

**MÓDULO DE RADIO FRECUENCIA DEL RECEPTOR  
DE HOLOGRAFÍA PARA EL RADIOTELESCOPIO DE 40 METROS DEL  
CENTRO ASTRONÓMICO DE YEBES**

INFORME TÉCNICO OAN 2006-6  
Mayo 2006

José Antonio López Pérez  
Carlos Almendros Muñoz  
José Antonio Abad Abad  
Joaquín Fernández-Paniagua  
David Cordobés Gallo

# Contenido

1. Introducción.....	3
2. Diseño y construcción.....	5
3. Caracterización.....	9
3.1. Medidas del amplificador LNA MITEQ.....	9
3.2. Banco de medidas.....	9
3.3. Linealidad del módulo RF.....	10
3.4. Linealidad del conversor MITEQ.....	11
3.5. Forma de la banda FI.....	13
3.6. Medidas de temperatura equivalente de ruido.....	14
3.7. Derivas de frecuencia, amplitud y fase.....	16
3.7.1. Deriva de frecuencia.....	16
3.7.2. Deriva de amplitud.....	17
3.7.3. Deriva de la fase.....	18
3.8. Estabilidad del receptor.....	18
3.8.1. Estabilidad del analizador FFT.....	18
3.8.1.1. Estabilidad de frecuencia.....	19
3.8.1.2. Estabilidad de ganancia.....	20
3.8.1.3. Estabilidad de amplitud.....	21
3.8.1.3. Estabilidad de fase.....	22
3.8.2. Estabilidad conjunta del módulo FI y del analizador FFT.....	23
3.8.2.1. Estabilidad de frecuencia.....	24
3.8.2.2. Estabilidad de ganancia.....	25
3.8.2.3. Estabilidad de amplitud.....	26
3.8.2.4. Estabilidad de fase.....	27
3.8.3. Estabilidad del receptor completo.....	28
3.8.3.1. Estabilidad de frecuencia.....	29
3.8.3.2. Estabilidad de ganancia.....	30
3.8.3.3. Estabilidad de amplitud.....	31
3.8.3.4. Estabilidad de fase.....	32
4. Conclusiones y trabajo futuro.....	33
5. Referencias.....	34
Anexo 1. Diagrama de bloques del módulo RF.....	35
Anexo 2. Especificaciones y medidas de los amplificadores LNA MITEQ AMFW-5S-107128-65..	36
Anexo 3. Especificaciones del amplificador ZFL-500HLN.....	37
Anexo 4. Especificaciones, medidas y manual del conversor MITEQ D2-108-6-1K.....	38
Anexo 5. Especificaciones del conversor Ethernet a RS232 Lantronix.....	39
Anexo 6. Especificaciones de la fuente de alimentación +15V/1A.....	40
Anexo 7. Especificaciones del divisor de potencia Pulsar Microwave.....	41
Anexo 8. Especificaciones y medidas de los aisladores Sierra Microwave SMI-1015.....	42
Anexo 9. Especificaciones del cable coaxial RG-214.....	43
Anexo 10. Especificaciones de la transición SMA-WR75.....	44

# 1. Introducción.

El presente informe tiene por objeto la descripción detallada del diseño, construcción y caracterización de la etapa de radiofrecuencia del receptor de holografía en banda Ku del radiotelescopio de 40 metros del Centro Astronómico de Yebes.

El esquema general del sistema de holografía para el radiotelescopio de 40m, dado en [1], se muestra en la figura siguiente:

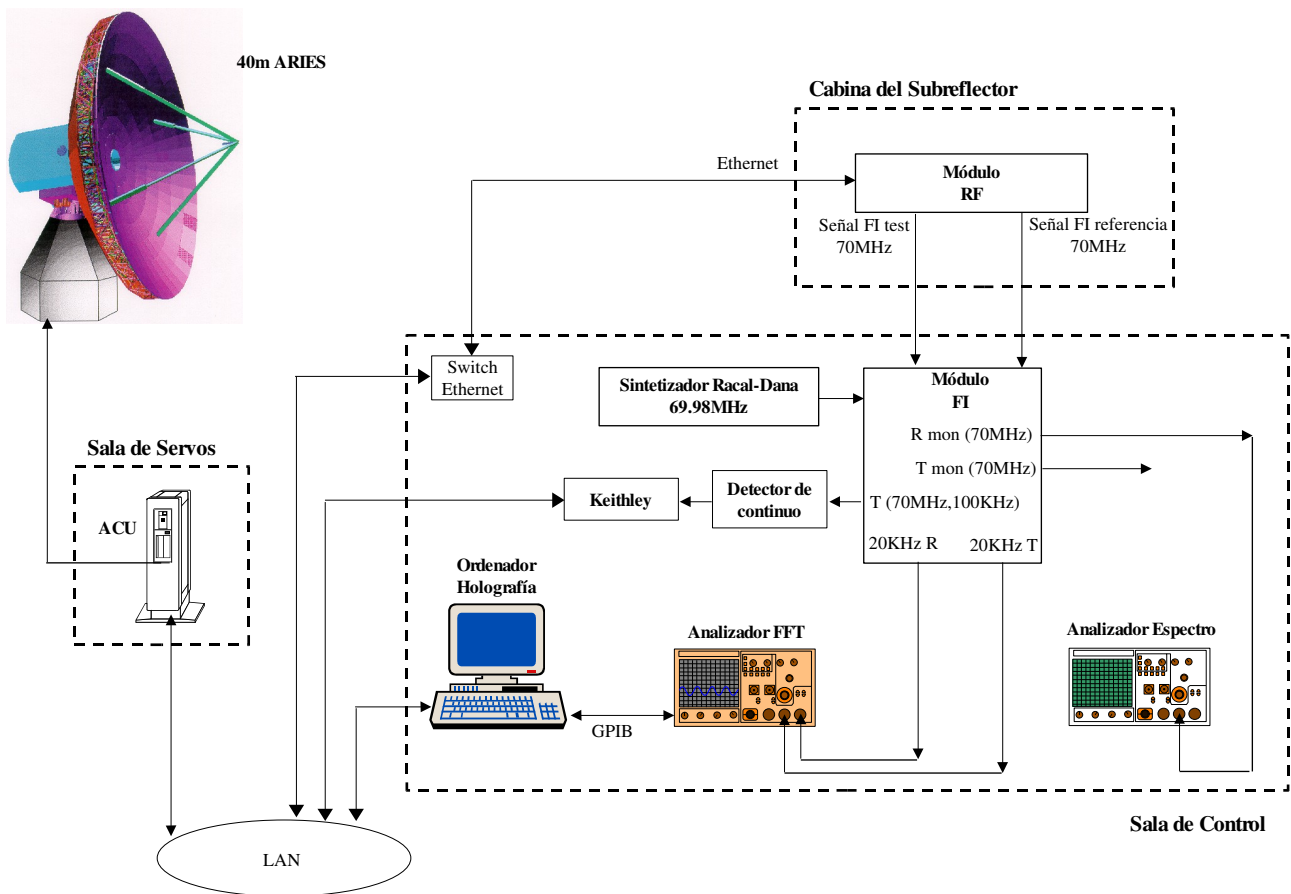


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema de holografía.

Como se observa, el sistema de holografía consta de los siguientes elementos:

- Módulo RF, que se encarga de convertir las señales de RF captadas por cada bocina (test y referencia) a una frecuencia intermedia (70MHz).
- Módulo FI, que se encarga de convertir las señales de FI (70MHz) a una frecuencia más baja (20KHz) capaz de ser procesada por el analizador de FFT. También genera un conjunto de señales de monitorización. En [2] se recoge el diseño, construcción y medidas de este módulo.
- Analizador FFT, encargado de calcular la amplitud y la fase del diagrama de radiación en cada punto mediante comparación de las señales a 20KHz de test y de referencia.
- Analizador de espectros, utilizado para la puesta en marcha del sistema y para la monitorización de la radiación del satélite que se observa.
- Ordenador de holografía, encargado de generar la tabla de posiciones en acimut y elevación, en función del tiempo, correspondientes al mapa a medir y transferirla al ordenador de control de antena (ACU), así como de la lectura de los datos de amplitud y fase suministrados por el analizador de FFT y la lectura de datos de posición proporcionados por el ACU. También es usado para el control de los conversores de frecuencia del módulo RF y para la monitorización de la señal de test proporcionada por el módulo FI a través del detector de continuo.

e interacciona con los siguientes equipos del radiotelescopio:

- ACU, ordenador que controla el movimiento de la antena
- Sintetizador Racal-Dana, que proporciona al módulo FI la señal de oscilador local a 69.98 MHz necesaria para la conversión a 20KHz.
- Detector de continuo, que proporciona al medidor Keithley una señal continua cuyo nivel es proporcional a la potencia de la señal del canal de test.

## 2. Diseño y construcción.

El módulo de radiofrecuencia se muestra en la figura siguiente:

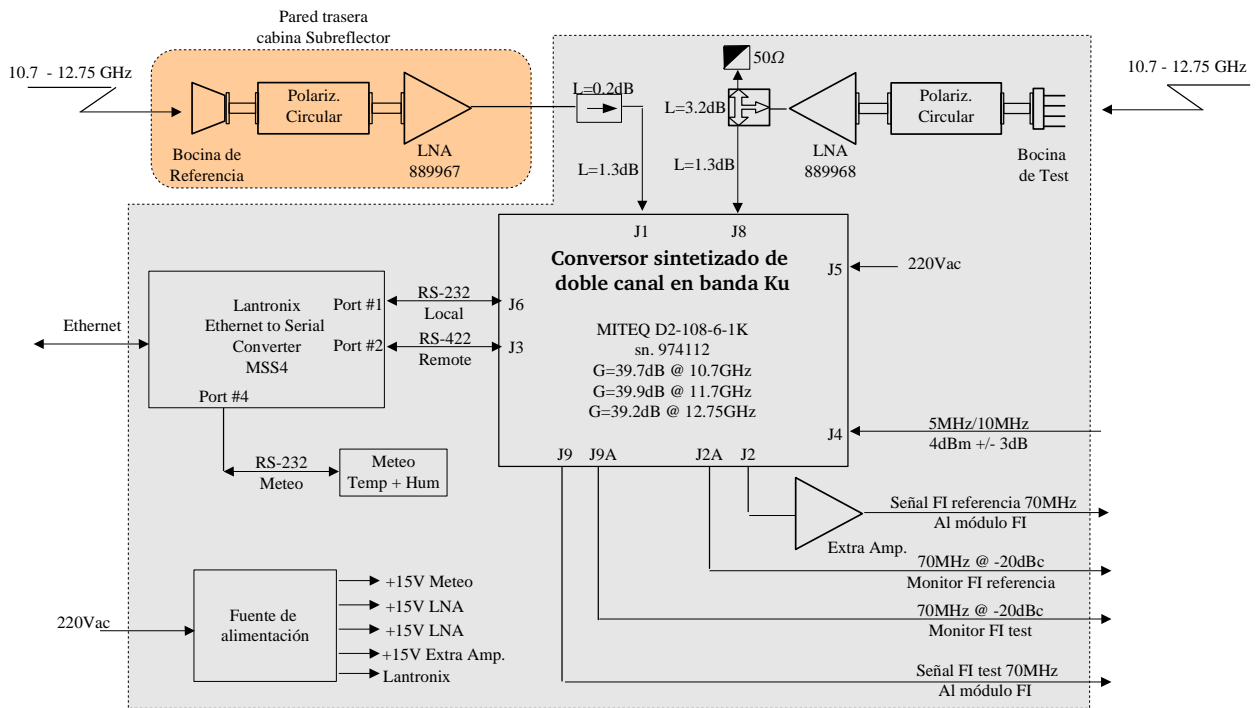


Figura 2: Diagrama de bloques detallado del módulo de radiofrecuencia.

El bloque en color salmón es el *front-end* del canal de referencia, y se encuentra instalado en la cara interna de la pared trasera de la cabina del subreflector, de modo que la bocina atraviesa dicha pared y queda apuntando hacia el cielo. Su instalación se aprecia mejor en las figuras siguientes:

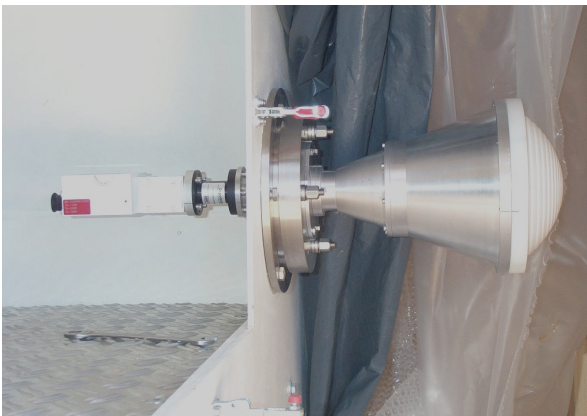


Figura 3A: Montaje del *front-end* del canal de referencia.

