

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Proyecto Fin de Carrera*

**RECEPTOR SATÉLITE DIGITAL PARA LA  
MEDIDA DE LA PROPAGACIÓN EN LAS  
BANDAS Ka Y Q**

(Digital satellite receiver for propagation  
measurements at Ka and Q-band)

Para acceder al Título de

**INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN**

Autor: Félix Cuervo González

Mayo, 2013



E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACION

## INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

### CALIFICACIÓN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

**Realizado por:** Félix Cuervo González

**Director del PFC:** Tomás Fernández Ibáñez

**Título:** “Receptor satélite digital para la medida de la propagación en las bandas Ka y Q”

**Title:** “Digital satellite receiver for propagation measurement at Ka and Q-band“

**Presentado a examen el día:**

para acceder al Título de

## INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Composición del Tribunal:

Presidente (Apellidos, Nombre): Tazón Puente, Antonio

Secretario (Apellidos, Nombre): Fernández Ibáñez, Tomás

Vocal (Apellidos, Nombre): García García, José Ángel

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de: .....

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

Fdo.: El Director del PFC  
(sólo si es distinto del Secretario)

Vº Bº del Subdirector

Proyecto Fin de Carrera Nº  
(a asignar por Secretaría)



# Agradecimientos

---

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a las siguientes personas:

En primer lugar, a D. Tomás Fernández Ibáñez, director de este Proyecto Fin de Carrera, por su apoyo y confianza en mi trabajo.

A todo el personal del Departamento de Espacio y Acústica de JOANNEUM RESEARCH Digital, por su cálida acogida durante mi estancia de prácticas y por permitirme escribir este Proyecto acerca de mi trabajo con ellos; en especial al Dr. D. Michael Schönhuber y al Dr. D. Franz Teschl.

A mi familia y amigos por su apoyo a lo largo de la realización de mis estudios.

# Tabla de contenidos

---

1	Introducción .....	10
1.1	Efectos de la atmósfera sobre la propagación.....	10
1.1.1	Atenuación por gases .....	10
1.1.2	Atenuación por nubes y niebla.....	11
1.1.3	Atenuación por lluvia.....	11
1.1.4	Centelleo troposférico .....	12
1.1.5	Despolarización.....	12
1.2	Experimentos de propagación.....	12
1.2.1	Antecedentes.....	13
1.2.2	La Misión Científica TDP#5 .....	14
1.3	Terminales para el Experimento Científico Alphasat TDP#5 .....	15
2	Requisitos del Receptor .....	16
2.1	Generales .....	17
2.2	Funcionales .....	17
2.3	Rendimiento.....	18
2.4	Parámetros medidos .....	18
2.5	Características físicas .....	19
2.6	Condiciones medioambientales .....	19
3	Diseño técnico e implementación del Receptor .....	19
3.1	Características generales .....	19
3.2	Antena y alimentador .....	20
3.3	Unidad Exterior.....	22
3.3.1	Primera fase de conversión en frecuencia .....	22
3.3.2	Caja del LNB .....	24
3.3.3	Caja Auxiliar.....	25
3.3.4	Cableado .....	26
3.4	Unidad Interior.....	28
3.4.1	Segunda fase de conversión en frecuencia .....	28
3.4.2	Unidad de procesamiento de señal.....	30
3.4.3	Sistema de control y mantenimiento.....	35
3.5	Acceso remoto .....	36
4	Aceptación y verificación del Receptor.....	38
4.1	Emplazamiento para las pruebas de campo.....	39
4.2	Antena y alimentador .....	40
4.3	Unidad Exterior.....	40
4.3.1	Estabilidad de la fuente de alimentación.....	40
4.3.2	Medida de la temperatura .....	40
4.3.3	Estabilidad de la temperatura.....	41
4.3.4	Primera conversión en frecuencia .....	42
4.3.5	Placa Exterior.....	43
4.4	Unidad Interior.....	43
4.4.1	Estabilidad de la fuente de alimentación.....	43
4.4.2	Estabilidad de la temperatura.....	44
4.4.3	Segunda conversión en frecuencia.....	45
4.4.4	Placas Interiores .....	45

4.4.5	Servidor NTP .....	47
4.4.6	PC Procesador .....	48
4.5	Sistema completo .....	49
4.5.1	Estabilidad de la ganancia .....	49
4.5.2	Discriminación de la polarización cruzada.....	50
4.5.3	Niveles y pérdidas .....	51
5	Balance del enlace .....	53
5.1	Cálculo de la figura de ruido .....	53
5.2	Cálculo del rango dinámico .....	54
5.2.1	Relación portadora/ruido .....	54
5.2.2	Ancho de banda de detección del Receptor.....	55
5.2.3	Ancho de banda de ruido equivalente .....	55
5.2.4	Rango dinámico .....	55
6	Operación del Receptor.....	57
7	Conclusión.....	58
7.1	Futuros desarrollos .....	59
8	Apéndices .....	60
8.1	Apéndice A: Segmento espacial del Experimento Científico TDP#5 .....	60
8.2	Apéndice B: Especificaciones del LNB .....	62
8.3	Apéndice C: Listas de componentes .....	63
8.3.1	Caja del LNB .....	63
8.3.2	Caja Auxiliar.....	65
8.3.3	Panel de conectores de la Unidad Interior .....	68
8.3.4	Unidad Interior.....	69
8.3.5	Segunda unidad de conversión en frecuencia.....	72
8.4	Apéndice D: Diagramas de flujo del software de procesado.....	75
8.4.1	Modo de calibración.....	75
8.4.2	Modo de búsqueda .....	75
8.4.3	Modo de medida .....	76
8.5	Apéndice E: Diagramas de flujo del software de control.....	77
8.5.1	Arranque .....	77
8.5.2	Inicialización de la Unidad Interior .....	77
8.5.3	Inicialización de la Unidad Exterior .....	78
8.5.4	Bucle de control principal .....	78
8.6	Apéndice F: Configuración de red .....	79
8.7	Apéndice G: Esquemático del sistema completo.....	80
9	Referencias .....	81

# Tabla de Figuras

---

Figura 1 - Arquitectura general del sistema TDP#5.....	15
Figura 2 - Antena Flyaway .....	21
Figura 3 - Diagrama funcional del LNB.....	23
Figura 4 - Diagrama de bloques de la primera conversión en frecuencia .....	23
Figura 5 - Caja del LNB .....	24
Figura 6 - Pruebas del impacto del peso de la caja del LNB .....	25
Figura 7 - Caja Auxiliar.....	26
Figura 8 - Cableado del Receptor.....	27
Figura 9 - Vistas frontal y trasera de la Unidad Interior.....	28
Figura 10 - Diagrama de bloques de la segunda conversión de frecuencia.....	29
Figura 11 - Divisor de tensión y conexión de los sensores .....	30
Figura 12 - Segunda unidad de conversión en frecuencia .....	30
Figura 13 - Diagrama de bloques de la adquisición de datos .....	31
Figura 14 - Diagrama de estados del software de procesado.....	32
Figura 15 - Archivo PSD .....	33
Figura 16 - Archivo XPD .....	34
Figura 17 - Archivo SC_Dev .....	34
Figura 18 - Archivo SC_Spectrum.....	35
Figura 19 - Pestaña Principal de la Interfaz Web.....	37
Figura 20 - Pestaña de Datos de la Interfaz Web.....	38
Figura 21 - Emplazamiento experimental .....	39
Figura 22 - Puntos de medida (en rojo) a lo largo de la cadena de señal .....	51
Figura 23 - Balance del enlace en banda Ka.....	56
Figura 24 - Balance del enlace en banda Q .....	56
Figura 25 - Primeros resultados experimentales.....	57
Figura 26 - Funciones distribución de las componentes .....	58

# Lista de Acrónimos

---

ADC	Convertor analógico-digital
ASI	Agencia Espacial Italiana
BPE	Error de apuntamiento del haz
C/NO	Relación portadora/ruido
COST	Cooperación Europea en el Campo de la Investigación Científica y Técnica
CPOL	Componente copolar
CW	Onda continua
DDC	Conversión digital en frecuencia
DSP	Procesado digital de la señal
EHF	Frecuencia extremadamente alta
EIRP	Potencia isotrópica radiada equivalente
ESA	Agencia Espacial Europea
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
FFT	Transformada rápida de Fourier
FPGA	Matriz de puertas programables
GPS	Sistema de posicionamiento global
HPBW	Ancho del haz de media potencia
IF	Frecuencia intermedia
ITU-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones
LAN	Red de área local
LED	Diodo emisor de luz
LNB	Bloque de bajo ruido
NTP	Protocolo de tiempo de red
OMT	Transductor de modos ortogonales
PCIe	Bus PCI Express
PLO	Oscilador local programable
PSD	Densidad espectral de potencia
RF	Radiofrecuencia
TDP#5	Carga de Demostración Tecnológica número 5
UPS	Fuente de alimentación ininterrumpida
XPD	Discriminación de la polarización cruzada
XPOL	Componente contrapolar

# Prólogo

---

Título en inglés: “Digital satellite receiver for propagation measurements at Ka and Q-band”

Palabras clave: Comunicaciones por Satélite. Radiopropagación. Receptor de baliza satélite. Desvanecimiento por lluvia. Despolarización. Centelleo.

El presente Proyecto Final de Carrera describe el diseño y desarrollo de un receptor satélite digital llevado a cabo como parte del Proyecto “Terminales Terrestres de Propagación en banda Ka/Q para el Experimento Científico Alphasat TDP#5” con el objetivo de medir diversos aspectos de radiopropagación y comprobar la operatividad del enlace en vista del futuro desarrollo de sistemas de alta capacidad utilizando estas frecuencias.

En el primer capítulo se describen los efectos de la atmósfera sobre la propagación de ondas radioeléctricas. Se introducen los experimentos de propagación, su metodología y objetivos, haciendo referencia a experimentos previos y a la Misión Científica TDP#5, en la que se enmarca el receptor objeto del presente Proyecto.

En los capítulos posteriores se analizan los requisitos del receptor y se describen en detalle su diseño, implementación y verificación.

En el quinto capítulo se realiza el cálculo del balance del enlace del receptor, cubriendo aspectos como la figura de ruido y el rango dinámico.

Por último, en el sexto capítulo se presentan los primeros resultados experimentales obtenidos con la recepción de baliza de banda Ka del satélite Hotbird 6.

## 1 Introducción

La congestión del espectro radioeléctrico ha llevado a los nuevos servicios de comunicaciones de banda ancha por satélite a hacer uso de longitudes de onda milimétricas como la banda Ka (20-30 GHz) y superiores, capaces de soportar el incremento en el volumen de tráfico requerido.

En estas frecuencias, la señal sufre una fuerte degradación al atravesar la atmósfera, debido principalmente a la presencia de gases, nubes y precipitaciones. La clave del éxito de los sistemas que utilicen estas bandas milimétricas residirá en el adecuado modelado de la propagación atmosférica.

Para obtener nuevos conocimientos sobre el rendimiento de estos sistemas se hacen necesarias campañas de medida y caracterización de los diferentes efectos de la atmósfera sobre la propagación. Partiendo de estas medidas se pueden desarrollar nuevos modelos de predicción. Asimismo, mediante los datos experimentales obtenidos pueden validarse los modelos ya existentes, así como proponer mejoras para minimizar el error cometido por estos.

Los receptores de propagación se utilizan para detectar y medir la intensidad de las balizas transmitidas por los satélites. Éstas son a menudo señales continuas no moduladas de baja potencia utilizadas para la orientación de antenas y otras tareas de mantenimiento. Sus características las hacen ideales para la medida de los efectos sobre la propagación [1]. Dadas su frecuencia y potencia constantes, fluctuaciones en la señal recibida pueden atribuirse a fenómenos de propagación. Los receptores miden la potencia recibida y almacenan los valores detectados. Los estudios de la propagación se basan en estas medidas acompañadas de otra información como datos meteorológicos y medidas de radiómetros.

### 1.1 Efectos de la atmósfera sobre la propagación

El efecto de la atmósfera sobre las ondas radioeléctricas que se propagan entre la Tierra y el espacio es una preocupación constante en el diseño de los sistemas de comunicaciones por satélite y el análisis de su rendimiento.

Los distintos efectos, aislados o en combinación, pueden causar variaciones incontroladas de la amplitud, fase, polarización y ángulo de llegada de la señal, lo que provoca una reducción de la calidad en transmisiones analógicas y un aumento de la tasa de error en transmisiones digitales.

La importancia de estos efectos en las comunicaciones por satélite depende de la frecuencia de operación, la climatología y geografía locales, el tipo de transmisión y el ángulo de elevación hacia el satélite. Generalmente, los efectos se vuelven más significativos a medida que aumenta la frecuencia y disminuye el ángulo de elevación.

La naturaleza aleatoria de los fenómenos que afectan a la propagación añade complejidad e incertidumbre al análisis. Estos fenómenos pueden resumirse en:

#### 1.1.1 Atenuación por gases

Las ondas de radio que se propagan por la atmósfera experimentan una reducción en el nivel de la señal debido a los componentes gaseosos presentes en el trayecto de

propagación. La degradación de la señal puede ser reducida o severa, dependiendo de la frecuencia, temperatura, presión, y concentración de vapor de agua. Los gases también afectan a las radiocomunicaciones añadiendo ruido atmosférico al enlace.

El principal mecanismo de interacción entre los componentes gaseosos y las ondas de radio en bandas milimétricas es la absorción molecular del oxígeno y el vapor de agua, que provoca una disminución en el nivel de amplitud de la señal (atenuación). Esta atenuación puede ser muy elevada para frecuencias cercanas a los picos de resonancia de estas moléculas; para frecuencias alejadas, los valores de atenuación por gases son pequeños. En general, la contribución del oxígeno es relativamente constante, mientras que la atenuación por vapor de agua es muy variable.

### **1.1.2 Atenuación por nubes y niebla**

Las nubes y la niebla se componen de minúsculas gotas de agua en suspensión (diámetro inferior a 0.1 mm). En frecuencias milimétricas, la atenuación que provocan depende básicamente de su contenido de agua líquida y su temperatura. Las nubes muy elevadas se componen de cristales de hielo, que no contribuyen sustancialmente a la atenuación de la señal pero pueden causar efectos de despolarización.

La atenuación por niebla es extremadamente baja para frecuencias inferiores a 100 GHz. La densidad de agua líquida en la niebla es típicamente  $0.05 \text{ g/m}^3$  para niebla media (visibilidad en el orden de 300 m) y  $0.5 \text{ g/m}^3$  para niebla densa (visibilidad en el orden de 50 m). Dado que el trayecto total del enlace satélite a través de niebla, incluso para ángulos de elevación bajos, es reducido (del orden de centenas de metros), la atenuación total puede despreciarse en enlaces por debajo de los 100 GHz.

El contenido medio de agua líquida en las nubes varía ampliamente, de los  $0.05$  a los  $2 \text{ g/m}^3$ . Valores de pico superiores a los  $5 \text{ g/m}^3$  han sido observados en grandes cúmulos de nubes asociados con tormentas; sin embargo, estos picos no suelen superar  $1 \text{ g/m}^3$  en cúmulos no tormentosos.

Aunque existen varios modelos para la predicción de la atenuación, sus resultados son inciertos debido a que la caracterización física de las nubes es muy compleja.

### **1.1.3 Atenuación por lluvia**

La presencia de lluvia en el trayecto de transmisión constituye el efecto atmosférico de mayor importancia en las comunicaciones por satélite. Las gotas de agua absorben y dispersan la energía, provocando la reducción de la amplitud de la señal transmitida y degradando la fiabilidad y el rendimiento del enlace. La estructura no esférica de las gotas puede alterar también la polarización de la señal transmitida, provocando la transmisión de la energía de una polarización a otra.

Los efectos de la lluvia dependen de la frecuencia de la señal, la tasa de precipitación, la forma de las gotas y la distribución de su tamaño, y en menor medida, de la temperatura ambiente y la presión.

El desarrollo clásico para la determinación de la atenuación por lluvia se basa en tres asunciones sobre la naturaleza de una onda radioeléctrica propagándose a través de una precipitación [2]:

- La intensidad de la onda decae exponencialmente a medida que se propaga por el volumen de lluvia.
- Las gotas de lluvia se asumen de forma esférica, y tanto dispersan como absorben energía de la onda incidente.
- Las contribuciones de cada gota son aditivas e independientes de las demás.

#### 1.1.4 Centelleo troposférico

El centelleo consiste en rápidas fluctuaciones de los parámetros de la señal transmitida causadas por irregularidades transitorias en el trayecto de transmisión. Los parámetros afectados son la amplitud, la fase, el ángulo de llegada y la polarización. Las rápidas variaciones en el nivel de potencia causadas por el centelleo pueden repercutir negativamente sobre la correcta recepción de la señal.

El centelleo troposférico se debe a fluctuaciones del índice de refracción en los primeros kilómetros de altitud causadas por elevados gradientes de humedad y capas de inversión térmica. Los efectos dependen de las estaciones, y varían de un día para otro con el clima local.

En primera aproximación, la estructura del índice de refracción en la troposfera puede considerarse horizontalmente estratificada, con variaciones en forma de finas capas que cambian con la altitud. Trayectos de señal con ángulos de elevación bajos, y por lo tanto altamente oblicuos a la estructura de capas, son afectados más significativamente por el centelleo.

#### 1.1.5 Despolarización

La despolarización se refiere al cambio en las características de polarización de una onda radioeléctrica causado por:

- Hidrometeoros, principalmente lluvia
- Propagación multicamino

En una onda radioeléctrica despolarizada se transfiere potencia de la polarización deseada a la polarización ortogonal, resultando en interferencia o diafonía entre los dos canales ortogonalmente polarizados.

La despolarización por lluvia y hielo puede ser un problema en bandas de frecuencia superiores a los 12 GHz, particularmente en sistemas de comunicaciones con reutilización de la frecuencia que emplean dos canales independientes polarizados ortogonalmente en la misma frecuencia para aumentar la capacidad de transmisión. La despolarización por propagación multicamino está generalmente limitada a casos con muy bajo ángulo de elevación, y depende de las características de polarización de la antena receptora.

## 1.2 Experimentos de propagación

El conocimiento de los diversos fenómenos atmosféricos que pueden degradar la señal es imprescindible para el correcto diseño de sistemas de comunicaciones por

satélite. Nuevos sistemas de comunicaciones están siendo desarrollados para operar en las bandas Ka y Q/V de cara a proveer servicios a escala global pero la comprobación experimental de la propagación en esas bandas está actualmente limitada a Europa, EEUU y Japón para la banda Ka y alrededor de tres localizaciones en Europa para la banda V [3-8]. Es más, en regiones tropicales, donde las condiciones de propagación atmosférica son más severas que en climas templados, existe una completa falta de mediciones. En consecuencia, la precisión de los modelos de predicción y modelado de canal a escala global es reducida para la banda Ka y aún menor en el caso de las bandas Q/V [9]. Con el objetivo de mejorar la precisión y validar los modelos es necesario llevar a cabo medidas coordinadas a escala continental.

### 1.2.1 Antecedentes

Los primeros experimentos de propagación se llevaron a cabo en Japón en los años 70 y 80 con los satélites ETS-II y ECS y en los Estados Unidos con el ATS-5 y ATS-6. En Europa, los satélites OTS y Sirio permitieron realizar medidas en las bandas Ku y Ka. A continuación se describen brevemente algunas las campañas de propagación más importantes.

En los Estados Unidos, el satélite ATS-5, lanzado en 1969, incluía una baliza a 16.3 GHz. Se acumularon gran cantidad de medidas de la propagación en una docena de localizaciones de Estados Unidos y Canadá [10].

El AT6-6, lanzado en 1974, incluía el NASA Millimeter Wave Propagation Experiment, uno de cuyos objetivos era proporcionar información sobre la propagación atmosférica en la banda Ka, con balizas a 20 y 30 GHz [11].

En los años 80 se realizaron experimentos de propagación con el satélite COMSTAR en la banda 19-31 GHz.

En 1993 fue lanzado el satélite ACTS con balizas a 20 y 27 GHz, permitiendo la realización de medidas desde un gran número de estaciones en Norteamérica durante más de 5 años [12].

En Japón se realizaron experimentos a diferentes frecuencias (20 – 50 GHz) con los satélites CS-2, CS-3 y COMETS [13].

En Europa la investigación en el campo de la propagación se ha canalizado mediante varios proyectos COST (Cooperación Europea en el Campo de la Investigación Científica y Técnica), como el COST 205 [14], el COST 255 [6] y el COST 280 [15]. El satélite Olympus, lanzado en 1989, disponía de 3 balizas (12, 20 y 30 GHz) para experimentos de propagación [16]. A pesar de que algunos problemas en su órbita redujeron drásticamente su tiempo de vida, se llevaron a cabo medidas en unos 50 observatorios, mayoritariamente en Europa occidental. Las medidas fueron coordinadas por el grupo OPEX [3-5].

El satélite ITALSAT fue lanzado en 1991 y permaneció en servicio hasta enero de 2001. Incorporaba 3 balizas (20, 40 y 50 GHz) [6,17]. Las balizas de 40 y 50 GHz estaban disponibles en el suroeste de Europa. Se realizaron medidas en más de 10 emplazamientos, coordinadas por el organismo CEPIT.

### 1.2.2 La Misión Científica TDP#5

La explotación de bandas de EHF (Frecuencia extremadamente alta: 30 – 300 GHz) para la transmisión de banda ancha en enlaces de comunicaciones por satélite es una materia de estudio muy interesante hoy en día. En particular, sistemas “más allá de la banda Ka” como los de banda Q/V (40 – 75 GHz) y banda W (75 – 110 GHz) ofrecen perspectivas muy prometedoras [18-19].

La carga tecnológica TDP#5 irá alojada como carga adicional a bordo del satélite Alphasat (siendo la carga principal de naturaleza comercial) y ha sido desarrollada por la Agencia Espacial Italiana (ASI) como contribución al proyecto Alphasat, llevado a cabo por la Agencia Espacial Europea (ESA) dentro del marco del programa de telecomunicaciones ARTES 8.

La misión científica TDP#5 (Carga de Demostración Tecnológica número 5) comenzará en la segunda mitad de 2013 y proporcionará la oportunidad de realizar por primera vez un experimento combinado de propagación y comunicaciones en un enlace satélite en banda Q/V.

El experimento de propagación, compuesto de dos balizas operando en bandas Ka y Q (19.7 GHz y 39.4 GHz respectivamente) se centra en la mejora de la caracterización de los efectos de propagación de comunicaciones por satélite. Los objetivos del experimento son:

- El cálculo de los estadísticos de primer y segundo orden de la atenuación a las frecuencias 19.7 GHz (banda Ka) y 39.4 GHz (banda Q).
- La recopilación de medidas de la despolarización y el ruido atmosférico.
- El estudio de la correlación entre los parámetros medidos en los experimentos de comunicaciones y propagación.
- La adquisición de medidas meteorológicas (pluviómetros, radiómetros, radares y satélites meteorológicos, etc.).
- El desarrollo de modelos de predicción para ser enviados a cuerpos reguladores internacionales como el ITU-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones), el ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones), etc.
- La oportunidad de cooperación entre diversos experimentadores europeos, inherente a la naturaleza multisitio del experimento.

La arquitectura del sistema para el experimento TDP#5 estará compuesta de tres segmentos: Segmento Espacial, Segmento de Misión y Segmento de Estaciones Terrestres; siendo el receptor satélite objeto del presente Proyecto Final de Carrera uno de los Terminales Terrestres de Propagación (Receptores).

La arquitectura funcional completa se muestra en la siguiente figura:

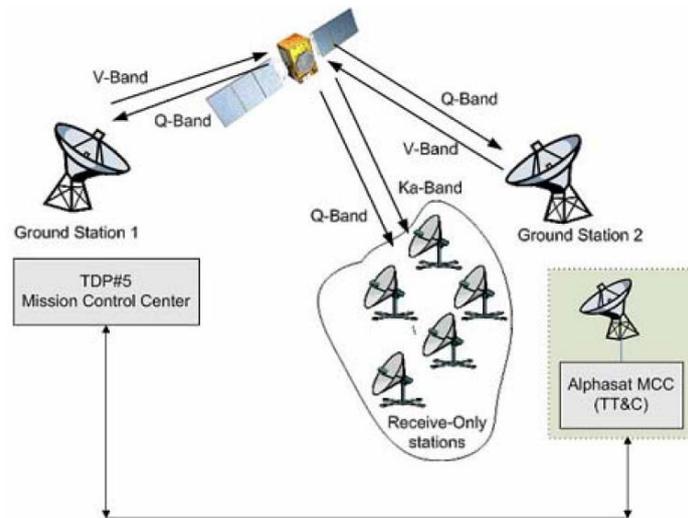


Figura 1 - Arquitectura general del sistema TDP#5

Las características del Segmento Espacial se resumen en el Apéndice A.

