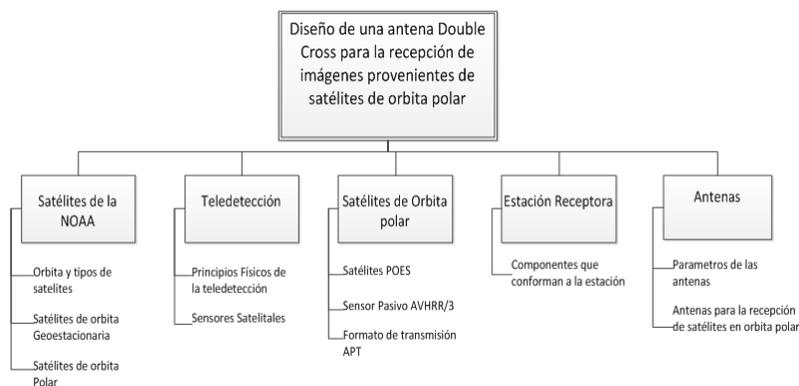
### Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos luego de haber desarrollado cada una de las etapas y procesos definidos y explicados en los capítulos anteriores.

#### V.1 Investigación documental

Los resultados de este capítulo se presentan en el Marco Teórico definido en el Capítulo II, logrando así tener los conceptos y definiciones que dan basamento a este trabajo especial de grado pudiendo definir una metodología así como el desarrollo de la misma para lograr el cumplimiento de los objetivos fijados previamente en el Capítulo I.

En la figura 52 se muestra un esquema en el que se mencionan los conceptos principales que forman parte del Marco Teórico, plasmado en el Capítulo III.



**Figura 52.** Mapa conceptual de contenidos involucrados en la investigación documental.

## V.2 Diseño de la antena *Double Cross*

El resultado de esta fase se evidencia durante el momento de la medición de la calidad de la antena en donde se observa que la frecuencia de trabajo teórica para la cual diseñada la antena es muy cercana a la de las mediciones de la ROE.

Se realizó la correcta alimentación de cada uno de los dipolos como fue comentado en la sección 2 del capítulo IV en donde la pareja NORTE-SUR estarán conectados a una línea coaxial de una longitud de media onda en el medio de propagación en cambio los dipolos pareja ESTE-OESTE equivalente a la media longitud de onda más un cuarto de longitud de onda. Esto se realiza con el uso de la fórmula

$$\Delta L = \frac{c \cdot 0,66}{137,5\text{MHz}} \cdot \frac{1}{4} m = 36 \text{ cm} \quad (35), \text{ elemental en el uso de la transmisión. En donde}$$

dos de los cuatros dipolos Este-Oeste deben estar desfasados en noventa grados más tarde que los dipolos Norte-Sur; con lo que se busca retrasar la señal será captada por los dipolos Este-Oeste con los Norte-Sur.

$$\Delta L = \frac{c \cdot 0,66}{137,5\text{MHz}} \cdot \frac{1}{4} m = 36 \text{ cm} \quad (35)$$

Donde el valor de 0,66 es el factor de velocidad que tiene un cable coaxial RG-58 y el RG-174 los cuales son los usados para el ensamblaje de la antena.

Es logrado un acople de impedancias gracias al uso de la ferritas lo que permite un mejor acople. De la misma manera la longitud de cada uno de los cables que han sido conectados para alimentar la antena ayudó a que la antena presente un mejor acople también.

Por ultimo en la etapa de diseño con la correcta alimentación de la antena es posible obtener un diagrama de radiación de la antena isotrópico que permite la detección del satélite durante todo el sobrevuelo sobre la estación receptora.

## V.3 Construcción de la antena *Double Cross*

El resultado de esta fase se evidencia en la Figura 53, donde está la antena *Double Cross* para la recepción de imágenes provenientes de los satélites de orbita polar en tiempo real. En esta etapa se realizaron varios prototipos pero en el estudio de una antena *Double Cross* como tal únicamente se analizarán los datos de la antena con un diámetro de dipolo de 12 mm.



Figura 53. Antena Double Cross de dipolos de 12mm de diámetro.

Previamente a esta antena de diámetro de dipolo de 12mm se realizó una con un diámetro de dipolo de 3 mm. La construcción y las pruebas con dicha antena se pueden observar en el Anexo 1.

#### **IV.4 Realización de pruebas de calidad e instalación de la antena.**

Una vez culminada la etapa de construcción de la antena *Double Cross* es necesario realizar pruebas de calidad de la antena lo que permite saber la frecuencia de trabajo de la antena y si es necesario realizar algún tipo de cambio o modificación en la antena.

Para el caso de las pruebas de calidad se cambió las dimensiones y la ubicación de la antena en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña. Para cada uno de los puntos se midió el valor de la relación de onda estacionaria (ROE) con este valor se puede determinar la frecuencia de trabajo de la antena lo que indicó si es necesario cambiar la longitud del dipolo.

##### **IV.4.1 Equipo de Medición de ROE**

Se tomaron medidas de la antena DCA en la locación 1 y locación 2 según la Figura 51. De la locación uno y dos se observó que la antena estaba sintonizada para una frecuencia de trabajo de 129,8 MHz, dando como mínimo valor de ROE de 1,6 siendo 1 el ideal. Para la frecuencia la antena necesita estar resonando es a la frecuencia de 137,5MHz, en este punto el ROE de 3. Una vez analizado el resultado obtenido el menor valor de ROE a 8 MHz por debajo de la frecuencia de trabajo deseada, por lo que para aumentar la frecuencia es necesario reducir la dimensiones de los dipolos. En este caso no es complicado ya que con los manguitos de aluminio se puede reducir la dimensión de la antena.

A cada uno de los dipolos se le redujo en 2 centímetros por lo que ahora la longitud de cada dipolo es de 1,07 metros ya que se disminuye un centímetro en cada esquina de los dipolos. Una vez tomada la medición para el lugar uno y dos, se observó que la antena es resonante en 133 MHz. Dando como mínimo valor de ROE de 1,6 mientras tanto a la frecuencia de resonancia de la antena de 137,5 MHz se tiene un ROE de 2. Al recolectar la información se obtuvo que el mínimo valor de ROE está ubicado

por debajo de la frecuencia buscada en unos 4.5 MHz aproximadamente, por lo que para aumentar la frecuencia de resonancia de la antena se debe disminuir el tamaño de dipolo.

Después de reducir un centímetro en la longitud de los dipolos no se consigue la frecuencia de resonancia buscada por lo que se retiran todos los manguitos de aluminio haciendo que la longitud de sea igual a 1,05 metros 4 centímetros por debajo de la longitud teórica de 1,09 (longitud de media onda para una frecuencia de 137,5MHz).

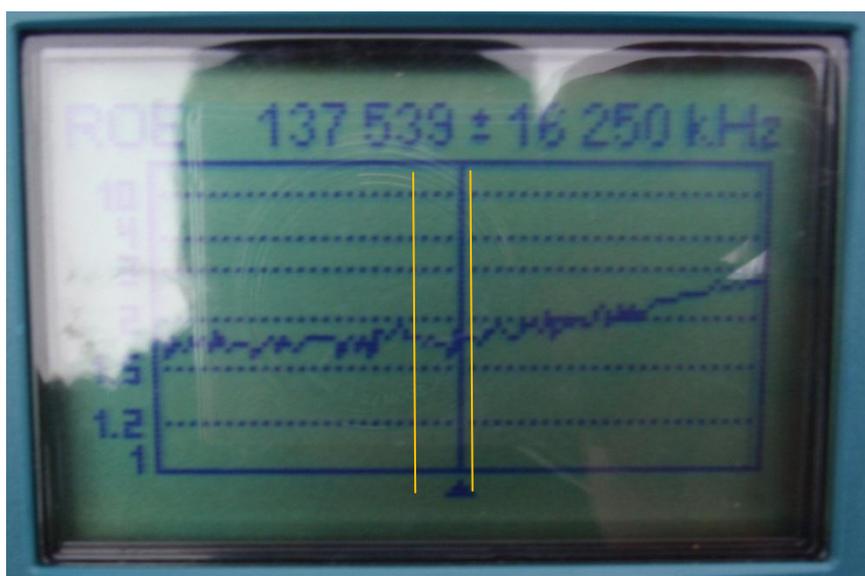


Figura 54. ROE a una distancia total de dipolo 1,04metros, las barras indican el rango donde debe tener el menor valor de ROE la antena.

En los dos puntos de medición (Véase la Figura 51 ), se observó que la antena es resonante en 135 MHz dando como mínimo valor en ese punto 1,6 en ROE, para la frecuencia de estudio y la que la antena necesita estar resonando (137,5MHz) se tiene un ROE de 1,9.

El ROE que se busca sigue un poco por debajo unos 2,5 MHz pero para mejorar la antena implicaría cortar más los tubos de longitud 52 centímetros, reduciéndolos unos centímetros permitiendo conseguir la resonancia deseada. A partir de esta medición se ve en la necesidad de construir unos dipolos de menores dimensiones que permitan la recepción adecuada para la señal satelital. Estos nuevos dipolos presentarán una longitud

de mínima 93 cm. En donde cada varilla de aluminio posee 46 cm con unos manguitos que permite aumentar cada una en 7 cm, dando como máxima longitud total del dipolo 1,11 m. Para observar la construcción de dichos dipolos dirigirse al capítulo cinco la sección de construcción.

Las mediciones son tomadas en los lugares uno y dos, con una longitud de cada elemento de 97 cm dimensiones mucho menor a la teórica.

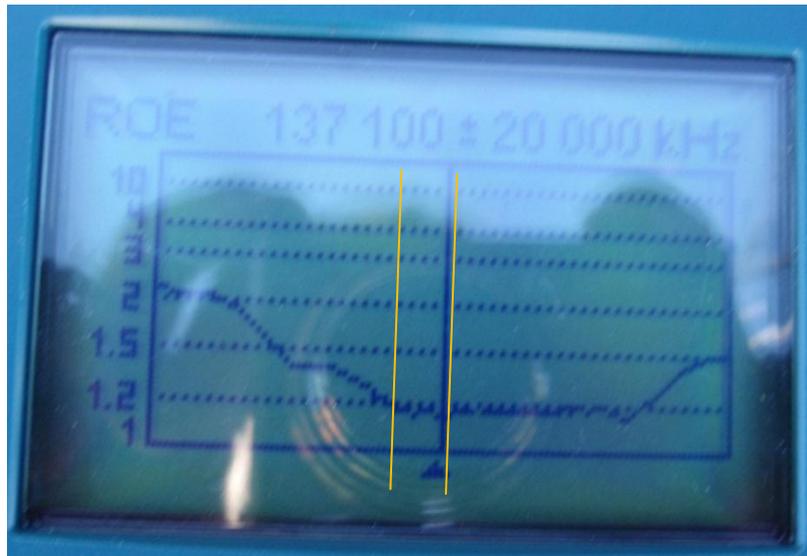


Figura 55. ROE a una distancia total de dipolo 97 cm, las barras indican un mega en el lugar uno, un span de 20MHz.

En los dos puntos de medición (Véase la Figura 51 ), se observó que la antena es resonante en 137.5 MHz en donde se consiguió el mínimo valor en ese punto 1,2 en ROE. Se puede decir que se ha conseguido la longitud de dipolo la cual satisface la aplicación que se está realizando. Una vez conseguida dicha frecuencia de resonancia, la antena es ubicada en la parte superior del tejado a una altura de seis metros aproximadamente en donde será la ubicación fija de la misma (Véase la Figura 51, lugar donde se encuentra la x), en este punto se ha vuelto a medir el valor de ROE de la antena.

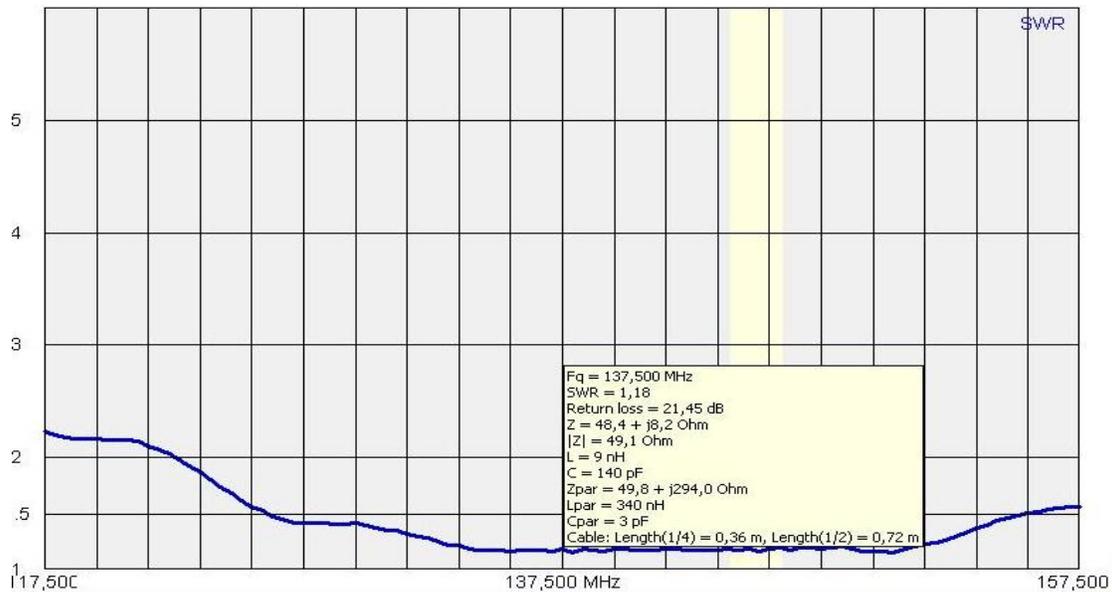


Figura 56. Grafica de ROE y parámetros a la frecuencia de 137,5MHz, medición en la parte superior del tejado del D4 antenna ubicada a una altura de 2 metros, usando el instrumento de medición RigExpert.

A través de la computadora se interpretaron los datos que son almacenados en la memoria interna del RigExpert, una vez al ser pasada la información a la computadora se obtiene la gráfica de la Figura 56, donde se observan los múltiples parámetros como es el valor de ROE y la impedancia que posee la antenna para ese punto. El valor de ROE es de 1.18. Haciendo así no mas modificaciones de longitudes a la antenna, por lo que el valor final de cada uno de los dipolos deben tener unas dimensiones de 97 cm para un diámetro de 12 mm.

### V.5 Recepción de imágenes en tiempo real y obtención del diagrama de radiación por parte de la antenna DCA

En esta fase se evaluó el desempeño de la antenna y cómo varía la altura de la misma en la detección de la señal satelital.

## V.5.1 Recepción de imágenes en tiempo real de una antena *Double Cross*

### V.5.1.1 DCA baja altura.

La antena está ubicada en el punto X de la Figura 51 a una altura de una longitud de onda en el tejado del módulo D4. Fue un día normal poco viento, preamplificador conectado y dipolos correctamente alimentados.

NOAA 18, Sábado 29 de octubre, hora 14:47 o 2:47pm

Imagen obtenida, (véase la Figura 57):

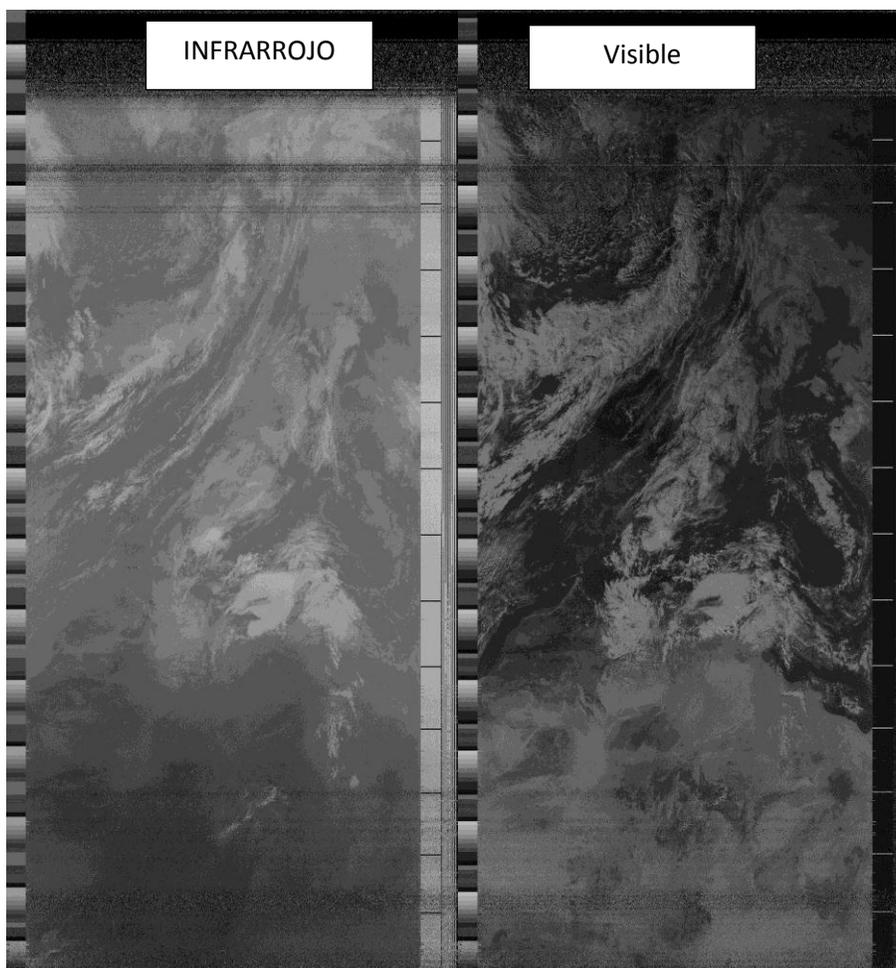


Figura 57. Imagen NOAA 18 recepción antena DCA diámetro de 12mm baja altura, Sábado 29 de Octubre hora 14:47, estación base Barcelona, España.

Diagrama de Radiación, (véase Figura 58):

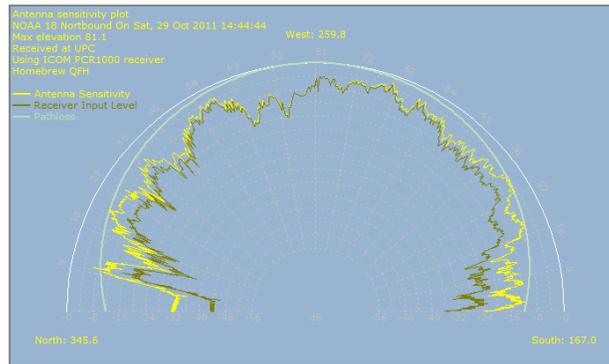


Figura 58. Diagrama de radiación DCA de 12mm una longitud de onda de altura.

Con el uso del Orbitron se puede recrear el tipo de pasada que fue la del NOAA 18 ese día y a esa hora 14:47pm, véase **Figura 59**.

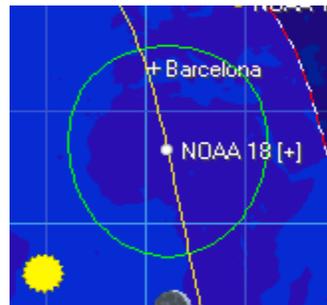


Figura 59. Pasada capturada con el Orbitron.

