

**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

José Antonio López Pérez
Carlos Almendros Muñoz
José Antonio Abad Abad

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

*José A. López Pérez, Carlos Almendros Muñoz, José A. Abad Abad
Mayo, 2004. CAY/OAN/IGN.*

I. Introducción.

El presente informe tiene por objeto la descripción detallada del diseño, construcción y caracterización de la etapa de frecuencia intermedia 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:

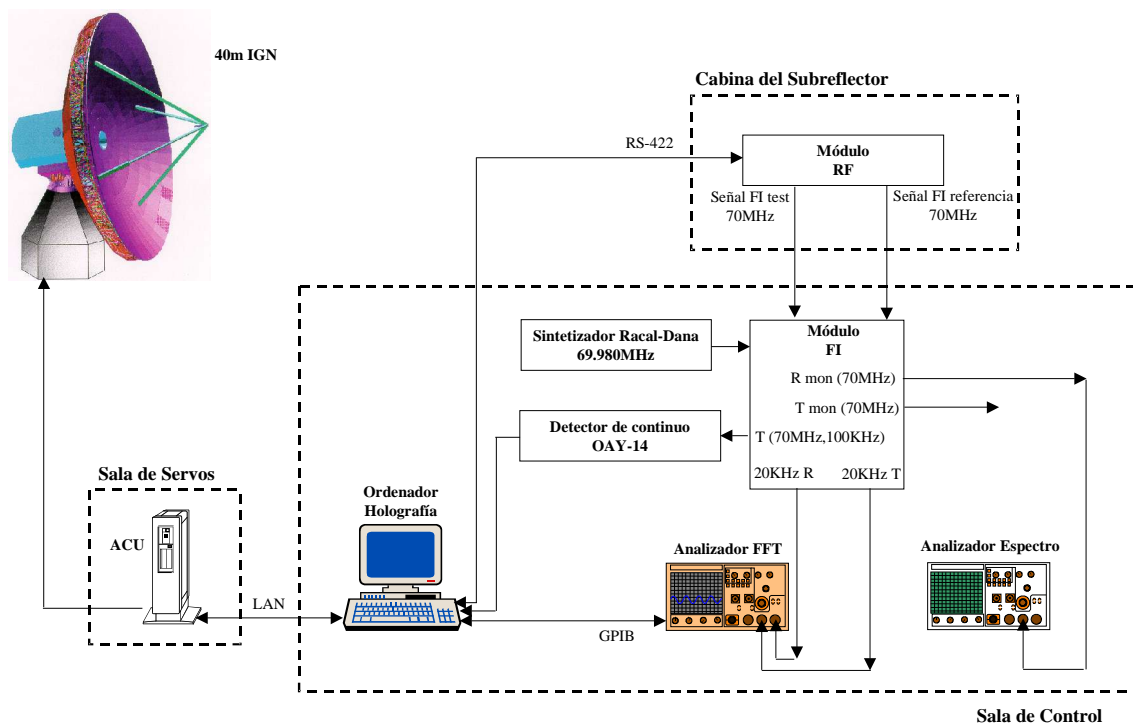


Figura 1: Diagrama de bloques general del sistema de holografía.

Como se menciona en [1], 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.
- Analizador de 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 radiobaliza 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 (unidad OAY-14), que proporciona una señal continua cuyo nivel es proporcional a la potencia de la señal de test.

II. Diseño y construcción.

El módulo de frecuencia intermedia se muestra en la figura siguiente:

