

**MEDIDA DE LA TEMPERATURA
DE CALIBRACIÓN
DEL RECEPTOR DE 22 GHz
EN EL RADIOTELESCOPIO DE 40 m**

R. García García, I. Malo Gómez,
J.A. López Pérez, J.A. López Fernández.

INFORME TÉCNICO IT-OAN 2008-14



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. EL RECEPTOR DE 22 GHz DEL CAY	3
2. MEDIDA DE LA TEMPERATURA EQUIVALENTE DE RUIDO DE CALIBRACIÓN.....	5
2.1. OBTENCIÓN DE TCAL	5
2.2. BANCO DE MEDIDAS	6
2.3. RESULTADO DE LAS MEDIDAS	8
2.3.1. <i>MEDIDAS REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS.....</i>	<i>8</i>
2.3.2. <i>MEDIDAS REALIZADAS CON EL DETECTOR DE CONTINUO.....</i>	<i>10</i>
2.4. COMENTARIOS SOBRE LAS MEDIDAS	12
3. MEDIDA DE TEMPERATURA DE RUIDO DEL RECEPTOR	13
3.1. RESULTADO DE LAS MEDIDAS	13
3.1.1. <i>MEDIDAS REALIZADAS CON EL DETECTOR DE CONTINUO.....</i>	<i>13</i>
3.1.2. <i>MEDIDAS REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS.....</i>	<i>14</i>
3.2. COMENTARIOS SOBRE LAS MEDIDAS	15
4. REFERENCIAS	16
ANEXO 1: TABLAS DE MEDIDAS DE TCAL	17

1. INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados de las medidas de temperatura de calibración del receptor de 22 GHz realizadas a finales de mayo de 2008 con el receptor instalado en su localización definitiva en el radiotelescopio de 40 metros. Estas medidas se realizaron en modo de observación VLBI y los valores obtenidos se utilizaron en la primera observación de VLBI (dentro de la red europea EVN) llevada a cabo con el radiotelescopio de 40 metros [1]. La observación tuvo lugar durante los días 30 y 31 de mayo de ese mismo año.

1.1. EL RECEPTOR DE 22 GHz DEL CAY

El receptor de 22 GHz del CAY es un receptor de doble polarización circular (RCP y LCP), que permite realizar dos tipos de observación, VLBI y Single Dish (SD). Es un receptor superheterodino con doble conversión de frecuencia y ancho de banda a la salida de la frecuencia intermedia (FI) de 500 MHz, en el caso de observaciones de VLBI, y de triple conversión de frecuencia y ancho de banda de 100 MHz, para observaciones de SD [2].

En ambos modos de observación el receptor permite seleccionar entre dos bandas de frecuencia de observación, que denominaremos Upper Band (UB) y Lower Band (LB), y cuyos valores se muestran en las siguientes tablas. Estas bandas se seleccionan eligiendo entre dos valores de frecuencia de operación del primer oscilador local (OL): 14.4 GHz (UB) y 12.8 GHz (LB).

VLBI (FI: 500-1000MHz)	UB	LB	
2ºOL = 8.45GHz	23.35 – 23.85 GHz	21.75 – 22.25 GHz	
2ºOL = 9.05GHz	23.95 – 24.45 GHz	22.35 – 22.85 GHz	
Total:	23.35 – 24.45 GHz	21.75 – 22.85 GHz	BW = 1.1 GHz BW _{FI} = 500 MHz

Tabla 1: Características del receptor de 22 GHz en modo VLBI.

SD (FI: 170-270 MHz)	UB	LB	
2ºOL = 8.45GHz	23.57 – 23.67 GHz	21.97 – 22.07 GHz	
2ºOL = 9.05GHz	24.17 – 24.27 GHz	22.57 – 22.67 GHz	
Total:	23.57 – 24.27 GHz	21.97 – 22.67 GHz	BW = 700 MHz BW _{FI} = 100 MHz

Tabla 2: Características del receptor de 22 GHz en modo SD.

Variando la frecuencia de operación del 2º OL, el receptor permite seleccionar el ancho de banda a observar dentro de una banda más amplia. En VLBI, es posible seleccionar los 500 MHz de banda simultánea en una banda de 1.1 GHz. En SD, es posible seleccionar los 100 MHz de banda simultánea en una banda de 700 MHz. La frecuencia de operación del 2º OL varía entre 8.45 y 9.05 GHz.

El receptor de 22 GHz está compuesto por el criostato y varios módulos independientes interrelacionados: el módulo de RF, el módulo de FI, el módulo de Osciladores y el módulo de Alimentación y Control.

El criostato [3] alberga la bocina y una lente hiperbólico-plana, el polarizador, el acoplador direccional y los dos amplificadores de bajo ruido (LNA), manteniéndolos a una temperatura de 12 K. La salida del LNA (uno por polarización) se conecta al módulo de RF mediante un cable coaxial semirrígido de bajas pérdidas y la polarización de los LNA junto con otras tensiones de alimentación y control están conectadas al módulo de alimentación y control.

El módulo de RF [4] realiza la primera conversión de frecuencia, un filtrado en 1ª FI de 1.1 GHz de ancho de banda, y la segunda conversión de frecuencia, con una ganancia de conversión de 32 dB y frecuencia intermedia de 0 a 1.6 GHz.