### 1.3 Terminales para el Experimento Científico Alphasat TDP#5

El presente Proyecto Final de Carrera describe el diseño, implementación, verificación y primeros resultados experimentales de un receptor satélite digital desarrollado en el marco del Proyecto “Terminales Terrestres de Propagación en banda Ka/Q para el Experimento Científico Alphasat TDP#5”. El objetivo de esta actividad es diseñar y construir terminales de propagación para la recepción de las señales de banda Ka y Q transmitidas por el satélite Alphasat y contribuir con las medidas efectuadas por los mismos a las bases de datos experimentales utilizadas para el modelado de la propagación a estas frecuencias.

Las balizas serán coherentes en frecuencia y estarán disponibles a partir de la segunda mitad de 2013 por un periodo de 3 a 5 años. También existen en la actualidad varias balizas de banda Ka disponibles a nivel mundial (e.g. baliza del satélite Hotbird 6 en Europa, utilizada para la realización de medidas durante la fase experimental del desarrollo del receptor).

Los terminales deberán operar en localizaciones remotas con poco o ningún mantenimiento in situ, por lo que la fiabilidad de los equipos es de la máxima importancia. Estos terminales deberán ser capaces de realizar medidas de los parámetros de propagación de forma síncrona en diferentes localizaciones distribuidas a lo largo de una extensa región (i.e. nacional o continental), con una frecuencia de muestreo suficiente para la adecuada caracterización de la atenuación por lluvia y el centelleo troposférico.

## 2 Requisitos del Receptor

Cuando se diseña un nuevo sistema, la primera consideración a tener en cuenta es su utilidad, es decir, su funcionalidad y los resultados que debería proporcionar. La presente actividad tiene como objetivo el diseño y fabricación de un terminal terrestre de medida de la propagación para operar con el satélite Alphasat, es decir, un receptor de baliza de frecuencia dual y polarización dual, referido a partir de ahora como el Receptor.

Los requisitos básicos para el diseño apuntan a un sistema seguro, fiable, compacto, modular, rentable y versátil. Estos aspectos se discuten en los siguientes párrafos.

- Seguridad:

Cuando se diseña un instrumento prototipo destinado a operar al aire libre, la principal prioridad es la seguridad. El diseño debe tener en cuenta las medidas de seguridad necesarias para evitar posibles daños eléctricos.

- Fiabilidad:

Los estadísticos de los datos de propagación constituyen uno de los resultados más importantes. Esto conlleva la necesidad de operación continuada del sistema, que sólo puede conseguirse utilizando componentes altamente fiables.

La fiabilidad de las medidas requiere además un estado de calibración estable, que depende de un adecuado análisis del funcionamiento del sistema y la disponibilidad de medios para la auto calibración.

Teniendo en cuenta la posibilidad de un emplazamiento remoto, el requisito de operación fiable se vuelve aún más crítico, ya que interrupciones no deseadas de la actividad podrían prolongarse durante varios días hasta la próxima visita de mantenimiento.

- Sistema compacto:

Aspectos fundamentales de cara la manejabilidad del sistema son su peso y tamaño. Un sistema voluminoso puede conllevar elevados costes de transporte y operación (refrigeración o calentamiento) y limitar las posibilidades de instalación.

El receptor a diseñar deberá constituir un sistema compacto, fácil de manejar, idealmente sin necesidades de calentamiento y con bajos costes de refrigeración.

- Sistema modular:

El Receptor deberá ser tan modular como sea posible. De este modo el sistema podrá desmontarse fácilmente para el transporte; en caso de fallo tan sólo el módulo afectado deberá ser sustituido; y posibles actualizaciones podrían afectar a solo uno de los módulos.

- Sistema versátil:

Los efectos sobre la propagación dependen en gran medida de las condiciones atmosféricas y otros parámetros medioambientales. Es importante que el sistema, dada su utilidad experimental, esté diseñado para ser empleado bajo cualquier condición climática.

El Receptor deberá ser capaz de soportar condiciones climáticas extremas, tanto en climas fríos como calientes.

- Relación calidad/precio:

El Receptor deberá constituir un sistema de medida de elevada precisión. Componentes para dicha aplicación no suelen estar disponibles a gran escala, y los precios varían considerablemente de unos proveedores a otros.

El diseño deberá ofrecer una excelente relación calidad/precio, con un precio final razonable que posibilite las mejores especificaciones posibles.

Los requisitos específicos pueden agruparse en generales, funcionales, rendimiento, parámetros medidos, características físicas y condiciones medioambientales.

## 2.1 Generales

Los requisitos generales apuntan a un diseño eminentemente práctico (modularidad, uso de protocolos estándar, etc.). Los requisitos de carácter general son:

- El sistema deberá estar compuesto por al menos tres unidades principales: el terminal, un sistema de control local y un sistema de control remoto.
- El Receptor deberá ser capaz de realizar las medidas con el rango dinámico y precisión requeridos dada la localización y estrategia de control de órbita del satélite Alphasat [Apéndice A].
- Tanto el sistema de control local como el remoto deben estar basados en arquitectura INTEL CPU y en herramientas de desarrollo de software estándar C/C++.
- La comunicación entre los sistemas de control local y remoto debe llevarse a cabo utilizando sistemas de comunicación estándar como UMTS/GSM/GPRS y protocolos de internet TCP/IP.

## 2.2 Funcionales

La funcionalidad del sistema deberá permitir el total aprovechamiento de la información contenida en las balizas transmitidas por el satélite Alphasat.

- El Receptor deberá posibilitar dos frecuencias de adquisición: normal (1 muestra/s) y rápida (20 muestras/s).
- El reloj del sistema deberá obtenerse de un servidor GPS o NTP.
- El Receptor deberá ser capaz de controlar y mantener autónomamente la temperatura interna de operación del sistema.
- Todas las mediciones y parámetros de mantenimiento del sistema (e.g. voltajes de las fuentes de alimentación, temperaturas internas, registros de estado) deberán conservarse en un medio de almacenamiento interno durante al menos 3 meses.
- El sistema de adquisición de datos local deberá ser capaz de comunicar al menos dos veces al día con el sistema de control remoto para transmitir las mediciones y los parámetros de mantenimiento del sistema.

## 2.3 Rendimiento

Los requisitos de rendimiento perfilan un instrumento fiable y preciso, a la vez que intentan mantener una relación calidad/precio razonable. El rendimiento del sistema deberá ser verificado mediante una campaña de pruebas exterior.

- La Temperatura de ruido del receptor no deberá superar los 400 K en banda Ka y los 600 K en banda Q.
- La disponibilidad del enlace deberá ser del 99.9 % del año en la zona de cobertura del satélite.
- Con relación a la fiabilidad, el tiempo medio entre fallos del Receptor, incluyendo éste la tasa media de fallos y el tiempo medio de reparación, deberá permitir un periodo medio de operación del 99.99 % del año durante la duración nominal del Experimento Científico Alphasat TDP#5 (3 años).
- La relación portadora/ruido (C/N) mínima será 5 dB.
- El ancho de banda del Receptor será 1 KHz.
- El ancho del haz de media potencia (HPBW) de la antena del Receptor deberá ser inferior a  $0.7^\circ$  en banda Ka y  $0.55^\circ$  en banda Q.
- La discriminación de polarización cruzada (XPD) de la antena deberá ser superior a 30 dB.
- La ganancia la antena deberá ser de 40 dBi, con eficiencia superior al 60 %.
- El diámetro del reflector de la antena no deberá superar los 1.5 m.
- El error de apuntamiento de la antena deberá ser inferior a  $0.06^\circ$  con viento de velocidad constante 90 Km/h.

## 2.4 Parámetros medidos

El Receptor deberá detectar las balizas del Experimento Científico Alphasat TDP#5 y medir los siguientes efectos sobre la propagación: atenuación atmosférica total ( $A_{tot}$ ), discriminación de polarización cruzada atmosférica (XPD), espectro del centelleo troposférico ( $Sc_{spec}$ ), y desviación estándar del centelleo troposférico ( $Sc_{stddev}$ ).

- La atenuación atmosférica total,  $A_{tot}$  (dB), deberá ser medida a las frecuencias de las balizas e incluirá la atenuación por gases, nubes y lluvia; y los desvanecimientos por centelleo. La frecuencia de muestreo deberá ser 1 muestra/s. La precisión deberá ser de 0.1 dB en el rango 0.1 - 20 dB.
- La discriminación de polarización cruzada atmosférica, XPD (dB), es la relación entre las componentes copolar y contrapolar recibidas cuando sólo una polarización es transmitida. La frecuencia de muestreo deberá ser 1 muestra/s. La precisión deberá ser de 0.3 dB en el rango 10 - 30 dB.
- El espectro del centelleo troposférico,  $Sc_{spec}$ , deberá poder calcularse usando tanto la frecuencia de adquisición: normal (1 muestra/s) como la rápida (20 muestras/s).
- La desviación estándar del centelleo troposférico,  $Sc_{stddev}$ , deberá ser calculada en periodos de 1 min.

## 2.5 Características físicas

Las características físicas del Receptor son relevantes de cara a su transporte y facilidad de montaje y uso.

- El peso total del Receptor no deberá exceder los 350 Kg.
- El sistema deberá poder almacenarse para su envío en una caja de dimensiones 180x180x100 cm.
- La distancia entre el Receptor y el sistema de control local deberá poder ser de hasta 30 m.

## 2.6 Condiciones medioambientales

El Receptor deberá ser capaz de operar en cualquier tipo de clima Europeo.

- El rango de temperatura de operación deberá ser  $-40\dots45^{\circ}\text{C}$  y el rango de temperatura de supervivencia  $-50\dots50^{\circ}\text{C}$ .
- La velocidad del viento máxima de operación deberá ser 90 Km/h y la velocidad del viento máxima de supervivencia 140 Km/h.
- El rango de humedad relativa de operación deberá ser  $0\dots99\%$ .
- El sistema de control local estará localizado en un entorno cerrado con temperatura y humedad relativa controladas.

## 3 Diseño técnico e implementación del Receptor

En las siguientes secciones se presentan las conclusiones extraídas del estudio de los requerimientos previamente establecidos para el Receptor y se describe el diseño desarrollado.

Se consideraron varias opciones de diseño con diferentes características técnicas de los subsistemas en lo relativo a operación de la antena, conversión en frecuencia, frecuencias de referencia, comunicaciones entre componentes, etc. y se ponderaron las ventajas e inconvenientes de cada una.

El sistema a diseñar es un receptor de balizas de banda dual. Durante la fase de diseño se tuvo en cuenta la posibilidad de una futura demanda de terminales personalizados, e.g. de banda única, por lo que también se consideró este diseño pero no será descrito en el presente documento.

### 3.1 Características generales

- El sistema es modular y está compuesto por tres partes principales: Antena, Unidad Exterior y Unidad Interior.
- La primera conversión en frecuencia se efectúa en el bloque de bajo ruido (LNB) de cuatro canales fabricado a medida por ACORDE. Dicho bloque se

encuentra situado en una caja sellada equipada con elementos reguladores de la temperatura.

- Los elementos auxiliares de la Unidad Exterior como fuentes de alimentación, concentrador Ethernet y placa microcontroladora están alojados en una segunda caja situada tras el reflector de la antena.
- Un servidor de tiempo NTP con reloj de referencia GPS se utiliza para registrar temporalmente las medidas y generar la frecuencia de referencia de 10 MHz.
- Todos los dispositivos se controlan por medio del estándar Ethernet. Tres placas microcontroladoras sirven de interfaz de red para los sensores y actuadores.
- El control remoto se proporciona a través de la Interfaz Web del Receptor. Esta interfaz permite el acceso a las medidas y registros de estado a un grupo de usuarios autorizados. El administrador del sistema puede además configurar, diagnosticar y resolver posibles incidencias mediante el conjunto de acciones de control y mantenimiento disponibles.
- Se planea añadir en un futuro los siguientes elementos al sistema:
  - Instrumento posicionador para controlar el ángulo de elevación de la antena.
  - Estación meteorológica para registrar los parámetros climatológicos y establecer la correlación con los efectos de propagación medidos.
- El sistema puede equiparse con los siguientes elementos adicionales:
  - Fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) opcional para permitir el apagado seguro del sistema en caso de corte del suministro eléctrico.
  - Radiómetro opcional para registrar la temperatura de brillo de la atmósfera, relacionada con la atenuación en el trayecto.

### 3.2 Antena y alimentador

Generalmente, antenas de grandes dimensiones son capaces de recibir más potencia y proporcionan una mejor relación portadora/ruido. Sin embargo, a frecuencias elevadas dichas antenas presentan lóbulos muy estrechos, lo que puede suponer un problema en experimentos de propagación debido a los movimientos del satélite en su posición orbital. Si el lóbulo principal de la antena es demasiado estrecho, es posible que se observen fluctuaciones en el nivel de señal debido al desplazamiento del satélite cerca de los bordes del lóbulo. Por otro lado, si la antena es muy pequeña, la relación portadora/ruido podría no ser suficiente para permitir la medida durante fenómenos de atenuación. Para la elección de las dimensiones de la antena se ponderaron la razón portadora/ruido deseada, el ancho del lóbulo principal y la estabilidad de apuntamiento.

$$HPBW = \frac{70\lambda}{d} [^\circ]$$

Las especificaciones de la antena para cumplir con los requisitos establecidos para el Receptor son:

- Directividad > 40 dBi
- Eficiencia > 60 %
- Ancho del haz de media potencia (HPBW) < 0.7 °
- Discriminación de la polarización cruzada (XPD) > 30 dB

La antena de tipo offset fabricada por TEMIX proporciona la suficiente ganancia y discriminación de la polarización cruzada a las frecuencias de operación de 19.704 GHz (banda Ka) y 39.402 GHz (banda Q) con un ancho de banda de 1 KHz.

Presenta polarización lineal vertical a 19.704 GHz y polarización lineal a 45° a 39.402 GHz. El alimentador está equipado con un transductor de modos ortogonales (OMT) para separar las polarizaciones vertical y horizontal y presenta cuatro salidas adaptadas a guía de onda (dos WR-42 a 19.704 GHz y dos WR-28 a 39.402 GHz).

El reflector tipo Flyaway de 120 cm de diámetro está fabricado a partir de fibra de carbono para soportar condiciones ambientales extremas sin sufrir deformaciones en su superficie. Puede separarse en tres partes y almacenarse en un contenedor especial para su transporte.

Un trípode desmontable de aluminio sostiene la antena, el brazo del alimentador y las dos cajas que componen la Unidad Exterior. Todos los elementos pueden instalarse a mano por un solo operario en pocos minutos sin la ayuda de herramientas.

La localización exacta del satélite será adquirida del servidor Alphasat Ephemeris vía internet. Un dispositivo posicionador se utilizará para controlar la elevación de la antena. No está previsto posicionamiento en azimut ya que el movimiento del satélite no será crítico en esa dirección.

Dado que la baliza de banda Q no estará disponible hasta después del lanzamiento del satélite Alphasat en la segunda mitad de 2013, para la fase de verificación del Receptor se utilizó un alimentador provisional para una sola banda (Ka).

En el momento de escribir este Proyecto, la Antena se encuentra en las instalaciones del fabricante para la instalación del alimentador de banda ancha dual (bandas Ka y Q) y el sistema posicionador en elevación.

La siguiente imagen muestra la antena montada con el alimentador y las dos cajas de la Unidad Exterior:



**Figura 2 - Antena Flyaway**

### 3.3 Unidad Exterior

La Unidad Exterior realiza el acondicionamiento y primera conversión en frecuencia de las señales radioeléctricas recibidas. Se encuentra situada junto a la antena y transmite las señales convertidas a la primera frecuencia intermedia ( $IF1 = 1 \text{ GHz}$ ) a la Unidad Interior por cable en cuatro canales, copolar (CPOL) y contrapolar (XPOL) para cada banda (Ka y Q). Además, proporciona la interfaz Ethernet que permite al PC Controlador (situado en la Unidad Interior) adquirir los datos de mantenimiento (temperaturas, niveles de tensión, etc.) y controlar diversos actuadores. Por último, proporciona un medio de distribución de la alimentación y comunicación con elementos auxiliares colocados en la vecindad de la antena (sistema posicionador, estación meteorológica y radiómetro opcional).

La unidad exterior está constituida por dos cajas con grado de protección IP67 termalmente controladas. Una de las cajas, situada en el brazo del alimentador de la antena, aloja el LNB y está equipada con dispositivos reguladores de la temperatura (ventiladores y almohadillas térmicas) controlados por un termostato. La segunda caja contiene los elementos auxiliares: fuentes de alimentación, convertidor de tensión, placa microcontroladora, hub Ethernet y sensores de temperatura.

#### 3.3.1 Primera fase de conversión en frecuencia

Los convertidores Analógico – Digital (ADC) al final de la cadena de señal del Receptor presentan limitaciones en frecuencia, ancho de banda y rango dinámico. Es por esto que la señal de radiofrecuencia captada por la antena necesita ser acondicionada.

El propósito del frente analógico del Receptor es amplificar y transformar la señal recibida a un nivel de voltaje y frecuencia aceptables para el sistema de adquisición del PC Procesador.

En la primera fase de conversión en frecuencia se convierten las balizas de banda Ka y Q a banda L (1 GHz). Se lleva a cabo en el LNB montado en la propia estructura de la antena, en el brazo del alimentador, para evitar las elevadas pérdidas que sufrirían en las guías de onda las señales a las frecuencias de las balizas (19.704 GHz y 39.402 GHz). La primera frecuencia intermedia ( $IF1$ ) es 1001 MHz para la baliza de banda Ka y 1002 MHz para la baliza de banda Q.

El LNB fabricado a medida por ACORDE [22] para este proyecto posee cuatro canales para las componentes copolar y contrapolar de las balizas, fue diseñado para proporcionar una gran estabilidad de la ganancia en el rango de temperatura de operación (20 - 40° C) y contiene una interfaz de comunicación TCP/IP para monitorizar la temperatura, consumo de corriente y estado de sincronización del oscilador.

La siguiente figura muestra el diagrama funcional del LNB:

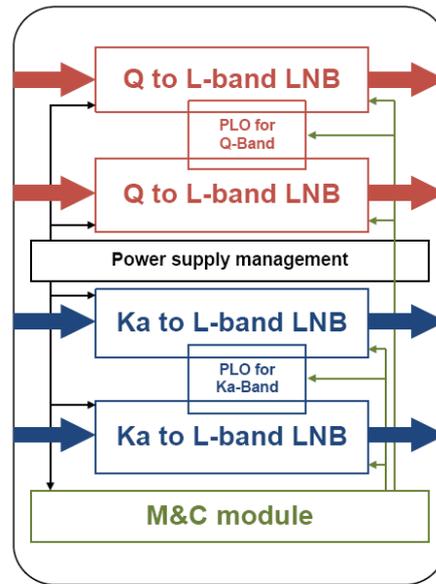


Figura 3 - Diagrama funcional del LNB

El LNB contiene para cada canal (i.e. cada polarización ortogonal de cada una de las dos balizas) un amplificador de bajo ruido, un filtro paso banda y un mezclador con el oscilador local sincronizado con la frecuencia de referencia de 10 MHz.

Las señales provenientes de la antena son amplificadas y filtradas antes de ser convertidas en frecuencia. Gracias a tener un amplificador de elevada ganancia y bajo ruido directamente a la salida de la antena el factor de ruido del sistema se mantiene bajo. La siguiente ecuación muestra la importancia de la primera fase de amplificación para el factor de ruido total de una cascada de componentes, donde  $F_i$  y  $G_i$  son el factor de ruido y la ganancia del  $i$ -ésimo componente de la cascada. Como se puede ver, si  $G_1$  es suficientemente grande, las contribuciones del resto de componentes son despreciables:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 G_2 \dots G_{N-1}} \approx F_{LNB} + \frac{F_{resto} - 1}{G_{LNA}}$$

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \quad NF = 10 \log(F)$$

La siguiente figura muestra el diagrama de bloques de cada canal:

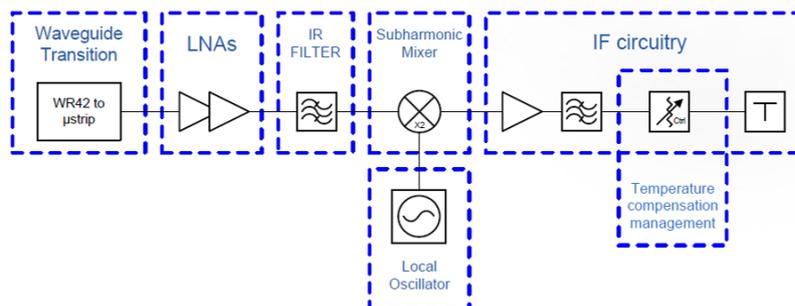


Figura 4 - Diagrama de bloques de la primera conversión en frecuencia

Las especificaciones comprobadas del LNB pueden encontrarse en el Apéndice B.

### 3.3.2 Caja del LNB

El LNB se encuentra alojado junto con los elementos de control térmico (termostato, ventiladores y almohadillas térmicas) en una caja de aluminio de 2 mm de grosor con acabado de pintura electrostática blanca para unas mejores propiedades térmicas.

La caja se encuentra sellada para evitar la entrada de agua y partículas de polvo.

Para conseguir una ventilación adecuada el LNB se sitúa sobre dos raíles con tuercas correderas que permiten ajustar el centro de gravedad.

La caja presenta varias perforaciones para las conexiones del LNB y los elementos auxiliares: cuatro en un lado para las guías de onda de las balizas y seis en el lado opuesto para los cables de salida de las señales a frecuencia intermedia, el cable de la frecuencia de referencia y el de alimentación y comunicación.

La caja se encuentra montada en la estructura de la antena en el mismo eje que el alimentador y permite una rotación de hasta 45° para el alineamiento con la componente polar de la baliza.

La siguiente imagen muestra la disposición de los componentes en el interior de la caja del LNB:

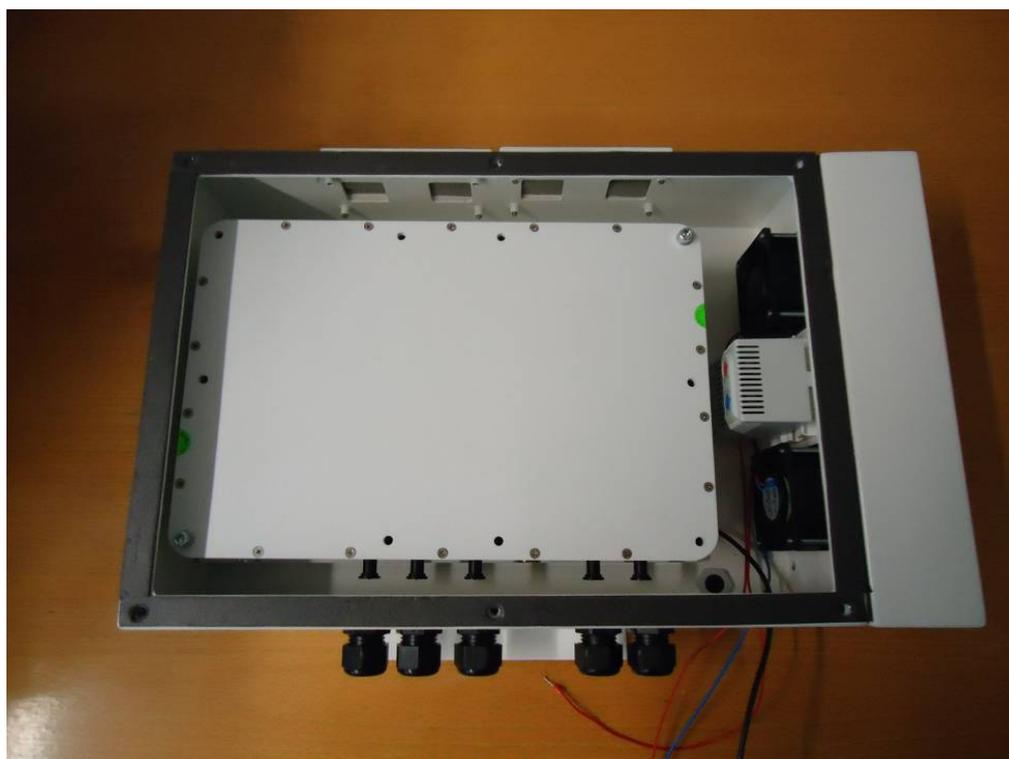


Figura 5 - Caja del LNB

Una descripción detallada de todos los componentes utilizados puede encontrarse en el capítulo 8.3.1

Una vez recibidas todas las partes y comenzado el proceso de ensamblaje, el equipo del proyecto calló en la cuenta de la repercusión negativa que el excesivo peso de la caja del LNB tenía sobre la estabilidad de la antena.

