

**MEDIDAS PRELIMINARES  
DE RUIDO DEL RECEPTOR  
DE 22 GHz**

Informe Técnico del OAN nº 2001-6

Félix Tercero, José Antonio López Fernández

## **1. INTRODUCCION**

El objetivo de este informe técnico es la presentación de los primeras medidas de ruido del receptor de 22 GHz del CAY. Dicho receptor se empleará en observaciones de VLBI y antena única. Se trata de un receptor de doble polarización circular (LCP y RCP) que recibe la banda de 21.75 a 22.85 GHz '*lower band*' y de 23.35 a 24.45 GHz en su modo de operación '*upper band*'. Dependiendo del tipo de observación (VLBI o Single Dish, SD) obtendremos a la salida de la unidad de frecuencia intermedia un ancho de banda de 500 MHz ó 140 MHz respectivamente. La banda completa en cada uno de los modos de operación puede barrerse mediante un oscilador local en la banda de frecuencias de 1.2 a 1.3 GHz. En esta ocasión se lleva a cabo mediante el sintetizador RACAL-DANA.

Para las primeras medidas de ruido se ha fabricado una bocina de pruebas (IT2001-1) cónica lisa y una serie de adaptadores o bridas en guía circular que permiten posicionarla a diferentes distancias de la ventana de vacío del criostato. También se ha construido una carga fría de baja reflectividad. Por último se investigó el efecto en la temperatura de ruido al intercalar un aislador entre el polarizador y el amplificador HEMT.

Las medidas de este informe se contrastan con el cálculo de la temperatura de ruido a partir de medidas de componentes (algunos a temperatura ambiente) y de estimaciones sobre los que no pudieron ser medidos.

## 2. BANCO DE MEDIDA

Las medidas de ruido se hicieron empleando un banco de medida que se esquematiza en la Fig. 1.

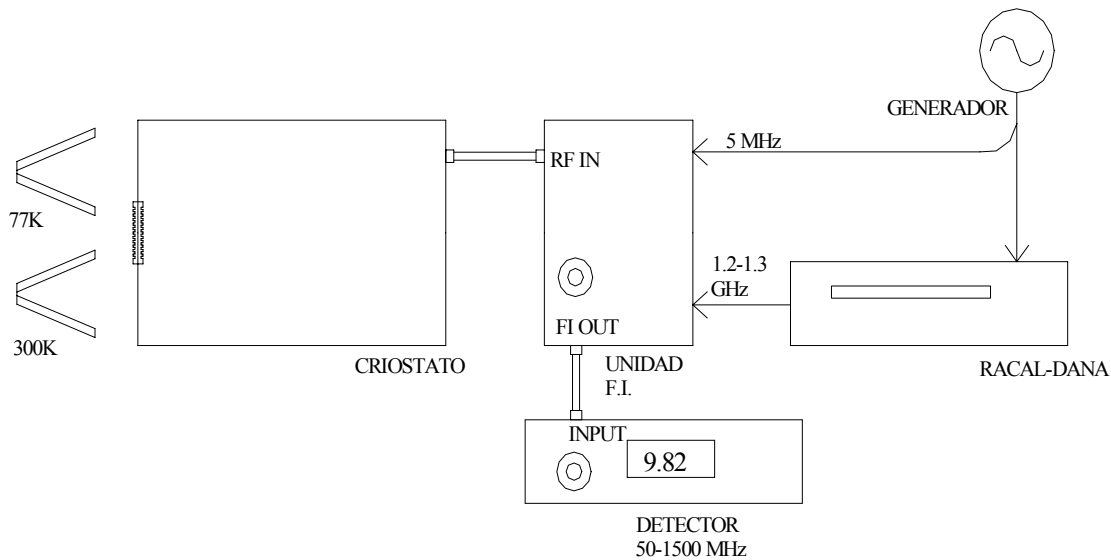


Fig. 1: Banco de medida de ruido usado en el 22 GHz

Todas las medidas de este informe se realizaron en modo VLBI (banda base de 500-1000 MHz). Esto es así porque la banda de la F.I. en SD (single dish) incluye una señal no despreciable a 550 MHz, que proviene del tercer oscilador local, que por encontrarse en la banda del medidor de continuo perturba las medidas de potencia.

La temperatura de ruido se obtiene mediante el método del factor  $Y$ . Para ello se emplean dos cargas adaptadas a dos temperaturas diferentes. En nuestro caso, la carga adaptada consiste en absorbente de microondas a temperatura ambiente y a temperatura del nitrógeno líquido (77 K).

La incertidumbre en la medida de la temperatura de ruido cuando se emplea este método viene dada por:

$$\Delta Y \approx 0.06 \quad [1]$$

$$\Delta T_{rec} \approx 1.5\Delta T_{cold} + 55\Delta Y \quad [2]$$

El primer término de [2] es difícil de conocer, ya que añadida a la dificultad de la geometría de la carga de calibración se suma el efecto del nitrógeno en el absorbente y la reflectividad a baja temperatura, no especificada por el fabricante. A modo de ejemplo, tenemos que a partir de 30 dB de reflectividad el término dominante es el segundo dando un  $\Delta T_{rec} \approx 3K$

La reducción en el error de medida de ambas conlleva los siguientes compromisos:

- Disminuir las reflexiones en la carga fría. Una reflexión del haz hacia una temperatura distinta de la de la carga fría hace que obtengamos una  $T_{cold}$  real mayor de la que suponemos.
- Minimizar el error en la medida de potencia. Disminuye la incertidumbre en  $Y$ , de gran peso en la determinación de la  $T_{rec}$ .

Para minimizar el primer efecto se construyó una carga de calibración (*Apéndice I*) que permite varias reflexiones sobre el absorbente a  $77K$ , esto se consigue dándole forma cónica. El material usado es el absorbente de microondas *Eccosorb AN-73* que garantiza una reflectividad menor de  $20\text{ dB}$  a partir de  $7.5\text{ GHz}$  a incidencia normal. Construida sobre una chapa de aluminio que le da la forma cónica se usó *Stycast 2850-FT* para la unión

En cuanto al segundo efecto, es necesario controlar el offset del medidor (ajustando el potenciómetro variable) y buscar lecturas altas de potencia ajustando el atenuador del medidor.

### 3. DESCRIPCION DEL RECEPTOR.

La primera etapa de recepción está diseñada para operar a temperaturas criogénicas. Se encuentra alojada en un criostato diseñado y construido en el CAY que consta de dos etapas a temperaturas de 12K y 70K y alcanza un vacío de  $10^{-6}$  mbar. En la figura 2 se muestra la configuración del criostato incluido el receptor.

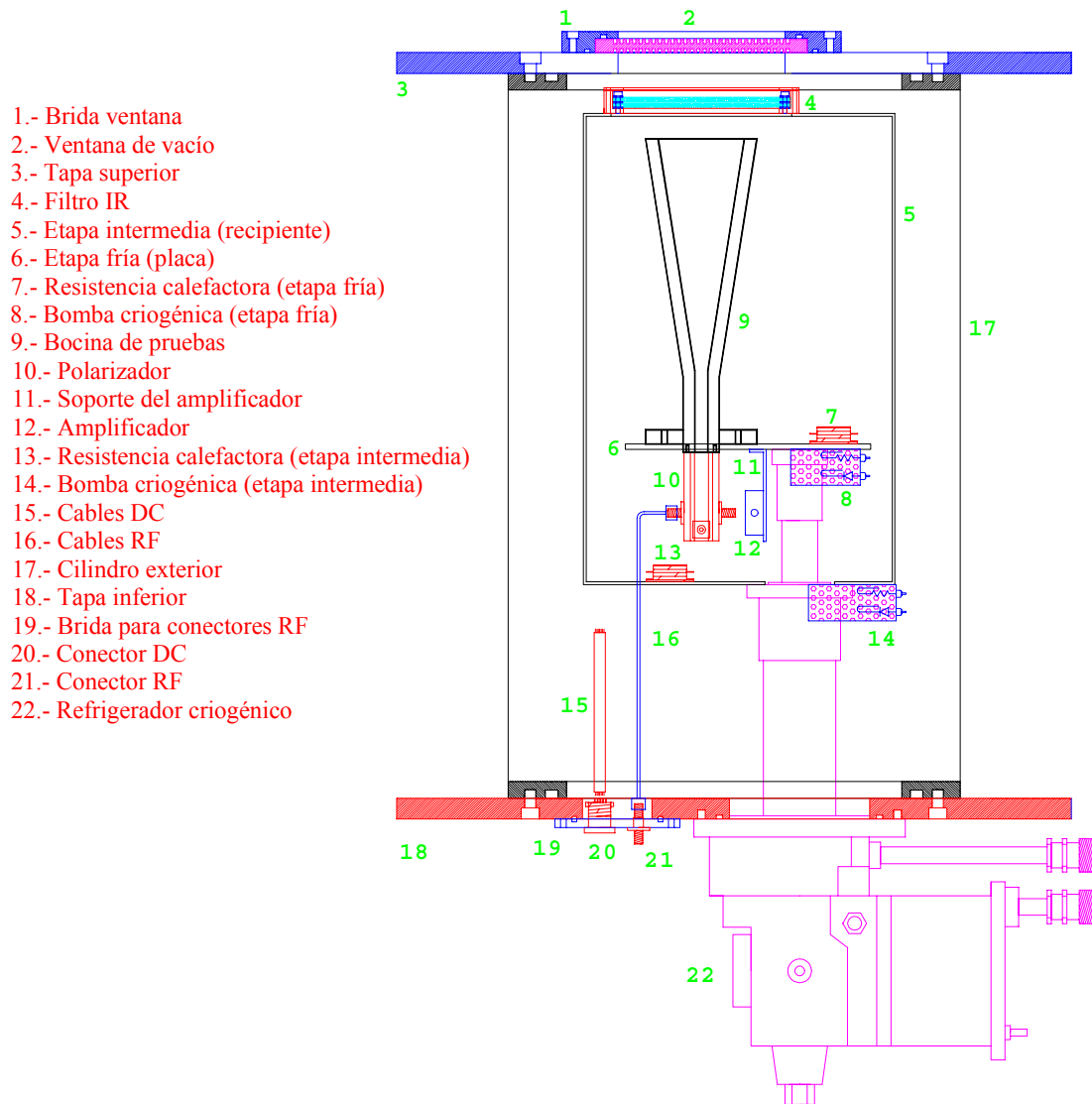


Fig. 2: Configuración del receptor de 22 GHz

### 3.1 Ventana de vacío

Fabricada en teflón. Ambas caras disponen de corrugaciones de profundidad  $\lambda/4$  a 22 GHz. Tiene un espesor de 9.3 mm incluyendo las corrugaciones.