El módulo de FI [2] se encarga de filtrar la 2º conversión, entre 500 MHz y 1 GHz. En modo VLBI, ésta será la banda de salida de FI, con una ganancia de 17 dB. En modo SD, además del filtrado y amplificación, se realiza un posterior filtrado entre 720 y 820 MHz y una tercera conversión con la frecuencia del 3º OL = 550 MHz. Por tanto, en modo SD, el módulo de FI presenta una ganancia de 30.5 dB y una banda de salida de FI de 170-270 MHz. En ambos modos de operación la ganancia del módulo de FI puede disminuirse entre 0 y 40 dB en pasos de 1 dB mediante un atenuador manual variable situado a la entrada de dicho módulo.



Figura 1: Receptor de 22 GHz dispuesto en su posición definitiva en la rama de baja frecuencia de la sala de receptores del radiotelescopio de 40 metros.

2. MEDIDA DE LA TEMPERATURA EQUIVALENTE DE RUIDO DE CALIBRACIÓN

Para que el astrónomo pueda calibrar la antena durante las observaciones en ondas centimétricas (como las ondas a 22 GHz), se le debe proporcionar la temperatura equivalente de ruido que introduce una señal de calibración (T_{cal}). Esta señal de calibración es generada por un diodo de ruido y se introduce a la entrada de los amplificadores de bajo ruido, utilizando un acoplador direccional.

Como calibración de antena, se entiende el procedimiento mediante el cual se convierten los voltajes detectados a unidades con sentido en astronomía, como Jy (flujo) o K (temperatura de brillo). Para realizar la calibración, el observador toma tres medidas de voltaje:

$$\begin{aligned} V_{cal} &= C (T_{cal} + T_{sys}) + V_o \\ V_{on} &= C \cdot (T_b + T_{sys}) + V_o \\ V_{off} &= C \cdot T_{sys} + V_o \end{aligned} \quad (1)$$

Donde V_{cal} es el voltaje medido con el ruido inyectado (apuntando fuera de la fuente), V_{on} es el voltaje medido observando a la fuente, V_{off} es el voltaje medido observando una posición de referencia en el cielo (fuera de la fuente, pero cerca de ella) y V_o es el offset del detector. T_{sys} es la temperatura de ruido del sistema (incluye receptor, óptica, antena y cielo); T_b es la temperatura de brillo de la fuente y T_{cal} es la temperatura de calibración objeto de las medidas de este apartado. C es una constante de proporcionalidad. Las fórmulas anteriores son válidas si el receptor se encuentra en su zona lineal de funcionamiento.

La temperatura de ruido de sistema se calcula a partir de las medidas de tensión V_{cal} y V_{off} :

$$T_{sys} = T_{cal} \cdot \frac{V_{off} - V_o}{V_{cal} - V_{off}} \quad (2)$$

Conocidas T_{sys} y T_{cal} , el astrónomo obtiene la temperatura de brillo de la fuente observada (T_b) en función de los tres voltajes medidos.

2.1. OBTENCIÓN DE T_{CAL}

Para obtener T_{cal} se debe calibrar el diodo de ruido utilizando un absorbente de microondas funcionando como carga caliente a temperatura ambiente y como carga fría sumergida en nitrógeno líquido.

El cálculo se realiza a partir de la medida de la temperatura equivalente de ruido del equipo de recepción en dos situaciones: inyectando señal de calibración (diodo ON) y sin inyectarla (diodo OFF). Para la obtención de las temperaturas de ruido, se utilizó el método del *factor Y* consistente en medir las potencias de salida colocando a la entrada una carga fría y posteriormente una caliente.

Más concretamente, el factor Y es el cociente entre la potencia de salida con carga caliente y con carga fría:

$$Y = \frac{P_H}{P_C} \quad (3)$$

La temperatura equivalente de ruido se calcula conocidas las temperaturas físicas de las cargas caliente (T_H) y fría (T_C) y medido el factor Y :

$$T_e = \frac{T_H - Y \cdot T_C}{Y - 1} \quad (4)$$

Se asumió que la temperatura de la carga fría era de 77 K (Nitrógeno líquido) y la temperatura de la carga caliente se midió utilizando un termómetro colocado próximo a la carga.

Una vez calculadas las temperaturas equivalentes de ruido con el diodo ON y el diodo OFF (T_{D_ON} y T_{D_OFF}), T_{cal} se calcula como sigue:

$$\left. \begin{array}{l} T_{D_ON} = T_{cal} + Trx \\ T_{D_OFF} = Trx \end{array} \right\} \Rightarrow T_{cal} = T_{D_ON} - T_{D_OFF} \quad (5)$$

2.2. BANCO DE MEDIDAS

En la práctica, se proporcionan una serie de valores de T_{cal} dentro del rango de frecuencias a observar (observaciones espectrales y VLBI). En este caso, se proporcionaron valores cada 50 MHz. Para realizar las medidas de potencia se utilizó el analizador de espectros HP8565, que registraba cada una de las dos señales de salida (una por polarización) del módulo de frecuencia intermedia (500 MHz-1000MHz).

Más concretamente, el analizador adquiere 601 puntos con un ancho de banda de resolución de 2 MHz (cubriendo de 500 a 1700 MHz), siendo la banda de paso en FI de 500 MHz a 1 GHz. Para cubrir enteramente cada banda de observación (UB y LB) se utilizan tres valores de la 3ª referencia proveniente del sintetizador Racal-Dana: 1210, 1250 y 1290 MHz. Las tres subbandas de frecuencia tienen cierto solape que se corrige promediando en el posterior procesamiento de los datos. Las subbandas son:

Frec. RACAL-DANA	Frec. 2º OL	BANDA CIELO (LB)	BANDA CIELO (UB)
1210 MHz	8470 MHz	21.77-22.27	23.37-23.87
1250 MHz	8750 MHz	22.05-22.55	23.65-24.15
1290 MHz	9030 MHz	22.33-22.83	23.93-24.43

Tabla 3: Subbandas de frecuencia para la medida de T_{cal}

La Figura 2 muestra un esquema con el banco de medidas utilizado. Con ayuda de un ordenador conectado al analizador a través de una interfaz GPIB, se tomaron, para cada una de las dos polarizaciones, de las dos banda de observación, de las tres frecuencias del Racal-Dana y de cuatro posibles estados del diodo de ruido (OFF y ON con 0, 3 y 6 dB de atenuación), dos espectros correspondientes a la potencia medida con carga caliente y con carga fría, respectivamente.