La estabilidad mecánica del Receptor es fundamental para la precisión de las medidas de los efectos de propagación. Como se indicó en los requerimientos, deberán poder soportarse vientos de hasta 90 Km/h con un error de apuntamiento inferior a 0.06°.

Al encontrarse la caja situada sobre el brazo del alimentador, tanto el viento como la futura utilización del instrumento posicionador en elevación podrían provocar vibraciones e incluso deformaciones del reflector, causando desalineamientos entre las antenas del Receptor y el satélite.

En consecuencia, se decidió utilizar una cubierta metálica de menor grosor (1.5 mm) y raíles más cortos para el montaje del LNB, consiguiendo reducirse el peso de la caja de 2970 g a 2160 g.

Se llevaron a cabo pruebas de simulación en las instalaciones del fabricante (TEMIX) para cuantificar los efectos del peso de la caja sobre las características de la antena (ganancia, eficiencia, HPBW, XPD) y se concluyó que éstos eran aceptables [21].

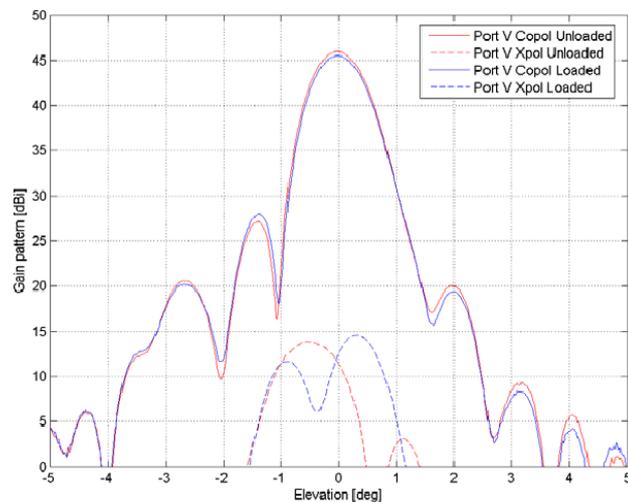


Figure 31: Elevation cut (Zoom) – Gain pattern @ 19.705 GHz. Comparison between not loaded and loaded case.

Figura 6 - Pruebas del impacto del peso de la caja del LNB

También se contactó con el fabricante del LNB (ACORDE) para consultar si sería posible reducir su peso en futuras unidades del Receptor (como la que se encuentra actualmente en proceso de fabricación para el Centro Nacional de Estudios Espaciales francés: CNES). El peso del LNB ha podido reducirse en 500 g en la segunda unidad utilizando una fuente de alimentación diferente.

### 3.3.3 Caja Auxiliar

Todos los elementos auxiliares de la Unidad Exterior se encuentran alojados en denominada Caja Auxiliar situada tras el reflector de la antena. Esta caja está fabricada a partir de aluminio de 4 mm de grosor, tiene dimensiones 403x310x110mm, y contiene las fuentes de alimentación de 15 y 24 VDC, el convertidor de tensión de 24 a 9 VDC, la placa microcontroladora, el hub Ethernet y los sensores de temperatura.

La siguiente imagen muestra la disposición de los componentes en el interior de la caja:

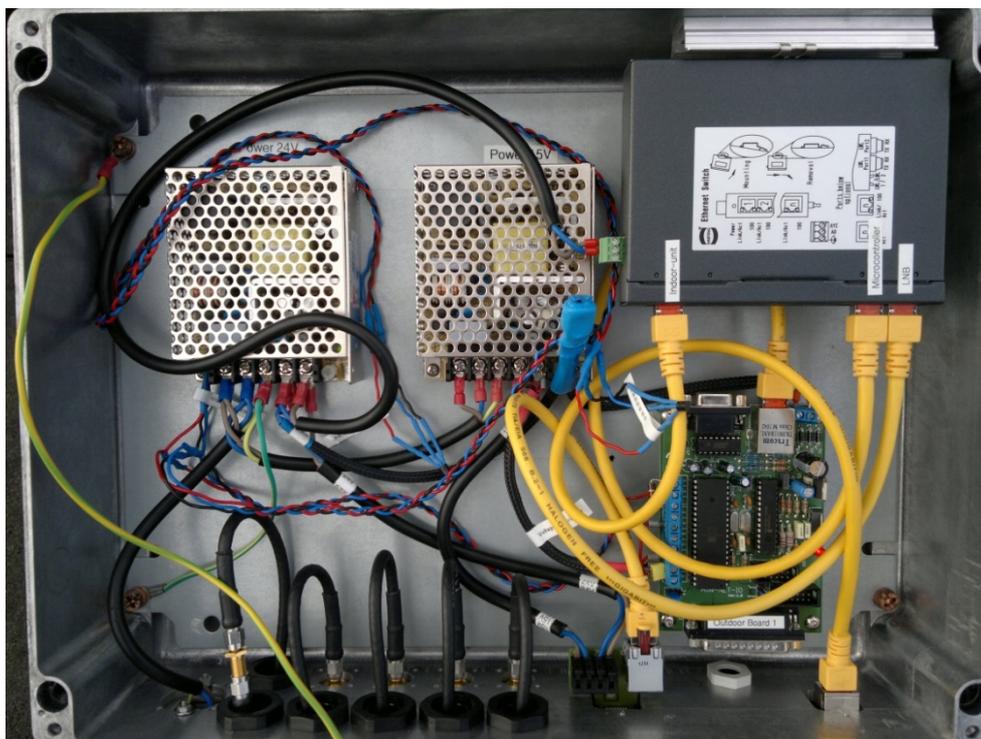


Figura 7 - Caja Auxiliar

Una descripción detallada de todos los componentes utilizados puede encontrarse en el capítulo 8.3.2.

La placa microcontroladora, denominada Placa Exterior, se alimenta de la fuente de 24 V (a través del convertor de tensión a 9 V) y está equipada con un microcontrolador ATmega644. Sus funciones son monitorizar la temperatura de la Caja Auxiliar y el voltaje suministrado al LNB y comunicar estos valores por Ethernet al PC Controlador de la Unidad Interior. Para ello hace uso de 3 sensores de temperatura digitales conectados en bus de un hilo y una de sus entradas analógicas.

### 3.3.4 Cableado

Para garantizar una conexión estable entre las dos cajas de la Unidad Exterior así como entre las Unidades Exterior e Interior, se utilizaron componentes con resistencia a los rayos ultravioleta y clase de protección IP67.

Para facilitar la instalación y manipulación y evitar daño de los equipos en caso de que se produjeran excesivas tensiones mecánicas, se decidió instalar un panel adicional en la parte trasera de la Unidad Interior con conectores para todos los cables procedentes de la Unidad Exterior. [Figura 9]

Una descripción detallada de todos los componentes utilizados puede encontrarse en el capítulo 8.3.3.

A continuación se muestra el esquema del cableado del Receptor:

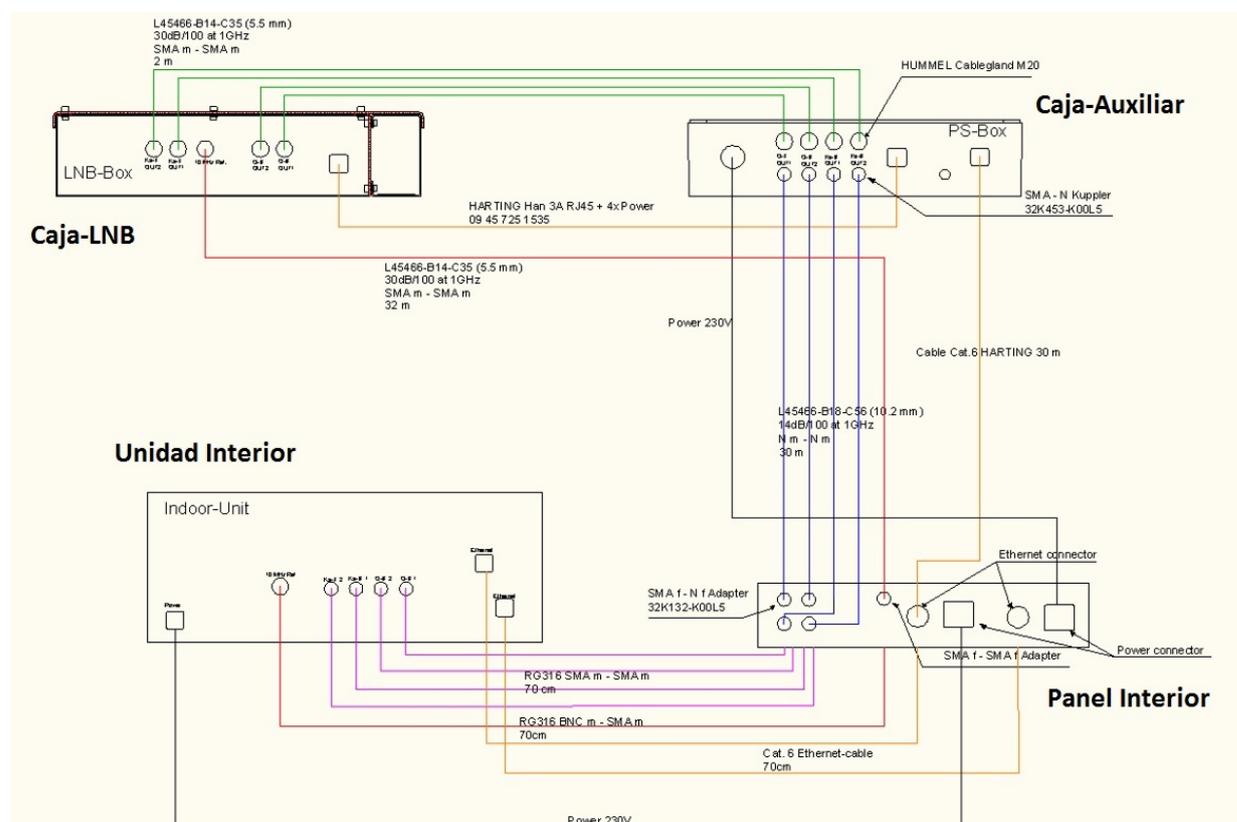


Figura 8 - Cableado del Receptor

En la siguiente tabla se resumen las características de los cables:

Cable / Proveedor	Ø	Atenuación	Conectores	Long.	Conexión
Alimentación + RJ45 Harting 09 45 725 1535			HAN 3A metal	3 m	Caja-LNB - Caja-Aux.
RF IF1 (4x) Krenn HF-Technik L45466-B14-C35	5.5 mm	30 dB/100 m a 1 GHz	SMA m – SMA m	2 m	Caja-LNB - Caja-Aux.
RF IF1 (4x) Krenn HF-Technik L45466-B18-C56	10.2 mm	14 dB/100 m a 1Ghz	N m – N m	30 m	Caja-Aux. - P. Interior
Referencia 10 MHz Krenn HF-Technik L45466-B14-C35	5.5 mm	30 dB/100 m a 1 GHz	SMA m – SMA m	32 m	Caja-LNB – P. Interior
Cable Alimentación Seitner & Bittmann	9 mm		HAN 3	32 m	P. Interior - Caja-Aux.
Cable Industrial Ethernet RS-Comp. 666-3900	6.9 mm	3 dB/100 m a 1Mhz	RJ45 – RJ45	30 m	P. Interior - Caja-Aux.
RF IF1 (4x) Krenn HF-Technik RG 316	0.51 mm	100 dB/100 m a 1 GHz	SMA m – SMA m	50 cm	P. Interior - U. Interior
Referencia 10 MHz Krenn HF-Technik RG 316	0.51 mm	100 dB/100 m a 1 GHz	SMA m – BNC m	50 cm	P. Interior - U. Interior
Cable Ethernet Cat 6			RJ45 – RJ45	100 cm	P. Interior - U. Interior

### 3.4 Unidad Interior

La Unidad Interior contiene la segunda fase de conversión en frecuencia, el PC Procesador, el servidor de tiempo NTP y el PC Controlador. Un armario rack para uso interior aloja los dispositivos y conexiones. Las siguientes imágenes muestran la Unidad Interior montada:



Figura 9 - Vistas frontal y trasera de la Unidad Interior

Una descripción detallada de los dispositivos de la Unidad Interior puede encontrarse en el capítulo 8.3.4.

#### 3.4.1 Segunda fase de conversión en frecuencia.

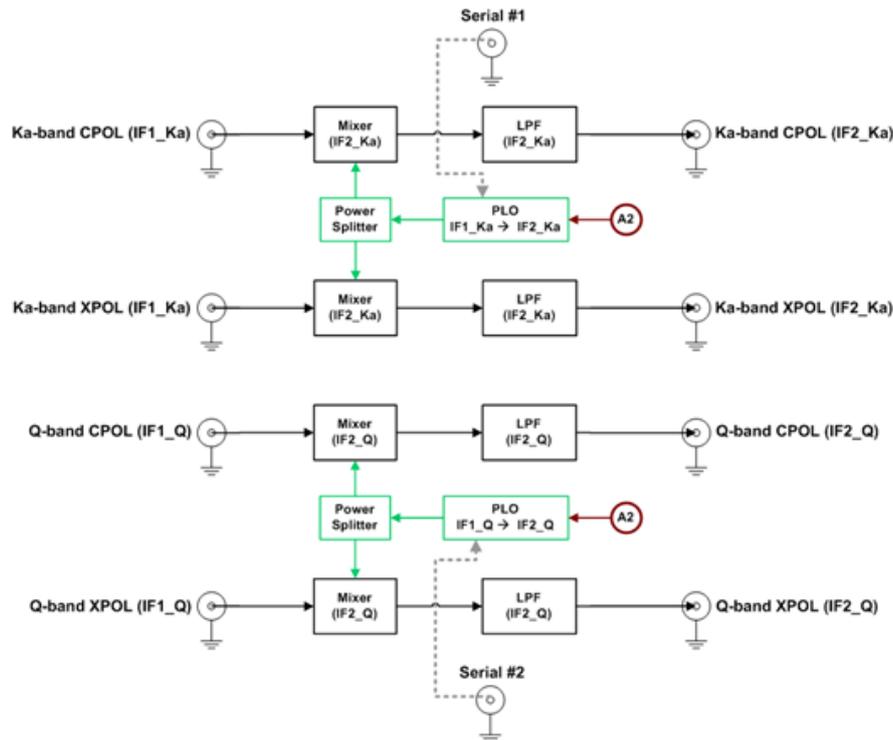
En la segunda fase de conversión en frecuencia, llevada a cabo en la Unidad Interior, las señales recibidas pasan de la primera frecuencia intermedia ( $IF1 = 1 \text{ GHz}$ ) a la segunda frecuencia intermedia ( $IF2 = 10.2 \text{ MHz}$ ) para poder ser posteriormente adquiridas y procesadas.

Los componentes de esta unidad (mezcladores, osciladores, divisores de potencia, filtros, placas microcontroladoras, sensores de temperatura y fuente de alimentación) se encuentran alojados en una caja de 19'' atornillada al armario rack de la Unidad Interior. Una lista detallada con las características de los componentes puede encontrarse en el capítulo 8.3.5.

Se utilizaron dos osciladores locales debido a la diferencia en la frecuencia intermedia 1 de las balizas ( $IF1 \text{ Ka} = 1001 \text{ MHz}$ ,  $IF1 \text{ Q} = 1002 \text{ MHz}$ ). Éstos se escogieron programables para centrar con precisión las señales a la frecuencia  $IF2$  deseada, 10.2 MHz.

Los divisores de potencia se utilizan para inyectar la señal de los PLOs en los dos canales (CPOL y XPOL) de cada baliza.

La siguiente figura muestra el diagrama de bloques de la segunda fase de conversión en frecuencia:



**Figura 10 - Diagrama de bloques de la segunda conversión de frecuencia**

La unidad está controlada por dos placas microcontroladoras AVR-NET-IO (denominadas Placa Interior 1 y 2) alimentadas con 9 V y equipadas con el microcontrolador ATmega644. Sus funciones son monitorizar la temperatura de los componentes y el voltaje suministrado a los PLOs y comunicar estos valores por Ethernet al PC Controlador, así como permitir el control de los PLOs y los LEDs de estado instalados en el frontal de la caja.

La Placa Interior 1 está conectada a 8 sensores de temperatura (para los dos PLOs, dos divisores y cuatro mezcladores), controla el PLO de la banda Ka y monitoriza su alimentación.

La Placa Interior 2 controla el PLO de la banda Q y monitoriza su alimentación. También se utiliza para controlar los LEDs de estado mediante su interfaz de salida digital.

Para controlar los voltajes utilizando una de las entradas analógicas de las microcontroladoras tuvieron que realizarse algunos ajustes. Se decidió utilizar como referencia los 5 V proporcionados por la placa (pin 5) conectándolos a su entrada AREF (pin 10). Para reducir el ruido un condensador de 100 nF conecta AREF (pin 10) y GND (pin 9). La conexión de medida se establece entre los pines 8 y 9. El nivel de saturación del ADC es 5.5 V, por lo que debe utilizarse un divisor de tensión que se diseñó 1:6. En la siguiente imagen se muestran el circuito divisor de tensión y el conexionado de los sensores de temperatura y voltaje:

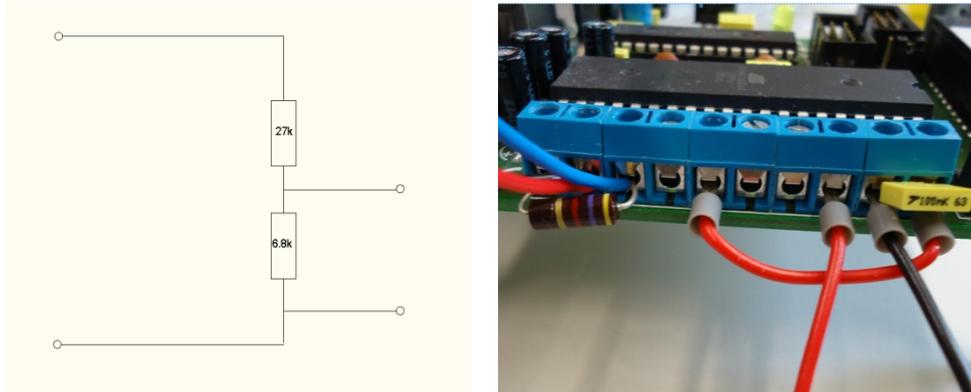


Figura 11 - Divisor de tensión y conexión de los sensores

A continuación se incluye una imagen de la unidad ensamblada:



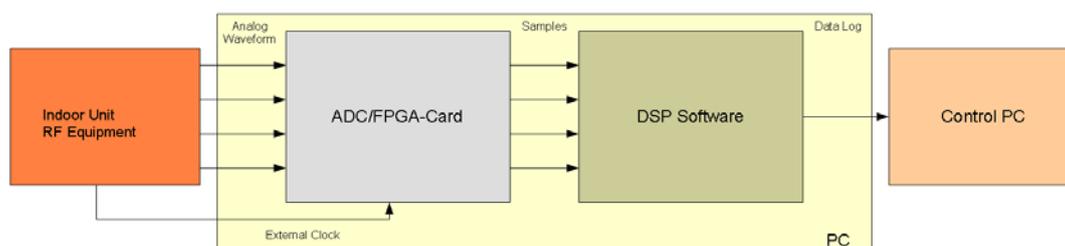
Figura 12 - Segunda unidad de conversión en frecuencia

### 3.4.2 Unidad de procesamiento de señal.

Las señales a la segunda frecuencia intermedia ( $IF2 = 10.2 \text{ MHz}$ ) son en último término adquiridas y procesadas por el PC Procesador situado en la Unidad Interior, un equipo de alta gama que contiene la tarjeta de adquisición. Sus características técnicas se indican en la sección correspondiente del capítulo 8.3.4

Por razones de implementación el procesamiento de alta velocidad lo realizan el ADC y la FPGA de la tarjeta de adquisición y el posterior procesamiento a baja frecuencia se lleva a cabo por software en el PC.

La siguiente figura muestra el diagrama de bloques de la adquisición de datos:



**Figura 13 - Diagrama de bloques de la adquisición de datos**

### 3.4.2.1 Tarjeta de adquisición

El PC Procesador está equipado con la tarjeta ICS-1555 de GE Fanuc. Ésta presenta 4 canales con convertidores analógico-digital (ADCs) de 16 bits que pueden trabajar a frecuencias de hasta 160 MHz. Incorpora una FPGA (Field programmable gate array) Virtex-5 SX95T para procesamiento de alta velocidad y chips DDC (Digital down conversion) de Texas Instruments especialmente preparados para operaciones de diezmado y conversión en frecuencia. Los datos adquiridos se transfieren al PC a través del bus PCI Express (PCIe).

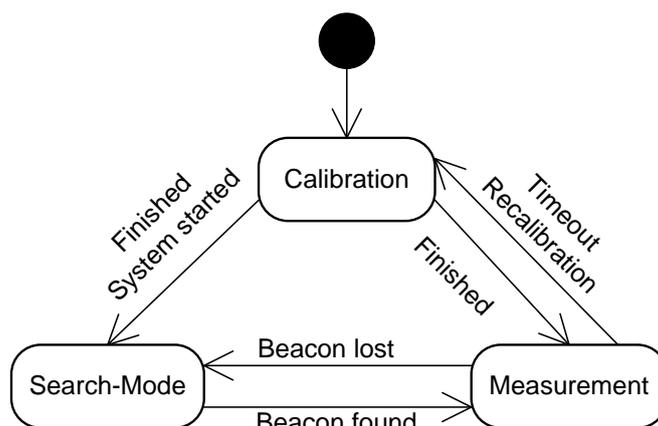
La frecuencia de 10 MHz proporcionada por el servidor NTP se utiliza como referencia para aumentar la precisión del muestreo. La segunda frecuencia intermedia de las señales a procesar (IF2) se ha escogido de tal manera que no sea múltiplo de la frecuencia de muestreo para evitar la aparición de armónicos.

### 3.4.2.2 Software

El software de procesamiento de señal (DSP), desarrollado por la Universidad Técnica de Graz, desempeña varias tareas. La primera de ellas es el control de la tarjeta de adquisición por medio del ajuste de los coeficientes de diezmado y las frecuencias utilizadas en las conversiones. Otra misión del software del PC Procesador es el post procesamiento a baja frecuencia, incluyendo el cálculo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y la densidad espectral de potencia (PSD), el filtrado y la determinación de los parámetros de interés. Por último, los parámetros medidos se almacenan en archivos para su posterior manipulación y análisis.

El software DSP tiene tres estados posibles. El modo de calibración evita descompensaciones en la cadena de señal. En el modo de búsqueda el ancho de banda de interés se escanea en busca de la baliza y tras la correcta detección de la misma, el software pasa al modo de medida para determinar los valores de los parámetros de interés.

La siguiente figura muestra el diagrama de estados:



**Figura 14 - Diagrama de estados del software de procesamiento**

A continuación se describen los estados. Diagramas de flujo pueden encontrarse en el Apéndice D.

#### a) Calibración

Durante el arranque del sistema, o cuando se solicita un recalibrado, el software pasa al modo de calibración. Se ajustan valores apropiados para los coeficientes de diezmado y las frecuencias utilizadas en las conversiones en los chips DDC. El estimador de ruido determina entonces las características de la señal de calibración transmitida. Estos valores se almacenan en el archivo de calibración y son utilizados para corregir las muestras en los modos de búsqueda y medida.

#### b) Búsqueda

El modo de búsqueda se ejecuta tras el arranque del sistema o cuando se pierde la sincronización con la baliza, procediéndose al escaneo del ancho de banda de interés en torno a la frecuencia IF2. El coeficiente de diezmado de los chips DDC se ajusta para dividir el espectro en bandas más pequeñas y cada una de estas sub-bandas se pasa a banda base, se diezma y se filtra. Posteriormente se calcula la densidad espectral de potencia (PSD) y se localiza el máximo. El máximo absoluto de todas las sub-bandas se asume como la baliza. La frecuencia de este máximo se utiliza para ajustar la conversión a banda base en el modo de medida.