NOAA 15, Sábado 29 de octubre, hora 17:29 o 5:29 pm

Imagen obtenida (véase Figura 60):

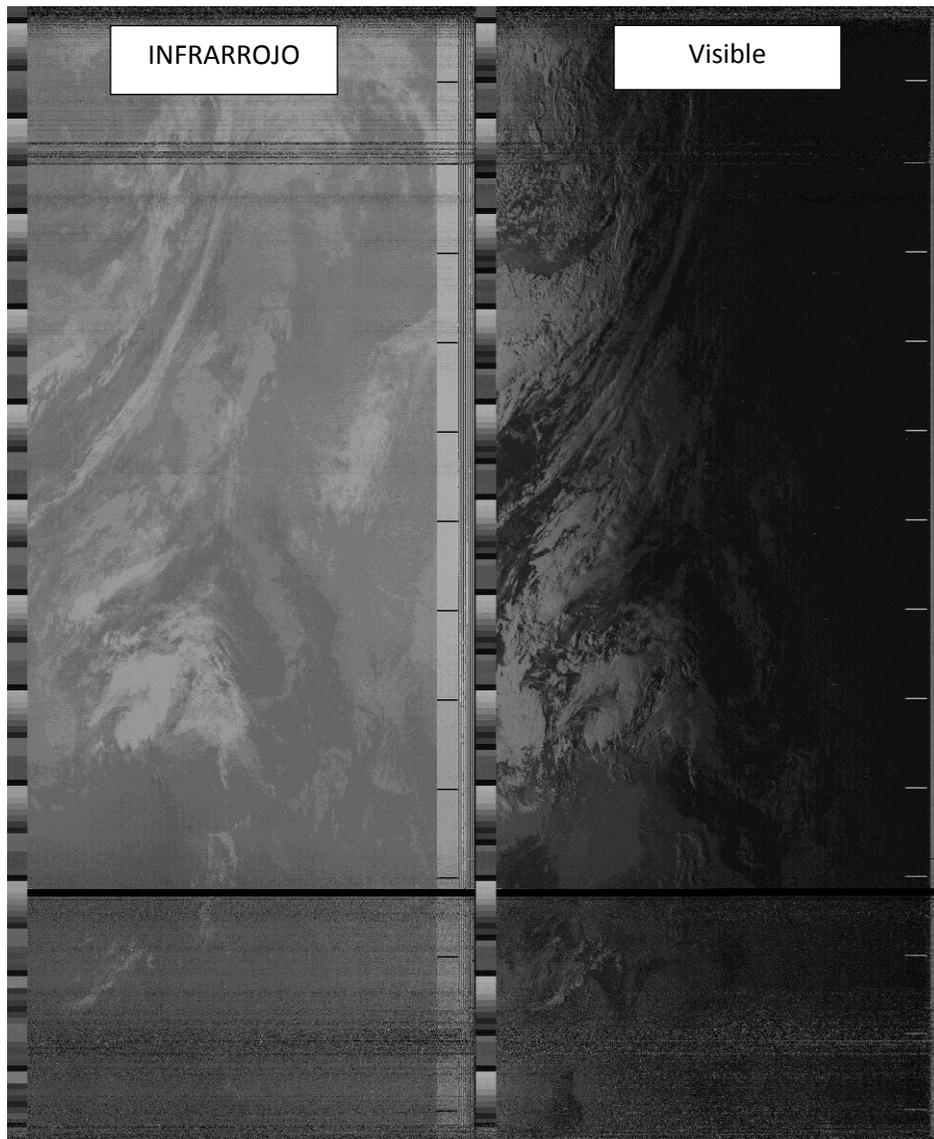


Figura 60. Imagen NOAA 15 recepción antena DCA diámetro de 12mm a una longitud de onda de altura, Sábado 29 de Octubre hora 17:29, estación base Barcelona, España.

Imagen que demuestra la latitud en que se recibió la señal satelital y en la cual se pierde, véase Figura 61:

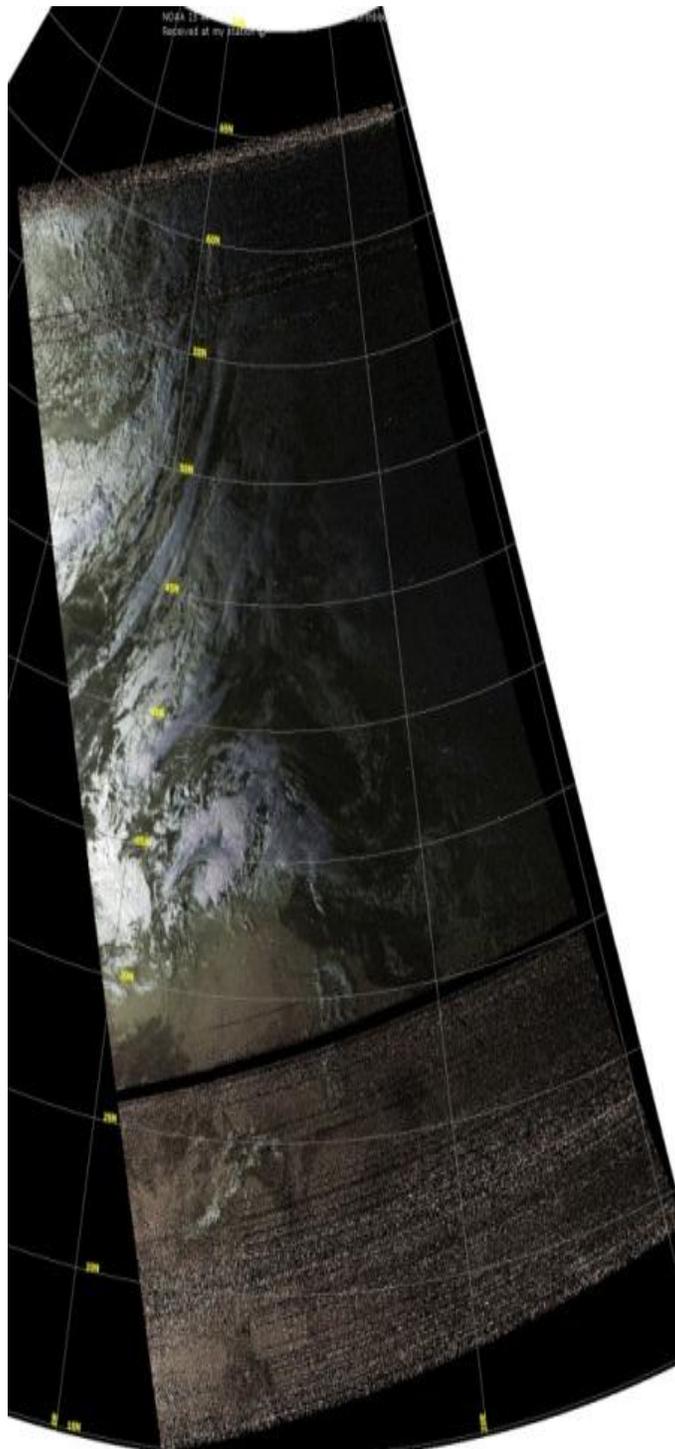


Figura 61. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 28° a 62°.

Diagrama de Radiación, véase Figura 62:

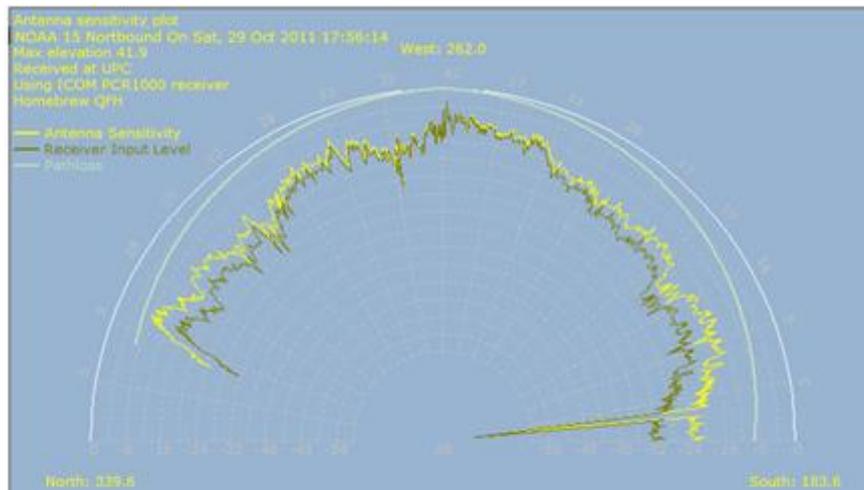


Figura 62. Diagrama de radiación DCA de 12mm a una altura de una longitud de onda.

Con el uso del Orbitron se puede recrear el tipo de pasada que fue la del NOAA 15 ese día y a esa hora 17:29pm, véase Figura 63.



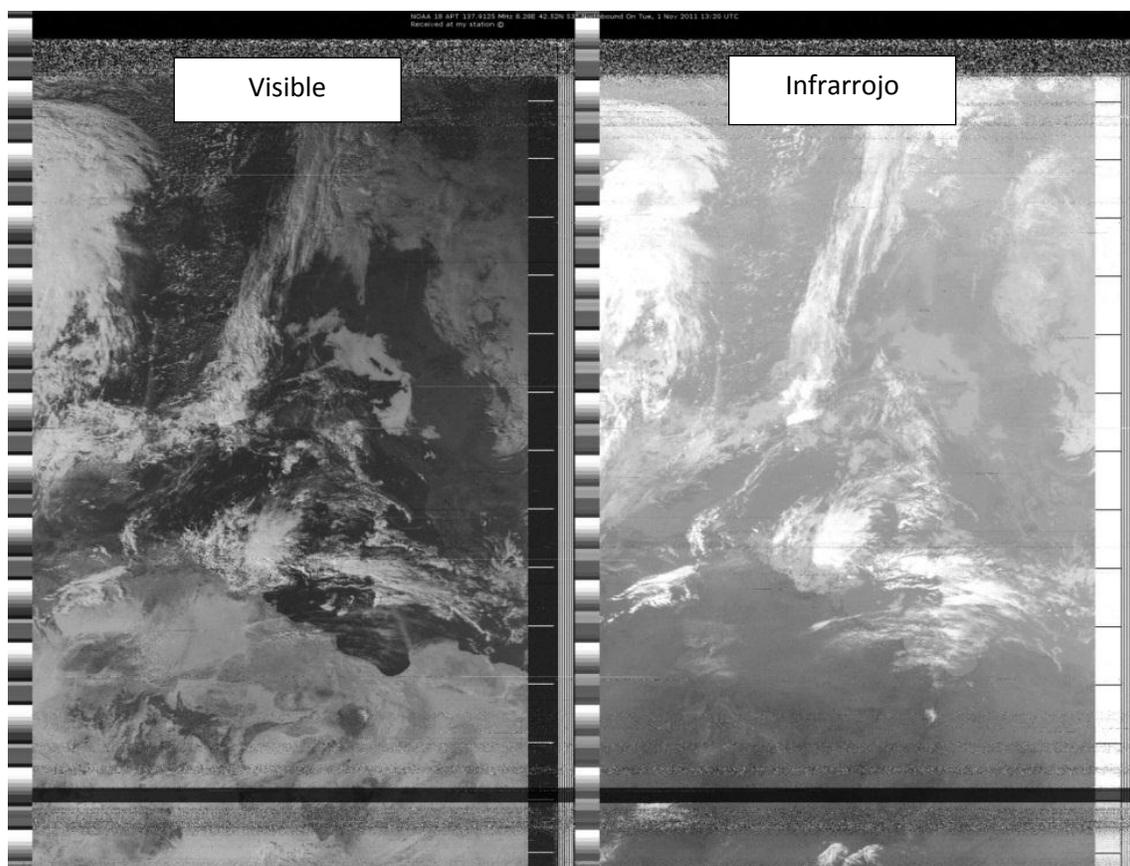
Figura 63. Pasada capturada con el Orbitron.

### V.5.1.2 DCA alta.

La antena está ubicada en la letra X en la Figura 51 a una altura de dos longitudes de ondas en superior tejado del módulo D4, es un día normal poco viento, preamplificador conectado y dipolos correctamente alimentados.

NOAA 18, Martes 1 de noviembre, hora 14:27 o 2:27pm

Imagen obtenida, véase Figura 64:



- ❖ El trozo que se observa más oscuro fue culpa mía por cambiar el formato de recepción de NFM a WFM, mientras era recibida la información, por eso se observa de ese color oscuro. Al aumentar el volumen del micrófono se observa la imagen perfectamente.

Figura 64. Imagen NOAA 18 recepción antena DCA diámetro de 12mm altura de dos longitudes de onda, Martes 01 de Noviembre hora 14:27, estación base Barcelona, España.

Imagen que demuestra la latitud en que se recibió la señal satelital y en la cual se pierde, véase Figura 65:

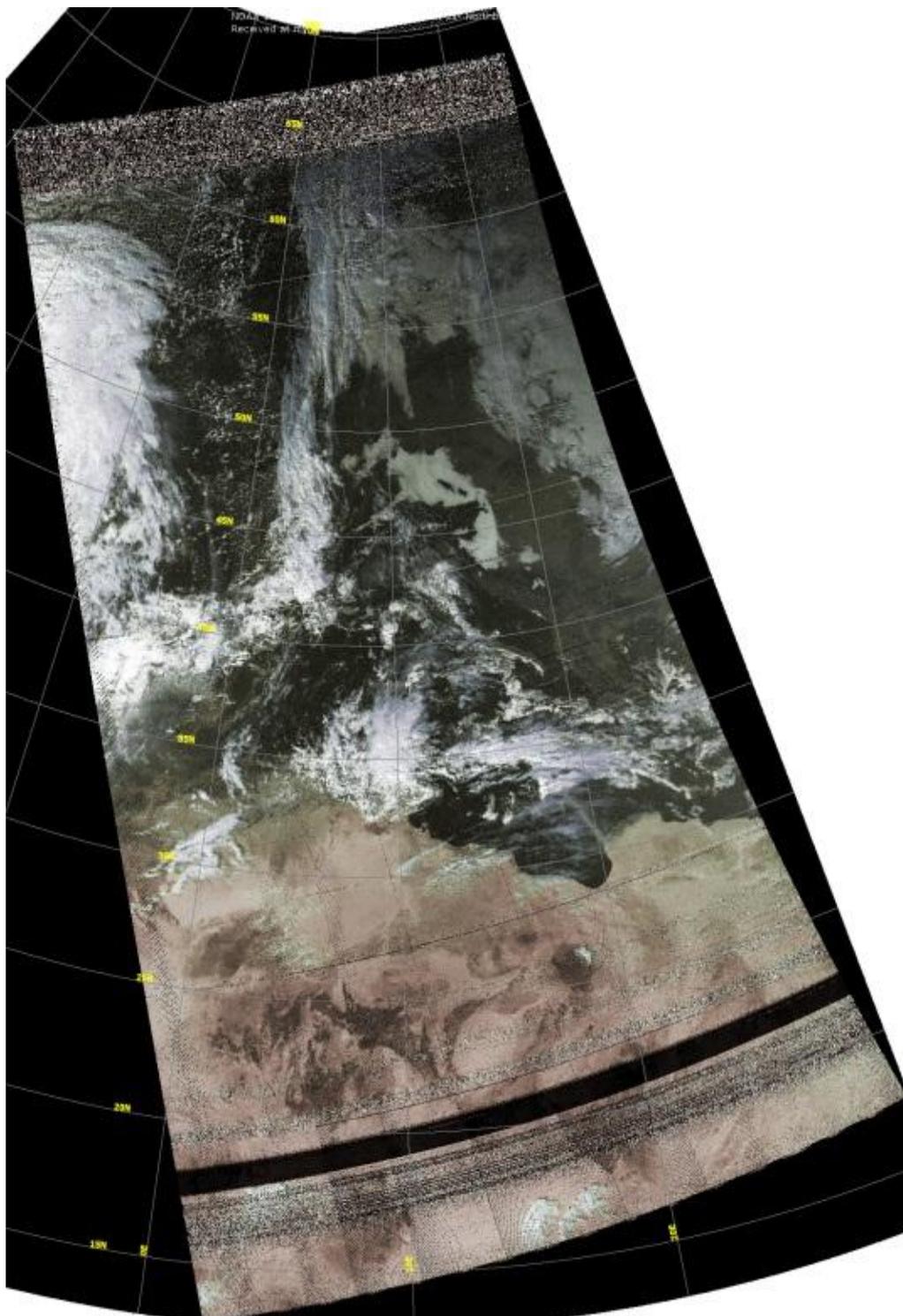


Figura 65. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 14° a 62°.

Diagrama de Radiación, véase **Figura 66**:

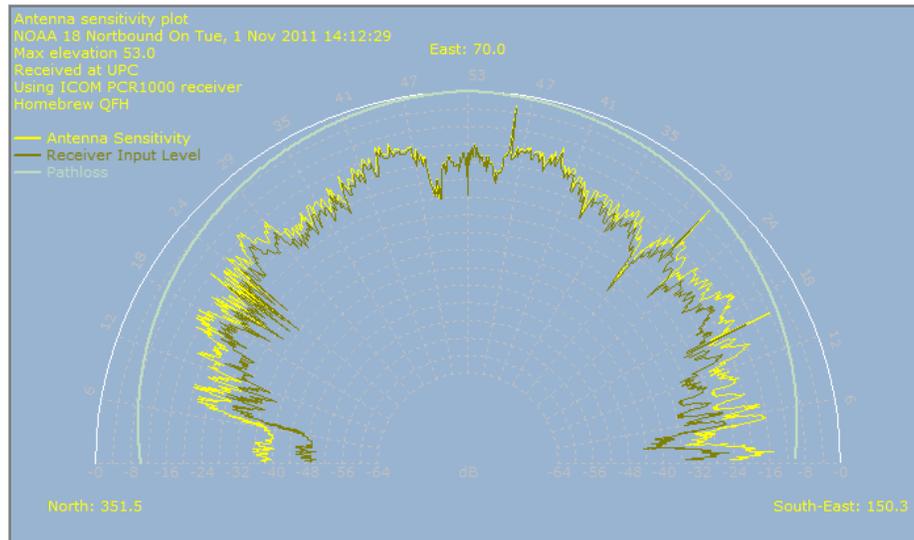


Figura 66. Diagrama de radiación DCA de 12mm altura de dos longitudes de onda.

Con el uso del Orbitron se puede recrear el tipo de pasada que fue la del NOAA 18 ese día y a esa hora 14:27pm, véase Figura 67.

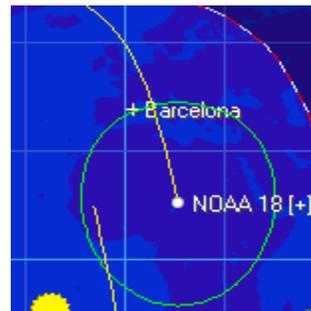


Figura 67. Pasada capturada con el Orbitron.

