

Medidas del receptor de banda ancha durante su instalación en el radiotelescopio de 13 metros del Observatorio de Yebes

Pablo García Carreño, María Patino Esteban, José A. López-Pérez

Informe Técnico 2016-4

Marzo, 2016.



**UNION EUROPEA
FONDO EUROPEO DE
DESARROLLO REGIONAL**

"Una manera de hacer Europa"

Los desarrollos descritos en este informe técnico han sido cofinanciados por el Programa Operativo Fondo Tecnológico FEDER de la UE bajo el convenio IGNMINECO denominado "Radiotelescopio de VLBI geodésico y astrométrico para su integración en la red VGOS (VGOSYEBES)"

Contenido

Introducción.....	3
1. Configuración del sistema.....	3
2. Potencia total y espectros a la salida del criostato.....	4
3. Potencia total y espectros a la salida del distribuidor.....	6
4. Espectro a la salida de los <i>up-down converters</i> (UDCs).....	10
5. Tonos de calibración de fase (PhaseCal) a 8GHz.....	11
6. Diodo de ruido (NoiseCal) a 7GHz y estimación de la temperatura de ruido de sistema...	11
7. Ganancia Sistema de Fibra óptica y distribuidor de potencia.....	13
8. Linealidad de los enlaces de fibra óptica.....	14
Conclusiones.....	14

Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de bloques del sistema.....	3
Figura 2: Espectro de la señal del criostato amplificada (rojo) y de la señal de salida del módulo distribuidor (azul).....	4
Figura 3: Espectro de la señal a la salida del criostato (H-pol), con carga (rojo) y sin carga (azul).	5
Figura 4: Espectro de la señal a la salida del criostato (V-pol), con carga (rojo) y sin carga (azul).	5
Figura 5: Espectro de alta resolución de las señales a la salida del criostato.....	6
Figura 6: Espectro de la señal (H-pol) a la salida del distribuidor.....	7
Figura 7: Espectro de la señal (V-pol) a la salida del distribuidor.....	7
Figura 8: Espectro de alta resolución de las señales a la salida del distribuidor.....	8
Figura 9: Comparación del espectro de la señal a la salida del criostato y del módulo de distribución (H-pol).....	9
Figura 10: Comparación del espectro de la señal a la salida del criostato y del módulo de distribución (V-pol).....	9
Figura 11: Forma de la banda base de los cuatro UDCs (H-pol).....	10
Figura 12: Forma de la banda base de los cuatro UDCs (V-pol).....	10
Figura 13: Espectro de los tonos del PhaseCal.....	11
Figura 14: Niveles de potencia detectada en cada estado del diodo de ruido.....	12
Figura 15: Ganancia del conjunto TX+RX de fibra y módulo distribuidor.....	13
Figura 16: Linealidad de los enlaces de fibra óptica.....	14

Introducción.

El presente informe recoge las medidas llevadas a cabo durante la instalación, y puesta en marcha, del receptor de banda ancha en el radiotelescopio RAEGE de 13 metros, en el Observatorio de Yebes. Estas tareas se realizaron entre el 26-Febrero y el 3-Marzo.

1. Configuración del sistema.

La figura 1 muestra el diagrama de bloques del sistema receptor. En primer lugar, el criostato, que aloja el *front-end* del receptor, cuyas señales de salida en RF son enviadas a sendos transmisores de RF por fibra óptica monomodo (1539 nm), alojados en el carro de soporte del criostato, que transportan la señal por fibra (450 metros, aprox.) hasta la sala de *back-ends* del radiotelescopio de 40 metros. Allí, los receptores de fibra óptica convierten la señal óptica a RF y se envía a un módulo distribuidor, que genera copias de las señales para los cuatro *up-down converters* de doble canal que seleccionarán las sub-bandas de frecuencias deseadas en las observaciones VLBI.

Inicialmente, se instalaron dos preamplificadores de RF (modelo BZ-00101800-251318-152323, $G=21\text{dB}$, $NF=2.5\text{dB}$, $Po1\text{dB}=+17\text{dBm}$) entre las salidas del criostato y los transmisores de fibra óptica para reducir la contribución de dichos transmisores a la temperatura total de ruido del receptor ($NF=12..20\text{dB}$ en la banda 2-14GHz). Sin embargo, estos amplificadores tuvieron que quitarse de la cadena debido a que se encontraban saturados, por el alto nivel de interferencias que se captan a 0° de elevación, y, a su vez, estaban saturando a los transmisores de fibra óptica. Esta situación generaba una gran cantidad de productos de intermodulación que impedían un correcto funcionamiento del sistema.

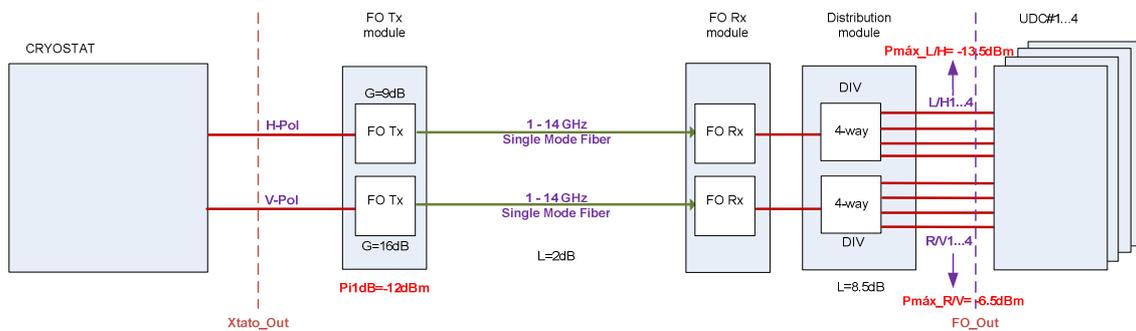


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema.

La figura 2 muestra el espectro de las señales a la salida de uno de estos amplificadores finalmente eliminados (traza roja) y la correspondiente a una salida del distribuidor (traza azul).