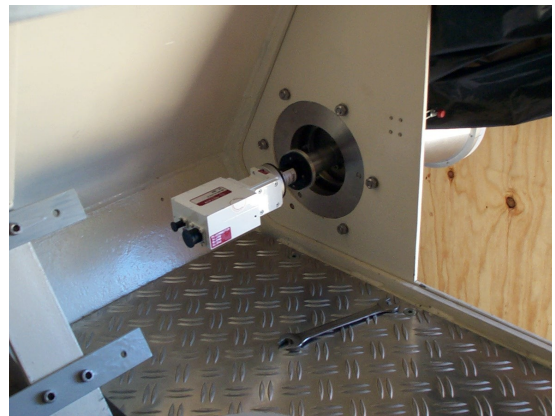
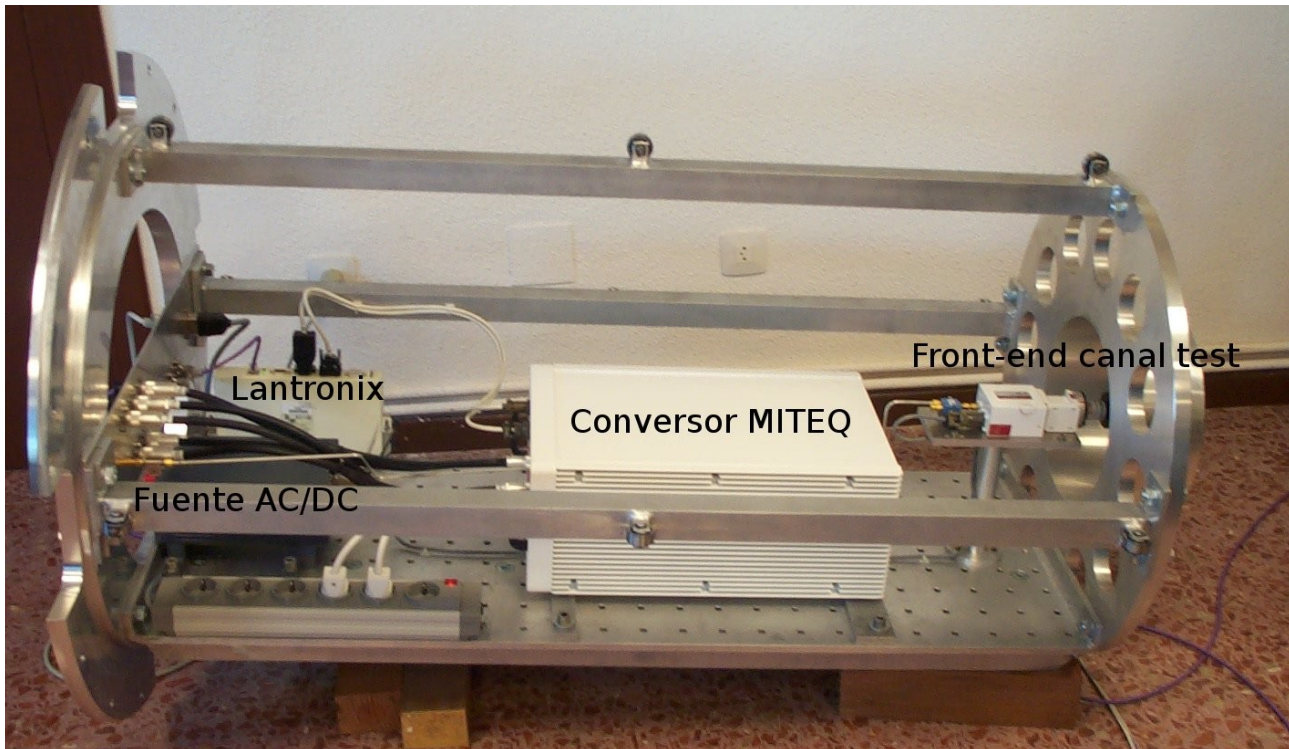


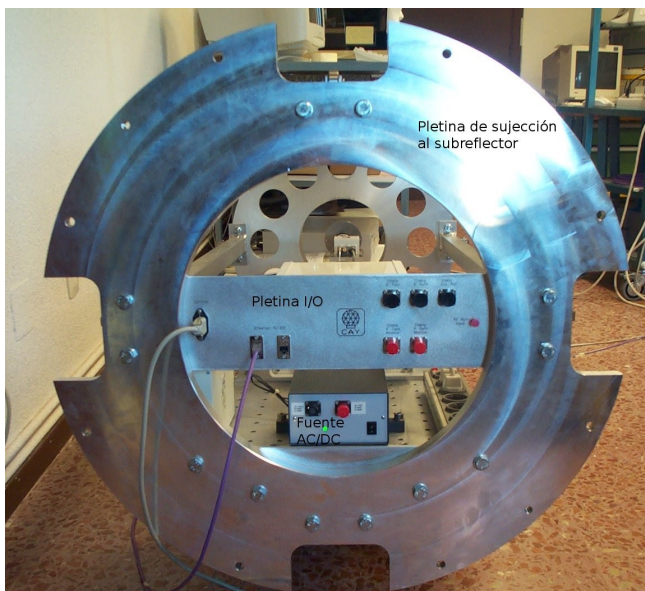
Figura 3B: Vista trasera del montaje.

La figura de la izquierda muestra una vista lateral, donde se aprecian el LNA, transición, polarizador, transición y bocina. Por su parte, la de la derecha da una vista trasera desde el interior de la cabina del subreflector.

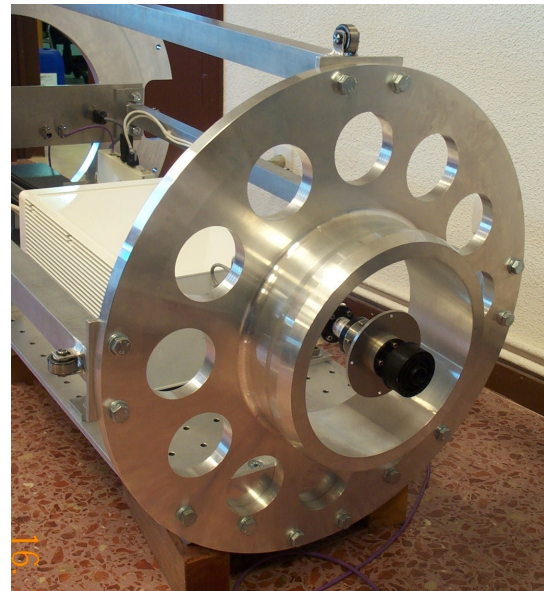
Por su parte, los bloques contenidos en el área de color grisáceo de la figura 2 están todos instalados en el carro de soporte. La figura siguiente muestra una vista general, con indicación de su situación:



**Figura 4: Vista general del carro de soporte y sus componentes.**



**Figura 5: Vista frontal (pletina de conectores I/O).**



**Figura 6: Vista de la bocina del canal de test, que asomará por el agujero del subreflector.**

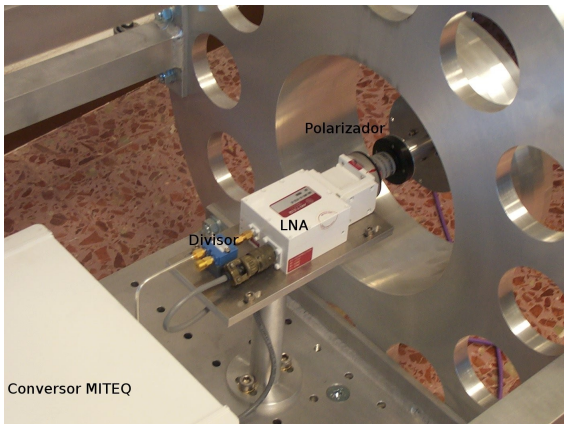


Figura 7: Vista del *front-end* del canal de test.

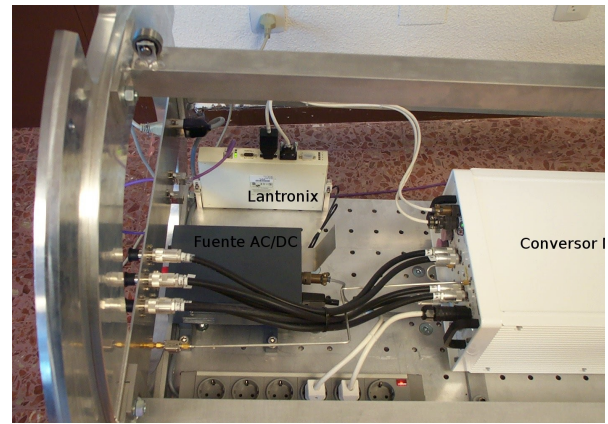


Figura 8: Vista del cableado.



Figura 9: Vista del frontal del conversor.

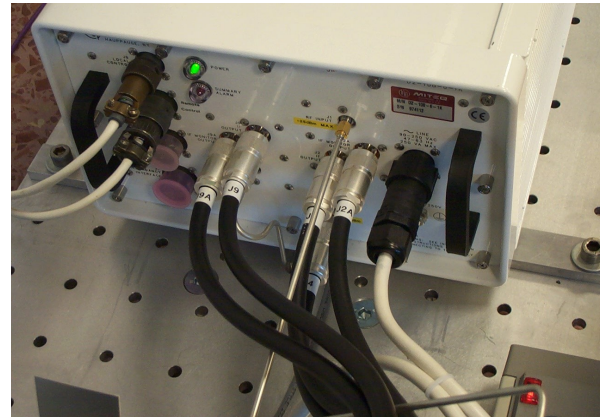


Figura 10: Vista del cableado del conversor.

El *front-end* del canal de test se compone de los siguientes elementos:

- Bocina circular (ver medidas y análisis en [3])
- Transición de guía circular de 20mm a 18mm (fabricada en el taller del CAY)
- Polarizador en guía circular de polarización circular a lineal (ver [3])
- Transición de guía circular a rectangular WR-75 (ver [3]).
- Amplificador LNA (modelo MITEQ AMFW-5S-107128-65). La ganancia de este amplificador es 48.5dB min. y su temperatura de ruido es 63K máx. (ver anexo 2).
- Divisor de potencia (modelo Pulsar Microwave PS2-19-450/8S). Las pérdidas de este divisor son 3.4dB como máximo (ver anexo 7).

El motivo de instalar un divisor de potencia se debe a la opción de incluir en el carro un detector de potencia en la banda del amplificador LNA (10.7 – 12.75GHz) que permita realizar observaciones de puntería desde el foco primario del radiotelescopio.

Una de las salidas de este divisor de potencia se lleva, mediante cable coaxial semirígido (de 141 milipulgadas) a uno de los canales del conversor de frecuencia MITEQ.

Por otro lado, el *front-end* del canal de referencia se compone de:

- Bocina circular corrugada (informe pendiente de publicación).
- Transición de guía circular a 18mm (fabricada en el taller del CAY).
- Polarizador en guía circular de polarización circular a lineal.
- Transición de guía circular a rectangular WR-75 (ver [3]).
- Amplificador LNA (modelo MITEQ AMFW-5S-107128-65). La ganancia de este amplificador es 47.3dB min. y su temperatura de ruido es 61K máx (ver anexo 2).

La salida de este front-end se lleva al otro canal del conversor mediante una cable coaxial de bajas pérdidas (TBD) de unos 4.5m de longitud. La salida FI de este canal es conducida a una etapa de filtrado + amplificación extra (Filtro paso banda Mini-Circuits SBP-70 más amplificador Mini-Circuits ZFL-500HLN, ver anexo 3) para compensar parte de la diferencia de ganancia entre las dos antenas (reflector principal y bocina de referencia). Esta etapa presenta una ganancia de 19.3dB @ 70MHz y un ancho de banda de 25MHz @ -3dB centrado en 70MHz (ver medidas en anexo 3).

El conversor posee dos puertos serie de control, a saber: local (RS-232) y remoto (RS-422). Un conversor de cuatro puertos serie a Ethernet (modelo Lantronix MSS4D-01) permite el control del conversor MITEQ desde cualquier ordenador conectado a la red local.

El anexo 4 recoge toda la información sobre especificaciones, medidas y control del conversor MITEQ. Por su parte, el anexo 5 muestra las características del equipo Lantronix.

Una fuente de alimentación (+15V/ 1A) se encarga de suministrar corriente a todos los amplificadores, al equipo Lantronix (ver anexo 6) y a la pequeña estación meteorológica que nos permitirá monitorizar la temperatura y humedad en el interior del carro.