NOAA 18 días martes 1 de noviembre, hora 15:06 o 3:06pm

Imagen obtenida, véase Figura 68:

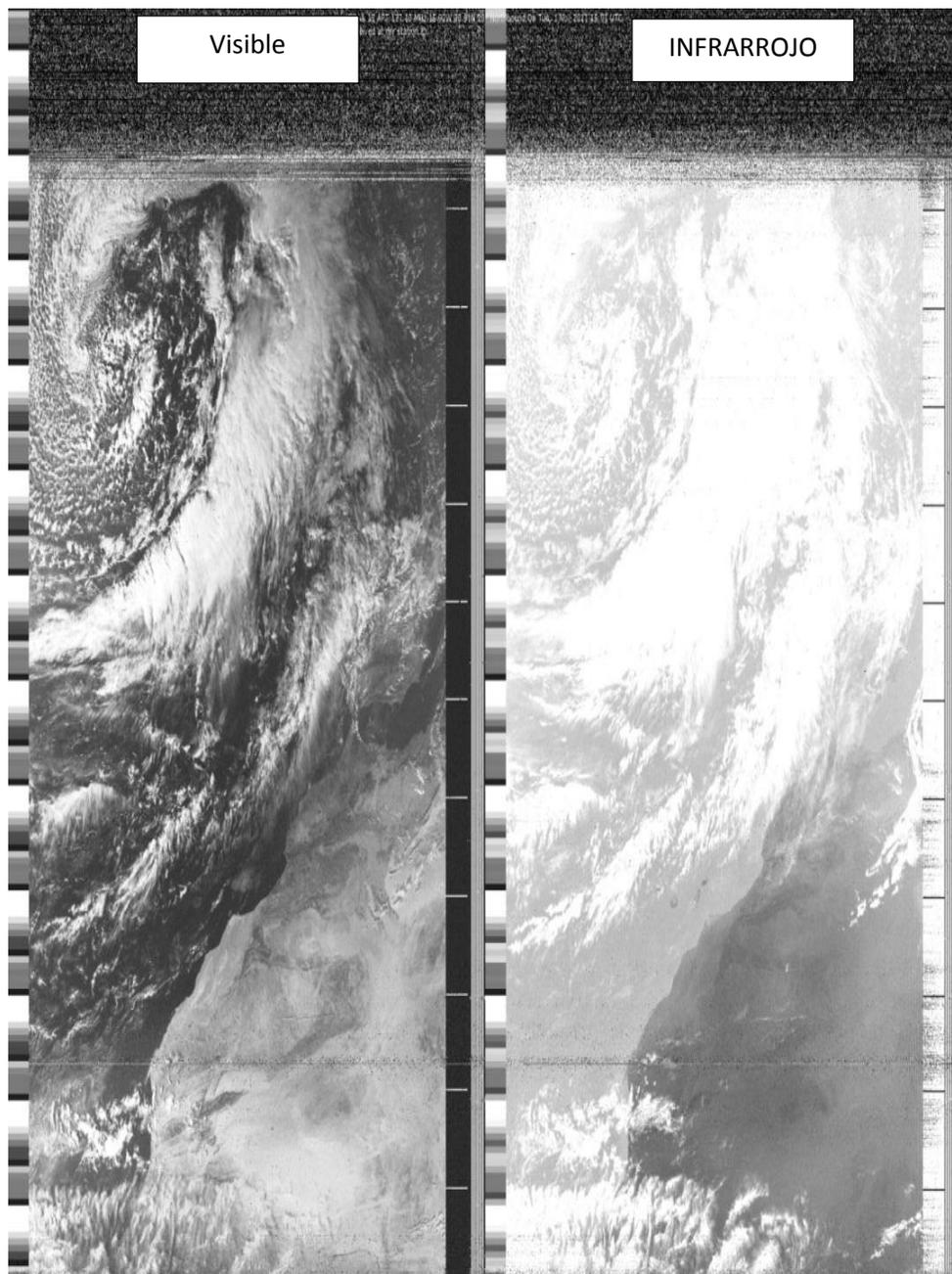


Figura 68. Imagen NOAA 18 recepción antenna DCA diámetro de 12mm a dos longitudes de onda de altura, Martes 01 de Noviembre hora 15:06, estación base Barcelona, España.

Imagen que demuestra la latitud en que se recibió la señal satelital y en la cual se pierde, véase Figura 69:

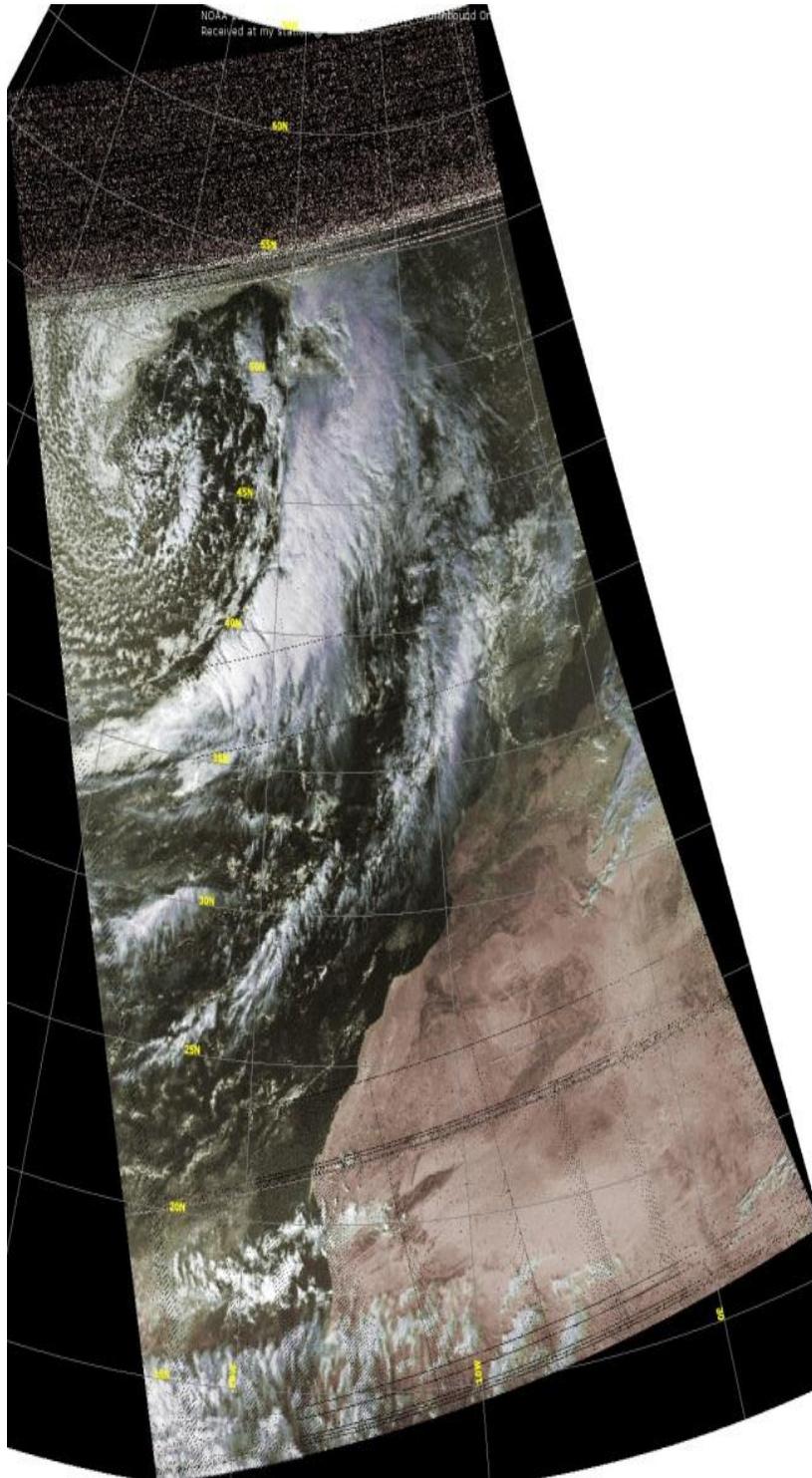


Figura 69. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 12° a 60°.

Con el uso del Orbitron se puede recrear el tipo de pasada que fue la del NOAA 18 ese día y a esa hora 14:27pm, véase Figura 70.



Figura 70. Pasada capturada con el Orbitron.

Al observar que esta nueva antena posee un mejor desempeño que la anterior altura por lo que se decidió dejarla instalada en la parte superior del tejado recibiendo continuamente todas las señales satelitales que pasaron sobre la estación meteorológica la UPC. Durante el periodo de recepción la antena fue sometida a una fuerte lluvia y vientos mayores a las anteriores mediciones.

Para observar mas imágenes recibidas en la sección de Anexos (ANEXO 3).

### **V.5.2 Antena DCA diámetro con dipolo de 12mm a diferentes alturas y mejoras con las ferritas**

Al realizar los experimentos y análisis correspondientes de los mismos con la antena de 3 mm se determinó que no estaba a la misma altura de las antenas QHA que están ubicadas en el módulo del D4. De esta manera se decidió emprender la construcción de una nueva antena la cual posee un diámetro de dipolo de 12 mm, el cual a ser un dipolo de mucho más diámetro presentará mayor estabilidad y una mayor dimensión para la recepción de la señal.

Una vez realizados todos los experimentos con la DCA de diámetro 12 mm se observa una mejoría para la ubicación más alta de esta antena, al igual que en la DCA de 3 mm el plano de tierra sigue afectando a esta antena notablemente. Al presentar todas las dificultades de ruido de recepción con la DCA de 3mm se decidió colocar al momento de

construcción las ferritas las cuales como se ha dicho anteriormente mejoran en gran medida la disminución del ruido.

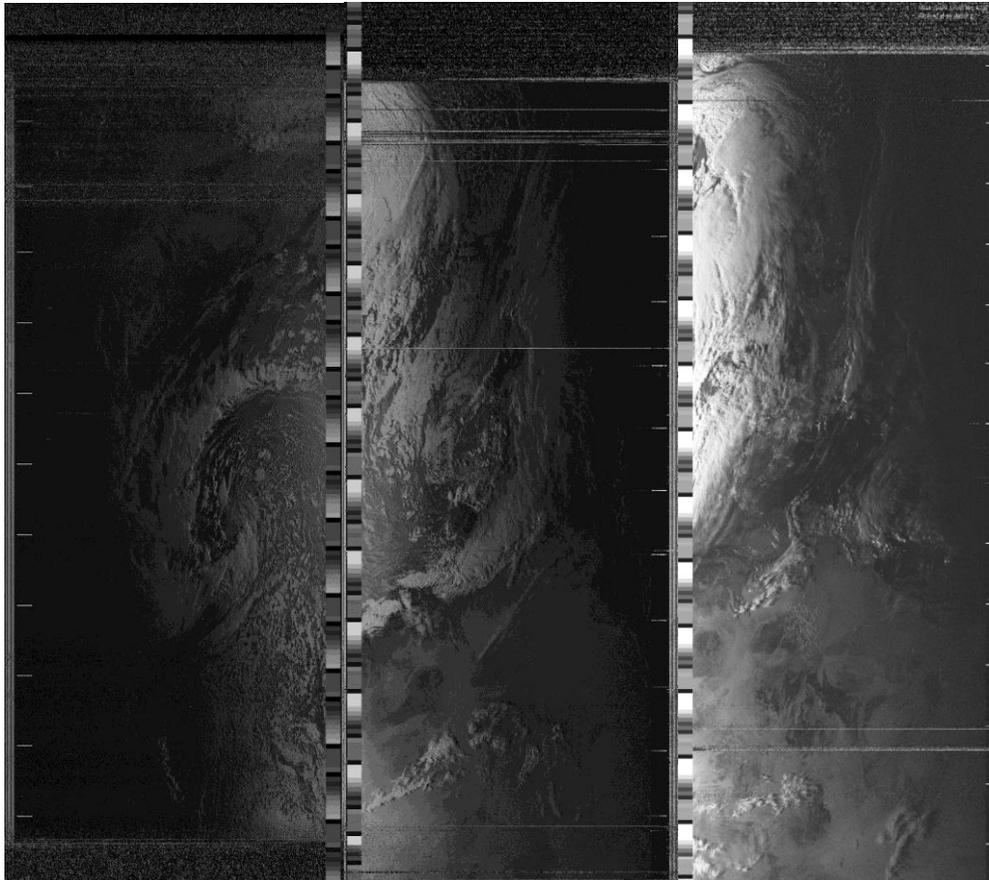


Figura 71. Comparación de sobrevuelo del NOAA15, en el espectro visible, derecha DCA a una altura de metro y medio en el tejado del módulo D4 día Miércoles 26 de octubre, hora 18:35. Medio DCA a una altura de tres metros en el tejado del módulo D4 día Jueves 27 de octubre, hora 18:05. Izquierda DCA a una altura de 6 metros en el tejado módulo D4 día Martes 1 de noviembre, hora 16:50.

En la Figura 71 se puede observar el grado de mejora que se logra al agregar unos pocos metros de altura por lo que es necesario colocar la antena en el lugar mas elevado posible, siempre respetando y usando todas las normas de seguridad pertinentes. De la misma manera, la mejor ubicación de la antena es en la parte superior del tejado del módulo D4 ya que posee más de 15 metros de diferencia con las antenas que se encuentran ubicadas en la parte inferior del tejado.

Como se observó en la Figura 71 la mejor colocación de la antena es la parte superior del tejado ya que en ese punto se logra divisar mucho antes el satélite en el

horizonte haciendo que la DCA pueda funcionar a cien por ciento. Al mismo tiempo en que en esta ubicación fueron recibidos los datos para la DCA también se recibían para las otras QHA presentes en el módulo en donde se observó un desempeño parecido entre éstas y la DCA, por lo que se decidió dejar esta antena en dicha ubicación por varios días para la recepción de la señales.

#### **V.6 Comparativa entre las antenas de tipo DCA y Cuadrifilares ubicadas en el tejado del modulo D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.**

En este apartado se comparará la DCA con diámetro de dipolo de 12 mm contra las Antenas QHA presentes en el laboratorio, se analizara la DCA de ese diámetro ya que esta antena presentó un mejor desempeño que la DCA de menor diámetro de dipolos, y las QHA usadas es una QHA de tubo y QHA coaxial.

La primera diferencia que se puede notar entra las dos antenas es que la DCA es mucho más simple en cuanto a diseño y construcción y puede ser realizada por uno mismo, mientras que en la QHA es mucho más complicada tanto en la etapa del diseño como la construcción ya que la longitud, forma de los giros y diámetros de conductor afectan de mayor manera la impedancia de salida de la antena. Sobre todo la QHA depende mucho de la impedancia y ambos giros.

Al momento realizar la recepción satelital para la DCA es posible estar recibiendo simultáneamente la misma información con las QHA, ya que se presentan en el laboratorio gracias a la cantidad de receptores que se tienen en el laboratorio.

La ubicación de las antenas varía, se tiene una antena QHA de tubo ubicada en el lugar uno de medición Figura 51. Otra QHA construida por el profesor ubicada en la parte superior del tejado a dos metros de altura y la DCA ubicada en la parte superior del tejado del módulo D4 a 6 metros de altura.

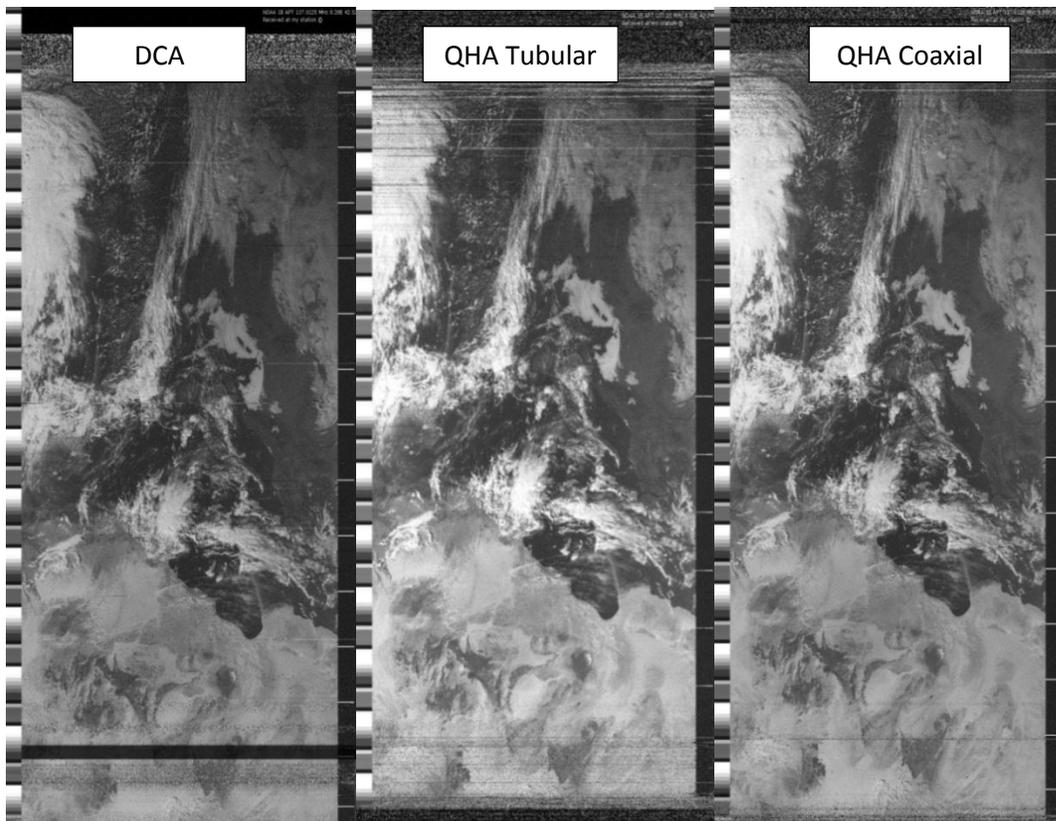


Figura 72. Comparación de sobrevuelo del NOAA 18, en el espectro visible ambas. Derecha DCA con dipolos de 12mm de diámetro. Medio QHA tubular. Izquierda QHA coaxial. Día Martes 1 de noviembre, hora 14:27.

De la Figura 72 se puede apreciar que la mejor antena para este caso en específico es la DCA donde se observa que la recepción es mejor ya que no presenta ningún ruido en la parte inferior de la misma.

Luego la señal recibida por la DCA es un poco de interferida pero al cabo de pocas líneas la antena reacciona muy bien y presenta una recepción constante. Para seguir el análisis de la antena DCA se observa que presenta una recepción más al norte de la tierra (mayor seguimiento del satélite) que tiene menos interferencia en la parte norte de la recepción que las demás antenas.

Al usar el programa APTdecoder en la opción de imagen existe una propiedad muy útil que es el *Addtothedaily log*, en donde se obtiene una gran información sobre el comienzo de la recepción y el final de la misma, una serie de imágenes muy útiles que permiten saber de dónde las antenas están comenzando a recibir de mejor manera, el

porcentaje de recepción y sobre todo información de la hora de la pasa. Esta información debe ser agregada o subida a un servidor o alguna página web.

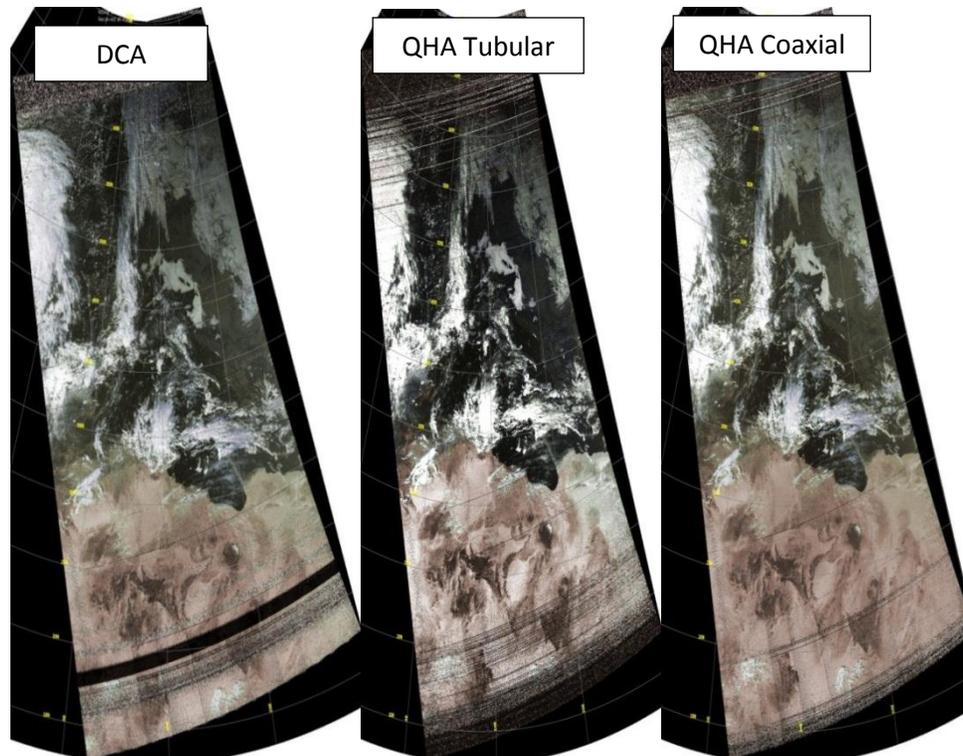


Figura 73. Comparación de sobrevuelo del NOAA 18, en el espectro visible ambas. Derecha DCA con dipolos de 12mm de diámetro. Medio QHA tubular. Izquierda QHA coaxial. Día Martes 1 de noviembre, hora 14:27.