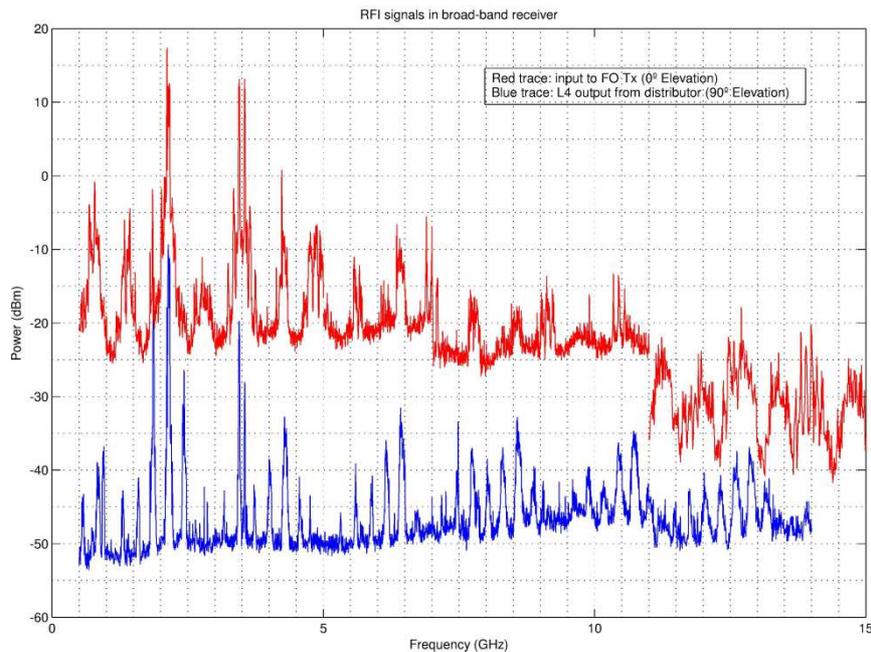


Figura 2: Espectro de la señal del criostato amplificada (rojo) y de la señal de salida del módulo distribuidor (azul).

Puede comprobarse el alto nivel de interferencias y productos de intermodulación. En las secciones siguientes se presentan resultados sin estos amplificadores para cancelar estos efectos, a costa de incrementar la temperatura de ruido final del receptor. En una sección más adelante se estima el nuevo valor de temperatura de ruido.

2. Potencia total y espectros a la salida del criostato.

Con ayuda de un medidor de potencia, en las condiciones de la figura 1, se mide la potencia total a la salida del criostato (X_{tato_out}) para las dos polarizaciones con la antena a 0° de elevación. La medida se realiza colocando un absorbente de microondas (carga caliente) en la ventana del cono del receptor (frente al subreflector) y sin ella. La tabla siguiente muestra los resultados.

X_{tato_out}	P_H (dBm)	P_V (dBm)
Sin Carga	-0.4	-4.32
Con Carga	-29.5	-25
$\Delta_{con\ carga/sin\ carga}$ (dB)	29.1	20.68

Con estos valores, se comprueba que, incluso habiendo quitado los amplificadores de salida del criostato, llega una potencia excesiva a los transmisores de fibra óptica, y estarán también saturados ($P_{in1dB} = -12\text{dBm}$) cuando la antena está en esta posición. Es más, puede que incluso los amplificadores de bajo nivel de ruido criogénicos también estén saturados. En cambio, al bloquear las interferencias con la carga caliente, los niveles de potencia a la entrada de los transmisores ya estén dentro del régimen lineal de funcionamiento.

Se miden también (figuras 3 y 4), a la salida del criostato, el espectro de potencia en las dos polarizaciones con carga caliente y sin carga cuando la elevación de la antena es de 0°. Las

medidas con carga caliente se realizan colocando sobre la ventana del cono un absorbente de microondas, como se ha dicho anteriormente.

Spectrum of RF signal at Cryostat output H-Pol with load and without load

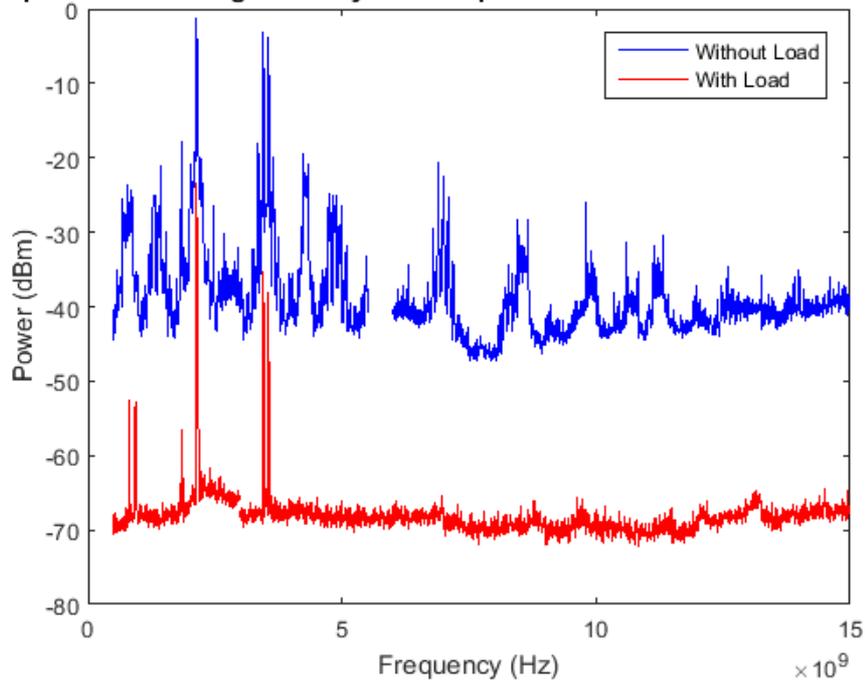


Figura 3: Espectro de la señal a la salida del criostato (H-pol), con carga (rojo) y sin carga (azul).