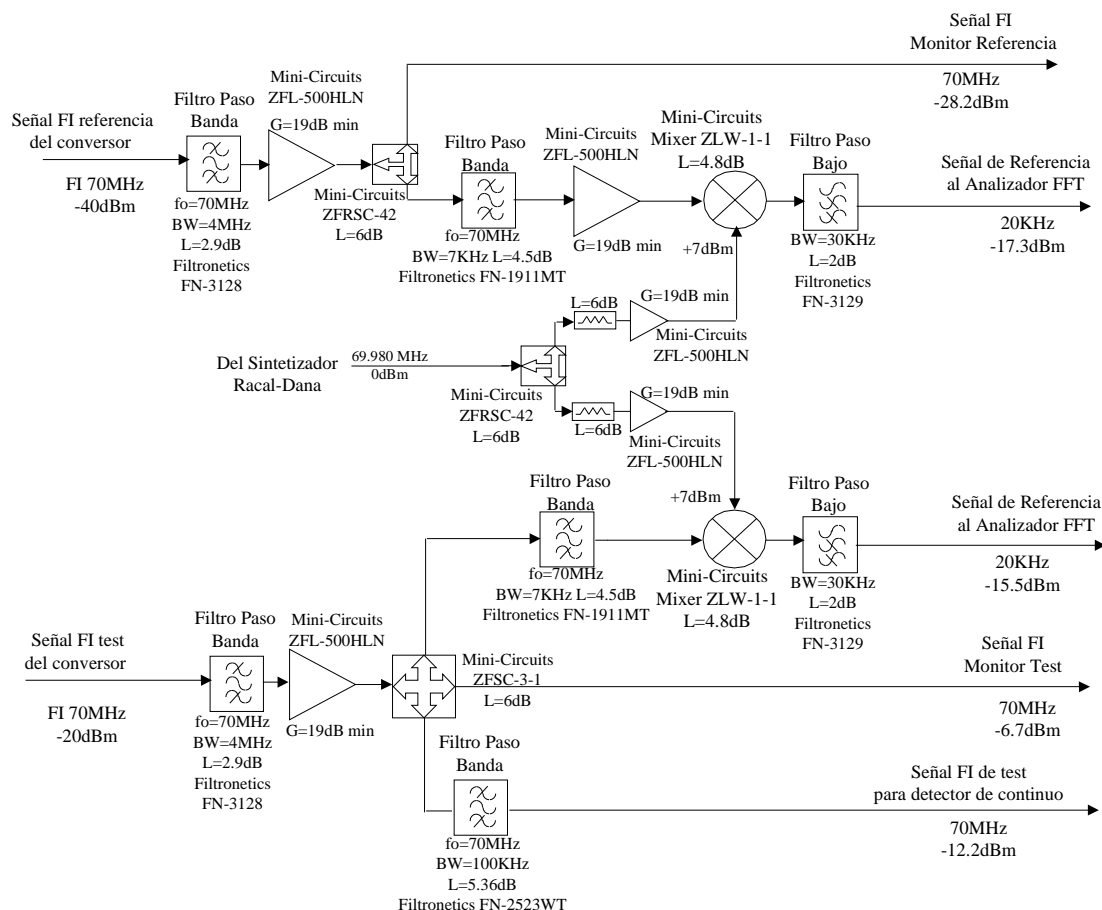


Figura 2: Diagrama de bloques detallado del módulo de frecuencia intermedia.

Las dos señales FI 70MHz (test y referencia) procedentes del módulo de radiofrecuencia son filtradas por sendos filtros paso banda (FN-3128 de Filtronetics) al ancho de banda de FI del módulo de radiofrecuencia ($70\text{MHz} \pm 2\text{MHz}$). A continuación, su nivel es aumentado por sendos amplificadores ZFL-500HLN de Mini-Circuits y posteriormente divididas para general señales de monitorización.

Una copia de cada señal es filtrada muy selectivamente a 7KHz de ancho de banda (FN-1911MT de Filtronetics) para eliminar radiobalizas adyacentes y ruido. Dichas copias son mezcladas con el oscilador local externo (Racal-Dana a 69.98MHz) para generar sendos tonos a 20KHz, que son filtrados paso bajo (FN-3129 de Filtronetics) para evitar aliasing en el procesado, eliminar armónicos y ruido.

Todos los componentes fueron adquiridos con conectores SMA para su integración en un rack 2U de 19”.

La siguiente fotografía muestra el interior del módulo de frecuencia intermedia, junto con la fuente de alimentación en la esquina inferior derecha.

