

**Diseño y construcción de una  
transición en guía de ondas y  
acoplador direccional en banda X  
para el criostato alemán en  
O'Higgins.**

Lucía Vigil, Felix Tercero, J.A.Lopez-Fdez

IT-CDT 2013-9

# **Diseño y construcción de una transición en guía de ondas y acoplador direccional en banda X para el criostato alemán en O'Higgins.**

L.Vigil, F.Tercero, J.A.Lopez-Fdez

*Centro de Desarrollos de Yebes  
19141 Guadalajara  
SPAIN*

*Phone: +34 949 29 03 11 ext.210*

*Fax: +34 949 29 00 63*

*[f.tercero@oan.es](mailto:f.tercero@oan.es)*

Se describe el proceso de diseño, construcción y medida de una transición térmica y su acoplador direccional en banda X (8-9GHz) para el criostato de la estación de VLBI de O'Higgins dependiente del BKG.

El diseño consta de una transición térmica en guía WR112, para pasar de la temperatura ambiente, a la cual se encuentra la bocina, a temperatura criogénica a la que se encuentra el LNA, en el interior de criostato. En la etapa fría, se implementa un acoplador direccional en guía para inyectar la señal de calibración en el camino del LNA. El hermetismo se consigue con una ventana de vacío comercial

Para llevar a cabo este diseño se optimizan las distintas partes con el software HFSS y se diseña mecánicamente con AUTOCAD. Tras su construcción en los laboratorios del Observatorio de Yebes se obtienen las medidas finales en el analizador de redes para su completa caracterización.



## Contenido

1.	Introducción.....	5
2.	Especificaciones .....	5
3.	Diseño eléctrico .....	8
3.1.	Transición de coaxial a guía rectangular .....	8
3.2.	Acoplador direccional.....	11
3.3.	Transición térmica .....	14
4.	Diseño mecánico y construcción .....	16
4.1.	Transición de coaxial a guía rectangular .....	16
4.2.	Acoplador direccional.....	17
4.3.	Transición térmica .....	18
4.4.	Tapa curva .....	19
4.5.	Tapa plana .....	19
4.6.	Soportes fibra .....	20
4.7.	Soportes planos.....	20
4.8.	Soportes en U .....	21
4.9.	Bloque completo .....	21
5.	Medidas .....	22
5.1.	Calibración.....	22
5.2.	Coeficiente de acoplo .....	24
5.3.	Pérdidas de inserción y reflexión .....	25
5.4.	Aislamiento de la cadena .....	27
6.	Referencias .....	29
	Anexo A Dimensiones del flange UBR84.....	30
	Anexo B Hoja de características de ventanas de presión MDL.....	31
	Anexo C Planos en AUTOCAD .....	32



Centro  
Desarrollos  
Tecnológicos  
de Yebes

Diseño y construcción de una transición en  
guía de ondas y acoplador direccional en banda  
X para el criostato alemán en O'Higgins.

L.Vigil, F. Tercero,  
J.A. Lopez Fdez



## 1. Introducción

En radioastronomía la señal que se recibe es de muy baja potencia y queda enmascarada tanto por el ruido atmosférico como por el ruido del receptor. Se intenta disminuir integrando dicho receptor en un criostato para su refrigeración. Con el fin de alcanzar temperaturas criogénicas se realiza el vacío en el dewar y con una cabeza refrigeradora de ciclo cerrado se elimina el calor en el interior del criostato. Para mantener la temperatura y el vacío en el criostato hay que tener en cuenta los distintos elementos que producen gradientes de temperatura en su interior. La carga por radiación entre sus etapas, del exterior a la etapa fría; la carga por conducción del gas residual; la carga por conducción de los diversos materiales sólidos, así como la carga que disipan los componentes activos. Se deben tener en cuenta y minimizarlas lo máximo posible.

En el criostato para la estación de VLBI de O'Higgins dependiente del BKG, que trabaja en las bandas S y X, la entrada en guía de onda rectangular tiene un gradiente de temperatura muy alto, desde la ambiente hasta la criogénica, y para evitar este salto brusco de temperatura se diseña una transición suave, desde el punto de vista de las microondas y, a su vez, es un puente térmico entre ambos medios.

La transición se hará enfrentando dos guías de onda rectangulares, una con una brida lisa tipo "cover" y la otra de tipo "choke" separadas un pequeño "gap". La profundidad del "choke" es aproximadamente  $\lambda/4$  para anular las componentes paralelas del campo eléctrico que fluyen por el "gap" transformándose en pérdidas y resonancias no deseadas en la banda de frecuencias de trabajo.

Unido a la transición, también mediante un "gap", se diseña un acoplador direccional de agujeros para la calibración del receptor. Con este diseño la transición térmica será doble, ya que hay dos etapas de temperatura, de 300K a 70K y de 70K a 20K.

Para mantener los "gaps" se construyen unos soportes de fibra de vidrio, material poco conductor del calor, que sujetan las distintas piezas de la estructura. Además, se añade un filtro IR de poliestireno dentro de la guía para minimizar la carga por radiación en el interior de la guía.

## 2. Especificaciones

La transición térmica para banda X junto con el acoplador direccional a diseñar se tienen que unir al dewar que se ha proporcionado, acorde a sus características y limitaciones (1). En la tabla 1 se muestran las especificaciones que debe cumplir la estructura final:

Parámetro	Descripción	Especificación	Ref.
$f_1-f_2$ (GHz)	Banda de frecuencias	8-9	
$f_{o1}-f_{o2}$ (GHz)	Subbanda a optimizar	8.20-8.60	
L (dB)	Perdidas inserción	0.1	
RL (dB)	Pérdidas retorno	<-25	
C (dB)	Factor de acoplo	-30±1	
ISO (dB)	Aislamiento acoplador	<-45	
RL <sub>C</sub> (dB)	Perdidas retorno acoplador	<-15	
	Guía de onda	WR112 1.122 x 0.497in (28.50 x 12.62mm)	
	Flange	UBR84 37.44 x 34.34mm M4 o UNC 8-32 TBD	Anexo A
	Envolvente	Exterior del flange. 48 x 48mm Minimizar altura en interior del criostato	Anexo A
	Fugas de vacío	<10-6mbar/l.s	
$Q_{INT}(W)$	Carga térmica en etapa intermedia	< 0.5	
$Q_{COLD}(W)$	Carga térmica en etapa fría	< 0.2	

Tabla 1: Especificaciones de la transición térmica y acoplador direccional en banda X.

La transición térmica se debe unir por la cara interna de la pieza de latón, que cierra el dewar, la cual se muestra en la figura 1. No existe mecanizado previo alrededor de la guía de onda en banda X, cuyas dimensiones son algo inferiores, de 28.4x12.5mm, frente a las del estándar de 28.5x12.62mm.



Figura 1: Vista interior de la pieza de latón.

Por la cara externa de la pieza de latón están los conectores de vacío coaxiales (SMA y N) montados al revés, con la junta de vacío en el interior del criostato.



Figura 2: Vista exterior de la pieza de latón.

En esta cara también se encuentra la ventana de vacío comercial (MDL MFR-01456 112WF16, Anexo B) junto con un o-ring, que proporciona la estanqueidad en dicha entrada. Hay que tener en cuenta que, para alinear la transición térmica y el acoplador a la ventana, los taladros que se realizaron en la pieza de latón para unirla están sobre un cuadrado de 34.34x34.34mm en lugar del flange estándar UBR84 (Anexo A). En la ventana, que originalmente tenía el flange compatible, fueron rasgados para corregir esa diferencia.

En las fotos de la figura 3 se ve la ventana comercial y, posteriormente colocada en la entrada de guía de onda, donde se aprecia como puede ser desalineada respecto a la guía de ondas debido al rasgado de los taladros.

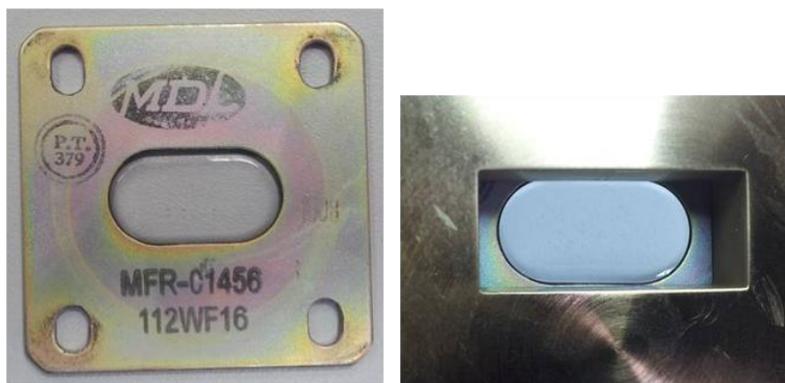


Figura 3: Ventana comercial MDL para banda X.

Por lo tanto, para evitar falta de repetibilidad en el montaje de la ventana de vacío, se une ésta a un tramo de guía de onda. Este tramo tiene por un lado los taladros sobre un cuadrado de 34.34mm de lado (para ajustar a la pieza de latón) y por el otro cumple con las dimensiones del flange. De esta forma la ventana queda fija en la posición lo más alineada posible y tras las medidas eléctricas ésta no debe desmontarse (figura 4)

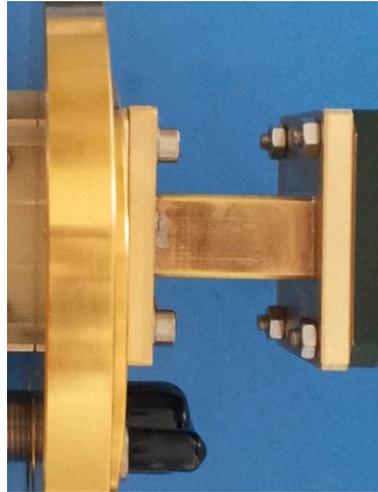


Figura 4: Detalle del tramo en guía de onda final para alinear la ventana.

### 3. Diseño eléctrico

A continuación se describen las distintas partes de las que se compone la estructura de la transición térmica junto con el acoplador direccional en guía de onda rectangular en banda X. Se han optimizado las dimensiones de cada una de ellas por separado obteniendo los siguientes resultados teóricos.

#### 3.1. Transición de coaxial a guía rectangular

La estructura final tiene cuatro puertos, tres coaxiales y uno en guía de onda rectangular. En este punto se describen las características de los puertos coaxiales, y más adelante se detalla la entrada en guía. Se emplean conectores SMA (RADIALL R125.414.000 W), como el que se muestra en la figura 5, con las dimensiones en milímetros. Los diámetros del dieléctrico teflón y del conductor interior son valores fijos pero sus longitudes se varían para obtener la mejor adaptación en estas transiciones de coaxial a guía rectangular.

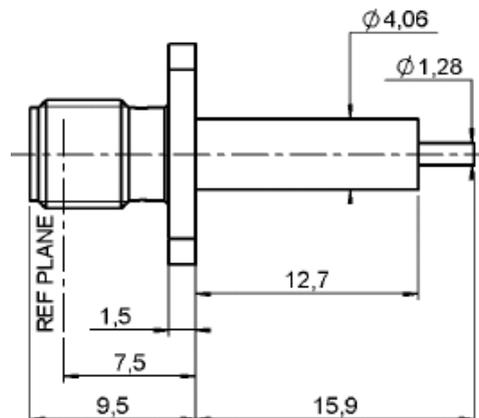


Figura 5: Dimensiones del conector SMA.