Las dos salidas a frecuencia intermedia (70MHz) son enviadas a la sala de control mediante cable coaxial RG-214 (ver anexo 9), donde se encuentra el módulo FI [2], los analizadores y el ordenador de control.

El peso del carro de soporte en vacío es de 72.6Kg y el peso total, incluyendo los componentes del receptor es de 92Kg. Por tanto, el peso de la parte del módulo de RF contenida en el carro es de 19.4Kg.



### 3. Caracterización.

#### 3.1. Medidas del amplificador LNA MITEQ.

Para comprobar las medidas suministradas por el fabricante, se decidió medir los parámetros S del amplificador LNA del canal de referencia con el analizador de redes y con la ayuda de una transición de WR-75 a SMA (modelo Flann 17094-SF40,  $IL < 0.085\text{dB}$ ,  $RL < -20\text{dB}$ , ver especificaciones en anexo 10).

Estas medidas realizadas en el CAY pueden verse en la última grafica del anexo 2. Las especificaciones para este amplificador (modelo MITEQ AMFW-5S-107128-65) también se encuentran en el anexo 2, para su comparación. La siguiente tabla muestra las características de los dos amplificadores utilizados.

	Rango (GHz)	Ganancia (dB)	Rizado ( $\pm\text{dB}$ , Máx.)	Temp. Ruido (K, Máx.)	Pout 1dB (dBm, Mín.)	VSWR In/Out (Máx.)	Consumo @ +15V (mA)
LNA Referencia	10.7 – 12.75	48.2	1	61	12,5	1.13:1 1.33:1	95
LNA Test	10.7 – 12.75	47.7	1	63	14,7	1.20:1 1.30:1	95

Tabla 1: Características de los LNA

#### 3.2. Banco de medidas.

La figura siguiente muestra el montaje realizado para las medidas sobre la etapa RF. Dado que los LNA's tienen entrada en guía WR75, fue necesario utilizar una transición apropiada, como las descritas en el anexo 10.

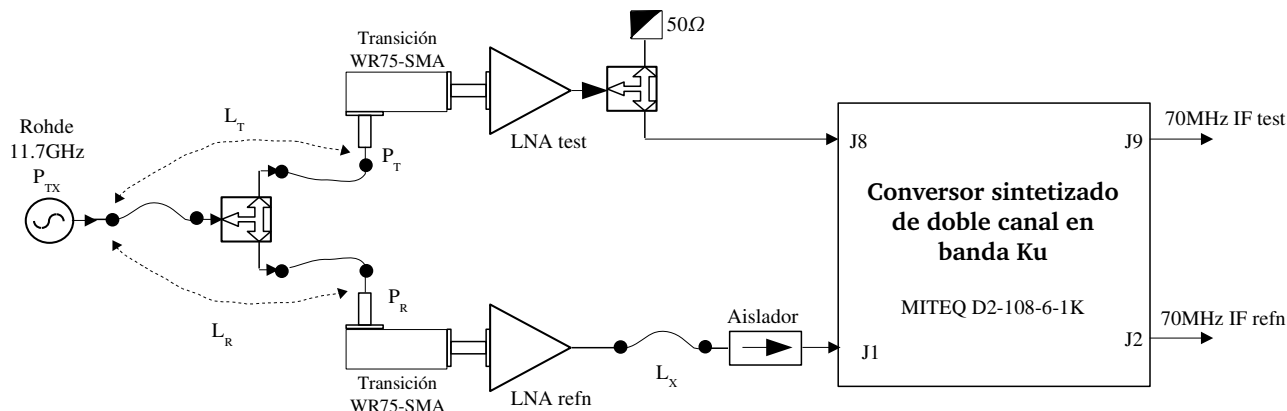


Figura 11: Banco de medidas del módulo RF.

Las pérdidas entre el generador y las entradas de las transiciones WR75-SMA de cada canal,  $L_T$  y  $L_R$ , así como las del cable entre el LNA de referencia y el aislador de entrada al carro de soporte,  $L_X$ , fueron medidas y vienen dadas en la tabla siguiente:

<i>Frecuencia</i>	<i><math>L_T</math> (dB)</i>	<i><math>L_R</math> (dB)</i>	<i><math>L_X</math> (dB)</i>
11.2GHz	5,8	5,7	2,5
11.45GHz	5,7	5,5	
11.7GHz	6	5,8	2,5
12.5GHz	6,7	6	
12.75GHz	6,7	6	3,5

**Tabla 2: Pérdidas de los elementos del banco de medida.**

### **3.3. Linealidad del módulo RF.**

Se ha procedido a la verificación de la linealidad del módulo RF. Para ello, ambos canales fueron alimentados con señal RF a 11.7GHz y potencia variable para comprobar la variación de las señales de FI, como se muestra en la figura 12. El convertor fue sintonizado a 11.7GHz y la atenuación FI se estableció en 30dB.

Los resultados se muestran en la tabla siguiente, donde  $P_{TX}$  es la potencia RF @ 11.7GHz del generador,  $P_{J9}$  es la potencia de la señal FI del canal de test y  $P_{J2}$  es la potencia de la señal FI del canal de referencia. No se tuvo en cuenta la etapa de amplificación extra.

<i><math>P_{TX}</math> (dBm)</i>	<i><math>P_{J9}</math> (dBm)</i>	<i><math>P_{J2}</math> (dBm)</i>
-70	-25.5	-23.3
-73	-28.5	-26.3
-76	-31.3	-29.3
-79	-34.5	-32.3
-82	-37.5	-35.3
-85	-40.3	-38.3
-88	-43.5	-41.5
-91	-46.5	-44.5
-94	-49.5	-47.5
-97	-52.4	-50.3
-100	-55.5	-53.5
-103	-58.5	-56.5

$P_{TX}$ (dBm)	$P_{J9}$ (dBm)	$P_{J2}$ (dBm)
-106	-61.5	-59.7
-109	-64.5	-63.2
-112	-67.5	-66.5
-130	-85.8	-82.7

Tabla 3: Linealidad del módulo RF.

La figura siguiente muestra los resultados de la tabla anterior:

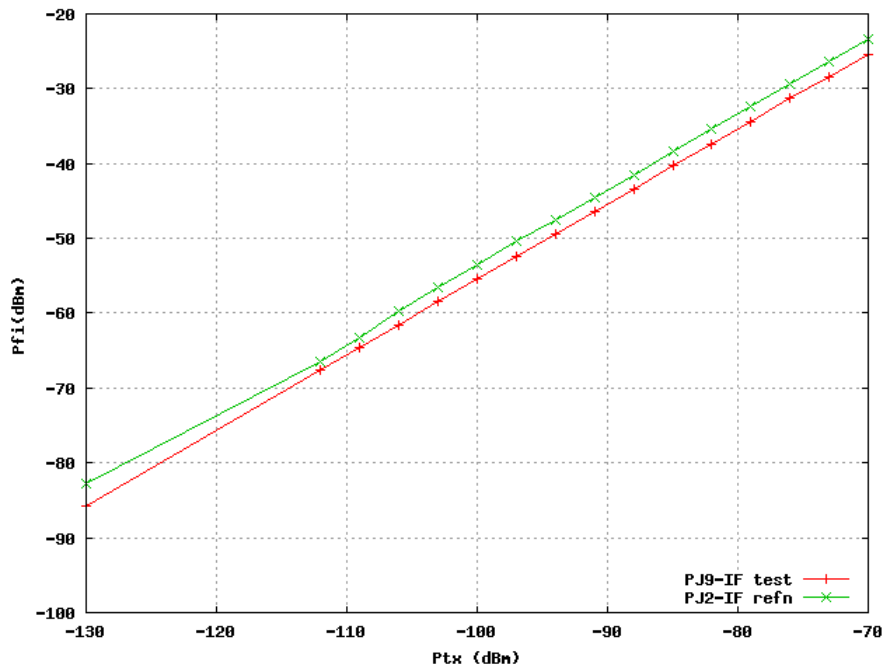


Figura 12: Linealidad del módulo RF.

La diferencia de nivel entre las dos salidas se debe a la diferencia de ganancia de los LNA, al divisor de potencia que sigue al LNA del canal de test y a las diferentes pérdidas en los canales entre el generador y las transiciones WR75-SMA.

En cualquier caso, la linealidad del convertor MITEQ está garantizada, ya que su potencia de salida a 1dB de compresión de ganancia es +14dBm (según certificado del fabricante) y va a estar funcionando con potencias de salida máximas de entre -15dBm a -20dBm.

### 3.4. Linealidad del convertor MITEQ.

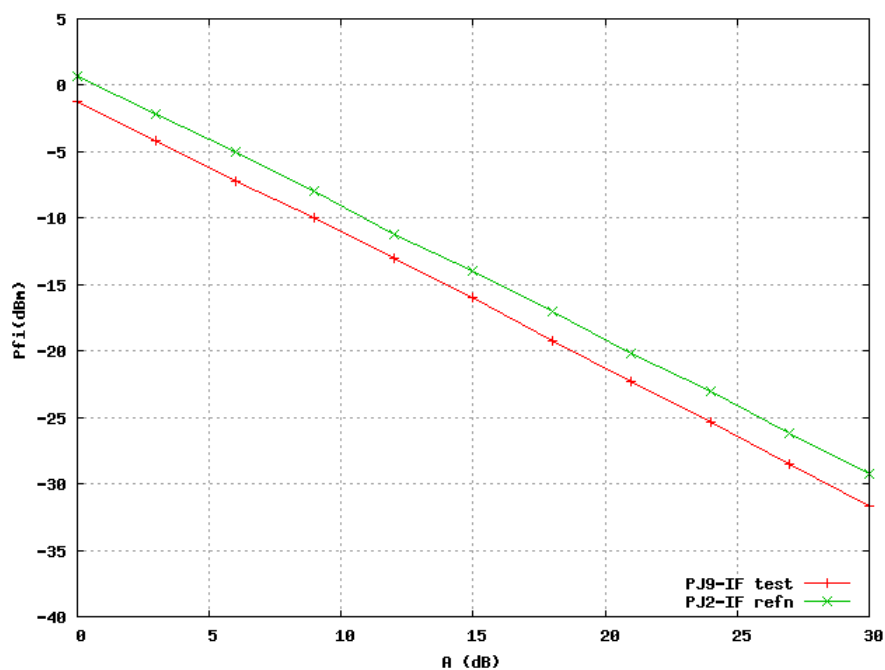
Se ha comprobado la linealidad de las salidas FI del convertor MITEQ en función del valor de atenuación que él mismo puede introducir.

Con el banco de la figura 11 y sin incluir la etapa de amplificación extra, el generador sintonizado a 11.7GHz y una potencia de salida fija a  $P_{TX} = -76\text{dBm}$ , se fue variando la atenuación del conversor MITEQ. Así, se obtuvieron las siguientes medidas:

<i>Atenuación (dB)</i>	<i><math>P_{J_9}</math> (dBm)</i>	<i><math>P_{J_2}</math> (dBm)</i>
30	-31,7	-29,3
27	-28,5	-26,2
24	-25,3	-23
21	-22,3	-20,2
18	-19,2	-17
15	-16	-14
12	-13	-11,2
9	-10	-8
6	-7,2	-5
3	-4,2	-2,2
0	-1,2	0,7

**Tabla 4: Linealidad del atenuador del conversor MITEQ.**

La figura siguiente muestra los resultados de la tabla anterior:



**Figura 13: Linealidad del atenuador del conversor MITEQ.**

### 3.5. Forma de la banda FI

Se ha medido la forma de la banda en cada una de las salidas FI 70MHz del conversor MITEQ con ayuda del banco de la figura 11 (sin incluir la etapa de amplificación extra).

Las medidas se llevaron a cabo mediante barridos de 140MHz alrededor de tres frecuencias RF: 11.2GHz, 11.7GHz y 12.75GHz. La potencia del generador Rohde se estableció en -70dBm.

En todos los casos, el conversor MITEQ introducía una atenuación de 30dB.

El analizador de espectros utilizado para la medida se configuró en modo de detección MAX-HOLD.

