

**NUEVO RECEPTOR
BANDA C DE LA ANTENA ARIES
DEL OBSERVATORIO DE YEBES**

J.M. Serna Puente, J.A.López Fernández, J.A.López Pérez,
F.Tercero, J.M.Yagüe, J.A.Abad, C.Almendros, S.Henche, J.Fernández

INFORME TÉCNICO IT – OAN 2010 - 14

ÍNDICE

1	Introducción.....	3
2	Geometría del criostato.....	5
2.1	Ventana de vacío.....	8
2.2	Cableado interior DC.....	9
2.2.1	Cableado de polarización de los amplificadores de bajo ruido.....	13
2.2.2	Cableado de “house-keeping”.....	13
2.3	Etapa exterior (vacuum case).....	17
2.4	Etapa intermedia (radiation shield).....	18
2.5	Etapa fría (cold plate).....	20
2.6	Instalación de los amplificadores.....	21
2.6.1	Polarización de los amplificadores de bajo ruido.....	24
3	Sistemas criogénicos empleados en el criostato del receptor S/C/CH.....	25
3.1	Diseño térmico del criostato.....	25
4	Calibración del receptor.....	26
	Referencias.....	27

1 Introducción.

En el presente informe se resumen el diseño y las características más importantes del nuevo criostato del receptor de banda C que se ha instalado con éxito en la cabina de receptores de la antena ARIES de 40 metros del Observatorio de Yebes.

En su diseño se emplean los mismos criterios que en los anteriores criostatos ya construidos en el Observatorio (referencias 1 y 2).

Se trata de un criostato de ciclo cerrado de dos etapas, una fría a 20 Kelvin y otra intermedia a menos de 80K, para las cuales se emplea una cabeza refrigeradora CTI-350. También emplea dos trampas criogénicas a base de zeolitas, las cuales mejoran de forma importante el funcionamiento del criostato.

La presión alcanzada con el criostato frío es de unos 10^{-6} mbar.

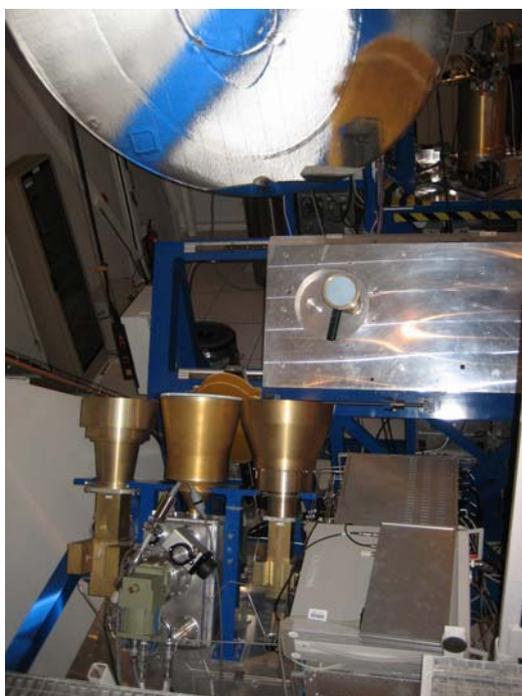
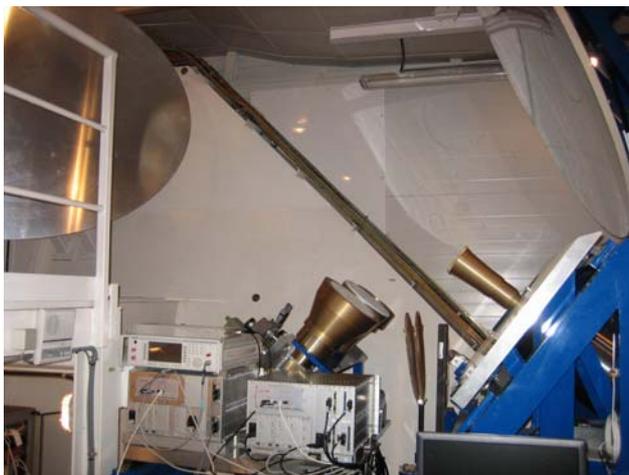




figura 1: Receptor banda C instalado en la cabina de receptores

2 Geometría del criostato.

En la siguiente figura se muestra el diseño del criostato construido.

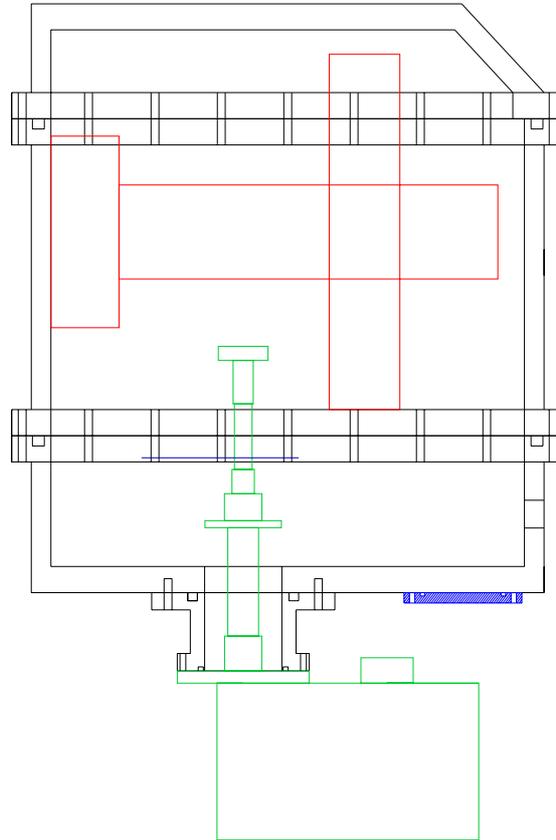


figura 2: Geometría del criostato construido

Se emplea una cabeza refrigeradora CTI Cryogenics 350 (doble etapa). Tanto el Polarizador como los dos LNAs se encuentran conectados a la etapa fría de la cabeza (20K).

La entrada/salida al criostato se efectúa a través de una brida que posee 4 conectores SMA (2 salidas para las dos salidas de los amplificadores de bajo ruido y dos entradas para la señal de calibración del receptor).

En color verde se aprecia la cabeza refrigeradora, en color rojo el Polarizador y la transición de vacío, en negro el dewar del criostato y en azul la localización de la brida con los conectores SMA de entrada y salida al criostato.

La bocina banda C se conecta directamente al criostato a través de una ventana de vacío.

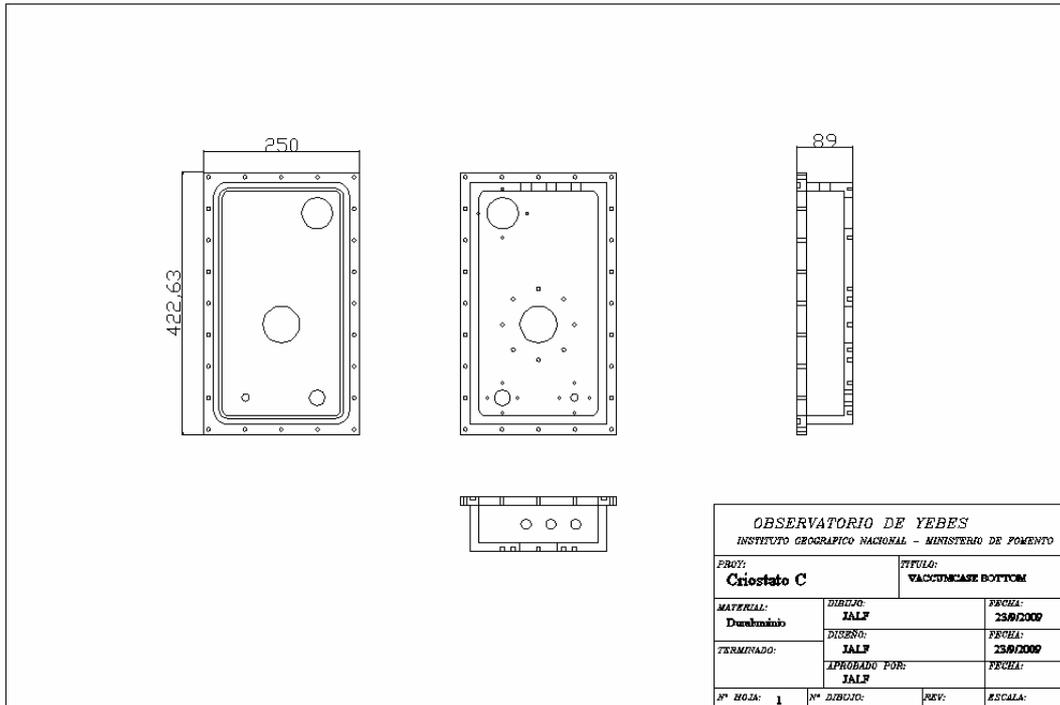


figura 3: Geometría de la tapa inferior

La tapa inferior dispone de cuatro aperturas destinadas a la conexión de la cabeza refrigeradora, la válvula de vacío del sistema y los sensores de presión (pirani y cold cathode).