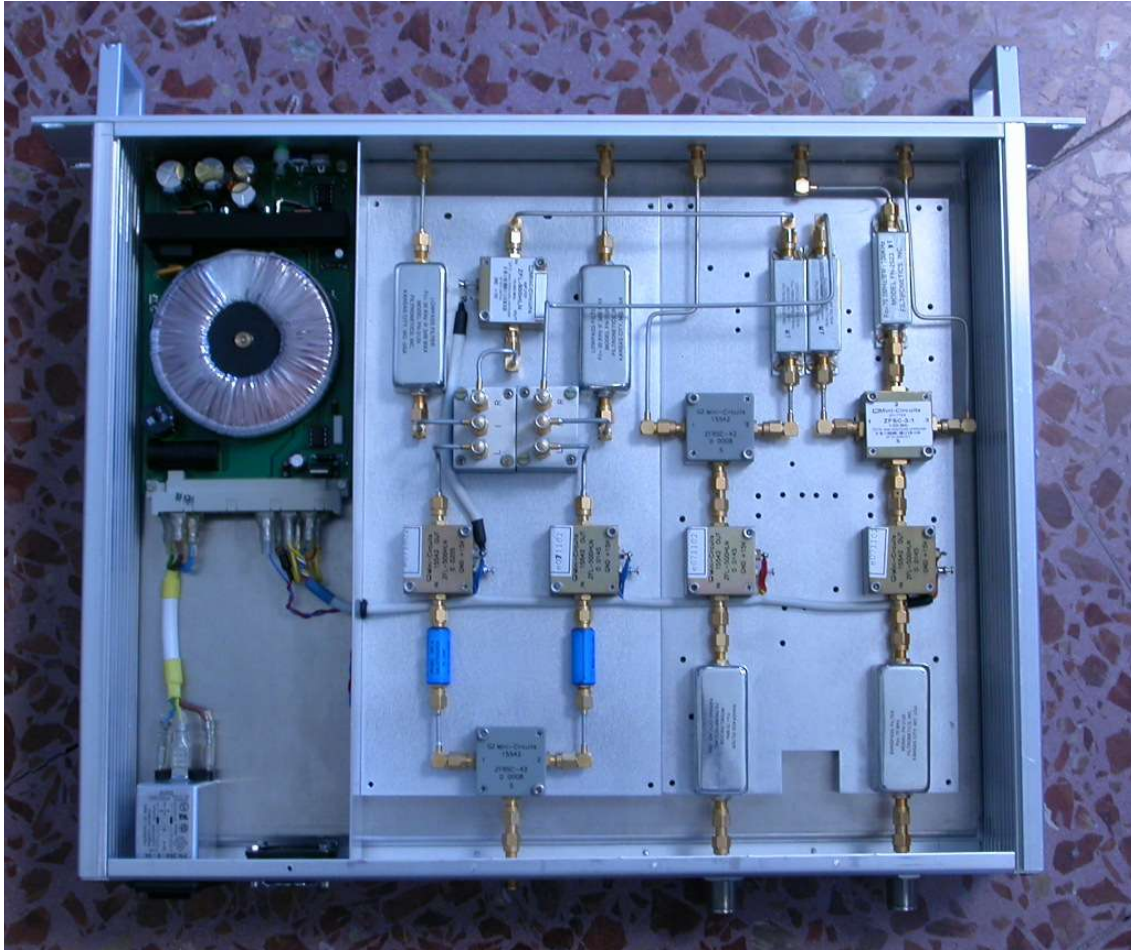


Figura 3: Interior del módulo de frecuencia intermedia.

En los anexos se encuentran las especificaciones de cada uno de los componentes utilizados, así como medidas de algunos de ellos.

III. Caracterización.

Para las medidas, salvo indicación expresa en contra, se utilizó el generador de RF Rohde-Schwarz SMR40 para generar las señales de 70MHz @ -20dBm (canal de test) y 70MHz @ -40dBm (canal de referencia) que sirven como entrada al módulo de FI. También se utilizó el sintetizador Racal-Dana 3101 para generar la señal de 69.98MHz @ 0dBm que sirve como oscilador local.

Niveles de potencia:

El nivel nominal de potencia de las señales FI 70MHz test y referencia de entrada será de -20dBm y -40dBm, respectivamente. Así las cosas, los niveles en las salidas serán los siguientes:

<i>FI 70MHz Reference input</i>	<i>FI 70MHz test input</i>	<i>FI 70MHz reference monitor output</i>	<i>FI 70MHz test monitor output</i>	<i>FI 70MHz 100KHz monitor output</i>	<i>20KHz reference output</i>	<i>20KHz test output</i>
-40dBm	-20dBm	-28.2dBm	-6.7dBm	-12.2dBm	-17.3dBm	-15.5dBm

Tabla 1: Niveles de potencia del módulo de FI.

Aislamiento:

El aislamiento entre los canales (test y referencia) del módulo de FI es mayor de 90dB, medido en las salidas de 20KHz con el analizador de FFT.

Linealidad:

La tabla siguiente muestra la potencia de señal en las salidas del canal de test en función de la potencia. El objeto de esta medida es determinar la linealidad o punto de compresión a 1dB de ambos canales módulo de frecuencia intermedia.

Pin 70MHz Test (dBm)	Pout 70MHz Test Monitor (dBm)	Pout 20KHz Test (dBm)	Pout 70MHz 100KHz Monitor (dBm)	Conversion Gain (dB)
-3	9,8	-5,1	4,7	-2,1
-4	8,8	-5,4	3,7	-1,4
-5	8	-5,5	2,7	-0,5
-6	7	-5,8	1,7	0,2
-7	6	-6	0,8	1
-8	5	-6,4	-0,2	1,6
-9	4	-6,7	-1,2	2,3
-10	3	-7,2	-2,2	2,8
-11	2	-7,8	-3,2	3,2
-12	1,2	-8,3	-4,2	3,7
-13	-0,2	-9	-5,2	4
-14	-1	-9,8	-6,2	4,2
-15	-1,8	-10,7	-7,2	4,3
-16	-2,8	-11,6	-8,2	4,4
-17	-3,8	-12,6	-9,7	4,4
-18	-4,8	-13,5	-10,1	4,5
-19	-5,8	-14,5	-11,2	4,5
-20	-6,7	-15,5	-12,2	4,5
-21	-7,7	-16,5	-13,2	4,5
-22	-8,7	-17,5	-14,2	4,5
-23	-9,7	-18,5	-15,2	4,5
-24	-10,7	-19,5	-16,2	4,5
-25	-11,7	-20,4	-17,2	4,6
-26	-12,7	-21,4	-18,2	4,6
-27	-13,7	-22,4	-19	4,6
-28	-14,8	-23,5	-20,2	4,5
-29	-15,8	-24,5	-21,2	4,5
-30	-16,8	-25,5	-22,3	4,5
-35	-21,8	-30,5	-27,3	4,5
-40	-27	-35,6	-32,3	4,4