Spectrum of RF signal at Cryostat output V-Pol with load and without load

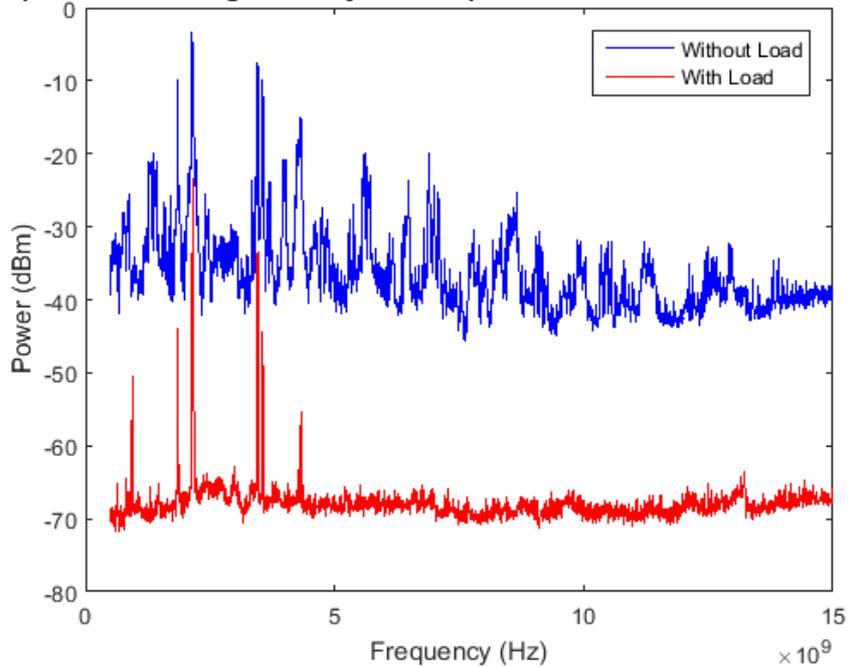


Figura 4: Espectro de la señal a la salida del criostato (V-pol), con carga (rojo) y sin carga (azul).

Un medida de mayor resolución espectral de las señales a la salida del criostato se presenta en la figura 5. Puede notarse que algunas interferencias están presentes en sólo una de las polarizaciones.

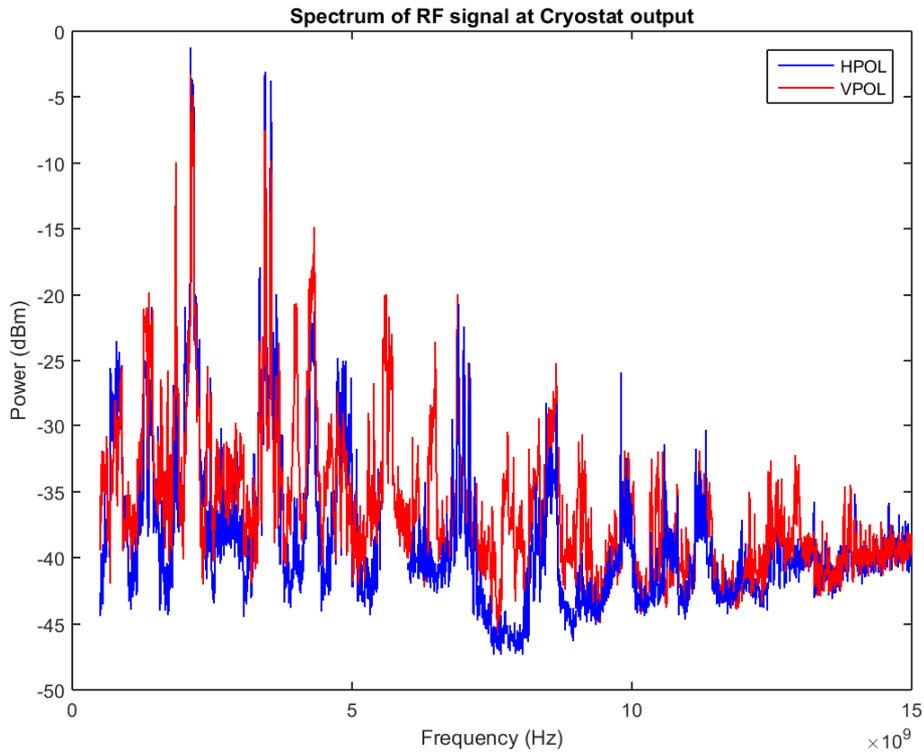


Figura 5: Espectro de alta resolución de las señales a la salida del criostato.

3. Potencia total y espectros a la salida del distribuidor.

Se mide la potencia total a la salida del distribuidor de señal (FO_out) para distintos ángulos de elevación de la antena, manteniendo el mismo azimut (225°) en las dos polarizaciones. Esta medida se realiza siempre sin carga caliente delante de la ventana del cono. Los resultados se recogen en la tabla siguiente.

Elevación	P_H (dBm)	P_V (dBm)	Δ_{PH-PV} (dB)
0°	-15.5	-3.5	12
45°	-46.8	-32	14.8
60°	-46	-29.5	16.5
89°	-41.3	-23	18.3

Puede comprobarse cómo, a elevaciones superiores al horizonte, la potencia a la salida del distribuidor se reduce, debido a que se captan menos interferencias y ya no existen dispositivos saturados.

Téngase en cuenta que, la diferencia de potencia entre ambos canales (última columna de la tabla) incluye tanto las diferencias de ganancia de las dos cadenas receptoras (H y V) hasta la

salida del distribuidor como las diferentes potencias de las interferencias que se reciben por cada polarización.

Se mide de nuevo (figuras 6 y 7), a la salida del módulo de distribución, el espectro de potencia en las dos polarizaciones para distintas elevaciones de la antena. El azimut se mantiene en 225° .