Los resultados se muestran en la figura siguiente:

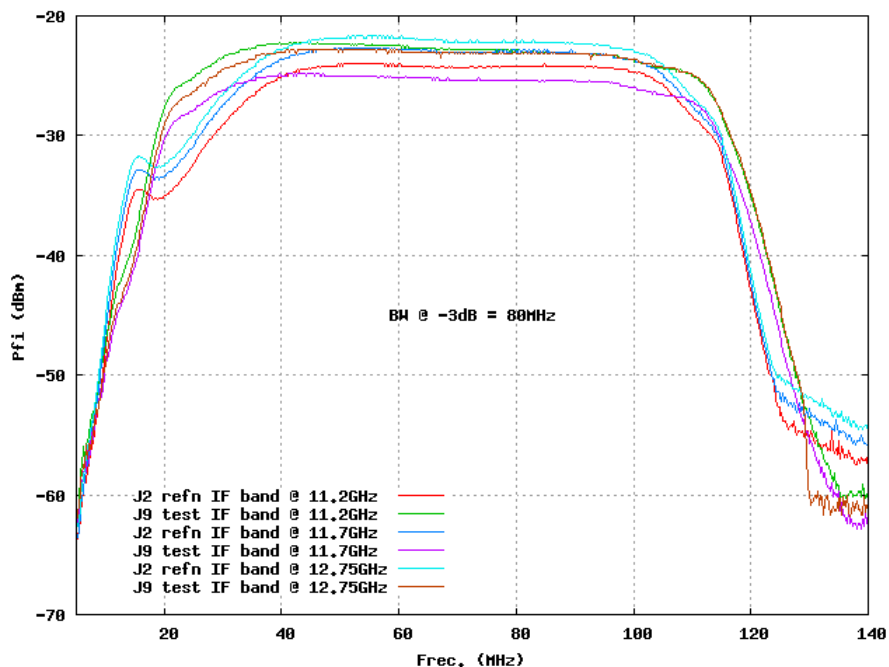


Figura 14: Banda FI del conversor MITEQ a distintas frecuencias de entrada.

Se observa que el ancho de banda de las salidas FI es 80MHz @ -3dB, aproximadamente.

### 3.6. Medidas de temperatura equivalente de ruido.

Con ayuda del método del factor Y se determinó la temperatura de ruido equivalente de cada uno de los canales de receptor de holografía.

En primer lugar, se determinó la figura de ruido del conversor MITEQ con ayuda del analizador de figura de ruido, resultando los siguientes valores:

f (Ghz)	A=0dB			A=15dB		
	NF (dB)	G(dB)	Tn (K)	NF (dB)	G(dB)	Tn(K)
10,7	14,2	38,4	7.338	18,6	23,4	20.719
11,2	12	38,4	4.306	18	23,5	18.008
11,7	11,8	38,6	4.099	17,9	23,7	17.591
12,45	12,4	38	4.750	18,2	23,2	18.870
12,75	15	37,8	8.881	19,2	22,9	23.831

A es la atenuación introducida por el downconverter, NF es la figura de ruido, G la ganancia del canal y Tn la temperatura equivalente de ruido calculada a partir de la medida de NF ( $T_n=290 \times (f-1)$ ).  
 Ambiente = 25°C.

Tabla 5: Figura de ruido del canal de referencia del conversor MITEQ (entrada RF J1, salida FI J2).

f (Ghz)	A=0dB			A=15dB		
	NF (dB)	G(dB)	Tn (K)	NF (dB)	G(dB)	Tn(K)
10,7	11,2	38,2	3.533	17,2	23,2	14.929
11,2	11,6	37,8	3.902	17,6	22,9	16.398
11,7	12	37,5	4.306	18	22,5	18.008
12,45	11,8	37,6	4.099	17,8	22,6	17.184
12,75	12,25	37,3	4.579	18,1	22,4	18.434

A es la atenuación introducida por el downconverter, NF es la figura de ruido, G la ganancia del canal y Tn la temperatura equivalente de ruido calculada a partir de la medida de NF ( $T_n=290 \times (f-1)$ ).  
 Ambiente = 25°C.

Tabla 6: Figura de ruido del canal de test del conversor MITEQ (entrada RF J8, salida FI J9).

Con el valor de atenuación del downconverter a 0dB, se procedió a la medida de la temperatura equivalente de ruido de ambos canales con el método del factor Y. Los resultados se muestran en las tablas siguientes:

f (Ghz)	P hot	T hot (K)	P cold	T cold (K)	Y factor	Tn (K)
11,2	10,33	299,8	4,32	77	2,39	<b>83,1</b>
11,7	10,53	299,6	4,21	77	2,5	<b>71,3</b>
12,75	9,84	299,7	4,12	77	2,39	<b>83,4</b>

Tabla 7: Temperatura de ruido del canal de test del módulo RF.

<b>f (Ghz)</b>	<b>P hot</b>	<b>T hot (K)</b>	<b>P cold</b>	<b>T cold (K)</b>	<b>Y factor</b>	<b>Tn (K)</b>
11,2	10,27	300,2	4,38	77	2,34	<b>89,0</b>
11,7	10	300	4,17	77	2,4	<b>82,5</b>
12,75	11,23	300	4,91	77	2,29	<b>96,2</b>

**Tabla 8: Temperatura de ruido del canal de referencia del módulo RF.**

Las medidas concuerdan con las estimaciones realizadas para cada canal, como se muestra en la tabla siguiente para el canal de test a 11.7GHz y 0dB de atenuación del convertidor MITEQ.

<b>Device</b>	<b>G (dB)</b>	<b>Tn (K)</b>
<b>Horn</b>	-0,01	0,7
<b>Transition Cir-Cir</b>	-0,02	1,4
<b>Polarizer</b>	-0,1	7,0
<b>Transition Cir-Rec</b>	-0,1	7,0
<b>LNA</b>	46,7	53,0
<b>3dB Power Splitter</b>	-3,4	355,1
<b>Semirigid Cable</b>	-1	77,4
<b>DownConverter</b>	37,5	4306,2
	<b>Total</b>	<b>67</b>

**Tabla 9: Estimación de la temperatura de ruido del canal de test del módulo RF a 11.7GHz y 0dB de atenuación de convertidor MITEQ.**

<b>Device</b>	<b>G (dB)</b>	<b>Tn (K)</b>
<b>Horn + Lens</b>	-0,07	4,9
<b>Transition Cir-Cir</b>	-0,02	1,4
<b>Polarizer</b>	-0,1	7,0
<b>Transition Cir-Rec</b>	-0,1	7,0
<b>LNA</b>	47,2	54,0
<b>Cable</b>	-3	297,6
<b>Isolator</b>	-0,1	7,0
<b>DownConverter</b>	38,6	4099,3
	<b>Total</b>	<b>71</b>

**Tabla 10: Estimación de la temperatura de ruido del canal de referencia del módulo RF a 11.7GHz y 0dB de atenuación de convertidor MITEQ.**

Para el canal de test se estiman 67K y se miden 71K, mientras que para el canal de referencia se estima 71K y se miden 82K. Estas ligeras diferencias se deben a incertidumbres de medida con el método del factor Y y de las estimaciones de las contribuciones al ruido de algunos elementos como lentes y transiciones.

Cuando el downconverter funcione con una atenuación de 15dB, el valor de la temperatura de ruido de los receptores se estima que sólo aumentará un grado Kelvin. Esta será la configuración

para la recepción de las radiobalizas más potentes (24dBW, aproximadamente).

Como comparación, el receptor de holografía utilizado en las medidas de las antenas de JPL posee una temperatura equivalente de ruido de 172K en el mismo margen de frecuencias [4].

### 3.7. Derivas de frecuencia, amplitud y fase.

Las medidas que se muestran bajo este epígrafe presentan la variación de la frecuencia, la amplitud y la fase medida por el analizador FFT durante las tres primeras horas tras encender el módulo RF del receptor. Ello nos permitirá determinar cuanto tiempo tarda el módulo RF en estar preparado para la realización de observaciones de holografía.

Por tanto, se encendieron todos los equipos auxiliares para hacer la medida (sintetizadores RF y OL, módulo FI, analizador FFT) previamente y se dejaron calentar durante 40 minutos antes de encender el módulo de RF que se muestra en la figura 11. A partir de entonces, se registraron la frecuencia de la radiobaliza, la amplitud y la fase relativa de los dos canales del receptor, la temperatura interna del conversor MITEQ y la temperatura ambiente durante unas 3 horas, aproximadamente.

#### 3.7.1. Deriva de frecuencia

La deriva de la frecuencia de la radiobaliza se debe principalmente al calentamiento de los osciladores locales del conversor MITEQ y, en menor medida, a la distinta frecuencia de referencia de OL para el conversor y para el módulo FI. La figura siguiente muestra esta deriva:

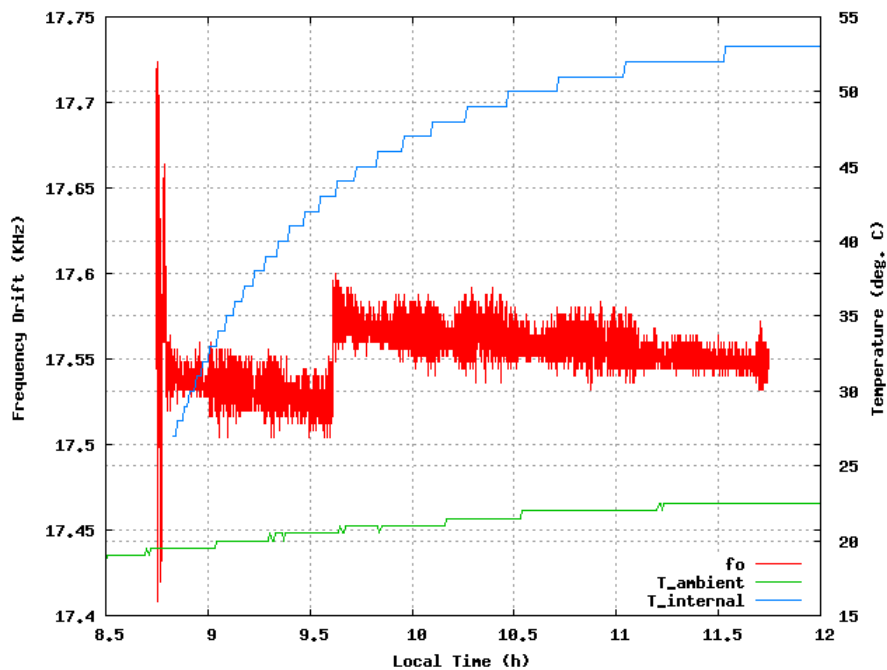


Figura 15: Deriva de la frecuencia.

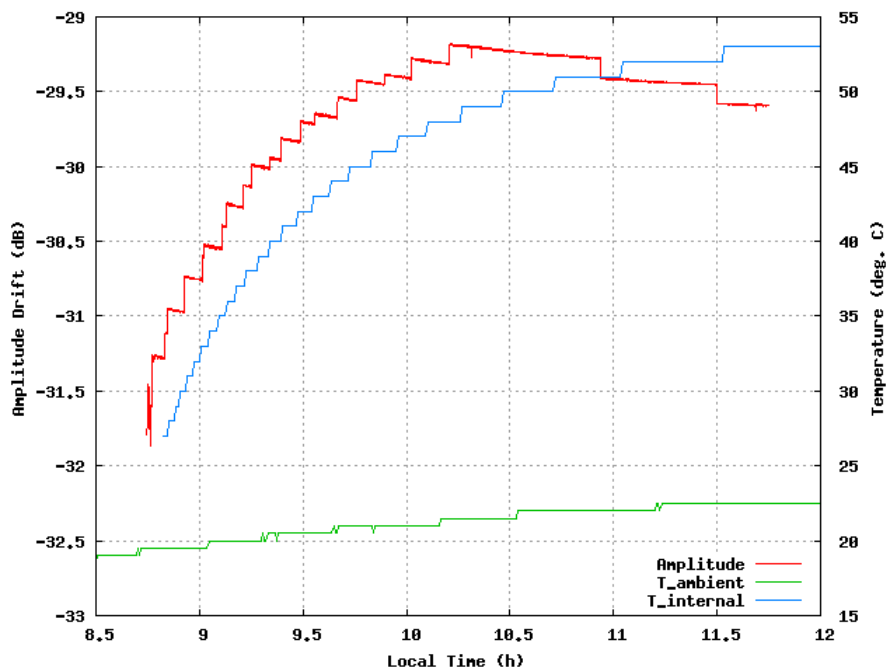


**Nota:** Los cambios bruscos producidos al encender el módulo RF y el producido a las 9.6 horas fueron introducidos manualmente modificando la frecuencia del oscilador local del módulo de la FI (Racal-Dana) para evitar que la señal saliese del *span* de 400Hz del analizador FFT.

Se observa que, al cabo de unas dos horas de encender el módulo, la deriva es muy lenta y se puede considerar que los osciladores del módulo RF están estabilizados.

### 3.7.2. Deriva de amplitud

En la figura siguiente se comprueba que la deriva de amplitud está influenciada por los cambios de la temperatura interna del conversor MITEQ hasta que éste alcanza la temperatura normal de funcionamiento ( $\approx 53^{\circ}\text{C}$ ) y la situación se estabiliza.