### 3.2 Bocina Cónica

Fabricada en duraluminio tiene un radio de 31 mm y un error de fase de 0.18 vueltas. El nivel de truncamiento en la ventana del criostato depende de la configuración usada. La reflexión de entrada es de  $-20$  dB [IT2001-1]

### 3.3 Polarizador doble en banda K.

Polarizador de tipo septum escalonado fabricado en guía circular que incorpora los acopladores direccionales para la señal de ruido y la transición guía-coaxial. Las pérdidas del polarizador a temperatura ambiente son inferiores a 0.43 dB y el acoplo de  $-25$  dB [GALO98].

### 3.4 Cable de Cobre

Coaxial de cobre de 3.6 mm de diámetro externo con conductor interno de cobre-berilio. Su longitud es de 110 mm y las pérdidas en caliente son 0.39 dB en la banda de 22 a 24 GHz.

### 3.5 Amplificador criogénico en banda K YK 001

Fabricado en el CAY, tiene una ganancia de 25 dB y una temperatura de ruido de 14 K en 'lower band' y de 12 K en 'upper band' a una  $T_{fis}=14.61$  K. Las medidas de ruido se llevaron a cabo con los LED desconectados.

### 3.6 Cables coaxiales de salida

Son dos, el primero es un coaxial de acero inoxidable de 3.6 mm de diámetro externo y 390 mm de longitud que conecta la etapa fría del criostato con el exterior. El segundo es un coaxial de aluminio flexible de 3.6 mm de diámetro y 560 mm de longitud conectándolo con la FI (Coaxitube AX50141). Las pérdidas en caliente son 1.7 dB para el interior y 1.2 dB para el exterior.

### 3.7 Cables coaxiales para calibración.

Son dos, uno para cada canal del receptor, LCP y RCP. Son coaxiales de acero de 2.1 mm de diámetro externo y 260 mm de longitud.

### 3.8 Unidad de frecuencia intermedia.

Construido en el CAY, consiste en una cadena de amplificación y mezcla que lleva la señal a una banda base de 500 a 1000 MHz en observaciones de VLBI o de 170 a 310 MHz en observaciones de antena única. La figura de ruido de la unidad es de 3.30 dB en 'lower band' y 3.6 dB en 'upper band'.

#### 4. ESTIMACION DE LA TEMPERATURA DE RUIDO.

Se estima la temperatura de ruido para las distintas bandas de trabajo de la unidad de frecuencia intermedia. El estudio de 'lower band' se fijará en 22 GHz y el de 'upper band' en 24 GHz. Los valores de pérdidas, atenuación, ganancia y diagramas de radiación de los distintos componentes de la cadena se encuentran en el Apéndice II. A partir de ellos con ayuda del programa del Apéndice III se calcula la temperatura de ruido esperada.

##### 4.1 Temperatura de ruido a 22 GHz (lower band)

En la Tabla 1 se resumen los resultados de la estimación.  $T_{noise}$  es el ruido a la entrada de cada componente por separado,  $T_{cont}$  es la temperatura con la que contribuye el elemento a la entrada del receptor y  $T_{rec}$  es la temperatura de receptor en cada punto de la cadena.

Componente	$T_{física}$	L (dB)	$T_{noise}$	$T_{cont}$	$T_{rec}$
Ventana vacío	298.7	0.009	0.61	0.61	21.91
Bocina cónica	13.7	0.008	0.03	0.03	21.26
Polarizador	13.7	0.4	2.13	2.13	21.19
Cable Cu	13.7	0.39/5 <sup>(2)</sup>	0.25	0.27	17.39
Amp. YK22	13.7	-25.1	14.36	16.09	16.84
Cable SS	40.9 <sup>(1)</sup>	1.003	10.63	0.04	800.95
Cable SS	183.4 <sup>(1)</sup>	0.627	28.48	0.12	627.33
Cable Al	298.7	1.138	89.48	0.45	518.35
F.I.	298.7	-----	330.01	2.16	330.00

<sup>(1)</sup> Aproximación a la temperatura media entre etapas

<sup>(2)</sup> Estimación para cable de cobre enfriado

Tabla 1. Estimación del ruido en 'lower band'

4.2 Temperatura de ruido a 24 GHz (upper band)

El cambio más significativo en esta banda está en el ruido del amplificador. Se resumen las estimaciones en la *Tabla 2*.

<b>Componente</b>	<b>T<sub>física</sub></b>	<b>L (dB)</b>	<b>T<sub>noise</sub></b>	<b>T<sub>cont</sub></b>	<b>T<sub>rec</sub></b>
Ventana vacío	298.7	0.010	0.66	0.66	19.16
Bocina cónica	13.7	0.008	0.03	0.03	18.45
Polarizador	13.7	0.4	2.12	2.13	18.39
Cable Cu	13.7	0.39/5 <sup>(2)</sup>	0.25	0.27	14.84
Amp. YK22	13.7	-25.2	11.43	12.81	14.34
Cable SS	40.9 <sup>(1)</sup>	1.09	11.73	0.04	962.30
Cable SS	183.4 <sup>(1)</sup>	0.68	31.41	0.14	738.66
Cable Al	298.7	1.19	93.89	0.48	604.19
F.I.	298.7	-	388.26	2.61	388.26

<sup>(1)</sup> Aproximación a la temperatura media entre etapas

<sup>(2)</sup> Estimación para cable de cobre enfriado

*Tabla 2. Estimación del ruido en 'upper band'*



## 5. MEDIDA DE RUIDO.

Se realizaron medidas para distintas configuraciones de la bocina e incluyendo un aislador entre el polarizador y amplificador para estudiar la posible mejora de la curva de ganancia.

### 5.1 Bocina cónica a 72.5 mm de la ventana.

Esta será la configuración más parecida a la definitiva cuando se diseñe la óptica de la cabina y se construya una bocina de tipo corrugada a 22 GHz. Las medidas son sobre una banda de 500 MHz centradas en la  $f_{RF}$  y a 750 MHz en banda base (modo VLBI). Las condiciones de la medida fueron:

$$T_0 = 297.7 \text{ K}$$

$$T_1 = 68.62 \text{ K}$$

$$T_2 = 11.65 \text{ K}$$

Carga AAP-1.5C empapada en nitrógeno

#### LOWER BAND

Atenuación F.I. = 20 dB

Atenuación medidor = 12 dB

$f_{OL}$	$f_{RF}$	$T_{hot}$	$T_{cold}$	$P_{hot}$	$P_{cold}$	Y	$T_{rec}$
1,21	22,020	297,7	77	9,68	3,084	3,14	<b>26,2</b>
1,22	22,090	297,7	77	9,36	2,99	3,13	<b>26,5</b>
1,23	22,160	297,7	77	9,32	2,98	3,12	<b>26,9</b>
1,24	22,230	297,7	77	9,24	2,97	3,11	<b>27,7</b>
1,25	22,300	297,7	77	8,44	2,74	3,08	<b>29,0</b>
1,26	22,370	297,7	77	7,80	2,52	3,09	<b>28,5</b>
1,27	22,440	297,7	77	8,44	2,73	3,09	<b>28,4</b>
1,28	22,510	297,7	77	8,70	2,82	3,09	<b>28,6</b>
1,29	22,580	297,7	77	8,13	2,64	3,08	<b>29,2</b>

Tabla 3. Medida de ruido con la bocina a 72.5 mm en "lower band".

**UPPER BAND**

*Atenuación F.I. = 20 dB*

*Atenuación medidor = 12 dB*

<b>f<sub>OL</sub></b>	<b>f<sub>RF</sub></b>	<b>T<sub>hot</sub></b>	<b>T<sub>cold</sub></b>	<b>P<sub>hot</sub></b>	<b>P<sub>cold</sub></b>	<b>Y</b>	<b>T<sub>rec</sub></b>
1,21	23,620	297,7	77	9,28	3,022	3,07	<b>29,6</b>
1,22	23,690	297,7	77	9,06	2,94	3,08	<b>29,2</b>
1,23	23,760	297,7	77	8,94	2,89	3,09	<b>28,5</b>
1,24	23,830	297,7	77	8,62	2,80	3,08	<b>29,2</b>
1,25	23,900	297,7	77	8,20	2,68	3,06	<b>30,0</b>
1,26	23,970	297,7	77	7,76	2,53	3,06	<b>30,0</b>
1,27	24,040	297,7	77	8,08	2,63	3,07	<b>29,7</b>
1,28	24,110	297,7	77	8,44	2,75	3,07	<b>29,8</b>
1,29	24,180	297,7	77	8,60	2,79	3,08	<b>29,2</b>

*Tabla 4. Medida de ruido con la bocina a 72.5 mm en “upper band”.*

La temperatura media es de 27.9K para “lower band” y de 29.5K para “upper band”. La temperatura media total es 28.7K. Los resultados no se corresponden con las estimaciones del punto 4 de este informe. El punto 5.3 compara ambas configuraciones y justificará estos resultados.