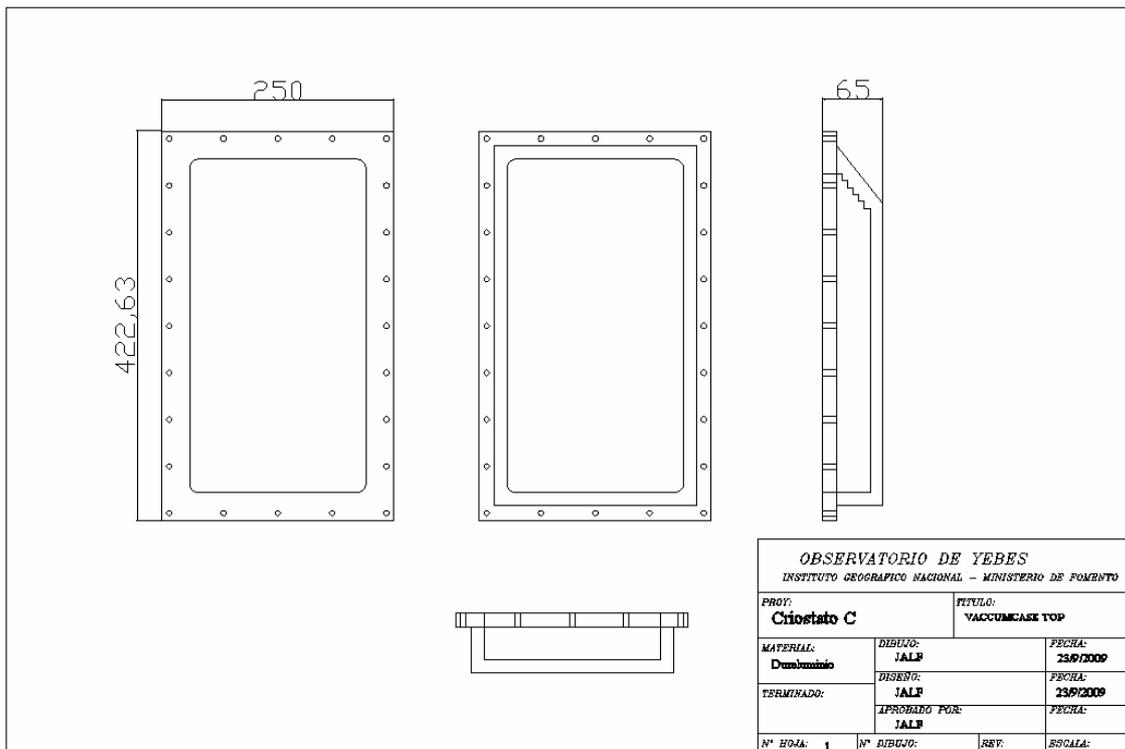


figura 4: Geometría de la tapa superior

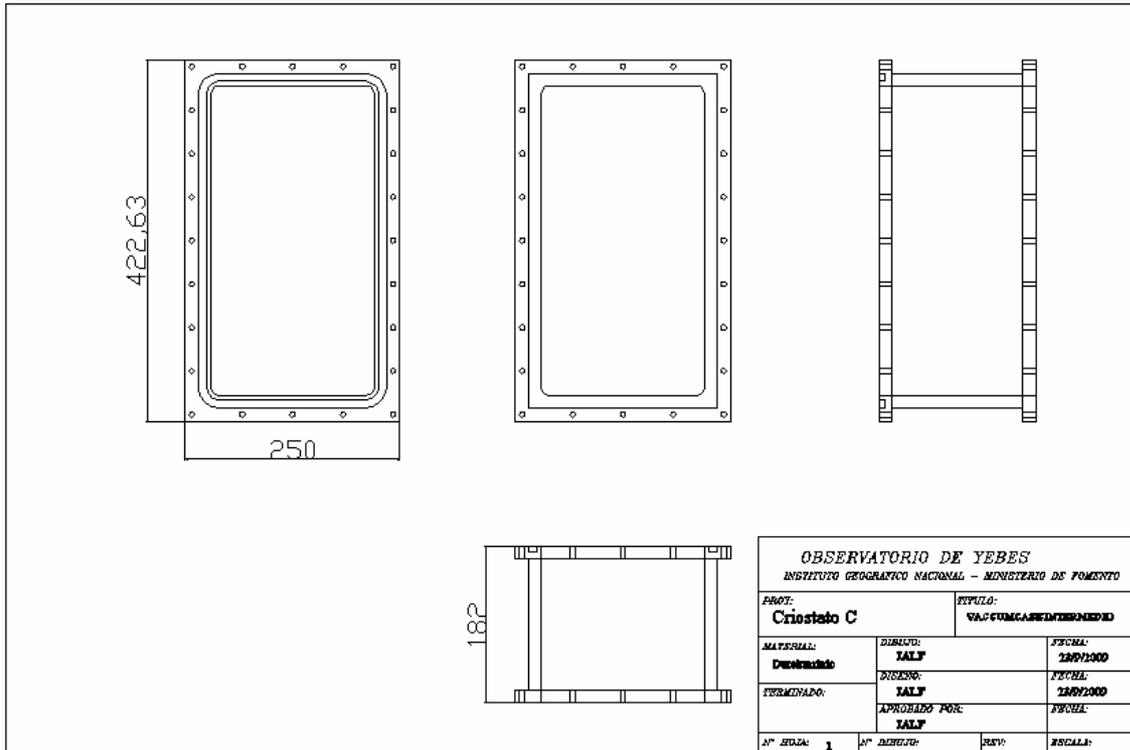


figura 5: Geometría del cuerpo del dewar

El diseño del dewar, así como la disposición de todos los elementos asociados ha tenido que realizarse de forma muy cuidadosa debido al poco espacio disponible para su colocación en la rama de receptores del radio telescopio.



figura 6: Cuerpo del dewar con el polarizador y la ventana de vacío integrados

2.1 Ventana de vacío.

El objetivo de la ventana de vacío es permitir la transición (física, electro-magnética y de vacío) entre la bocina banda C (que se encuentra a temperatura ambiente fuera del criostato) y el Polarizador (polarizador-acoplador direccional) que se encuentra conectado a la etapa fría del criostato. Para más información, consultar informe técnico de Félix Tercero.

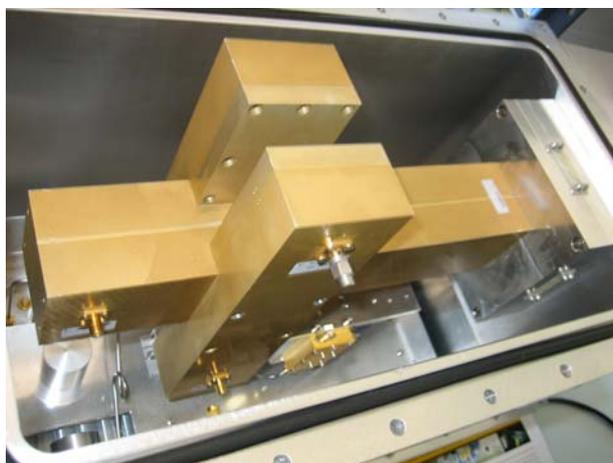
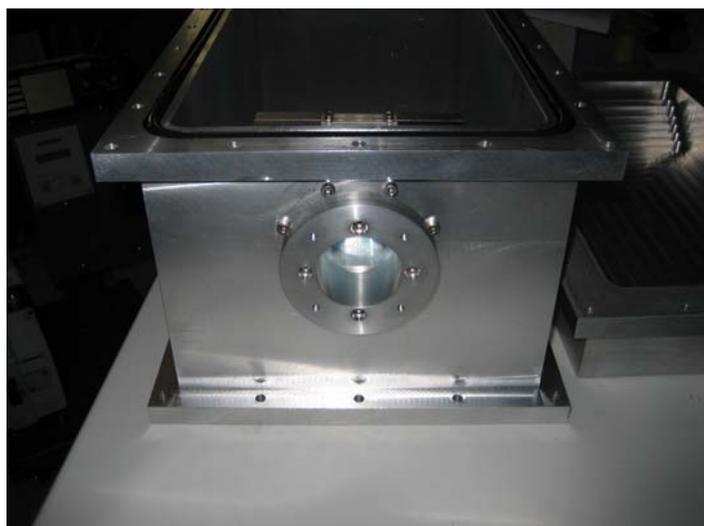


figura 7: ventana de vacío

2.2 Cableado interior DC.

En la etapa caliente del criostato, existen tres conectores Fischer herméticos:

- Uno (1) de 16 pines (se usan 15 de ellos) empleado para las señales de monitorización y “House-keeping”.
- Dos (2) de 11 pines (se emplean 9 de ellos) correspondientes a las señales de polarización de los amplificadores de bajo ruido presentes en el criostato (doble polarización por receptor). El conector correspondiente a cada una de las dos polarizaciones de cada banda tiene distinta polaridad.