Tabla 2: Medidas de linealidad del canal de test del módulo de FI.

La primera columna recoge las potencias aplicadas a la entrada. En la segunda, tercera y cuarta columnas figuran las potencias resultantes en las salidas 70MHz test monitor, 20KHz test y 70MHz/100KHz monitor, respectivamente. Por su parte, la última columnas refleja la ganancia de la conversión entre la entrada y la señal de 20KHz test generada para el analizador FFT.

La ganancia de la etapa es de 4.5dB, por tanto, el punto de compresión de 1dB de ganancia es, aproximadamente, -11dBm a la entrada del módulo (ganancia \approx 3.5dB). Dado que la potencia nominal de entrada se ajustará con el módulo de RF para que sea de -20dBm cuando se observe la radiobaliza del satélite, en dirección boresight, resulta que el módulo operará con una potencia de entrada 9dB menor que la de 1dB de compresión (saturación). Por tanto, el comportamiento lineal de canal de test está asegurado.

Por lo que respecta al canal de referencia, la tabla siguiente presenta las medidas:

Pin 70MHz Reference (dBm)	Pout 70MHz Reference Monitor (dBm)	Pout 20KHz Reference (dBm)	Conversion Gain (dB)
-20	-8	-4,9	15,1
-21	-9	-5	16
-22	-10	-5,3	16,7
-23	-11	-5,6	17,4
-24	-12	-5,8	18,2
-25	-13	-6	19
-26	-14	-6,3	19,7
-27	-15	-6,6	20,4
-28	-16,2	-6,9	21,1
-29	-17,2	-7,5	21,5
-30	-18,2	-8	22
-31	-19,2	-8,8	22,2
-32	-20,2	-9,5	22,5
-33	-21,2	-10,4	22,6
-34	-22,2	-11,3	22,7
-35	-23	-12,2	22,8
-36	-24,2	-13,1	22,9
-37	-25,2	-14,1	22,9
-38	-26,3	-15,3	22,7
-39	-27,2	-16,3	22,7
-40	-28,2	-17,3	22,7
-41	-29,2	-18,3	22,7
-42	-30,3	-19,2	22,8
-43	-31,3	-20,2	22,8
-44	-32,3	-21,2	22,8
-45	-33,3	-22,2	22,8
-46	-34,2	-23,2	22,8
-47	-35,2	-24,2	22,8
-48	-36,3	-25,2	22,8
-49	-37,3	-26,2	22,8
-50	-38,3	-27,2	22,8
-55	-43,3	-32,2	22,8
-60	-48,2	-37,1	22,9
-65	-53,2	-42	23
-70	-58,3	-47,2	22,8

Tabla 3: Medidas de linealidad del canal de referencia del módulo de FI.

La ganancia de esta etapa es de 22.8dB. Este valor es 18.3dB mayor que la ganancia de canal de test para compensar parte de la diferencia de ganancia que hay entre las antenas de cada canal.

El punto de compresión 1dB de ganancia está a -30dBm de potencia de entrada. Como el nivel nominal de entrada en este canal es de unos -40dBm, de nuevo estará funcionando a unos 10dB por debajo de la saturación. Esto implica que el canal de referencia también trabajará en régimen lineal.

La figura siguiente presenta las medidas de la tablas 2 y 3 de forma gráfica.