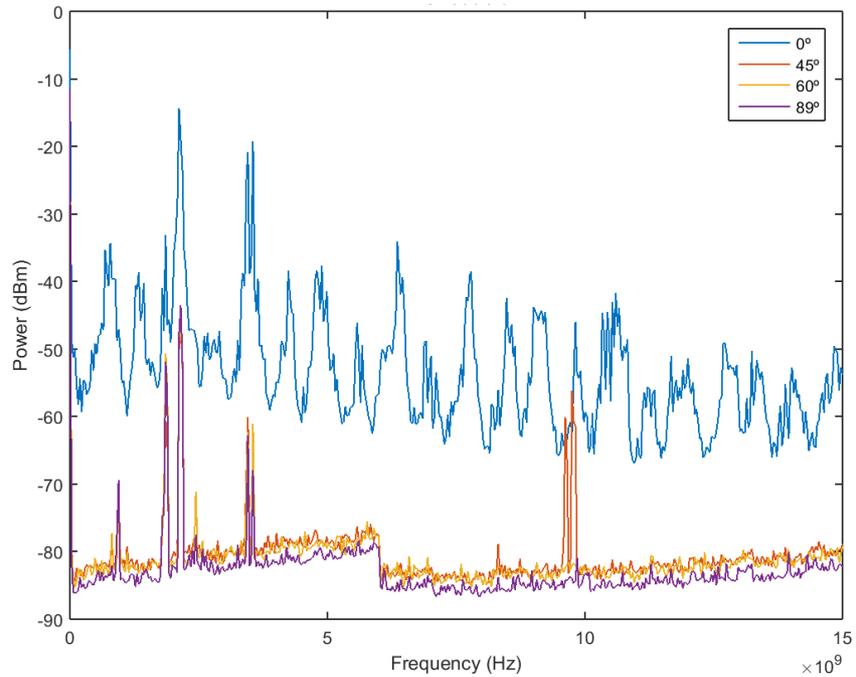


Figura 6: Espectro de la señal (H-pol) a la salida del distribuidor.

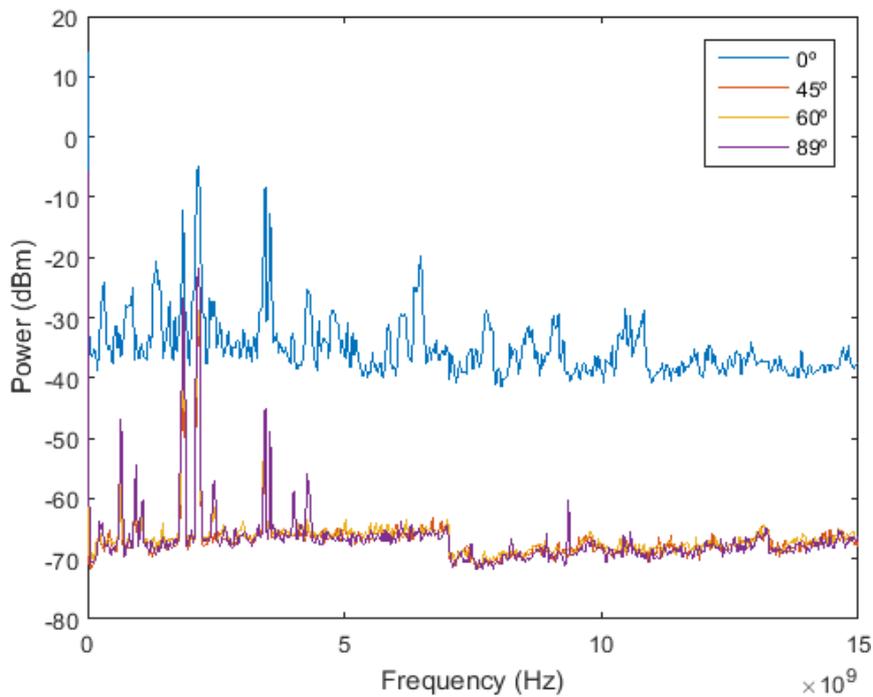


Figura 7: Espectro de la señal (V-pol) a la salida del distribuidor.

Nótese cómo, al aumentar la elevación por encima del horizonte, se reducen en gran medida el número de interferencias y productos de intermodulación. Además, algunas de las interferencias tienen polarización, pues están presentes en un canal y no en el otro.

Para una elevación de 45° se mide a la salida del distribuidor el espectro de potencia para las dos polarizaciones con mayor resolución (se toman datos del espectro por sub-bandas).

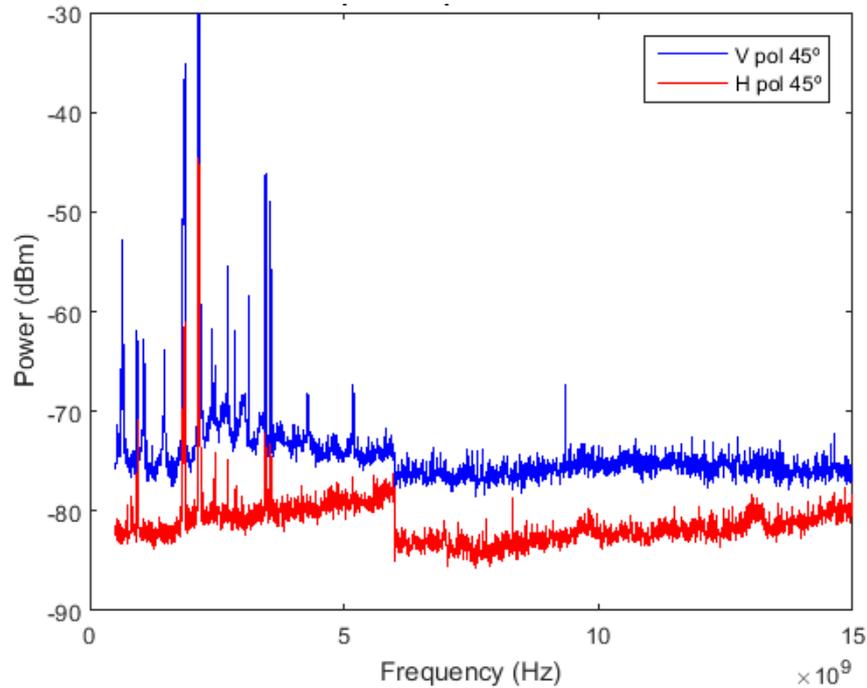


Figura 8: Espectro de alta resolución de las señales a la salida del distribuidor.