Con el uso de la Figura 73, se puede obtener una información muy importante que permite saber a qué latitud comienza la recepción de cada una de las antenas. Por lo observado en esta imagen se puede deducir que la mejor antena en recepción con respecto al sur es la DCA, ya que las demás presentan un poco de ruido. Después como a partir de la latitud  $18^{\circ}$  la antena hasta la  $20^{\circ}$  la antena DCA presento un ruido o interferencia que no se observó en la antena QHA de coaxial.

Mediante el análisis de las figuras Figura 72 y Figura 73. Se logra descartar la QHA tubular. Debido a su baja altura no presentaba competitividad frente a las antenas ubicadas sobre el tejado del modulo D4 de la UPC. También se determinó que para el día primero de noviembre satélite NOAA 18 la mejor antena es la QHA de coaxial pero sólo

por muy poco ya que presento un porcentaje de recepción de 95,6% mientras que la DCA recibió un 95,4% es una diferencia de 0,2%, algo muy poco comparando la dificultad de construcción de la QHA.

Se sometió a ambas antenas a una recepción continua durante más de dos semanas en donde se almacenó la información con el uso del APTdecoder con el uso del *Addtothedaily log* y se observó el porcentaje de recepción para cada una de las mejores pasadas diarias para cada una de las antenas. Se concluyó que ambas antenas se encuentran con un desempeño muy parecido dando como ganadora a la DCA sobre la QHA coaxial por un mínimo porcentaje. Este porcentaje de recepción es medido por el programa APTdecoder, en donde la antena DCA presentaba un mayor porcentaje de recepción en la mayoría de los sobrevuelos de los satélites sobre la estación receptora.

También con respecto a la recepción de la señal satelital ocurre antes en la DCA que en la QHA. Esto se pone en evidencia al momento de la recepción al igual que se observa en las imágenes recibidas como al momento en el cual los PLL de los receptores se enganchan con la señal transmitida por el satélite.

No todo es positivo para la DCA. También presenta un mayor contenido de ruido y es mucho más afectada frente a las interferencias, por lo que la QHA también presenta puntos positivos.

Por último se observará los diagramas de radiación de ambas antenas en donde se analiza de mejor manera cómo las antenas presentan una potencia de recepción muy constante lo cual permita las buenas recepciones en las antenas.

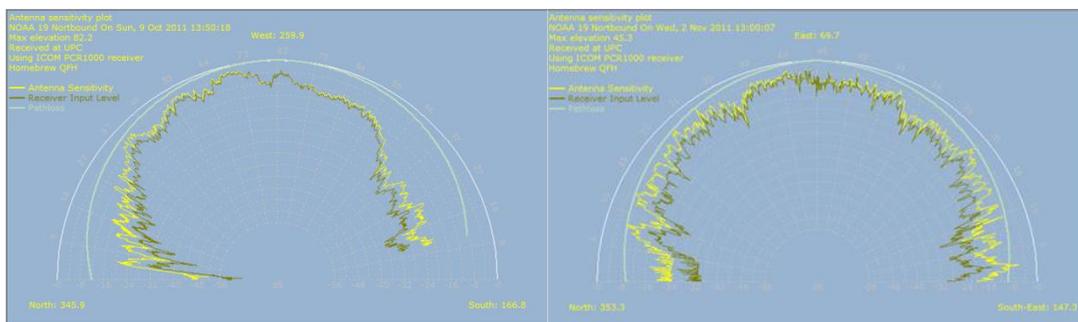


Figura 74. Diagrama de radiación para el satélite NOAA 19 a diferentes días. Derecha DCA con dipolos de 12mm de diámetro, día Miércoles 2 de noviembre, hora 13:00. Izquierda QHA coaxial. Día Martes 9 de octubre, hora 14:27.

Una vez observada la Figura 74, se puede entender la similitud que presentan las dos antenas con respecto a la forma del diagrama de radiación ya que al recibir la señal satelital ambas antenas mantienen una potencia constante y no múltiples saltos en potencia como se observaba en la DCA de 3mm.

Como se observa tanto en las imágenes recibidas como en los diagramas de propagación la DCA presenta una mejor recepción para los ángulos bajos del satélite con el horizonte donde la mayor de las veces esta antena comenzó la recepción mucho antes que la QHA, dando así una mayor área de cobertura al globo terráqueo y buscando esos ángulos que no eran posible con el uso de la antena QHA.

## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

Una vez estudiado a fondo y analizado cada una de las particularidades de la antena DCA, se puede llegar a diferentes conclusiones sobre esta nueva y no muy conocida antena.

La primera conclusión viene dada por la elección de antena DCA, en donde se ha decidido por la antena que posee los dipolos de mayor diámetro. Esto se debe a que posee una mejor recepción de imagen, mayor potencia de señal recibida y en teoría el dipolo con mayor diámetro se comporta mucho más estable que el de menor área.

Una vez seleccionada qué tipo de antena DCA, es momento de llegar a una serie de conclusiones sobre esta antena contra la de tipo cuadrifilar.

La primera de ellas es la fácil construcción y ensamblaje que presenta la antena DCA contra la antena cuadrifilar, ya que en pocas horas al día es posible su elaboración y no es necesario equipos de alta tecnología para su ensamblaje.

De la misma manera una ventaja que presenta la DCA frente a la antena cuadrifilar, es la mecanización de la misma, ya que no existe en prototipo ni documentación que indique la utilización de los manguitos metálicos para la variación de la longitud de cada dipolo de media onda, los cuales brindan la facilidad de ajusté fino en la sintonización de la antena.

Para finalizar las ventajas de la antena DCA contra la antena cuadrifilar, es una mayor ganancia para los ángulos bajos del satélite con respecto al horizonte lo que brinda a la antena DCA una mayor observación de la tierra llegando a obtener la mayor recepción posible.

Sin embargo no son solo ventajas para la antena DCA ya que presenta una gran sensibilidad al ruido en entornos urbanos. Esta desventaja de la antena se encuentra presente en una ciudad poblada la cual posee un tráfico grande en el ámbito de las telecomunicaciones inalámbricas.

Por lo que se puede concluir que para una ciudad como Barcelona que presenta un tráfico de información inalámbrico muy grande es preferible la construcción de una

antena de tipo cuadrifilar. En el caso de vivir en una zona menos poblada que presente un tráfico mucho menor la antena DCA es la opción que se debe tomar ya que es muy simple de construir.

De todas maneras si se vive en una ciudad muy poblada y le parece muy complicado la construcción de la antena cuadrifilar, pues puede seguir todos los pasos para la elaboración de una antena DCA mencionados en este Proyecto Final de Carrera. Antena que funcionara correctamente pero presentará una desventaja frente a la antena cuadrifilar.

## Bibliografía:

- García Domínguez, A. (1994). *Calculo de antenas*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Universidad de murcia seccion de geografia y teledeteccion. (2005-2006). Recuperado el 01 de octubre de 2011, de Curso de teledeteccion: <http://www.um.es/geograf/sig/teledet/>
- SATELITES: ESCALA Y RESOLUCION ESPACIAL. (Marzo de 2011). Recuperado el 29 de Agosto de 2011, de [http://tutorial-percepcion-remota-satelital.blogspot.com/2011\\_03\\_01\\_archive.html](http://tutorial-percepcion-remota-satelital.blogspot.com/2011_03_01_archive.html)
- Álvarez M, F. A. (2006). *Diseño de una red telefónica IP interna entre los colegios San José – La Salle de Guayaquil y Hno Miguel – La Salle de Quito e implementación de un prototipo, usando como central telefónica servidores con Sistema Operativo libre y Software libre*. Guayaquil, Ecuador.
- Blanton, L. (15 de junio de 2008). *Decoding NOAA APT Weather Images*. Recuperado el 25 de septiembre de 2011, de <http://radioreference.blogspot.com/2008/06/decoding-noaa-apt-weather-images.html>
- Cardama Aznar, Á. (2002). *Antenas*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Carrillo, J. S. (Septiembre de 1994). *Mapping, Revista internacional de Ciencias de la tierra*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2011, de [http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=1222](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1222)
- Chile, D. d. (20 de Agosto de 2010). *ESTACION TERRENA POLAR APT*. Recuperado el 20 de Octubre de 2011, de [http://www2.elo.utfsm.cl/~elo352/experiencias%20satelitales/noaa/estacion\\_terrena\\_polar\\_apt.htm](http://www2.elo.utfsm.cl/~elo352/experiencias%20satelitales/noaa/estacion_terrena_polar_apt.htm)
- Chile, S. (29 de Marzo de 2009). *Polarizacion*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2011, de <http://www.seti.cl/curso-de-radioastronomia-basica-de-jet-propulsion-laboratory-jpl-capitulo-2/>
- Chuvieco Salinero, E. (2008). *Teledeteccion Ambiental: La observación de la tierra desde el Espacio*. Barcelona: Ariel S.A.
- Commerce, U. D., NESDIS, & NOAA. (2011, julio 08). *Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR*. Retrieved agosto 25, 2011, from <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>
- Copernico, I. (s.f.). *"Introducción a las Estrellas Variables"*. Recuperado el 23 de septiembre de 2011, de <http://institutocopernico.org/vs/vslectures/vslecture2.php>

- Coppens, J. (s.f.). *Antena Cuadrifilar Helicodal*. Recuperado el 24 de Octubre de 2011, de <http://jcoppens.com/ant/qfh/>
- Estrada J, J. A. (2007). *Diseño e implementación del prototipo de un sistema de seguridad para la red de voz y datos de la Corporación Machangarasoft, utilizando el sistemas operativo Linux*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Fernández, L. (16 de Septiembre de 2008). Difusión Multimedia. Caracas.
- Ferreira, P. (Septiembre de 2005). Recuperado el Septiembre de 2010, de <http://www.fccn.pt/files/documents/D2.05.2.PDF?947cda2253a1dc58fe23dc95ac31cbed=e3fbccc61614de6343e90171d1d8d1c8>
- Friedt, J.-M., & European Jurnal Of Physics . (2006, Marzo 11). *Satellite image eavesdropping: a multidisciplinary science education project*. Retrieved Mayo 09, 2011, from <http://jmfriedt.free.fr/ejp196357p16.pdf>
- G. Márkov, D. S., & Grdian, t. p. (1978). *Antenas*. Moscu: UPC.
- Gola, I. M. (2010, Marzo 2). *System for Monitoring Weather Satellites: FM Receiver For 134 - 141MHz* . Retrieved Agosto 29, 2011, from [http://www.emgo.cz/www\\_profi\\_137/index.html](http://www.emgo.cz/www_profi_137/index.html)
- Gómez, M. M. (12 de julio de 2008). *Espectro Electromagnetico... desde el ELF hasta Rayos Cosmicos*. Recuperado el 20 de semptiembre de 2011, de Diario de un Radio Aficionado: <http://radioaficionado.wordpress.com/2008/07/12/espectro-electromagnetico-desde-el-elf-hasta-rayos-cosmicos/>
- Guide, N. K. (s.f.). *Section 2.1*. Recuperado el 9 de Agosto de 2011, de <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/html/c2/sec2-1.htm>
- <http://openh323.sourceforge.net/>. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 2010, de <http://openh323.sourceforge.net/>: <http://openh323.sourceforge.net/>
- <http://www.gnu.org/home.es.html>. (s.f.). Recuperado el Enero de 2011, de <http://www.gnu.org/home.es.html>: <http://www.gnu.org/home.es.html>
- ICOM. (s.f.). *IC-PCR1500 Manual y folleto del producto*. Recuperado el 09 de octubre de 2011, de <http://www.icomamerica.com/es/products/receivers/pc/pcr1500/default.aspx>
- José A. Sobrino, N. R. (2000). *Teledeteccion*. Valencia: Guadas limpresores S.L.
- José A. Sobrino, N. R. (2000). *Teledeteccion*. Valencia: Guadas limpresores S.L.

- Kramer, H. J. (24 de Enero de 2008). *NOAA POES Series - "Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors"*. Recuperado el 26 de Agosto de 2011, de [http://www.eoportal.org/directory/pres\\_NOAAPOESSeries5thGenerationSatellites.html](http://www.eoportal.org/directory/pres_NOAAPOESSeries5thGenerationSatellites.html)
- Kramer, H. J. (s.f.). *NOAA POES Series - "Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors"*. Recuperado el 26 de Agosto de 2011, de [http://www.eoportal.org/directory/pres\\_NOAAPOESSeries5thGenerationSatellites.html](http://www.eoportal.org/directory/pres_NOAAPOESSeries5thGenerationSatellites.html)
- libre, M. V. (s.f.). *Antenas y diagramas*. Recuperado el 26 de septiembre de 2011, de [http://montevideolibre.org/manuales:libros:wndw:capitulo\\_4:antenas\\_y\\_diagramas](http://montevideolibre.org/manuales:libros:wndw:capitulo_4:antenas_y_diagramas)
- Lombry, T. (s.f.). *Satellite Reception*. Recuperado el 16 de octubre de 2011, de <http://astrosurf.com/luxorion/qsl-satellites-reception.htm>
- Martes, G. (Febrero de 2009). *Double Cross-A NOAA Satellite Dowlink Antena*. Recuperado el 30 de julio de 2011, de <http://www.poes-weather.com/media/MARTES.pdf>
- Martes, J. (23 de Marzo de 2008). *Double Cross Antena*. Recuperado el 1 de octubre de 2011, de [http://www.poes-weather.com/index.php?Itemid=75&option=com\\_wrapper](http://www.poes-weather.com/index.php?Itemid=75&option=com_wrapper)
- Martes, J. (2009). *DCA for beginners*.
- Martes, J. (s.f.). *Assembly Hints for Double Cross Antenna*. Recuperado el 11 de septiembre de 2011, de <http://www.poes-weather.com/media/DCA-Assembly-Hints.pdf>
- Martes, J. (s.f.). *Simple APT Antenna*. Recuperado el 16 de octubre de 2011, de [http://www.hffax.de/html/simple\\_apt\\_antenna.html](http://www.hffax.de/html/simple_apt_antenna.html)
- Mezquida, C. (s.f.). *Fundamentos de antenas*. Recuperado el 27 de agosto de 2011, de [http://www.carlosmezquida.com/word/wp-content/archive/Pagina\\_2\\_CAPITULO3.pdf](http://www.carlosmezquida.com/word/wp-content/archive/Pagina_2_CAPITULO3.pdf)
- Montevideo. (s.f.). *Antenas y diagramas*. Recuperado el 26 de septiembre de 2011, de [http://montevideolibre.org/manuales:libros:wndw:capitulo\\_4:antenas\\_y\\_diagramas](http://montevideolibre.org/manuales:libros:wndw:capitulo_4:antenas_y_diagramas)
- NESDIS. (s.f.). *National Environmental Satellite, Data, and Information Service*. Recuperado el 16 de Agosto de 2011, de <http://www.nesdis.noaa.gov/>
- Nicholas M. Short, J. W. (s.f.). *NASA: Remote Sensing*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de <http://rst.gsfc.nasa.gov/Front/tofc.html>
- NOAA. (2004, Abril 5). *KLM User's Guide Section 3.1: Advanced Very High Resolution Radiometer/3 (AVHRR/3)*. Retrieved Agosto 28, 2011, from <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3-1.htm>
- NOAA. (10 de Marzo de 2004). *KLM User's Guide Section 4.2: APT System*. Recuperado el 29 de Agosto de 2011, de <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c4/sec4-0.htm>

- NOAA. (s.f.). *NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration*. Recuperado el 01 de agosto de 2011, de <http://www.noaa.gov/>
- NOAA. (s.f.). *NOAA satellites*. Recuperado el agosto de 01 de 2011, de <http://www.noaa.gov/satellites.html>
- NOAA. (s.f.). *Polar Operational Environmental Satellite*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2011, de <http://www.oso.noaa.gov/poes/>
- PARISI, R. C. (Enero de 2008). *Tecnología y Construcción*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2011, de Tierra armada y su comportamiento térmico, dos experiencias en Brasil y México: [http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-96012008000100004&lng=es&nrm=is#grafico2](http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-96012008000100004&lng=es&nrm=is#grafico2)
- Patrik. (2007, Julio 21). *POES-Weather Ltd*. Retrieved Agosto 24, 2011, from <http://www.poes-weather.com/>
- Patrik Tast, V. (15 de Febrero de 2009). *JM-137-DCA-KIT For NOAA POES APT*. Recuperado el 4 de octubre de 2011, de <http://www.poes-weather.com/media/JM-137-DCA-Kit.pdf>
- poco, D. a. (s.f.). *Antenas*. Recuperado el 16 de octubre de 2011, de <http://www.qsl.net/xe3dx/antenas/>
- Radioastronomía, I. A. (junio de 2006). *Radiometria nociones basicas*. Recuperado el 11 de septiembre de 2011, de [http://www.iar.unlp.edu.ar/boletin/bol-jun06/Temperatura\\_de\\_brillo.pdf](http://www.iar.unlp.edu.ar/boletin/bol-jun06/Temperatura_de_brillo.pdf)
- RigExpert. (s.f.). *User Manual AA-230, AA-230PRO y AA-550*. Recuperado el 8 de noviembre de 2011, de Antennas analyser, Usb transiver interfaces: <http://www.rigexpert.com/index?f=downloads#manuals>
- Sabins, F. F. (1978). *Remote Sensing: Principles and Interpretations*. W. H. Freeman.
- ScanTerra. (s.f.). *Nociones de teledeteccion*. Recuperado el 1 de octubre de 2011, de [http://www.scanterra.com.ar/conozca\\_mas.html](http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html)
- Tast , P., & Martes, J. (diciembre de 2008). *Signal Plotter*. Recuperado el 8 de agosto de 2011, de Development of a Double Cross APT Antena: <http://www.poes-weather.com/~aptdecoder/jerry/CrossConcept/Documents/GEO-DEC-2008-DCA.pdf>
- Timbó C, J. A. (2008). Recuperado el Agosto de 2010, de [http://issuu.com/aristides/docs/an\\_lise\\_comparativa\\_de\\_sistemas\\_de\\_videoconfer\\_nci](http://issuu.com/aristides/docs/an_lise_comparativa_de_sistemas_de_videoconfer_nci)
- Toth, D. H. (30 de Octubre de 2011). *Colorado State University*. Recuperado el 08 de Septiembre de 2011, de <http://rammb.cira.colostate.edu/dev/hillger/polar-wx.htm#tiros-n-noaa>

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, & National Environmental Satellite, Data, and Inform. (2009, febrero). *User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations*. Retrieved agosto 15, 2011, from [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)

UIT. (2004). [http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/ngn2004/working\\_definition.html](http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/ngn2004/working_definition.html). Recuperado el 10 de junio de 2010

vigo, U. d., & Pilar Millán, M. T. (s.f.). *Sensores Opticos-Electronicos*. Recuperado el 25 de septiembre de 2011, de [http://www.com.uvigo.es/asignaturas/scvs/trabajos/curso9900/Teledeteccion/tema4\\_2\\_2.htm](http://www.com.uvigo.es/asignaturas/scvs/trabajos/curso9900/Teledeteccion/tema4_2_2.htm)

Villacrés S, W. H. (2010). *Estudio Comparativo de plataformas alternativas de videoconferencia basadas en software en el Backbone de la ESPOCH. Tesis de Grado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



## **ANEXOS**



## **ANEXO 1. Guía para construcción de antena de 3mm**

### **Materiales**

A continuación les presentare todos los materiales que son necesarios para poder realizar la antena de tipo *Double Cross* con dipolos de un diámetro de tres milímetros, dichos materiales se consiguen en cualquier tienda que tenga un departamento de electricidad y de tubería, en el caso de estar en la localidad de Barcelona la tienda Servicio Estacio presenta todos estos materiales:

- Cuatro metros de tubo PVC de 25mm de diámetro.
- Ocho tapones de PVC para encolar de 25mm de diámetro.
- Ocho varillas metálicas de 3mm de diámetro.
- Una cajetín de luz plástico de cinco orificios, dimensiones 65x35.
- Cuatro conexiones de PVC tipo T para encolar de 25mm de diámetro.
- Cinco Reductores de 25mm a 20mm de PVC para encolar, tienen una forma de embudo.
- Tubo de cola para PVC.
- Cuatro metros de cable coaxial del tipo RG-174

### **Pasos a seguir y forma de ensamblar**

Una vez comprado los materiales necesarios para la construcción de la antena. Se darán una serie de pasos que facilitaran la construcción y el correcto ensamblado de la antena.