#### c) Medida

Una vez detectada la baliza el software de procesamiento pasa al modo de medida. El coeficiente de diezmado de los chips DDC se incrementa para conseguir un mayor rango dinámico. Si la baliza se desplaza cerca del borde de la banda se reconfigura la conversión en frecuencia. La densidad espectral de potencia (PSD) se estima utilizando el método de Welch (periodograma modificado). Con la PSD calculada se estima la potencia de la baliza y las fluctuaciones atribuibles al centelleo.

En el caso de la discriminación de polarización cruzada (XPD) interesan tanto la amplitud como la fase, y ésta última no puede obtenerse de la PSD, por lo que se utiliza la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para determinar los valores complejos.

Todos los parámetros medidos son almacenados en archivos.

### 3.4.2.3 Archivos de datos

En esta sección se describe el formato de los archivos de salida del software de procesado de señal. Se trata de cuatro archivos de texto delimitado por tabuladores que contienen los parámetros medidos por el Receptor.

Tres de los archivos están nombrados de acuerdo con su fecha de adquisición (aaaa-mm-dd) seguida del tipo de parámetro: “PSD” (densidad espectral de potencia), “XPD” (discriminación de la polarización cruzada) y “SC\_Dev” (desviación estándar del centelleo). El nombre de los archivos que contienen el espectro del centelleo se construye con el número de buffer actualmente en uso seguido de “SC\_Spectrum”.

La primera línea de los archivos constituye una cabecera en la que se describe el contenido y la unidad de cada columna.

- Archivo PSD

Este archivo contiene los resultados de las medidas de potencia de señal, potencia de ruido y frecuencia de la portadora.

Se crea un archivo al día con 1 muestra/s y un tamaño total de 16.2 MB.

En la siguiente tabla se describen los datos:

Dato	Unidad	Formato	
Timestamp	Fecha, Hora ms	aaaa-mm-dd hh:mm:ss.ms	
Signal Power ch1	W en 1 $\Omega$	Coma flotante 9 decimales, exponente de 2 dígitos	
Signal Power ch2			
Signal Power ch3			
Signal Power ch4			
Noise Power ch1	W/bin en 1 $\Omega$		
Noise Power ch2			
Noise Power ch3			
Noise Power ch4			
Frequency ch1	MHz		8 dígitos, 6 decimales
Frequency ch2			
Frequency ch3			
Frequency ch4			

A continuación se incluye una muestra de este archivo:

#Timestamp	Pch1[W@1]	Pch2[W@1]	Pch3[W@1]	Pch4[W@1]	Nch1[W/bin@1]	Nch2[W/bin@1]	Nch3[W/bin@1]	Nch4[W/bin@1]	fch1[MHz]	fch2[MHz]	fch3[MHz]	fch4[MHz]
2012-10-17 00:00:01.258	8.507439634E-05	8.777372688E-05	2.786330777E-12	-7.262444986E-12	3.393400005E-10	3.513618008E-10	8.564813697E-13	6.474075833E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:02.256	8.507478196E-05	8.777512267E-05	3.212060392E-12	-7.190980894E-12	3.470450594E-10	3.588818964E-10	8.589483633E-13	6.432094449E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:03.255	8.510323096E-05	8.778870688E-05	2.357070268E-12	-7.660765251E-12	3.471597176E-10	3.587413422E-10	8.590133813E-13	6.463094491E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:04.255	8.503806303E-05	8.773116861E-05	2.924573127E-12	-8.056333614E-12	3.501929025E-10	3.624292533E-10	8.601906622E-13	6.442213299E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:05.254	8.507105687E-05	8.770092245E-05	2.800970027E-12	-8.141069416E-12	3.440363637E-10	3.581002236E-10	8.603104354E-13	6.457575822E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:06.253	8.504356611E-05	8.777631592E-05	2.372249532E-12	-8.076866433E-12	3.451955388E-10	3.571322662E-10	8.618870045E-13	6.451289156E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:07.253	8.511945634E-05	8.783261001E-05	3.234839913E-12	-8.798986956E-12	3.502225177E-10	3.628213265E-10	8.610816053E-13	6.482546704E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:08.252	8.516188973E-05	8.788713603E-05	2.684174628E-12	-8.582091448E-12	3.415816241E-10	3.532963921E-10	8.579560131E-13	6.452321868E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886
2012-10-17 00:00:09.252	8.513963986E-05	8.786132094E-05	2.474034866E-12	-7.175474624E-12	3.416001093E-10	3.533692986E-10	8.608426472E-13	6.449828193E-13	10.206886	10.206886	10.206886	10.206886

Figura 15 - Archivo PSD

- Archivo XPD

Este archivo contiene las medidas de la discriminación de polarización cruzada.

Se crea un archivo al día con 1 muestra/s y un tamaño total de 5.7 MB.

En la siguiente tabla se describen los datos:

Dato	Unidad	Formato
Timestamp	Fecha, Hora, ms	aaaa-mm-dd hh:mm:ss.ms
Mag [ch1/ ch2]	Grados	Coma flotante 9 decimales, exponente de 2 dígitos
Mag [ch3/ ch4]		
Phase [ch1 - ch2]		
Phase [ch3 - ch4]		

A continuación se incluye una muestra de este archivo:

#Timestamp	XPD_Mag_ch12	XPD_Mag_ch34	XPD_Phase_ch12	XPD_Phase_ch34
2012-10-17 00:00:00.735	9.844124913E-01	3.110505581E+00	5.847898960E+00	5.456753922E+01
2012-10-17 00:00:02.014	9.843335746E-01	3.532769680E+00	5.851867199E+00	3.618113708E+01
2012-10-17 00:00:03.293	9.844595790E-01	3.370615244E+00	5.863799572E+00	4.638396835E+01
2012-10-17 00:00:04.573	9.845161438E-01	3.137971878E+00	5.864202499E+00	4.169701004E+01
2012-10-17 00:00:05.852	9.844852090E-01	3.528215408E+00	5.872910976E+00	-3.138116150E+02
2012-10-17 00:00:07.131	9.840730429E-01	3.456151962E+00	5.860162258E+00	4.844119644E+01
2012-10-17 00:00:08.410	9.844105244E-01	3.584902763E+00	5.865807533E+00	4.337767792E+01
2012-10-17 00:00:09.690	9.842278361E-01	3.093076468E+00	5.862773895E+00	4.598136520E+01
2012-10-17 00:00:10.969	9.844021797E-01	3.516137362E+00	5.849336624E+00	4.987253189E+01

Figura 16 - Archivo XPD

- Archivo SC\_Dev

Este archivo contiene los resultados del cálculo de la desviación estándar del centelleo.

Se crea un archivo al día con 1 muestra/17 s y un tamaño total de 8 KB.

En la siguiente tabla se describen los datos:

Dato	Unidad	Formato
Timestamp	Fecha, Hora, ms	aaaa-mm-dd hh:mm:ss.ms
Deviation ch1	W en 1 $\Omega$	Coma flotante 9 decimales, exponente de 2 dígitos
Deviation ch2		
Deviation ch3		
Deviation ch4		

A continuación se incluye una muestra de este archivo:

#Timestamp	Dev_Ch1	Dev_Ch2	Dev_Ch3	Dev_Ch4
2012-10-17 00:13:31.789	4.625050281E-07	2.783716297E-07	1.800490096E-12	9.786716793E-13
2012-10-17 00:30:35.198	3.711215584E-07	3.882594797E-07	1.092263541E-12	6.027593247E-13
2012-10-17 00:47:38.606	6.067886034E-07	5.106462027E-07	9.611863172E-13	5.535320466E-13
2012-10-17 01:04:42.015	1.701829149E-07	1.629433086E-07	9.703770990E-13	5.312339652E-13
2012-10-17 01:21:45.424	1.379264205E-07	8.719545974E-08	1.007776653E-12	5.380900803E-13
2012-10-17 01:38:48.833	1.187766188E-07	1.147147515E-07	9.495889318E-13	5.673142620E-13
2012-10-17 01:55:52.242	7.578630346E-08	5.738434083E-08	1.022490252E-12	5.390550202E-13
2012-10-17 02:12:55.651	7.805508773E-08	7.515892975E-08	1.020514511E-12	5.419990086E-13
2012-10-17 02:29:59.060	1.025332139E-07	8.250806616E-08	9.306395715E-13	5.518522922E-13

Figura 17 - Archivo SC\_Dev

- Archivo SC\_Spectrum

Estos archivos contienen el espectro del centelleo almacenado en un buffer circular de tamaño configurable. En la configuración actual se utiliza un buffer con 8 archivos, de modo que cada uno se llena en 17 minutos con 1025 filas de datos (1 muestra/s) y un tamaño total de 132 KB.

En la siguiente tabla se describen los datos:

Dato	Unidad	Formato
Spectrum ch1 real part	W en 1 $\Omega$	Coma flotante 9 decimales, exponente de 2 dígitos
Spectrum ch1 imaginary part		
Spectrum ch2 real part		
Spectrum ch2 imaginary part		
Spectrum ch3 real part		
Spectrum ch3 imaginary part		
Spectrum ch4 real part		
Spectrum ch4 imaginary part		

A continuación se incluye una muestra de este archivo:

#Ch1-Re	CH1-Im	Ch2-Re	CH2-Im	Ch3-Re	CH3-Im	Ch4-Re	CH4-Im
2.490501106E-02	0.000000000E+00	2.640628628E-02	0.000000000E+00	1.070120526E-08	0.000000000E+00	-3.579796459E-09	0.000000000E+00
4.647556634E-04	-3.007137217E-03	5.231720861E-04	-3.207662143E-03	-5.259074287E-10	-7.056399909E-11	-2.077438083E-10	1.213160405E-10
2.184558980E-04	-1.407678239E-03	2.265060612E-04	-1.480647596E-03	5.670423159E-11	-1.332444485E-11	5.857610230E-11	6.318676832E-11
4.602585395E-04	-5.028129672E-04	4.975574557E-04	-5.348045379E-04	-1.308877867E-10	5.684139270E-11	-2.018802139E-11	-1.246584173E-11
2.783375021E-05	-1.309092622E-03	4.061347136E-05	-1.389263454E-03	-1.847999392E-10	3.932254522E-11	-3.053837738E-11	6.226102967E-11
4.014721344E-05	-8.394219913E-04	4.069403076E-05	-8.889329620E-04	-6.572783550E-12	6.406632169E-11	1.381079886E-11	4.437247791E-11
1.016628448E-04	-6.515835412E-04	1.108945435E-04	-6.967838272E-04	-5.500461892E-11	1.059508523E-10	-2.001140399E-11	1.328616037E-11
-2.779435599E-04	-9.075333946E-04	-2.956193346E-04	-9.722491959E-04	-9.665667572E-12	2.290731320E-11	1.356837366E-11	1.702072858E-11
-9.594277071E-05	-5.345189711E-04	-9.838688129E-05	-5.670083337E-04	2.748924179E-11	4.805093476E-11	2.228369746E-11	4.634697487E-11
-8.687934314E-05	-4.760749580E-04	-8.773506852E-05	-5.171719240E-04	-6.395228097E-12	5.405248471E-11	1.947173434E-13	3.549347621E-11

Figura 18 - Archivo SC\_Spectrum

### 3.4.3 Sistema de control y mantenimiento.

El PC Controlador constituye la interfaz principal del sistema, recoge las medidas obtenidas mediante el procesado de la señal, crea registros con los datos de mantenimiento y permite el acceso remoto vía internet. Sus características técnicas se indican en la sección correspondiente del capítulo 8.3.4.

El software de control y mantenimiento fue diseñado utilizando tres niveles de programación: bajo nivel (microcontroladoras, lenguaje C++), nivel intermedio (PC Controlador, lenguaje Ruby) y alto nivel (Interfaz Web, entorno Ruby on Rails). Existen varias interfaces de comunicación entre estos elementos. Entre el PC Controlador y las microcontroladoras se utiliza el protocolo Telnet. Entre la Interfaz Web y el PC Controlador se utiliza una base de datos MySQL. Para la obtención de datos por parte del usuario se utiliza el protocolo FTP.

#### 3.4.3.1 Sistema de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento se ejecutan periódicamente con frecuencia configurable. En caso de detectarse errores, se activan alarmas visibles remotamente.

- Supervisión de la temperatura

Las temperaturas de las Unidades Exterior e Interior son adquiridas a petición del PC Controlador y almacenadas en un archivo de registro.

- Supervisión de la frecuencia

Para evitar errores de fase el LNB y los PLOs son supervisados comprobando si se encuentran sincronizados con la frecuencia de referencia de 10 MHz.

- Supervisión del voltaje

Los niveles de las fuentes de alimentación se comparan con umbrales para detectar fluctuaciones que podrían afectar al correcto funcionamiento de los dispositivos.

### 3.4.3.2 Sistema de Control

El Receptor debe ser capaz de funcionar por si solo sin interacción humana, para lo que se han diseñado procedimientos automáticos en el software del PC Controlador.

- Arranque
- Inicialización de la Unidad Interior
- Inicialización de la Unidad Exterior
- Bucle de control principal

Diagramas de flujo de estos procedimientos se incluyen en el Apéndice E.

El PC Controlador se utilizará también para el control de los dispositivos adicionales. Se instalarán adaptadores si fuera necesario.

- Posicionador de la antena

El posicionador del ángulo de elevación de la antena se controlará a través de la interfaz Ethernet.

- Estación meteorológica

El PC Controlador programará la estación meteorológica y obtendrá los valores de los parámetros climatológicos a través de la interfaz Ethernet.

- Radiómetro (opcional)

En caso de instalarse, el PC Controlador programará el radiómetro y obtendrá la temperatura de brillo de la atmósfera.

## 3.5 Acceso remoto

El Receptor descrito en las secciones previas está diseñado para ser controlado remotamente. Con este objetivo se ha implementado una Interfaz Web en el PC Controlador que permite gestionar el sistema y obtener los datos de las medidas.

La Interfaz permite el acceso como usuario común o administrador y muestra la información agrupada en diferentes pestañas: Principal, Ajustes, Datos, Mantenimiento, Usuarios e Información.

Los registros de mantenimiento (temperaturas, niveles de alimentación, estado de sincronización...) se almacenan en tablas de una base de datos MySQL en el

momento de adquisición y pueden ser transferidos manualmente o con una frecuencia determinada mediante FTP. Las entradas más recientes de estos registros se muestran también en la pestaña principal de la Interfaz Web. Las alarmas pueden ser utilizadas para prevenir o resolver problemas, con acciones de control de bajo nivel (calibración manual, ajuste de umbrales, reinicio...) permitidas a un grupo de administradores en la pestaña Ajustes, reduciendo así los costes de operación y mantenimiento.

A continuación se muestra una captura de pantalla de la pestaña principal de la Interfaz Web:

**Ka/Q Band Ground Propagation Terminals for the Alphasat TDP5 Scientific Experiment ALPHA VERSION 1.1**

JOANNEUM RESEARCH

Login: admin  
Password: [ ]  
Log Out

You are logged in as: ADMIN

\*This web is optimized for Mozilla Firefox and Google Chrome under a resolution of 1920x1600

Status: System Ok

Main Settings Data Search Housekeeping Users About

Summary of Main log information

```

2013-4-27 18:37:03 >> Temperature sensor#3 (Indoor Unit, Ka-Band Splitter): Reading within expected range (27.2C)
2013-4-27 18:37:10 >> Temperature sensor#4 (Indoor Unit, Ka-Band PLO): Reading within expected range (33.6C)
2013-4-27 18:37:17 >> Temperature sensor#5 (Indoor Unit, Q-Band RF Copolar Mixer): Reading within expected range (26.4C)
2013-4-27 18:37:24 >> Temperature sensor#6 (Indoor Unit, Ka-Band RF Crosspolar Mixer): Reading within expected range (26.6C)
2013-4-27 18:37:31 >> Temperature sensor#7 (Indoor Unit, Q-Band Splitter): Reading within expected range (27.1C)
2013-4-27 18:37:38 >> Temperature sensor#8 (Indoor Unit, Q-Band PLO): Reading within expected range (32.7C)
2013-4-27 18:37:45 >> Temperature of sensor1 in Outdoor Unit within expected range,(25.7 C)
2013-4-27 18:37:49 >> Temperature of sensor2 in Outdoor Unit within expected range,(26.5 C)
2013-4-27 18:37:53 >> Temperature of sensor3 in Outdoor Unit within expected range,(28.5 C)
2013-4-27 18:40:11 >> Voltage sensor #1 (Indoor Unit, Ka-Band PLO Power source): Reading within expected range (8.895 Volts)
2013-4-27 18:40:17 >> Voltage sensor #2 (Indoor Unit, Q-Band PLO Power source): Reading within expected range (8.911 Volts)
2013-4-27 18:40:23 >> Voltage sensor #3 (Outdoor Unit, LNB Power source): Reading within expected range (14.888 Volts)
2013-4-27 18:45:10 >> Q-Band PLO Status Checked: RF => ON, Locked
2013-4-27 18:45:13 >> Q-Band PLO Frequency set to 991.775 MHz
2013-4-27 18:45:16 >> Q-Band PLO Attenuation set to 0 dB
2013-4-27 18:45:19 >> Ka-Band PLO Status Checked: RF => ON, Locked
2013-4-27 18:45:22 >> Ka-Band PLO Frequency set to 993.777 MHz

```

ResetLog Window

Ka/Q Band Ground Propagation Terminals for the Alphasat TDP5 Scientific Experiment  
Station Id: 001-AUT-GRAZ  
Station GPS Position: 47.0639N 15.4537E 440m  
Station Local Time: 27/3/2013 18:45:24 GMT+2

**Figura 19 - Pestaña Principal de la Interfaz Web**

El usuario remoto puede descargar los datos de las medidas seleccionando la fecha en la que está interesado en la pestaña de datos de la Interfaz Web.

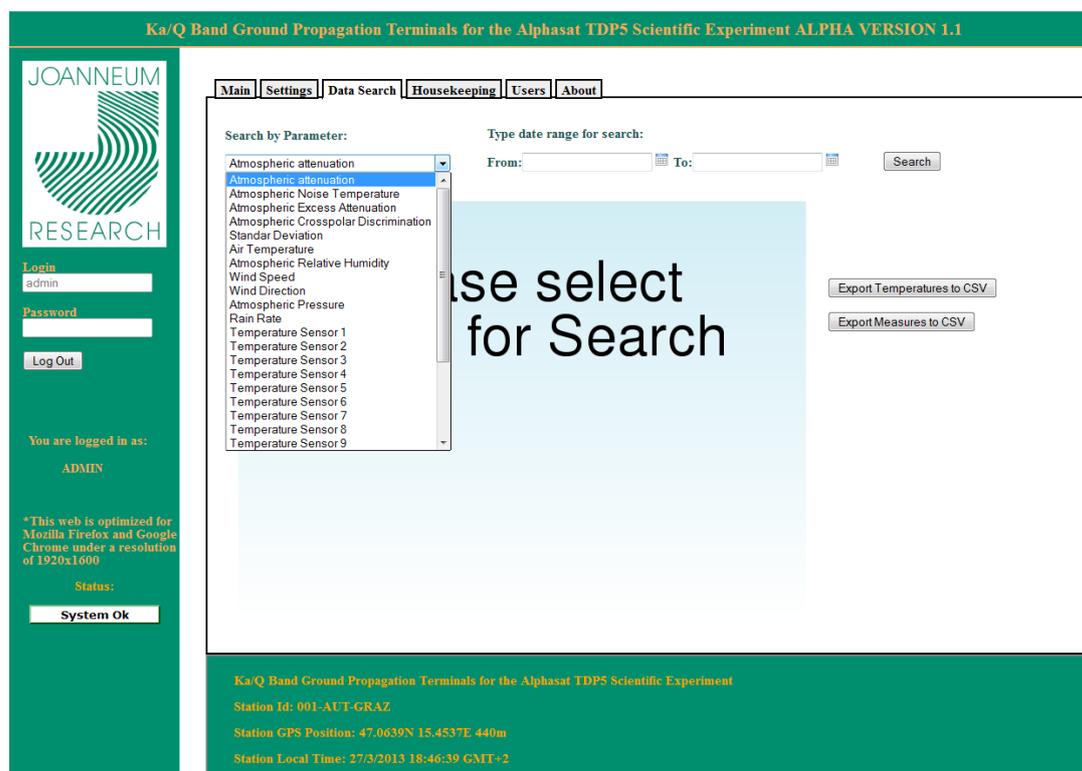


Figura 20 - Pestaña de Datos de la Interfaz Web

## 4 Aceptación y verificación del Receptor

A continuación se describe el plan de pruebas seguido con objeto de comprobar la fiabilidad de operación del Receptor. El plan se centra en los siguientes puntos principales:

- Aceptación de los componentes y subsistemas adquiridos o fabricados.
- Verificación de la funcionalidad de los subsistemas y el Receptor completo tras la integración, incluyendo el cumplimiento de las especificaciones y la precisión de los parámetros medidos.

Se describen tests realizados durante el montaje previo en el laboratorio (\*\_LAB) y la posterior instalación del Receptor en el emplazamiento experimental (\*\_FIELD). Las pruebas se repitieron tres veces para garantizar la estabilidad de funcionamiento y en caso de detectarse desviaciones se interrumpieron y se procedió al reajuste del componente cuando fue posible. Los resultados se acompañan de imágenes con las medidas. La configuración de red utilizada para el Receptor puede encontrarse en el Apéndice F.

Como instrumentación de medida se utilizó:

- Multímetro roline RO-2360 LCR
- Termómetro Fluke 51

- Generador de señales Rohde & Schwarz SMR-40
- Analizador de espectros Rohde & Schwarz FSV-40

#### 4.1 Emplazamiento para las pruebas de campo

Las pruebas identificadas con el sufijo FIELD se llevaron a cabo con el receptor instalado en tejado del edificio de oficinas de JOANNEUM RESEARCH, Steyrergasse 17, 8010 Graz, Austria.

El lanzamiento del satélite Alphasat está previsto para la segunda mitad de 2013. Para las pruebas de campo y los primeros resultados experimentales se utilizó la baliza del satélite Hotbird 6 en su lugar.

El Hotbird 6 fue lanzado en 2004 y se espera que esté operativo durante 12 años. Su posición orbital es 13° E. La antena de la baliza de banda Ka da cobertura toda Europa (con una C/N0 de 52 dB/Hz, medida en Portugal con una antena de 1.5 m de diámetro). Dicha baliza posee una frecuencia de 19.701 GHz, polarización lineal horizontal y portadora no modulada (CW).

El apuntamiento al satélite desde Graz se resume en la siguiente tabla:

Latitud	47.04° N
Longitud	15.07° E
Elevación	35.89°
Acimut	182.83°
Ángulo de polarización	-1.93°

La siguiente imagen muestra la posición de la antena (marcador azul), su apuntamiento (flecha amarilla) y el laboratorio donde se aloja la Unidad Interior (marcador amarillo).

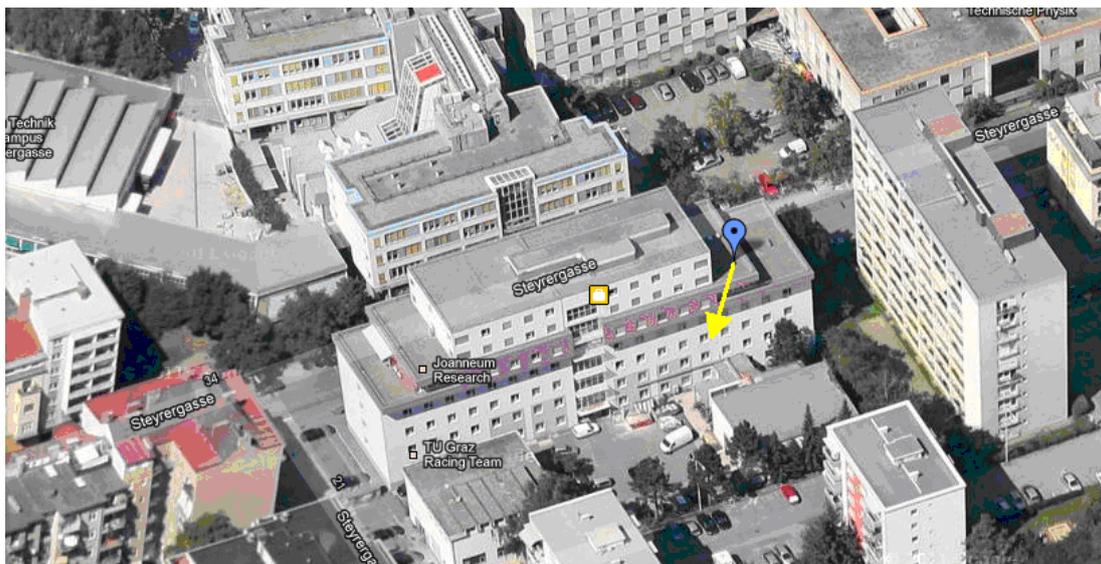


Figura 21 - Emplazamiento experimental

## 4.2 Antena y alimentador

Las características de la antena y el alimentador en banda Ka fueron comprobadas en las instalaciones del fabricante (TEMIX). La siguiente tabla muestra las especificaciones requeridas y los resultados de las pruebas de rendimiento [21]:

Especificaciones de la antena		
Característica	Requerido	Diseñado y Comprobado
Directividad [dBi]	> 40	45.53
Eficiencia [%]	> 60	58.3
HPBW [°]	Azimut	< 0.7
	Elevación	0.95
XPD en el HPBW [dB]	Azimut	> 30
	Elevación	28.20

Se pueden observar unas ligeras desviaciones respecto a las especificaciones iniciales que se consideraron aceptables y fueron aprobadas en la reunión previa al comienzo de la campaña experimental (ECRM) sostenida con la Agencia Espacial Europea (ESA) en Noviembre de 2012.