Por último, se presentan los espectros de la señal a la salida del criostato y a la salida del distribuidor para cada polarización (figuras 9 y 10) a 0° de elevación, lo que permite identificar los productos de intermodulación que se generan por saturación de los transmisores de fibra óptica.

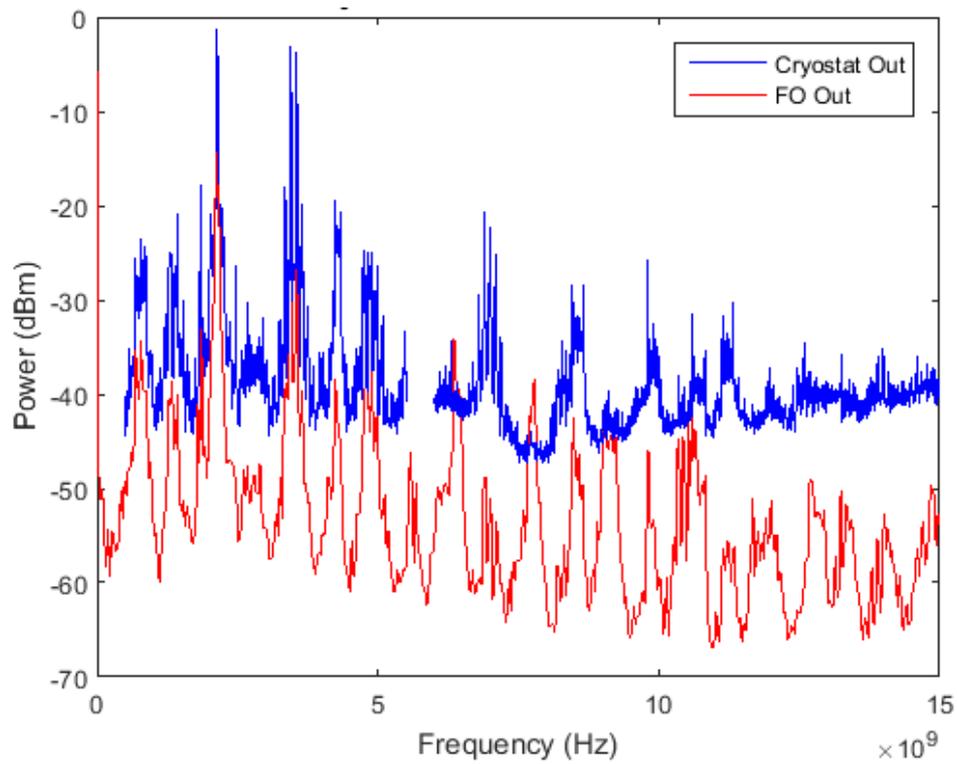


Figura 9: Comparación del espectro de la señal a la salida del criostato y del módulo de distribución (H-pol).

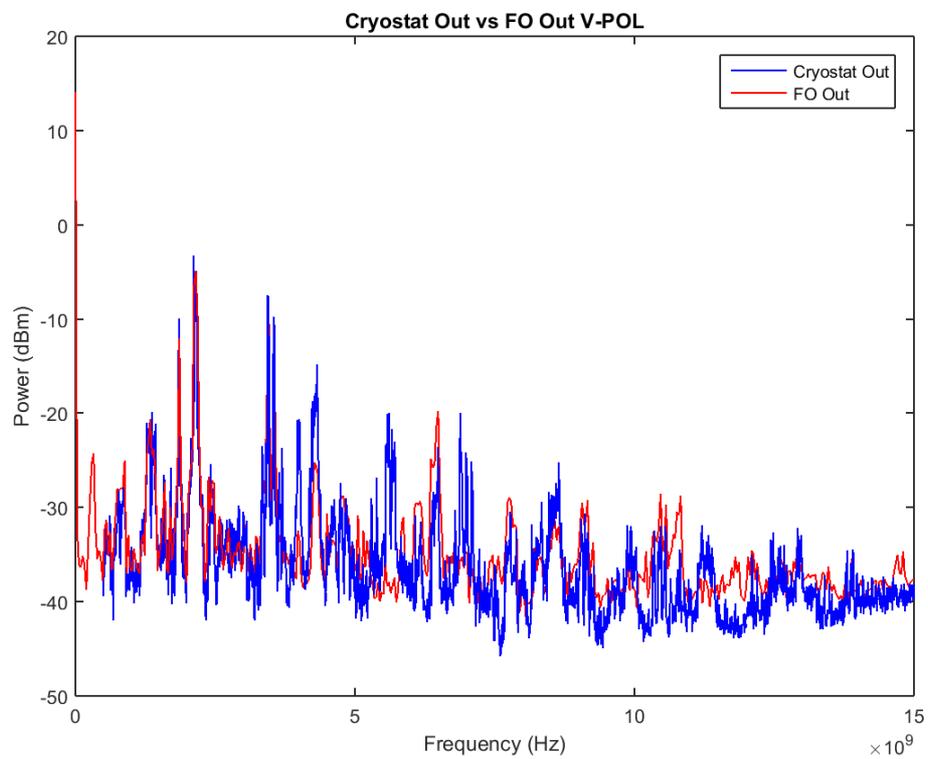


Figura 10: Comparación del espectro de la señal a la salida del criostato y del módulo de distribución (V-pol).

4. Espectro a la salida de los *up-down converters* (UDCs).

Se mide ahora (figuras 11 y 12) el espectro de potencia a la salida de los módulos UDC, programados con una atenuación de 0dB y con una frecuencia de oscilador local de 8.3125GHz, lo que equivale a la banda de entrada de 11 a 12.5GHz. Para estas medidas la antena está a una elevación de 45°.