Dicho esto se comenzará la descripción de esta construcción, lo primero que se debe realizar es cortar todos los materiales en las dimensiones necesarias:

- Cortar tubo PVC de diámetro 25mm, en ocho tubos más cortos de 14cm de largo, estos tubos se cortaron con la utilización de una sierra y fueron fijados para realizar un corte simétrico.

- Cortar tubo PVC de diámetro 25mm, en cuatro tubo de más cortos de 22cm cada uno de largo, usar sierra.
- Cortar las ocho varillas metálicas de 3mm, que normalmente vienen de un metro se deben cortar a una distancia de 51cm.
- Perforar los ocho tapones en el medio con una broca de 3mm, dimensiones para que pueda pasar la varilla metálica en el caso que no se consiga de 3mm, se usó un aparato mecánico llamado torno manual el cual permitió realizar la perforación justamente en el centro de cada uno de los tapones.
- Observar el cajetín eléctrico ya que si los reductores no pueden pasar por los orificios, debe ser limados estos orificios para después introducir los reductores. Al cajetín se le debe hacer un orificio en la parte inferior donde entrara el último reductor, los orificios fueron hecho con el uso de un torno.
- Conseguir un pedazo de pista de circuito que es aislante, dimensiones 15x40mm, esta pieza puede ser cortada con el uso de una guillotina ya que realiza cortes de muy alta precisión con los ángulos deseados.
- Cortar dos piezas de cable coaxial RG-174 de longitud 72cm.
- Cortar dos piezas de cable coaxial RG-174 de longitud 108cm.

Al finalizar esta etapa de la construcción todos los materiales coartados y perforados deben verse como Figura 75.



Figura 75. Materiales cortados y perforados.

Para comenzar la etapa de la antena lo primero que se debe realizar es agarrar los pedazos de pista de circuito y realizar cuatro orificios, los cuales se deben colocarle algún tipo de cable el cual permitirá sujetar las varillas metálicas y de esta manera hacer que las mismas queden fijas, Véase Figura 76, esto es realizado para poder sujetar las varas metálicas y mantiene las dos varillas separadas ya que eso será clave para el funcionamiento de la antena. El quinto orificio es usado para que el cable coaxial quede tenso y no exista forma de que se pueda tocar la tierra con el centro.

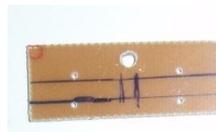


Figura 76. Material aislante que permitirá sujetar el dipolo.

Seguido de esto se debe colocar dos varillas a cada uno de los orificios, seguido de esto pasar el cable coaxial por el cable que tiene en la pista de circuito, soldar el centro del cable a una varilla y la malla se conectara a otra varilla, Véase Figura 77. Se le ha de colocar nombres a las varillas que tengan el cable coaxial más largo de longitud 108cm se han de llamar los elementos tres (Este) y cuatro (Oeste), mientras que el más corto de 76cm se han de llamar elementos uno (Norte) y dos (Sur).

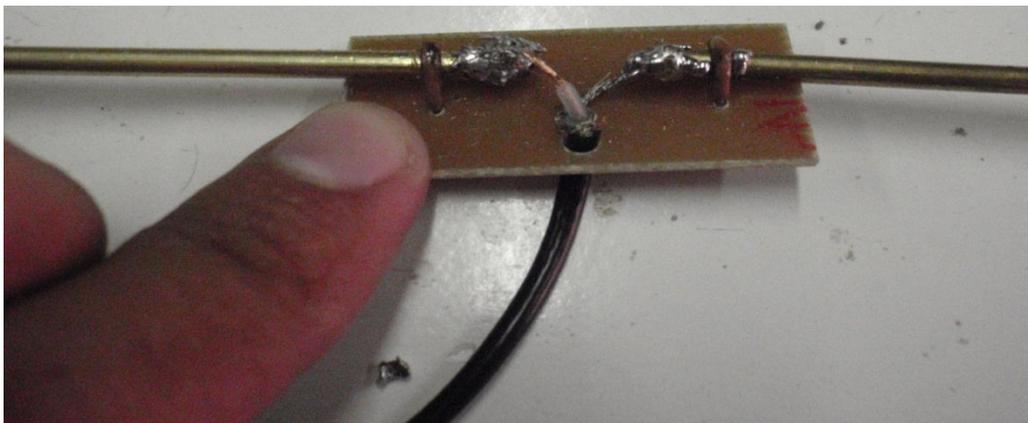


Figura 77. Conexión de los dipolos con sujetados.

Al terminar de soldar todos los cables a cada uno de los dipolos de un cuarto de longitud de onda, es necesario realizar lo siguiente se tomara una conexión de tipo T y se desliza la varilla metálica dentro de ella junto el cable coaxial, tener un poco de cuidado al realizar este procedimiento, Véase Figura 78.



Figura 78. Introducir los dipolos dentro de la conexión T de material PVC.

Para terminar la construcción de un dipolo de media onda para los satélites de órbita polar de la NOAA, se debe realizar lo siguiente ya al tener la pista de circuitos dentro de la conexión T, se debe utilizar dos tubos de longitudes catorce centímetros y dos tapas previamente agujereadas, cada tubo debe ser deslizado por una varilla metálica al igual que los tapones, la pieza armada se debe observar cómo se presenta continuación.

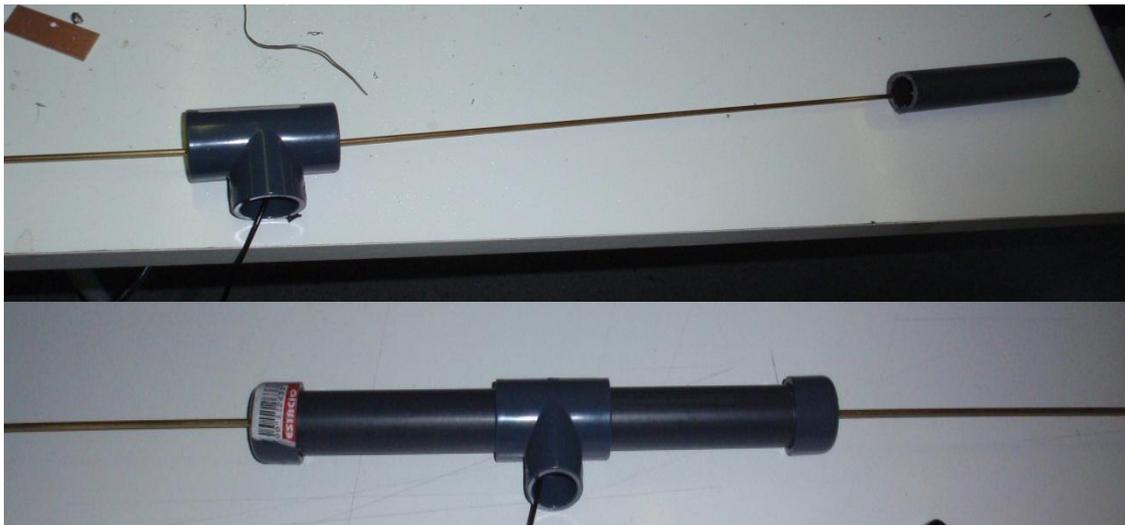


Figura 79. Dipolo.

Como se observa en la Figura 80 el centro del cable coaxial es señalado con un símbolo más (+) esto es necesario para más adelante, también es recomendable que en esta etapa de construcción usar un multímetro para determinar la conectividad y saber si todos los dipolos están bien conectados, no se desconectó nada al momento de ensamblar los materiales y no existe ningún corto circuito.

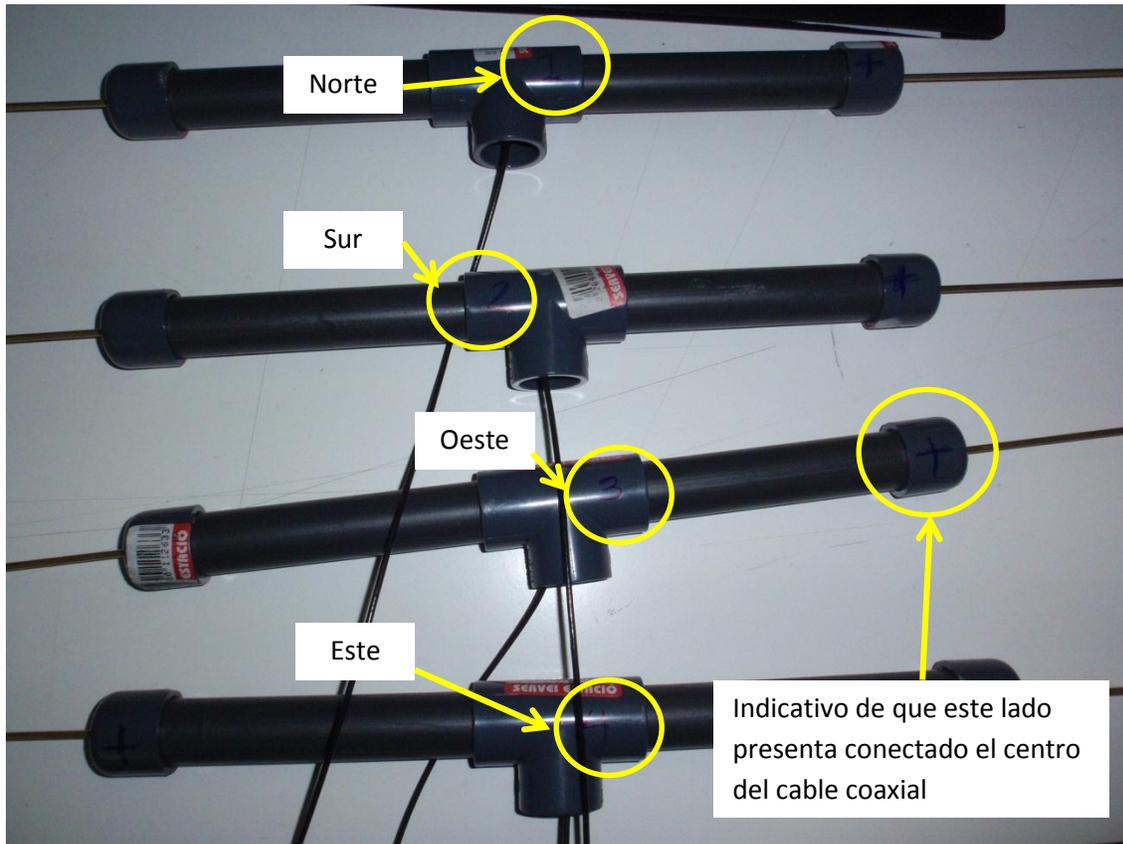


Figura 80. Todos los dipolos de media onda con sus respectivas identificaciones como nombre del elemento y ubicación del vivo del coaxial.

Después de realizar la verificación de las conexiones, se trabajará con el cajetín de electricidad, dentro de él se realizarán las conexiones previamente explicadas en el diseño. Las modificaciones que se deben realizar a el cajetín ya fueron explicadas, en la parte del ensamblado de la misma es necesario colocar los reductores en cada uno de sus orificios para luego ser pegados, así quedan adheridos a la superficie del cajetín y da un soporte más estable para los dipolos. Cuando el pegamento se solidifique y quede todo bien estable se debe colocar en cada reductor un tubo de veintitrés centímetros dando así

un cuarto de longitud de onda de separación entre cada uno de los dipolos, dejar en orificio del medio sin tubo por ahora o colocar uno de mayor longitud



Figura 81. Cajetín con los tubos de PVC de 22cm que sumado todo da una distancia entre dipolos de un cuarto de longitud de onda.

Para concluir la instalación se aproxima la parte más complicada que es la realizar las debidas conexión y soldar las mismas para presentar la mejor conectividad posible entre los elementos. La posición de los elementos es muy importante también colocar los elementos 1 (Norte) y 2 (Sur) frente a frente en el cajetín, al igual que los elementos 3(Este) y 4(Oeste) uno al frente de otro.

Al saber las debidas posiciones y colocar cada uno de los elementos se procede a soldar todo la parte de las conexiones, dicha sección se ha explicado en el diseño de la antena, véase Figura 40 se explicó en la parte de diseño pero igual se ha de retomar ya que es muy complicada de entender y de realizar, se toma el centro del elemento 3 (Oeste) y el elemento 1 (Norte), estos son conectados a la tierra del cable coaxial que va para la salida. El centro del elemento 2 (Sur) y 4 (Este) va conectado directo al centro del coaxial de salida. Seguido de esto las tierras de los elementos 1 y 2 están conectadas entre ellas, al igual que las tierras de los elementos 3 y 4.

Para realizar estas conexiones de manera más simple se diseñó un circuito impreso que permitió realizar las conexiones de una manera más sencilla y fiable Véase Figura 82.

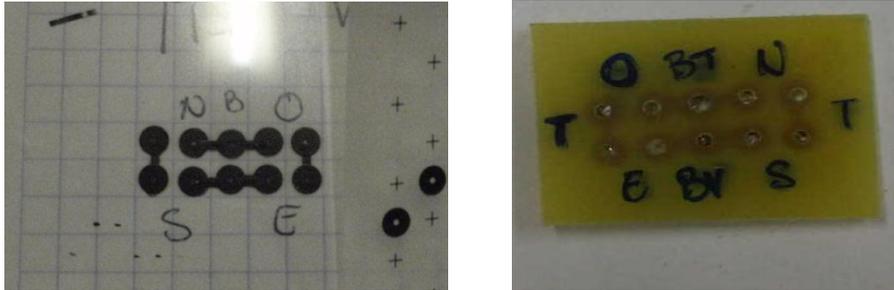


Figura 82. Diseño del circuito impreso con las conexiones en papel transparente y conexiones en el mismo.

Por ultimo introducir todo el cableado sobrante dentro del cajetín y cerrar, seguido de esto el cable que baja del cajetín es conectado a otra línea la cual va a tener el conector de tipo BNC, para poder conectarlo al transmisor. Al terminar esto se deben graduar los ángulos de los dipolos a treinta grados con respecto al origen.



Figura 83. Antena DCA de dipolos de 3 milímetros.

## ANEXO 2 Manual la instalación de una estación meteorológica

Para instalar este programa en el computador es necesario dirigirse al siguiente link de internet:

[http://www.poes-weather.com/index.php?Itemid=53&option=com\\_content](http://www.poes-weather.com/index.php?Itemid=53&option=com_content)

Seguido de esto se abrirá la página con dicha dirección como se observa en la **Figura 84**.

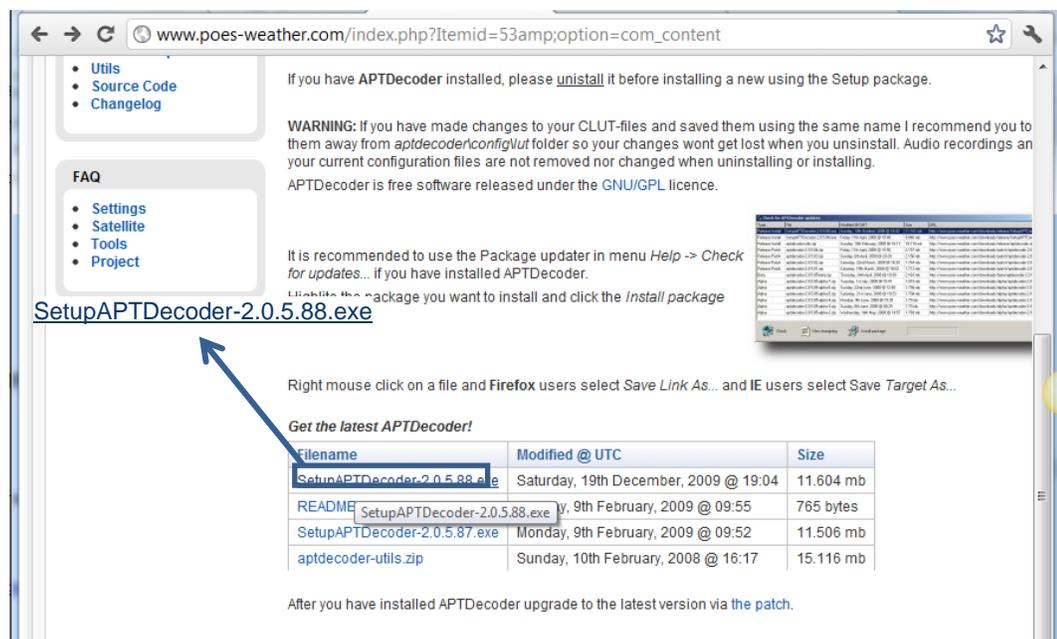


Figura 84. Lugar de descarga del APTdecoder.

Cuando el fichero sea descargado en la carpeta de descargas de su computadora o en donde sea almacenado los archivos que son descargados, se debe dar doble click sobre el programa que se desea instalar.

### Pasos para la instalación del APTdecoder

Seguido de esto se deben realizar los siguientes pasos, dicha instalación está realizada para Windows 7 para las versiones anteriores pueden existir algunas variaciones:

1. Aparecerá de advertencia de seguridad, apretar el botón de ejecutar.

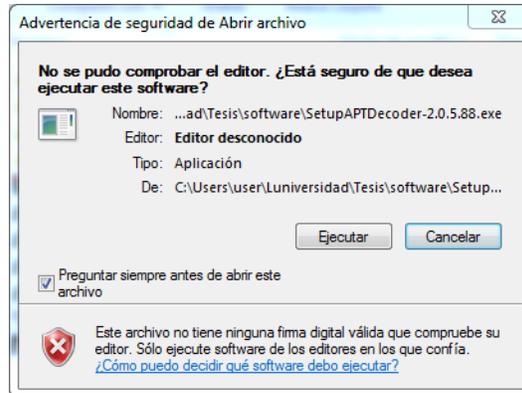


Figura 85. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 1.

2. Otra ventana de precaución indica que el programa que se va a ejecutar cambiara información en el disco, presionar SI.
3. Instalación APTdecoder presionar la opción de Siguiente o *Next*.

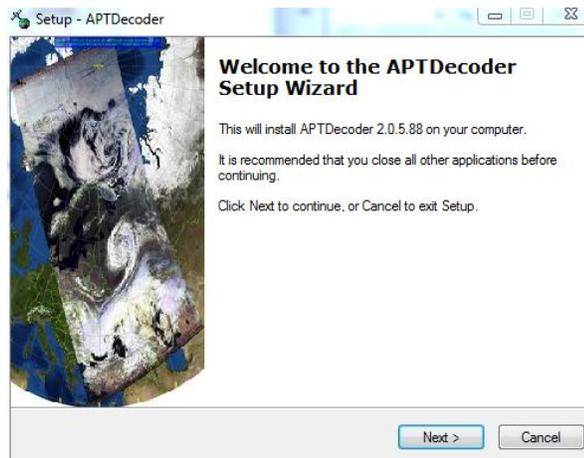


Figura 86. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 3.