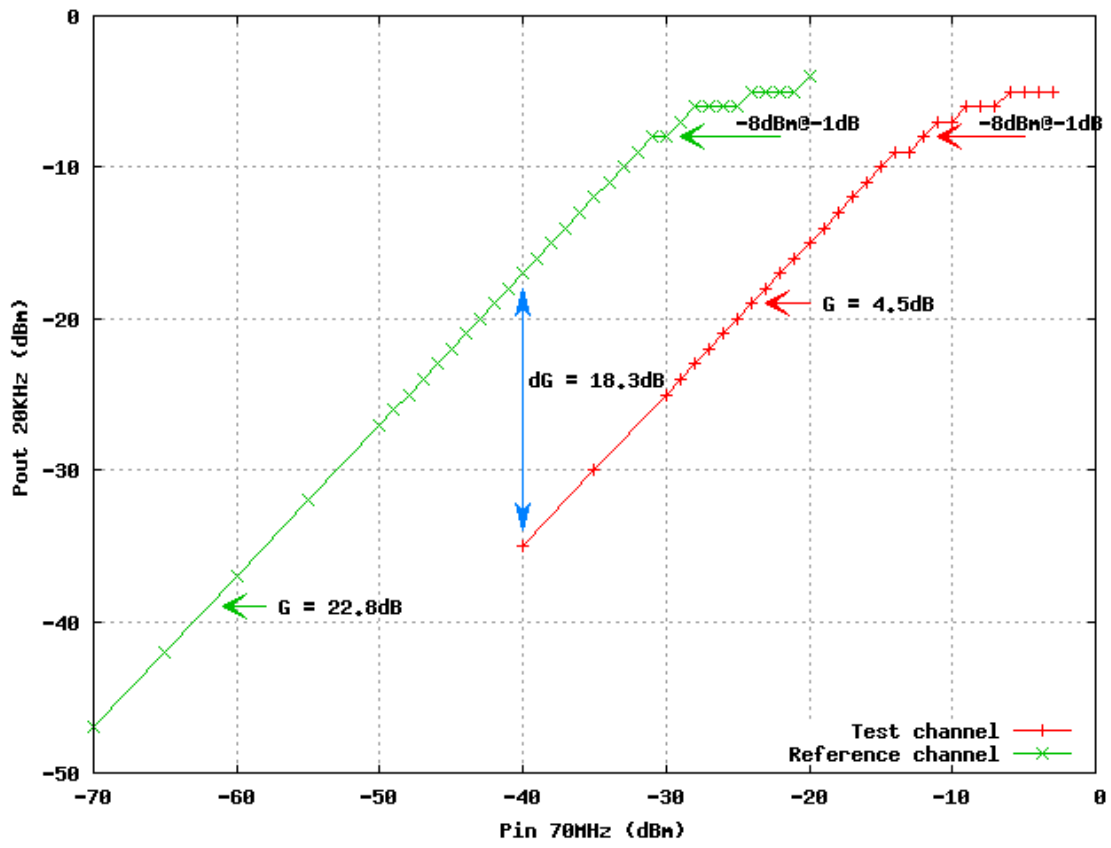


Figura 4: Linealidad del módulo de frecuencia intermedia.

Influencia de la potencia del oscilador local externo:

Se ha medido también la influencia de la potencia del oscilador local (Racal-Dana @ 69.98MHz) en la potencia de salida de la señal y, por tanto, en las pérdidas de conversión del módulo. La potencia en las entradas se mantuvo constante a -20dBm (test) y -40dBm (referencia).

La tabla siguiente muestra las medidas:

Nivel OL (dBm)	Pout 20KHz Test (dBm)	Pout 20KHz Ref (dBm)
3	-15,2	-17,2
2	-15,3	-17,3
1	-15,3	-17,3
0	-15,4	-17,3
-3	-15,9	-17,5
-6	-17	-17,9
-9	-18,6	-18,5

Tabla 3: Influencia del nivel de OL.

Se observa que en todo el rango de nivel de oscilador local medido, la ganancia cambia 3.4dB para el canal de test y 1.3dB para el canal de referencia, lo cual permitiría al módulo funcionar con potencias menores de oscilador local, si fuese necesario.

Obsérvese que el diseño de la división de la señal del oscilador local incluye dos amplificadores, con ganancia mínima 19dB. En realidad, los amplificadores tienen una ganancia algo mayor (20.7dB @ 70MHz) y seguramente distinta cada uno.

Forma de la banda de paso en las salidas de 20KHz:

La forma de la banda de paso en las salidas de 20KHz de cada canal (test y referencia) se muestra en la figura de la página siguiente.

Puede observarse que el ancho de banda a -3dB es de unos 10KHz.