5.2 Bocina cónica a 1 mm de la ventana.

Esta configuración da un diagrama de radiación que minimiza los efectos de spillover en la ventana (*Apéndice II*). Las condiciones de las medidas fueron:

$$T_0=298.7 K$$

$$T_1=68.10 K$$

$$T_2=13.70 K$$

*Carga cónica AN73 fabricada en CAY empapada en nitrógeno*

Los resultados para cada banda se muestran en las *Tablas 5 y 6*

**LOWER BAND**

*Atenuación F.I. = 20 dB*

*Atenuación medidor = 13 dB*

<b>f<sub>OL</sub></b>	<b>f<sub>RF</sub></b>	<b>T<sub>hot</sub></b>	<b>T<sub>cold</sub></b>	<b>P<sub>hot</sub></b>	<b>P<sub>cold</sub></b>	<b>Y</b>	<b>T<sub>rec</sub></b>
1,21	22,020	298,7	77	11,23	3,44	3,26	<b>20,9</b>
1,22	22,090	298,7	77	10,90	3,35	3,25	<b>21,4</b>
1,23	22,160	298,7	77	10,82	3,32	3,26	<b>21,1</b>
1,24	22,230	298,7	77	10,62	3,27	3,25	<b>21,6</b>
1,25	22,300	298,7	77	10,42	3,22	3,24	<b>22,1</b>
1,26	22,370	298,7	77	10,11	3,14	3,22	<b>22,9</b>
1,27	22,440	298,7	77	10,51	3,25	3,23	<b>22,2</b>
1,28	22,510	298,7	77	10,96	3,36	3,26	<b>21,0</b>
1,29	22,580	298,7	77	10,57	3,26	3,24	<b>21,9</b>

*Tabla 5. Medida de ruido con la bocina a 1 mm en "lower band".*

**UPPER BAND**

Atenuación F.I. = 20 dB

Atenuación medidor = 13 dB

$f_{OL}$	$f_{RF}$	$T_{hot}$	$T_{cold}$	$P_{hot}$	$P_{cold}$	Y	$T_{rec}$
1,21	23,620	298,7	77	9,12	2,82	3,23	<b>22,2</b>
1,22	23,690	298,7	77	9,24	2,85	3,24	<b>21,9</b>
1,23	23,760	298,7	77	9,83	3,03	3,24	<b>21,8</b>
1,24	23,830	298,7	77	10,03	3,09	3,25	<b>21,7</b>
1,25	23,900	298,7	77	10,22	3,16	3,23	<b>22,2</b>
1,26	23,970	298,7	77	10,56	3,29	3,21	<b>23,3</b>
1,27	24,040	298,7	77	11,18	3,49	3,20	<b>23,6</b>
1,28	24,110	298,7	77	11,31	3,53	3,20	<b>23,6</b>
1,29	24,180	298,7	77	10,82	3,38	3,20	<b>23,7</b>

Tabla 6. Medida de ruido con la bocina a 1 mm en "upper band".

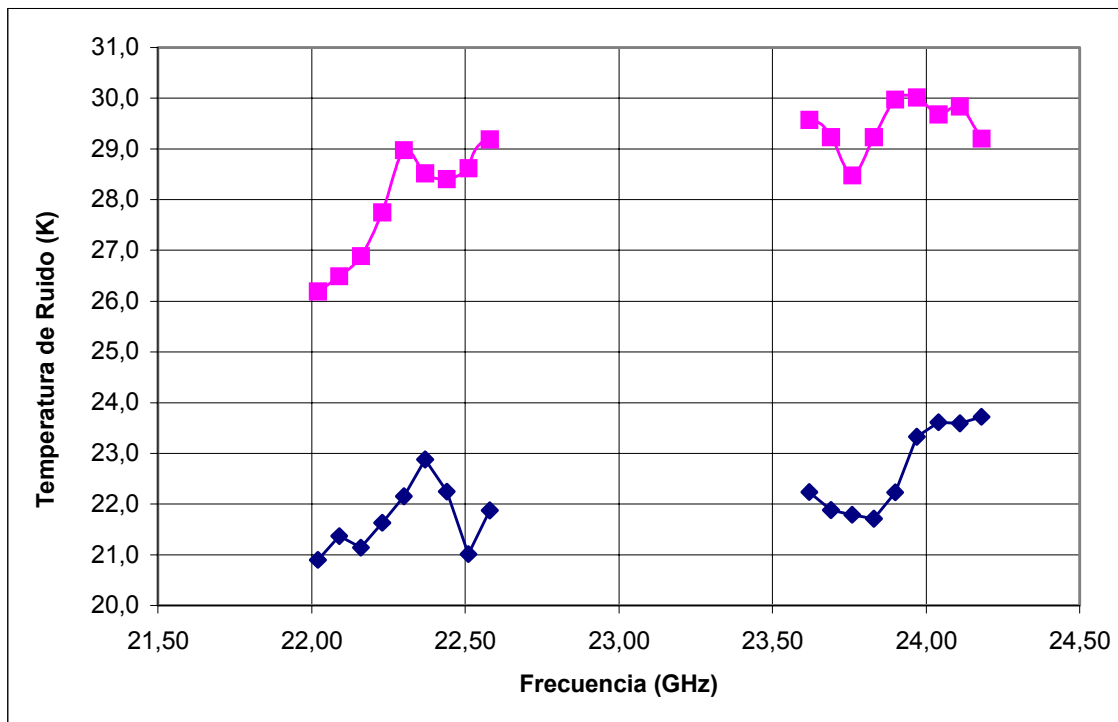
La temperatura media es de 21.7K para "lower band" y de 22.7K para "upper band". La temperatura media total es 22.2K. El resultado en "lower band" se ajusta a las estimaciones anteriores, mientras que en "upper band" se encuentra una diferencia entre las estimaciones y las medidas de aproximadamente 3K. No obstante, esta diferencia se encuentra dentro del margen de error de la medida.

5.3 Comparación entre ambas configuraciones de bocina.

Analizando comparativamente las temperaturas medias de ambas configuraciones en la *Tabla 7*, vemos que la diferencia entre ambas es de aproximadamente  $6K$ . Si se calcula la temperatura de antena de la bocina que tenemos al colocar la carga fría (*Apéndice II*), obtenemos una temperatura de carga fría de  $81K$  para la configuración de  $72.5\text{ mm}$ , debido al spillover con la carcasa del criostato. Esto significa según [2] que la medida de ruido será, aproximadamente,  $6K$  mayor.

	$T_{\text{lower band}}$	$T_{\text{upper band}}$	$T_{\text{full band}}$
Bocina a 72.5 mm	27.9	29.5	28.7
Bocina a 1 mm	21.7	22.7	22.2

*Tabla 7. Comparación entre ambas configuraciones de bocina.*



*Fig 3. Comparación entre ambas configuraciones de bocina.*

5.4 Medidas de ruido con aislador.

Debido al coeficiente de reflexión del amplificador es posible que se produzca un rizado en ganancia en la banda. Para comprobar el posible efecto de este rizado en la temperatura de ruido, colocamos un aislador *Narda 4917* entre el polarizador y la entrada del amplificador

$$T_0 = 298.2 \text{ K}$$

$$T_1 = 68.90 \text{ K}$$

$$T_2 = 14.00 \text{ K}$$

*Carga cónica AN73 fabricada en CAY empapada en nitrógeno*

Los resultados para cada banda se muestran en las *Tablas 8 y 9*

**LOWER BAND**

*Atenuación F.I. = 20 dB*

*Atenuación medidor = 13 dB*

$f_{OL}$	$f_{RF}$	$T_{hot}$	$T_{cold}$	$P_{hot}$	$P_{cold}$	Y	$T_{rec}$
1,21	22,020	298,2	77	9,35	3,025	3,09	<b>28,8</b>
1,22	22,090	298,2	77	9,35	3,03	3,09	<b>29,1</b>
1,23	22,160	298,2	77	9,35	3,03	3,09	<b>28,9</b>
1,24	22,230	298,2	77	9,35	3,03	3,09	<b>28,9</b>
1,25	22,300	298,2	77	9,35	3,03	3,09	<b>28,9</b>
1,26	22,370	298,2	77	9,35	3,03	3,09	<b>28,8</b>
1,27	22,440	298,2	77	9,35	3,03	3,09	<b>29,1</b>
1,28	22,510	298,2	77	9,35	3,02	3,09	<b>28,7</b>
1,29	22,580	298,2	77	9,35	3,03	3,09	<b>28,8</b>

*Tabla 8. Medida de ruido con la bocina a 1 mm en "lower band" con aislador*

**UPPER BAND**

Atenuación F.I. = 20 dB

Atenuación medidor = 12 dB

$f_{OL}$	$f_{RF}$	$T_{hot}$	$T_{cold}$	$P_{hot}$	$P_{cold}$	Y	$T_{rec}$
1,21	23,620	298,2	77	8,38	2,726	3,07	<b>29,6</b>
1,22	23,690	298,2	77	8,36	2,73	3,07	<b>30,0</b>
1,23	23,760	298,2	77	8,36	2,73	3,06	<b>30,3</b>
1,24	23,830	298,2	77	8,40	2,72	3,09	<b>28,9</b>
1,25	23,900	298,2	77	8,40	2,72	3,09	<b>28,9</b>
1,26	23,970	298,2	77	8,40	2,72	3,09	<b>28,9</b>
1,27	24,040	298,2	77	8,38	2,72	3,08	<b>29,3</b>
1,28	24,110	298,2	77	8,40	2,72	3,09	<b>28,9</b>
1,29	24,180	298,2	77	8,38	2,72	3,08	<b>29,3</b>

Tabla 9. Medida de ruido con la bocina a 1 mm en "upper band" con aislador

La temperatura media del receptor con aislador es de 29K. Comparamos gráficamente los resultados de la medida de ruido con y sin aislador.