Como carga fría (ver Figura 3), se utilizó un absorbente de tipo convolucionado con 250 mm de espesor incrustado en un recipiente de poliestireno expandido relleno con nitrógeno líquido (77 K). Otro absorbente del mismo tipo a temperatura ambiente se utilizó como carga caliente.

Debemos señalar que el analizador de espectros no es el instrumento más adecuado para realizar medidas de ruido basadas en el método del factor Y. Este tipo de instrumentos disponen de un amplificador logarítmico, de gran margen dinámico pero linealidad insuficiente, que provoca una pérdida de precisión en las medidas de ruido.

Sin embargo se optó por esta solución, dada la necesidad de disponer de una tabla de valores de T_{cal} para la inminente observación de VLBI que se realizó a finales de mayo de 2008. En la actualidad se está trabajando en un nuevo banco de medidas más adecuado para este propósito.

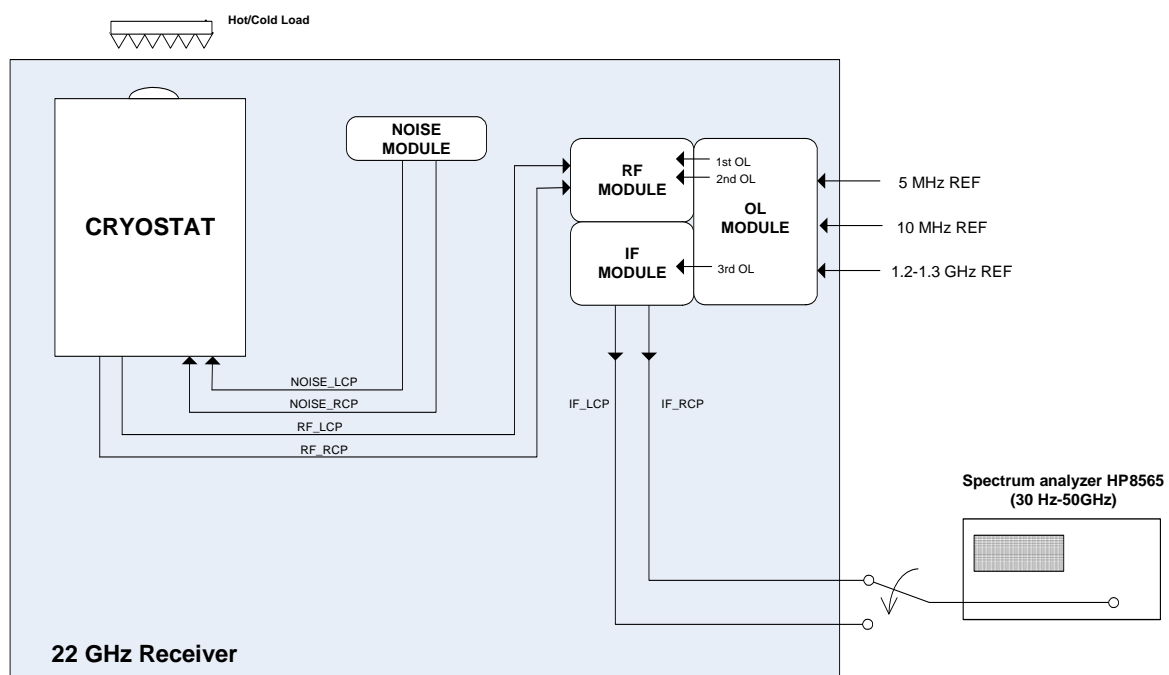


Figura 2: Banco de medida de la temperatura equivalente de calibración.



Figura 3: Carga fría utilizada para la medida de ruido.

2.3. RESULTADO DE LAS MEDIDAS

2.3.1. MEDIDAS REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS

Como se expuso anteriormente, el analizador toma datos con una resolución de 2 MHz mientras que al grupo de SW/control se le proporcionaron los datos cada 50 MHz. Por ello, la potencia correspondiente a los 10 puntos disponibles cada 50 MHz se promedió para disponer de un único punto de frecuencia igual a la frecuencia central del intervalo promediado. A su vez, al capturarse tres subbandas (correspondientes a las tres frecuencias del Racal-Dana) que tienen cierto solape entre sí (ver Tabla 3), se realizó un promediado de los valores solapados.

En las figuras 4, 5 y 6 se representan los valores de T_{cal} para las tres atenuaciones del diodo que se han caracterizado (0, 3 y 6 dB respectivamente). Los valores se adjuntan en el Anexo 1.