4. Leer previamente las condiciones en el caso de estar de acuerdo realizar lo siguiente. Seguido de esto la próxima ventana es el acuerdo de la licencia en donde se debe presionar *I accept the agreement* y darle a *Next*.

5. Volver a presionar *Next*.
6. En este paso el programa que está siendo instalado solicita la carpeta o fichero en donde se almacenara toda la información que va a ser almacenada por el software. Por defecto escoge el directorio C y crea un fichero llamado aptdecoder, si se desea cambiar esto presionar *Browse..* e introducir la ruta que se desee.

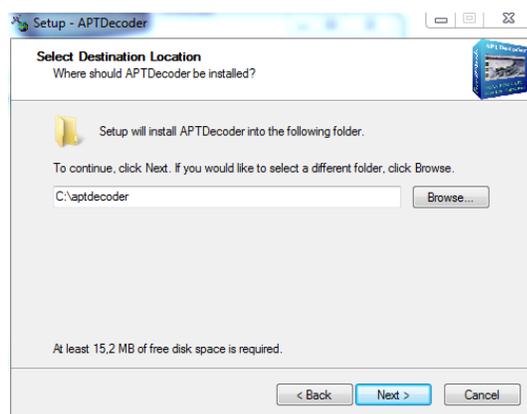


Figura 87. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 6.

7. Por último el software ofrece otros programas que pueden ser instalados junto al APTdecoder esto queda a decisión de cada usuario si desea instalarlos. Si no quieren ser seleccionados simplemente hacer un click sobre ellos y no serán tomados en cuenta. Una vez tomada la decisión presionar *Next*.
8. En el caso de seleccionar alguno de los programas en el paso anterior indicara el fichero en los cuales serán instalados, al igual que en el paso 6 se puede tomar el que dan por defectos o seleccionar la ruta que sea deseada por el usuario. Al finalizar presionar *Next*.
9. Última etapa antes de instalar el programa en donde se muestran los programas que serán instalados el fichero en donde se instalaran los programas y se almacenara la información.

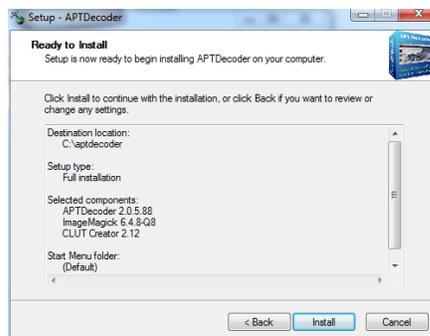


Figura 88. Pasos de instalación de APTdecoder Windows 7 paso 9.

Si todos los pasos anteriormente mencionados fueron realizados de manera correcta se tendrá en el escritorio un icono de APTdecoder igual a la **Figura 89**.



Figura 89. Icono en el escritorio del APTdecoder al ser correctamente instalado.

### **Pasos para la Configuración del APTdecoder**

El APTdecoder es un software el cual necesita una configuración previa antes de poder recibir información, esta configuración es de carácter OBLIGATORIO ya que si no se realiza será extremadamente complicado que el programa funcione de manera precisa.

A continuación se presentara una serie de pasos que presentara que tipo de modificaciones son necesarias para la configuración de la estación meteorológica:

1. Se abre el programa y se observara la siguiente ventana.

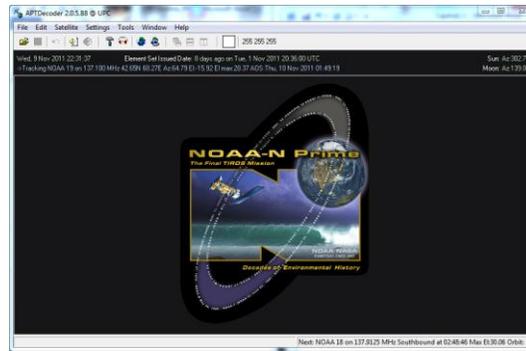
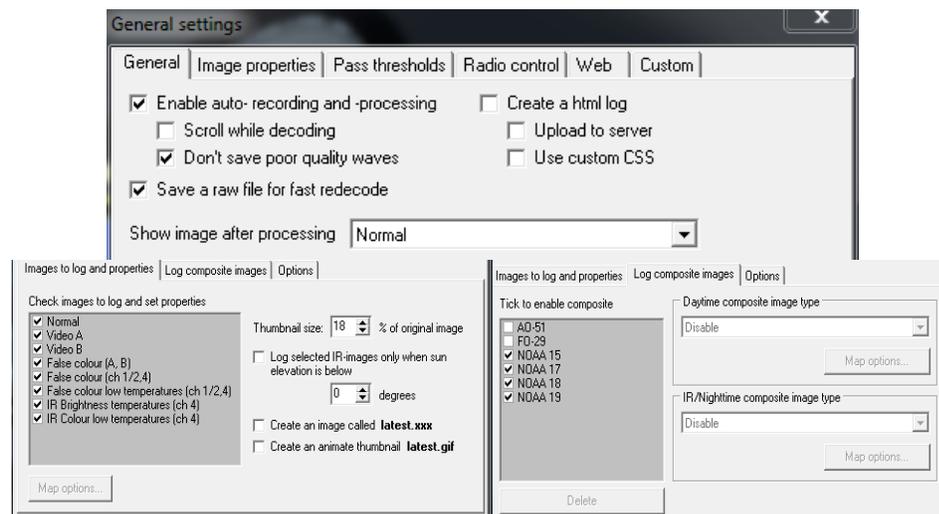


Figura 90. Configuración APTdecoder paso 1.

2. Dirigirse y presionar *Setting->General Setting*. Esto hará que se habrá una nueva ventana. En la **Figura 91** se observa la ventana que debe aparecer, en dicha ventana, se encuentra ubicado en la parte General en donde se seleccionaron varios valores y se escogen los parámetros; dichos cambios seleccionados son indicados en la leyenda de la figura en cuestión. En la leyenda solo serán tratados los puntos o parámetros más importantes y los cuales fueron cambiados. En la opción general se poseen dos tres pestañas en la parte inferior *Images to log and properties* y *Log composite images*.



Leyenda:

- ❖ *Enable auto-recording and -processing*: permite que se realicen grabaciones automáticas cada vez que se detecte un satélite. Debajo de este punto se observa que se

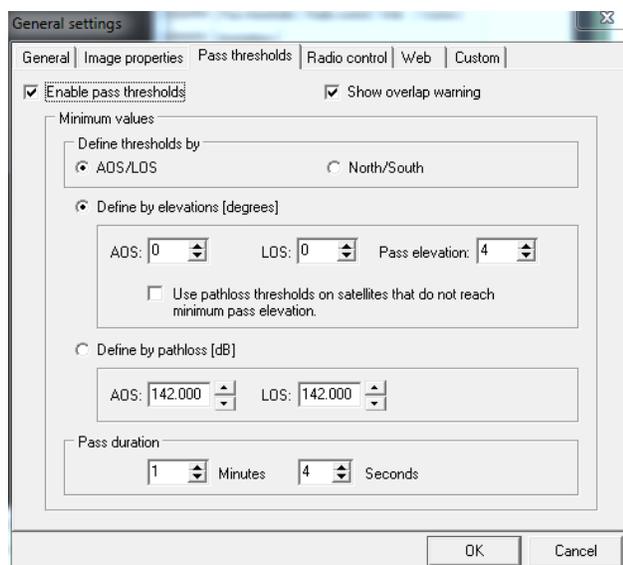
puede seleccionar la opción de no salvar imágenes de poca calidad (*Don't save poor quality waves*).

- ❖ *Images to log and properties->Check image to log and set properties*: seleccionar todas las opciones esto permitirá que se puedan realizar todas las funciones seleccionadas. Serán explicadas más adelante.
- ❖ *Images to log and properties->Thumbnail size*: colocarlo a 18, esto permitirá que la imagen se vea un 18% de la imagen original.
- ❖ *Log composite images->Tick to enable composite*: Seleccionar todos los satélites NOAA, si el usuario lo desea no marcar el NOAA 17 que se encuentra fuera de funcionamiento.

---

Figura 91. Configuración APTdecoder paso 2, Opciones Generales.

3. Siguiendo en la misma ventana se selecciona en *General settings->Pass Threshold*. En donde se colocara el umbral en donde se determinara si se desea colocar un umbral con el ángulo de elevación del satélite o con la señal recibida del mismo, en el caso de este tutorial se selecciona que la recepción inicie a partir de que el satélite este a 4° por encima del horizonte. En la leyenda se comentara que valores fueron cambiados.



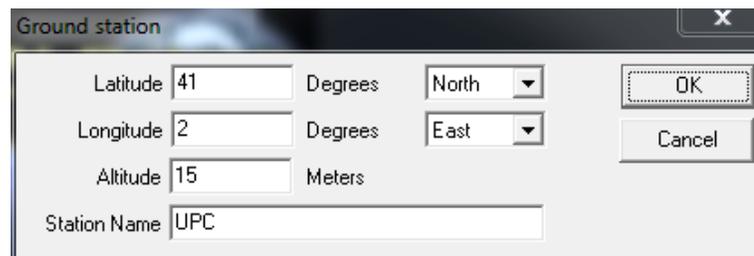
Leyenda:

- ❖ *Enable pass thresholds*: habilita la propiedad de los umbrales.

- ❖ *Define by elevations: pass elevation* colocar 4 que significaría que comenzara la recepción cuando el satélite este a 4° con respecto al horizonte.
- 

Figura 92. Configuración APTdecoder paso 3, Umbral.

4. Al finalizar el paso tres cerrar la ventana de *General Setting* haciendo *click* en el OK.
5. Ahora se definirá la ubicación exacta de la estación por lo que nos dirigimos a *Choose settings->Ground Station*. Se abrirá una nueva ventana como se observa **Figura 93**, en donde es necesario colocar las coordenadas exactas donde está ubicada la estación meteorológica. En el caso de no saber su latitud lo mejor es consultar en internet o dirigirse a *google maps*. Al finalizar de colocar las coordenadas presionar OK.



The image shows a software window titled "Ground station" with a close button (X) in the top right corner. Inside the window, there are several input fields and dropdown menus. The "Latitude" field contains the number "41", followed by a "Degrees" dropdown menu set to "North". The "Longitude" field contains the number "2", followed by a "Degrees" dropdown menu set to "East". The "Altitude" field contains the number "15", followed by the unit "Meters". At the bottom, there is a "Station Name" field containing the text "UPC". On the right side of the window, there are two buttons: "OK" and "Cancel".

Figura 93. Configuración APTdecoder paso 5, Coordenadas para la estación Barcelona, Campus Nord departamento D4 de la Universidad Politécnica de Cataluña.

6. Una vez definida la ubicación de la estación es necesario descargar las keplerianas que permitirán predecir el paso de los satélites. Las keplerianas se muestran como dos líneas de información que describen como el satélite orbita la tierra. Para descargar estas keplerianas es necesario hacer *click* en *Satellite->Keplerian elements*. Luego de esto se abrirá una ventana en la que se aparecen una serie de direcciones web, colocarse en la columna que dice *Download*, y colocar yes en la primera y la segunda dirección. Seguido de esto hacer *click* en *Download*.

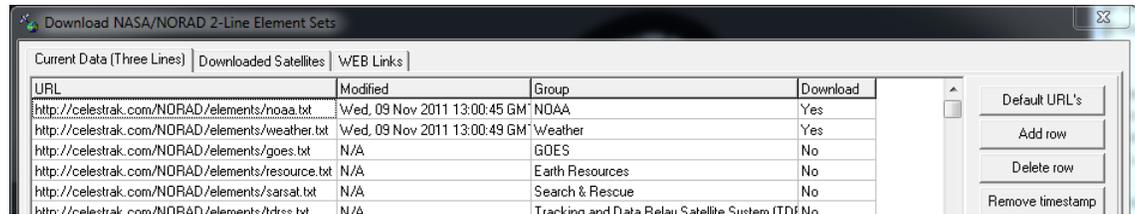


Figura 94. Configuración APTdecoder paso 6, Direcciones web a las cuales se les debe colocar YES para poder descargar satisfactoriamente las keplerianas.

Finalmente la configuración del APTdecoder esta completada por lo que no existirá deberá existir ningún problema, ya la computadora esta lista para que sea conectado el receptor. Al conectar el receptor a la computadora es necesario configurar de manera adecuada el nivel del micrófono o del dispositivo que se encuentre gravando ya que si se encuentra muy alto o muy bajo no se podrá detectar la señal.

### Conexión de receptores

Una vez configurada la estación base es necesario conectar correctamente el receptor a la computadora y saber cómo manejar la tarjeta de audio del computador ya que ahí estará la clave al momento de recibir la información, como se dijo anteriormente si el volumen de la tarjeta de audio está muy baja o muy alta la imagen no se verá aunque el receptor esté funcionando correctamente.

Se sabe que existen dos tipos de receptores pero lo que es la calibración del equipo es la misma para ambos varia en algunos pequeños detalles que serán comentados y bien explicados.

Para los receptores dedicados y de uso general. Este tutorial es para usuarios de Windows 7 también aplica para otras versiones de Windows:

1. De la salida de audio conectar a la entrada de micrófono o algún dispositivo de grabación que este en la computadora. Como se muestra XXX. En el caso de receptor de uso general al ser más nuevo se usa el puerto USB para la conexión maquina equipo.

- Seguido de esto observar si la entrada de audio o tarjeta de audio que está en uso es la misma que está configurada con el APTdecoder, para esto abrir el APTdecoder y hacemos *click* en *Tools->Check audio level*, en donde se abrirá una ventana como la que se observa en Figura 95, donde la aguja debe estar entre -8 o -4 dB cuando el satélite se encuentre fuera del rango de recepción. Esto se realiza para calibrar el receptor con respecto al nivel de ruido que posee la línea de transmisión. En el caso de la calibración del equipo es la misma para los dos receptores

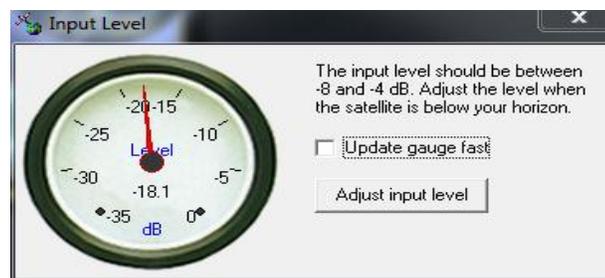


Figura 95. Conexión de receptores dedicados.

- Al hacer click en *Adjust input level*, se abrirá una ventana en donde aparecen todos los dispositivos de grabación que se están usando. En este punto se debe saber bien que dispositivo de entrada se está usando para graduar el volumen del mismo.

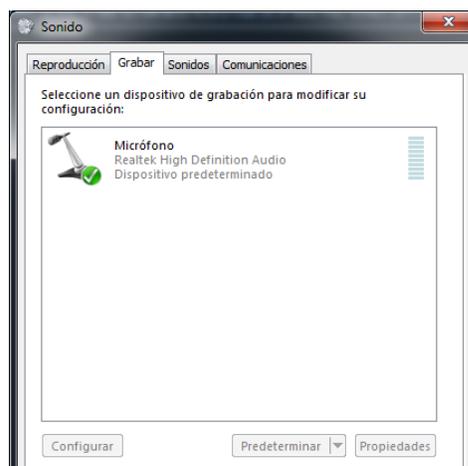


Figura 96. Selección de dispositivo de grabación.

4. De esta ventana hacer *click* en propiedades, se abrirá una nueva ventana con el nombre de propiedades del micrófono. Escoger en la pestaña superiores niveles y de ahí variar el volumen del dispositivo observando la aguja del paso 2 hasta conseguir que se posicione entre -8 y -4dB cuando no exista ningún satélite en el horizonte.

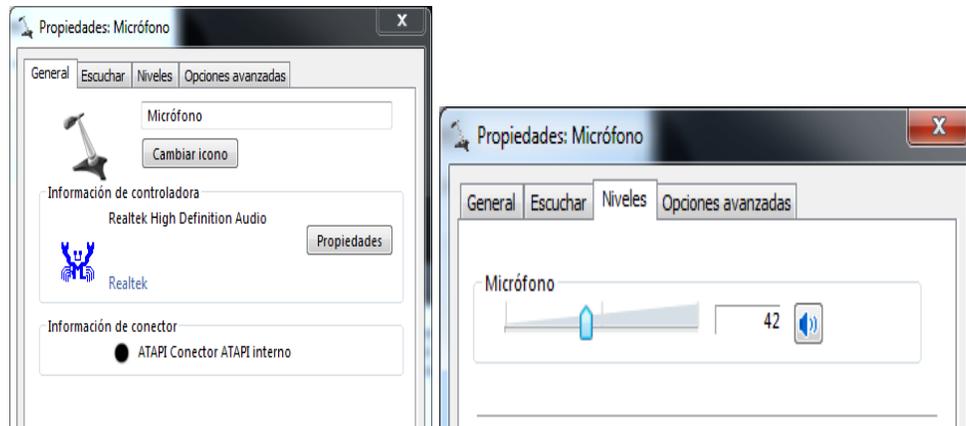


Figura 97. Selección de dispositivo de grabación.

Esta configuración del volumen en el dispositivo de grabación es útil tanto para los dos receptores.

### Como usar el APTdecoder

En esta sección se relatara de manera general algunas utilidades del APTdecoder y cómo hacer más amigable la adaptación al programa.

Al culminar de hacer todas las configuraciones, conectar los receptores y descargar las keplerianas. Al volver a observar el panel frontal se notan en la parte superior izquierda en color azul el próximo satélite que pasara sobre la estación meteorológica con la hora con la cual vendrá, mientras que en la esquina inferior derecha se observa el satélite que viene después al satélite que se está esperando con la hora en que se recibirá la señal.

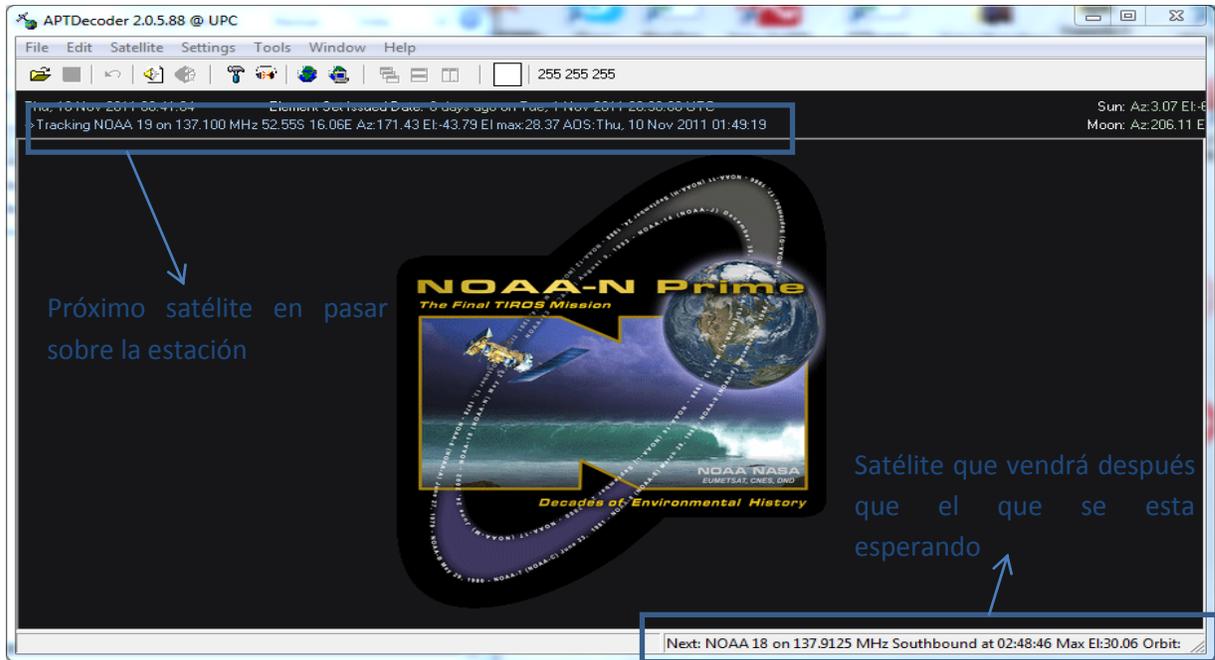


Figura 98. Panel Frontal donde se muestran los próximos satélites que serán recibidos por la estación meteorológica.