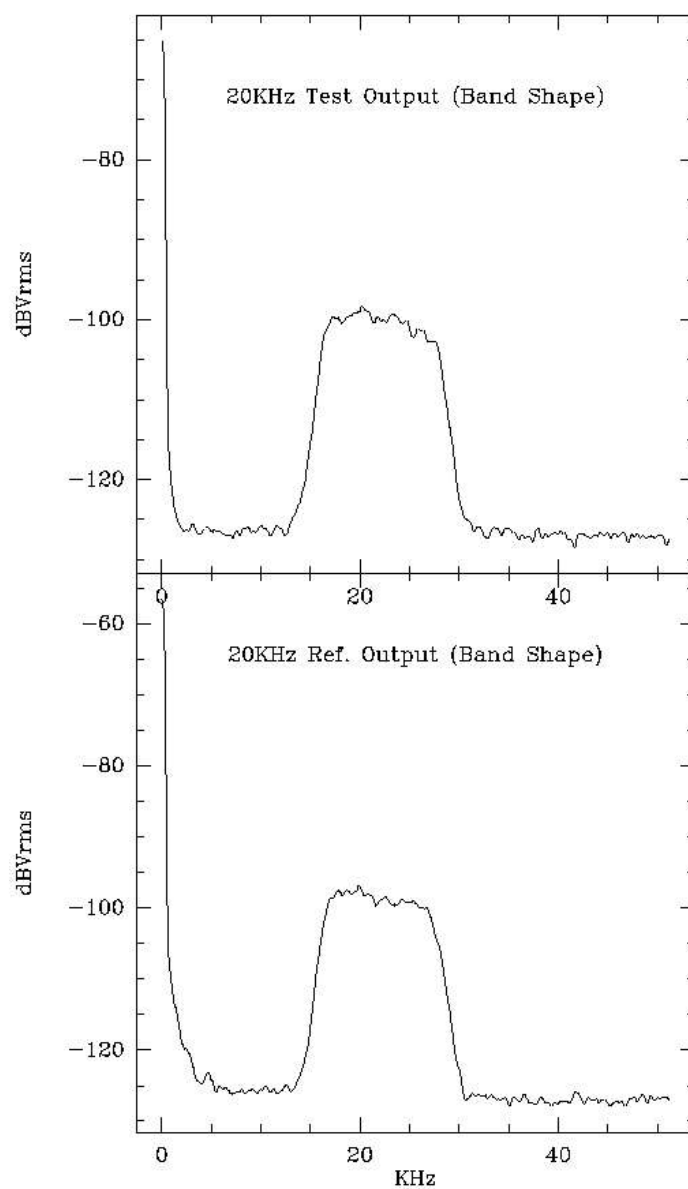


Figura 5: Forma de la banda de paso del módulo de frecuencia intermedia en las salidas de 20KHz.

Forma de la banda de paso en las salidas *70MHz monitor*:

La forma de la banda de paso en la salida “*70MHz test monitor*” se muestra en la figura 6 y la correspondiente a la salida “*70MHz reference monitor*” en la figura 7. Estas formas se corresponden con la de los filtros FN-3128 de Filtronetics. El ancho de banda es de 4.5MHz @ -3dB, aproximadamente.

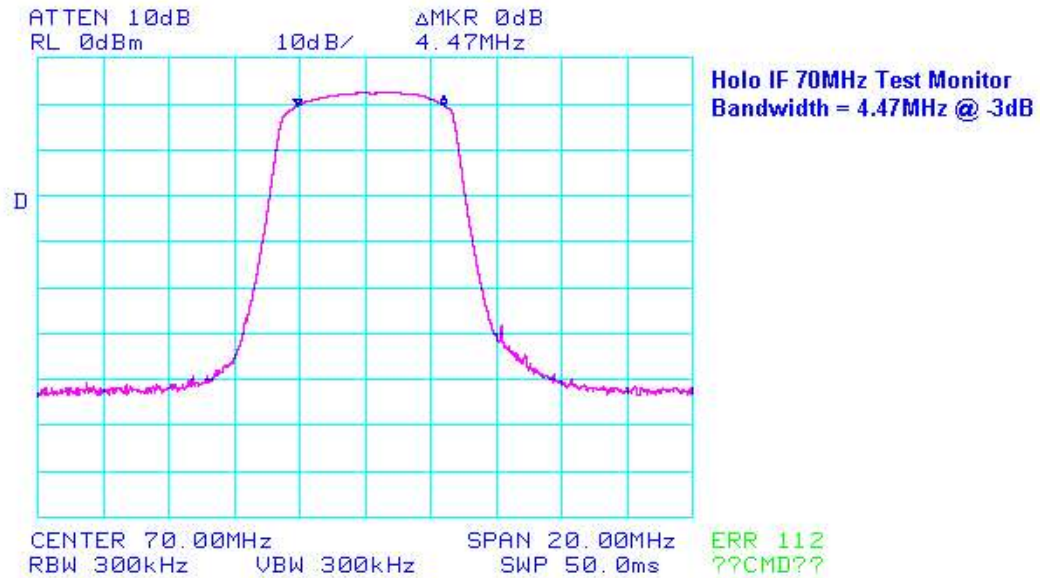


Figura 6: Forma de la banda de paso del módulo FI en la salida *70MHz test monitor*.