En el momento de escribir este Proyecto, la Antena se encuentra en las instalaciones del fabricante para la instalación del alimentador dual (bandas Ka y Q) y el sistema posicionador en elevación.

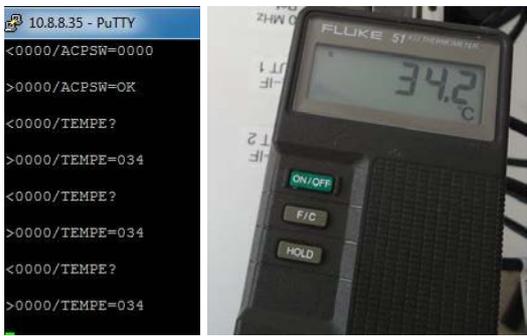
## 4.3 Unidad Exterior

### 4.3.1 Estabilidad de la fuente de alimentación

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_VoltageStability_Outdoor_FIELD
<b>Objetivo</b>	Verificación de la estabilidad de la fuente de alimentación de la primera unidad de conversión en frecuencia
<b>Equipamiento</b>	1) Receptor en el emplazamiento de las pruebas de campo
<b>Procedimiento</b>	LNB alimentado por la fuente instalada en la Caja Auxiliar 1) Recepción de la baliza del satélite Hotbird 6 a 19.704 GHz 2) Supervisar operación continuada
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la tensión de alimentación se mantiene estable en los límites permitidos: 15 VDC $\pm$ 10%
<b>Resultado</b>	El software de control registró durante 3 días de funcionamiento continuado valores de alimentación estables dentro de los límites.  · Voltage sensor #2 (Indoor Unit, Q-Band PLO Power source): Reading within expected range (8.911 Volts) · Voltage sensor #3 (Outdoor Unit, LNB Power source): Reading within expected range (14.888 Volts) Q-Band PLO Status Checked: RF => ON, Locked

### 4.3.2 Medida de la temperatura

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_Temperature_Outdoor_LAB
<b>Objetivo</b>	Verificación de la capacidad de medida de la temperatura del LNB
<b>Equipamiento</b>	1) Unidades Exterior e Interior

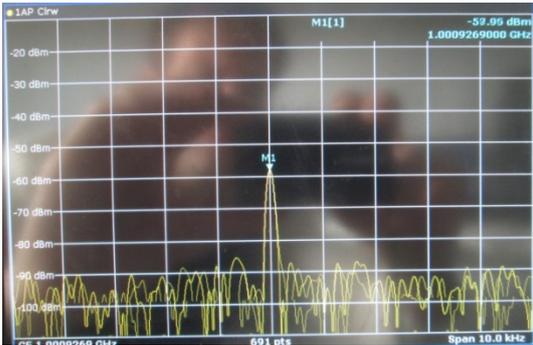
	2) Termómetro														
<b>Procedimiento</b>	El LNB permite la supervisión de la temperatura vía TCP/IP 1) Establecer una conexión Telnet entre el PC Controlador y el LNB 2) Entrar en el sistema con el comando “<0000/ACPSW=0000” 3) Solicitar la temperatura con el comando “<0000/TEMPE?” 4) Medir la temperatura en el interior de la Caja del LNB 5) Comparar la respuesta del LNB con la temperatura medida														
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la temperatura proporcionada por el LNB y la medida manualmente son aproximadamente idénticas														
<b>Resultado</b>	Se compararon las medidas de la temperatura repetidamente obteniéndose resultados aceptables <div style="text-align: center;">  </div> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Medida</th> <th colspan="2">Resultado</th> </tr> <tr> <th>LNB</th> <th>Termómetro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>27° C</td> <td>28.4° C</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>34° C</td> <td>34.0° C</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>34° C</td> <td>34.2° C</td> </tr> </tbody> </table>	Medida	Resultado		LNB	Termómetro	1	27° C	28.4° C	2	34° C	34.0° C	3	34° C	34.2° C
Medida	Resultado														
	LNB	Termómetro													
1	27° C	28.4° C													
2	34° C	34.0° C													
3	34° C	34.2° C													

### 4.3.3 Estabilidad de la temperatura

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_TemperatureStability_Outdoor_FIELD
<b>Objetivo</b>	Verificación de la regulación de la temperatura en la Caja del LNB
<b>Equipamiento</b>	1) Receptor en el emplazamiento de las pruebas de campo
<b>Procedimiento</b>	El LNB permite la supervisión de la temperatura vía TCP/IP 1) Recepción de la baliza del satélite Hotbird 6 a 19.704 GHz 2) Establecer una conexión Telnet entre el PC Controlador y el LNB 3) Entrar en el sistema con el comando “<0000/ACPSW=0000” 4) Solicitar la temperatura con el comando “<0000/TEMPE?” 5) Supervisar la temperatura durante un periodo de operación prolongado
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la temperatura en la caja del LNB se mantiene estable en el rango de operación: +20...+40° C

<b>Resultado</b>	Se supervisaron las temperaturas exterior y proporcionada por el LNB durante las pruebas de campo encontrándose la segunda dentro del rango requerido		
	<b>Fecha</b>	<b>Temperatura exterior</b>	<b>Temperatura caja LNB</b>
	17.11.2012	11° C	26° C
	18.11.2012	4° C	22° C
	19.11.2012	12° C	30° C

#### 4.3.4 Primera conversión en frecuencia

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_DownConversionIF1_LAB
<b>Objetivo</b>	Verificación de la primera conversión en frecuencia (de RF a IF1) para ambas polarizaciones de las balizas de banda Ka y Q
<b>Equipamiento</b>	1) Generador de señales 2) Divisor de potencia 3) LNB 4) Analizador de espectros
<b>Procedimiento</b>	1) Simular la baliza de banda Ka con el generador de señales (19.704 GHz) 2) Inyectar la señal en los canales de entrada RF del LNB (Ka IN1 y Ka IN2) utilizando el divisor de potencia 3) Determinar la frecuencia en los canales de salida Ka-IF OUT1 y Ka-IF OUT2 4) Repetir los pasos para la baliza de banda Q (39.402 GHz) y los canales correspondientes (Q INX, Q-IF OUTX)
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si las señales en los canales de salida presentan la frecuencia esperada: Ka-IF = 1001 MHz y Q-IF = 1002 MHz
<b>Resultado</b>	<p>Se observaron las señales a la salida del LNB por medio del analizador de espectros presentando éstas las frecuencias previstas</p> <p>Posteriormente, durante las pruebas de campo, se verificó la conversión de la baliza de banda Ka del satélite Hotbird 6. La siguiente imagen muestra el espectro de la señal IF1 tras los 30 m de cable hasta la Unidad Interior:</p> 

### 4.3.5 Placa Exterior

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_OutdoorMicrocontroller_LAB
<b>Objetivo</b>	Verificación de las funciones de la placa microcontroladora
<b>Equipamiento</b>	1) Unidades Exterior e Interior 2) Multímetro
<b>Procedimiento</b>	1) Establecer una conexión Telnet entre el PC Controlador y la Placa Exterior 2) Verificar las respuestas a los comandos disponibles: HELP, RESET, VERSION, TIME, PING, GET_IP, GET_SUBNET_MASK, GET_MAC_ADDRESS, GET_TEMPERATURE, GET_ALL_TEMP_SENSOR_IDS, GET_VOLTAGE 3) Por medio del multímetro, comprobar que la medida de la tensión de alimentación del LNB es correcta
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la placa microcontroladora responde adecuadamente a los comandos y el valor de tensión de alimentación medido coincide con el real.
<b>Resultado</b>	La Placa Exterior es accesible vía Telnet, responde adecuadamente a los comandos y proporciona las medidas adquiridas de los sensores. La ligera diferencia entre la tensión medida y la real es atribuible al divisor de tensión implementado para el ADC de la microcontroladora y no representa un problema.

```

Connecting to 10.0.0.45:23
  attempting 10.0.0.45:23...      Success!
Start Telnet Server:
VERSION
Alphasata TDPS Ground Station (Outdoor power supply box, Microcontroller
Board 1): V2.1 (18/04/2012)
COMMAND_ACK

GET_ALL_TEMP_SENSOR_IDS
Sensor Type   Serial Number      CRC   Temperature (C)
-----
DS18B20      10 05 35 32 02 08 00 30   OK    27.3
DS18B20      10 52 4f 32 02 08 00 4b   OK    29.5
DS18B20      10 78 5f 32 02 08 00 4e   OK    30.4
COMMAND_ACK

GET_VOLTAGE
14.862
COMMAND_ACK
  
```



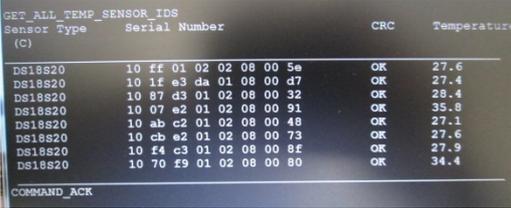
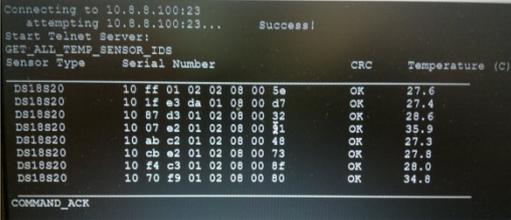
## 4.4 Unidad Interior

### 4.4.1 Estabilidad de la fuente de alimentación

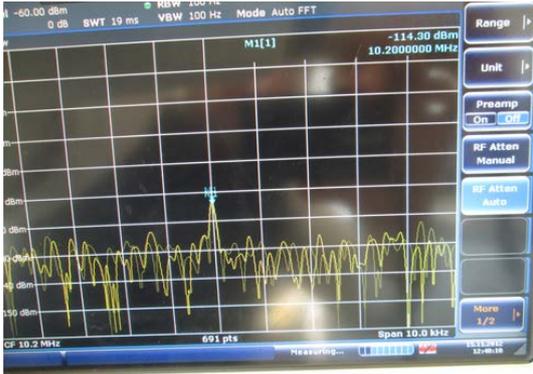
<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_VoltageStability_Indoor_FIELD
<b>Objetivo</b>	Verificación de la estabilidad de la fuente de alimentación de la segunda unidad de conversión en frecuencia
<b>Equipamiento</b>	1) Receptor en el emplazamiento de las pruebas de campo
<b>Procedimiento</b>	PLOs alimentados por la fuente de instalada en la unidad 1) Recepción de la baliza del satélite Hotbird 6 a 19.704 GHz 2) Supervisar operación continuada
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la tensión de alimentación se mantiene estable en los límites permitidos: 8...12 VDC
<b>Resultado</b>	El software de control registró durante 3 días de funcionamiento continuado valores de alimentación estables dentro de los límites

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Voltage sensor #1 (Indoor Unit, Ka-Band PLO Power source): Reading within expected range (8.895 Volts)</li> <li>· Voltage sensor #2 (Indoor Unit, Q-Band PLO Power source): Reading within expected range (8.911 Volts)</li> </ul>
--	---

#### 4.4.2 Estabilidad de la temperatura

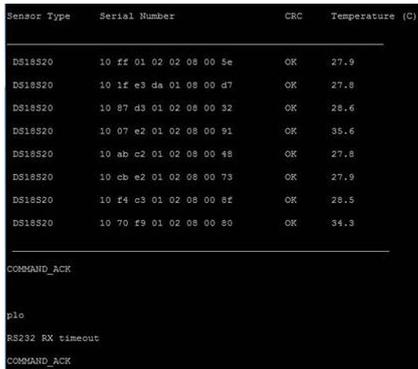
<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_TemperatureStability_Indoor_FIELD
<b>Objetivo</b>	Verificación de la estabilidad de la temperatura en la segunda unidad de conversión en frecuencia
<b>Equipamiento</b>	1) Receptor en el emplazamiento de las pruebas de campo
<b>Procedimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Recepción de la baliza del satélite Hotbird 6 a 19.704 GHz</li> <li>2) Establecer una conexión Telnet entre el PC Controlador y la Placa Interior 1</li> <li>3) Solicitar la temperatura de los sensores con el comando "GET_ALL_TEMP_SENSOR_IDS"</li> <li>4) Supervisar la temperatura durante un periodo de operación prolongado</li> </ol>
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la temperatura se mantiene estable en rangos aceptables.
<b>Resultado</b>	<p>Durante las pruebas de campo la Unidad Interior se encuentra instalada en un laboratorio donde la temperatura se mantiene a un nivel constante de 24 °C</p>  <p>Las lecturas de los sensores de temperatura se mantuvieron dentro de rangos aceptables a lo largo de las observaciones.</p> <p>17/11/2012</p>  <p>19/11/2012</p> 

#### 4.4.3 Segunda conversión en frecuencia

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_DownConversionIF2_LAB
<b>Objetivo</b>	Verificación de la segunda conversión en frecuencia (de IF1 a IF2) para los cuatro canales
<b>Equipamiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Generador de señales</li> <li>2) Divisor de potencia</li> <li>3) Unidades Exterior e Interior</li> <li>4) Analizador de espectros</li> </ol>
<b>Procedimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Simular la baliza de banda Ka con el generador de señales (19.704 GHz)</li> <li>2) Inyectar la señal en los canales de entrada RF del LNB (Ka IN1 y Ka IN2) utilizando el divisor de potencia</li> <li>3) Establecer una conexión Telnet entre el PC Controlador y la Placa Interior 1</li> <li>4) Ajustar la frecuencia del PLO Ka para obtener la IF2 deseada mediante el comando “PLO FR [IF1 – IF2]”</li> <li>5) Determinar la frecuencia en los canales de salida IF2-CPOL-Ka e IF2-XPOL-Ka</li> <li>6) Repetir los pasos para la baliza de banda Q (39.402 GHz) con la placa Interior 2 y los canales correspondientes (Q INx, IF2-x-Q)</li> </ol>
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si las señales en los canales de salida presentan la frecuencia esperada
<b>Resultado</b>	<p>Se observaron las señales a la salida de la segunda unidad de conversión en frecuencia por medio del analizador de espectros presentando éstas las frecuencias previstas</p> <p>Posteriormente, durante las pruebas de campo, se verificó la conversión de la baliza de banda Ka del satélite Hotbird 6. La siguiente imagen muestra el espectro de la señal IF2</p> 

#### 4.4.4 Placas Interiores

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_IndoorMicrocontrollers_LAB
<b>Objetivo</b>	Verificación de las funciones de las placas microcontroladoras
<b>Equipamiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Unidad Interior</li> <li>2) Multímetro</li> <li>3) Termómetro</li> </ol>

<p><b>Procedimiento</b></p>	<p><u>Placa Interior 1</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Establecer una conexión Telnet entre el PC Controlador y la Placa Interior 1</li> <li>2) Verificar las respuestas a los comandos disponibles: HELP, RESET, VERSION, TIME, PING, GET_IP, GET_SUBNET_MASK, GET_MAC_ADDRESS, GET_TEMPERATURE, GET_ALL_TEMP_SENSOR_IDS, GET_VOLTAGE, PLO</li> <li>3) Por medio del multímetro, comprobar que la medida de la tensión de alimentación del PLO Ka es correcta</li> <li>4) Por medio del termómetro, comprobar que las medidas de los sensores de temperatura son correctas</li> </ol> <p><u>Placa Interior 2</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5) Establecer una conexión Telnet entre el PC Controlador y la Placa Interior 2</li> <li>6) Verificar las respuestas a los comandos disponibles: HELP, RESET, VERSION, TIME, PING, GET_IP, GET_SUBNET_MASK, GET_MAC_ADDRESS, GET_VOLTAGE, PLO</li> <li>7) Por medio del multímetro, comprobar que la medida de la tensión de alimentación del PLO Q es correcta</li> <li>8) Comprobar que los LEDs de estado instalados en el frontal de la unidad se iluminan correctamente como respuesta a los comandos:  “SET_TEMPERATURE_LED [GREEN/YELLOW/RED]”  “SET_VOLTAGE_LED [GREEN/YELLOW/RED]”</li> </ol>
<p><b>Criterio</b></p>	<p>La prueba se considera superada si las placas microcontroladoras responden adecuadamente a los comandos, las tensiones y temperaturas medidas coinciden con las reales, y los LEDs de estado se iluminan correctamente</p>
<p><b>Resultado</b></p>	<p>Se cumplen los criterios de superación.  El comando “PLO” se transfiere directamente al oscilador programable a través de la interfaz RS232 y debe ir acompañado del propio comando interpretado por éste, e.g. “PLO FR [f]” para ajustar la frecuencia, “PLO AT [a]” para la atenuación, “PLO LS” para consultar el estado.</p> <p><u>Placa Interior 1</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>



#### 4.4.5 Servidor NTP

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_NTPServer_FIELD
<b>Objetivo</b>	Verificar la frecuencia de referencia proporcionada por el servidor NTP funcionando con y sin antena GPS
<b>Equipamiento</b>	1) Unidad Interior 2) Antena GPS 3) Analizador de espectros
<b>Procedimiento</b>	1) Medir la frecuencia de referencia proporcionada por el servidor NTP en modo autónomo por medio del analizador de espectros 2) Conectar la Antena y repetir la medida para el modo con sincronización GPS
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si el servidor NTP proporciona una señal de frecuencia estable y nivel adecuado
<b>Resultado</b>	Se midió la señal de referencia para ambos modos de operación del servidor NTP: Frecuencia = 10.0000 MHz, Potencia = 5 dBm  <u>Modo simulación:</u>

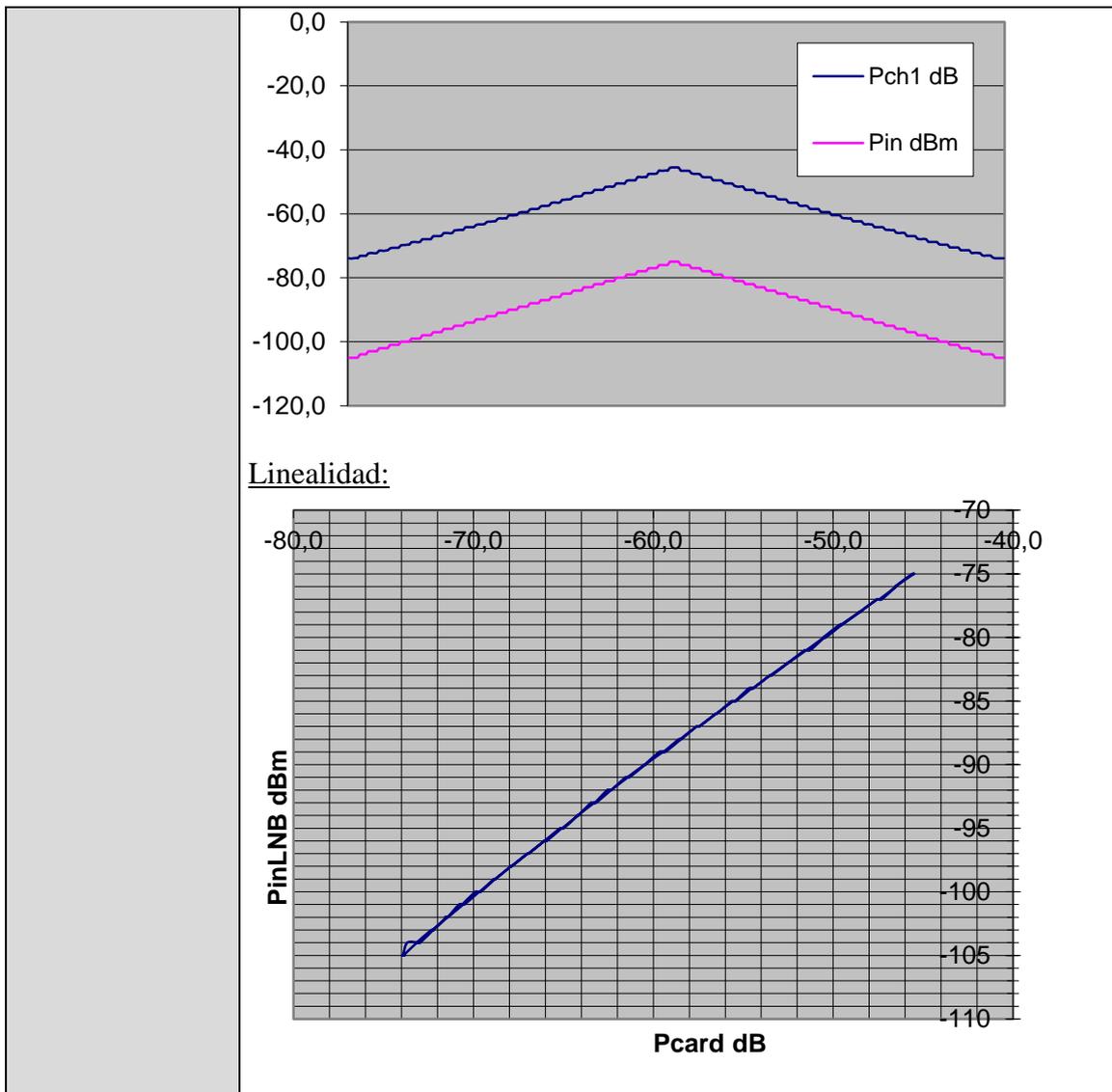


### Modo con sincronización GPS:



#### 4.4.6 PC Procesador

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_SignalProcessorTracking_LAB
<b>Objetivo</b>	Verificar la capacidad de recepción de una baliza de potencia variable
<b>Equipamiento</b>	1) Generador de señales 2) Unidad Exterior e Interior 3) Analizador de espectros
<b>Procedimiento</b>	1) Simular con el generador de señales una baliza de potencia variable a la entrada del LNB 2) Comprobar en los archivos de salida del software de procesado la correlación entre variación de potencia de la baliza y la potencia estimada
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si los cambios en la señal de entrada son registrados adecuadamente
<b>Resultado</b>	Se simuló la baliza haciendo variar su potencia a intervalos constantes (1 dB/s). Los cambios fueron correctamente registrados por el software de procesado y se mantuvo la linealidad



## 4.5 Sistema completo

### 4.5.1 Estabilidad de la ganancia

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_GainDrift
<b>Objetivo</b>	Determinar la estabilidad de la ganancia de la cadena de señal completa del Receptor
<b>Equipamiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Generador de señales</li> <li>2) Divisor de potencia</li> <li>3) Unidades Exterior e Interior</li> <li>4) Archivos de salida PSD del software de procesamiento de señal</li> </ol>
<b>Procedimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Simular la baliza de banda Ka con el generador de señales (19.704 GHz)</li> <li>2) Inyectar la señal en los canales de entrada RF del LNB (Ka IN1 y Ka IN2) utilizando el divisor de potencia</li> <li>3) Registrar el nivel de potencia de salida a la segunda frecuencia intermedia (10.2 MHz) durante un intervalo de tiempo suficiente</li> <li>4) Repetir los pasos para la baliza de banda Q (39.402 GHz)</li> </ol>

<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la ganancia tras la segunda fase de conversión en frecuencia permanece constante durante el intervalo de observación
<b>Resultado</b>	<p>Las señales RF de potencia constante se convierten en señales IF2 de potencia constante.</p> <p>La siguiente figura muestra el resultado de este test a lo largo de 13 horas:</p>

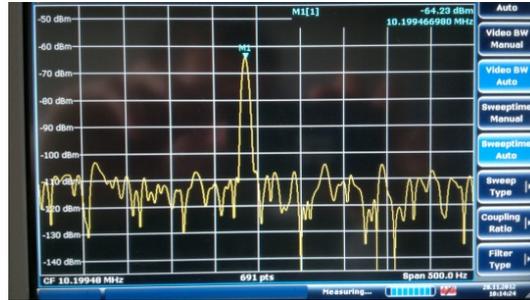
#### 4.5.2 Discriminación de la polarización cruzada

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_XPD_FIELD
<b>Objetivo</b>	Verificar la XPD requerida del Receptor
<b>Equipamiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Receptor en el emplazamiento de las pruebas de campo</li> <li>2) Analizador de espectros</li> </ol>
<b>Procedimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Recepción de la baliza del satélite Hotbird 6 a 19.704 GHz</li> <li>2) Alineación de la antena con el satélite (azimut y elevación) y del alimentador (ángulo de inclinación) con la señal de polarización horizontal</li> <li>3) Medida de la discriminación de polarización cruzada a partir de la potencia recibida en los canales copolar y contrapolar</li> </ol>
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la XPD es $> 30$ dB

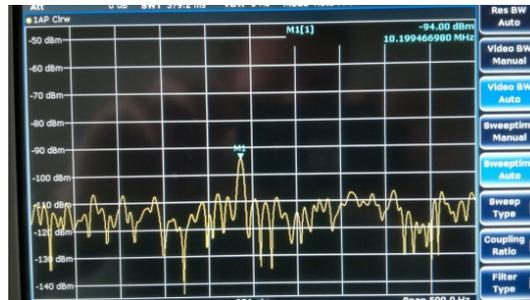
## Resultado

La XPD medida tras la segunda conversión en frecuencia (IF2 = 10.2 MHz) fue 29.8 dB. La prueba se considera superada.