**Figura 16: Deriva de la amplitud.**

El conversor MITEQ posee un sistema de compensación de la deriva de la ganancia en función de la temperatura, de modo que cuando alguno de sus canales cambia  $2^{\circ}\text{C}$  se introduce una corrección para que la ganancia se mantenga lo más constante posible. Esta corrección se introduce mediante un atenuador digital.

### 3.7.3. Deriva de la fase

Análogamente, la fase sufre pequeños saltos en su deriva debidos a los cambios en la temperatura interna del convertor. La situación tiende a estabilizarse conforme el convertor alcanza su temperatura de funcionamiento en régimen permanente.

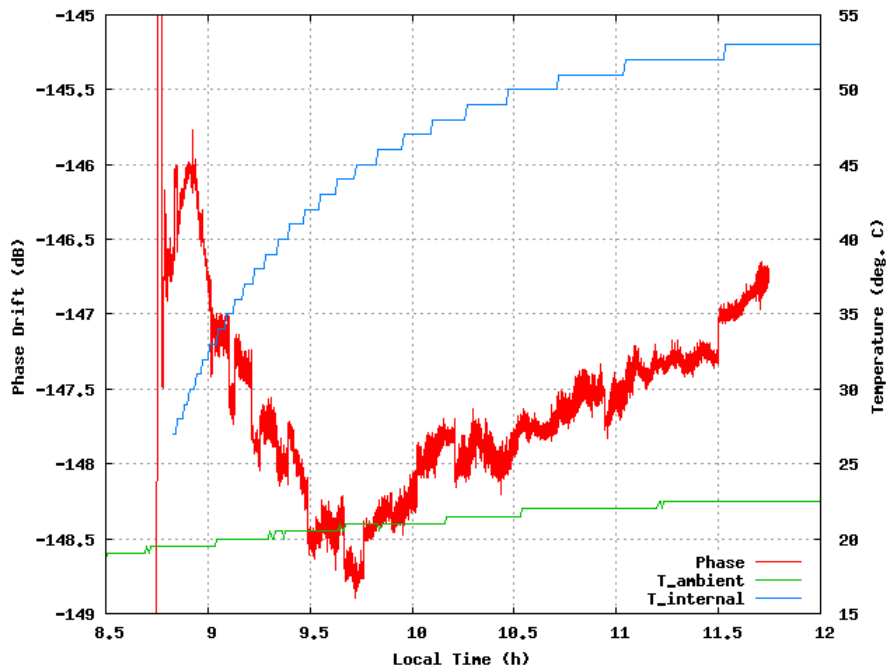


Figura 17: Deriva de la fase.

## 3.8. Estabilidad del receptor

Bajo este epígrafe se muestran un conjunto de medidas de estabilidad a largo plazo sobre los distintos módulos del receptor de holografía y, al final, sobre el receptor completo.

### 3.8.1. Estabilidad del analizador FFT

Se procedió a evaluar la estabilidad del analizador FFT con el banco de medida que se muestra en la figura 18.

Para estas medidas, la adquisición del analizador FFT se configuró de la forma siguiente:

- Tiempo de integración: 1 s
- Número de canales: 100
- Resolución espectral: 1Hz
- Ventana uniforme
- Medida del cociente del espectro del canal 2 entre el espectro del canal 1.

La medida, que duró 14,25 horas, se dividió en dos tandas seguidas, una de 10h de duración y otra de 4,25.

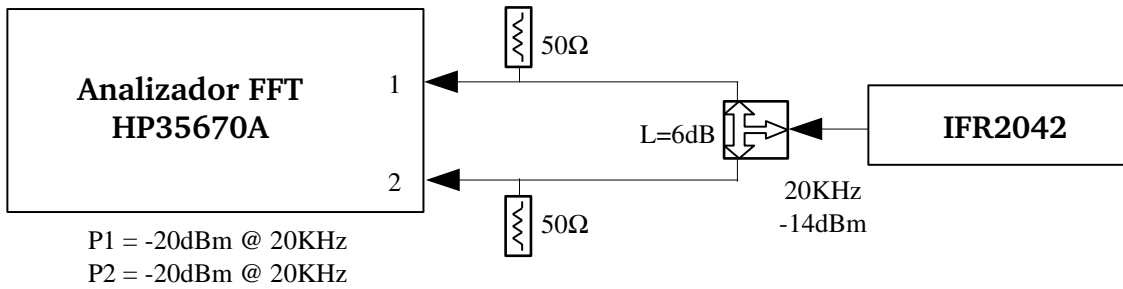


Figura 18: Banco de medida de la estabilidad del analizador FFT.

### 3.8.1.1. Estabilidad de frecuencia

La figura 19 muestra la estabilidad en frecuencia medida con una resolución de 1Hz junto con la temperatura ambiente a la que estuvieron expuestos los componentes de la figura 18.

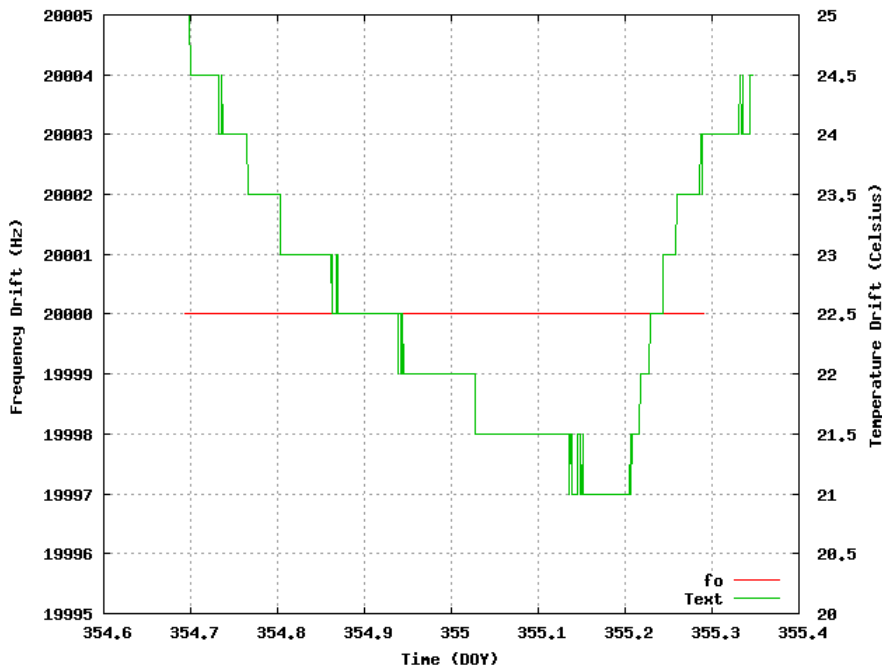


Figura 19: Estabilidad en frecuencia.

Se puede concluir que la frecuencia generada por el IFR 2042 no ha cambiado en más de 1Hz durante las 14 horas de medida y que el proceso de medida/análisis del analizador FFT no introduce ningún error o fluctuación de este tipo.

### 3.8.1.2. Estabilidad de ganancia

Simultáneamente a la frecuencia, se registró el valor de la potencia recibida por los canales 1 y 2 en el canal del máximo de señal (20KHz).

La figura 20 muestra la evolución de la potencia medida en cada canal junto con la variación en temperatura ambiente de los componentes:

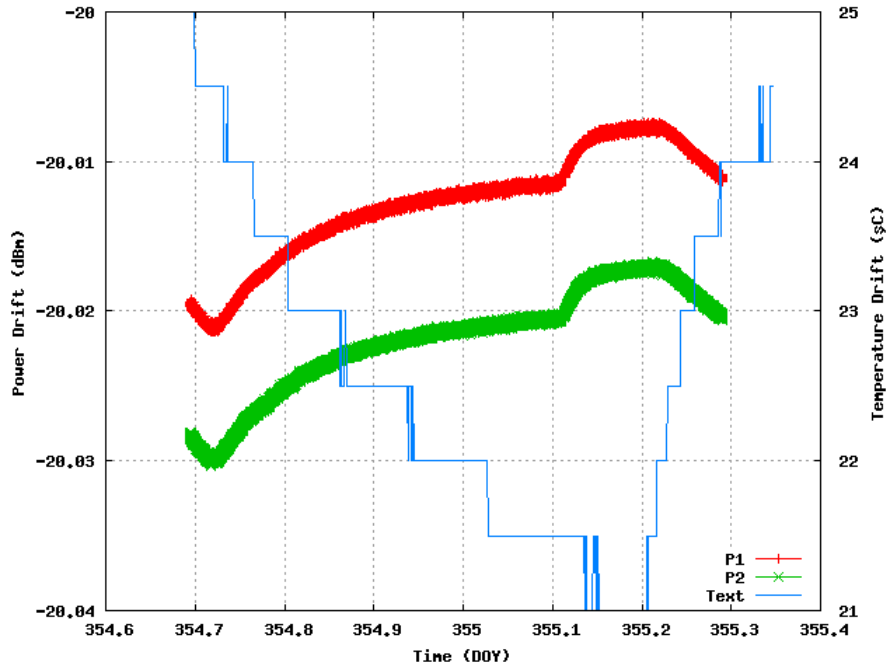


Figura 20: Estabilidad de ganancia.

Hay que hacer notar que realmente se está midiendo la estabilidad de ganancia conjunta del sintetizador y del analizador.

La inflexión que se produce un poco después del instante 355.1 se debe al comienzo de la segunda tanda de medidas, que tarda en lanzarse unos 2 minutos, aproximadamente. Al comenzar otra tanda, el analizador se resetea antes de volver a configurarse en el modo de medida apropiado.

Se observa que la potencia no cambia más de 0.01dB en las 10 primeras horas y que los dos canales siguen la misma tendencia. La diferencia de ganancia entre ambos se mantiene constante con el paso del tiempo, y vale 0.009dB, aproximadamente.

### 3.8.1.3. Estabilidad de amplitud

También se registró la amplitud relativa de los dos canales mediante la división del espectro del canal 2 entre el espectro del canal 1, configurando el analizador a modo de analizador escalar.

La lectura del valor en el canal del máximo (20KHz) nos revela el valor de la amplitud relativa. Su variación en función del tiempo se muestra en la figura 21, donde la escala está en milésimas de decibelio:

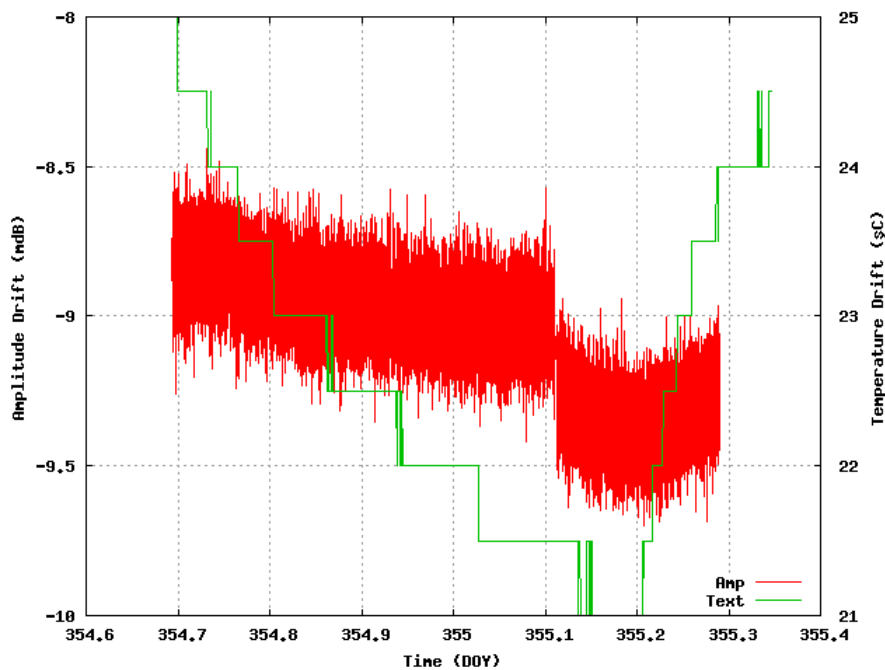


Figura 21: Estabilidad de amplitud.

Se observa que la amplitud relativa se mantiene dentro de un rango de variación de 0.5 milésimas de dB pico a pico (0.0005dB) en 10 horas. De nuevo se nota el pequeño salto entre tandas de medida.

En esta medida ya no se incluye la variación del sintetizador, pues las medidas son relativas (cociente entre canales) y las fluctuaciones del sintetizador están en los dos canales simultáneamente.

### 3.8.1.3. Estabilidad de fase

Por último, se presenta también la fase relativa entre ambos canales en función del tiempo. Nótese que la escala de la figura 22 está en milésimas de grado.