- *Diodo de ruido a 0 dB*

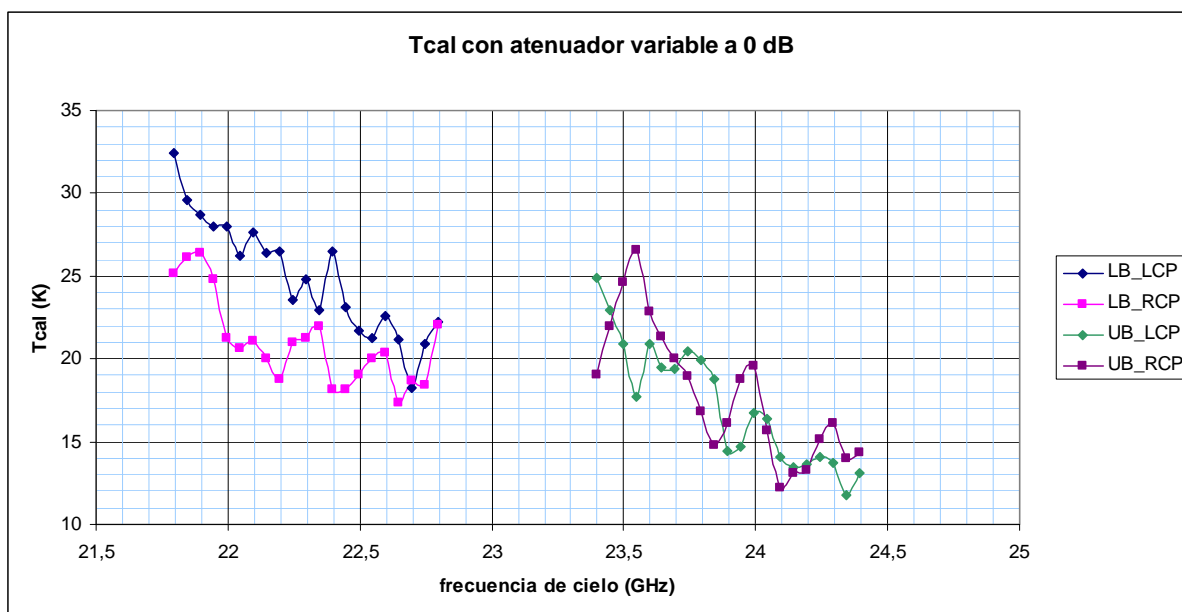


Figura 4: Temperatura de calibración (T_{cal}) medida con 0 dB de atenuación.

- *Diodo de ruido a 3 dB*

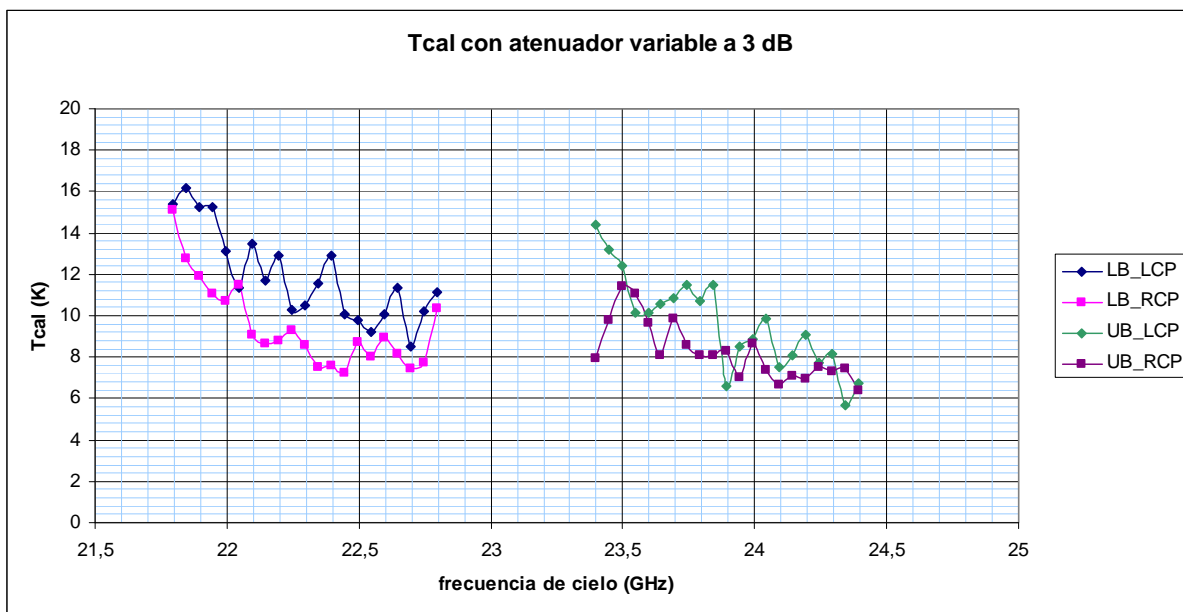


Figura 5: Temperatura de calibración (Tcal) medida con 3 dB de atenuación.