Cuando es el momento de recibir la señal se coloca el panel frontal en color rojo donde se muestran las cantidades de líneas que pueden ser recibidas durante todo el paso del satélite. Como se observa en la Figura 99. Panel Frontal durante la recepción del satélite.

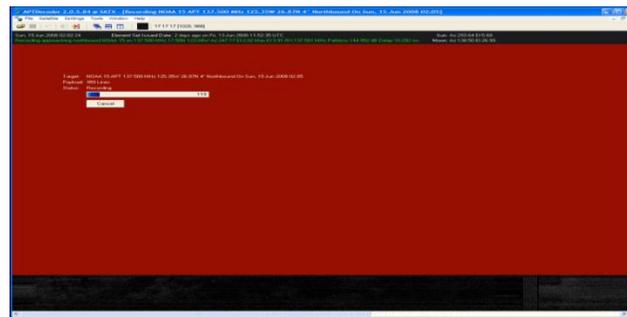


Figura 99. Panel Frontal durante la recepción del satélite.

Una vez toda la información del satélite es recibida esta es almacenada en la memoria interna de la computadora, en la carpeta de la siguiente manera aptdecoder/audio/año/mes/día. Cuando la señal satelital es recibida esta información es guardada tres archivos diferentes uno el audio en formato .wav, una imagen .jpg, y por ultimo un archivo de texto en el cual muestra hora y las keplerianas del satélite.

El archivo más importante de todos los que son salvados es el de audio ya que con este se pueden realizar diferentes tipos de procesado de señal, esto se logra gracias a las bandas telemétricas que permiten hacer esto posible.

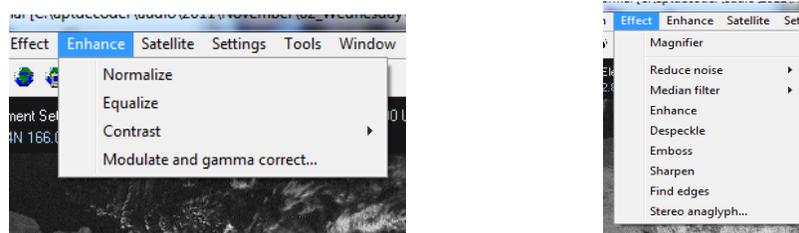
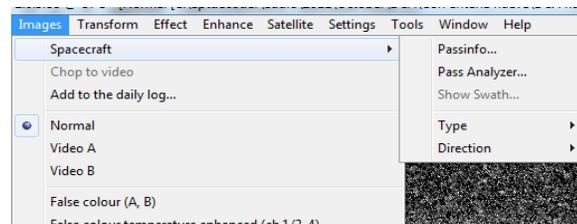


Figura 100. Diferentes formas de procesado: en la imagen de la derecha opciones de ecualizar y normalizar la señal, en la imagen de la izquierda efectos que permiten mejorar la señal.

Por último es importante conocer y comprender las funciones de la pestaña *Images*, esta pestaña únicamente funciona cuando se tienen la información de audio abierta en el APTdecoder.



Leyenda:

- ❖ *Spacecraft->Passinfo*: Muestra una ventana donde se observan la kepleriana del satélite, cuando se adquiere la recepción satelital y cuando termina.
- ❖ *Spacecraft->Pass Analyzer*: Muestra una ventana en donde se observa en que puntos de toda la recepción la transmisión fue afectada por el ruido.
- ❖ *Normal*: Muestra en el panel frontal la imagen como fue recibida.
- ❖ *Video A*: Muestra en el panel frontal únicamente el canal visible.
- ❖ *Video B*: Muestra en el panel frontal únicamente el canal infrarojo.
- ❖ *False Color(A,B)*: se encarga de unir las dos imágenes con el uso de la telemetría y permite generar un color falso a la imagen

---

Figura 101 Funciones de *Images*.

## Orbitron<sup>14</sup>

El Orbitron es un sistema de seguimiento de satélites para radio aficionados y con el propósito de observación. También usado por profesionales para otros tipos de satélites y otro tipo de comunicación.

Esta aplicación muestra la posición de un satélite en cualquier momento determinado (en tiempo real o simulándolo). Es un programa de software libre es probablemente uno de los más fáciles de usar y mejor seguidor de satélites.

Antes de instalar el programa es necesario poseer como mínimo 16MB de RAM y 5MB de espacio libre en el disco, este programa funciona en Windows 7/Vista/Xp y Linux. La instalación del Orbitron es muy simple primero se debe dirigirse a este link de internet en el cual se descargara directamente el programa en el computador:

<http://www.stoff.pl/orbitron/files/orbitron.exe> ----- Link para descarga en inglés.

- ❖ En el caso que no se desee descargar en inglés dirigirse a la página del Orbitron(<http://www.stoff.pl/>) en donde existen las opciones de idioma en Alemán y Polaco.

Este programa se descargara en la carpeta que normalmente se descargan todos los elementos de internet, se abre el fichero y comienza la instalación del programa. Los pasos para la instalación son los siguientes:

1. Al hacer el *click* sobre el archivo descargado comienza la instalación del mismo, el programa le requerirá al usuario el idioma en el cual se desea instalar el programa. En nuestro caso se escogerá español.

---

<sup>14</sup>Orbitron: <http://www.stoff.pl/>

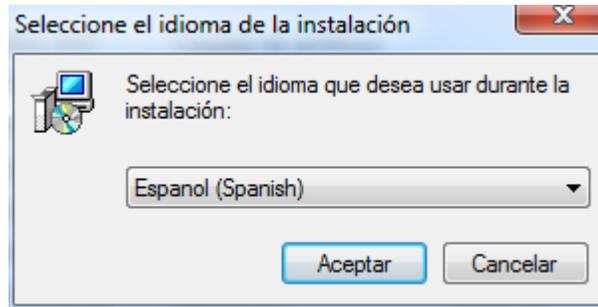


Figura 102. Paso 1, instalación del Orbitron selección del idioma.

2. Seguido de esto la instalación se realizara en el idioma de la conveniencia del usuario, al presionar Aceptar en el paso anterior aparece una nueva ventana. Hacer *click* en Siguiente >.
3. A continuación aparecerá una nueva ventana en donde el programa indicara la carpeta que creara para la instalacion de todos los elementos que son necesarios para el correcto funcionamiento del mismo. Esta sección queda a libertad del usuario ya que puede cambiar la ruta del archivo e instalarlo donde convenga. En este caso particular se dejó igual a como lo recomienda Orbitron. Hacer *click* en siguiente para continuar con la instalacion.

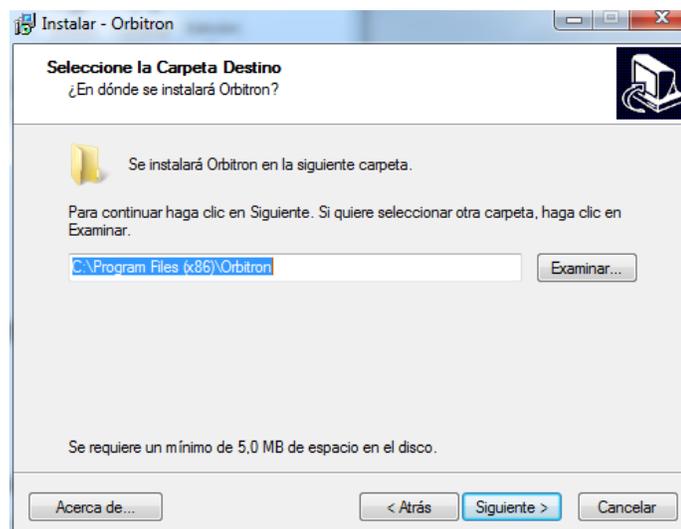


Figura 103. Paso 3, instalación del Orbitron selección carpeta en donde será descargado el programa.

- Después de presionar *click* aparece una nueva ventana para instalar el protector de panta de Orbitron esto queda a elección de cada usuario. Al finalizar hacer *click* en siguiente.
- Se pedirá al usuario seleccionar las tareas adicionales que desea que haga el programa. Al finalizar la selección presionar siguiente.

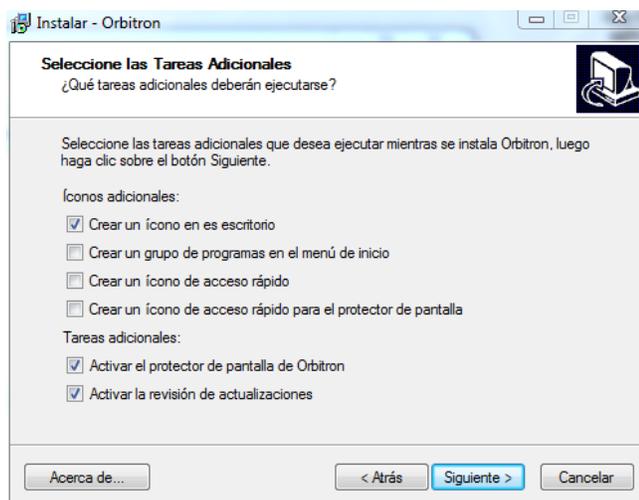


Figura 104. Paso 5, instalación del Orbitron selección de tareas adicionales.

- Por último se observa la última ventana con el nombre listo para instalar en donde aparecerá todos los datos del programa, tipo de tareas adicionales seleccionada y componentes extras. Hacer *click* en Instalar y como dice la palabra comenzara la instalación del programa en la computadora.

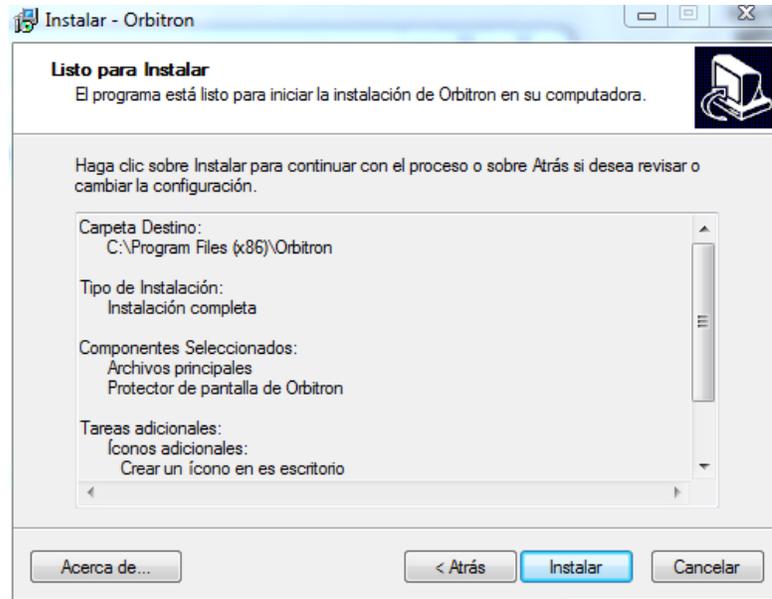


Figura 105. Paso 6, instalación del Orbitron listo para ser instalado con todos los componentes y tareas que han sido previamente seleccionadas.

Una vez instalado el programa deberá aparecer en el escritorio principal del sistema operativo que se esté usando un icono igual o parecido a este que será un acceso directo al programa Orbitron, Figura 106. Si esto ocurre el programa esta satisfactoriamente instalado en el caso contrario volver a repetir los pasos de la instalación.



Figura 106. Icono en el escritorio del Orbitron al ser correctamente instalado.

Al poseer el acceso directo del programa Orbitron es simplemente abrir el mismo y se observara una ventana como la siguiente.

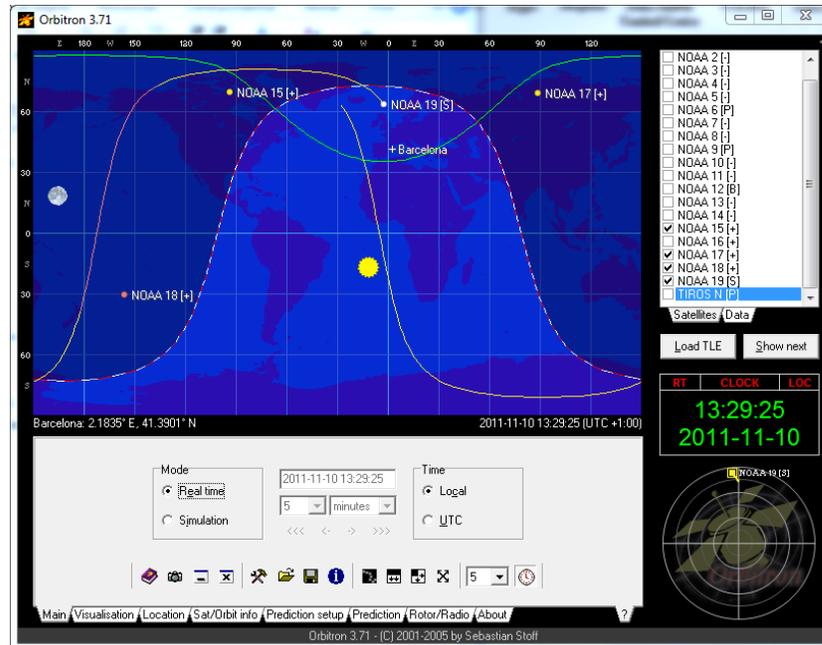


Figura 107. Panel frontal de Orbitron.

En el Orbitron es necesario cargar el archivo que presenta todos los satélites de la NOAA ya que al ser el Orbitron un programa que sirve para múltiples aplicaciones tiene una enorme cantidad de satélites es necesario hacer lo siguiente. En panel frontal, Véase Figura 107, se observa un botón que dice *Load TLE* en donde permitirá cargar el archivo que tiene en el todos los satélites POES de la NOAA, dentro de esta carpeta existen una cantidad grande de documentos se debe seleccionar el que dice noaa como se muestra en la Figura 108.

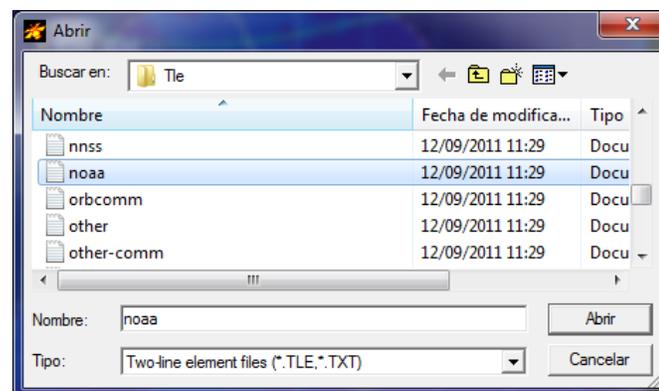


Figura 108. Selección del documento necesario para poner en marcha el Orbitron

Una vez seleccionado correctamente el archivo noaa se observara en el frontal panel los satélites POES de la NOAA en el lado superior derecho, en ese punto seleccionar los satélites que están siendo monitoreados por nuestra estación meteorológica los cuales son NOAA 15, 17, 18 y 19. Una vez seleccionada estos satélites aparecerán el panel frontal.

Por último es necesario conocer el monitoreo de los satélites en donde existe una opción en el panel frontal que se llama *Simulation* la cual permite hacer un pronóstico muy real del momento y tiempo que tendrá el satélite al momento de pasar sobre la estación base.

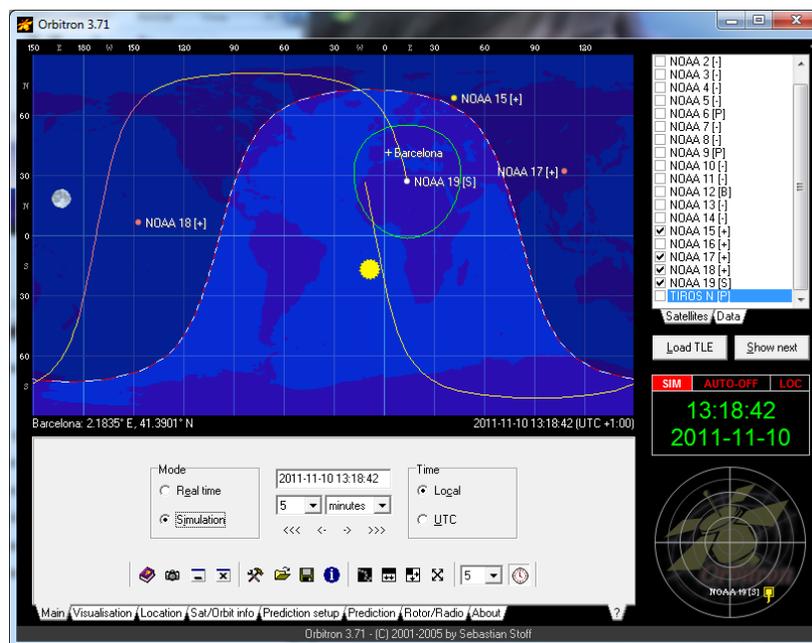


Figura 109. Panel frontal en opción simulación.

## ICOM IC-PCR1500

El ICOM IC-PCR1500 como ya fue comentado es un receptor de uso general en el cual posee un software para poder ser controlado. En la instalación de una estación meteorológica no es necesario descargar el software de este dispositivo ya que el programa APTdecoder permite el control del mismo.

En esta sección nos enfocaremos en la compatibilidad que existe entre el APTdecoder y este receptor, toda la información recaudada es en el sistema operativo Windows 7.

1. Primero conectar el equipo en el puerto USB de la maquina o equipo, directamente el OS<sup>15</sup> descarga los códec y genera la compatibilidad con el equipo, por lo que la conexión maquina receptor está realizada.
2. Abrir el programa APTdecoder y dirigirse a *Setting->General Settings* donde se observara una ventana como la que se observa en la Figura 91, en las pestañas superiores dirigirse a la opción *Radio Control*. La ventana en la que se encuentra ubicado debe ser la siguiente.

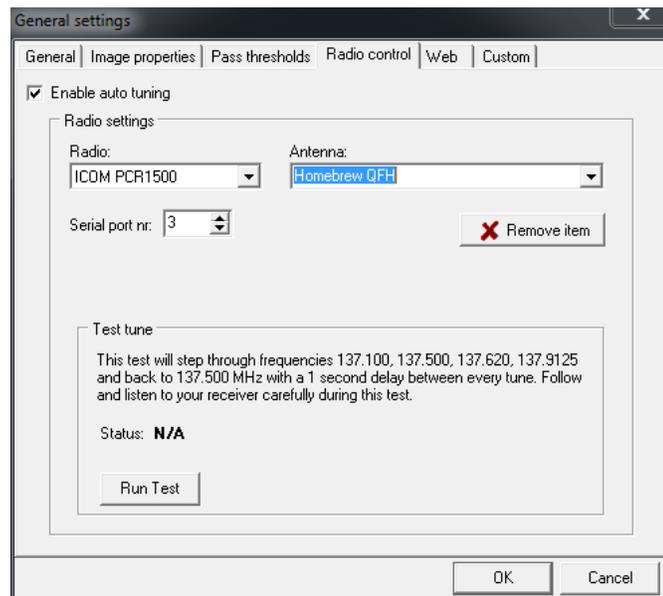


Figura 110. Configuración del receptor ICOM paso 2.