<i>CONECTOR</i>	<i>FUNCIÓN</i>
C1	Polarización LNA banda C LCP
C2	Polarización LNA banda C RCP
C3	“House-keeping”

Se indica en las siguientes figuras el pin-out de los conectores fischer empleados (de 11 y de 16 pines).

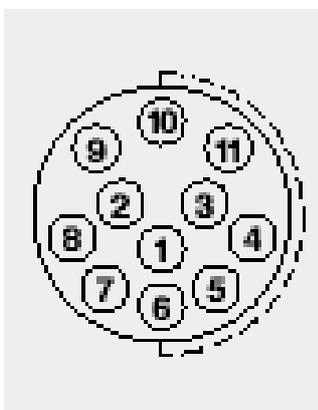


figura 8: Fischer de 11 pines (vista conector), punto rojo arriba

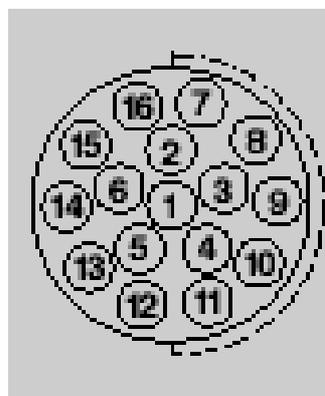


figura 9: Fischer de 16 pines (vista conector), punto rojo arriba

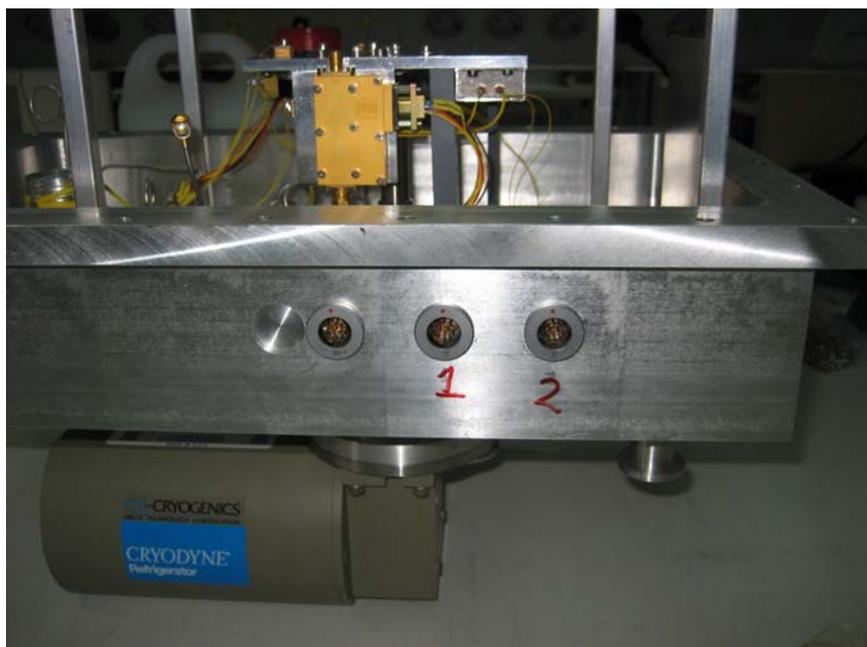


figura 10: Conectores de polarización de los LNAs y de “housekeeping”

La transición de cable convencional a cable criogénico se efectúa mediante la utilización de un conector DIN96 que recibe por uno de sus extremos las señales procedentes de cada uno de los conectores fisher y en el otro extremo se sueldan los cables criogénicos correspondientes. En la siguiente tabla se muestra el pin-out asociado

Row a	fisher	Descripción	Row b	fisher	Descripción	Row c	fisher	Descripción
32	C1P1	VD1	32	C1P2	VG1	32	C1P3	GND
31	C1P4	VD2	31	C1P5	VG2	31		
30	C1P7	VD3	30	C1P8	VG3	30		
29			29			29		
28	C2P1	VD1	28	C2P2	VG1	28	C2P3	GND
27	C2P4	VD2	27	C2P5	VG2	27		
26	C2P7	VD3	26	C2P8	VG3	26		
25			25			25		
24			24			24		
23			23			23		
22			22			22		
21			21			21		
20			20			20		
19			19			19		
18			18			18		
17			17			17		
16			16			16		
15			15			15		
14			14			14		
13	C3P1	T_i(+)	13	C3P2	T_i(-)	13	C3P3	T_c(+)
12	C3P4	T_c(-)	12	C3P5	Calef_on	12	C3P6	Calef_mon
11	C3P7	Regen_on	11	C3P8	Regen_mon	11	C3P9	Gnd_res
10			10			10		
9			9			9		
8			8			8		
7			7			7		
6			6			6		
5			5			5		
4			4			4		
3			3			3		
2			2			2		
1			1			1		

Conectores MDM de entrada a los amplificadores. Código de colores

Conector MDM9 C_band LNA	Señal	Color
1	C_GND	Negro
2	C_Vd1	Marrón
3	C_Vg1	Rojo
4	C_Vd2	Naranja
5	C_Vg2	Amarillo
6	C_Vd3	Verde
7	C_Vg3	Azul