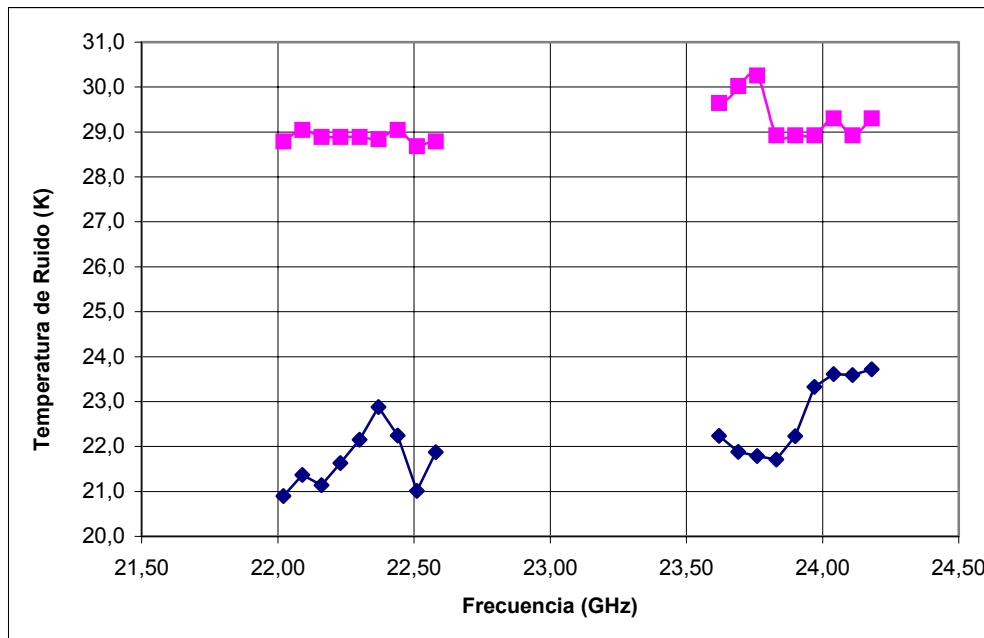


Fig. 4. Comparación entre ambas configuraciones, con y sin aislador

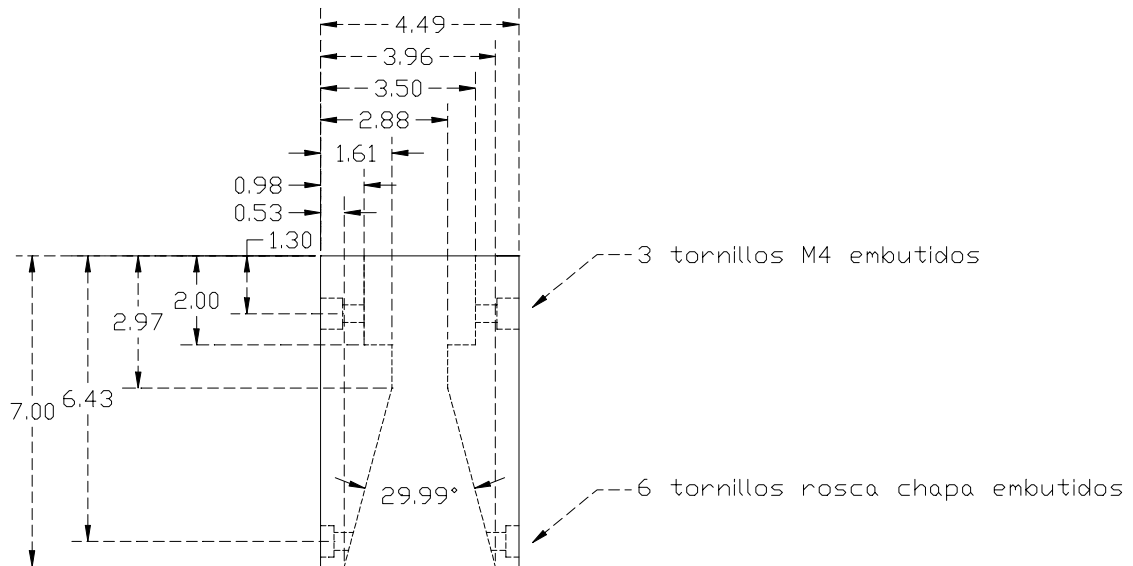
## **6. Conclusión**

Se han llevado a cabo las primeras medidas de ruido del receptor completo. El acuerdo entre medidas y estimaciones esta dentro de los márgenes de error de la medida, observándose un comportamiento en alta frecuencia peor de lo esperado dada la figura de ruido del amplificador. Es difícil aventurar que elemento es el responsable de este comportamiento ya que  $3K$  de diferencia de temperatura de ruido implican diferencias en la estimación de pérdidas difíciles de detectar ya que se este valor es muy próximo al error de medida. El empleo de un aislador entre el polarizador y el amplificador HEMT empeora la temperatura de ruido en  $7 K$ .

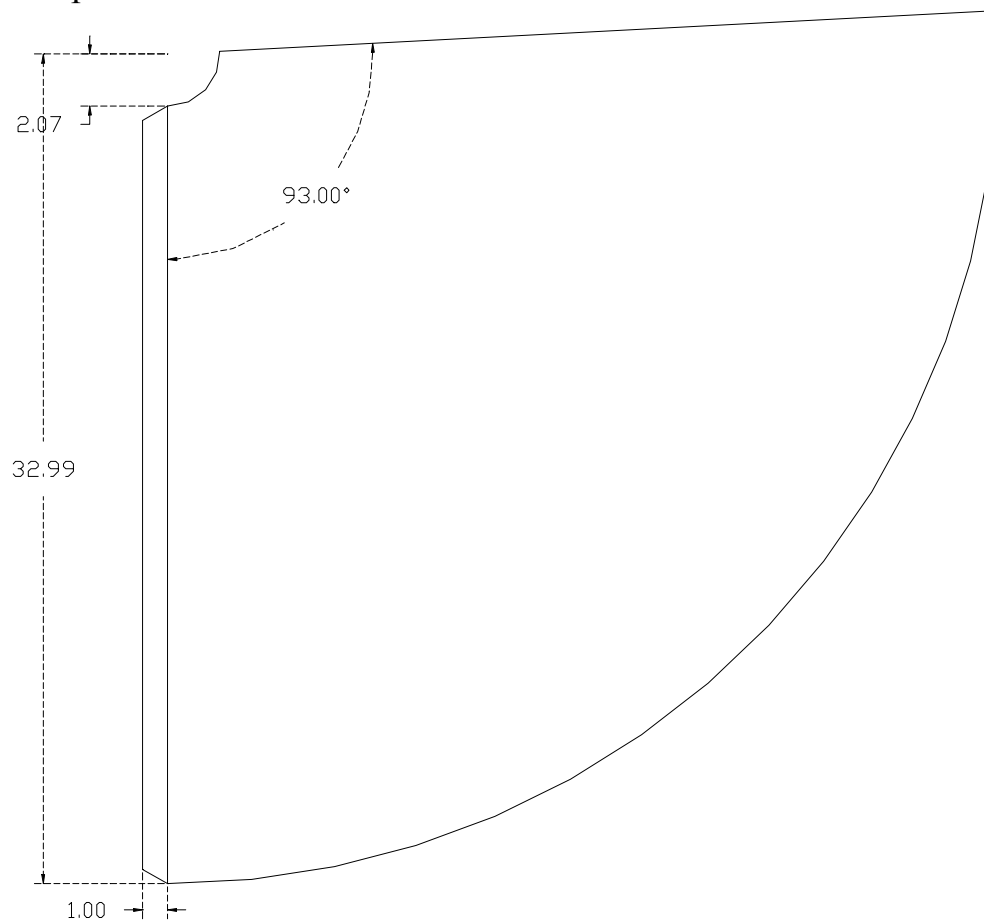


## Apéndice I: Carga de calibración.

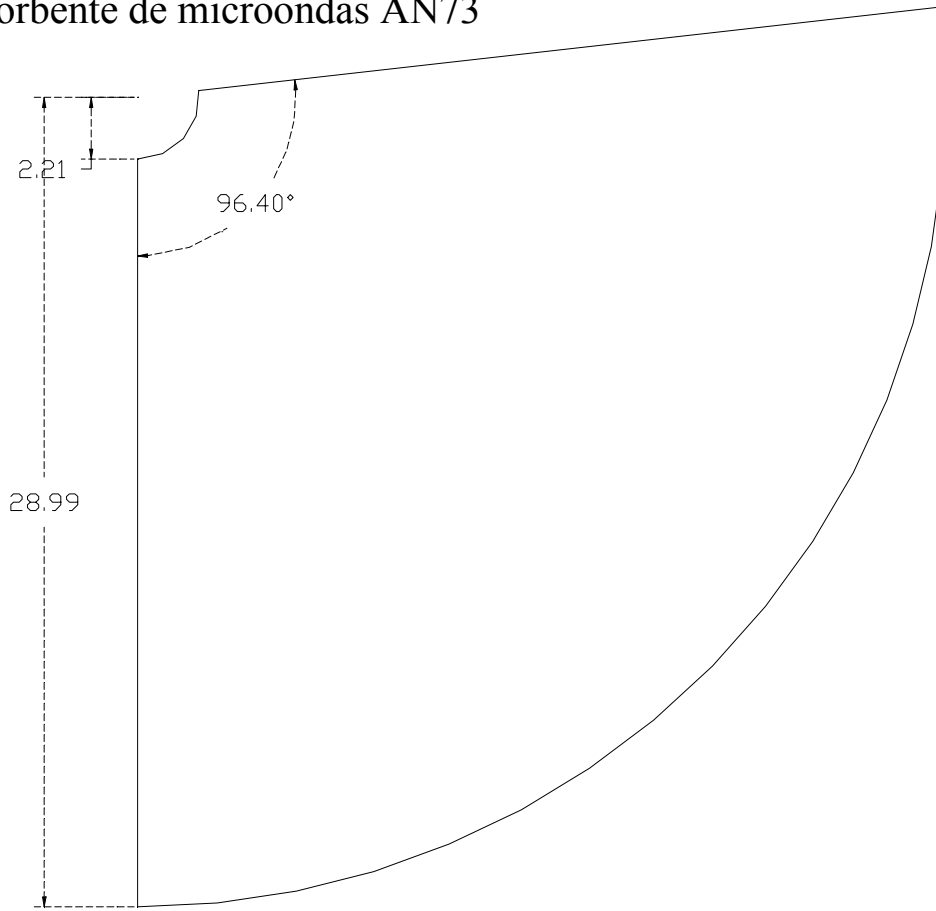
Interfaz fabricada en teflón



Chapa de acero de 0.7 mm



### Absorbente de microondas AN73



Se empleó el encapsulante *STYCAST 2850FT* con el catalizador *24LV* para adherir la chapa de acero inoxidable al absorbente.