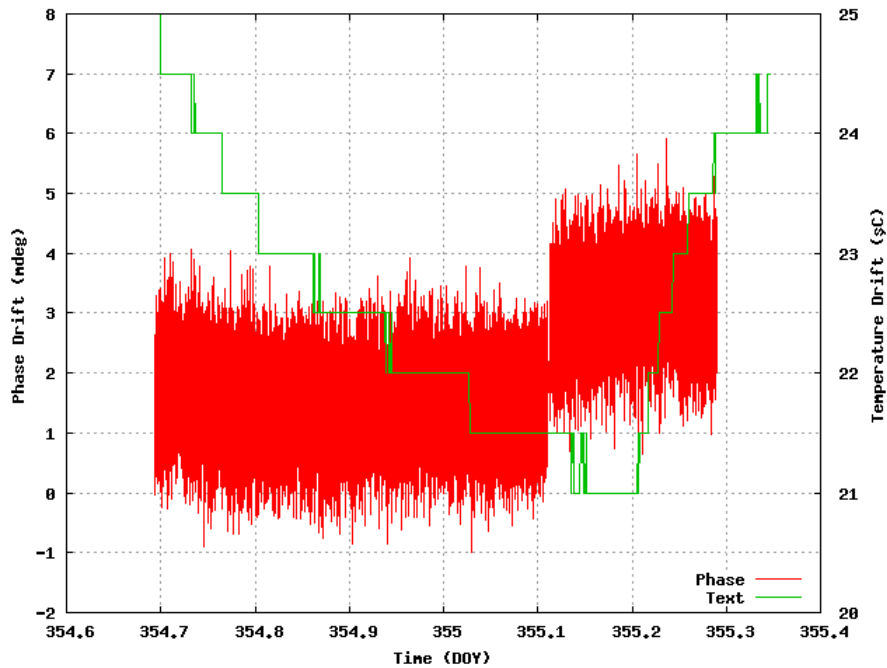


Figura 22: Estabilidad de fase.

Se aprecia que la fase cambia menos de 5 miligrados en 10 horas. También se aprecia el salto entre tandas de medida.

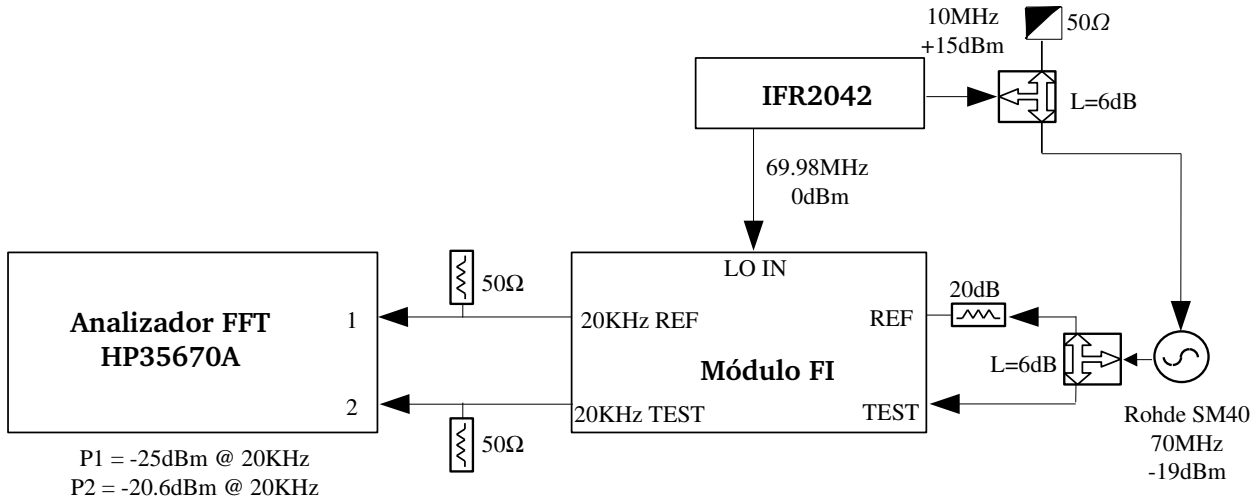
Nuevamente, la estabilidad de fase del sintetizador no está incluida, ya que su efecto se cancela por estar presente en los dos canales simultáneamente y llevarse a cabo un cálculo de diferencia de fases.

Cabe concluir, por tanto, que el analizador FFT no será la principal fuente de fluctuaciones y derivas en toda la cadena del receptor, dado el bajo nivel de las mismas. Se puede decir que dicho equipo se está comportando satisfactoriamente.

### 3.8.2. Estabilidad conjunta del módulo FI y del analizador FFT

Para continuar con las medidas de estabilidad, añadimos un nuevo elemento de la cadena receptora y repetimos las medidas de estabilidad en frecuencia, ganancia, amplitud y fase.

En la figura 23 se presenta la configuración para las medidas:



**Figura 23: Banco de medida de la estabilidad conjunta FI + FFT.**

De nuevo, para estas medidas, la adquisición del analizador FFT se configuró de la forma siguiente:

- Tiempo de integración: 1 s
- Número de canales: 100
- Resolución espectral: 1Hz
- Ventana uniforme
- Medida del cociente del espectro del canal 2 entre el espectro del canal 1.

La medida, que duró 18 horas se dividió en dos tandas seguidas, una de 8h de duración y otra de 10.

### 3.8.2.1. Estabilidad de frecuencia

La figura 24 muestra la estabilidad en frecuencia medida con una resolución de 1Hz junto con la temperatura ambiente a la que estuvieron expuestos los componentes de la figura 23.

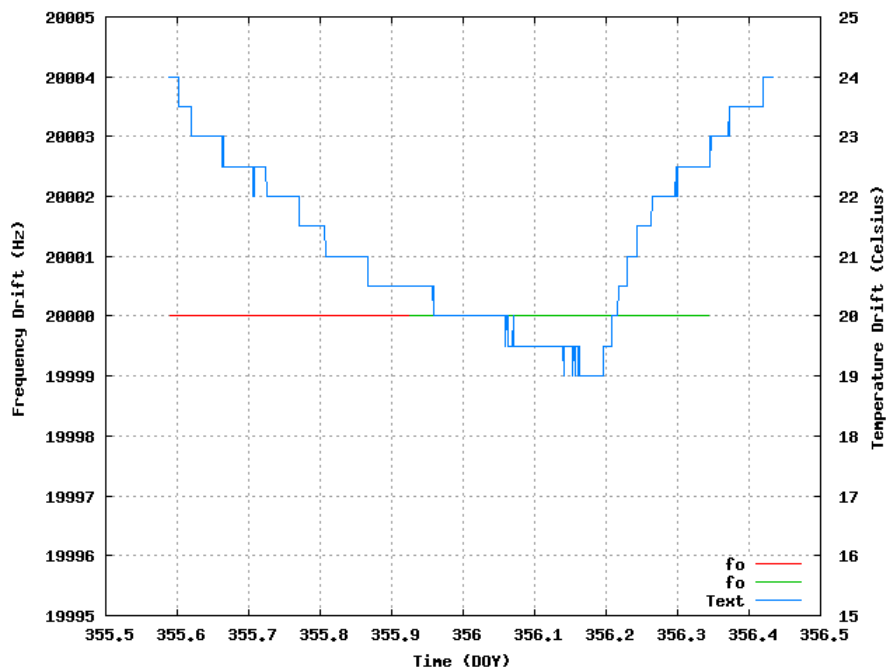


Figura 24: Estabilidad en frecuencia conjunta FI + FFT.

La línea roja representa la primera tanda de medidas y la verde, la segunda.

Se puede concluir que las frecuencias generadas por el IFR 2042 y el Rohde SMR40 no han cambiado en más de 1Hz durante las 18 horas de medida y que el módulo de FI no introduce ningún error o fluctuación de este tipo.



### 3.8.2.2. Estabilidad de ganancia

Simultáneamente se registró el valor de la potencia recibida por los canales 1 y 2 en el canal del máximo de señal (20KHz).

La figura 25 muestra la evolución de la potencia medida en cada canal. Las trazas roja y verde se corresponden con las dos tandas de medidas de la potencia en el canal 1 y las azul y púrpura a las dos tandas de la medida del canal 2.

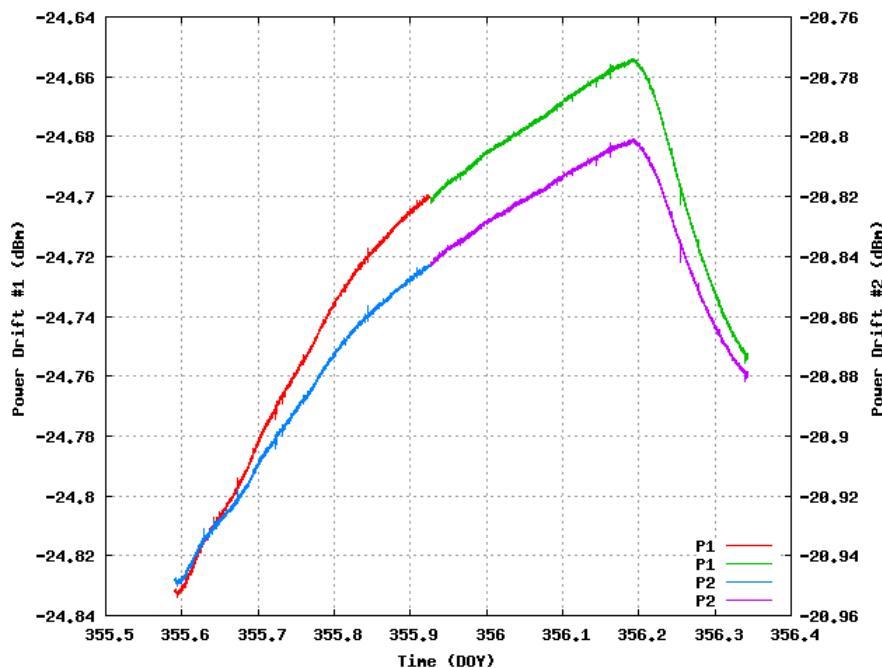


Figura 25: Estabilidad de ganancia conjunta FI + FFT.

La discontinuidad que se produce un poco después del instante 355.9 se debe al comienzo de la segunda tanda de medidas, que tarda en lanzarse unos 2 minutos, aproximadamente. Al comenzar otra tanda, el analizador se resetea antes de volver a configurarse en el modo de medida apropiado.

Nuevamente se está incluyendo en esta medida la estabilidad de ganancia del sintetizador Rohde, que actúa como generador de 70MHz.

Se observa que la potencia no cambia más de 0.18dB en las 18 horas y que los dos canales poseen tendencias muy similares.

### 3.8.2.3. Estabilidad de amplitud

Se registró la amplitud relativa de los dos canales mediante la división del espectro del canal 2 entre el espectro del canal 1, configurando el analizador a modo de analizador escalar. La lectura del valor en el canal del máximo (20KHz) nos revela el valor de la amplitud relativa. Su variación en función del tiempo se muestra en la figura 26:

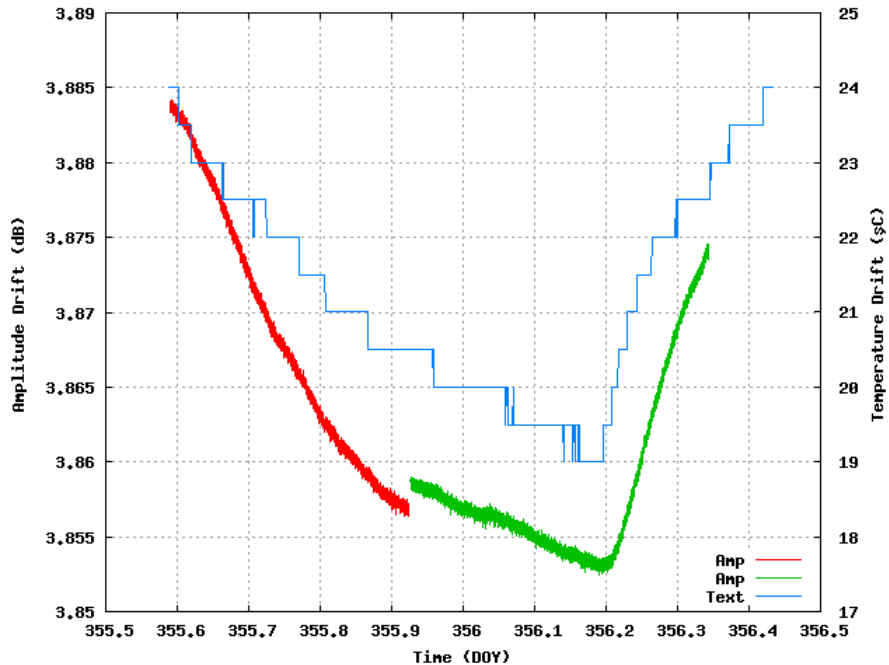


Figura 26: Estabilidad de amplitud conjunta FI + FFT.