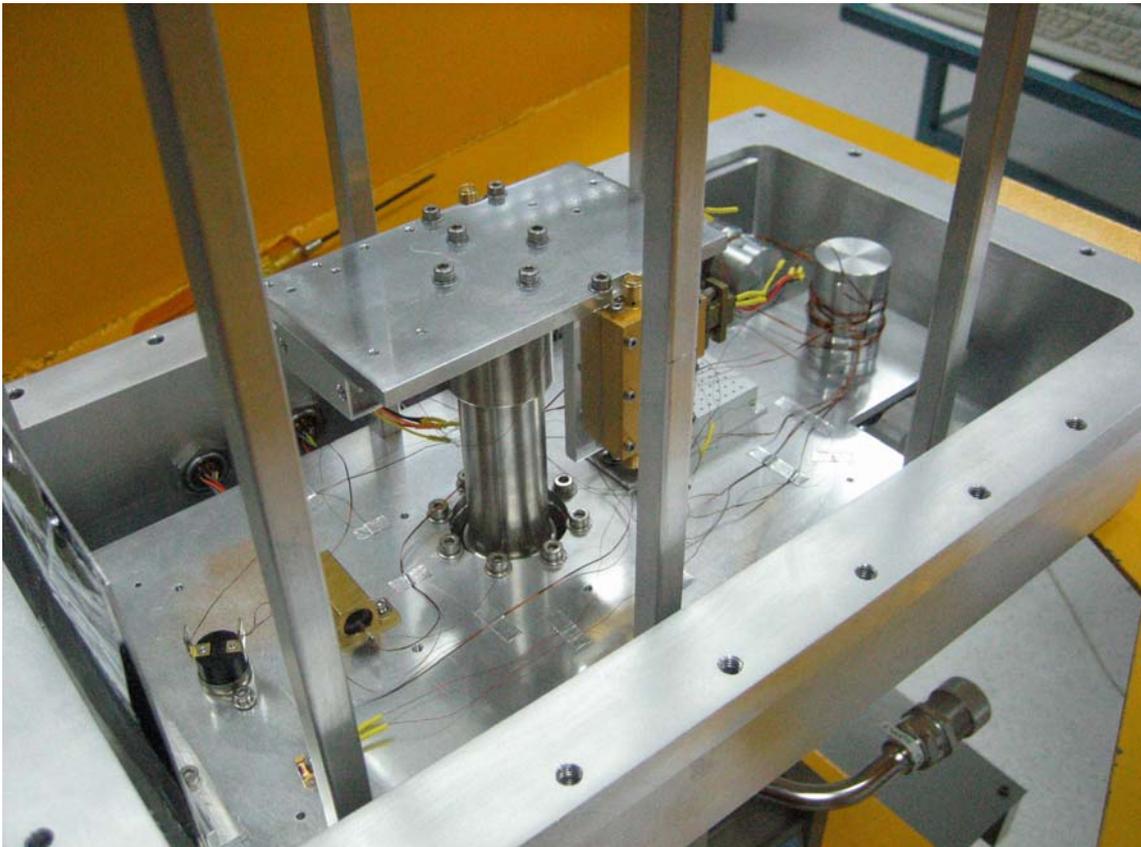
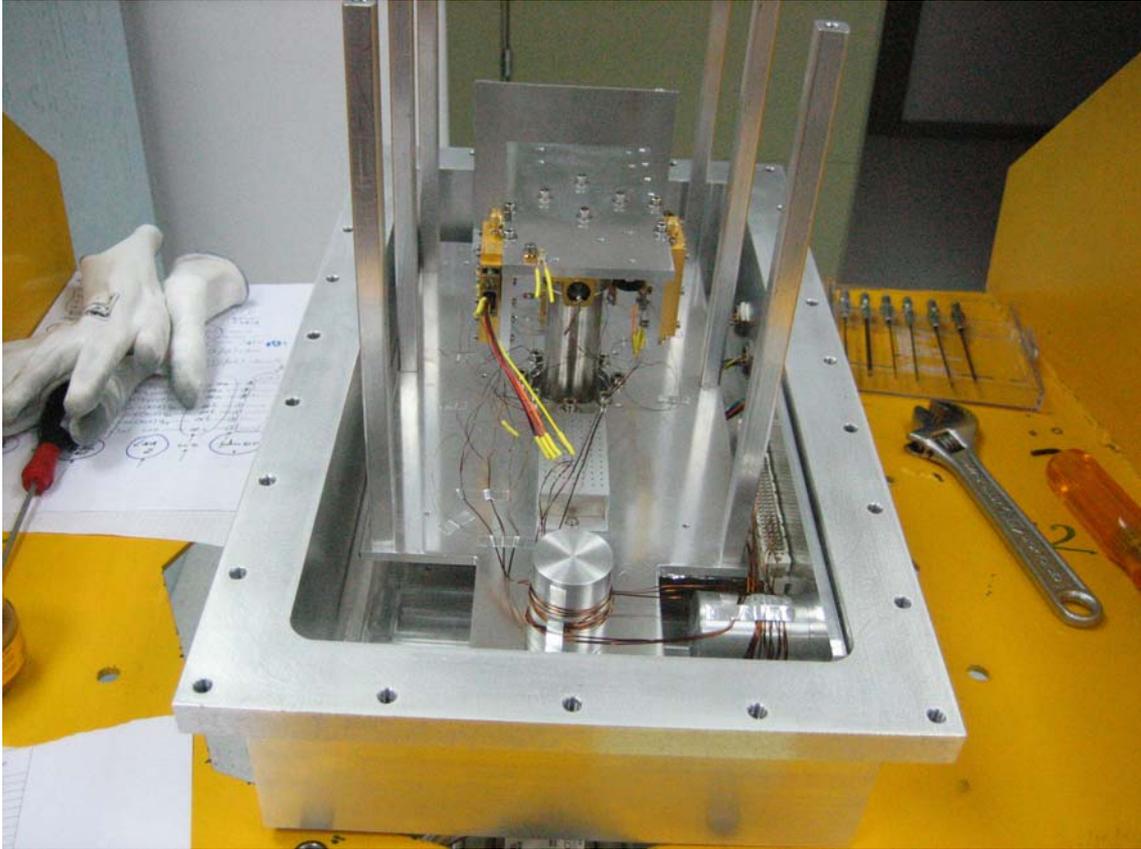


figura 11: Cableado DC en el interior del criostato

La placa de la unidad de FI denominada “out2cryo” es la encargada de filtrar las señales de polarización de los amplificadores y sacarlas hacia el exterior mediante conectores DB15.

Se han construido 2 cables específicos que poseen en un extremo un conector DB15 (conectado a la unidad de FI) y en el otro extremo un conector fisher (conectado al criostato al conector correspondiente a cada uno de los 2 amplificadores). El pinout de la placa “out2cryo” es el siguiente:

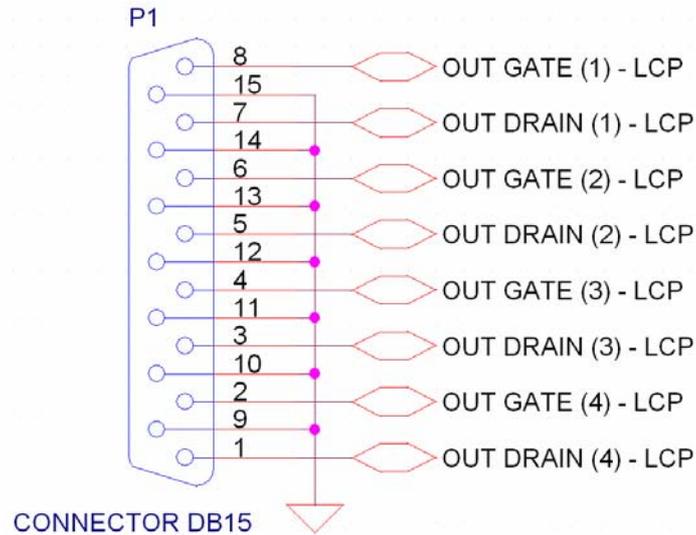


figura 12: pinout del conector DB15 de salida de las señales de polarización de los LNAs

Se han diseñado dos piezas de aluminio para efectuar el enrollamiento de los cables de Fósforo-bronce (una para la etapa caliente y otra para la etapa intermedia). Se indica en la siguiente figura el diseño de ambas piezas.

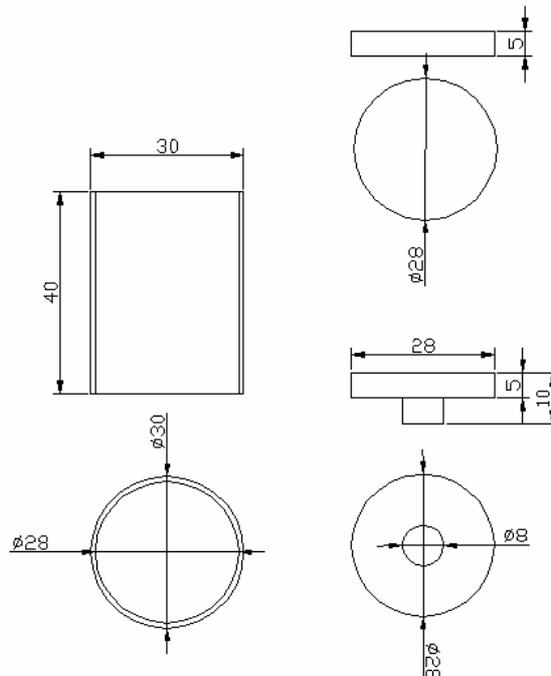


figura 13: Diseño de las piezas de aluminio para los cable de CuBe

2.2.1 Cableado de polarización de los amplificadores de bajo ruido.

El criostato alberga los amplificadores correspondientes a la banda C de funcionamiento y existen dos polarizaciones. Por lo tanto, existen en el interior del criostato 2 amplificadores.

Las banda de funcionamiento es la siguiente:

<i>BANDA</i>	<i>Rango de frecuencias del amplificador (GHz)</i>	<i>Rango de frecuencias de interés radio astronómico (GHz)</i>	<i>Utilidad</i>
C	4-8	4.56-5.06	VLBI H ₂ CO line
		5.9-6.9	Metanol (CH ₃ OH)

En las siguientes tablas se muestra el “pin-out” correspondiente a los conectores MDM-9 de polarización de los amplificadores.

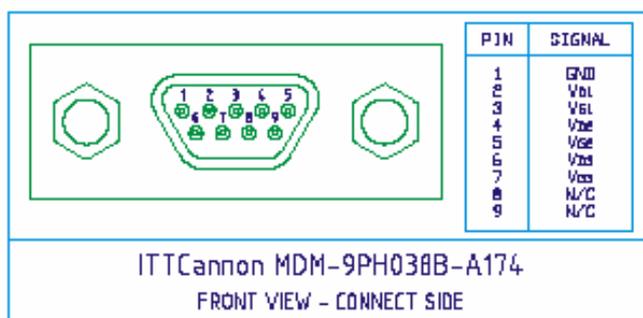


figura 14: conector de polarización amplificador banda C

2.2.2 Cableado de “house-keeping”.

Existe un conector fisher de 16 pines de entrada al criostato (en la etapa caliente, 300K) que contiene todas las señales de monitorización interna del criostato, alimentación de las resistencias calefactoras y de las resistencias de regeneración de las zeolitas. El número de señales necesarias así como su pin asociado correspondiente se muestra en la siguiente tabla:

Fischer (16pin)	Nombre de la señal	Descripción de la señal
1	t_i(+)	Sensor de temperatura de la etapa intermedia
2	t_i(-)	Masa del sensor de temperatura de la etapa intermedia
3	t_c(+)	Sensor de temperatura de la etapa fría
4	t_c(-)	Masa del sensor de temperatura de la etapa fría
5	calef_ON	Señal que tras pasar por el

		termostato activa las resistencias calefactoras
7	calef_mon	Detectar si el termostato asociado a las resistencias calefactoras está activado
8	regen_ON	Señal que tras pasar por el termostato activa las resistencias regeneradoras de las zeolitas
10	regen_mon	Detectar si el termostato asociado a las resistencias regeneradoras de las zeolitas está activado
11	GND_res	Masa de los circuitos de las resistencias y termostatos

Las resistencias empleadas tienen las siguientes características:

- Resistencias calefactoras: 100Ω , 25W
- Resistencias regeneradoras de las zeolitas: 100Ω, 2.5W.