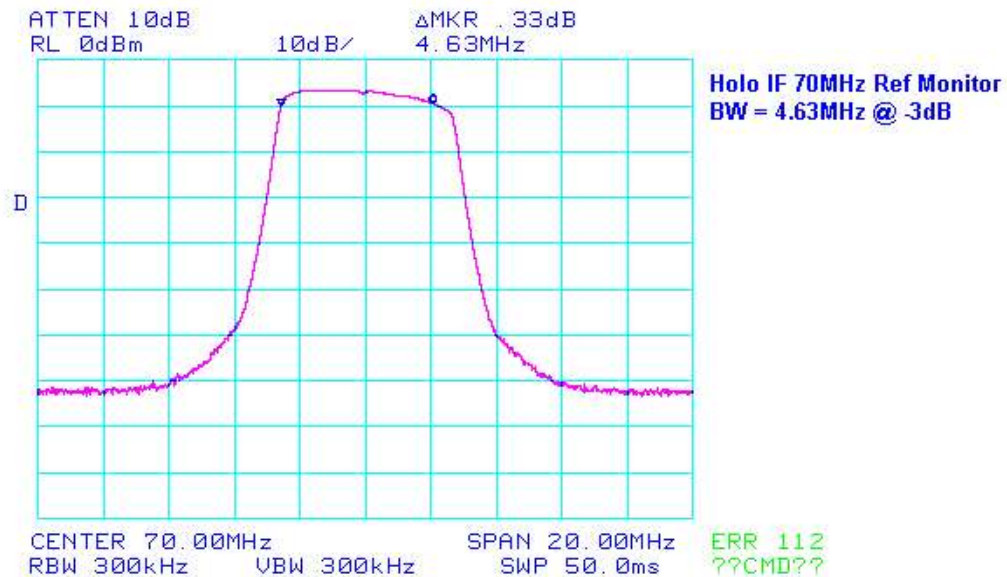


Figura 7: Forma de la banda de paso del módulo FI en la salida *70MHz reference monitor*.

Forma de la banda de paso en la salida 70MHz 100KHz test:

La forma de la banda de paso en la salida “70MHz 100KHz test” se muestra en la figura 8. Puede comprobarse que esta forma se corresponde con la del filtro FN-2523WT de Filtronetics. El ancho de banda es de 111KHz @ -3dB, aproximadamente.

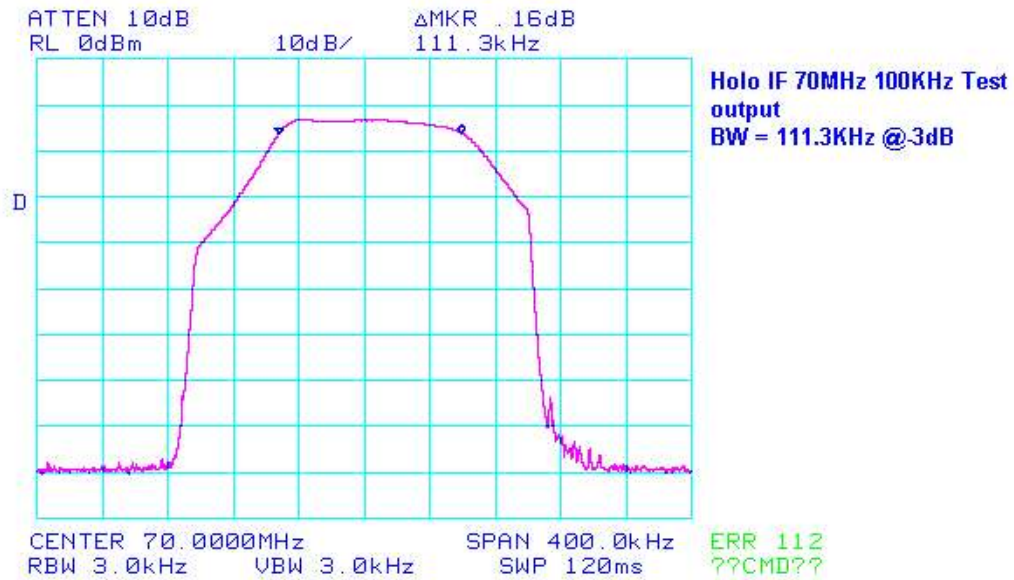


Figura 8: Forma de la banda de paso del módulo FI en la salida 70MHz 100KHz test.

Temperatura:

La temperatura del disipador de la fuente de alimentación se encuentra entre 31-32°C en condiciones estacionarias. La temperatura de la etapa FI propiamente no se llegó a medir, si bien la inercia térmica será muy grande debido al montaje utilizado para los componentes sobre planchas de duraluminio.

Estabilidad:

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

Por tanto, se enchufó la FI una hora después de enchufar el Racal-Dana (lo 69.98MHz), el analizador FFT y el generador Rohde (70MHz para simular la radiobaliza en FI). Así se dio tiempo a estabilizar esos equipos para ver sólo la variación/estabilidad de la etapa FI.