Una distancia crítica a optimizar es la posición del conector respecto del extremo de la pared de la guía rectangular. Para su correcto funcionamiento como monopolo esta distancia será aproximadamente  $\lambda_g/4$ . Otro detalle a tener en cuenta, es que se necesita un pequeño disco cilíndrico metálico soldado al final del alma del conector para conseguir adaptar las impedancias de dicho conector y la guía rectangular. Su altura y su diámetro también serán parámetros a optimizar.

El valor de  $\lambda_g$  del que se parte se calcula con las siguientes fórmulas, teniendo en cuenta las dimensiones de la guía de onda rectangular WR-112 modificada:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{300}{8.5} = 35.3mm \rightarrow l = \frac{\lambda_0}{4} = 8.82mm$$

$$f_{cTE11} = \frac{c_0}{2a} = \frac{c_0}{2 * 28.4} = 5.28GHz$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{cTE11}}{f_0}\right)^2}} = \frac{35.3}{\sqrt{1 - \left(\frac{5.28}{8.5}\right)^2}} = 45mm \rightarrow Z_{corto} = \frac{\lambda_g}{4} = 11.26mm$$

En la figura 6 se muestra un esquema de las dimensiones de la transición a optimizar y la situación del conector en la guía rectangular:

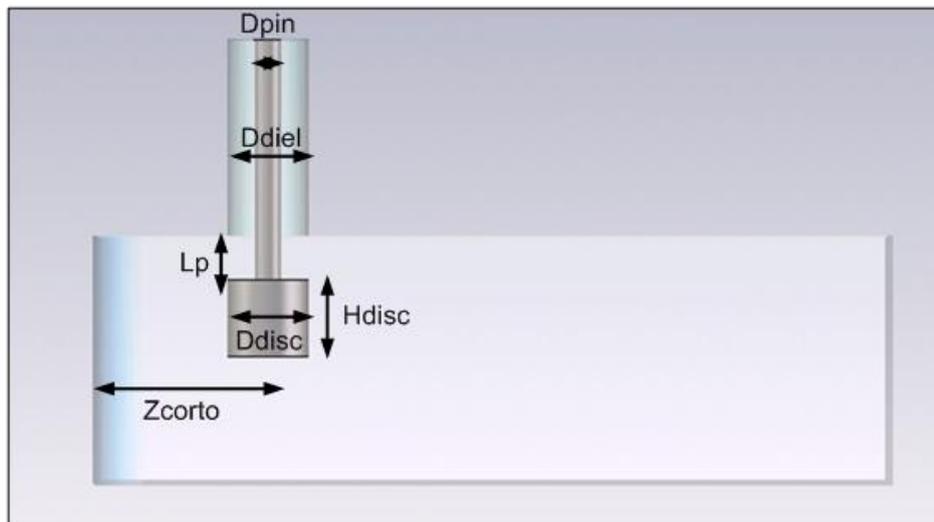


Figura 6: Esquema de la transición guía rectangular a coaxial.

Los valores obtenidos, para lograr la mejor adaptación en la banda frecuencias, se exponen en la tabla 2:

Parámetro	Valor	Descripción	Unidad
a x b	28.4 x 12.5	Guía rectangular (WR-112 modificada)	mm
Ddisc	4.07	Diámetro del disco de adaptación	mm
Hdisc	3.9	Altura del disco de adaptación	mm
Lp	2.20	Longitud del pin desnudo de 1.3mm de diámetro	mm
Zc	8.68	Distancia del conector al extremo de la guía	mm
Ddiel	4.10	Diámetro del dieléctrico teflón del conector	mm
Dpin	1.30	Diámetro del pin del conector	mm
$\epsilon$	2.10	Constante dieléctrica del teflón	
	2.5 (fresa 5mm)	Radio de curvatura del fresado de la guía	mm
	RADIALL R125.414.000 W	Referencia conector	

Tabla 2: Dimensiones de la transición guía rectangular a coaxial.

El resultado es un coeficiente de reflexión por debajo de los -35dB en toda la banda de frecuencias, como se ve en la figura 7:

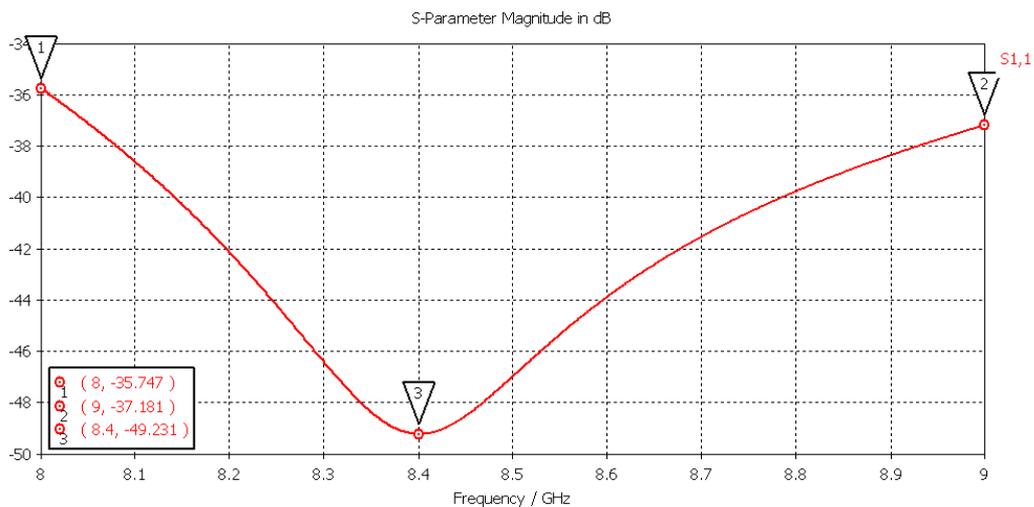


Figura 7: Coeficiente de reflexión de la transición WR a coaxial.

### 3.2. Acoplador direccional

En este punto se describe el acoplador direccional que servirá para inyectar la señal de ruido y calibrar el receptor, así como para dirigir la señal hacia el LNA. El diseño se realiza en tecnología de guía de onda rectangular en el que se unen dos guías, una principal y otra secundaria, por la cual se acopla parte de la potencia que viaja por la principal. Es un dispositivo de cuatro puertos, recíproco y simétrico y el desplazamiento de la señal tendrá una dirección u otra en función de que puerto se cargue con  $50\Omega$ .

La unión de las guías y el acoplo de la señal se lleva a cabo a través de una lámina de 1mm de espesor a la que se le practican 8 agujeros separados como se muestra en la figura 8.

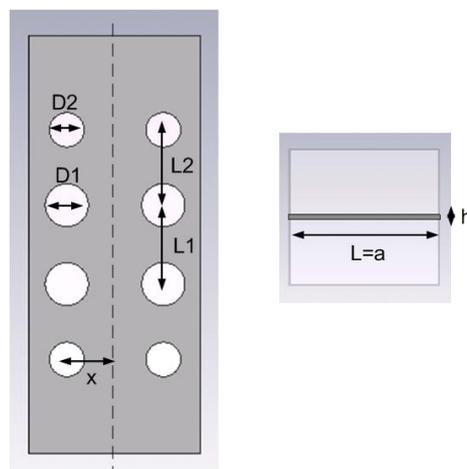


Figura 8: Esquema de la lámina de 8 agujeros.

La señal de calibración se inyecta por uno de los puertos coaxiales, según se representa en la figura 9:

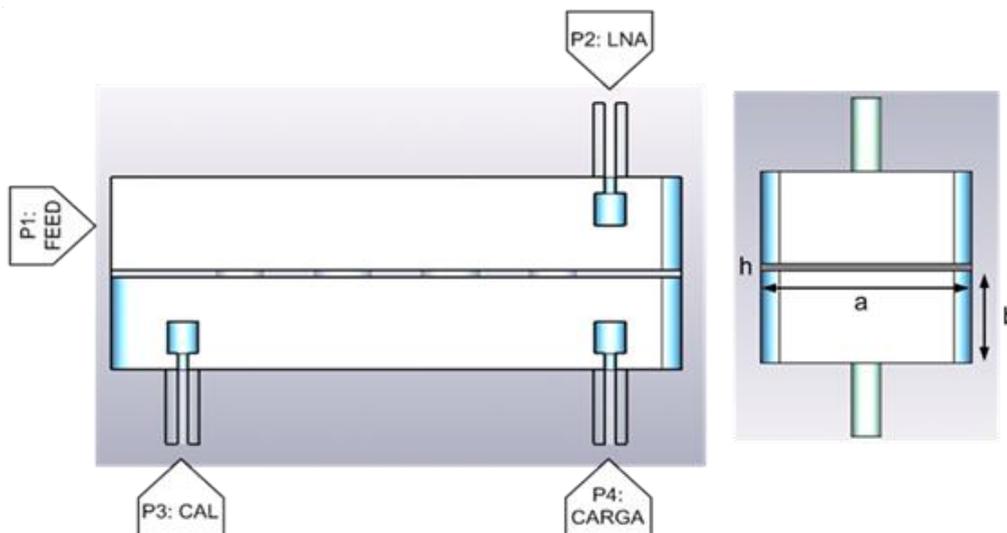


Figura 9: Esquema del acoplador direccional con los conectores SMA. a) Vista lateral. b) Vista frontal.



El puerto 1 es por el que se recibe la señal que posteriormente irá al LNA (P2). Este puerto junto con el de calibración y el, que se carga con  $50\Omega$ , se han descrito en el punto anterior como transiciones de coaxial a guía rectangular. Las dimensiones del acoplador se optimizan para obtener un factor de acoplo entre P2 y P3 de  $-30\text{dB}$ , un aislamiento entre P1 y P3 de  $-45\text{dB}$ , unas pérdidas de inserción mínimas y unas pérdidas de reflexión inferiores a los  $-25\text{dB}$  en cada puerto.

El valor final de cada parámetro se expone en la tabla 3:

Parámetro	Valor	Descripción	Unidad
a x b	28.4 x 12.5	Guía rectangular (WR-112 modificada)	mm
	2.5(fresa 5mm)	Radio de curvatura en fresado de la guía	mm
D2	5.8	Diámetro del agujero pequeño	mm
D1	7.2	Diámetro del agujero grande	mm
L1	6.6	Distancia desde la mitad de la guía al centro del agujero grande (en $\hat{z}$ )	mm
L2	12.6	Distancia del centro del agujero grande al centro del pequeño (en $\hat{z}$ )	mm
h	1	Espesor lámina entre guías rectangulares	mm
x	7.3	Distancia desde el centro de guía al centro de los agujeros (en $\hat{x}$ )	mm
Ddisc	3.8	Diámetro del disco de adaptación	mm
Hdisc	4.3	Altura del disco de adaptación	mm
Lp	2.20	Longitud del pin desnudo de 1.3mm de diámetro	mm
Zc	8.8	Distancia al extremo de la guía rectangular	mm
Ddiel	4.10	Diámetro del dieléctrico del conector	mm
Dpin	1.30	Diámetro del pin del conector	mm
$\epsilon$	2.10	Constante dieléctrica del teflón	
	RADIALL R125.414.000 W	Referencia conector	

Tabla 3: Dimensiones del acoplador direccional con conectores.



Los resultados teóricos se representan en las figuras 10 y 11. El coeficiente de reflexión de los puertos 1 y 3 (verde) es inferior a los -23dB y para los puertos 2 y 4 (azul) menor a los -27dB. Un factor de acoplo lineal entorno a los -29dB y un aislamiento entre las entradas 1 y 3 por debajo de los -47dB.