Se observa que la amplitud relativa se mantiene dentro de un rango de variación de 0,03dB en 18 horas. De nuevo se nota el pequeño salto entre tandas de medida.

En esta medida ya no se incluye la variación del sintetizador, pues las medidas son relativas (cociente entre canales) y las fluctuaciones del sintetizador están en los dos canales simultáneamente.

Nótese también la similitud entre la deriva de la amplitud y la deriva de la temperatura.

### 3.8.2.4. Estabilidad de fase

Por último, se presenta también la fase relativa entre ambos canales en función del tiempo.

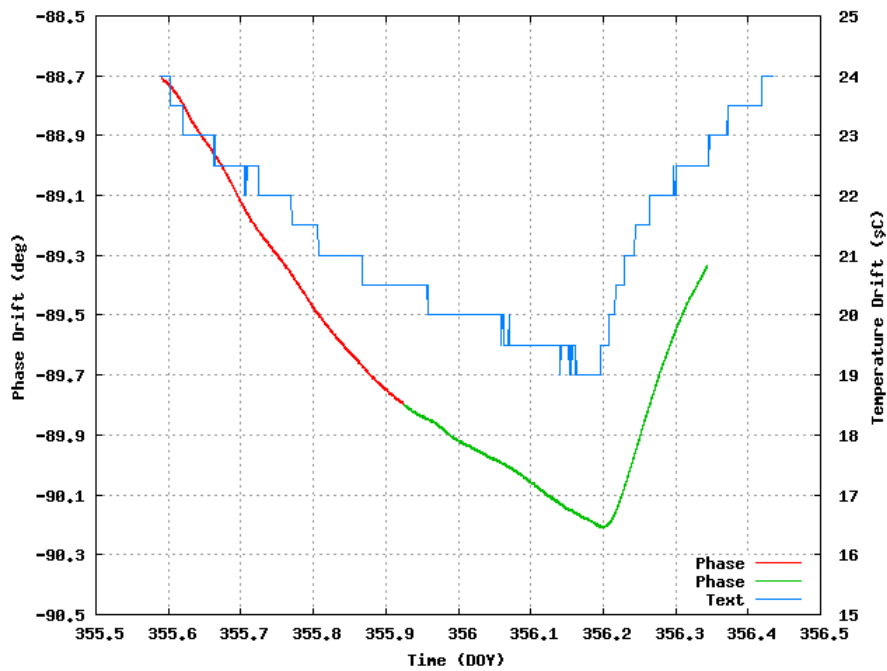


Figura 27: Estabilidad de fase conjunta FI + FFT.

Se aprecia que la fase cambia menos de 1.4 grados en 18 horas.

Nuevamente, la estabilidad de fase del sintetizador no está incluida, ya que su efecto se cancela por estar presente en los dos canales simultáneamente y llevarse a cabo un cálculo de diferencia de fases.

Cabe concluir, por tanto, que el módulo FI es una fuente de fluctuaciones y derivas mayor que el analizador FFT. Sin embargo, éstas siguen teniendo un nivel muy bajo.

Nótese de nuevo la similitud entre la deriva de la fase y la deriva de la temperatura.

### 3.8.3. Estabilidad del receptor completo

Utilizando el banco de medida de la figura 28, se ha procedido a medir la estabilidad en amplitud y fase del receptor de holografía completo durante varias horas, tras permitir que todos los equipos alcanzasen un régimen permanente de operación.

Para estas medidas, se han enganchado en fase todos los osciladores a la referencia de 10MHz proporcionada por el sintetizador IFR 2042, como se muestra en la figura.

Además, en lugar de configurar el analizador FFT en el modo de correlación cruzada para estimar la amplitud y la fase, se utilizó el método de respuesta en frecuencia que posee para la caracterización de la función de transferencia de circuitos (a modo de analizador escalar). Este modo hace el cociente punto a punto del espectro del canal 2 entre el espectro del canal 1. Los valores de este cociente en el máximo del espectro (pico de la señal) nos dan la amplitud y fase relativa de ambos canales.

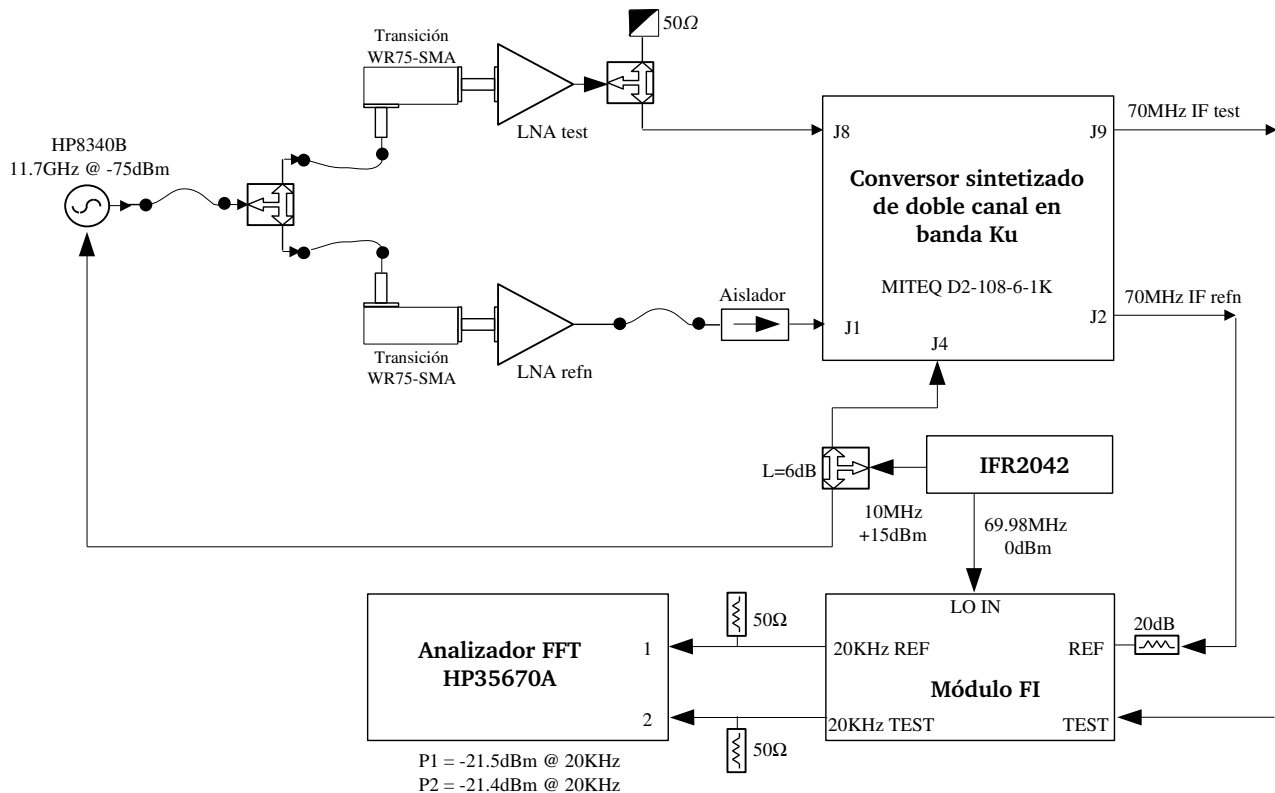


Figura 28: Montaje para la medida de la estabilidad a largo plazo.

Para estas medidas, la adquisición del analizador FFT se configuró de la forma siguiente:

- Tiempo de integración: 1 s
- Número de canales: 100
- Resolución espectral: 1Hz
- Ventana uniforme

### 3.8.3.1. Estabilidad de frecuencia

La figura 29 muestra la desviación respecto de la frecuencia de 20KHz en función del tiempo sufrida por la señal con dos casos diferentes de generador RF a 11.7GHz:

- usando un sintetizador HP8340B (figura 29a)
- usando un sintetizador Rohde SMR40 (figura 29b)

Se comprueba que la estabilidad en frecuencia del sintetizador HP es superior a la del sintetizador Rohde. Las medidas de los epígrafes anteriores y comprobaciones posteriores descartaron cualquier efecto de inestabilidad en frecuencia por parte del resto de osciladores del receptor.

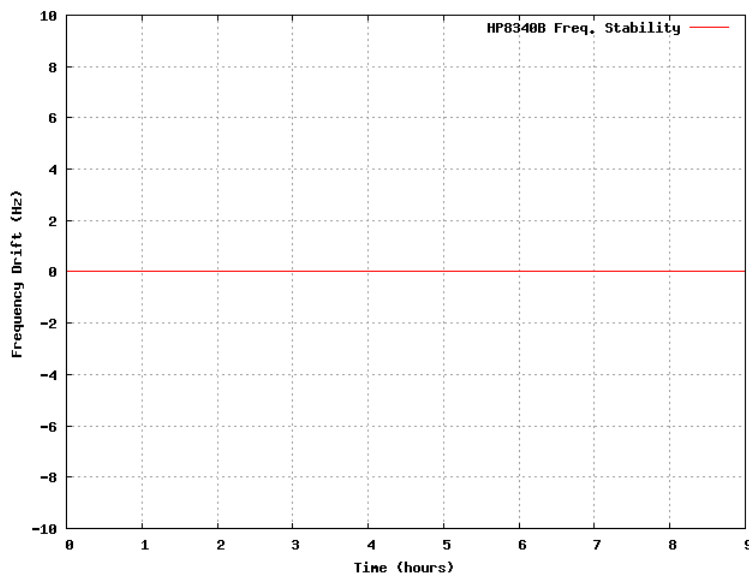


Figura 29a: Estabilidad en frecuencia medida usando el sintetizador HP.

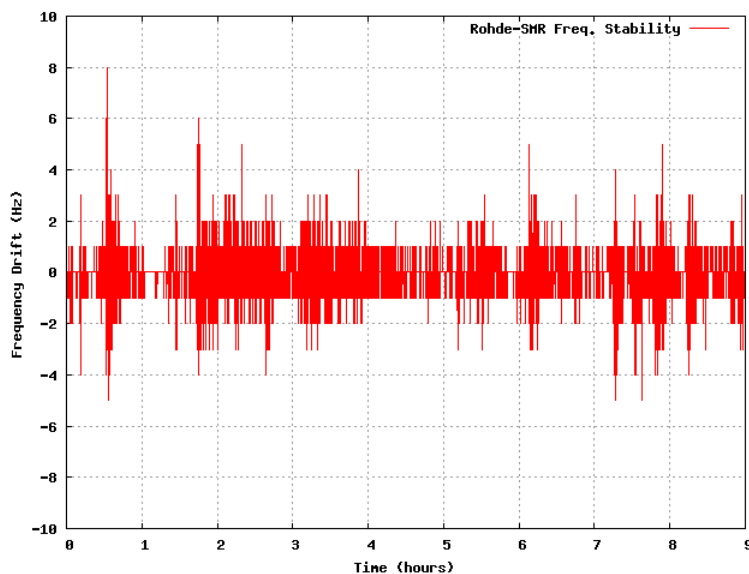


Figura 29b: Estabilidad en frecuencia medida usando el sintetizador Rohde.

Durante 9 horas, la frecuencia de 11.7GHz suministrada por el sintetizador HP no cambió más de 1 Hz en torno a los 20KHz. En cambio, durante el mismo período de tiempo, la suministrada por el sintetizador Rohde fluctuó aleatoriamente en un rango de unos 10Hz pico a pico.