- *Diodo de ruido a 6 dB*

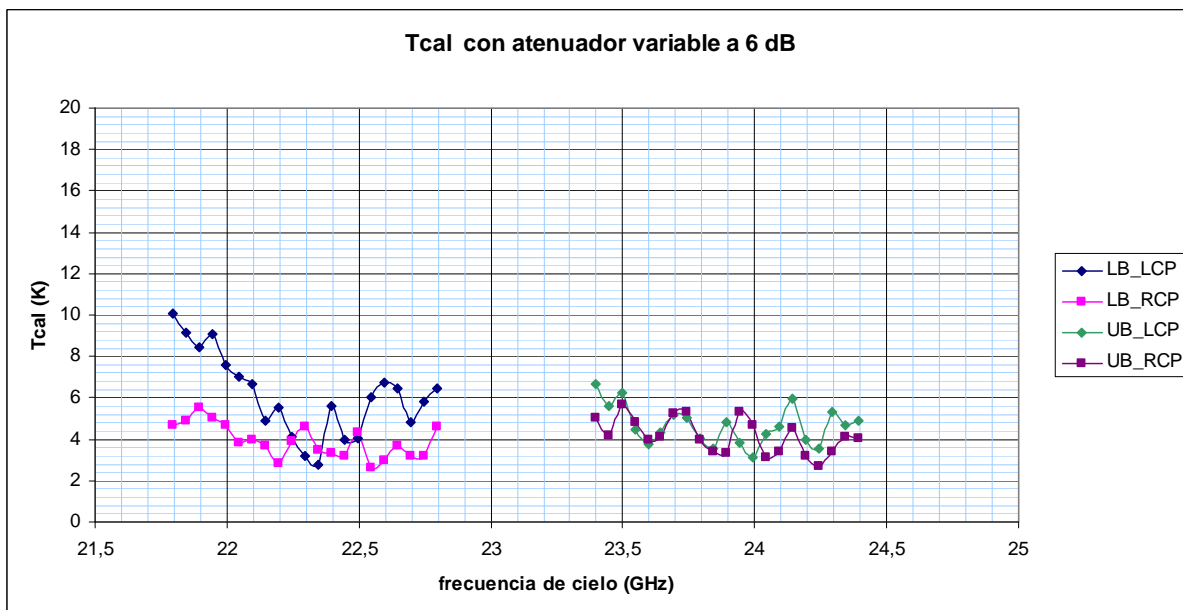


Figura 6: Temperatura de calibración (Tcal) medida con 6 dB de atenuación.

En el momento de realización de las medidas, a la salida del diodo de ruido únicamente se disponía de un atenuador variable con un rango de 0 a 11 dB y pasos de 1 dB. Este atenuador se puede controlar de forma remota mediante el software de control del receptor.

Sin embargo, una vez realizadas las medidas y sabiendo que para una buena calibración *Tcal* debe estar en torno al 10% de la temperatura de sistema a 45° de elevación (en torno a 60 K en este caso), se decidió que era conveniente añadir un atenuador fijo de 3 dB para

ajustar el rango de atenuación variable a un rango de potencias de ruido de mayor utilidad. En cualquier caso los valores de atenuación a los que se refieren las gráficas de medidas se corresponden con atenuaciones programables por software. Es decir, en realidad la atenuación total a la salida del diodo habría que incrementarla en 3 dB tras esta modificación.

2.3.2. MEDIDAS REALIZADAS CON EL DETECTOR DE CONTINUO

Paralelamente a la adquisición de datos por parte del analizador de espectros, la señal de salida del módulo de FI era llevada al detector de continuo OAY-14 (500-1500 MHz) situado en la sala de backends. Por cada espectro de potencia adquirido mediante el analizador de espectros, la tensión detectada por el OAY-14 fue anotada y el valor de T_{cal} integrado en el ancho de banda de FI calculado.

Esta medida permite verificar de forma rápida e instantánea el funcionamiento correcto tanto del receptor como del módulo de ruido. Además, mientras que el espectro de T_{cal} obtenido con el analizador escalar se utiliza para calibrar observaciones espectrales y de VLBI, el valor de T_{cal} para toda la banda de FI se utilizará para calibrar observaciones single dish de continuo.

A continuación se presentan una serie de tablas en las que se muestran los resultados de las medidas realizadas con el detector de continuo. A su vez, con el objetivo de comparar resultados, se ha añadido una columna con los valores medios de T_{cal} obtenidos con el analizador de espectros (promedio en frecuencia) y su desviación típica. Se observa que los valores leídos en el detector de continuo son muy parecidos a los valores medios medidos con el analizador escalar.

- *Diodo de ruido a 0 dB*

Frecuencia. Racal Dana (MHz)	Banda 1 ^{er} OL	POL.	Tcal Analizador de espectros (K)	Tcal Detector de continuo (K)
1210	LB	LCP	27.70 ± 2.35	28.33
		RCP	22.53 ± 2.79	22.37
	UB	LCP	20.54 ± 2.08	20.72
		RCP	20.70 ± 3.55	19.79
1250	LB	LCP	24.45 ± 2.23	24.49
		RCP	19.96 ± 1.45	20.18
	UB	LCP	16.83 ± 2.63	17.28
		RCP	16.60 ± 2.72	16.01
1290	LB	LCP	22.07 ± 2.11	21.51
		RCP	19.44 ± 1.62	18.22
	UB	LCP	14.18 ± 1.48	12.89
		RCP	15.22 ± 2.40	15.13

Tabla 4: Temperatura de calibración para una atenuación de 0 dB del diodo de ruido.

- *Diodo de ruido a 3 dB*

Frecuencia. Raca Dana (MHz)	Banda 1 ^{er} OL	POL.	Tcal Analizador de espectros (K)	Tcal Detector de continuo (K)
1210	LB	LCP	13.49 ± 1.97	13.53
		RCP	10.88 ± 2.05	10.51
	UB	LCP	11.55 ± 1.41	10.37
		RCP	9.24 ± 1.29	8.84
1250	LB	LCP	11.26 ± 1.49	10.55
		RCP	8.35 ± 0.74	7.76
	UB	LCP	9.40 ± 1.74	8.73
		RCP	7.97 ± 0.95	8.10
1290	LB	LCP	10.49 ± 1.27	9.93
		RCP	8.18 ± 0.95	7.95
	UB	LCP	8.02 ± 1.20	7.86
		RCP	7.25 ± 0.61	6.60

Tabla 5: Temperatura de calibración para una atenuación de 3 dB del diodo de ruido.