El cable criogénico empleado para estas señales es el siguiente:

- Lakeshore WQL-36-100 (Quad-lead wire, 36AWG (Ø=0.127mm), 100ft).

Se ha verificado experimentalmente que este cable es capaz de soportar al menos 0.5 amperios sin deteriorarse.

Así pues, se demuestra que para el caso de las resistencias calefactoras con una corriente de **0.5 amperios** se obtienen los 25 vatios de potencia. En el caso de las resistencias regeneradoras son necesarios **0.158 amperios** para dar los 2.5 vatios

Tanto las resistencias calefactoras como las regeneradoras están colocadas independientemente en paralelo. La tensión necesaria para alcanzar esas corrientes y por lo tanto las potencias máximas es para cada caso:

- **Resistencias calefactoras: 50 voltios**
- **Resistencias regeneradoras: 15.8 voltios**

Asignación de pines en el conector DIN96 de transición a cable criogénico:

Fischer (16pin)	Nombre de la señal	DIN 96
1	t_i(+)	13a
2	t_i(-)	13b
3	t_c(+)	13c
4	t_c(-)	12a
5	calef_ON	12b
6		
7	calef_mon	12c
8	regen_ON	11a
9		
10	regen_mon	11b
11	GND_res	11c

En la siguiente figura se presenta un esquema eléctrico del circuito realizado.

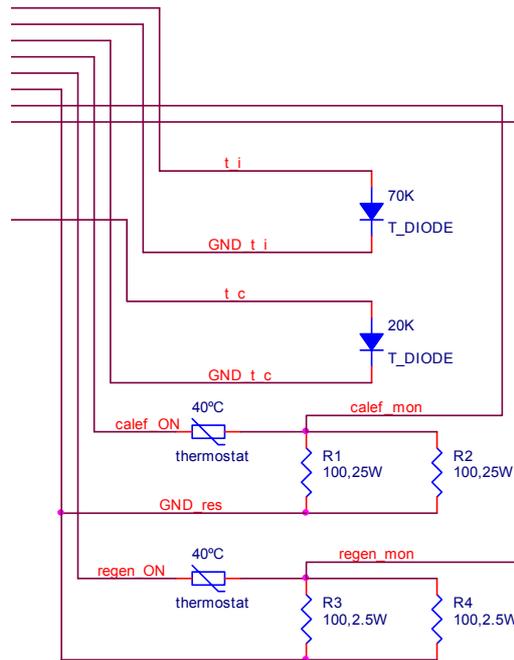
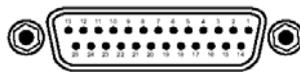


figura 15: Conexión de las señales de “house-keeping”

Todas estas señales de “House-Keeping” se controlan y monitorizan a través de un cable que en un extremo posee un conector “fischer” que va conectado al criostato y en el otro extremo posee:

- Por un lado un conector DB25 que contiene las señales de monitorización de la temperatura de la etapa intermedia y de la etapa fría:
 - Pines 3 y 4: cortocircuitados: etapa intermedia (+).
 - Pines 15 y 16: cortocircuitados: etapa intermedia (-).
 - Pines 6 y 7: cortocircuitados: etapa fría (+).
 - Pines 18 y 19: cortocircuitados: etapa fría (-)



F218-3-3.aps

Input Connector (Inputs 1-4)				Input Connector (Inputs 5-8)			
PIN	DESC.	PIN	DESC.	PIN	DESC.	PIN	DESC.
1	NC			1	NC		
2	S	14	S	2	S	14	S
3	11+	15	11-	3	5I+	15	5I-
4	1V+	16	1V-	4	5V+	16	5V-
5	S	17	S	5	S	17	S
6	2I+	18	2I-	6	6I+	18	6I-
7	2V+	19	2V-	7	6V+	19	6V-
8	S	20	S	8	S	20	S
9	3I+	21	3I-	9	7I+	21	7I-
10	3V+	22	3V-	10	7V+	22	7V-
11	S	23	S	11	S	23	S
12	4I+	24	4I-	12	8I+	24	8I-
13	4V+	25	4V-	13	8V+	25	8V-

figura 16: Pinout del conector DB25 del lector de temperaturas LakeShore modelo 218

- **Se conectan tres conectores “bananas” que son los encargados de alimentar las resistencias calefactoras y regeneradoras:**
 - **Banana roja: activar resistencias regeneradoras.**
 - **Banana negra: GND**
 - **Banana amarila: activar resistencias calefactoras.**
- **Existen otros dos punto de acceso:**
 - **Rojo: monitorizar estado de las resistencias regeneradoras.**
 - **Negro: monitorizar estado de las resistencias calefactoras.**

Se muestra en la siguiente figura el diseño de las cajas contenedoras de las zeolitas para la etapa intermedia y la etapa fría del criostato.

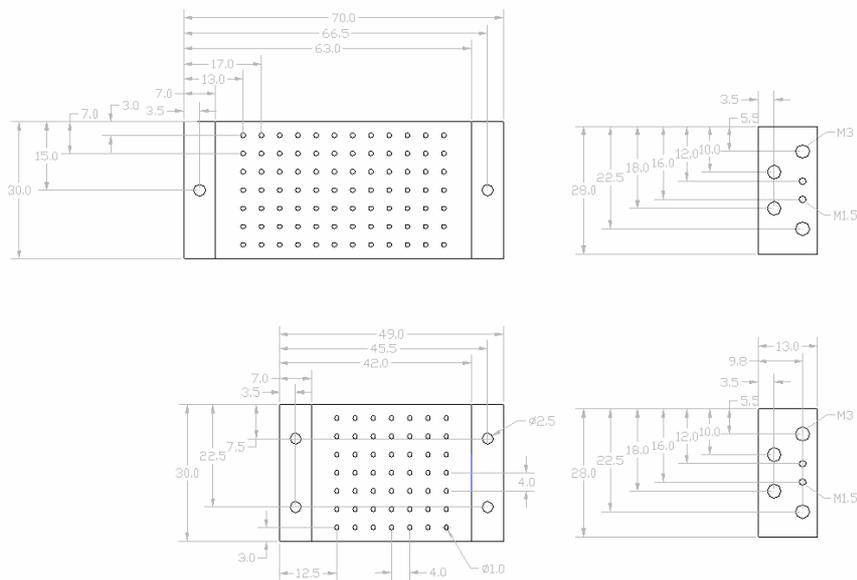


figura 17: Cajado de las zeolitas

2.3 Etapa exterior (vacuum case).

La tapa inferior dispone de salidas para varios usos. Por un lado está la conexión al refrigerador criogénico, en la cual se ha torneado un canal para junta de vitón. Y rodeando a ésta, 8 taladros ciegos M5. También se encuentran tres salidas para vacío, una para bombeo y otras dos para medida de la presión.

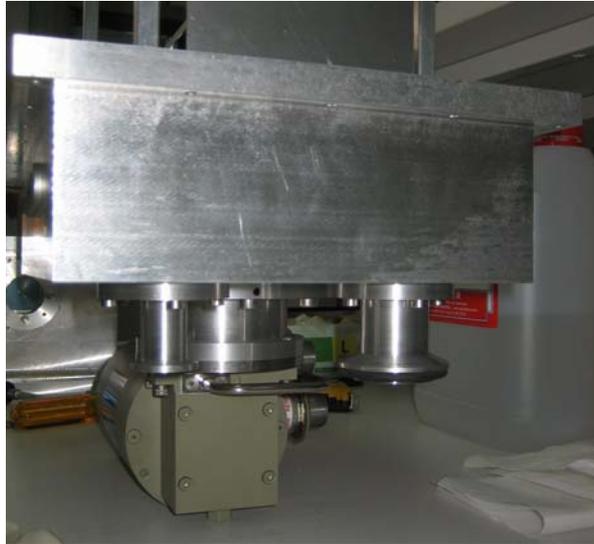


figura 18: tapa inferior del criostato

El diseño de la brida para los conectores SMA (salida de la señal de RF del criostato y entrada de la señal de ruido para calibraciones) es el siguiente.