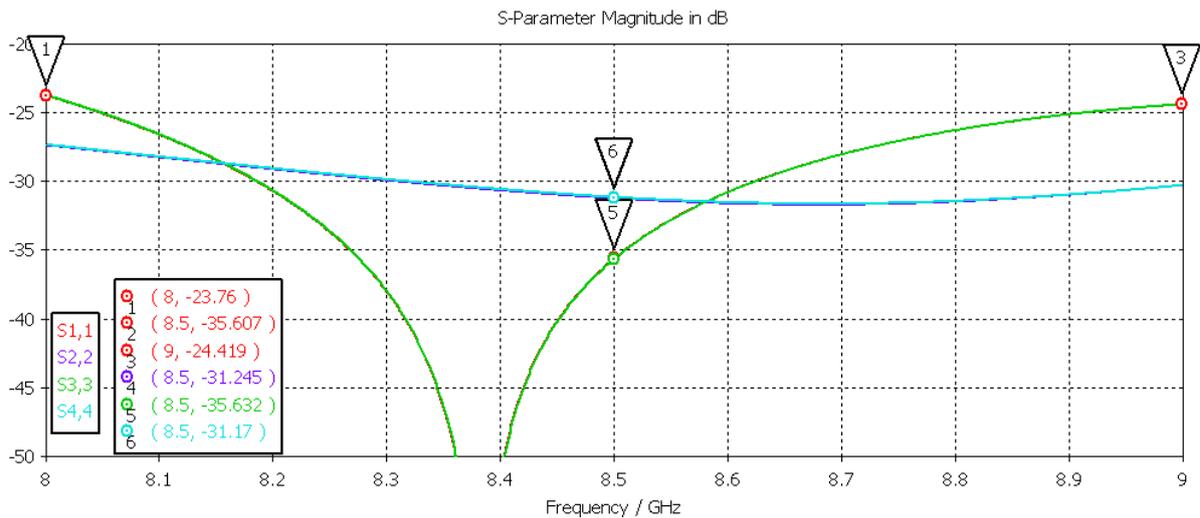


Figura 10: Coeficiente de reflexión de los cuatro puertos,  $S_{11}$  y  $S_{33}$  (verde),  $S_{22}$  y  $S_{44}$  (azul).

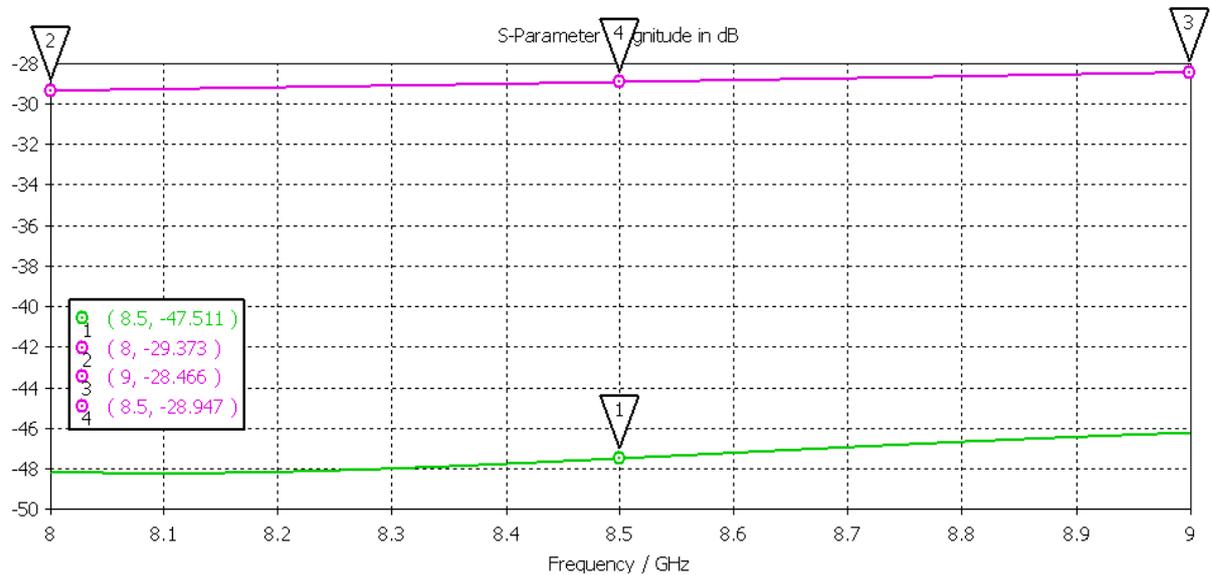


Figura 11: Factor de acoplo (morado) y aislamiento (verde).

### 3.3. Transición térmica

La entrada en guía de onda rectangular tiene una variación de temperatura muy alta, desde la ambiente hasta la criogénica, y para evitar este salto brusco de temperatura se diseña una transición suave, desde el punto de vista de las microondas y, a su vez, es un puente térmico entre ambos medios.

La transición se diseña uniendo a la entrada una brida tipo “choke” separada un pequeño “gap”. La profundidad del “choke” ( $hch$ ) es aproximadamente  $\lambda 0/4$ . De la misma forma el acoplador se une a la brida con un segundo “choke” separados por un “gap”. El diámetro, el grosor del “choke” y el “gap” son parámetros de diseño para adaptar la estructura con las mínimas pérdidas.

En las figuras 12 y 13 se observan las vistas en sección de la brida y los parámetros de diseño.

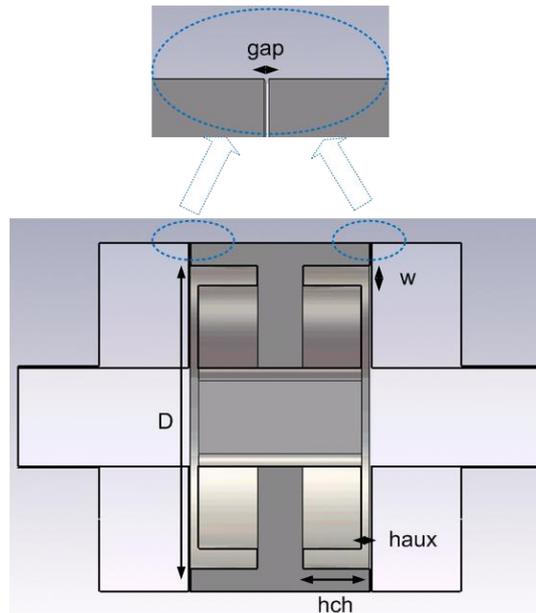


Figura 12: Esquema de la brida de entrada con los “chokes” y “gaps”.

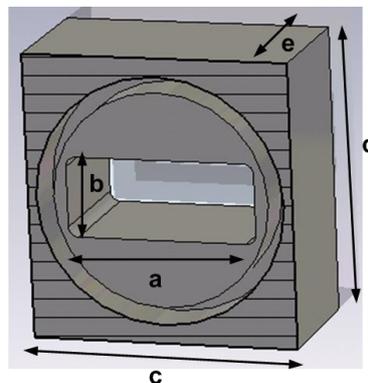


Figura 13: Vista en sección de la brida.

En la tabla 4 se ven los valores finales los parámetros y en la figura 14 el coeficiente de reflexión por debajo de los -30dB:

Parámetro	Valor	Descripción	Unidad
a x b	28.4 x 12.5	Guía rectangular (WR-112 modificada)	mm
c x d x e	40 x 43 x 22	Dimensiones brida	mm
D	35	Diámetro del "choke"	mm
w	2.5	Ancho del "choke"	mm
hch	8.2	Profundidad del "choke"	mm
hax	1	Desnivel en el "choke"	mm
"gap"	0.25	"gap"	
	1.5(fresa 3mm)	Radio de curvatura en fresado de la guía	

Tabla 4: Dimensiones de la brida con "chokes" y "gaps".

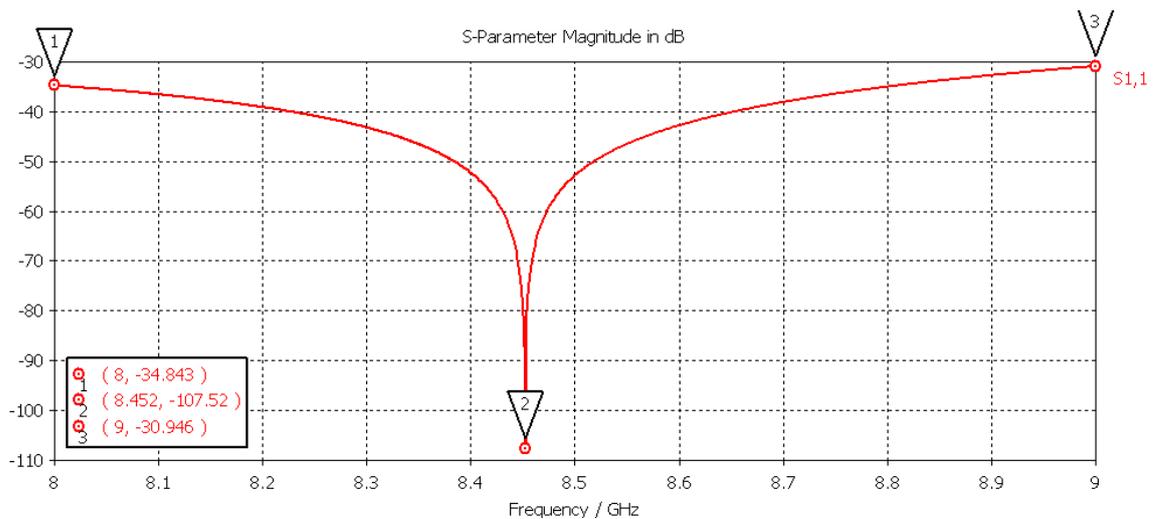


Figura 14: Coeficiente de reflexión de la brida con "chokes".

## 4. Diseño mecánico y construcción

Una vez optimizadas las dimensiones de las distintas partes se procede a su construcción en los laboratorios del Observatorio de Yebes para completar su caracterización. Para ello se dibuja en AUTOCAD el conjunto en 3D, como se ve en la figura 15, y se generan todos los planos necesarios (Anexo C):

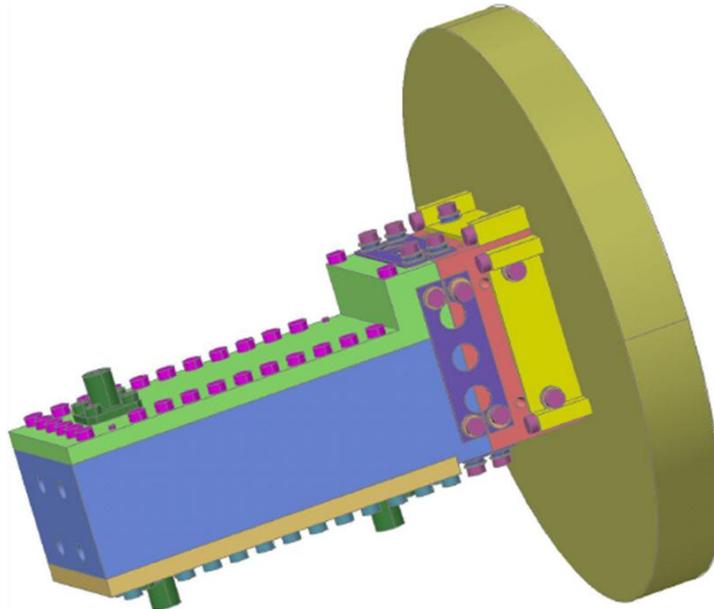


Figura 15: Dibujo en 3D de la estructura final.