## Apéndice II: Componentes.

### Ventana de vacío.

$$\epsilon_d := 2.14 \quad \tan\delta_d := 5 \cdot 10^{-4} \quad n_d := \sqrt{\epsilon_d}$$

Datos del Teflón [GOLD97]

$$\epsilon_m := \sqrt{\epsilon_d} \quad \tan\delta_m := \frac{\tan\delta_d}{2} \quad n_m := \sqrt{\epsilon_m}$$

Permitividad de una adaptación a  $\lambda/4$  y estimación de la tangente de pérdidas de la interfase dieléctrico-aire

$$\alpha(n, \tan\delta) := 4.343 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot \tan\delta}{\lambda_0}$$

Pérdidas en dieléctrico dB/m

$$\alpha(n_d, \tan\delta_d) = 1.602 \cdot \text{m}^{-1}$$

Pérdidas en Teflón dB/m

$$\alpha(n_m, \tan\delta_m) = 0.662 \cdot \text{m}^{-1}$$

Pérdidas en adaptación dB/m

$$z_d := 3.7 \cdot \text{mm} \quad z_m := 2.8 \cdot \text{mm}$$

Espesor del Teflón y adaptación

$$\text{Loss}_{\text{et}} := \alpha(n_d, \tan\delta_d) \cdot z_d + 2 \cdot (\alpha(n_m, \tan\delta_m) \cdot z_m)$$

$$\text{Loss}_{\text{et}} = 9.637 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} := \text{TN}(\text{Loss}_{\text{et}}, T_{\text{et}})$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} = 0.664 \cdot \text{K}$$

Bocina Cónica.

Se estiman las pérdidas aproximando la bocina a una guía circular de radio variable [IT1994-6].

- rin := 9.4·mm                      Radio de la guía
- rou := 62·mm                     Radio mayor de la bocina
- l := 166.28·mm                  Longitud de la bocina
- lguia := 58.47·mm                Longitud de guía
- $r(x) := r_{in} + \frac{r_{out} - r_{in}}{l} \cdot x$       x=0 entrada en guía. x=lout apertura de la bocina
- $f_c(r) := \frac{1.8411 \cdot c}{2 \cdot \pi \cdot r}$                       Frecuencia de corte
- $\rho := 1.76$                             Resistividad realtiva del Al respecto al Cu

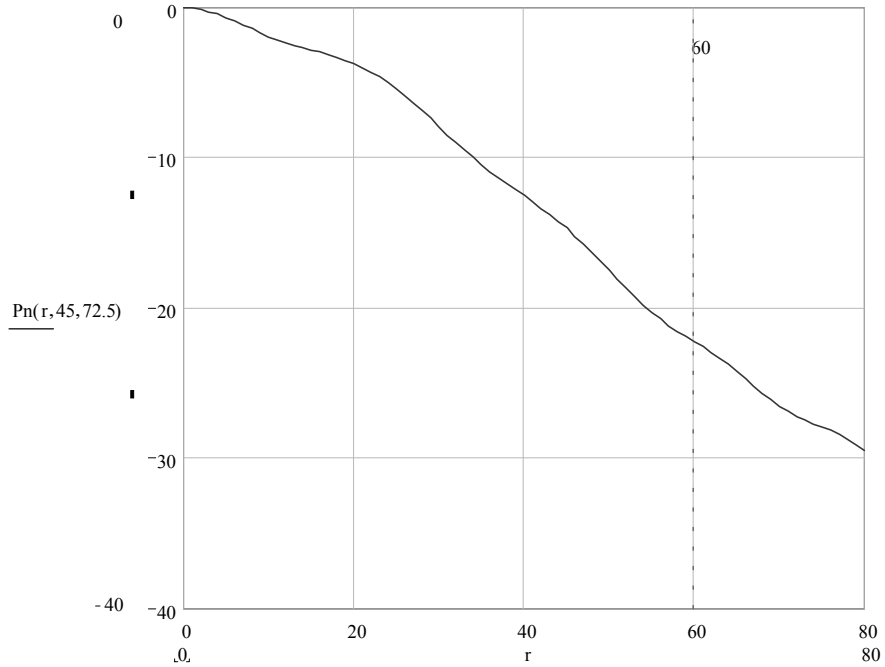
$$\alpha_c(f, \rho, r) := 5.63 \cdot 10^{-5} \cdot \left[ \frac{\rho}{\sqrt{r^3}} \cdot \frac{\left(\frac{f}{f_c(r)}\right)^{-\frac{1}{2}} + \frac{1}{2.38} \cdot \left(\frac{f}{f_c(r)}\right)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\left(\frac{f}{f_c(r)}\right)^2 - 1}} \right] \cdot m^{0.5} \quad \text{Pérdidas en dB/m}$$

$$Loss_{et} := \alpha_c(f, \rho, r_{in}) \cdot l_{guia} + \int_{0 \cdot mm}^{l} \alpha_c(f, \rho, r(x)) \, dx \quad Loss_{et} = 8.226 \cdot 10^{-3}$$

$$TNoise_{et} := TN(Loss_{et}, Tfis_{et}) \quad TNoise_{et} = 0.026 \cdot K$$

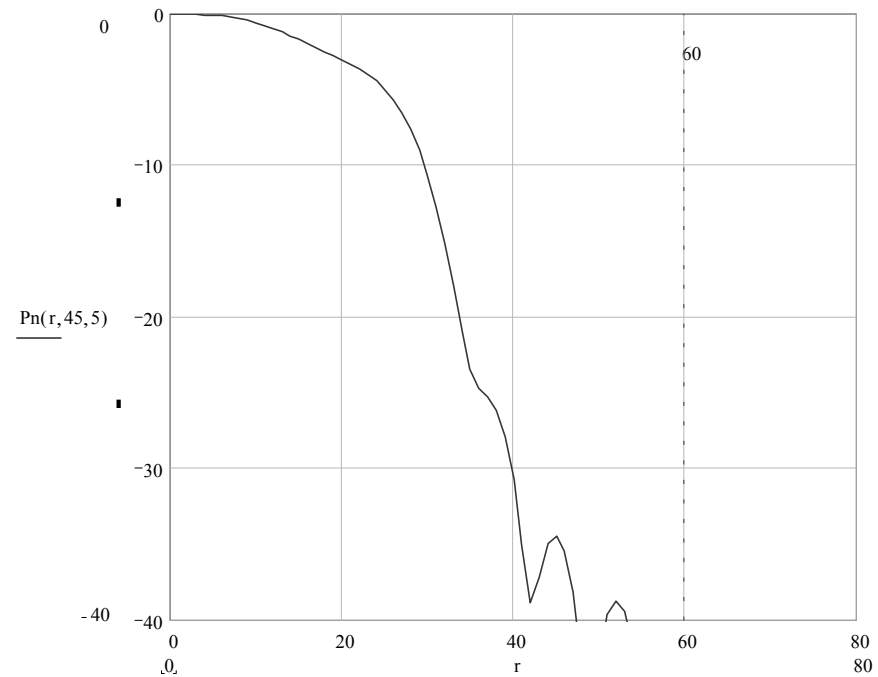
Para las distintas configuraciones medidas tenemos los diagramas de radiación y el incremento de temperatura de antena.

A 72.5 mm de la ventana del criostato.



El aumento de temperatura de antena por spillover en la ventana del criostato se estiman en 4K.

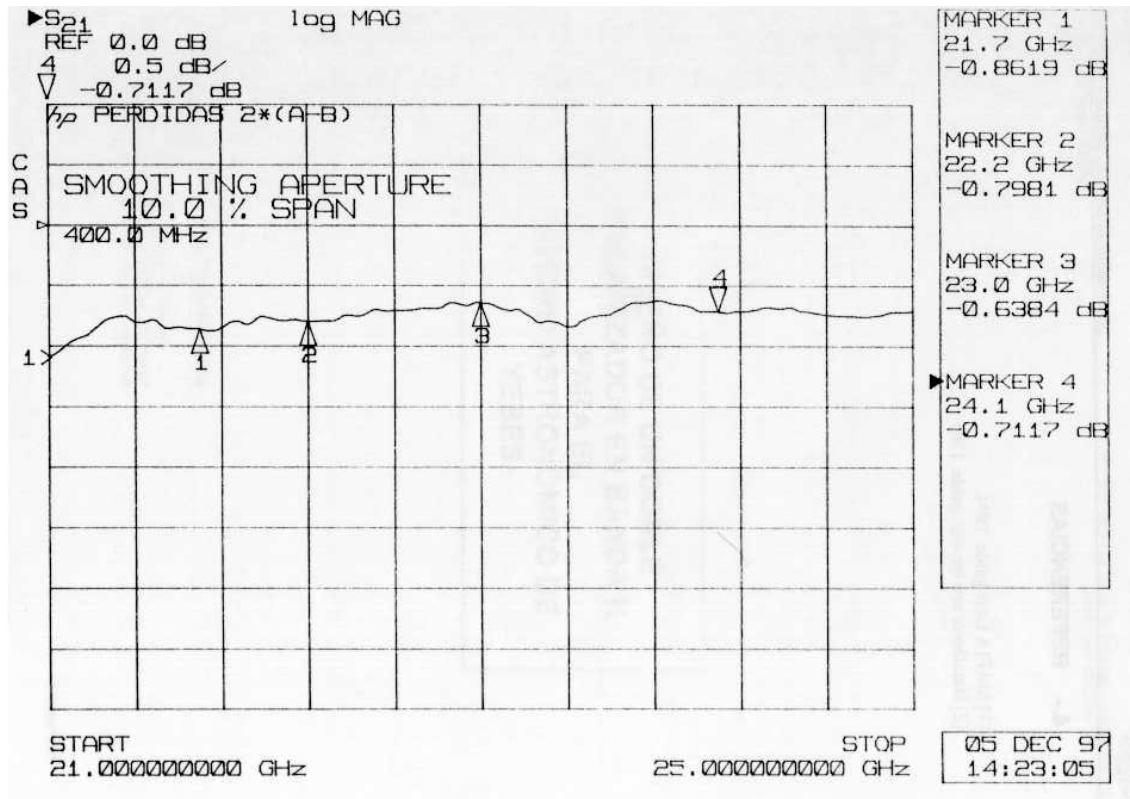
A 1 mm de la ventana del criostato.