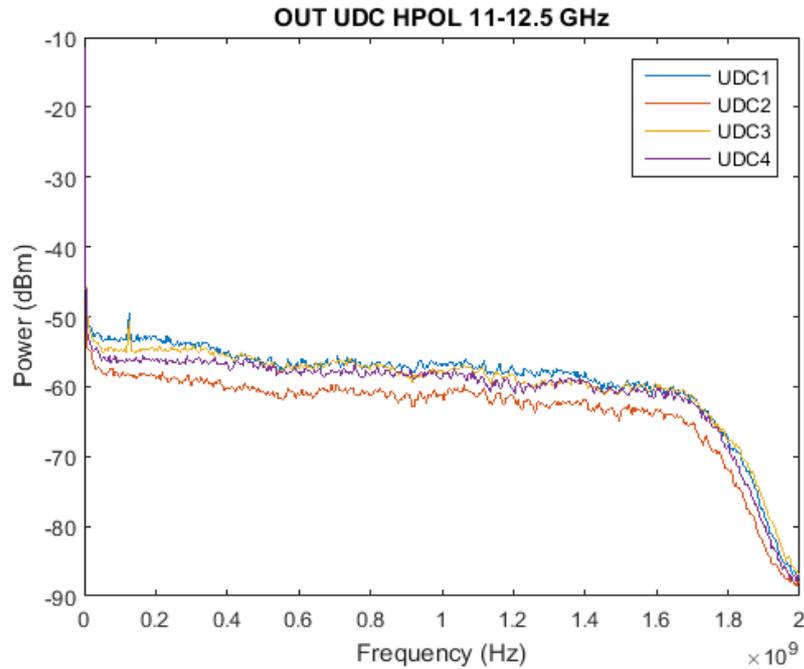


Figura 11: Forma de la banda base de los cuatro UDCs (H-pol).

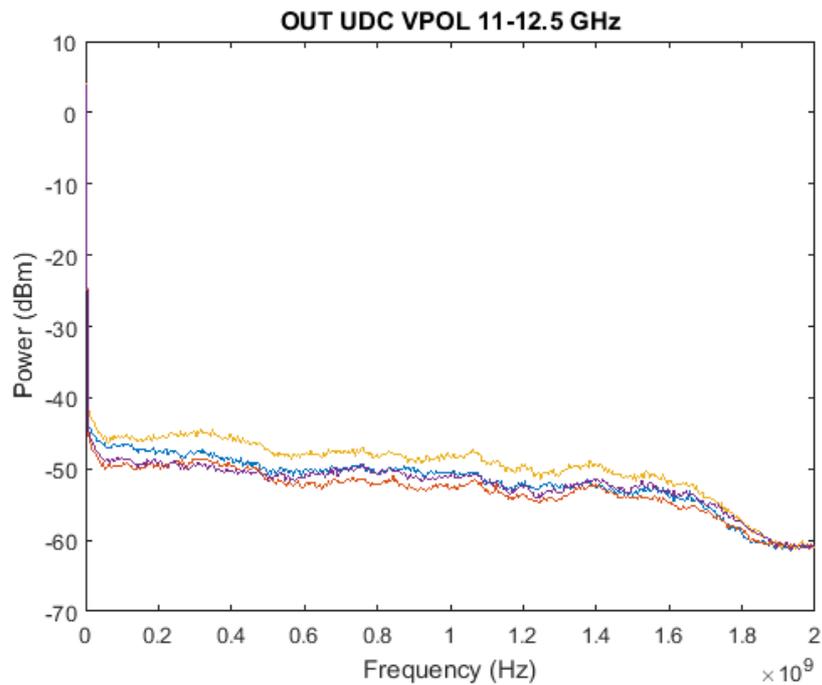


Figura 12: Forma de la banda base de los cuatro UDCs (V-pol).

5. Tonos de calibración de fase (PhaseCal) a 8GHz.

A la salida del distribuidor, para el canal L4 se detectan los pulsos del PhaseCal en una frecuencia central de 8GHz. En esta medida la antena está a una elevación de 45°.

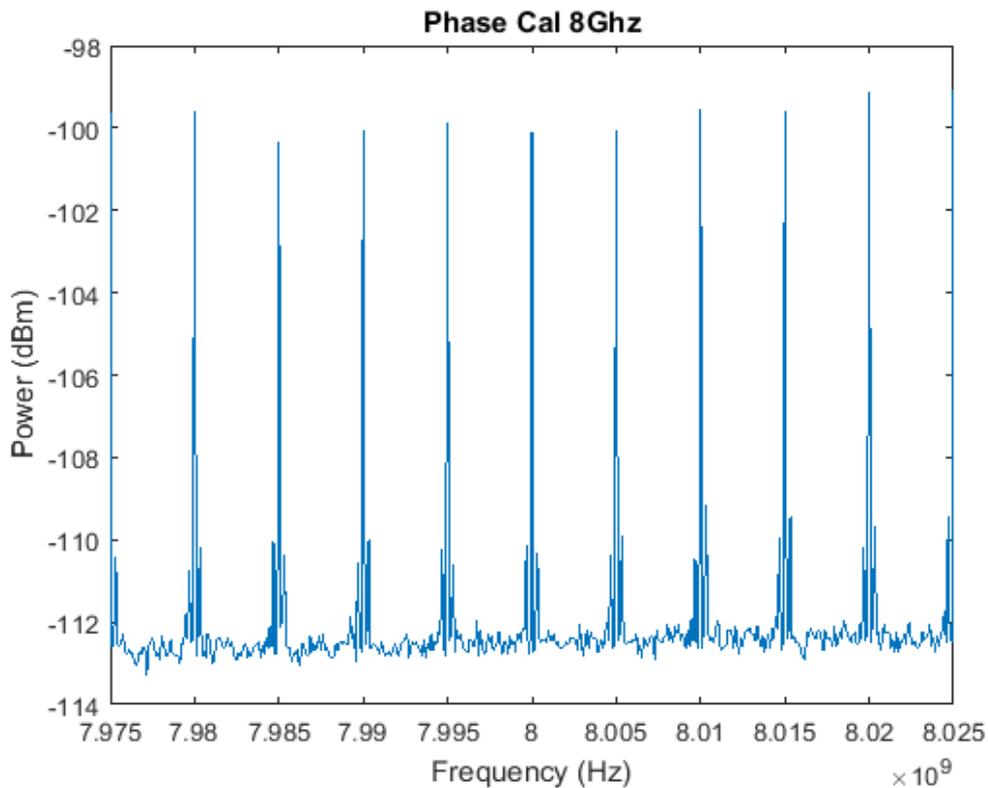


Figura 13: Espectro de los tonos del PhaseCal.