### 4.1. Transición de coaxial a guía rectangular

La transición se realiza mecanizando el dieléctrico teflón y el pin del conector RADIALL R125-414-00W según el plano de la Figura 37. El pin debe ser algo más largo que la medida final para que se inserte en el disco, el cuál será de 3.8mm de diámetro y 4.3mm de altura. El resultado final se ve en la figura 16.



Figura 16: Foto del conector con disco construido.

## 4.2. Acoplador direccional

Las características del acoplador se han detallado en el punto 4.2. Se realiza un doble cajeado en guía de onda rectangular de 28.4x12.5mm empleando una fresa de 2.5mm de radio. Entre ambos cajeados queda 1mm de material donde se practican los 8 agujeros del acoplador según se ve en los planos de la Figura 38. Para cerrar las guías se emplean dos tapas, donde se pondrán los conectores. En las paredes se realizan varios taladros de métrica 2 (con diámetro 2.1mm para su mejor roscado), junto con 2 pines de alineación en cada tapa.

Además se hacen taladros de M4, para alinear con el kit de calibración en guía de onda, y otros 4 para colocar sensores de temperatura o mallas.

El resultado se ve en las fotos de la figura 17:

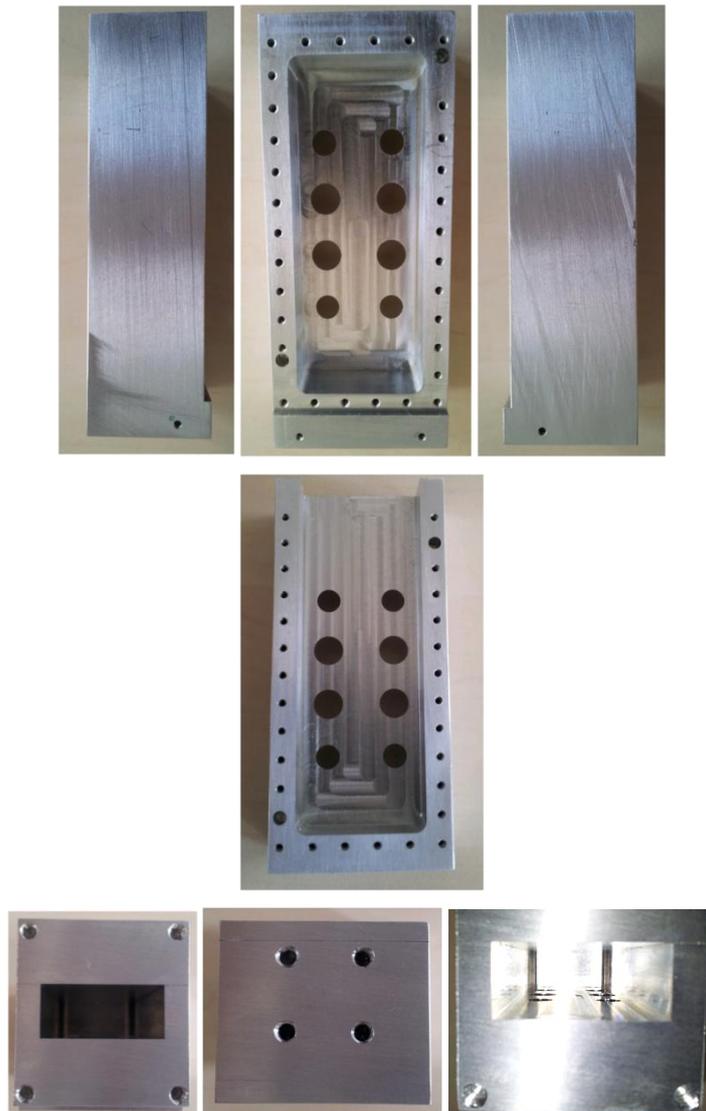


Figura 17: Fotos del acoplador direccional construido.

### 4.3. Transición térmica

La brida tipo “choke” se une a la entrada del criostato con un “gap” de 0.25mm y, de la misma forma, al acoplador direccional. La sujeción se lleva a cabo con unos soportes de fibra que se describen en el siguiente punto. Lleva dos “chokes”, uno a cada lado, de profundidad  $\lambda/4$ .

También se taladran M4 para la posterior calibración, M2.5 para colocar mallas y M2 para los soportes de fibra. Todos según los planos de la Figura 39.

Dentro de la guía rectangular se coloca un filtro IR de poliestireno azul para minimizar la carga por radiación en su interior.

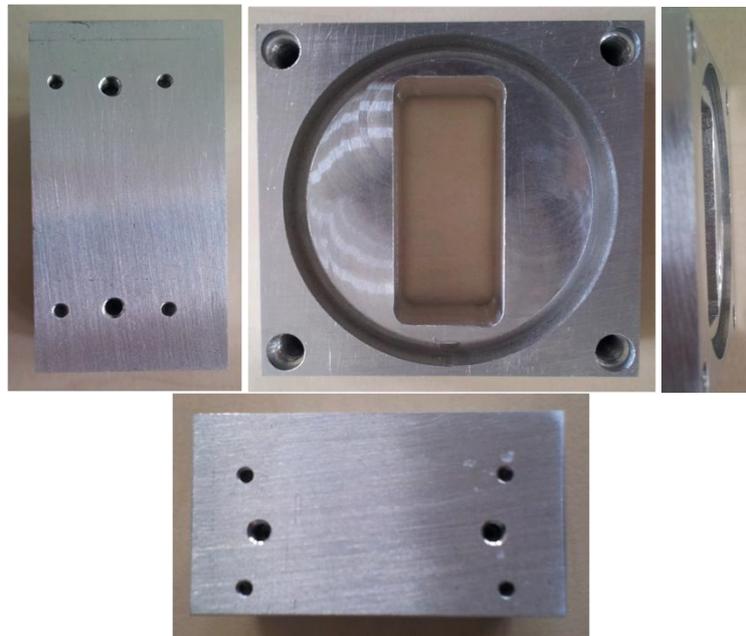


Figura 18: Fotos de “choke” construido.

#### 4.4. Tapa curva

Una de las tapas se coloca en el plano de la entrada en guía de onda. Se taladra un agujero de diámetro 4.1mm para colocar uno de los conectores adaptados a la guía rectangular que llevará la señal al LNA. También se practican taladros M2 para los soportes de fibra. Todo según los planos de la Figura 40.

La tapa lleva agujeros pasantes de 2.1mm para los tornillos M2, que la unen a la caja. Debido a que los conectores van sobre la tapa, se realizan dos taladros de precisión de 2mm de diámetro para introducir dos pines. Estos taladros se realizan a la vez sobre la tapa y el bloque del acoplador direccional, tal y como se ve en la figura 19.

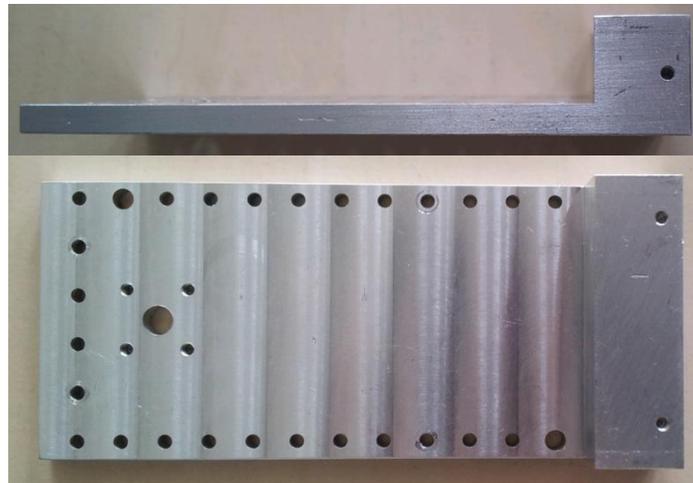


Figura 19: Fotos de la tapa curva construida.

#### 4.5. Tapa plana

La otra tapa es plana y se coloca al otro lado del acoplador. Lleva dos conectores con sus correspondientes discos de adaptación, por uno se inyectará la señal de calibración y el otro estará cargado con  $50\Omega$ . De igual forma que la tapa curva se realizan taladros de 2.1mm de diámetro para unirla al acoplador y los pines de precisión.

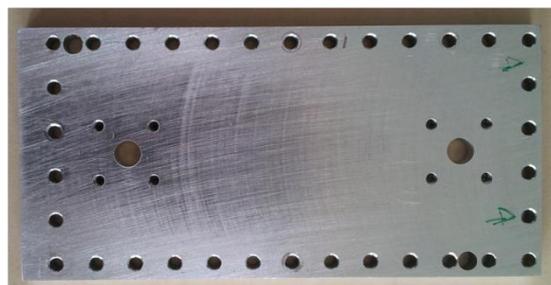


Figura 20: Fotos de la tapa plana construida.

#### 4.6. Soportes fibra

Para sujetar las distintas partes con el “gap” de 0.25mm se construyen unos soportes de fibra de vidrio, ya que posee baja conductividad térmica a temperaturas criogénicas y buena rigidez. Se construyen dos tipos: unos soportes planos y otros en forma de U.

#### 4.7. Soportes planos

Los soportes planos son cuatro láminas de 0.6mm de espesor, 12mm de ancho y 35mm de largo, según los planos de la Figura 42. Se han realizado a partir de una placa de circuito impreso de 1.6mm de espesor que ha sido reducida mediante fresado.

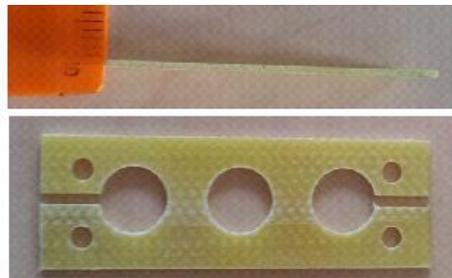


Figura 21: Fotos del soporte plano de fibra construido.

Para disminuir la conductividad térmica del soporte se han practicado tres taladros de 6mm de diámetro, y así reducir el área transversal de contacto entre las partes a unir. Las láminas se fijan con tornillos M2 y cuatro arandelas, 3 planas y 1 tipo “grover” para minimizar la superficie de contacto y dar mayor rigidez al soporte a temperaturas criogénicas, como se detalla en la figura 22:

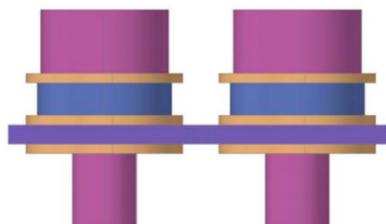


Figura 22: Detalle de la situación de las arandelas en el soporte de fibra.

#### 4.8. Soportes en U

Los soportes anteriores fijan la brida al acoplador. Para unir la brida a la pieza de latón que cierra el criostato, se construyen otros 3 soportes según el plano de la Figura 43. Para poder dejar el “gap” de 0.25mm se rasgan los 2 taladros de 2.5mm de diámetro y, junto con las galgas de 0.25mm se ajustan los tornillos.

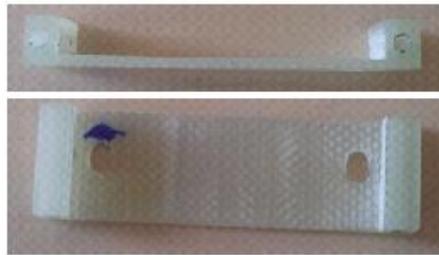


Figura 23: Fotos del soporte en U en fibra construido.