El aumento de temperatura de antena por spillover en la ventana del criostato se estima en 0.1K.

Polarizador

Pérdidas con suavizado.



Cable de entrada al amplificador.

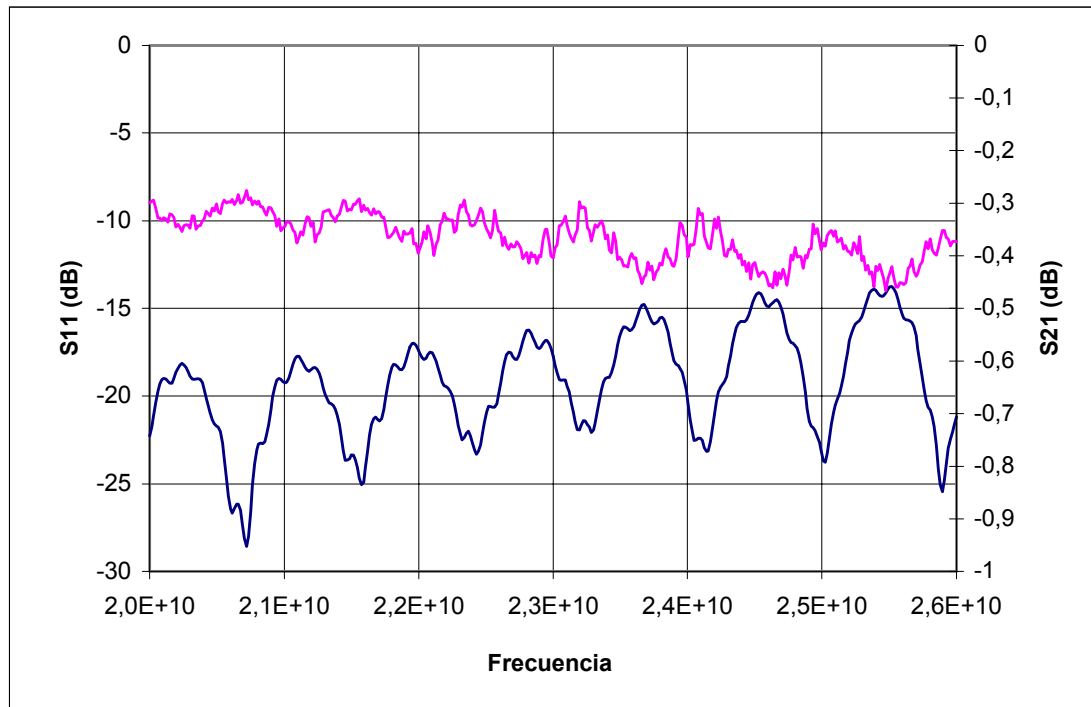
$l=110$  mm

$D_{out}=3.6$  mm

Conductor exterior: Cobre

Conductor interior: Cobre-Berilio

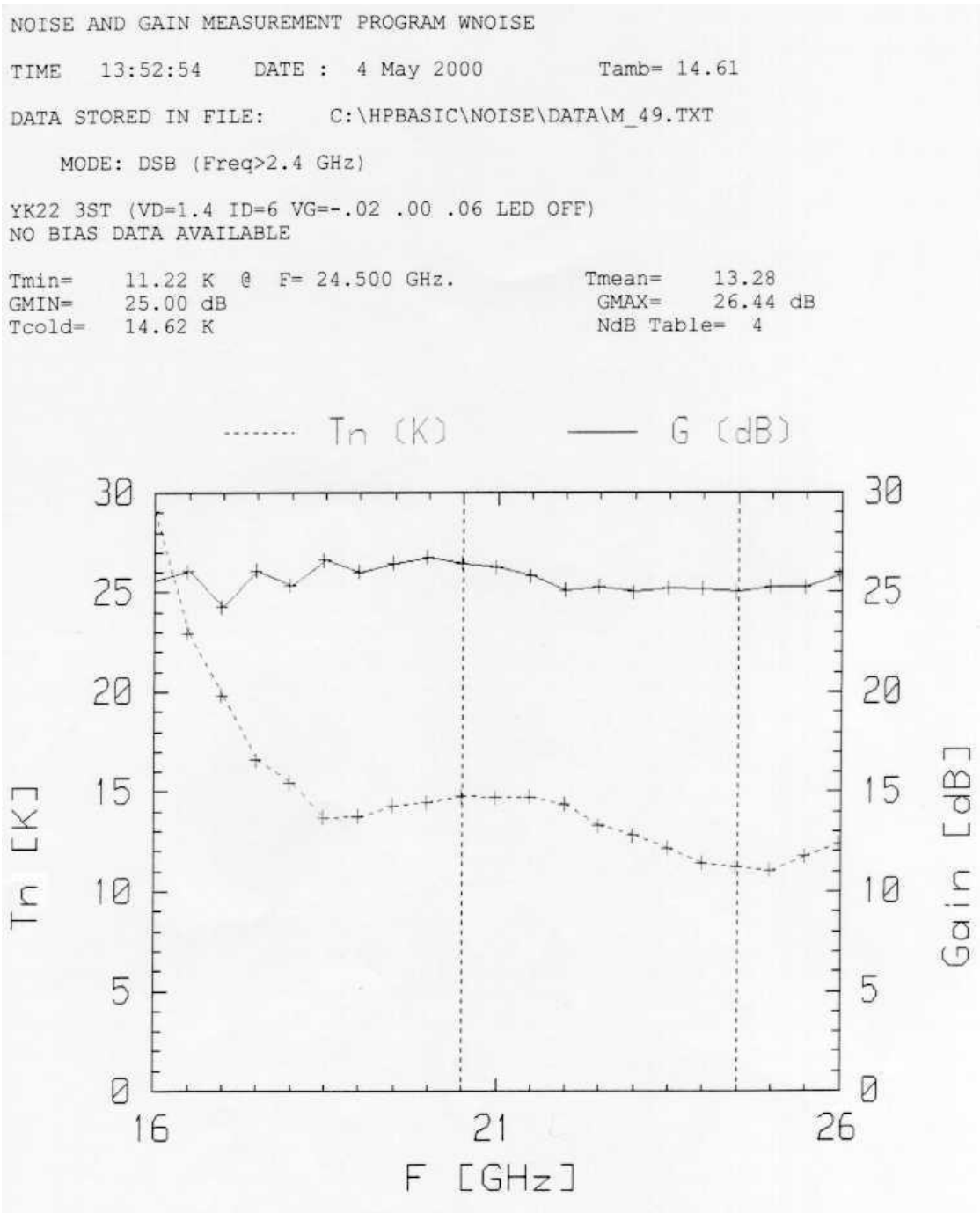
Perdidas a  $T_{amb}$



Las pérdidas en temperaturas criogénicas pueden estimarse como la quinta parte de las pérdidas medidas en dB a temperatura ambiente.

Amplificador YK001

Ganancia y temperatura de ruido a 14.61K





*Informe Técnico nº 2001-6 Medidas preliminares de ruido del 22 GHz*

NOISE AND GAIN MEASUREMENT PROGRAM WNOISE

TIME 13:52:54 DATE : 4 May 2000 Tamb= 14.61

DATA STORED IN FILE: C:\HPBASIC\NOISE\DATA\M\_49.TXT

MODE: DSB (Freq>2.4 GHz)

YK22 3ST (VD=1.4 ID=6 VG=-.02 .00 .06 LED OFF)  
NO BIAS DATA AVAILABLE

Tmin= 11.22 K @ F= 24.500 GHz. Tmean= 13.28  
GMIN= 25.00 dB GMAX= 26.44 dB  
Tcold= 14.62 K NdB Table= 4

F	Gdut	Tdut	IF	RF	NdB	TH	TC
16.000	25.60	29.08	-30	+10	-1.98	205.0	21.1
16.500	26.05	22.97	-35	+10	-1.98	204.9	21.1
17.000	24.27	19.84	-35	+10	-1.89	208.8	21.3
17.500	26.10	16.60	-35	+10	-1.98	205.2	21.2
18.000	25.34	15.46	-35	+10	-1.92	207.6	21.2
18.500	26.61	13.70	-35	+10	-2.00	203.9	21.1
19.000	26.03	13.76	-35	+10	-1.87	209.9	21.3
19.500	26.47	14.30	-35	+10	-1.86	210.1	21.2
20.000	26.75	14.47	-35	+10	-1.78	213.8	21.2
20.500	26.44	14.76	-35	+10	-1.76	214.3	21.1
21.000	26.23	14.72	-35	+10	-1.70	217.1	21.0
21.500	25.82	14.73	-30	+10	-1.76	213.9	20.7
22.000	25.09	14.36	-30	+10	-1.56	223.6	20.9
22.500	25.29	13.31	-30	+10	-1.52	225.4	20.9
23.000	25.00	12.81	-30	+10	-1.45	228.5	21.0
23.500	25.18	12.16	-30	+10	-1.55	223.9	20.8
24.000	25.16	11.43	-30	+10	-1.56	223.6	20.9
24.500	25.01	11.22	-30	+10	-1.68	217.6	20.9
25.000	25.30	11.07	-30	+10	-1.82	211.7	20.8
25.500	25.25	11.77	-30	+10	-2.01	203.4	20.8
26.000	25.87	12.40	-30	+10	-2.37	188.6	20.6

Cable de salida del amplificador.