- *Diodo de ruido a 6 dB*

Frecuencia. Raca Dana (MHz)	Banda 1 ^{er} OL	POL.	Tcal Analizador de espectros (K)	Tcal Detector de continuo (K)
1210	LB	LCP	7.26 ± 1.98	7.03
		RCP	4.30 ± 0.80	4.51
	UB	LCP	4.89 ± 1.06	5.13
		RCP	4.57 ± 0.73	3.68
1250	LB	LCP	4.67 ± 1.27	4.30
		RCP	3.60 ± 0.56	3.17
	UB	LCP	4.44 ± 0.84	4.13
		RCP	4.24 ± 0.89	3.17
1290	LB	LCP	5.26 ± 1.32	5.17
		RCP	3.47 ± 0.61	3.18
	UB	LCP	4.42 ± 0.84	4.90
		RCP	3.87 ± 0.83	3.25

Tabla 6: Temperatura de calibración para una atenuación de 6 dB del diodo de ruido.

2.4. COMENTARIOS SOBRE LAS MEDIDAS

A partir de las medidas realizadas y los resultados obtenidos se extraen los siguientes comentarios y conclusiones:

- Las medidas utilizando el detector de continuo son adecuadas para obtener un valor de T_{cal} que se utilizaría en observaciones de continuo “single-dish”.
- En el caso de observaciones espectrales “single-dish” u observaciones VLBI, es necesario disponer de un conjunto de valores de T_{cal} para frecuencias discretas equiespaciadas dentro de la banda de observación. Para la obtención de estos valores, pese a haber utilizado el analizador de espectros, este instrumento no es el más adecuado para realizar medidas de ruido basadas en el método del factor Y. Dispone de un amplificador logarítmico de gran margen dinámico pero de linealidad insuficiente. Se están estudiando bancos de medida más adecuados para la realización de medidas de ruido en los receptores (espectros de ruido).
- En la primera observación VLBI realizada con el radiotelescopio de 40 metros [1], se seleccionó una atenuación del diodo de ruido de 6 dB, para generar una señal de aproximadamente el 10% del ruido típico del sistema a una elevación de 45 grados de elevación y en condiciones atmosféricas similares a las de la observación. Se utilizó por tanto la tabla de T_{cal} correspondiente a 6 dB (Tabla 11).

3. MEDIDA DE TEMPERATURA DE RUIDO DEL RECEPTOR

Como refleja la ecuación 3, para calcular la temperatura de calibración T_{cal} , se realizan dos medidas, una con el diodo de ruido activo (ON) y la otra con el diodo apagado (OFF). En el caso del diodo en OFF, la temperatura de ruido, calculada mediante el método del factor Y, se corresponde con la temperatura de ruido del receptor ($T_{OFF} = T_{RX}$). Por lo tanto, en este apartado se presentan las temperaturas de ruido del receptor medidas con el detector de continuo OAY-14 y el analizador de espectros HP-8565 para las distintas bandas y polarizaciones del receptor a 22 GHz.

3.1. RESULTADO DE LAS MEDIDAS

3.1.1. MEDIDAS REALIZADAS CON EL DETECTOR DE CONTINUO

En la Tabla 7 se muestran los resultados relativos a las medidas de temperatura de ruido del receptor realizadas utilizando el detector de continuo del CAY. Los valores de T_{RX} indicados se corresponden con valores promedio de medidas realizadas con el receptor para cada polarización y banda de frecuencia (se tomaron 2 o 3 medidas por cada condición). La desviación típica de dichas medidas varía entre ± 0.1 y ± 0.8 K, siendo en la mayoría de los casos menor que ± 0.5 K.

Fr. Racal Dana	BANDA 1 ^{er} OL	POL.	Trx prom (K)
1210 MHz	LB	LCP	25.99 \pm 0.34
		RCP	25.77 \pm 0.44
	UB	LCP	27.35 \pm 0.83
		RCP	26.48 \pm 0.50
1250 MHz	LB	LCP	30.50 \pm 0.49
		RCP	24.82 \pm 0.37
	UB	LCP	30.17 \pm 0.19
		RCP	25.82 \pm 0.37
1290 MHz	LB	LCP	31.13 \pm 0.80
		RCP	23.89 \pm 0.38
	UB	LCP	32.66 \pm 0.06
		RCP	27.76 \pm 0.69

Tabla 7: Temperatura de ruido del receptor medida con el detector de continuo OAY-14.

3.1.2. MEDIDAS REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS

A su vez, aprovechando las medidas realizadas utilizando el analizador de espectros con el diodo ruido apagado, se ha calculado el espectro de la temperatura de ruido del receptor. En la Figura 7 se representa el valor medio de temperatura para cada uno de los estados posibles de polarización y banda de frecuencia. Se tomaron 2 o 3 medidas por cada uno de los estados posibles.