### 3.8.3.2. Estabilidad de ganancia

Se registró el nivel de potencia en cada entrada del analizador FFT (canal 1 REF, canal 2 TEST) mediante la lectura de la potencia en el canal del máximo del espectro. Durante las 10 horas de medida se produjeron las fluctuaciones mostradas en la figura 30:

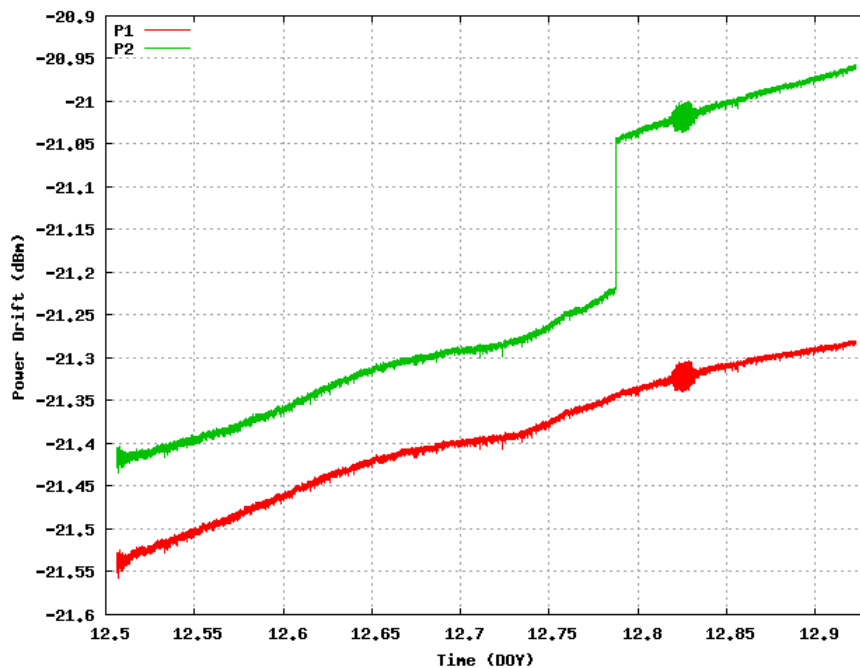


Figura 30: Estabilidad ganancia del receptor completo.

Se observa que ambas señales (TEST y REF) evolucionan de igual modo, excepto por el salto de 0.17dB, aproximadamente, que se produce sobre la abscisa 12.79 en el canal 2. Este salto se debe al sistema de compensación de la deriva de la ganancia por temperatura que posee el convertor MITEQ. El fabricante de este equipo nos ha confirmado que cuando la temperatura de cualquiera de los dos módulos de conversión cambia 2°C, se aplica una corrección a la ganancia de ese canal para mantenerla estable (+/- 1dB) en todo el rango de temperatura de funcionamiento del equipo (-30°C a +60°C).

La variación de ganancia en ambos canales ha sido de 0.25dB, aproximadamente, en 10 horas, sin contar el salto introducido por el convertor MITEQ. En esta medida se está incluyendo la estabilidad de ganancia del sintetizador HP, que actúa como generador de 11.7GHz.

Se observa también una pequeña fluctuación en los dos canales sobre la abscisa 12.82. Este es un efecto del generador HP, ya que está presente en los dos canales simultáneamente.

### 3.8.3.3. Estabilidad de amplitud

La amplitud relativa de los dos canales del receptor durante las diez horas de medida se muestra en la figura 30, junto con la evolución de la temperatura interna del conversor MITEQ y la temperatura ambiente:

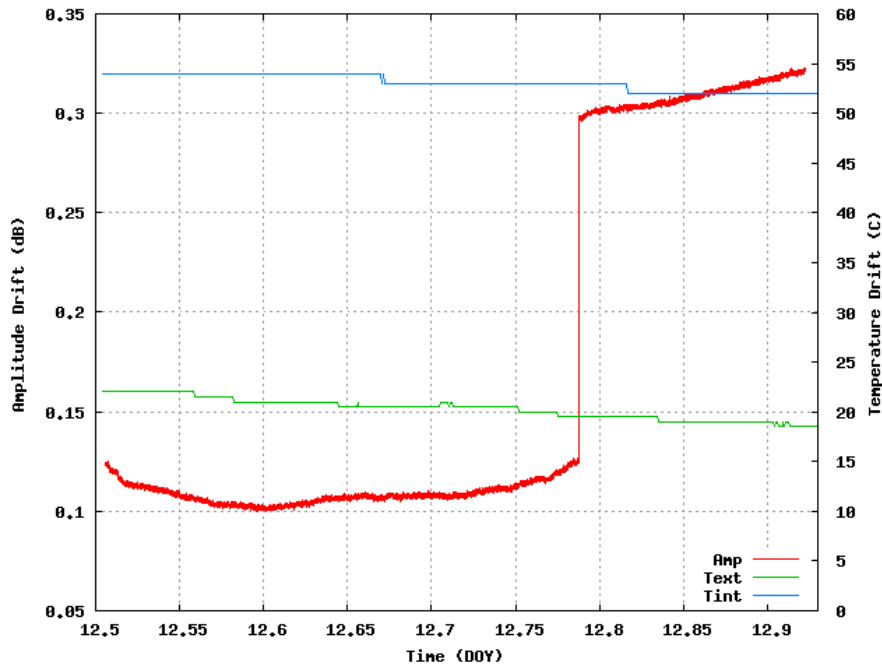


Figura 30: Estabilidad en amplitud del receptor completo.

Se observa que la amplitud cambia 0.23dB pico a pico en las diez horas de medida, de los cuales 0.17dB son debidos al sistema de compensación de la deriva de ganancia por temperatura. Sin tener en cuenta este salto, el sistema deriva sólo 0.06dB pico a pico.

Dado el pequeño valor de estos saltos de ganancia, la frecuencia de las calibraciones de las medidas holográficas y la rapidez de medida (3.5 horas aproximadamente), no se esperan efectos sobre los resultados de holografía.

### 3.8.3.4. Estabilidad de fase

Por su parte, la evolución de la fase relativa se muestra en la figura 31:

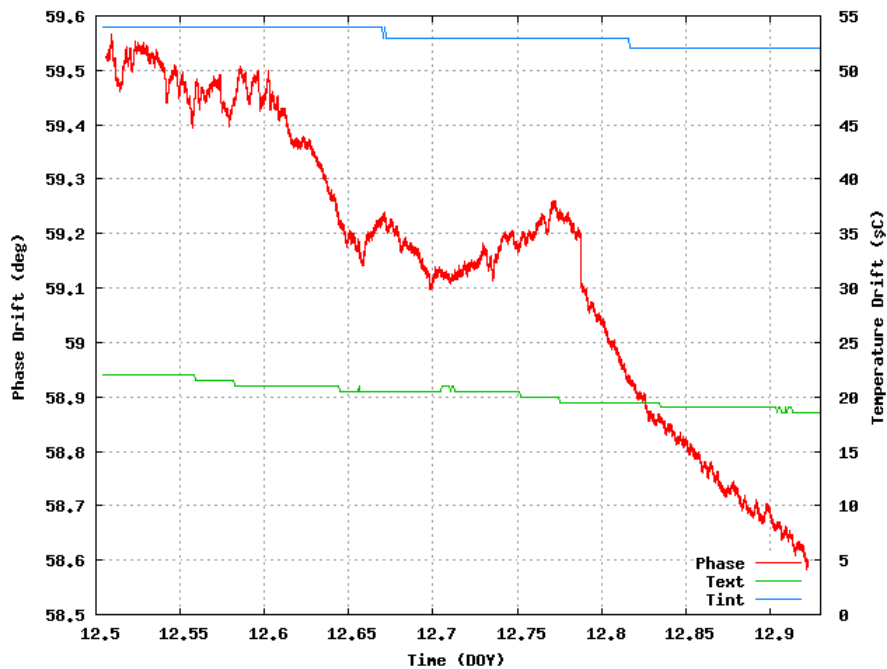


Figura 31: Estabilidad en fase del receptor completo.

Como se observa, la fase varía algo menos de 1 grado pico a pico durante las diez horas.

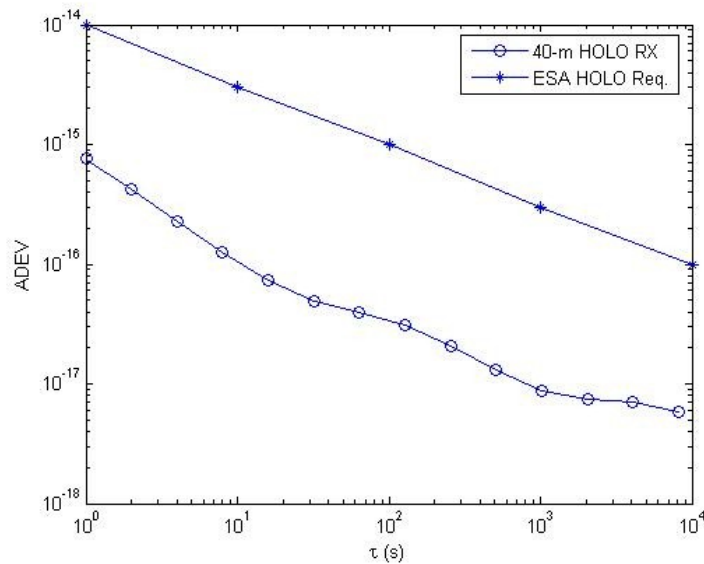
A partir de estos resultados, se calculó la estabilidad en frecuencia de receptor mediante el parámetro varianza de Allan.

Si  $\phi(t)$  es la fase medida (en radianes), la desviación relativa en frecuencia viene dada por:

$$y(t) = (2\pi f_0)^{-1} \cdot d\phi(t)/dt$$

donde  $f_0$  es la frecuencia de la medida (11,7GHz). El cálculo de la varianza de Allan sobre la desviación relativa de frecuencia, se presenta en la figura 32, donde también se presenta el requisito de estabilidad en frecuencia que el Centro de Operaciones de la Agencia Espacial Europea (ESA/ESOC) establece para su prototipo de receptor holográfico [5].





**Figura 32: Desviación de Allan del receptor de holografía.**

Se observa que la estabilidad en frecuencia del receptor de holografía para el radiotelescopio de 40 metros es, al menos, unas 40 veces mejor que la especificación que la ESA impone a su receptor prototipo. Este valor será peor cuando el receptor se instale en su posición final en la cabina del subreflector, dado que allí, las condiciones ambientales serán más bruscas que en el laboratorio.

## 4. Conclusiones y trabajo futuro.

Se ha presentado el diseño, la construcción, la integración y la caracterización en el laboratorio del receptor de holografía para el radiotelescopio de 40 metros del Observatorio Astronómico Nacional en el Centro Astronómico de Yebes.

Las medidas realizadas en el laboratorio muestran unos buenos resultados en cuanto a temperatura de ruido, linealidad y estabilidad, lo que permite dar por válido el receptor.

Como trabajo futuro, resta por instalar el receptor en la cabina del subreflector en cuanto sea alineado debidamente el subreflector por parte del contratista de los servomecanismos. Una vez instalado, habrá que hacer todo su conexionado con los cables de bajada y comenzar una fase de *commissioning* del receptor instalado para comprobar que todo funciona correctamente. Esta labor será objeto un nuevo informe técnico.

## 5. Referencias.

- [1] José A. López Pérez: “*Diseño preliminar de receptor de holografía coherente para el radiotelescopio de 40m del Centro Astronómico de Yebes*”. Quinta parte del informe: “*Sistemas de holografía de microondas para caracterización de superficies reflectoras*”. Informe Técnico OAN 2004-5. Abril 2004.
- [2] J. A. López-Pérez, C. Almendros, J. A. Abad: “*Módulo de Frecuencia Intermedia del Receptor de Holografía para el Radiotelescopio de 40 metros del Centro Astronómico de Yebes*”. Informe Técnico OAN 2004-7. Mayo 2004.
- [3] J. A. López-Pérez: “*Antena de bocina en banda Ku del canal de test del receptor de holografía para el radiotelescopio ARIES de 40 metros del Centro Astronómico de Yebes*”. Informe Técnico OAN 2004-11. Diciembre 2004.
- [4] T. Y. Otoshi, S. R. Stewart, M. M. Franco: “*A Portable Ku-Band Front-End Test Package for Beam-Waveguide Antenna Performance Evaluation*”. NASA/JPL TDA Progress Report 42-107. November 15, 1991.
- [5] “*Multipurpose Highly Stable Characterization System for Ground Station Characterization – Statement of Work & Technical Specification*”. GRST-GEN-STU-SOW-1002-OPS-GSA, Issue 1, Rev. 0, 19/09/2995.

**Anexo 1. Diagrama de bloques del módulo RF.**

**Anexo 2. Especificaciones y medidas de los amplificadores LNA MITEQ  
AMFW-5S-107128-65**

### **Anexo 3. Especificaciones del amplificador ZFL-500HLN.**

**Anexo 4. Especificaciones, medidas y manual del conversor MITEQ D2-108-6-1K.**

**Anexo 5. Especificaciones del conversor Ethernet a RS232 Lantronix.**

## **Anexo 6. Especificaciones de la fuente de alimentación +15V/1A.**



## **Anexo 7. Especificaciones del divisor de potencia Pulsar Microwave.**

**Anexo 8. Especificaciones y medidas de los aisladores Sierra Microwave SMI-1015.**

## **Anexo 9. Especificaciones del cable coaxial RG-214.**

**Anexo 10. Especificaciones de la transición SMA-WR75.**