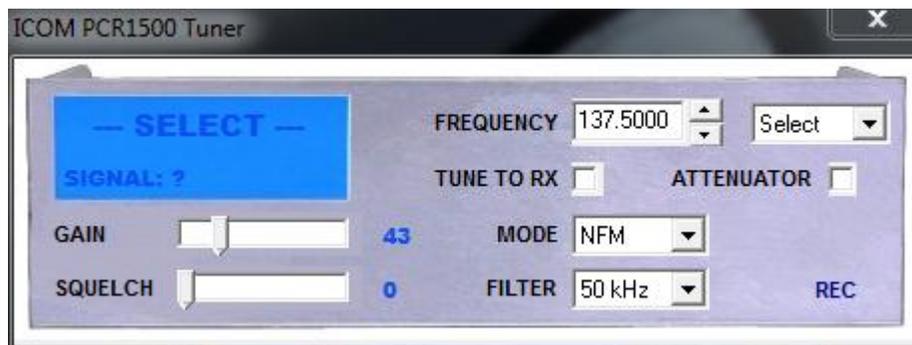
3. Al estar ubicado en la ventana de *Radio Control*, primero de debe escoger el Radio que se está usando, la Antena con la que se recibe y por último el puerto donde fue conectado el receptor esto es lo más importante de todo ya que si se escoge un puerto equivocado el programa no recibirá la información correctamente. Al seleccionar el puerto correcto es recomendable hacer el *Run*

---

<sup>15</sup> OS: Sistema operativo

*Test* el cual permitirá saber si el puerto está bien colocado y todo el receptor funciona correctamente.

- Una vez superado este paso hacer *click* en OK y se tiene que dirigir a otro lugar en el panel frontal *Tools->Radio Control* en donde se debe abrir el receptor, no debe dar ningún error ni nada simplemente abrirá una ventana como la siguiente.



Leyenda:

- ❖ *Gain*: Ganancia que se le desea colocar a la señal de entrada.
- ❖ *Frequency*: indica la frecuencia a la cual está trabajando el radio, esto puede ser cambiado por el usuario. El *Select* posee ya por defecto todas las frecuencias a las que traban los satélites por lo que al presionar en ese lugar y sabiendo cual es el próximo satélite se escoge la frecuencia.
- ❖ *Mode*: funciona para escoger que tipo de señal se ha de ser demodulada en este caso se tiene un NFM<sup>16</sup> aunque también un WFM<sup>17</sup> funcionara para recibir la señal.
- ❖ *Filter*: El filtro se sabe que debe estar en 30 a 40Khz y el valor más próximo a ellos que suministra el ICOM es 50KHz.
- ❖ *REC*: Permite grabar la intensidad la señal que ayuda permite realizar un diagrama de radiación de la antena con la que se recibe

---

Figura 111. ICOM PCR-1500 Tuner, controla el receptor desde el APTdecoder.

- Al terminar de configurar el receptor es importante realizar los pasos de calibración del volumen del APTdecoder.

---

<sup>16</sup> NFM: Narrow Frequency Modulation

<sup>17</sup> WFM: Wide Frequency Modulation

Cuando se termina de configurar correctamente el receptor y las keplerianas están actualizadas correctamente, permitirá que el receptor directamente con el uso del APTdecoder pueda recibir las señales satelitales sin la necesidad de estar seleccionando la frecuencia en el receptor cada vez que pasa algún satélite, esto directamente lo hace gracias a la comunicación que existe programa receptor.

Por ultimo una ventaja que presenta este receptor es que permite grabar la información que se recibe presionando *REC*, dicha información será utilizada por el programa APTdecoder para generar un diagrama de radiación de la antena lo que permitirá saber la recepción de la misma. Esto se logra en el panel frontal de APTdecoder *Tools->Signal Plotter* en donde se abre una nueva ventana.

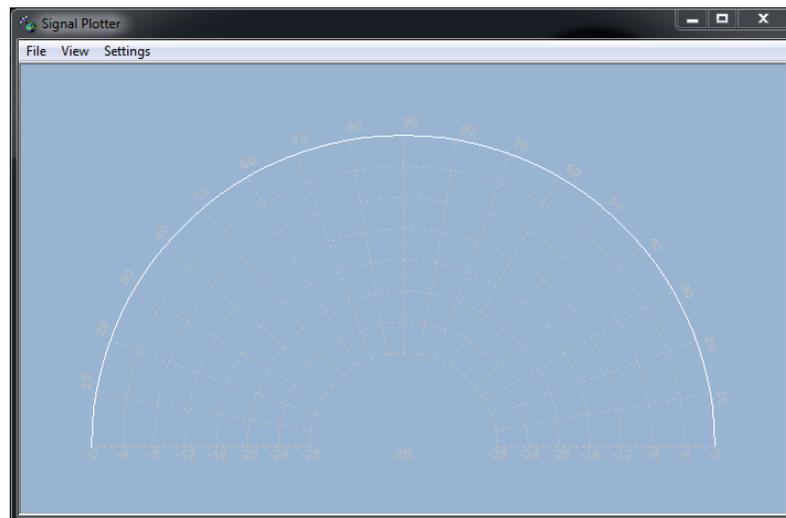


Figura 112. Signal Plotter en APTdecoder permite conocer la recepción de la antena.

Para poder observar el diagrama es necesario dirigirse a *File->Open Signal File* y buscar el archivo grabado por el ICOM el cual presentara la extensión *.rxt*. Una vez realizada esta acción se observara el diagrama de radiación para la pasada que se encuentra bajo estudio.

ANEXO 3. Imágenes recibidas de la DCA de 12mm  
Sábado 05 de noviembre de 2011:

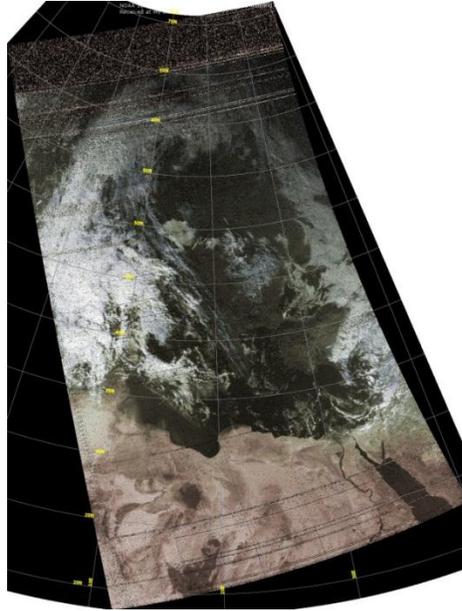


Figura 113. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 10° a 65°, NOAA 18, Sábado 05 de Noviembre 2011 hora 13:44

Domingo 06 de noviembre de 2011:

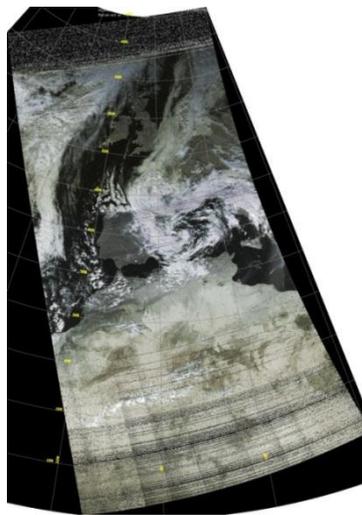


Figura 114. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud 20° a 65°, NOAA 19, Domingo 06 de Noviembre 2011 hora 15:33.

Lunes 07 de noviembre de 2011:



Figura 115. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud  $12^{\circ}$  a  $65^{\circ}$ , NOAA 19 y NOAA 18, Lunes 07 de noviembre de 2011, horas 14:03 y 15:03, se observa un ruido entre las latitudes  $15^{\circ}$  y  $16^{\circ}$ .

Martes 08 de noviembre de 2011:

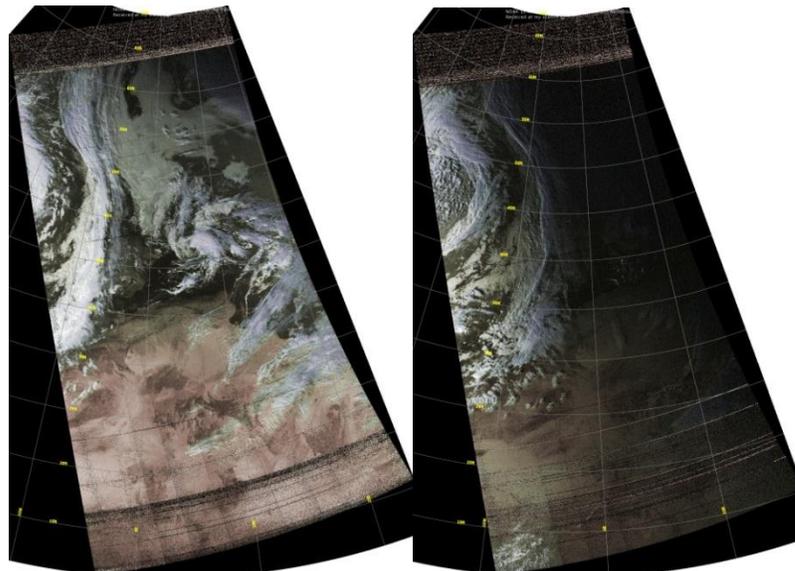


Figura 116. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud  $12^{\circ}$  a  $63^{\circ}$ , NOAA 18 y NOAA 15, Martes 08 de noviembre de 2011, horas 14:52 y 17:28.

Miércoles 09 de noviembre de 2011:

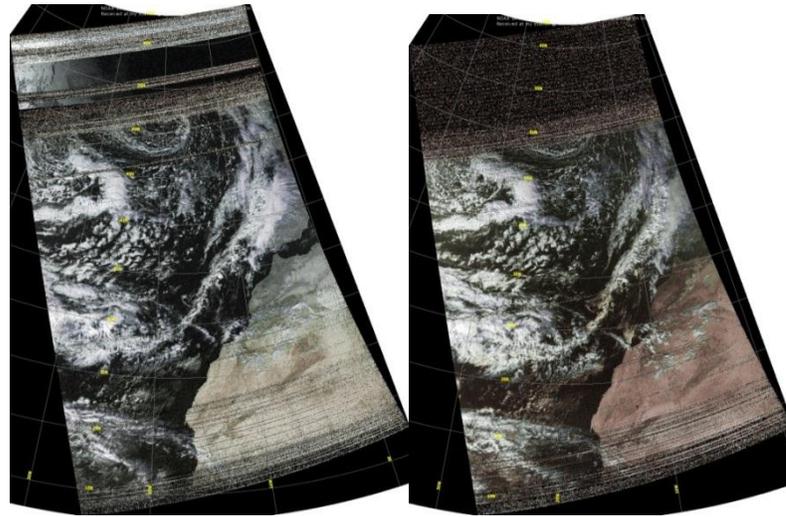


Figura 117. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud  $18^{\circ}$  a  $50^{\circ}$ , NOAA 19 y NOAA 18, Miércoles 09 de noviembre de 2011, horas 15:22 y 16:21.

Jueves 10 de noviembre de 2011:

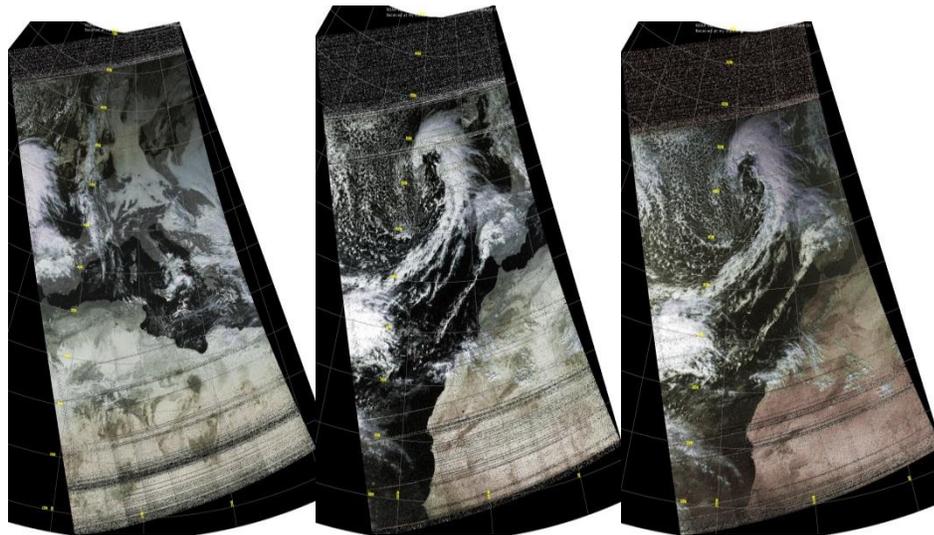


Figura 118. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud  $15^{\circ}$  a  $65^{\circ}$  para la mejor pasada las otras dos  $14,5^{\circ}$  a  $54^{\circ}$ , NOAA 19, NOAA 19 y NOAA 18, Jueves 10 de noviembre de 2011, horas 13:31, 15:12 y 16:11.

Vienes 11 de noviembre de 2011:



Figura 119. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud  $16^{\circ}$  a  $66^{\circ}$  para la mejor pasada las otras dos  $14,5^{\circ}$  a  $65^{\circ}$ , NOAA 19, Viernes 11 de noviembre de 2011, horas 13:21 y 15:01.

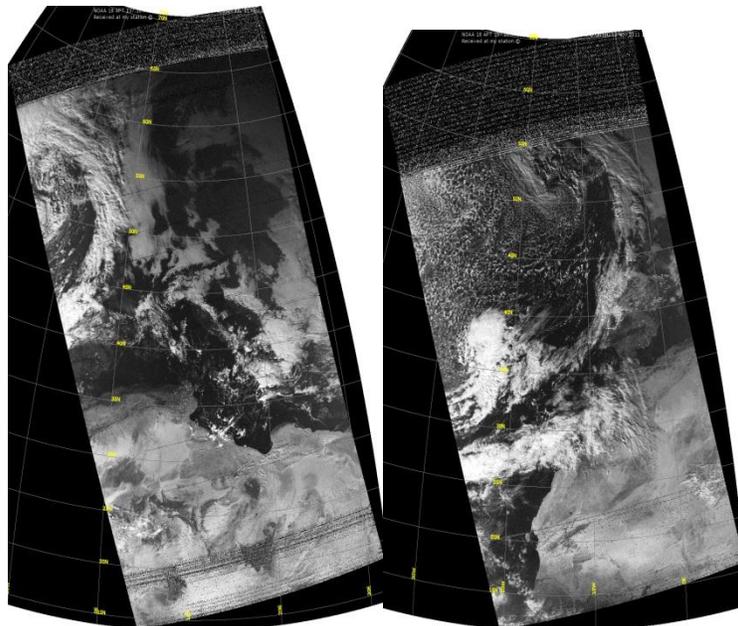


Figura 120. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud  $16^{\circ}$  a  $66^{\circ}$  para la mejor pasada las otras dos  $14,5^{\circ}$  a  $55^{\circ}$ , NOAA 18, Viernes 11 de noviembre de 2011, horas 14:20 y 16:00.

Domingo 13 de noviembre de 2011:

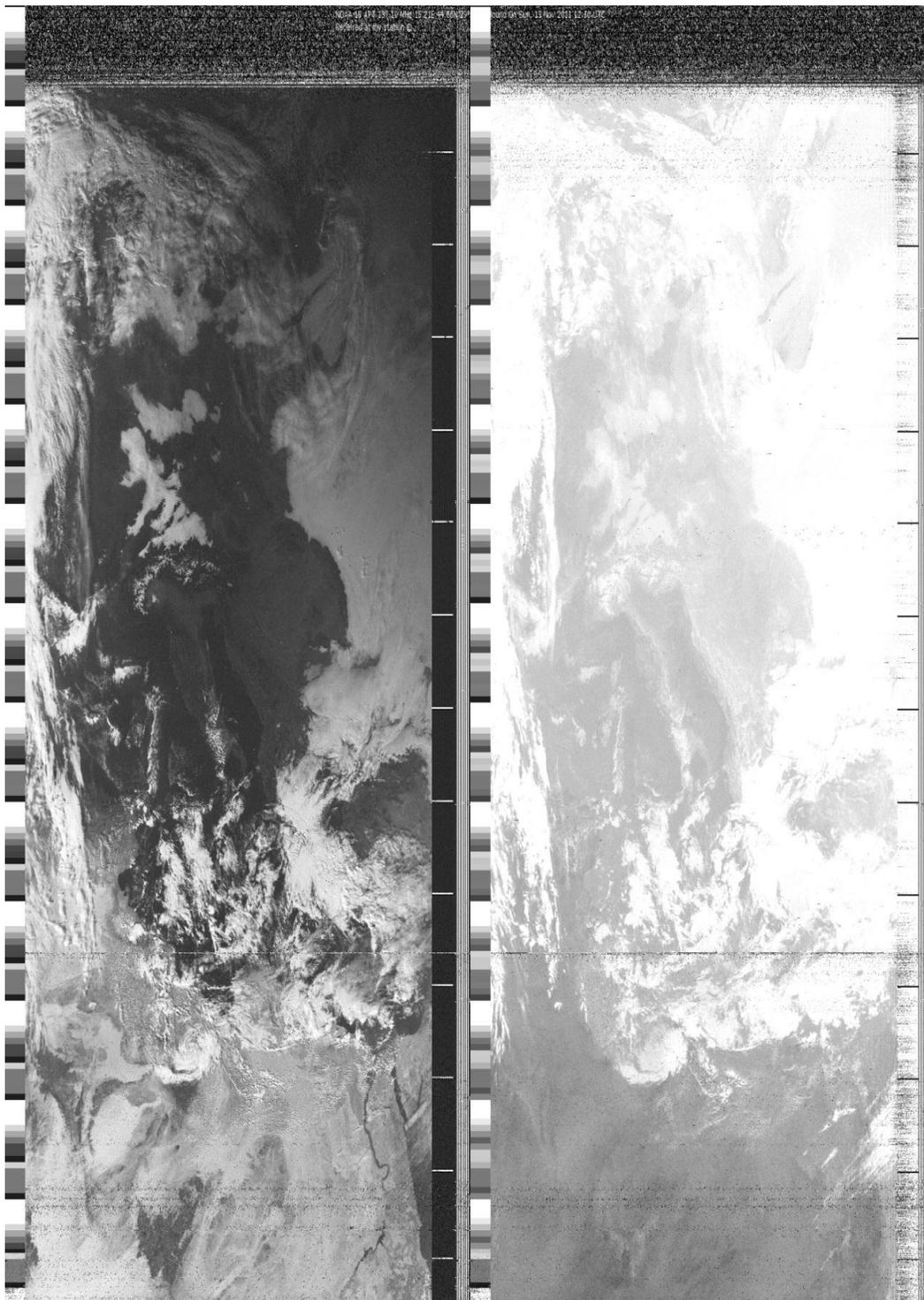


Figura 121. Imagen NOAA 18 recepción antenna DCA diámetro de dos longitudes de onda alta, domingo 13 de Noviembre hora 13:58, estación base Barcelona, España.



Figura 122. Aplicación del APTdecoder para determinar el comienzo y final de la recepción, recepción en latitud  $18^{\circ}$  a  $66^{\circ}$  para la mejor pasada las otras dos  $14^{\circ}$  a  $58^{\circ}$ , NOAA 19, NOAA 18 y NOAA 19, Domingo 13 de noviembre de 2011, horas 12:59, 13:58 y 14:40.