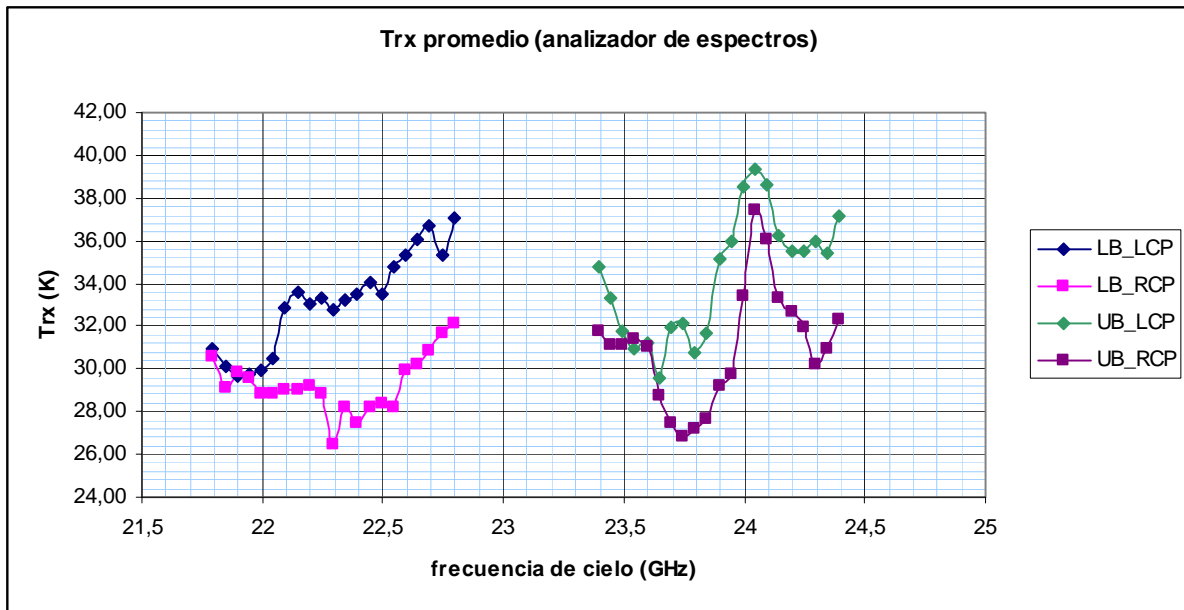


Figura 7: Temperatura de ruido del receptor promedio medida con el analizador de espectros.

Si se comparan los valores medios de temperatura de receptor a lo largo de la banda de observación medidos con el detector de continuo y con el analizador de espectros (ver Tabla 8), se observa un exceso de ruido en el caso del analizador escalar de unos 4 K. La diferencia entre ambos instrumentos es mayor que la observada en la medida de la temperatura de calibración (T_{cal}). Es posible que este efecto sea debido a que en la medida de la temperatura de receptor, la potencia de ruido medida se acerca más al suelo de ruido del analizador, siendo menos precisa la medida.

BANDA 1 ^{er} OL	POL.	Trx Detector de continuo (K)	Trx Analizador de espectros (K)
LB	LCP	29.20	33.15
	RCP	24.83	29.27
UB	LCP	30.49	34.36
	RCP	26.68	31.02

Tabla 8: Valores promedio de temperatura de ruido del receptor a 22 GHz medidos con el detector de continuo y el analizador de espectros.

3.2. COMENTARIOS SOBRE LAS MEDIDAS

- La diferencia entre los valores medios de T_{RX} obtenidos con el detector de continuo y el analizador de espectros es más significativa que en el caso de las medidas de temperatura de calibración. Es probable que sea debido al hecho de que la potencia de ruido medida (generada por el receptor) esté más cerca del suelo de ruido del analizador y la precisión en la medida disminuya. En el caso de T_{cal} , el ruido medido al ser inyectado por el diodo es sensiblemente mayor.
- Existen una serie de incertidumbres inherentes a la utilización de un absorbente de microondas sumergido en nitrógeno como carga fría en el método del factor Y, de medida de ruido:
 - El absorbente no es ideal y en la práctica se producen reflexiones entre la carga y la bocina, creándose ondas estacionarias que producen un rizado de ganancia y por tanto un error en la medida de ruido. De hecho, la reflectividad del absorbente, que a temperatura ambiente es muy pequeña, puede aumentar al ser sumergido en nitrógeno líquido (el fabricante no proporciona la reflectividad en este caso). Por ello, para receptores con bandas de frecuencia por debajo de aproximadamente 12 GHz, donde la temperatura de cielo es prácticamente constante al no afectarle la atmósfera, es preferible utilizar el cielo como carga fría.
 - La temperatura de la carga fría puede no ser 77 K al realizar la medida si el absorbente no está totalmente empapado en nitrógeno. Esto hace que la temperatura sea mayor que la esperada y que se mida más ruido del esperado. Por otra parte, la temperatura de ebullición del nitrógeno es función de la presión, siendo 77.36 K a 1 atmósfera.
- Utilizar un analizador de espectros para medir el ruido a diferentes frecuencias añade una incertidumbre adicional, como se dijo anteriormente. Por ello, se está investigando cuál debe ser el banco de medidas más apropiado para este propósito.

4. REFERENCIAS

- [1] *IT-OAN-2008-11. Primeras observaciones de VLBI con el radiotelescopio de 40 m.*
- [2] *IT-OAN-2006-3. Medida de la FI completa del receptor de 22 GHz.* I. Malo, J.A. López Fernández, C. Almendros.
- [3] *IT-OAN-2005-12. Criostato del receptor de 22 GHz del CAY.* I. Malo, J.A. López Fernández, F. Tercero, J.A. Abad, C. Almendros, J. Fernández, J. M. Yagüe.
- [4] *Medida del módulo de RF del receptor de 22 GHz.* F. Tercero, I. Malo, J.A. López Fernández, C. Almendros, J.A. Abad. Informe Interno.