#### 4.9. Bloque completo

En la figura 24 se presenta una foto del bloque completo antes de unirse a la pieza de latón. El montaje requiere el uso de galgas calibradas para reproducir el “gap” deseado y que éste sea uniforme en toda la guía.



Figura 24: Foto de las cuatro piezas unidas por los soportes de fibra.

## 5. Medidas

Una vez construidas las piezas se procede a medir la cadena completa en el analizador de redes mediante sus parámetros S. Se realizan varias medidas para comprobar su correcto funcionamiento: el factor de acoplo, las pérdidas que introduce la cadena, la reflexión de cada puerto, el aislamiento entre las entradas y la directividad.

### 5.1. Calibración

El acoplador queda montado tal y como se muestra en la figura 29. Debido a que la ventana de vacío tiene los taladros rasgados y su alineado con el resto de las guías es bastante impreciso, la transición final de guía rectangular a coaxial no se debe desmontar una vez haya sido medida, ya que previsiblemente cambiaría el alineamiento de las guías y saldrían resultados diferentes.

Antes de empezar a medir la cadena completa se obtienen las pérdidas que introduce la transición de guía rectangular a coaxial, por la que se introduce la señal de alimentación. La transición se conecta solamente al acoplador y se mide primero en los puertos 1 y 2 y luego en los puertos 3 y 4, como se ve en las figura 25:

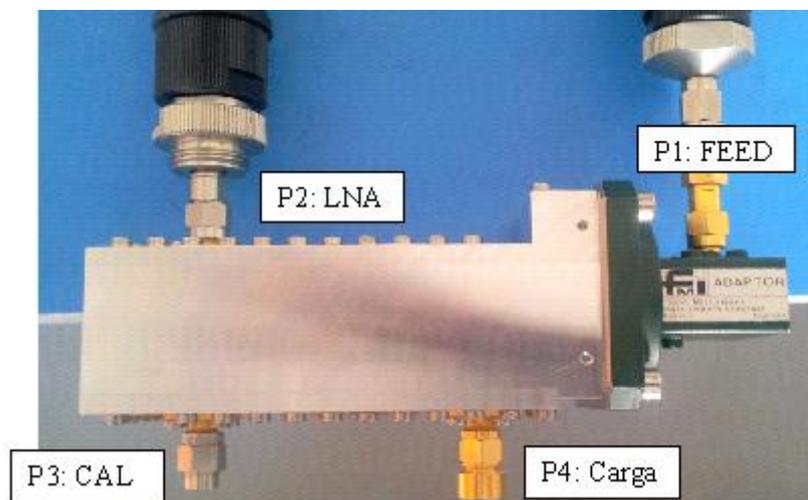


Figura 25: Montaje para medir las pérdidas de insercción de la guía rectangular y la transición.

Se miden las pérdidas entre los puertos 1 y 2 y se cargan los puertos 3 y 4 con  $50\Omega$ . Las pérdidas que introducen la guía rectangular más la transición son aproximadamente de  $-0.2\text{dB}$ , como se representa en la figura 26:

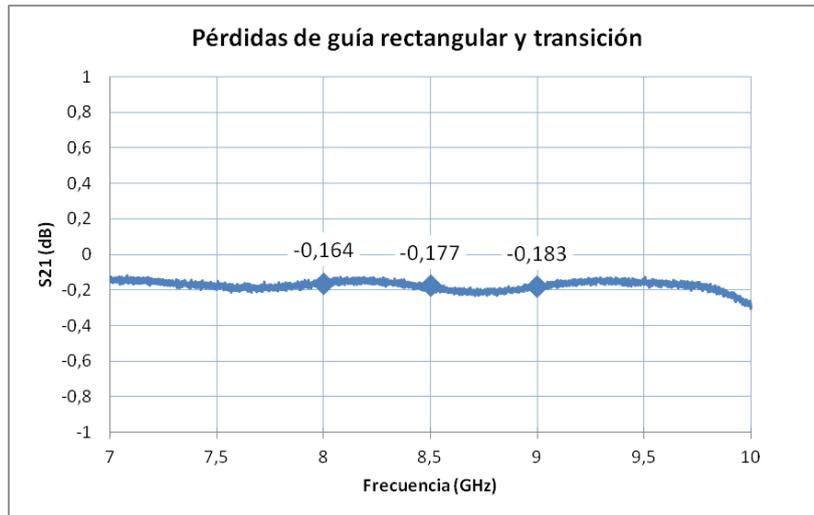


Figura 26: Pérdidas de inserción de la guía rectangular y la transición.

Después se miden las pérdidas que introduce la guía rectangular midiendo en los puertos 3 y 4 y cargando los puertos 1 y 2 con  $50\Omega$ . Las pérdidas son aproximadamente de  $-0.1\text{dB}$ . Por lo cual las que introduce la transición serán de  $-0.1\text{dB}$ :

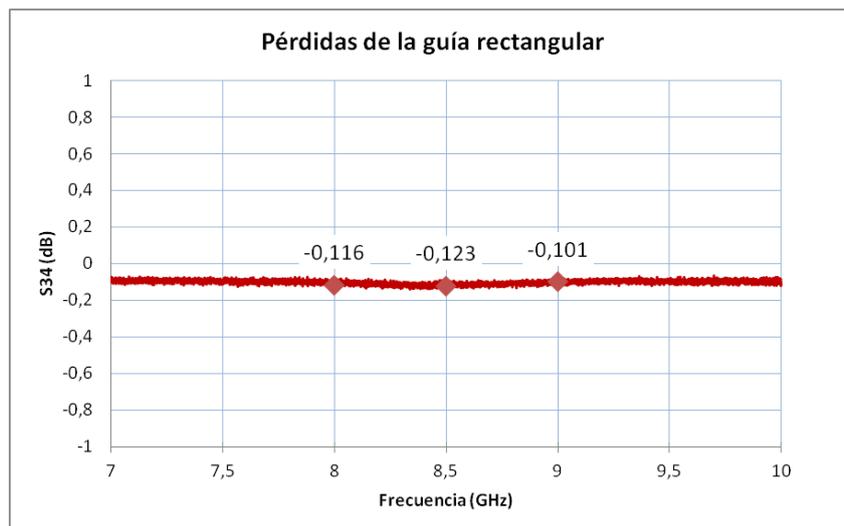


Figura 27: Pérdidas de inserción de la guía rectangular.

Otra medida para caracterizar el montaje final es representar la reflexión de uno de los puertos, por ejemplo, del puerto 2 (LNA), en el dominio del tiempo. En la figura 28 se observan tres picos que se deben a las distintas discontinuidades que sufre la señal a través de la estructura. El primero es el conector del puerto, después la unión de la brida de “chokes” con la pieza de latón y, por último, la transición de guía rectangular a coaxial. Éste último tiene mayor amplitud porque la carga de  $50\Omega$  no es tan buena como la carga que proporciona el cable del analizador de redes.

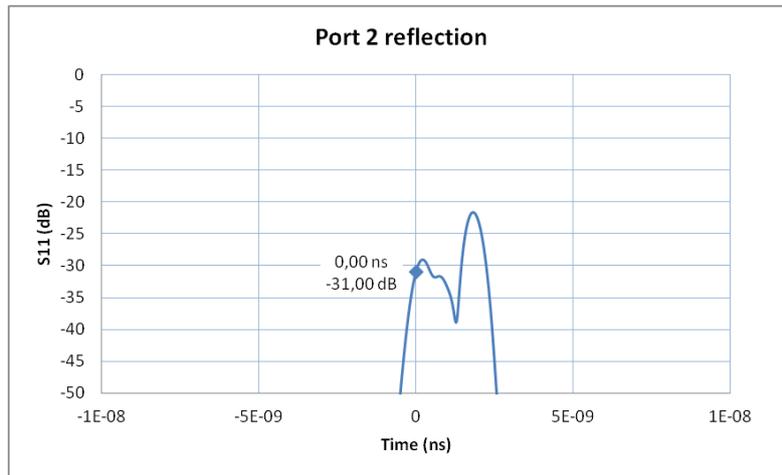


Figura 28: Coeficiente de reflexión del puerto 2 en el dominio del tiempo.

## 5.2. Coeficiente de acoplo

Si se conecta el analizador a los puertos 2 (LNA) y 3 (calibración), como se ve en la foto de la figura 29, se obtendrá el factor de acoplo de la estructura.

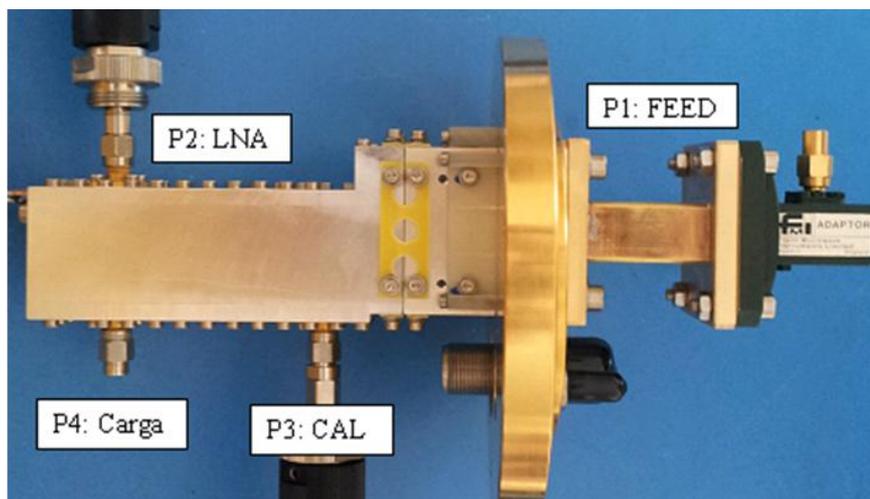


Figura 29: Montaje para medir el factor de acoplo.

Se consigue un factor de acoplo lineal entorno a los -27dB. En el caso de querer un factor de -30dB se podría colocar un atenuador de -3dB en el puerto 2 que se conecta al amplificador.

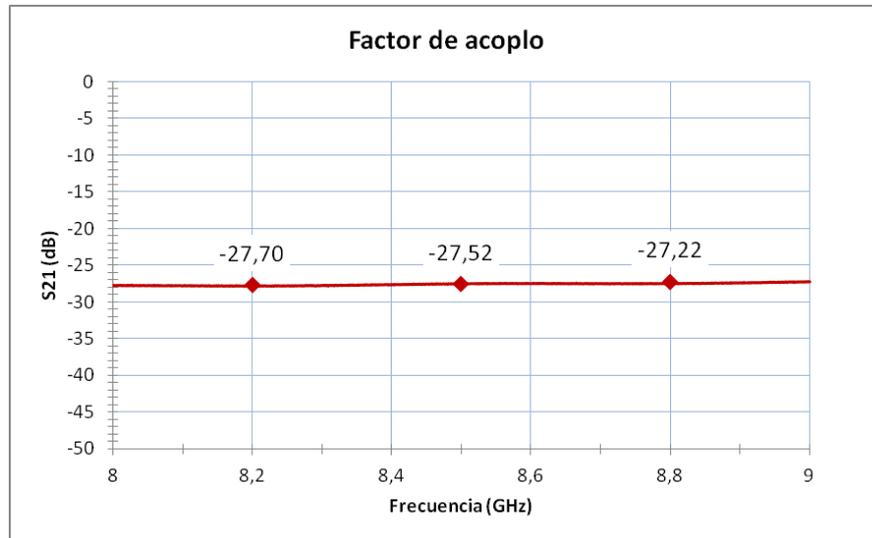


Figura 30: Factor de acoplo.