6. Diodo de ruido (NoiseCal) a 7GHz y estimación de la temperatura de ruido de sistema.

Midiendo a la salida del distribuidor (canal R/V 4) una frecuencia central de 7GHz, se enciende y apaga el diodo de ruido (ON/OFF). Se detecta así, con el analizador en la configuración de "zero span", la diferencia de potencia entre ambos estados. En esta medida la antena está a una elevación de 45°. La figura 14 muestra el resultado.

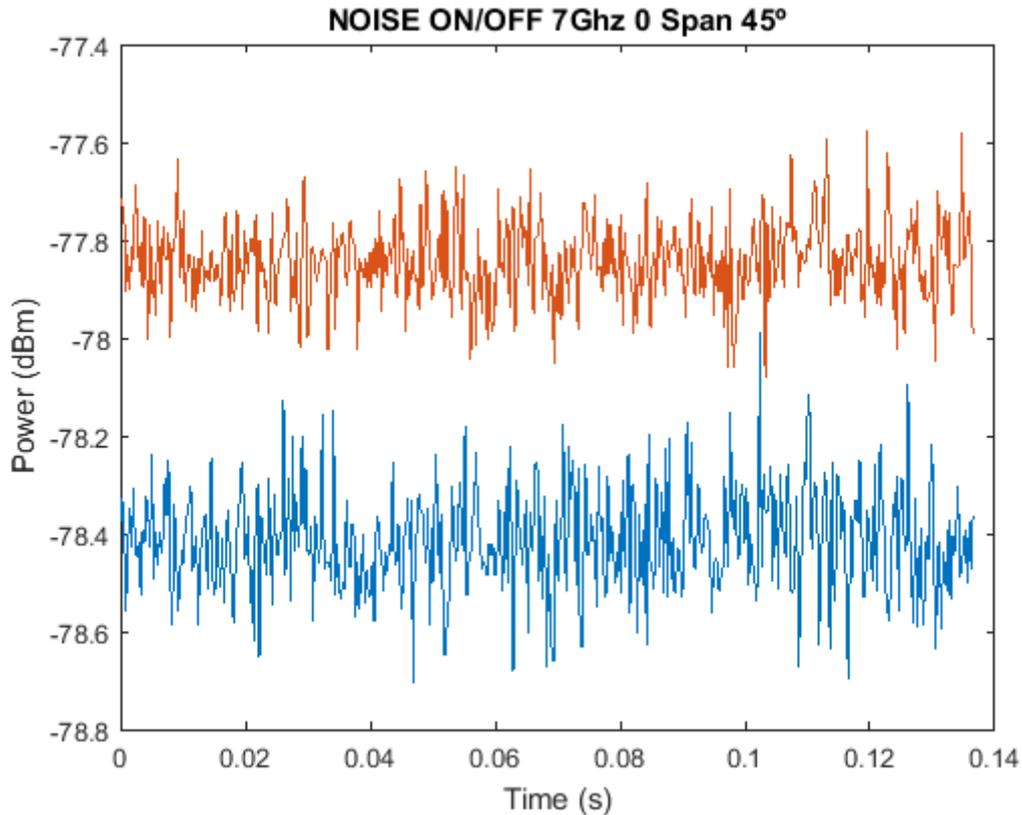


Figura 14: Niveles de potencia detectada en cada estado del diodo de ruido.

A partir de la gráfica anterior puede estimarse la temperatura de ruido de sistema, T_{sys} . Sabiendo que la potencia del diodo OFF es proporcional a T_{sys} , y la potencia del diodo en ON es proporcional a la suma $T_{sys} + T_{cal}$ se puede establecer la siguiente relación:

$$\frac{P_{OFF}}{P_{ON}} = y = \frac{T_{sys}}{T_{sys} + T_{cal}}$$

Sustituyendo valores, $P_{off} = 1.4406 \times 10^{-8}$ mW y $P_{on} = 1.6433 \times 10^{-8}$ mW y $T_{cal} (7\text{Ghz}) = 6.1$ Kelvin (medida en el laboratorio) despejando la ecuación se puede obtener el siguiente resultado:

$$y = 1.141$$

$$T_{sys} = \frac{T_{cal}}{y - 1} = 43.3\text{K}$$

Se estima, por tanto, que la temperatura de ruido de sistema es de 43 Kelvin.

7. Ganancia Sistema de Fibra óptica y distribuidor de potencia.

Para calibrar la ganancia introducida por el sistema de fibra óptica y el distribuidor de potencia se introdujo una señal sinusoidal conocida, y previamente calibrada, mediante un sintetizador de frecuencia Anapico APSIN20G a la entrada del transmisor de fibra óptica, midiendo la señal en la salida del módulo distribuidor de potencia. De esta manera, sabiendo la potencia a la entrada y la potencia a la salida de la fibra es posible calcular la ganancia del conjunto fibra+distribuidor.

El resultado de la medida es representado en la siguiente gráfica.