- Nivel de señal copolar = -64.2 dBm



- Nivel de señal contrapolar = -94 dBm



## 4.5.3 Niveles y pérdidas

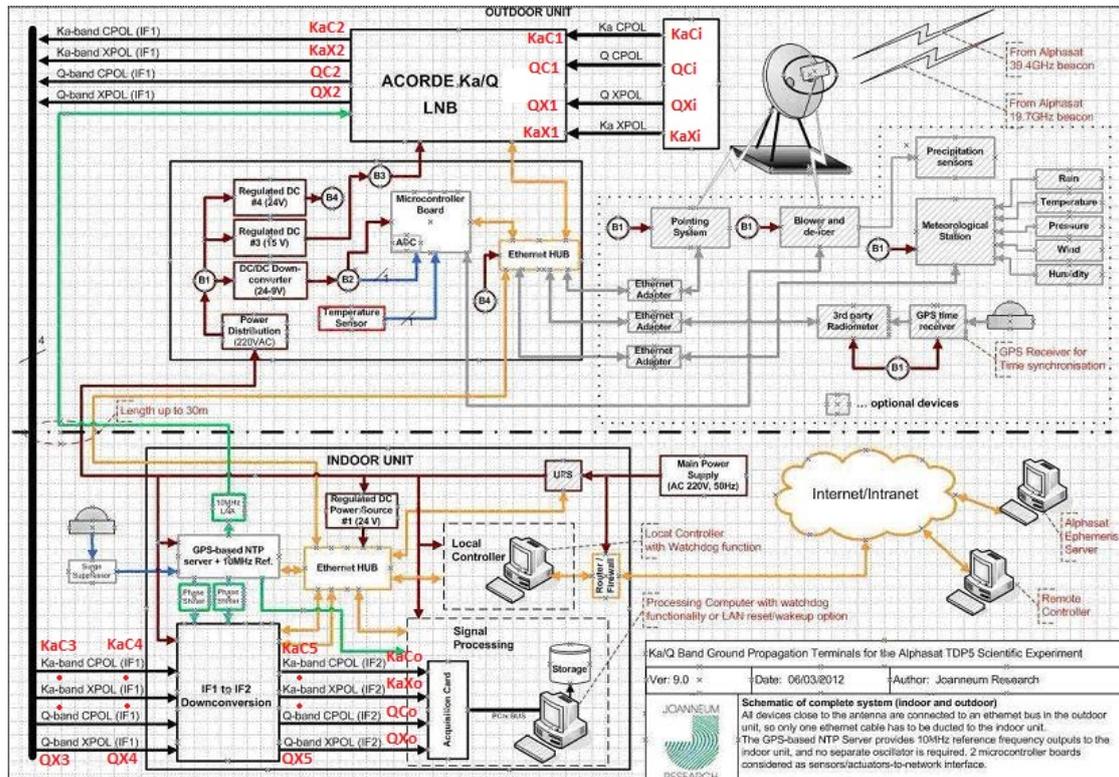


Figura 22 - Puntos de medida (en rojo) a lo largo de la cadena de señal

<b>Identificador</b>	AlphasatPropRx_Levels	
<b>Objetivo</b>	Cálculo del balance del enlace para ambos canales (polarizaciones) de las bandas Ka y Q. Caracterización de los niveles y pérdidas desde el LNB hasta la tarjeta de adquisición	
<b>Equipamiento</b>	1) Generador de señales 2) Divisor de potencia 3) Unidades Exterior e Interior 4) Analizador de espectros	
<b>Procedimiento</b>	1) Simular la baliza de banda Ka con el generador de señales (19.704 GHz) 2) Inyectar la señal en los canales de entrada RF del LNB (KaC1, KaX1) utilizando el divisor de potencia 3) Medir el nivel de potencia en los diversos puntos a lo largo de la cadena de señal: después de la primera conversión en frecuencia (KaC2, KaX2), después de los 30 m de cable (KaC3, KaX3), después del panel de conectores de la Unidad Interior (KaC4, KaX4), después de la segunda conversión en frecuencia (KaC5, KaX5) y a la entrada de la tarjeta de adquisición (KaCo, KaXo). 4) Registrar los niveles durante un intervalo de tiempo suficiente 5) Repetir los pasos para la baliza de banda Q (39.402 GHz) y los puntos de medida correspondientes (QCx, QXx)	
<b>Criterio</b>	La prueba se considera superada si la potencia de la señal se mantiene estable a niveles suficientes a lo largo de la cadena, de forma que se permita el rango dinámico requerido para la medida de la atenuación: 20 dB	
<b>Resultado</b>	La ganancia medida en las cadenas de señal, en torno a 53 dB para ambas balizas, permite un rango dinámico de medida de la atenuación más que suficiente	
	<u>Canales de banda Ka:</u>	
	<b>Punto de medida</b>	<b>Valor medido</b>
		<b>Ka Ch1 CPOL</b>
		<b>Ka Ch2 XPOL</b>
	Entrada (Ka1)	-95.8 dBm f = 19.70391 GHz
		-95.8 dBm f = 19.70391 GHz
	LNB (Ka2)	-27.6 dBm f = 1.003984 GHz
		-29 dBm f = 1.003984 GHz
	30 m cable (Ka3)	-32.7 dBm
		-35 dBm
	Conectores (Ka4)	-33.1 dBm
		-35.8 dBm
	2ª conversión en frecuencia (Ka5)	-39.4 dBm f = 10.2072 MHz
		-42.3 dBm f = 10.214 MHz
	ADC (Kao)	-39.5
		-42.4

	<u>Canales de banda Q:</u>		
	El nivel potencia de la baliza simulada es superior al caso anterior por no disponer de atenuadores de banda Q		
	En este punto se detectó una diferencia entre las pérdidas de las cadenas de señal de banda Ka y Q que llevó a descubrir que el PLO utilizado en la segunda unidad de conversión en frecuencia de la banda Q estaba configurado por defecto con una atenuación no nula. El problema se resolvió y ahora las dos balizas convertidas presentan los mismos niveles.		
	Punto de medida	Valor medido	
		Q Ch1 CPOL	Q Ch2 XPOL
	Entrada (Q1)	-66.5 dBm f = 39.4019 GHz	-66.5 dBm f = 39.4019 GHz
	LNB (Q2)	-2.85 dBm f = 1.001955 GHz	0.2 dBm f = 1.00188 GHz
	30 m cable (Q3)	-7.87 dBm	-4.9 dBm
Conectores (Q4)	-8.44 dBm	-5.3 dBm	
2ª conversión en frecuencia (Q5)	-14.93 dBm f = 10.2 MHz	-11.23 dBm f = 10.17 MHz	
ADC (Qo)	-15 dBm	-11.33 dBm	

## 5 Balance del enlace

A continuación se describe el cálculo de la figura de ruido del Receptor y el rango dinámico y se muestra los balances del enlace para ambas bandas.

### 5.1 Cálculo de la figura de ruido

Ganancia lineal de dispositivo activo:

$$G = 10^{\frac{G_{dB}}{10}}$$

Cálculo de las pérdidas de dispositivo pasivo:

$$L = 10^{\frac{A}{10}}$$

A ... Atenuación del dispositivo según la hoja de características

Temperatura de ruido de dispositivo activo dada su figura de ruido:

$$T_N = T_{Ref} \cdot \left( 10^{\frac{NF}{10}} - 1 \right)$$

$NF$  ... Figura de ruido según la hoja de características

Temperatura de ruido de dispositivo pasivo:

$$T_N = T_{Ref} \cdot \left( 10^{\frac{A}{10}} - 1 \right)$$

Temperatura de ruido del sistema en el punto de referencia:

Cualquier ruido generado en el punto de referencia contribuye directamente al ruido del sistema. Los dispositivos que generan ruido en posiciones posteriores de la cadena de señal deben ser normalizados al punto de referencia para determinar su contribución de ruido a la entrada del sistema

$$T_{N\_Ref} = \frac{T_{N\_Dev}}{\prod_i (G_i \cdot L_i)}$$

$G_i$  ... Ganancia del dispositivo anterior

$L_i$  ... Pérdidas del dispositivo anterior

$T_{N\_Dev}$  ... Temperatura de ruido del dispositivo

$T_{N\_Ref}$  ... Temperatura de ruido del dispositivo normalizada al punto de referencia

$$T_{N\_Sys} = \sum_i T_{Ni}$$

$T_{Ni}$  ... Temperatura de ruido normalizada al punto de referencia del dispositivo  $i$ -ésimo de la cadena de señal

## 5.2 Cálculo del rango dinámico

Los efectos de la atmósfera producen atenuaciones y desvanecimientos que provocan variaciones considerables en el nivel de señal recibida y la relación portadora/ruido. El Receptor debe poseer un rango dinámico superior a las variaciones que pretende medir.

### 5.2.1 Relación portadora/ruido

La relación portadora/ruido ( $C/N_0$ ) a la entrada de la tarjeta de adquisición:

$$\frac{C}{N_0} [dB/Hz] = EIRP [dBW] - L [dB] + \frac{G}{T} [dB/K] - k [dBW/K/Hz]$$

*EIRP* ... Potencia isotrópica radiada equivalente del satélite  
*L* ... Pérdidas totales desde el satélite hasta la tarjeta de adquisición  
*G/T* ... Relación ganancia/temperatura de ruido [*dBW / Hz*]  
*k* ... Constante de Boltzmann ( $-228.6$  [*dBW / K / Hz*])

Teniendo en cuenta el ancho de banda en el que se mide la potencia, la relación señal/ruido (*C / N*):

$$\frac{C}{N} [dB] = \frac{C}{N_0} [dB / Hz] - 10 * \log_{10}(B) [Hz]$$

*B* ... Ancho de banda de detección del Receptor

### 5.2.2 Ancho de banda de detección del Receptor

Para la estimación de los parámetros de propagación se utiliza la FFT. La FFT puede ser interpretada como un banco de filtros en paralelo, con ancho de banda (*B*):

$$B = \frac{f_s}{N \cdot D} \cdot B_{window}$$

*f<sub>s</sub>* ... Frecuencia de muestreo  
*N* ... Longitud de la FFT  
*D* ... Tasa de diezmado  
*B<sub>window</sub>* ... Ancho de banda de ruido equivalente de la ventana utilizada

### 5.2.3 Ancho de banda de ruido equivalente

Dependiendo de la ventana utilizada (*w*), e.g. Hanning o Flattop:

$$B_{window} = \frac{NG}{CG^2} = \frac{\sum_n w^2(nT)}{\left(\sum_n w(nT)\right)^2}$$

*NG* ... Ganancia de ruido  
*CG* ... Ganancia coherente  
*W* ... Función ventana

### 5.2.4 Rango dinámico

El rango dinámico (*DR*) se puede derivar de la relación señal/ruido:

$$DR [dB] = \frac{C}{N} [dB] - DL [dB]$$

*DL* ... nivel de detección de la señal por encima del ruido

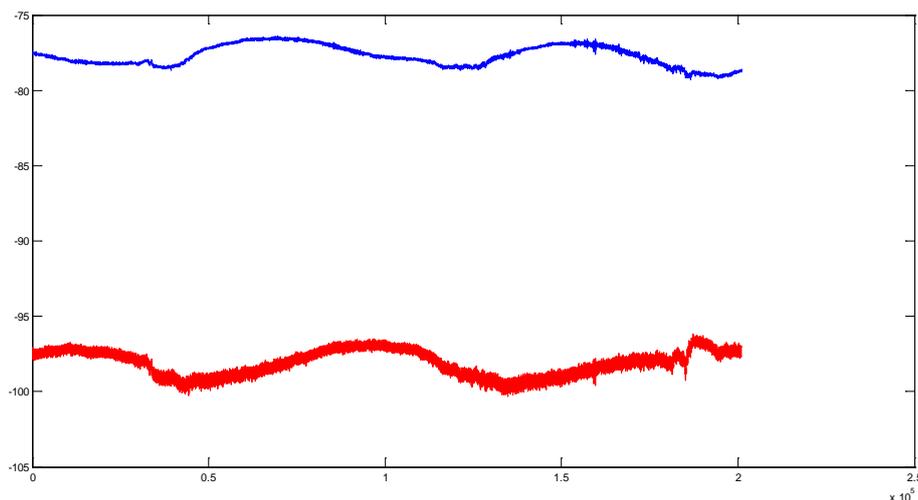


## 6 Operación del Receptor

A continuación se analizan los primeros resultados experimentales obtenidos tras dos días y medio de operación (del 17 al 19 de Noviembre de 2012), recibiendo la baliza Ka del satélite Hotbird 6.

Por razones de calendario la antena tuvo que ser enviada al término de esta primera prueba de vuelta al fabricante para proceder a la instalación del alimentador dual de bandas Ka y Q y el instrumento posicionador en elevación.

La siguiente imagen muestra la evolución de las componentes polar (azul) y contrapolar (rojo). Como se puede apreciar, tan sólo se conseguían 20 dB de discriminación de la polarización cruzada. Esto se debía a un ajuste incorrecto de la orientación del alimentador. Posteriormente se procedió a un ajuste más preciso, observando con un analizador de espectros la potencia recibida en la Unidad Interior a la vez que se hacía girar el alimentador sobre su eje buscando obtener el mejor alineamiento posible. La máxima XPD conseguida entonces fue de 29.8 dB pero no se recogieron datos experimentales con dicha configuración.



**Figura 25 - Primeros resultados experimentales**

Otro aspecto que llama la atención es la oscilación de los niveles recibidos. Los cambios en la XPD pueden estar relacionados con fenómenos atmosféricos o con la propia antena del satélite. Consultando con el profesor D. A. Rocha, de la Universidad de Aveiro, que en la actualidad lleva a cabo un experimento de propagación con la baliza del satélite Hotbird 6, éste confirmó que medía una XPD de 27 a 30 dB con variaciones de pico a pico diarias de 2 dB.

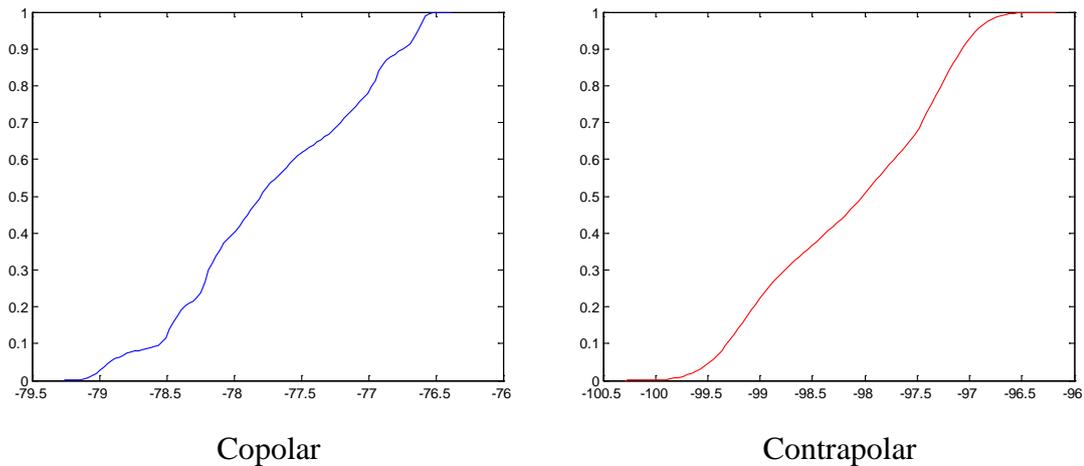
Es de vital importancia para la fiabilidad y exactitud de los datos recopilados que las variaciones no se deban a errores de instrumentación, como por ejemplo la variación de la ganancia de LNB con la temperatura.

En los días del experimento se alcanzaron durante la noche temperaturas en torno a los 5° C, siendo el rango de operación del LNB de 20° a 40° C. Por este motivo, en los días posteriores (ya sin la antena) se supervisó la temperatura en el interior de la caja del LNB y se detectó que ésta era significativamente inferior a 20°C en los momentos

más fríos de la noche debido a un ajuste incorrecto de los umbrales del termostato. Se incrementó el umbral inferior y ahora el LNB se encuentra siempre en el rango requerido, pero aún no se han recogido datos experimentales usando esta configuración.

Al final del experimento se puede apreciar un incremento repentino en el nivel de componente contrapolar, directamente relacionado con un fuerte evento de precipitación.

A continuación se incluyen las funciones de distribución de los niveles de las componentes.



**Figura 26 - Funciones distribución de las componentes**

## 7 Conclusión

En el presente Proyecto se han descrito los requisitos, diseño, implementación y verificación de un receptor satélite digital para la medida de la propagación en las bandas Ka y Q.

Se han comentado aspectos relevantes surgidos durante el desarrollo, como el impacto del peso de la primera unidad de conversión en frecuencia sobre la estabilidad de la antena, el correcto ajuste de los niveles de señal a lo largo de la cadena, la supervisión de la temperatura de operación de los componentes activos, etc. analizando y tratando de minimizar el impacto de éstos sobre el correcto funcionamiento del Receptor.

Se ha calculado el balance del enlace, incluyendo niveles reales medidos a lo largo de la cadena de señal y calculando figuras de mérito como el rango dinámico y la figura de ruido del Receptor.

Por último, se han presentado los primeros resultados experimentales obtenidos con la recepción de la baliza de banda Ka del satélite Hotbird 6.

## 7.1 Futuros desarrollos

El emplazamiento experimental definitivo será la Torre Hilmwarte en Graz, Austria, junto a la estación terrestre Alphasat. El Receptor se instalará una vez recibida la antena, tras la instalación del alimentador de banda ancha y el instrumento posicionador, y se retomará el análisis de datos experimentales y la realización de posibles ajustes y mejoras.

Una de las posibilidades sería incrementar el punto de trabajo con cielo despejado en torno a 20 dB mediante amplificación adicional tras la segunda unidad de conversión en frecuencia (siempre sin saturar el ADC de la tarjeta de adquisición), para obtener una mejora en el rango dinámico.

Al mismo tiempo, la segunda unidad del Receptor, encargada por el Centro Nacional de Estudios Espaciales francés (CNES), se encuentra ya en avanzado proceso de fabricación y se espera que ambos receptores estén operativos en el momento del lanzamiento del satélite Alphasat en la segunda mitad de 2013.

El Receptor objeto del presente Proyecto ofrece cuatro canales y cumple con exigentes especificaciones, lo que conlleva un elevado precio de reproducción, del orden de 150 K€. Sin embargo, un dispositivo de estas características nos es necesario para todas las aplicaciones. Receptores de dos canales o incluso de tan solo uno, serían suficientes para la realización de determinadas medidas.

Es por esto que se está llevando a cabo el diseño de una versión de bajo coste del Receptor, de banda Q, basada en componentes disponibles actualmente en el mercado, que cumpla con los requisitos de potenciales investigadores interesados.

## 8 Apéndices

### 8.1 Apéndice A: Segmento espacial del Experimento Científico TDP#5

A continuación se describen las características del Segmento Espacial del Experimento Científico TDP#5[20]:

Requisitos generales:

- Ubicación orbital del satélite: 25°E
- Localización del Satélite: Órbita geoestacionaria con inclinación variable no excediendo  $\pm 3^\circ$
- Vida útil de la carga: Mínimo 3 años, con un objetivo de 5 años

Requisitos funcionales:

- Antena de la baliza de banda Q:
  - Cobertura: Apuntamiento nominal hacia la localización geográfica: 45° 24' N; 9° 29' E. Área de cobertura definida por una sección angular cónica de 5°. Haz con forma Gaussiana
  - Polarización: Linear 45°
- Baliza de banda Q:
  - Plan de frecuencia: Frecuencia de operación 39.402 GHz, precisión  $\pm 5 \times 10^{-7}$
  - Coherente con la baliza de banda Ka
  - Modulación: Portadora no modulada (CW) (Onda continua)
  - Ambas balizas deben estar operativas al mismo tiempo
  - EIRP: Potencia isotrópica radiada equivalente sobre el área de cobertura especificada por encima de 26.5 dBW, incluyendo BPE (Error de apuntamiento del haz)
  - Estabilidad de la EIRP: La meta de estabilidad es 0.5 dB
  - Estabilidad de frecuencia:  $\pm 5 \times 10^{-7}$  a lo largo de 3 años
  - Ruido de fase:
    - -22 dBc/Hz a 10 Hz de la portadora
    - -42 dBc/Hz a 100 Hz de la portadora
    - -52 dBc/Hz a 1 kHz de la portadora
    - -62 dBc/Hz a 10 kHz de la portadora
    - -82 dBc/Hz a 100 kHz de la portadora
    - -82 dBc/Hz a 100 MHz de la portadora
- Antena de la baliza de banda Ka:
  - Cobertura: Apuntamiento nominal hacia la localización geográfica: 35° N, 17° E. Área de cobertura definida por una sección angular cónica de 6.3°. Haz con forma Gaussiana
  - Polarización: Lineal vertical

- Baliza de banda Ka:
  - Plan de frecuencia: Frecuencia de operación 19.704 GHz, precisión  $\pm 5 \times 10^{-7}$
  - Coherente con la de la baliza de banda Q
  - Modulación: Portadora no modulada (CW) (Onda continua)
  - Ambas balizas deben estar operativas al mismo tiempo
  - EIRP: Potencia isotrópica radiada equivalente sobre el área de cobertura especificada por encima de 19.5 dBW, incluyendo BPE (Error de apuntamiento del haz)
  - Estabilidad de la EIRP: La meta de estabilidad es 0.5 dB
  - Estabilidad de frecuencia:  $\pm 5 \times 10^{-7}$  a lo largo de 3 años
  - Ruido de fase:
    - -30 dBc/Hz a 10 Hz de la portadora
    - -50 dBc/Hz a 100 Hz de la portadora
    - -60 dBc/Hz a 1 kHz de la portadora
    - -70 dBc/Hz a 10 kHz de la portadora
    - -90 dBc/Hz a 100 kHz de la portadora
    - -90 dBc/Hz a 100 MHz de la portadora

## 8.2 Apéndice B: Especificaciones del LNB

La siguiente tabla muestra las especificaciones comprobadas del LNB de ACORDE utilizado en la primera conversión en frecuencia [23]:

TEST	PARAMETER	SPECIFIED VALUE	RESULTS	REMARKS
TN01	Weight	4 kg (typ)	3,88 Kg	
TN02	Colour	RAL9003 white	OK	
TN03	Power Consumption (Typ)	< 2,5 A	1,90 A	
TN04a	Ka-band Input VSWR	< 2,0: 1 (-9,5 dB)	< - 11,17 dB	for Ka1 LNB
			< - 11,20 dB	for Ka2 LNB
TN04b	Q-band Input VSWR		< - 19,68 dB	for Q1 LNB
			< - 12,08 dB	for Q2 LNB
TN05	L-band Output VSWR	< 2,0: 1 (-9,5 dB)	< - 26,30 dB	for Ka1 LNB
			< - 25,00 dB	for Ka2 LNB
			< - 22,00 dB	for Q1 LNB
			< - 25,50 dB	for Q2 LNB
TN06	Gain (Typ)	60 dB	66,77 dB	for Ka1 LNB
			66,84 dB	for Ka2 LNB
			63,13 dB	for Q1 LNB
			62,90 dB	for Q2 LNB
TN07	Gain flatness	$\pm 0,25$ dB (1MHz BW)	$\pm 0,02$ dB	for Ka1 LNB
			$\pm 0,03$ dB	for Ka2 LNB
			$\pm 0,03$ dB	for Q1 LNB
			$\pm 0,02$ dB	for Q2 LNB
TN08	Output Power @ P <sub>1dB</sub>	> 0 dBm	+7,49 dBm	for Ka1 LNB
			+7,41 dBm	for Ka2 LNB
			+9,20 dBm	for Q1 LNB
			+8,36 dBm	for Q2 LNB
TN09	Spurious in Band	< -60 dBc	< - 62,4 dBc	for Ka1 LNB
			< - 62,2 dBc	for Ka2 LNB
			< - 62,2 dBc	for Q1 LNB
			< - 62,0 dBc	for Q2 LNB
TN10a	Ka-band Noise Figure	< 3,7 dB	1,57 dB	for Ka1 LNB
			1,48 dB	for Ka2 LNB
TN10b	Q-band Noise Figure	< 4,8 dB	3,81 dB	for Q1 LNB
			3,85 dB	for Q2 LNB
TN11	Image Rejection	> 40 dB	58,3 dB	for Ka1 LNB
			52,0 dB	for Ka2 LNB
			45,3 dB	for Q1 LNB
			49,4 dB	for Q2 LNB
TN12	Phase Noise	-30 dBc/Hz @ 10Hz	-51,5 dBc/Hz	for Ka1 LNB
		-50 dBc/Hz @ 100Hz	-60,3 dBc/Hz	
		-60 dBc/Hz @ 1kHz	-61,3 dBc/Hz	for Ka2 LNB
		-70 dBc/Hz @ 10kHz	-72,6 dBc/Hz	
-90 dBc/Hz @ 100kHz	-100,2 dBc/Hz	for Q1 LNB		
-90 dBc/Hz @ 1MHz	-109,1 dBc/Hz			
		-30 dBc/Hz @ 10Hz	-51,5 dBc/Hz	for Ka2 LNB
		-50 dBc/Hz @ 100Hz	-61,6 dBc/Hz	
		-60 dBc/Hz @ 1kHz	-61,3 dBc/Hz	for Q1 LNB
		-70 dBc/Hz @ 10kHz	-72,6 dBc/Hz	
		-90 dBc/Hz @ 100kHz	-100,1 dBc/Hz	for Q2 LNB
		-90 dBc/Hz @ 1MHz	-109,0 dBc/Hz	
		-22 dBc/Hz @ 10Hz	-45,9 dBc/Hz	for Q1 LNB
		-42 dBc/Hz @ 100Hz	-57,8 dBc/Hz	
		-52 dBc/Hz @ 1kHz	-59,4 dBc/Hz	for Q2 LNB
		-62 dBc/Hz @ 10kHz	-69,4 dBc/Hz	
		-82 dBc/Hz @ 100kHz	-95,1 dBc/Hz	for Q1 LNB
		-82 dBc/Hz @ 1MHz	-101,8 dBc/Hz	
		-22 dBc/Hz @ 10Hz	-48,0 dBc/Hz	for Q2 LNB
		-42 dBc/Hz @ 100Hz	-57,0 dBc/Hz	
		-52 dBc/Hz @ 1kHz	-59,4 dBc/Hz	for Q1 LNB
		-62 dBc/Hz @ 10kHz	-69,2 dBc/Hz	
		-82 dBc/Hz @ 100kHz	-94,8 dBc/Hz	for Q2 LNB
		-82 dBc/Hz @ 1MHz	-101,9 dBc/Hz	
TN13	Gain Variation (Temp)	$\pm 0,25$ dB ( $\Delta T$ from +20°C to +40°C)	$\pm 0,10$ dB	for Ka1 LNB
			$\pm 0,14$ dB	for Ka2 LNB
			$\pm 0,20$ dB	for Q1 LNB
			$\pm 0,21$ dB	for Q2 LNB

## 8.3 Apéndice C: Listas de componentes

A continuación se incluyen listas con información relevante de los componentes utilizados en las distintas partes del Receptor.

### 8.3.1 Caja del LNB

#### a) Caja

<b>Proveedor</b>	EAZ	
<b>Modelo</b>	Hecha a medida	
<b>Características</b>	Cuerpo: 380x270x100 mm Cubierta ventiladores: 6x270x100 mm Tapa: 447x276 mm Aluminio de 2 mm de grosor Acabada con pintura electrostática blanca	

#### b)

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	STEGO ZR011 (468-2886)	
<b>Características</b>	Dos termostatos en una unidad Rango de temperatura 0°C – 60° C Montable en rail DIN. Diferencia de conmutación: 7°C±4K	

#### c) Ventiladores (2x)

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	EBM-Papst 614 NN (501-929)	
<b>Características</b>	Ventilador axial plano Dimensiones: 60x60x25 mm Flujo de aire: 40 m³/h Voltaje nominal: 24 V DC Potencia de entrada: 1.8 Watt Rango de temperatura: -20...+70°C	

#### d) Filtros (2x)

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	EBM-PMF A60 (501-941)	
<b>Características</b>	Partes: - Rejilla de cubierta exterior, - Placa de fijación interna - Almohadilla de filtro Dimensiones: 65x65x13,5 mm	

**e) Almohadilla térmica**

<b>Proveedor</b>	Conrad	
<b>Modelo</b>	Thermo 170x135 mm (189270-62)	
<b>Características</b>	Voltaje nominal: 24V DC Potencia de entrada: 17 W Autoadhesiva	

**f) Prensaestopas (5x)**

<b>Proveedor</b>	Farnell	
<b>Modelo</b>	HUMMEL 1291200151 PK50 NEGRO (1678017)	
<b>Características</b>	Material: PA (Nylon) Clase de protección: IP68 Diámetro del cable: 5 - 9 mm Tamaño carcasa conector: M20	

Las arandelas de estas prensaestopas resultaron ser demasiado grandes para los cables utilizados y se decidió cambiarlas por arandelas de diámetro exterior de 13 mm e interior de 7 mm para obtener un mejor sellado.

**g) Tuercas de seguridad (5x)**

<b>Proveedor</b>	Farnell	
<b>Modelo</b>	HUMMEL 1262200150 PK100 NEGRO (1678035)	
<b>Características</b>	Material: PA (Nylon) Clase de protección: IP68 Tamaño carcasa conector: M20	

**h) Cables para las señales a IF1 y frecuencia de referencia (5x)**

<b>Proveedor</b>	Krenn	
<b>Modelo</b>	L45466-B14-C35	
<b>Características</b>	SMA m – SMA m, 2 m Diámetro: 5.5 mm Atenuación: 30dB/100m a 1 GHz 2 x IF1 Ka, 2 x IF1 Q, 1x 10 MHz	

**i) Compensador de la presión / condensación**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	BOPLA DAE M12 NEGRO (728-4690)	
<b>Características</b>	Dimensiones: M12 x 1.5 Material: plástico	

### j) Conector de alimentación y Ethernet

<b>Proveedor</b>	Harting	
<b>Modelo</b>	HAN 3A RJ45 Híbrido 8 polos (10 12 005 1002)	
<b>Características</b>	4 contactos 3A RJ45 4 contactos hasta 48 V, 16 A Rango temperatura: -40...+70°C Material: metal	

### k) Cable de sistema de alimentación y Ethernet

<b>Proveedor</b>	Harting	
<b>Modelo</b>	HAN 3A RJ45 Híbrido 8 hilos (09 45 725 1535)	
<b>Características</b>	4 x 2 par trenzado, blindado Longitud: 3 m Negro. Uso exterior	

### l) Guías de onda de banda Ka y Q (4x)

<b>Proveedor</b>	Unique Broadband Systems	
<b>Modelo</b>	Hechas a medida	
<b>Características</b>	Dimensiones: WR42 – banda Ka (2x) WR28 – banda Q (2x) Flexibles	

## 8.3.2 Caja Auxiliar

### a) Caja Auxiliar

<b>Proveedor</b>	RS-Components	
<b>Modelo</b>	Caja Euronord (738-9331)	
<b>Características</b>	Clase de protección IP68 Dimensiones 403x310x110mm	

### b) Fuente de alimentación 15 VDC

<b>Proveedor</b>	Proconnecting	
<b>Modelo</b>	Mean Well RS-35-15	
<b>Características</b>	Voltaje: 15 VDC Intensidad nominal: 2.4 A Potencia nominal: 36 W Rango voltaje entrada: 88 - 264 V AC Rango ajuste voltaje: 13.5 - 16.5 VDC	

Esta fuente alimenta el LNB.

### c) Fuente de alimentación 24 VDC

<b>Proveedor</b>	Proconnecting	
<b>Modelo</b>	Mean Well RS-35-24	
<b>Características</b>	Voltaje: 24 V Intensidad nominal: 1.5 A Potencia nominal: 36 W Rango voltaje entrada: 88 - 264 V AC Rango ajuste voltaje: 22 - 27.6 VDC	

Esta fuente alimenta: el hub Ethernet, la placa microcontroladora (a través del convertor de tensión DC/DC de 9 V) y los ventiladores y la almohadilla térmica de la caja del LNB.

### d) Convertor de tensión DC/DC

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	TRACO TSR 1-2490 (666-4376)	
<b>Características</b>	Rango voltaje entrada: 12 - 36V DC Voltaje de salida: 9 VDC Intensidad máxima de salida: 1 A Temperatura de operación: -40...+85° C	

### e) Placa microcontroladora

<b>Proveedor</b>	Neuhold Elektronik	
<b>Modelo</b>	AVR-NET-IO	
<b>Características</b>	Microcontrolador ATmega644 Controlador de red ENC28J60 Interfaz RS-232 8 salidas digitales 4 entradas digitales 4 entradas analógicas (ADC 10 bits) Voltaje de operación: 9 VDC Consumo máximo: 190 mA Dimensiones: 108x76x22 mm	

### f) Hub Ethernet

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Ethernet switch IP30 (623-5820)	
<b>Características</b>	8 Puertos unmanaged Conmutación Store and forward Non-blocking, Auto-crossing Voltaje de operación: 24 VDC	

### g) Prensaestopas (5x)

<b>Proveedor</b>	Farnell	
<b>Modelo</b>	HUMMEL 1291200151 PK50 NEGRO (1678017)	
<b>Características</b>	Material: PA (Nylon) Clase de protección: IP68 Diámetro del cable: 5 - 9 mm Tamaño carcasa conector: M20	

Las arandelas de estas prensaestopas resultaron ser demasiado grandes para los cables utilizados y se decidió cambiarlas por arandelas de diámetro exterior de 13 mm e interior de 7 mm para obtener un mejor sellado.

### h) Tuercas de seguridad (5x)

<b>Proveedor</b>	Farnell	
<b>Modelo</b>	HUMMEL 1262200150 PK100 NEGRO (1678035)	
<b>Características</b>	Material: PA (Nylon) Clase de protección: IP68 Tamaño carcasa conector: M20	

### i) Compensador de la presión / condensación

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	BOPLA DAE M12 NEGRO (728-4690)	
<b>Características</b>	Dimensiones: M12 x 1.5 Material: plástico	

### j) Conector de corriente

<b>Proveedor</b>	Harting	
<b>Modelo</b>	Han-Kit-3AGK (10 20 003 0001)	
<b>Características</b>	Diámetro del cable: 5 - 9 mm Tamaño carcasa conector: M20 Clase de protección: IP67 Versión metálica	

### k) Conector de Ethernet

<b>Proveedor</b>	Harting	
<b>Modelo</b>	Han3A RJ45 10G Cat6 PFT (09 45 215 1560)	
<b>Características</b>	8 polos Dimensiones: 20x22 mm Clase de protección: IP67 Temperatura operación: -40...+70°C Versión metálica	

### l) Conector de alimentación y Ethernet

<b>Proveedor</b>	Harting	
<b>Modelo</b>	HAN 3A RJ45 Híbrido 8 polos (10 12 005 1002)	
<b>Características</b>	4 contactos 3A RJ45 4 contactos hasta 48 V, 16 A Rango temperatura: -40...+70°C Material: metal	

### m) Adaptadores de SMA a N (4x)

<b>Proveedor</b>	Krenn HF-Technik	
<b>Modelo</b>	Adaptador SMA f-N f (32K453-K00L5)	
<b>Características</b>	SMA hembra a N hembra Impedancia: 50 Ω Frecuencia: DC a 11 GHz Rango de temperatura: -55...+155°C	

### n) Sensores de temperatura (3x)

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	DALLAS DS18S20+ (540-2849)	
<b>Características</b>	Temperaturas medidas -55°...+125°C Resolución del termómetro 9 bits Interfaz de comunicación de 1 hilo	

## 8.3.3 Panel de conectores de la Unidad Interior

### a) Adaptadores de SMA a N (4x)

<b>Proveedor</b>	Krenn HF-Technik	
<b>Modelo</b>	Adaptador SMA f-N f (32K453-K00L5)	
<b>Características</b>	SMA hembra a N hembra Impedancia: 50 Ω Frecuencia: DC a 11 GHz Rango de temperatura: -55...+155°C	

### b) Adaptador de SMA a SMA

<b>Proveedor</b>	Krenn HF-Technik	
<b>Modelo</b>	Adaptador SMA f-SMA f (32K621-K00E3)	
<b>Características</b>	SMA hembra a SMA hembra Impedancia: 50 Ω Frecuencia: DC a 18 GHz Rango de temperatura: -65...+165°C	

**c) Conector Ethernet (2x)**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Hembra con contratuerca RJ45, 90° 739-8492	
<b>Características</b>	IP 68 Montaje en panel Temperatura operación: -20...+80°C	

**d) Conector de corriente**

<b>Proveedor</b>	Harting	
<b>Modelo</b>	Han-Kit-3AGK (10 20 003 0001)	
<b>Características</b>	Diámetro del cable: 5 - 9 mm Tamaño carcasa conector: M20 Clase de protección: IP67 Versión metálica	

**e) Conector de toma de corriente**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Filtro de toma de corriente FN9222 454-0962	
<b>Características</b>	Voltaje nominal: 250V AC Corriente nominal: 15A	

**8.3.4 Unidad Interior**

**a) Armario Rack**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Armario Minirack Schroff 12 HE 19" (513-329)	
<b>Características</b>	Dimensiones: 589x553x600 mm Materiales: aluminio y acero Peso: 20 Kg	

**b) PC Procesador**

<b>Proveedor</b>	Ditech
<b>Modelo</b>	PC de Escritorio
<b>Características</b>	Montaje en rack 3 HE 19" Procesador Intel i7 RAM: Kingston 2 GB DDR2 (2x) Disco Duro: Western Digital 1 TB SATA (2x) Interfaz Ethernet Unidad óptica DVD

	<b>Tarjeta de Adquisición:</b> ICS-1555A-002 GE Fanuc 4 canales con ADCs de 16 bits hasta 160MHz FPGA programable por el usuario (Virtex-5 SX95T) Adaptador PMC-PCIe
--	---

**c) PC Controlador**

<b>Proveedor</b>	IPC 2 U
<b>Modelo</b>	PC Industrial
<b>Características</b>	Montaje en rack 2 HE 19" Procesador Intel Q965 Dual Core 2.4 GHz RAM: Kingston 2 GB DDR2 Disco duro: Western Digital 500 GB SATA Interfaz Ethernet (2x) Unidad óptica DVD Monitor estándar ACER 21.5" TFT X223HQBBB

**d) Servidor de tiempo NTP + Receptor GPS + Reloj 10 MHz**

<b>Proveedor</b>	Meinberg
<b>Modelo</b>	LANTIME M300/GPS-HQ/FS-4
<b>Características</b>	Radio reloj GPS incorporado Consola de estado y configuración. LEDS de estado Interfaz LAN RJ45. Protocolos IPv4, IPv6, TELNET... Antena conectada con cable coaxial RG58 de hasta 300m 4 x 10 MHz, Seno 1.2 Vpp en 50 ohm, conectores BNC hembra



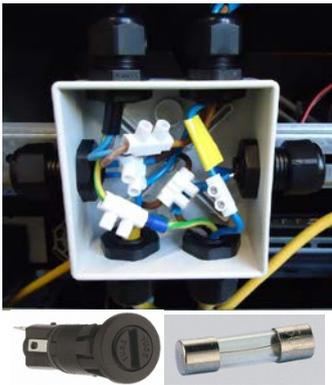
**e) Hub Ethernet**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Ethernet switch IP30 (623-5820)	
<b>Características</b>	8 Puertos unmanaged Conmutación Store and forward Non-blocking, Auto-crossing Voltaje de operación: 24 VDC	

#### f) Fuente de alimentación

<b>Proveedor</b>	Proconnecting	
<b>Modelo</b>	Mean Well DR-15-24	
<b>Características</b>	Montaje en rail DIN TS-35 Voltaje: 24 VDC Intensidad nominal: 0.63 A Potencia nominal: 15.2 W Rango de ajuste de voltaje: 21.6...26.4 V	

#### g) Conexiones eléctricas

<b>Proveedor / Características</b>	Baumax: <b>Caja</b> para cubrir los fusibles y conexiones de cables de alimentación.  RS Components: <b>Portafusibles (2x)</b> (376-6618) 1-1.5mm, 250 V AC, 16 A <b>Fusibles (2x)</b> RS Components (541-4533) 5x20 mm, 250 V AC, 10 A	
------------------------------------	--	---

#### h) Interruptor de encendido

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Interruptor on-off iluminado Rocker (440-6890)	
<b>Características</b>	Configuración DPST Iluminación color rojo Material: nylon Contacto nominal: 16 A a 250 V AC	

#### i) Regleta

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Regleta Schuko (693-4934)	
<b>Características</b>	Tomas: 6 Tensión nominal: 250 V AC Corriente nominal: 16 A	

### 8.3.5 Segunda unidad de conversión en frecuencia

#### a) Oscilador Local Programable (2x)

<b>Proveedor</b>	AtlanTecRF	
<b>Modelo</b>	ANS3-0800-001	
<b>Características</b>	Rango de frecuencia: 800...1200 MHz Resolución: 1 KHz Conectores: SMA-f Voltaje de entrada: 8...12 VDC, 300 mA	

#### b) Divisor de potencia (2x)

<b>Proveedor</b>	Mini-Circuits	
<b>Modelo</b>	ZAPD-21+	
<b>Características</b>	Rango de frecuencia: 500...2000 MHz Pérdidas de inserción: 0.25 dB tip. Potencia de entrada: 10 W máx. Conectores: SMA	

#### c) Mezclador (4x)

<b>Proveedor</b>	Mini-Circuits	
<b>Modelo</b>	ZEM-4300+	
<b>Características</b>	Rango de frecuencia: 300...4300 MHz Pérdidas de conversión: 6.65 dB tip. Conectores: SMA	

#### d) Filtro paso banda (4x)

<b>Proveedor</b>	Mini-Circuits	
<b>Modelo</b>	SBP-10.2+	
<b>Características</b>	Frecuencia central: 10.2 MHz Banda de paso: 9.5...11.5 MHz Pérdidas de inserción: 1.5 dB máx. Banda rechazada: L > 20 dB a 7.5 y 15 MHz; L > 35 dB a 0.6 y 50...1000 MHz	

**e) Placa microcontroladora (2x)**

<b>Proveedor</b>	Neuhold Elektronik	
<b>Modelo</b>	AVR-NET-IO	
<b>Características</b>	Microcontrolador ATmega644 Controlador de red ENC28J60 Interfaz RS-232 8 salidas digitales 4 entradas digitales 4 entradas analógicas (ADC 10 bits) Voltaje de operación: 9 VDC Consumo máximo: 190 mA Dimensiones: 108x76x22 mm	

**f) Sensores de temperatura (8x)**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	DALLAS DS18S20+ (540-2849)	
<b>Características</b>	Temperaturas medidas -55°...+125°C Resolución del termómetro 9 bits Interfaz de comunicación de 1 hilo	

**g) LEDs (6x)**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	LED (212-086 verde, 212-092 amarillo, 212-070 rojo)	
<b>Características</b>	Tamaño lámpara: 8 mm Estilo moldura: Empotrado Color moldura: Cromo Tensión nominal: 2 VDC Corriente nominal: 20 mA Protección: IP 67	

**h) Fuente de alimentación**

<b>Proveedor</b>	Proconnecting	
<b>Modelo</b>	Mean Well S-150-9	
<b>Características</b>	Voltaje: 9 VDC Corriente nominal: 16.7 A Potencia nominal: 150.3 W Rango de ajuste de voltaje: 8...10.4 V	

**i) Conector de toma de corriente**

<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Filtro de toma de corriente FN9222 454-0962	
<b>Características</b>	Voltaje nominal: 250V AC Corriente nominal: 15A	

**j) Conector Ethernet (2x)**

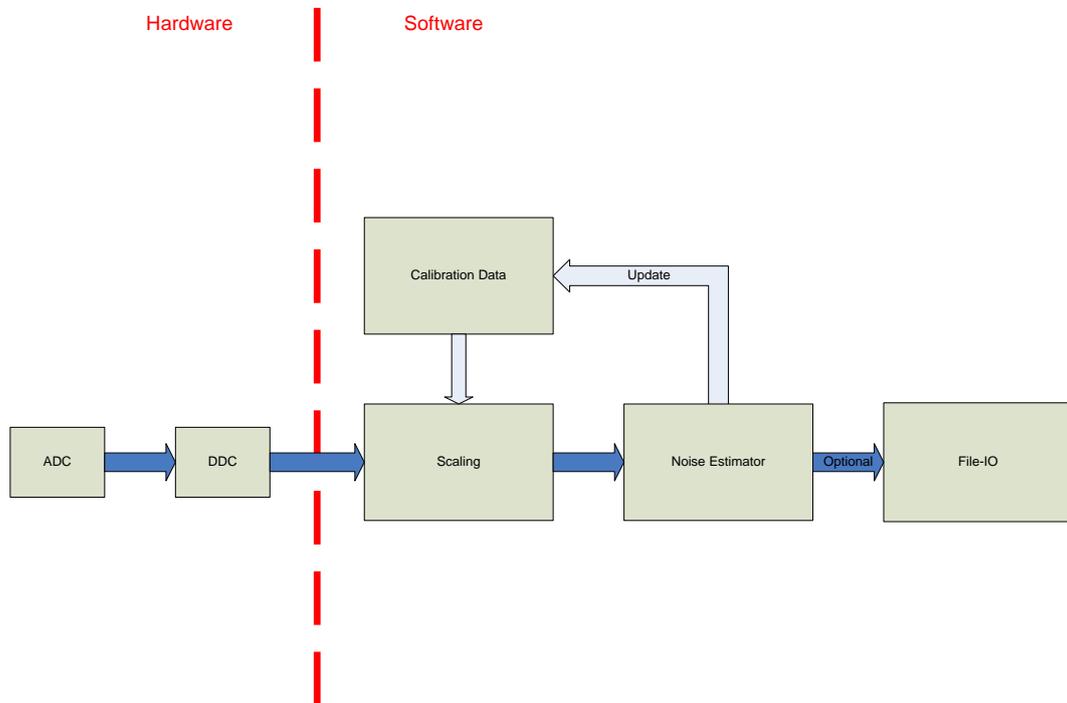
<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	RJ45 468-6232	
<b>Características</b>	Instalable en panel Acoplador blindado Cat 5e Clase protección IP68	