ANEXO 1: TABLAS DE MEDIDAS DE Tcal

- *Diodo de ruido a 0 dB*

Frecuencia de FI (GHz)	LOWER BAND			UPPER BAND		
	Frecuencia de cielo (GHz)	Tcal (K) LCP	Tcal (K) RCP	Frecuencia de cielo (GHz)	Tcal (K) LCP	Tcal (K) RCP
0.525	21.795	32.43	25.17	23.395	24.91	19.02
0.575	21.845	29.60	26.16	23.445	22.91	21.98
0.625	21.895	28.71	26.36	23.495	20.91	24.59
0.675	21.945	28.01	24.83	23.545	17.74	26.61
0.725	21.995	27.97	21.23	23.595	20.91	22.82
0.775	22.045	26.19	20.63	23.645	19.50	21.36
0.825	22.095	27.65	21.11	23.695	19.37	20.05
0.875	22.145	26.44	20.05	23.745	20.43	18.97
0.925	22.195	26.46	18.76	23.795	19.92	16.78
0.975	22.245	23.54	20.97	23.845	18.78	14.79
1.025	22.295	24.82	21.24	23.895	14.43	16.09
1.075	22.345	22.98	22.01	23.945	14.69	18.76
1.125	22.395	26.53	18.18	23.995	16.75	19.56
1.175	22.445	23.12	18.17	24.045	16.41	15.66
1.225	22.495	21.75	19.08	24.095	14.10	12.21
1.275	22.545	21.26	20.01	24.145	13.45	13.14
1.325	22.595	22.61	20.33	24.195	13.63	13.31
1.375	22.645	21.13	17.39	24.245	14.12	15.13
1.425	22.695	18.22	18.71	24.295	13.74	16.07
1.475	22.745	20.92	18.45	24.345	11.77	14.03
1.525	22.795	22.21	22.04	24.395	13.11	14.32

Tabla 9: Medidas de temperatura de calibración (Tcal) para una atenuación de 0 dB.

Estos valores son los representados en la Figura 4.

- Diodo de ruido a 3 dB

Frecuencia de FI (GHz)	LOWER BAND			UPPER BAND		
	Frecuencia de cielo (GHz)	Tcal (K) LCP	Tcal (K) RCP	Frecuencia de cielo (GHz)	Tcal (K) LCP	Tcal (K) RCP
0.525	21.795	15.38	15.08	23.395	14.43	7.95
0.575	21.845	16.15	12.76	23.445	13.23	9.78
0.625	21.895	15.27	11.91	23.495	12.39	11.40
0.675	21.945	15.22	11.03	23.545	10.17	11.03
0.725	21.995	13.11	10.72	23.595	10.16	9.63
0.775	22.045	11.35	11.50	23.645	10.56	8.08
0.825	22.095	13.47	9.07	23.695	10.88	9.84
0.875	22.145	11.73	8.67	23.745	11.48	8.56
0.925	22.195	12.92	8.78	23.795	10.73	8.05
0.975	22.245	10.32	9.31	23.845	11.50	8.09
1.025	22.295	10.49	8.58	23.895	6.61	8.33
1.075	22.345	11.59	7.55	23.945	8.51	7.04
1.125	22.395	12.93	7.59	23.995	8.85	8.68
1.175	22.445	10.07	7.24	24.045	9.85	7.36
1.225	22.495	9.80	8.74	24.095	7.53	6.69
1.275	22.545	9.25	7.99	24.145	8.06	7.09
1.325	22.595	10.10	8.97	24.195	9.08	6.97
1.375	22.645	11.32	8.15	24.245	7.76	7.50
1.425	22.695	8.54	7.44	24.295	8.14	7.29
1.475	22.745	10.23	7.73	24.345	5.66	7.47
1.525	22.795	11.10	10.36	24.395	6.75	6.41

Tabla 10: Medidas de temperatura de calibración (Tcal) para una atenuación de 3 dB.

Estos valores se representan en la Figura 5.

- *Diodo de ruido a 6 dB*

Frecuencia de FI (GHz)	LOWER BAND			UPPER BAND		
	Frecuencia de cielo (GHz)	Tcal (K) LCP	Tcal (K) RCP	Frecuencia de cielo (GHz)	Tcal (K) LCP	Tcal (K) RCP
0.525	21.795	10.06	4.65	23.395	6.70	5.02
0.575	21.845	9.17	4.86	23.445	5.62	4.20
0.625	21.895	8.43	5.56	23.495	6.27	5.64
0.675	21.945	9.11	5.05	23.545	4.44	4.80
0.725	21.995	7.59	4.70	23.595	3.76	3.96
0.775	22.045	7.04	3.81	23.645	4.32	4.12
0.825	22.095	6.65	3.96	23.695	5.18	5.22
0.875	22.145	4.91	3.69	23.745	5.01	5.33
0.925	22.195	5.51	2.83	23.795	4.04	3.96
0.975	22.245	4.10	3.90	23.845	3.57	3.40
1.025	22.295	3.16	4.58	23.895	4.80	3.35
1.075	22.345	2.75	3.46	23.945	3.83	5.34
1.125	22.395	5.60	3.32	23.995	3.15	4.70
1.175	22.445	3.96	3.21	24.045	4.27	3.16
1.225	22.495	4.01	4.35	24.095	4.60	3.41
1.275	22.545	6.01	2.65	24.145	5.94	4.53
1.325	22.595	6.76	3.00	24.195	3.95	3.20
1.375	22.645	6.44	3.72	24.245	3.57	2.70
1.425	22.695	4.81	3.18	24.295	5.30	3.41
1.475	22.745	5.81	3.20	24.345	4.66	4.14
1.525	22.795	6.44	4.62	24.395	4.87	4.06

Tabla 11: Medidas de temperatura de calibración (Tcal) para una atenuación de 6 dB.

Estos valores son los representados en la Figura 6.