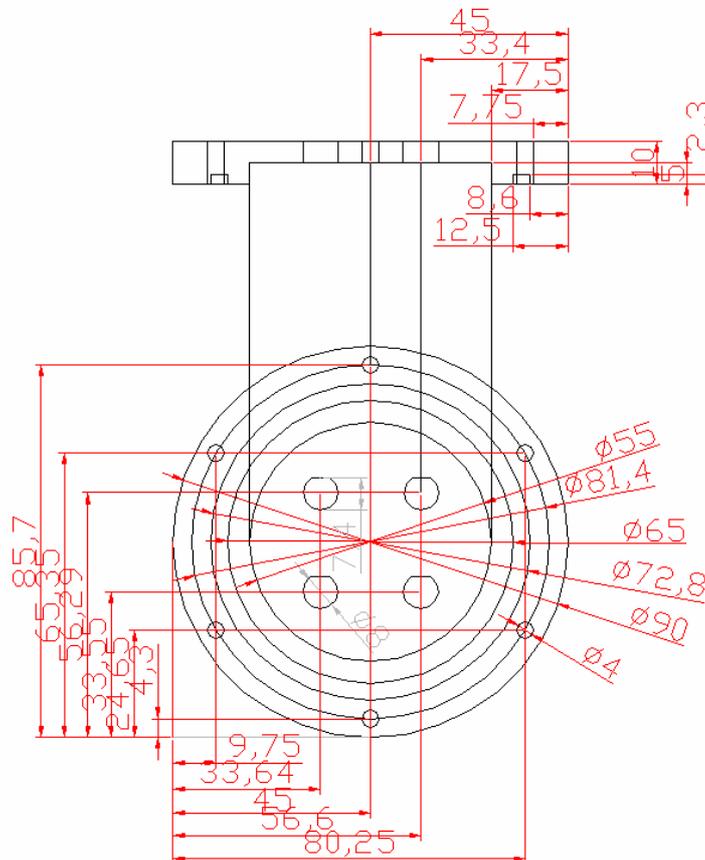




figura 19: brida de conectores SMA

2.4 Etapa intermedia (radiation shield).

Se diferencian 6 partes: la etapa fabricada con chapas de aluminio y de forma prismática rectangular, el superaislamiento, la placa intermedia, la bomba criogénica intermedia, la resistencia calefactora y el sensor de temperatura.

La placa intermedia es la conexión entre la etapa intermedia del refrigerador criogénico y el recubrimiento. Sobre ella se situarán la bomba criogénica intermedia, el sensor de temperatura y la resistencia calefactora de esta etapa. También contiene uno de los cilindros sobre los que se enrolla el cable criogénico de DC. Está construida en duraluminio con un espesor de 5mm y su diámetro es de 236mm.

La bomba criogénica es un recipiente de 30 x 15 x 48 mm relleno de zeolitas. La masa aproximada de éstas es de 9,5 gramos (valores en torno a los 10 gramos hacen que la vida operativa teórica de la bomba sea de 10 años, ref.12), lo que equivale a unas 2100 bolas de zeolitas de 2 milímetros de diámetro. La superficie total de estas zeolitas es aproximadamente 268 cm². La bomba criogénica incluye una resistencia de regeneración de 100 ohmios y 2.5W. El sensor de temperatura es un diodo DT670 de Lakeshore. La resistencia calefactora es de 25W y 100ohmios. Tanto el circuito de regeneración como el de calentamiento incluyen termostatos protectores de 40 ° ±3° C.

El cableado DC se realiza con cable criogénico de fósforo-bronce de Lakeshore Cryogenics, con aproximadamente 1500mm de longitud total.

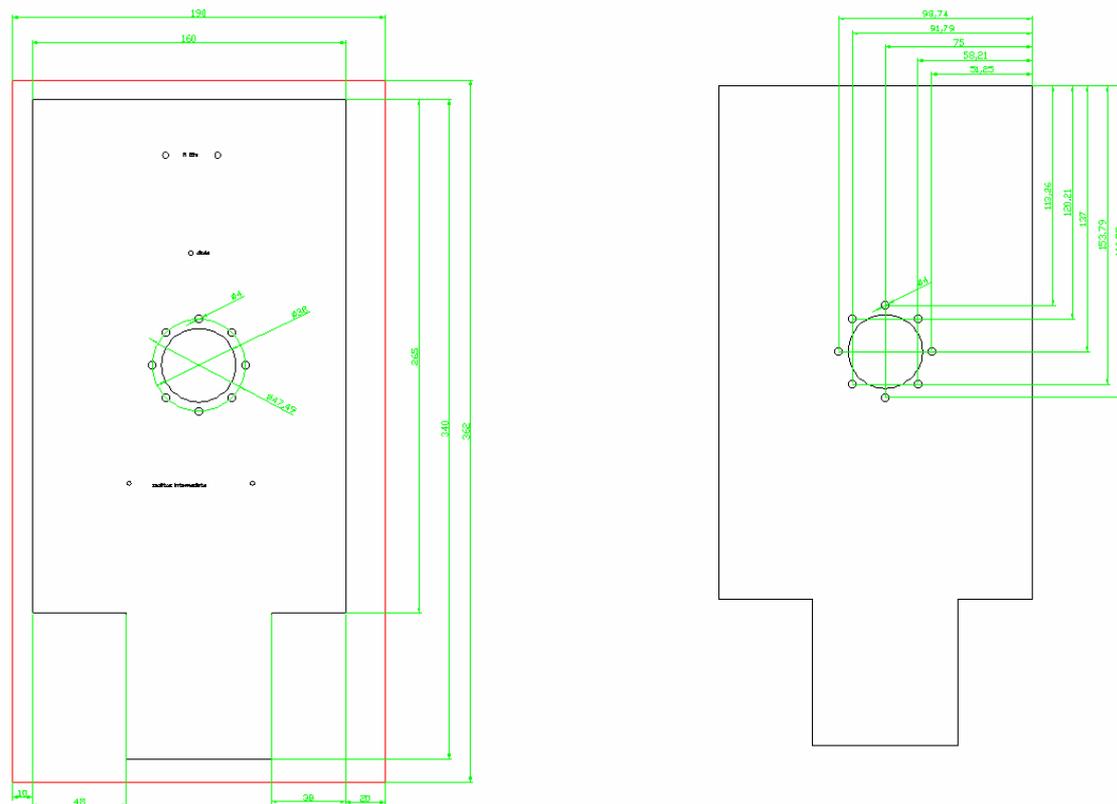


figura 20: diseño de la placa intermedia

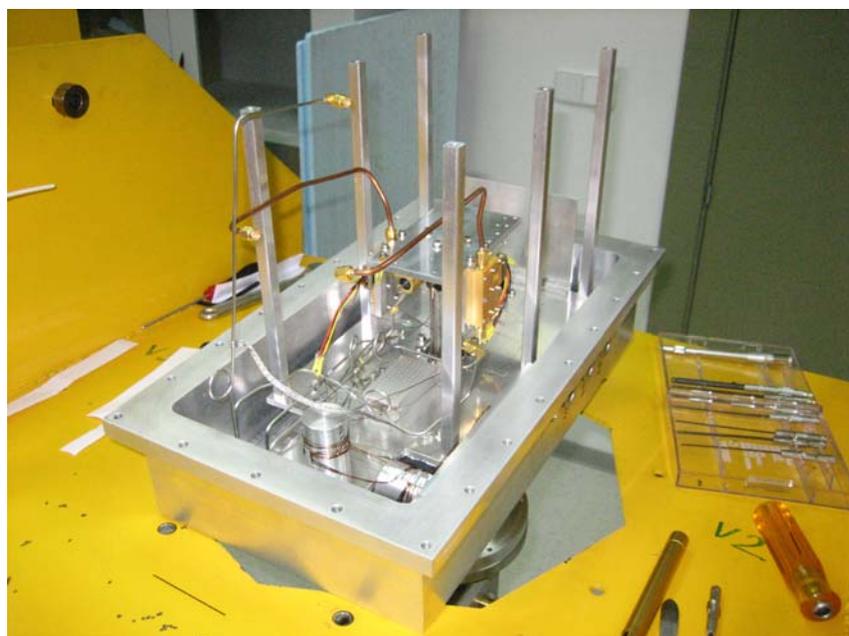


figura 21: placa intermedia instalada en el criostato



figura 22:etapa intermedia con MLI

En la siguiente fotografía se muestra el aspecto final tras instalar el superaislamiento. Se han colocado **8 capas de MLI**.