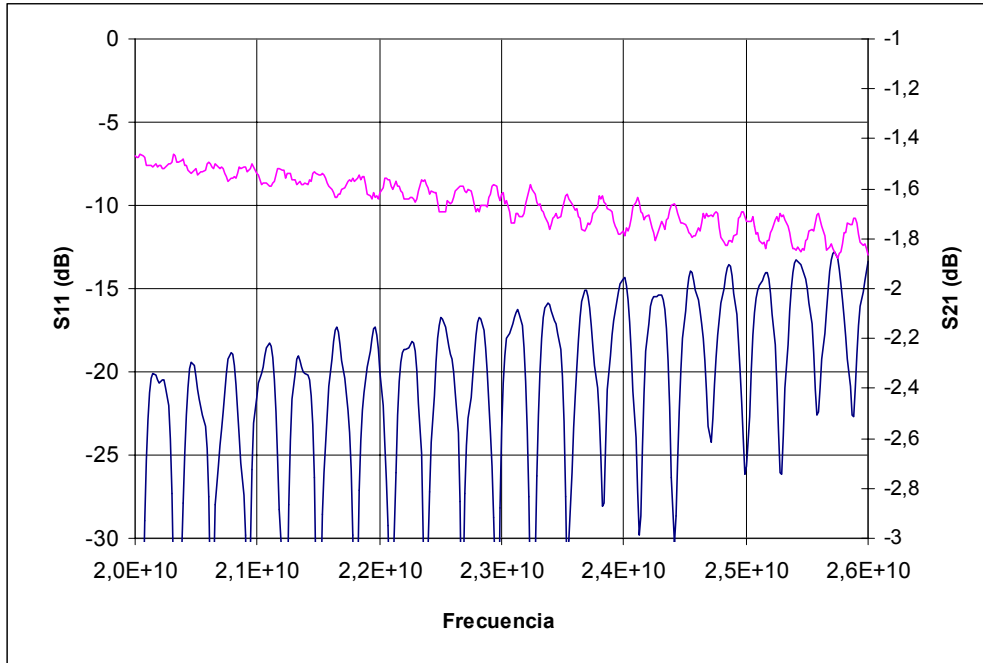
$l=390$  mm

$D_{out}=3.6$  mm

Conductor exterior: Acero inoxidable

Conductor interior: Cobre-Berilio

Perdidas a  $T_{amb}$



*Cable de entrada a la unidad de F.I.*

$l=560$  mm

$D_{out}=3.6$  mm

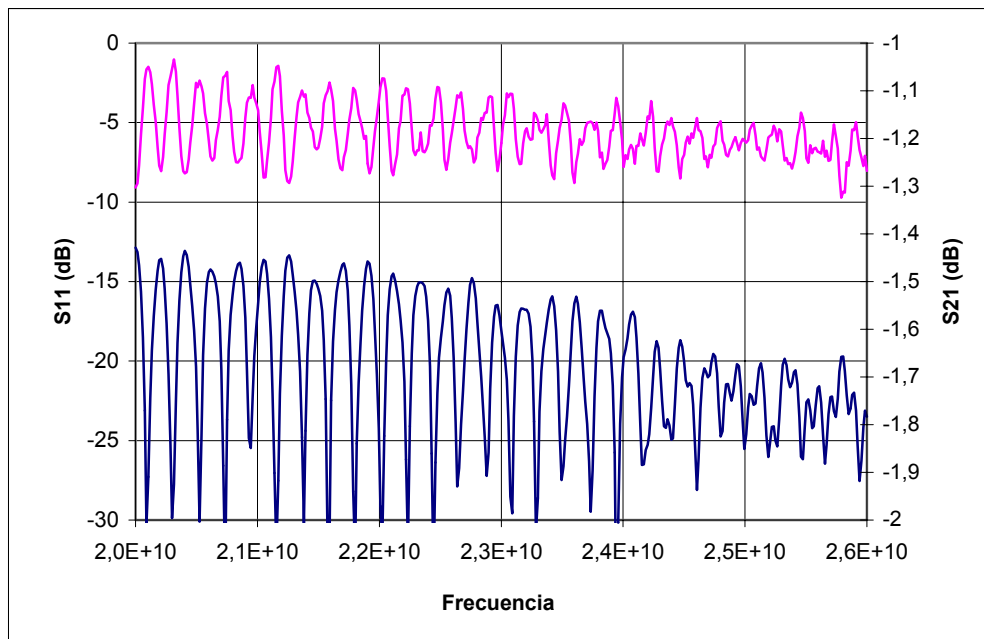
Conductor exterior: Aluminio

Conductor interior: Cobre

Fabricante: PRECISION TUBE Co. COAXITUBE Div.

Modelo: AX50141

Perdidas a  $T_{amb}$



Unidad de frecuencia intermedia.

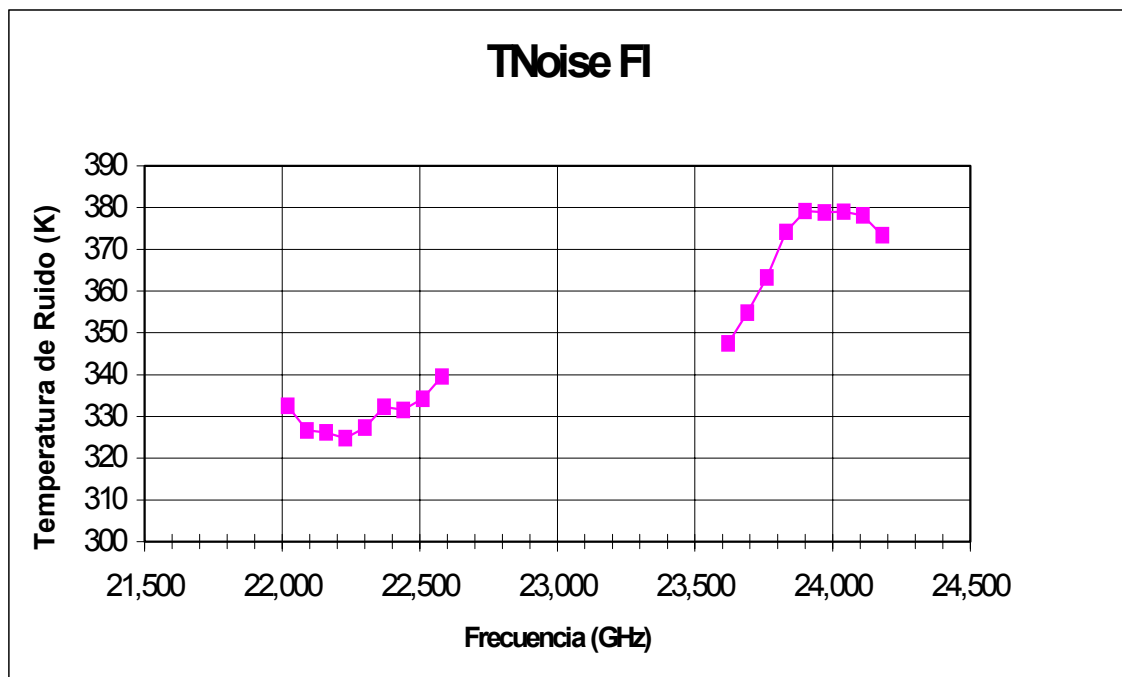
Se realizaron medidas de ruido con un diodo calibrado a la unidad de frecuencia intermedia. Los resultados para ambas bandas de operación fueron:

*Lower band*

$f_{OL}$	$f_{RF}$	$T_{hot}$	$T_{cold}$	$P_{hot}$	$P_{cold}$	Y	$T_{rec FI}$	NF
1,21	22,020	1214	296,8	9,83	4,00	2,46	<b>332</b>	<b>3,32</b>
1,22	22,090	1216	296,8	9,65	3,90	2,47	<b>327</b>	<b>3,28</b>
1,23	22,160	1217	296,8	9,76	3,94	2,48	<b>326</b>	<b>3,27</b>
1,24	22,230	1219	296,8	9,86	3,97	2,48	<b>325</b>	<b>3,26</b>
1,25	22,300	1220	296,8	9,57	3,86	2,48	<b>327</b>	<b>3,28</b>
1,26	22,370	1222	296,8	9,29	3,76	2,47	<b>332</b>	<b>3,32</b>
1,27	22,440	1224	296,8	10,15	4,10	2,48	<b>332</b>	<b>3,31</b>
1,28	22,510	1225	296,8	10,60	4,29	2,47	<b>334</b>	<b>3,33</b>
1,29	22,580	1227	296,8	10,61	4,31	2,46	<b>340</b>	<b>3,37</b>

*Upper band*

$f_{OL}$	$f_{RF}$	$T_{hot}$	$T_{cold}$	$P_{hot}$	$P_{cold}$	Y	$T_{rec FI}$	NF
1,21	23,620	1233	296,8	8,09	3,30	2,45	<b>348</b>	<b>3,42</b>
1,22	23,690	1233	296,8	7,89	3,24	2,44	<b>355</b>	<b>3,47</b>
1,23	23,760	1232	296,8	7,55	3,12	2,42	<b>363</b>	<b>3,53</b>
1,24	23,830	1232	296,8	7,32	3,06	2,39	<b>374</b>	<b>3,60</b>
1,25	23,900	1231	296,8	7,21	3,03	2,38	<b>379</b>	<b>3,63</b>
1,26	23,970	1231	296,8	7,10	2,98	2,38	<b>379</b>	<b>3,63</b>
1,27	24,040	1230	296,8	7,54	3,17	2,38	<b>379</b>	<b>3,63</b>
1,28	24,110	1230	296,8	7,71	3,24	2,38	<b>378</b>	<b>3,62</b>
1,29	24,180	1229	296,8	7,89	3,30	2,39	<b>373</b>	<b>3,59</b>



## Apéndice III: Estimación de $T_{\text{NOISE}}$ . Fichero MathCAD

### Parametros, constantes y formulas

NoiseLowerLCP.mcd

Temperatura de las tres etapas. Frecuencia de trabajo

$$T := \begin{bmatrix} 298.7 \\ 68.1 \\ 13.7 \end{bmatrix} \cdot \text{K} \quad f := 22 \cdot \text{GHz}$$

$$c := 2.99 \cdot 10^8 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$\lambda_0 := \frac{c}{f} \quad \lambda_0 = 0.014 \cdot \text{m}$$

$$\text{dB} := 1$$

Formulas para el cálculo de ruido

$$i := 0..8$$

$$T_{\text{Noise}_i} := 0 \cdot \text{K}$$

$$\text{Loss}_i := 0$$

$$T_{\text{N}}(\text{LdB}, T_{\text{fis}}) := \left( 10^{\frac{\text{LdB}}{10}} - 1 \right) \cdot T_{\text{fis}}$$

$$T_{\text{cas}}(T_1, \text{LdB1}, T_2) := T_1 + 10^{\frac{\text{LdB1}}{10}} \cdot T_2$$