### 5.3. Pérdidas de inserción y reflexión

En esta medida se conecta el analizador en los puertos de alimentación (P1) y en la salida al LNA (P2), cargando con  $50\Omega$  los puertos 3 y 4, como se ve en la foto de la figura 31.

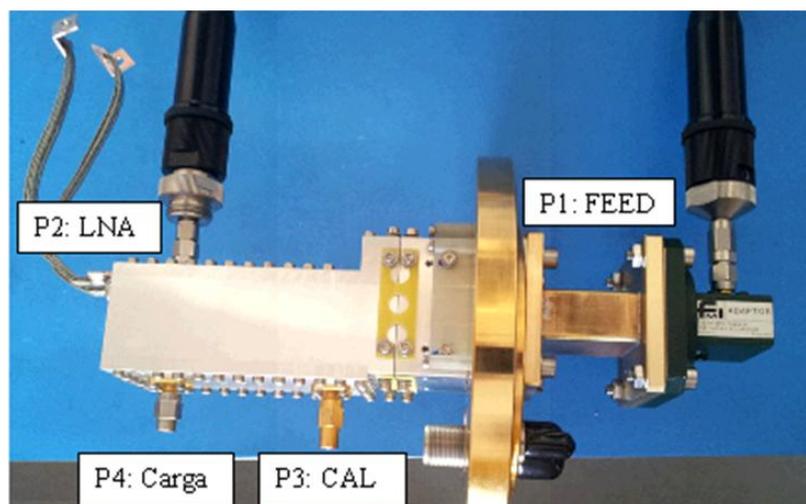


Figura 31: Montaje para medir las pérdidas de inserción que introduce la cadena.

En las figuras 32 y 33 se representan las medidas obtenidas en la banda de frecuencias de trabajo. Unos coeficientes de reflexión por debajo de los -20dB y las pérdidas entorno a los -0.17dB.

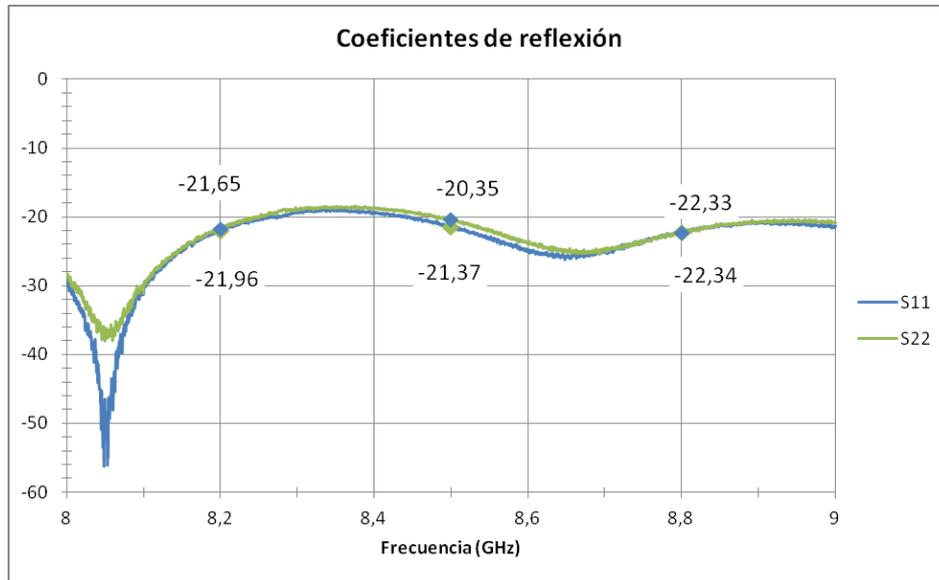


Figura 32: Coeficiente de reflexión de los puertos 1 y 2.

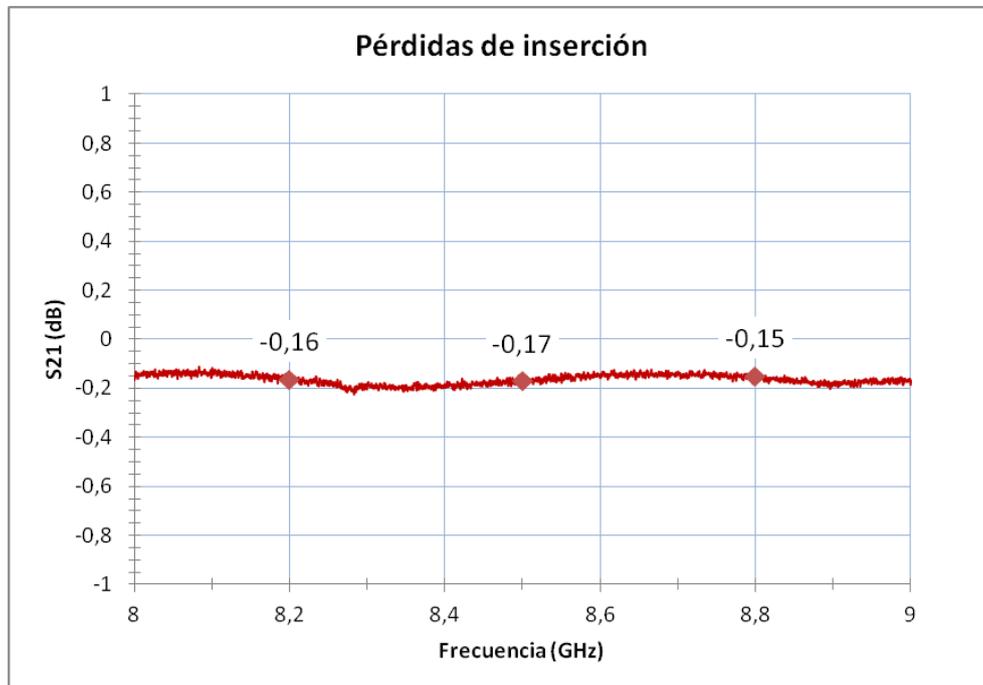


Figura 33: Pérdidas de inserción de la cadena completa.

## 5.4. Aislamiento de la cadena

Otra medida es el aislamiento entre la entrada de alimentación (P1) y la entrada de la señal de calibración (P3). Se cargan con  $50\Omega$  los puertos 2 y 4, tal y como muestra la foto de la figura 34.

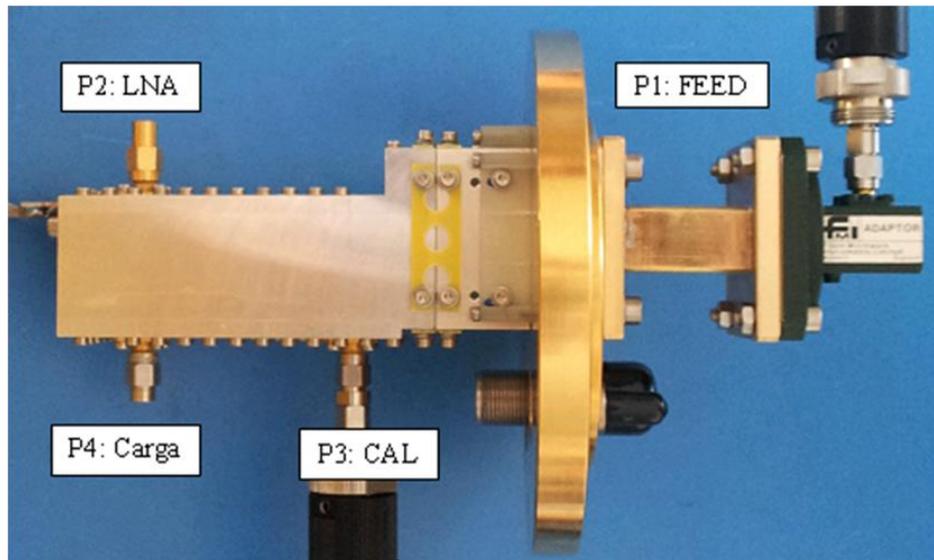


Figura 34: Montaje para medir el aislamiento de la cadena.

En la figura 35 se representa el aislamiento ( $S_{21}$ ) por debajo de los  $-44\text{dB}$  en la banda de frecuencias y el coeficiente de reflexión del puerto 3, por debajo de los  $-22\text{dB}$ .

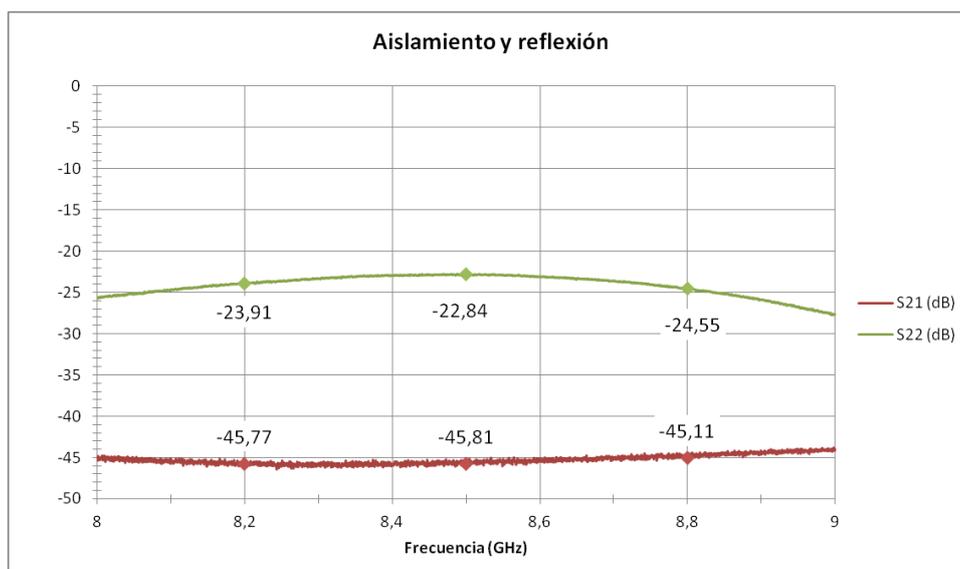


Figura 35: Aislamiento de la cadena y coeficiente de reflexión del puerto 3.



Por último, se puede calcular la directividad en la banda de frecuencias restando el aislamiento y el factor de acoplo.

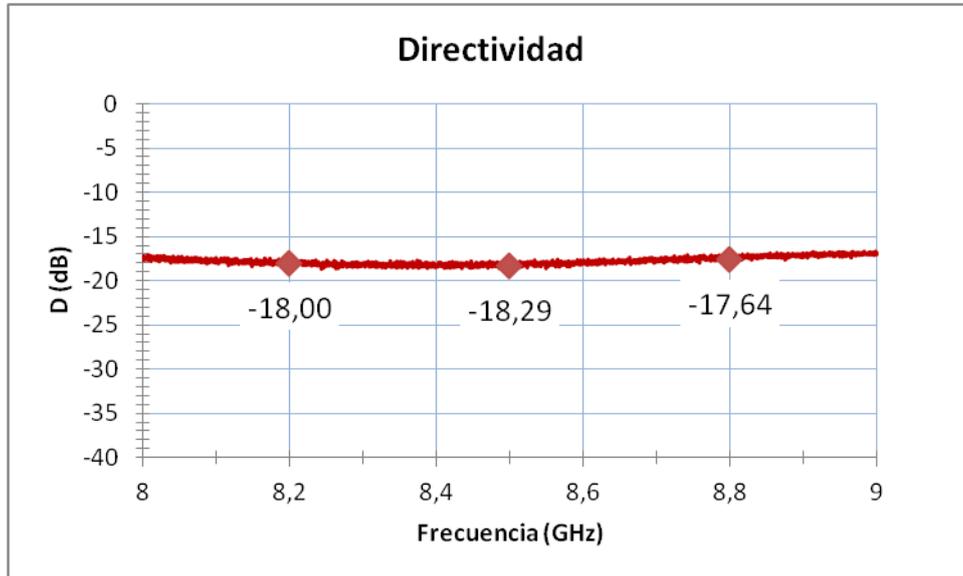


Figura 36: Directividad.