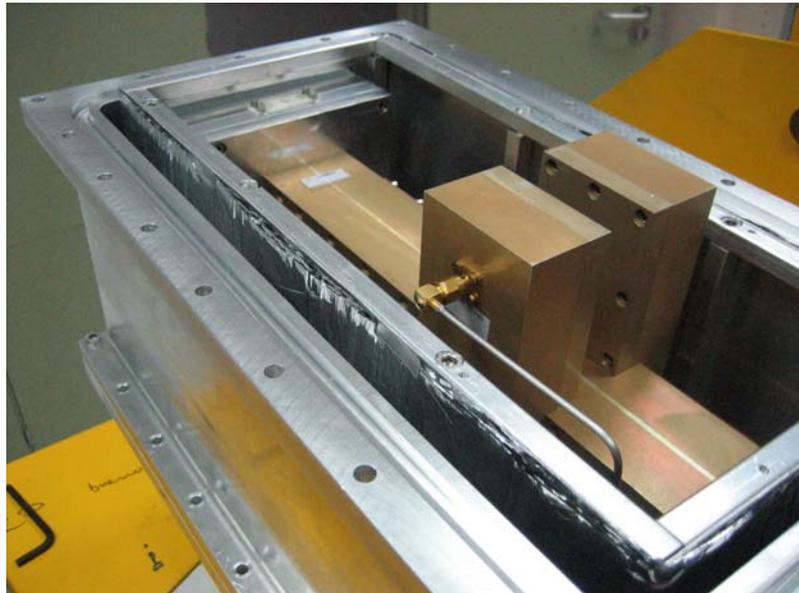


figura 23: superaislamiento en la etapa intermedia

2.5 Etapa fría (cold plate).

La etapa fría está constituida por la placa fría, la bomba criogénica fría, la resistencia calefactora, el sensor de temperatura, los termostatos para las resistencias calefactoras y regeneradoras de las zeolitas y los soportes de los amplificadores.

La placa fría va conectada a la etapa fría de la cabeza refrigeradora mediante cuatro tornillos. La conexión térmica se mejora empleando indio. Lo mismo se realiza en los soportes de aluminio de los amplificadores.

La bomba criogénica es un recipiente de 30 x 15 x 40 mm relleno de zeolitas. La masa aproximada de éstas es de 8 gramos, lo que equivale a unas 1800 bolas de zeolitas de 2 milímetros de diámetro. La superficie total de estas zeolitas es aproximadamente 230 cm². La bomba criogénica incluye una resistencia de regeneración de 100 ohmios y 2.5 Watios.

El sensor de temperatura es un diodo D670 de Lakeshore. La resistencia calefactora es de 25 W y 100 ohmios. Tanto el circuito de regeneración como el de calentamiento incluyen termostatos protectores de $40^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$.

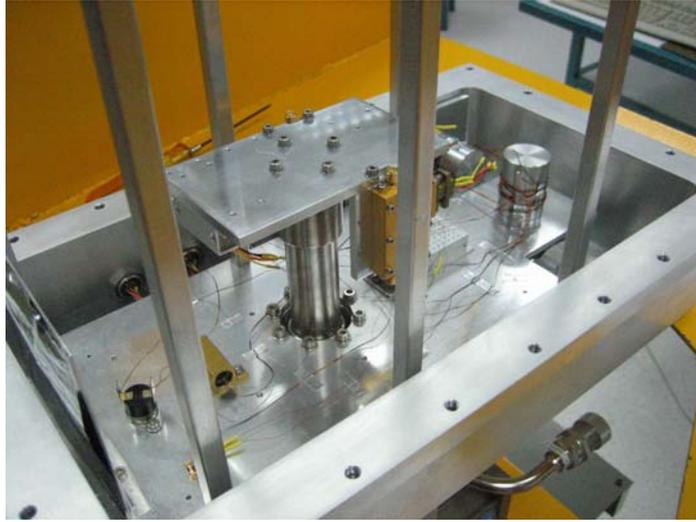


figura 24: placa fría

2.6 ***Instalación de los amplificadores.***

Los números de serie de los amplificadores instalados son los siguientes:

- C1-LCP: YCA-2024 1103
- C2-RCP: YCA-2031 0204

Los amplificadores banda C están instalados en el soporte diseñado para tal efecto en la etapa fría del criostato. Se trata de dos amplificadores, cada uno de ellos relacionado con una de las polarizaciones del receptor.

En la siguiente figura se muestra el soporte diseñado para los amplificadores.



figura 25: Amplificadores banda C instalados en el criostato

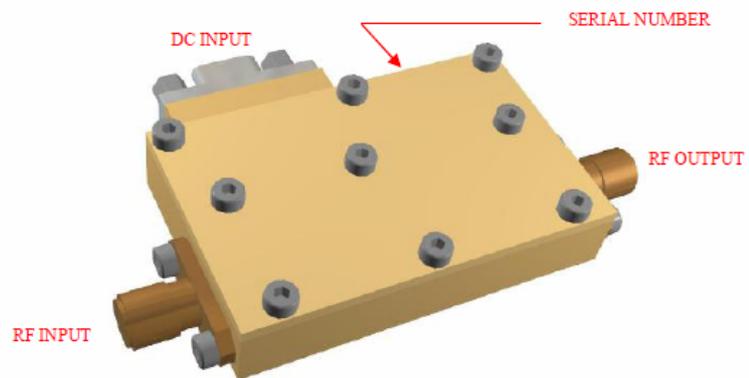


figura 26: Elementos externos del amplificador banda C

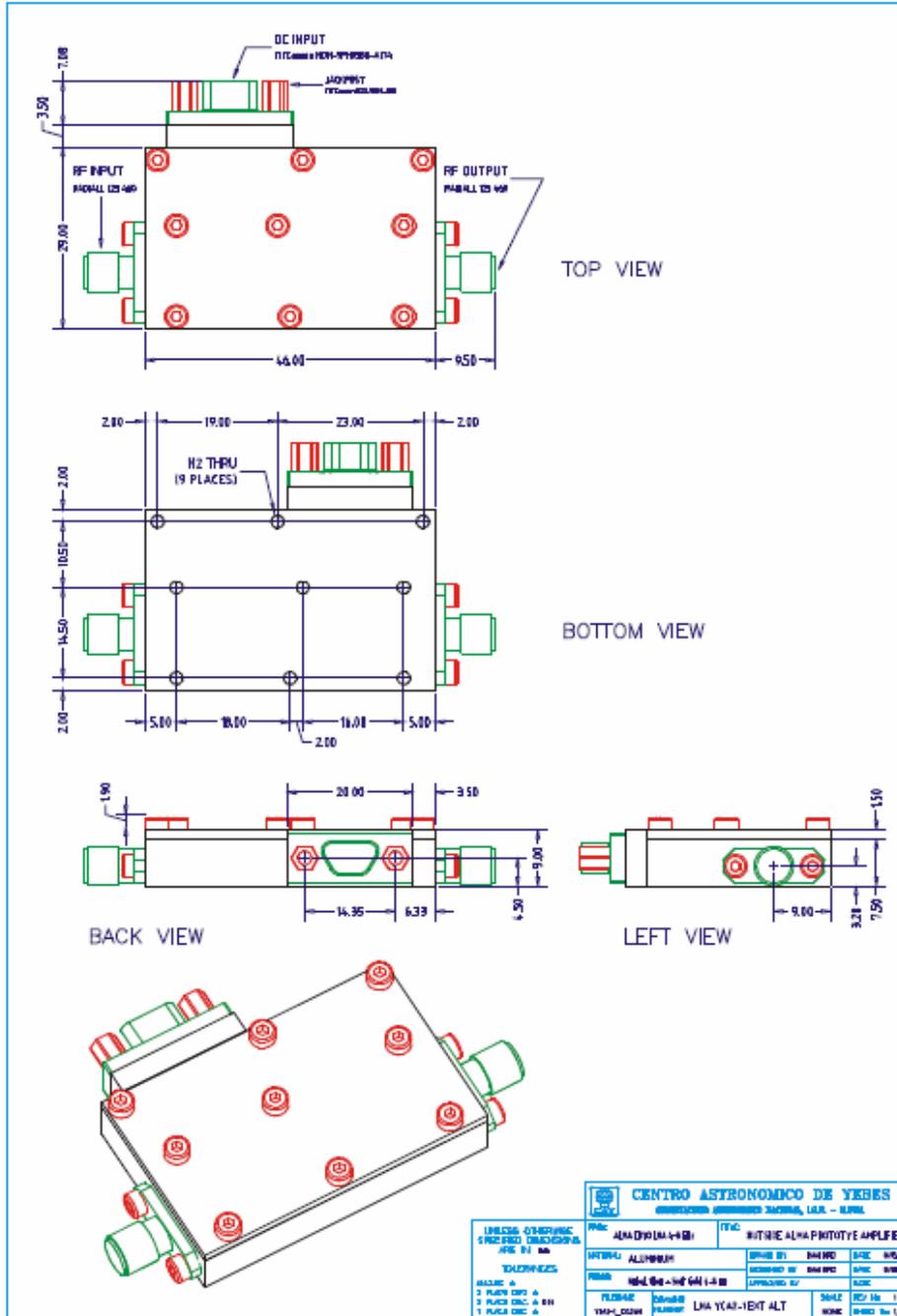


figura 27: Dimensiones de los amplificadores banda C

2.6.1 Polarización de los amplificadores de bajo ruido.

Se muestran a continuación los puntos óptimos de polarización de los dos amplificadores empleados con el fin de obtener la temperatura de ruido requerida.