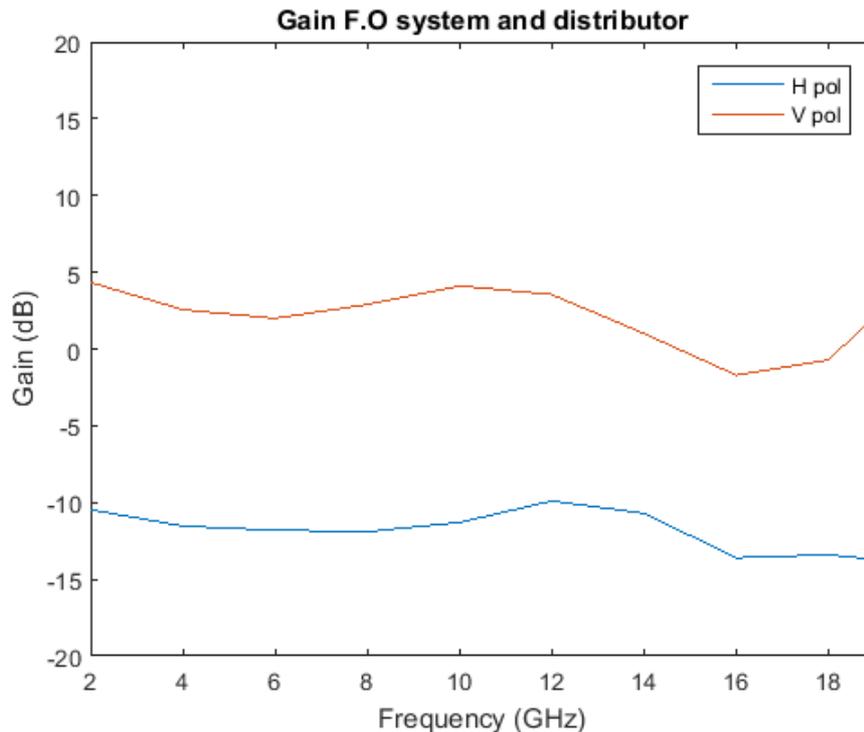


Figura 15: Ganancia del conjunto TX+RX de fibra y módulo distribuidor.

Puede verse como el canal V presenta mayor ganancia que el H debido a la mayor ganancia de su enlace de fibra óptica ($G_H=9\text{dB}$, $G_V=16\text{dB}$, según las medidas del fabricante) y la diferencia de la pérdidas de propagación por la fibra óptica monomodo.

8. Linealidad de los enlaces de fibra óptica.

Para comprobar que el sistema de transmisión por fibra óptica es lineal, se introdujo una señal sinusoidal conocida y calibrada a la entrada del sistema y se aumentó la potencia de entrada de manera que, midiendo a la salida del distribuidor de potencia, se puede comprobar si el incremento de potencia es igual en entrada y salida o si se produce una compresión debido a un fenómeno de saturación. Los resultados se presentan en la figura 16.

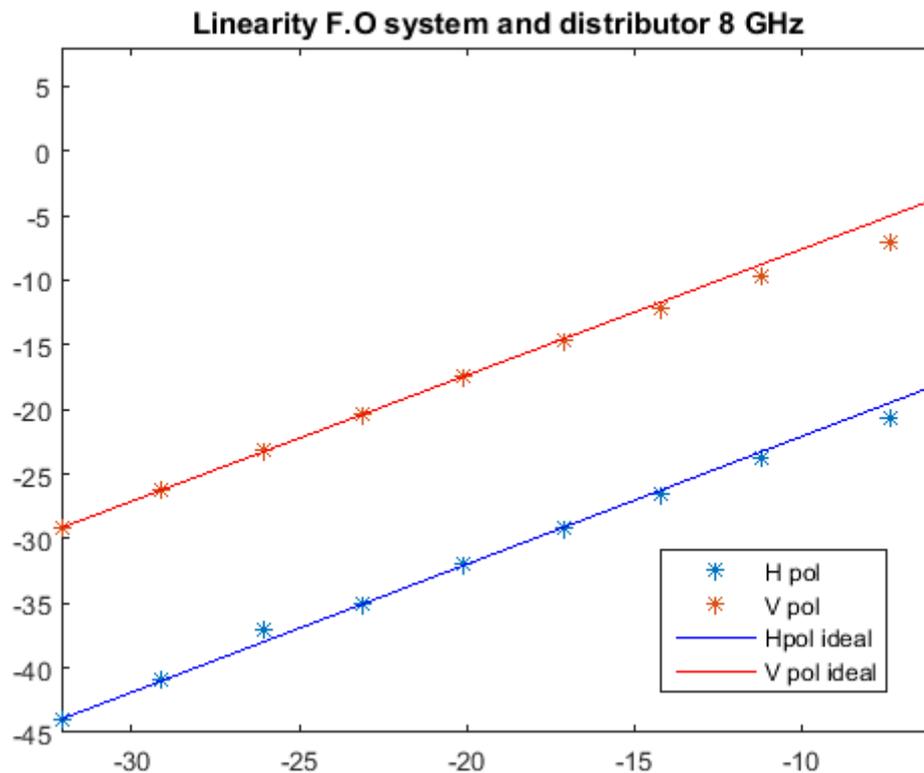


Figura 16: Linealidad de los enlaces de fibra óptica.

Puede comprobarse nuevamente la diferencia de ganancia entre enlaces de fibra y cómo empiezan a apartarse del comportamiento lineal a partir de los -12 dBm de entrada.

Conclusiones.

Se ha instalado el receptor de banda ancha (2-14 GHz) para observaciones VLBI en el marco del proyecto VGOS en el radiotelescopio de 13 metros del Observatorio de Yebes.

El principal inconveniente ha estado relacionado con la existencia de muchas interferencias, captadas con gran sensibilidad/ganancia por el conjunto antena+receptor. Estas interferencias provocan, en particular a bajos ángulos de elevación, unos problemas de saturación e intermodulación que se han resuelto quitando los preamplificadores de los enlaces de fibra óptica, a costa de aumentar la temperatura de ruido final del sistema en una cantidad aún por determinar, pero que se estima en un valor final de 43 Kelvin.