Datos de los cables

$$\alpha_{\text{cu141}}(f) := \left[ \frac{62 - 44.5}{(18 \cdot \text{GHz})^{0.5} - (10 \cdot \text{GHz})^{0.5}} \cdot \sqrt{f - 6.723} \right] \cdot \frac{\text{dB}}{100 \cdot \text{ft}} \quad \text{COAXITUBE Divison JA50141}$$

$$\alpha_{\text{cu085}}(f) := \left[ \frac{101 - 71}{(18 \cdot \text{GHz})^{0.5} - (10 \cdot \text{GHz})^{0.5}} \cdot \sqrt{f - 16.812} \right] \cdot \frac{\text{dB}}{100 \cdot \text{ft}} \quad \text{COAXITUBE Divison JA50085}$$

$$\alpha_{\text{ss141}}(f) := \left[ \frac{125 - 90}{(18 \cdot \text{GHz})^{0.5} - (10 \cdot \text{GHz})^{0.5}} \cdot \sqrt{f - 12.447} \right] \cdot \frac{\text{dB}}{100 \cdot \text{ft}} \quad \text{COAXITUBE Divison JS50141}$$

$$\alpha_{\text{ss085}}(f) := \left[ \frac{216 - 156}{(18 \cdot \text{GHz})^{0.5} - (10 \cdot \text{GHz})^{0.5}} \cdot \sqrt{f - 19.623} \right] \cdot \frac{\text{dB}}{100 \cdot \text{ft}} \quad \text{COAXITUBE Divison JS50085}$$

$$\alpha_{\text{al141}}(f) := \left[ \frac{65 - 46.6}{(18 \cdot \text{GHz})^{0.5} - (10 \cdot \text{GHz})^{0.5}} \cdot \sqrt{f - 7.2576} \right] \cdot \frac{\text{dB}}{100 \cdot \text{ft}} \quad \text{COAXITUBE Divison AX50141}$$

Datos extrapolados de las pérdidas a 10 y 18 GHz de los catalogos.

## Ventana de Teflon

			et := 0
			Tfis <sub>et</sub> := T <sub>0</sub>
ed := 2.14	tanδd := 5·10 <sup>-4</sup>	nd := √εd	Datos del Teflón [GOLD97]
em := √εd	tanδm := $\frac{\tan\delta d}{2}$	nm := √εm	Permitividad de una adaptación a λ/4 y estimación de la tangente de pérdidas de la interfase dieléctrico-aire
$\alpha(n, \tan\delta) := 4.343 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot \tan\delta}{\lambda_0}$			Pérdidas en dieléctrico dB/m
$\alpha(nd, \tan\delta d) = 1.469 \cdot m^{-1}$			Pérdidas en Teflón dB/m
$\alpha(nm, \tan\delta m) = 0.607 \cdot m^{-1}$			Pérdidas en adaptación dB/m
zd := 3.7·mm	zm := 2.8·mm		Espesor del Teflón y adaptación
Loss <sub>et</sub> := α(nd, tanδd)·zd + 2·(α(nm, tanδm)·zm)			Loss <sub>et</sub> = 8.834·10 <sup>-3</sup>
TNoise <sub>et</sub> := TN(Loss <sub>et</sub> , T <sub>et</sub> )			TNoise <sub>et</sub> = 0.608·K

## Bocina Cónica

			et := et + 1
			Tfis <sub>et</sub> := T <sub>2</sub>
rin := 9.4·mm		Radio de la guía	
rou := 62·mm		Radio mayor de la bocina	
l := 166.28·mm		Longitud de la bocina	
lguia := 58.47·mm		Longitud de guía	
$r(x) := rin + \frac{rou - rin}{l} \cdot x$		x=0 entrada en guía. x=lout apertura de la bocina	
$fc(r) := \frac{1.8411 \cdot c}{2 \cdot \pi \cdot r}$		Frecuencia de corte	
ρ := 1.76		Resistividad realtiva del Al respecto al Cu	
$\alpha c(f, \rho, r) := 5.63 \cdot 10^{-5} \cdot \left[ \frac{\rho}{\sqrt{r^3}} \cdot \frac{\left(\frac{f}{fc(r)}\right)^{\frac{-1}{2}} + \frac{1}{2.38} \cdot \left(\frac{f}{fc(r)}\right)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\left(\frac{f}{fc(r)}\right)^2 - 1}} \right] \cdot m^{0.5}$			Pérdidas en dB/m
Loss <sub>et</sub> := αc(f, ρ, rin)·lguia + $\int_{0 \cdot mm}^l \alpha c(f, \rho, r(x)) dx$			Loss <sub>et</sub> = 8.258·10 <sup>-3</sup>
TNoise <sub>et</sub> := TN(Loss <sub>et</sub> , Tfis <sub>et</sub> )			TNoise <sub>et</sub> = 0.026·K

## Polarizador

$$et := et + 1$$

$$Tfis_{et} := T_2$$

$$Loss_{et} := 0.4$$

Medidas de la ETSIT

$$Tiny := \frac{T_0 + T_2}{2}$$

Temperatura efectiva del cable del inyector de ruido

$$liny := 350 \cdot \text{mm}$$

Longitud del cable

$$Liny := \alpha_{ss085}(f) \cdot liny$$

Pérdidas del cable

$$TNoise_{et} := TN(Loss_{et}, Tfis_{et}) + 10^{\frac{Loss_{et}}{10}} \cdot \left[ (T_0 - Tiny) \cdot 10^{\frac{-Liny}{10}} + Tiny \right] \cdot 10^{\frac{-25}{10}}$$

$$Loss_{et} = 0.4$$

$$TNoise_{et} = 2.125 \cdot K$$

Dos contribuciones, la primera debida a las pérdidas del propio polarizador y la segunda al inyector de ruido

## Cable polarizador ---> amplificador

$$et := et + 1$$

$$Tfis_{et} := T_2$$

$$Loss_{et} := 0.391$$

Pérdidas en caliente

$$Loss_{et} := \frac{Loss_{et}}{5}$$

Estimación de pérdidas en frio para cobre.

$$Loss_{et} = 0.078$$

$$TNoise_{et} := TN(Loss_{et}, Tfis_{et})$$

$$TNoise_{et} = 0.249 \cdot K$$

## Amplificador

$$et := et + 1$$

$$Tfis_{et} := T_2$$

$$Loss_{et} := -25.1$$

$$TNoise_{et} := 14.36 \cdot K$$

Led OFF

$$Loss_{et} = -25.1$$

$$TNoise_{et} = 14.36 \cdot K$$

## Cables salida

Cable de acero inoxidable de 3.5 mm de diametro exterior. Se divide en dos partes ya se fuerza la temperatura en la etapa intermedia.

$$\text{Loss}_{\text{et}} := 1.63 \cdot \frac{240}{390}$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} := \text{TN}(\text{Loss}_{\text{et}}, \text{Tfis}_{\text{et}})$$

$$\text{et} := \text{et} + 1$$

$$\text{Tfis}_{\text{et}} := \frac{T_2 + T_1}{2}$$

$$\text{Loss}_{\text{et}} = 1.003$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} = 10.627 \cdot \text{K}$$

$$\text{Loss}_{\text{et}} := 1.63 \cdot \frac{150}{390}$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} := \text{TN}(\text{Loss}_{\text{et}}, \text{Tfis}_{\text{et}})$$

$$\text{et} := \text{et} + 1$$

$$\text{Tfis}_{\text{et}} := \frac{T_0 + T_1}{2}$$

$$\text{Loss}_{\text{et}} = 0.627$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} = 28.481 \cdot \text{K}$$

Cable de aluminio flexible de 3.5 mm. Coaxitube AX50141

$$\text{Loss}_{\text{et}} := 1.138$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} := \text{TN}(\text{Loss}_{\text{et}}, \text{Tfis}_{\text{et}})$$

$$\text{et} := \text{et} + 1$$

$$\text{Tfis}_{\text{et}} := T_0$$

$$\text{Loss}_{\text{et}} = 1.138$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} = 89.482 \cdot \text{K}$$

## Frecuencia Intermedia

$$\text{NF} := 3.30$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} := \left( 10^{\frac{\text{NF}}{10}} - 1 \right) \cdot 290 \cdot \text{K}$$

$$\text{et} := \text{et} + 1$$

$$\text{Tfis}_{\text{et}} := T_0$$

$$\text{TNoise}_{\text{et}} = 330.009 \cdot \text{K}$$



## Calculo de la Temperatura de Ruido del Receptor.

$$T_{in_{et}} := TNoise_{et}$$

$$j := et - 1.. 0$$

$$T_{in_j} := Tcas(TNoise_j, Loss_j, T_{in_{j+1}})$$

$$j := 1.. et \quad TComp_0 := TNoise_0$$

$$TComp_j := TNoise_j \cdot \prod_{n=0}^{j-1} 10^{\frac{Loss_n}{10}}$$

$$Loss = \begin{bmatrix} 8.834 \cdot 10^{-3} \\ 8.258 \cdot 10^{-3} \\ 0.4 \\ 0.078 \\ -25.1 \\ 1.003 \\ 0.627 \\ 1.138 \\ 0 \end{bmatrix} \quad TNoise = \begin{bmatrix} 0.608 \\ 0.026 \\ 2.125 \\ 0.249 \\ 14.36 \\ 10.627 \\ 28.481 \\ 89.482 \\ 330.009 \end{bmatrix} \cdot K \quad TComp = \begin{bmatrix} 0.608 \\ 0.026 \\ 2.133 \\ 0.274 \\ 16.095 \\ 0.037 \\ 0.124 \\ 0.451 \\ 2.162 \end{bmatrix} \cdot K \quad Tin = \begin{bmatrix} 21.91 \\ 21.259 \\ 21.192 \\ 17.39 \\ 16.835 \\ 800.947 \\ 627.329 \\ 518.352 \\ 330.009 \end{bmatrix} \cdot K$$

TNoise es la temperatura de ruido de cada componente por separado

TComp es la contribución en ruido a la entrada del receptor de cada componente.

Tin es el ruido a la entrada de cada componente en la cadena.

$$Tin_0 = 21.91 \cdot K$$