La estabilidad en amplitud y fase se muestran en la gráficas siguientes:

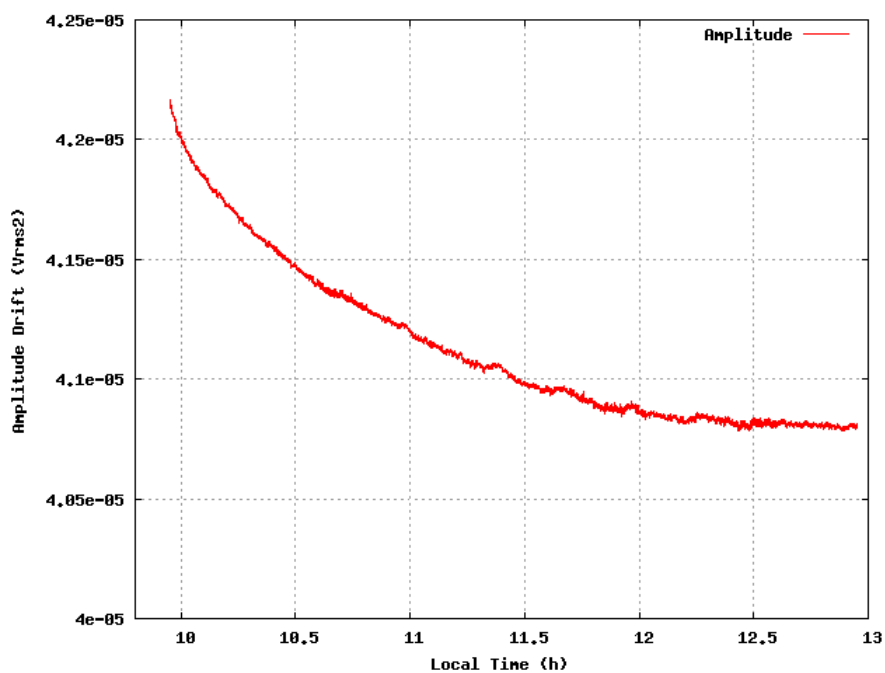


Figura 9: Deriva de la amplitud.

Se observa que durante la primera hora, la amplitud cambia un 1.9%, durante la segunda hora un 0.8% y durante la tercera hora, un 0.15%, tendiendo a un valor constante conforme el módulo se estabiliza.

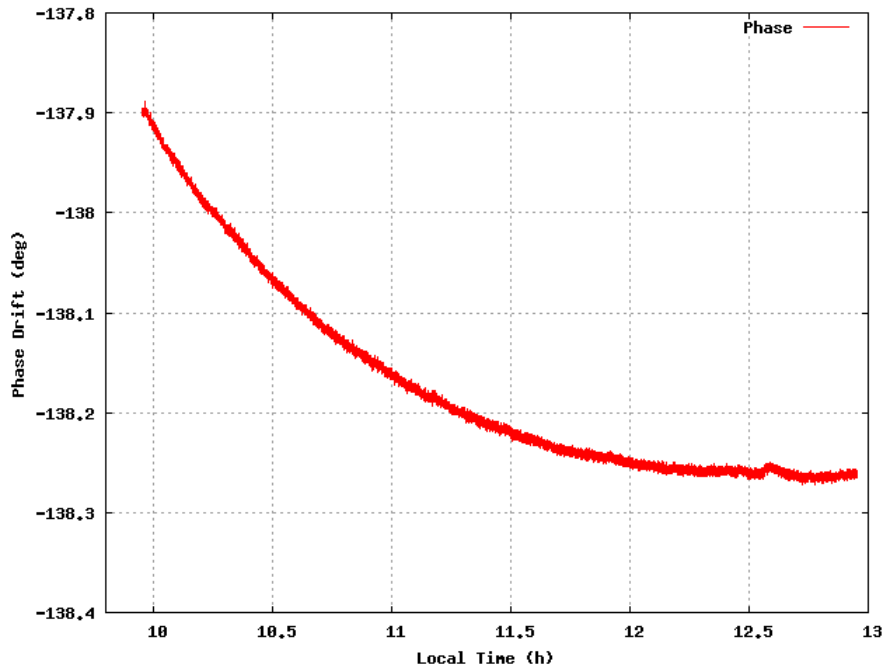


Figura 10: Deriva de la fase.

En cuanto a la deriva de fase, durante la primera hora cambia un 0.2%, en la segunda hora un 0.06% y en la tercera un 0.008%. Esta variación es despreciable cuando el módulo de FI se estabiliza, lo que ocurre al cabo de unas 3 horas.

IV. 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.

Anexo I: Esquema del módulo FI.

Anexo II: Medidas de un amplificador ZFL-500HLN de Mini-Circuits.

Anexo III: Especificaciones de los componentes del módulo FI.

Anexo IV: Medidas de los filtros del módulo FI.