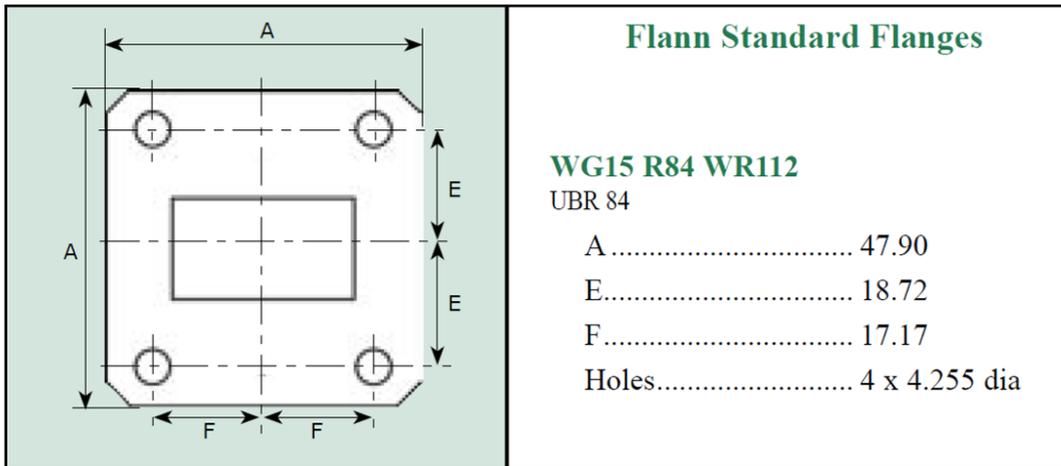


## 6. Referencias

1. **F. Tercero, L. Vigil, J. A. López-Fdez.** *"Diseño y construcción de una transición en guía de ondas en banda X para el criostato alemán en O'Higgins. Especificaciones"*. Yebes, Guadalajara : s.n., 2013.
2. **López-Fdez, J. A.** *"Entrada en guía WR-112 del criostato VLBI"*. Yebes, Guadalajara : IT OAN, Abril 1994.



## Anexo A Dimensiones del flange UBR84.





## Anexo B Hoja de características de ventanas de presión MDL

### Pressure Windows waveguide

WG SIZE	FREQ. RANGE (GHz)	ELECTRICAL DATA				MECHANICAL DATA			
		MODEL NUMBER	MAX. VSWR	PEAK POWER (KW) ***	MAX. PRESSURE (PSIG) *	STYLE NO.	LENGTH A	FRAME WIDTH B	THICKNESS C
<b>Flange Windows</b>									
WR28	26.5-40.0	28WT16	1.15	45	30/20	2	0.75	0.75	0.06
	34.0-36.0	28WT26	1.06	45	30/20	2	0.75	0.75	0.06
WR34	22.0-33.0	34WT16	1.15	50	30/20	2	0.87	0.87	0.06
WR42	18.0-26.0	42WT16	1.15	60	30/20	2	0.87	0.87	0.06
WR51	15.0-22.0	51WT16	1.10	100	45/45	2	1.31	1.31	0.12
WR62	12.4-18.0	62WT16	1.10	150	45/45	2	1.31	1.31	0.12
		62WT46→	1.10	150	45/45	2	1.31	1.31	0.12
WR75	10.0-15.0	75WT16	1.10	300	45/45	2	1.50	1.50	0.12
WR90	8.2-12.4	90WT36-1**	1.10	500	45/45	2	1.62	1.62	0.12
		90WT36-2**	1.10	500	45/45	2	1.62	1.62	0.12
		90WT36-3**	1.12	500	45/45	2	1.62	1.62	0.19
	10.2-10.6	90WT46→	1.08	500	45/45	2	1.62	1.62	0.12
	8.2-12.4	90WT56*	1.10	500	45/45	2	1.62	1.62	0.37
	8.2-11.0	CPR90WT16	1.10	300	30/30	1	2.09	1.59	0.12
	8.2-12.4	90WT16	1.10	300	45/45	2	1.62	1.62	0.12
	8.5-9.6	90WT26	1.08	300	45/45	2	1.62	1.62	0.12
8.2-12.4	90WT66*	1.10	500	45/45	2	1.62	1.62	0.75	
WR102	7.05-11.0	102WT16	1.10	800	45/45	2	1.68	1.68	0.12
WR112	7.05-10.0	CPR112WT16	1.10	500	30/30	1	2.50	1.75	0.12
	8.5-9.6	112WT26	1.08	500	45/45	2	1.87	1.87	0.12
	7.05-10.0	112WT16	1.10	500	45/45	2	1.87	1.87	0.12
WR137	5.85-8.2	137WT16	1.10	1000	45/45	3	3.12 Dia.		0.18
		CPR137WT16	1.10	1000	30/30	1	2.69	1.94	0.19
WR187	3.95-5.85	187WT16	1.10	1500	45/45	3	3.62 Dia.		0.25
		CPR187WT16	1.12	1500	30/30	1	3.50	2.50	0.25
	3.3-4.9	CPR229WT16	1.10	1750	30/30	1	3.88	2.75	0.25
WR284	2.6-3.95	284WT16	1.10	2000	45/45	3	5.31 Dia.		0.25
		CPR284WT16	1.10	2000	45/45	1	4.50	3.00	0.25

STYLE 1

STYLE 2

STYLE 3

**Notes:**

- \* The higher number indicates maximum pressure applied to the insert side of the window.  
The other number is the max. pressure applied to the opposite side of the window provided the insert side is supported by a cover flange.
- Choke/flat window adapter.  
Flange configuration other than those shown are available on special order.
- ♦ Choke/choke window adapter.
- ▲ Nominal, .xx = 0.020 inches.
- \*\* 90WT36 groove equivalent to WR90 choke "O" ring groove.  
MOD 1 with groove on insert side.  
MOD 2 with groove on flat side.  
MOD 3 with groove on both sides
- \*\*\* Duty cycle .001

## Anexo C Planos en AUTOCAD

- Transición de coaxial a guía rectangular.

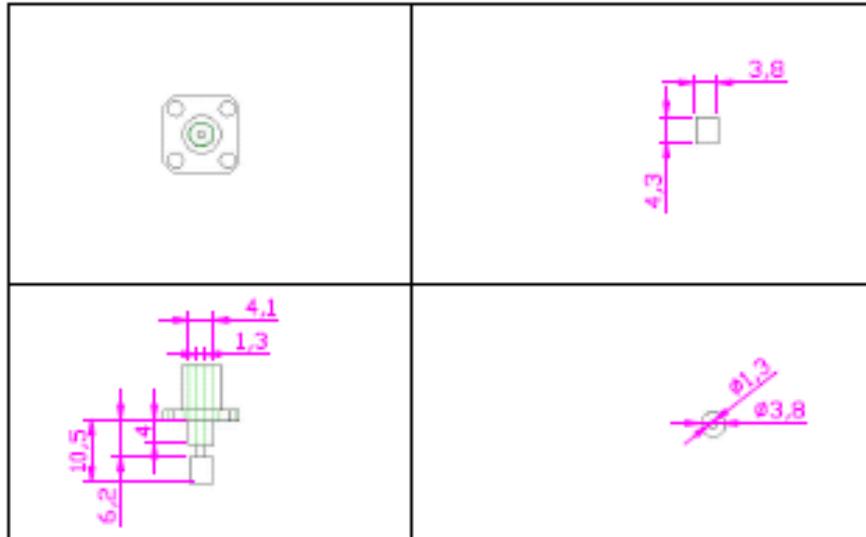


Figura 37: Planos en AUTOCAD del conector.





- Brida de "chokes"

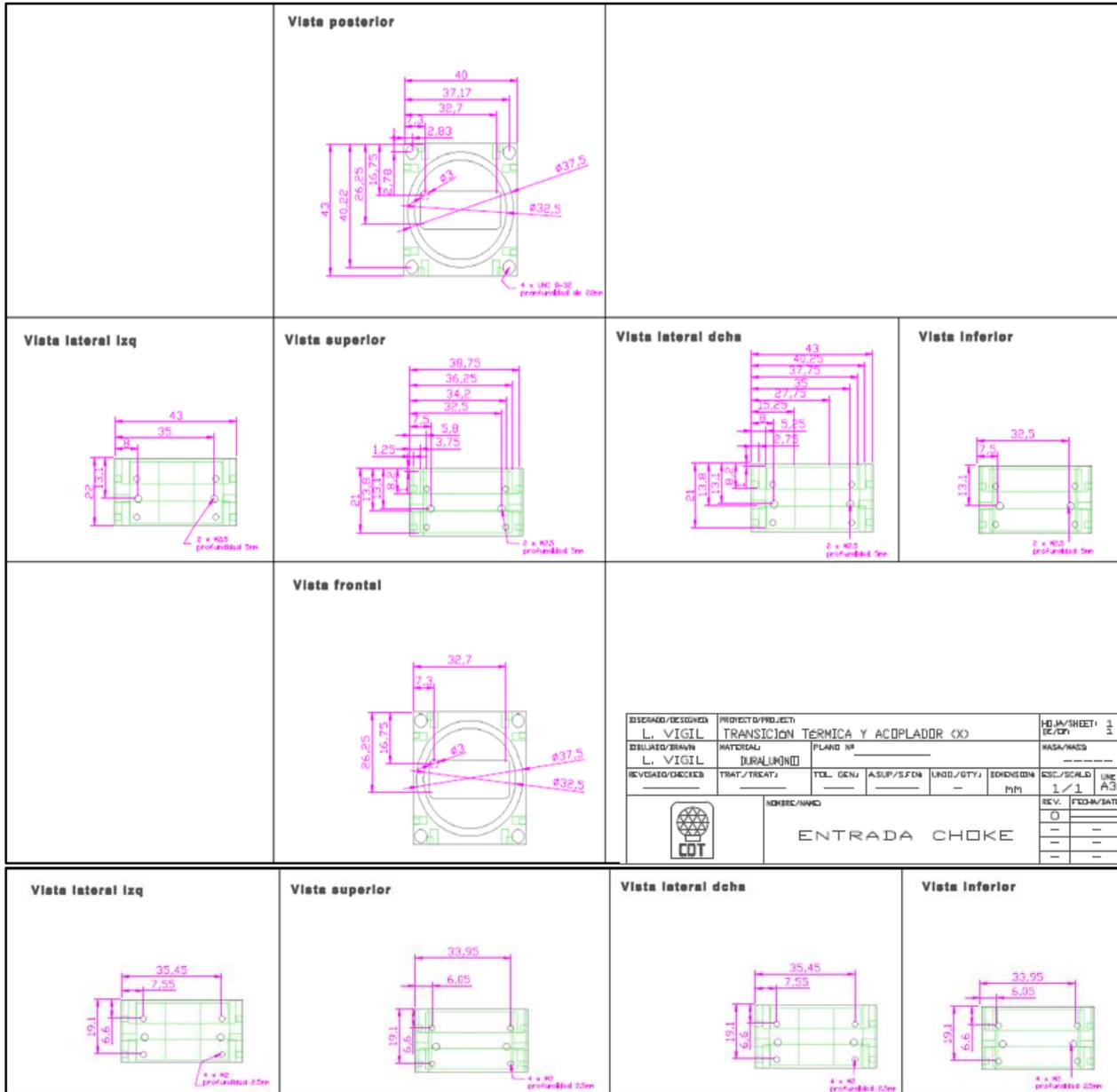


Figura 39: Planos en AUTOCAD de la brida de "chokes".