**k) Interruptor de encendido**

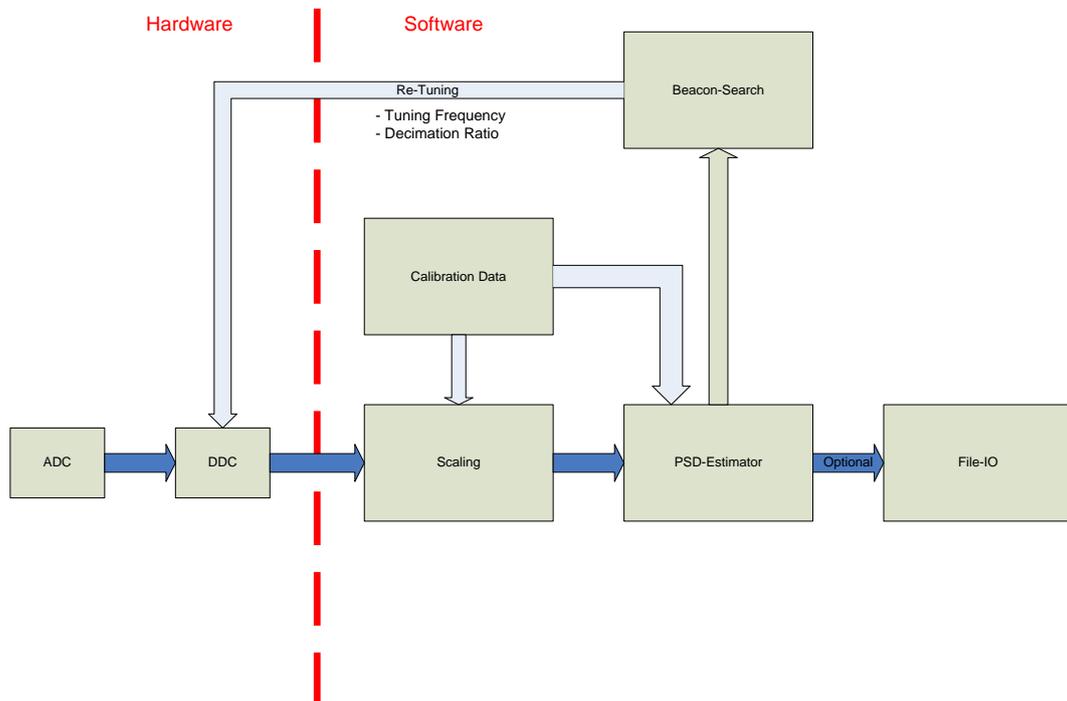
<b>Proveedor</b>	RS Components	
<b>Modelo</b>	Interruptor on-off iluminado Rocker (440-6890)	
<b>Características</b>	Configuración DPST Iluminación color rojo Material: nylon Contacto nominal: 16 A a 250 V AC	

## 8.4 Apéndice D: Diagramas de flujo del software de procesado

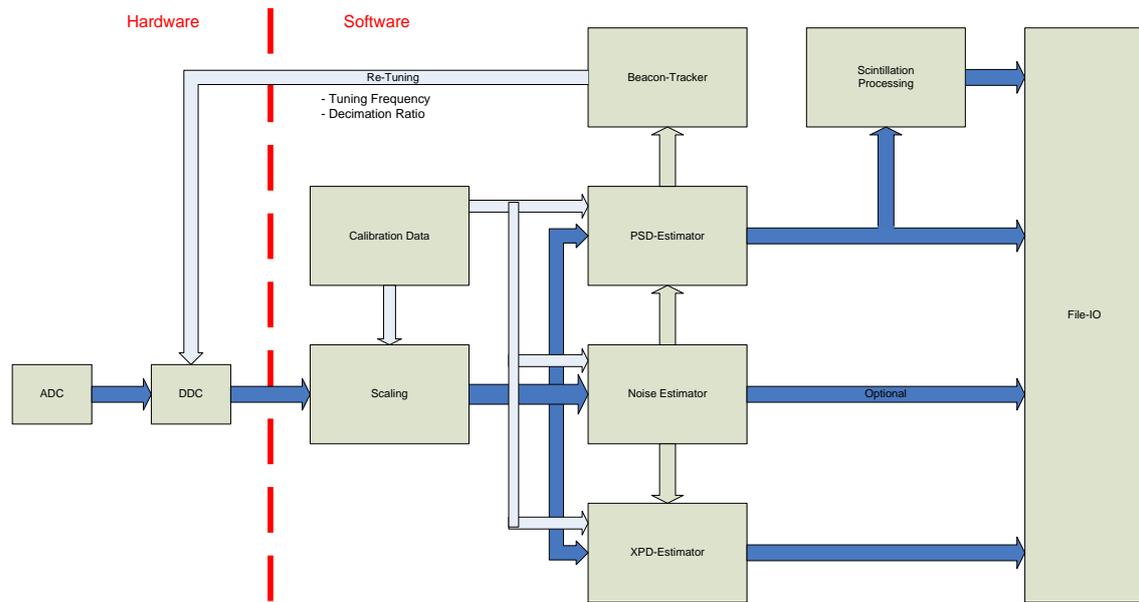
### 8.4.1 Modo de calibración



### 8.4.2 Modo de búsqueda

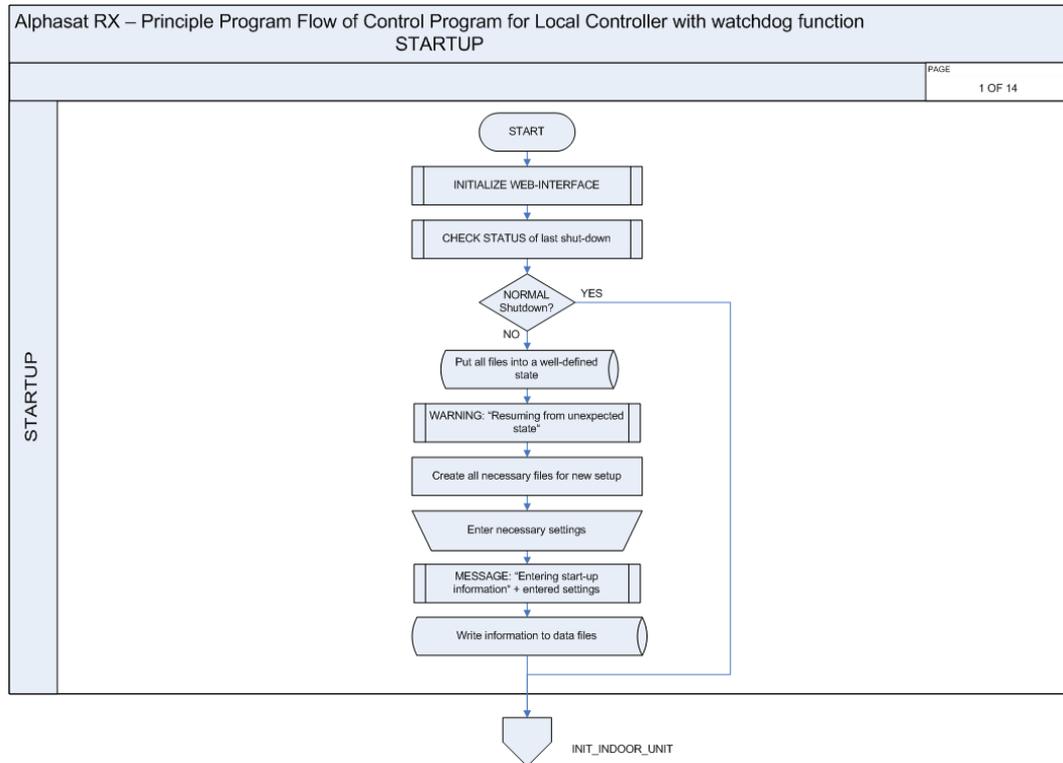


### 8.4.3 Modo de medida

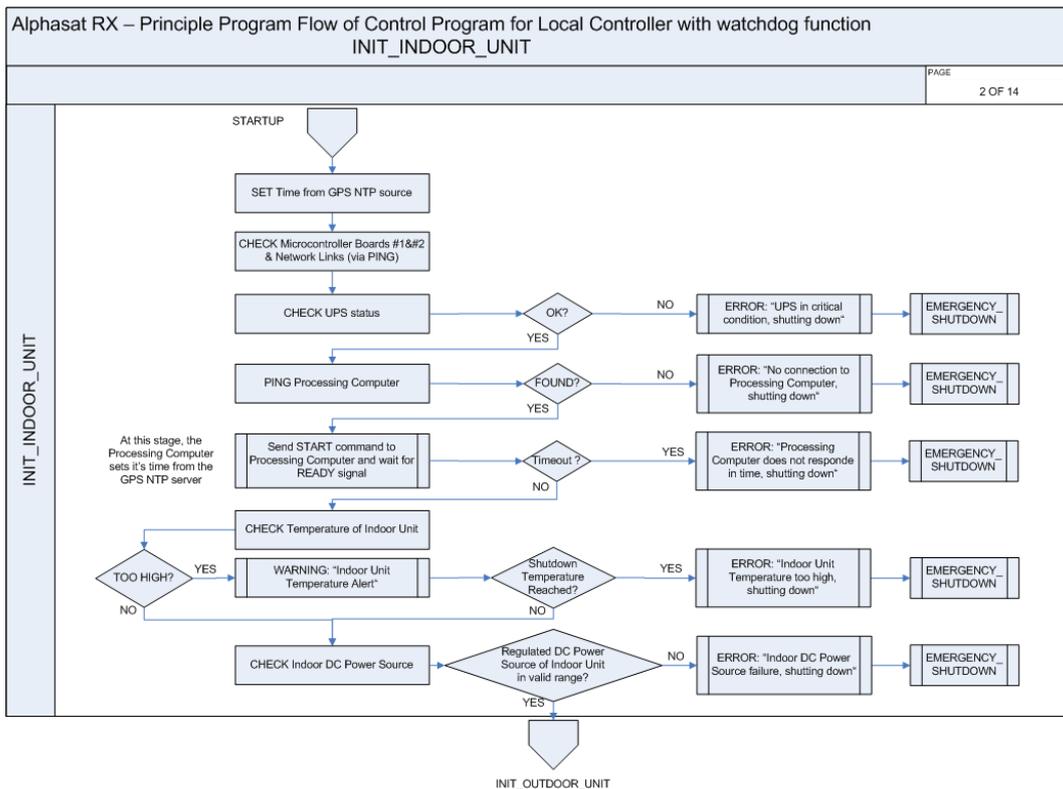


## 8.5 Apéndice E: Diagramas de flujo del software de control

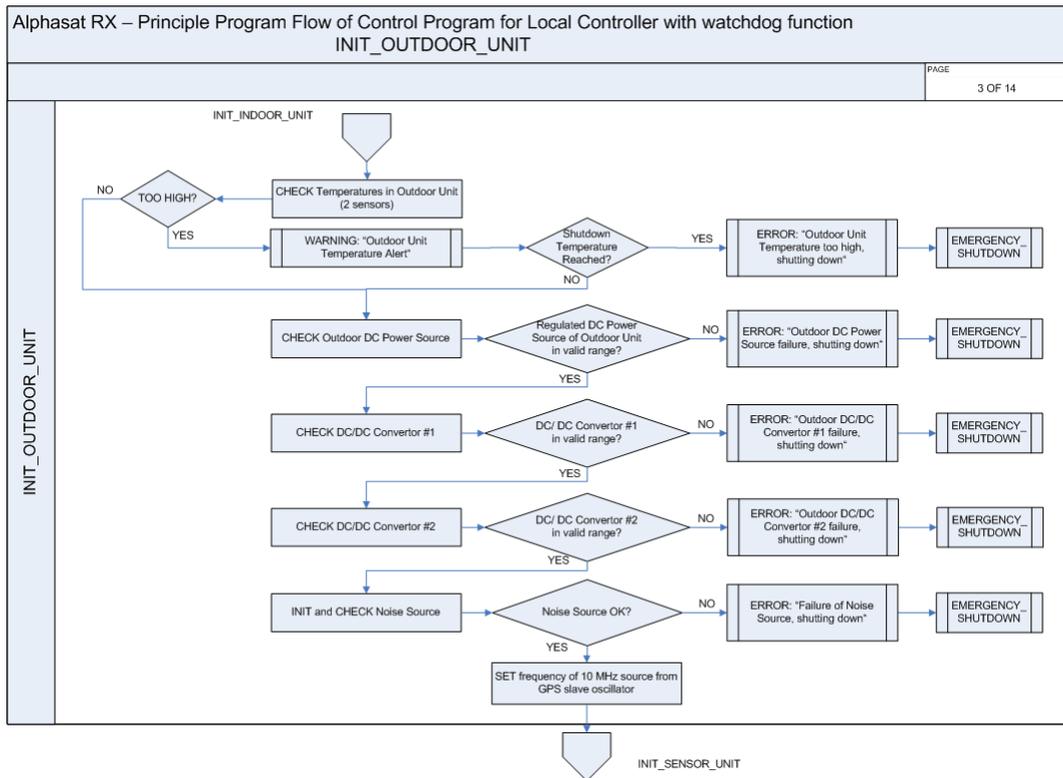
### 8.5.1 Arranque



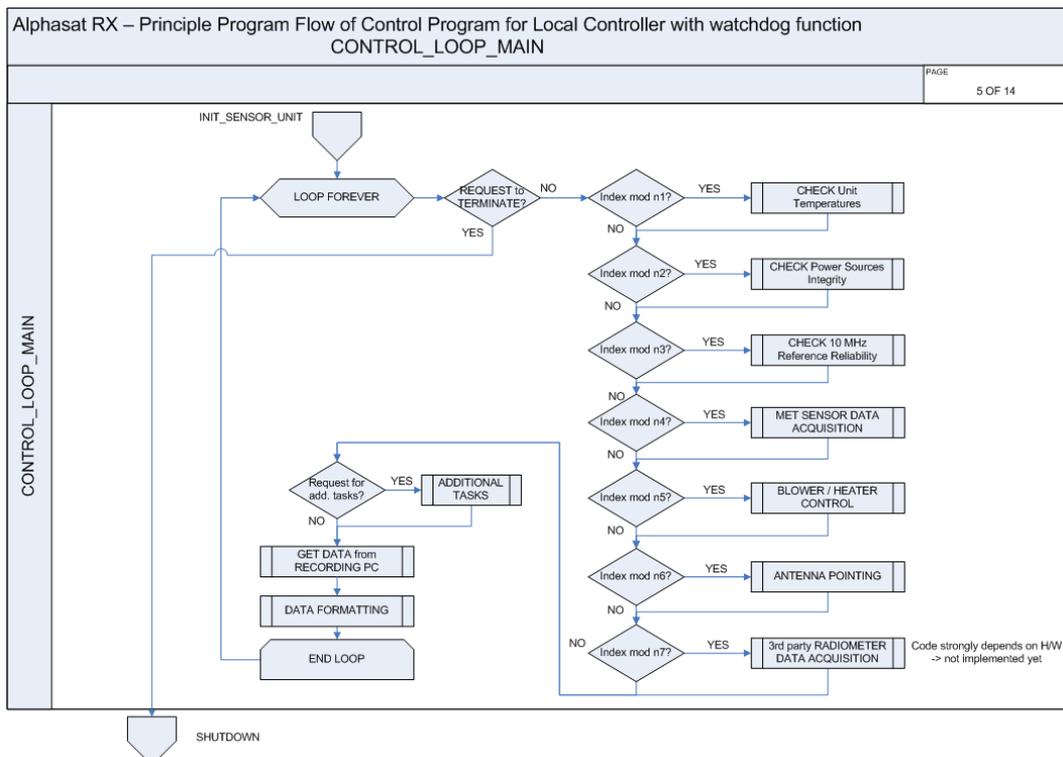
### 8.5.2 Inicialización de la Unidad Interior



### 8.5.3 Inicialización de la Unidad Exterior



### 8.5.4 Bucle de control principal



## 8.6 Apéndice F: Configuración de red

Los subsistemas del Receptor se encuentran conectados formando una red de área local (LAN). Por razones de seguridad el PC Controlador es el único elemento accesible desde el exterior y proporciona la puerta de enlace a través de su segunda interfaz de red.

A continuación se indican las direcciones MAC e IP, la máscara de subred (SNM) y la puerta de enlace predeterminada (GW) para cada componente:

LNB	
MAC	00:40:9d:38:40:5a
IP	10.8.8.35
SNM	255.255.255.0
GW	10.8.8.254

PC Controlador (ETH0)	
MAC	00:18:7D:09:3C:41
IP	10.8.8.254
SNM	255.255.255.0
GW	10.8.8.254

Placa Exterior	
MAC	00:22:F9:01:00:2E
IP	10.8.8.45
SNM	255.255.255.0
GW	10.8.8.254

PC Controlador (ETH1)	
MAC	00:18:7D:09:3C:40
IP	143.224.73.143
SNM	255.255.240.0
GW	143.224.73.254

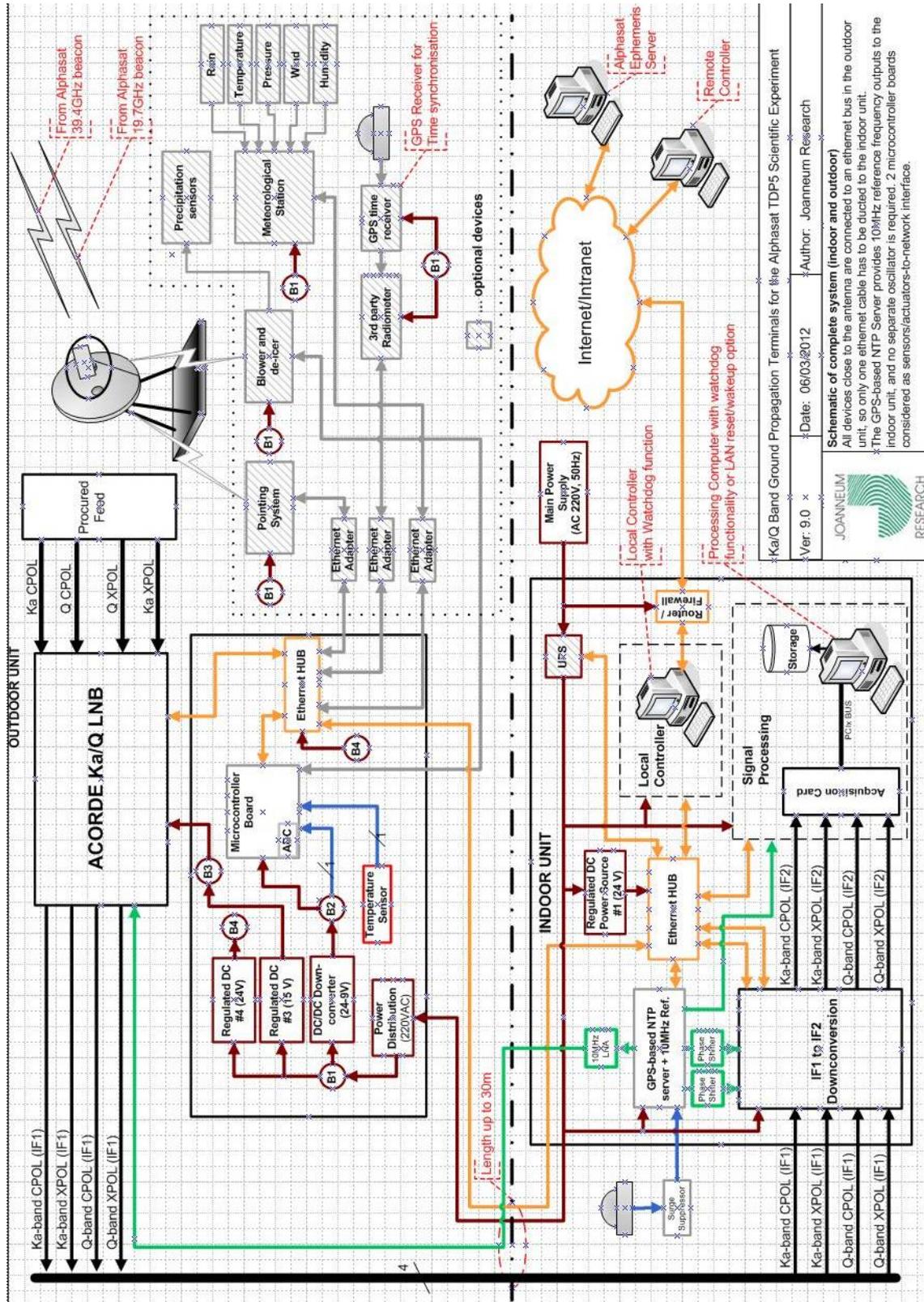
Placa Interior 1	
MAC	00:22:F9:01:00:03
IP	10.8.8.100
SNM	255.255.255.0
GW	10.8.8.254

Placa Interior 2	
MAC	00:22:F9:01:00:01
IP	10.8.8.101
SNM	255.255.255.0
GW	10.8.8.254

Servidor NTP (ETH0)	
MAC	00:13:95:04:D4:E5
IP	10.8.8.85
SNM	255.255.255.0
GW	10.8.8.254

PC Procesador	
MAC	20:CF:30:06:5A:E7
IP	10.8.8.55
SNM	255.255.255.0
GW	10.8.8.254

## 8.7 Apéndice G: Esquemático del sistema completo



## 9 Referencias

- [1] Kikkert C. J., Bowthorpe B. y Allen G. "Satellite Beacon Receiver Improvement Using Digital Processing Techniques". The Fourth International Symposium on Signal Processing and its Applications (ISSPA96), pp.517-520, Agosto 1996
- [2] L.J. Ippolito, "Radiowave Propagation In Satellite Communications", Van Nostrand Reinhold, 1986
- [3] "OPEX: Vol. 1 Reference Book on Attenuation Measurement and Prediction" ESA WPP-83, Noviembre 1994
- [4] "OPEX: Vol. 2 Reference Book on Depolarisation" ESA WPP-83, Noviembre 1994
- [5] "OPEX: Vol. 3 Reference Book on Radiometry and Meteorological Measurements" ESA WPP-83, Noviembre 1994
- [6] "COST 255, Radiowave propagation modelling for SatCom services at Ku-Band and above", ESA Publications Division, 2002, ISBN 92-9092-608-2, ISSN 0379-6566
- [7] ESTEC Contr. 16865/03/NL/EC: "Development of propagation models for telecommunication satellite systems", Informe Final, 31/7/2004
- [8] ESTEC Contr. 17760/03/NL/JA "Characterisation and Modelling of Propagation effects in the 20-50 GHz Band", Informe Final
- [9] ESTEC Contr. 182780/04/NL/US "Assessment of radiowave propagation for SatCom in tropical and sub-tropical areas", Informe Final
- [10] D.H. Martin, "Communications Satellites 1958-1988, The Aerospace Corporation", Diciembre, 1986.
- [11] Special Issue on ATS 6, "IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems", Vol. 11, No. 6, Noviembre 1975
- [12] R.K. Crane, "Propagation Handbook for Wireless Communication System Design"
- [13] Y. Karasawa y Y. Maekawa, "Ka-band Earth-space Propagation Research in Japan". Proceedings of the IEEE, vol. 85, n.6, pp. 821-842, Junio 1997
- [14] COST Action 205, "Influence of the Atmosphere on the Radiopropagation on Satellite-earth Paths at Frequencies above 10 GHz", Rep. EUR 9923 EN, vol. LIV, n.3, Luxemburgo 1985.
- [15] COST Action 280, "Propagation Impairment Mitigation for Millimetre Wave Radio Systems"
- [16] B. Arbesser y G. Brussaard, "Propagation Research in Europe Using the OLYMPUS Satellite", Proceedings of the IEEE, vol. 81, n.6, pp. 7-13, Junio 1993

- [17] B. Arbesser y A. Paraboni, "European Research on Ka-band Slant Path Propagation", Proceedings of the IEEE, vol.85, n.6, pp. 843-852, Junio 1997
- [18] Ernestina Cianca, Mauro De Sanctis, Sandeep Mukherjee, Tommaso Rossi, Cosimo Stallo, Marina Ruggieri, Ramjee Prasad, "Challenges and Advances on RF and Baseband Design for W-band Satellite Links", 6th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference, Baiona (España), Septiembre 5-7, 2012.
- [19] E. Cianca, T. Rossi, A. Yahalom, Y. Pinhasi, J. Farserotu, C. Sacchi, "EHF for Satellite Communications: The New Broadband Frontier", Proceedings of IEEE, Volume: 99, Issue: 11, 2011 , Pages: 1858-1881.
- [20] "Statement of Work - Ka/Q Band Ground Propagation Terminals for the Alphasat TDP5 scientific experiment". Item 3B.016 -- ARTES-5 Workplan 2007. Septiembre 2008
- [21] Informe de pruebas de la antena: "TEMIX Ka-band Flyaway for TDP5 propagation terminal - Test report\_v1d2"
- [22] Documento de entrega del LNB de ACORDE "ACLNB-QKa Delivery"
- [23] Informe de pruebas del LNB de ACORDE "ACLNB-QKa-E1-V1-RDP-01-01 (SN001)"