- Tapa curva

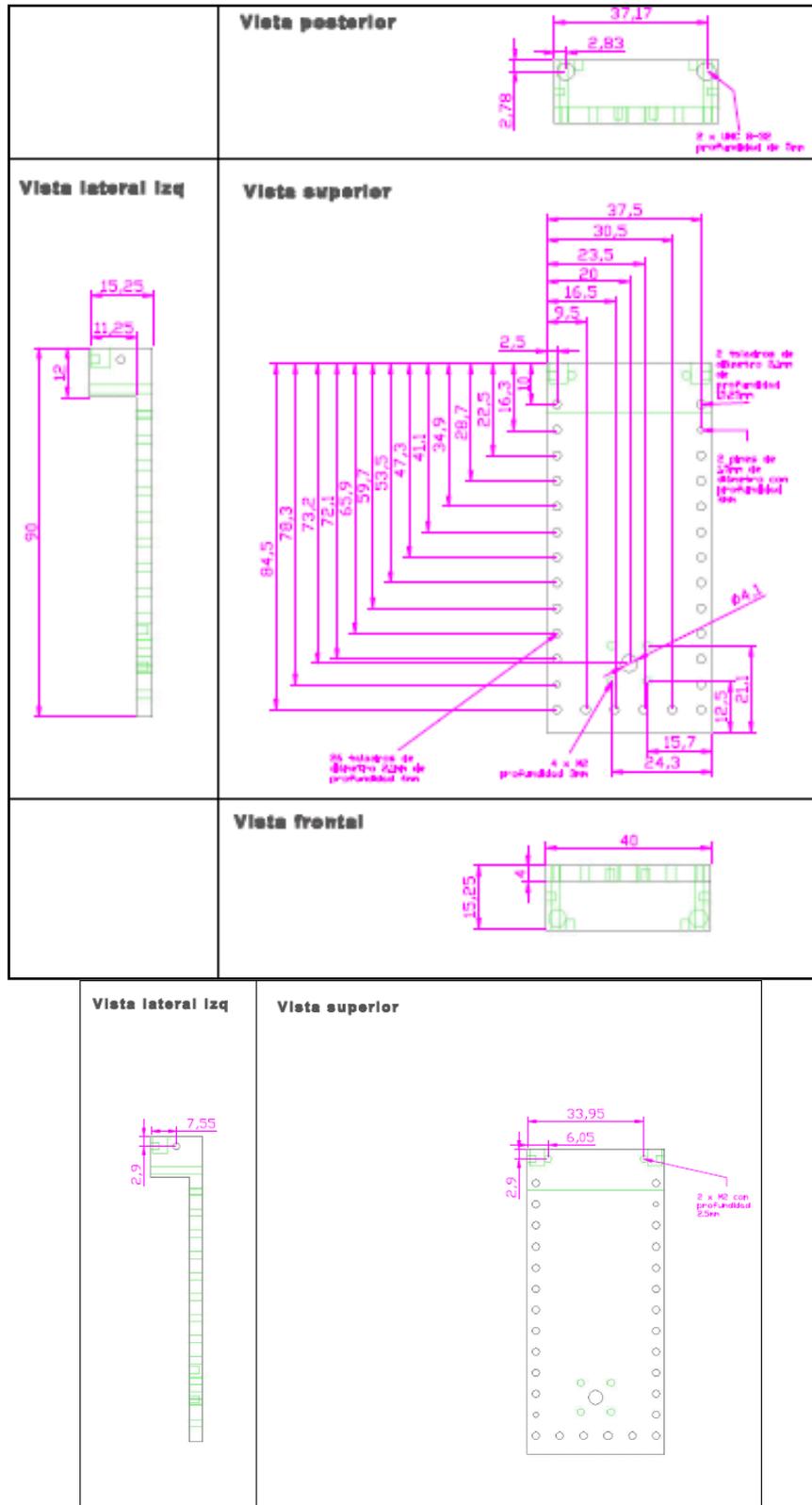


Figura 40: Planos en AUTOCAD de la tapa curva.

- Tapa plana

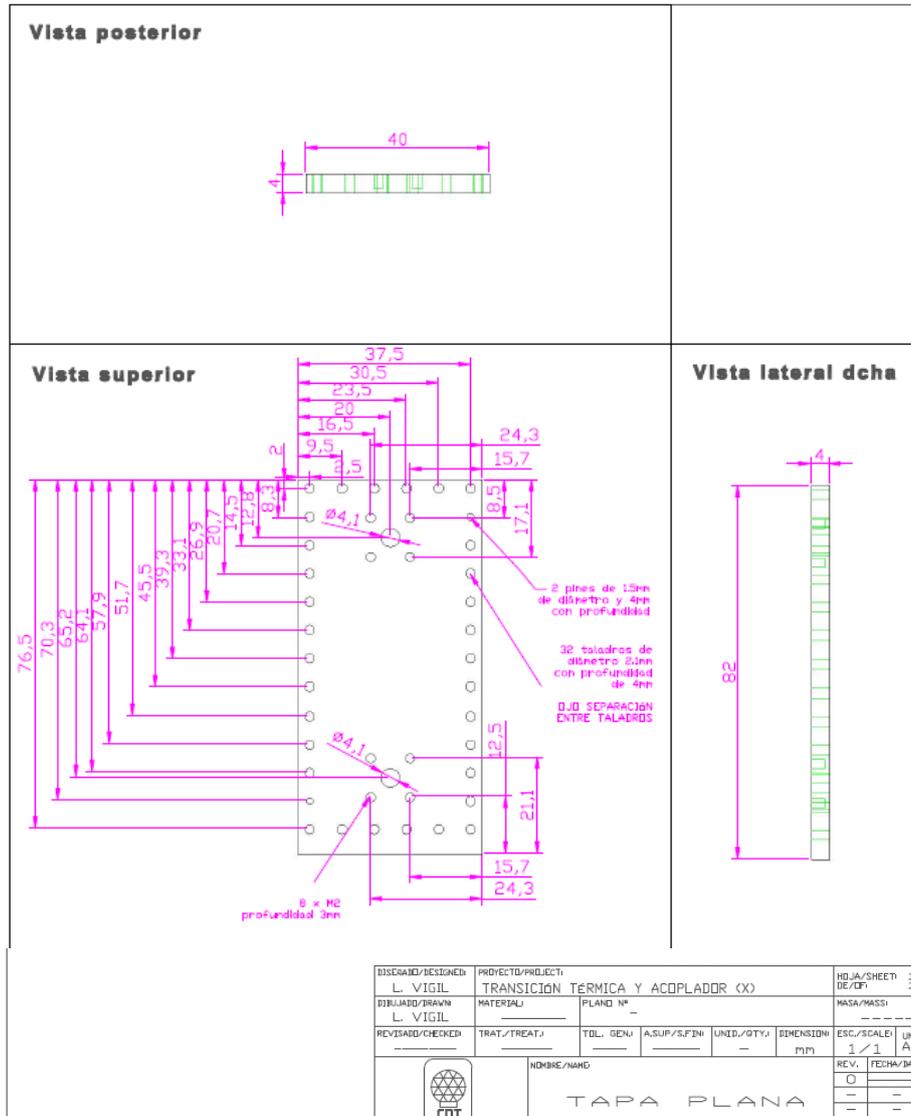


Figura 41: Planos en AUTOCAD de la tapa plana.

- Soportes de fibra

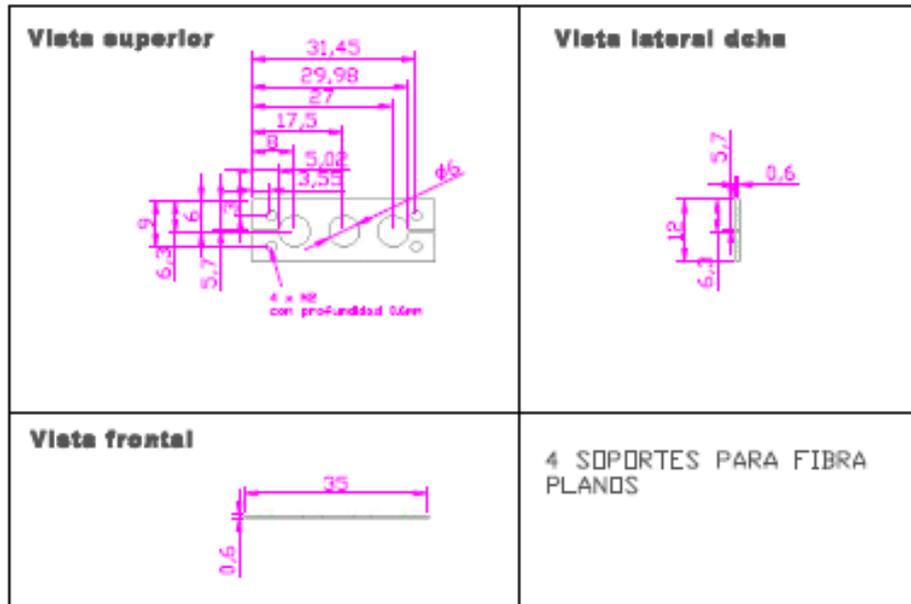


Figura 42: Planos en AUTOCAD del soporte plano de fibra.

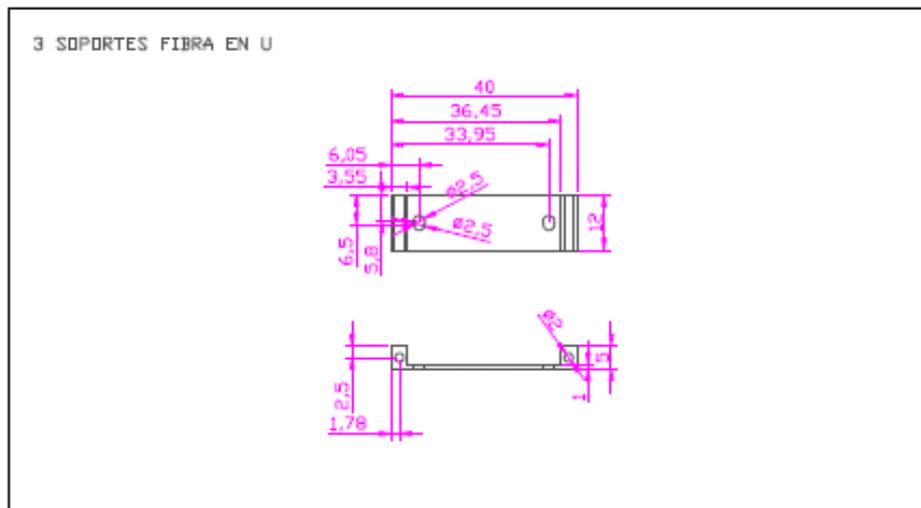


Figura 43: Planos en AUTOCAD del soporte en U de fibra.