C-BAND CRYOGENIC AMPLIFIER REPORT				DATE: 05 feb 2010	
BAND:	4 - 8	S/N:	YCA 2024 1103		
TRANSISTOR 1 st STAGE:	HRL 150x0.1 um T-53				
TRANSISTOR 2 nd STAGE:	ETH 150x0.2 um T-66				
TRANSISTOR 3 rd STAGE:	ETH 150x0.2 um T-66				
ROOM TEMPERATURE DATA (T=297 K)					
OPTIMUM BIAS	V _{d1} =	1.00	I _{d1} =	10	V _{g1} = -3.20
	V _{d2} =	1.50	I _{d2} =	10	V _{g2} = -0.01
	V _{d3} =	1.50	I _{d3} =	10	V _{g3} = 0.01
AVERAGE NOISE TEMPERATURE:	68.9		GAIN: AVERAGE / SPAN:	34.8 / 1.3	
MIN. OUTPUT RETURN LOSS:	11.4		GAIN FLUCTUATIONS @1 HZ:		
CRYOGENIC TEMPERATURE DATA (T=15 K)					
OPTIMUM BIAS (9 mW)	V _{d1} =	0.6	I _{d1} =	4	V _{g1} = -1.19
	V _{d2} =	0.5	I _{d2} =	3	V _{g2} = 0.69
	V _{d3} =	1.2	I _{d3} =	4	V _{g3} = 0.21
AVERAGE NOISE TEMPERATURE:	3.8		GAIN: AVERAGE / SPAN:	36.3 / 1.9	
MIN. OUTPUT RETURN LOSS:	12.4		GAIN FLUCTUATIONS @1 HZ:		

C-BAND CRYOGENIC AMPLIFIER REPORT				DATE: 10 apr 2007	
BAND:	4 - 8	S/N:	YCA 2031 0204		
TRANSISTOR 1 st STAGE:	HRL 150x0.1 um T-53				
TRANSISTOR 2 nd STAGE:	ETH 150x0.2 um T-66				
TRANSISTOR 3 rd STAGE:	ETH 150x0.2 um T-66				
ROOM TEMPERATURE DATA (T=297 K)					
OPTIMUM BIAS	V _{d1} =	1.00	I _{d1} =	10	V _{g1} = -2.77
	V _{d2} =	1.50	I _{d2} =	10	V _{g2} = 0.15
	V _{d3} =	1.50	I _{d3} =	10	V _{g3} = 0.16
AVERAGE NOISE TEMPERATURE:	68.2		GAIN: AVERAGE / SPAN:	34.4 / 0.9	
MIN. OUTPUT RETURN LOSS:	12.9		GAIN FLUCTUATIONS @1 HZ:		
CRYOGENIC TEMPERATURE DATA (T=15 K)					
OPTIMUM BIAS (9 mW)	V _{d1} =	0.6	I _{d1} =	4	V _{g1} = -1.20
	V _{d2} =	0.5	I _{d2} =	4	V _{g2} = 0.68
	V _{d3} =	1.1	I _{d3} =	4	V _{g3} = 0.38
AVERAGE NOISE TEMPERATURE:	3.9		GAIN: AVERAGE / SPAN:	36.4 / 1.9	
MIN. OUTPUT RETURN LOSS:	13.2		GAIN FLUCTUATIONS @1 HZ:		

3 Sistemas criogénicos empleados en el criostato del receptor S/C/CH.

En este receptor se emplean los siguientes elementos.

- Cabeza refrigeradora CTI-Cryogenics modelo 350. Capacidad refrigeradora (5W a 12 K y 20W a 77K)
- Compresor CTI modelo 8200. Basado en el ciclo de expansión de He gas Gifford-McMahon (2 etapas). Refrigerado por aire.

Entre ambos sistemas existen las siguientes conexiones:

- El compresor se alimenta a 220V y 50Hz.
- Cable de alimentación entre el compresor y la cabeza refrigeradora. Cables de 1mm de sección. Pin-out (1-B y D; 2-C; 3-E; GND-F).
- Tubos de Helio (He gas Supply; He gas Return).

3.1 *Diseño térmico del criostato.*

Consiste en determinar las cargas térmicas que se producen en el criostato, con el fin de determinar cuál debe ser la capacidad refrigeradora de la cabeza criogénica. Como se ha comentado en un apartado anterior, las cargas térmicas pueden ser de cuatro tipos:

- Carga por conducción gaseosa.
- Carga por sólidos.
- Carga por radiación.
- Carga disipada en el propio criostato.

Al hacer el vacío dentro del criostato se consigue:

- Eliminar la carga por convección gaseosa.
- Reducir la carga por conducción gaseosa (gas residual tras hacer el vacío). Se emplean además como ya se ha comentado con anterioridad trampas de vacío a base de zeolitas que capturan las moléculas aisladas que puedan existir.

El efecto dominante en la carga es la radiación de la superficie caliente a la fría y la conducción por sólidos (cables que conectan dos etapas a diferentes temperaturas).

A la hora de efectuar los cálculos es imprescindible tener claro como efectuar la conversión entre diferentes unidades de presión.

$$\boxed{1Pa = 7.5 \cdot 10^{-3} torr}$$

$$\boxed{1torr = 1.33mbar}$$

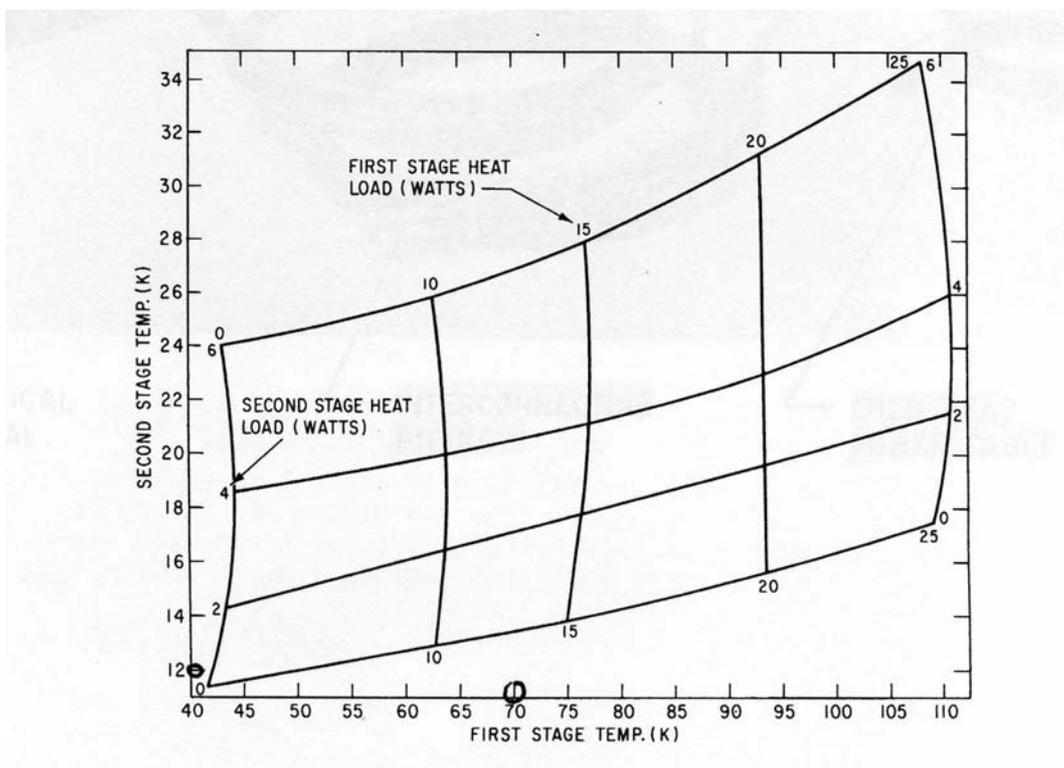


figura 28: Capacidad refrigeradora de la cabeza CTI-350

Si llevamos los resultados obtenidos tras enfriar el criostato a la gráfica, se obtienen los siguientes valores de carga térmica:

Etapla intermedia: $T_{int} = 90\text{K}$ (19W)

Etapla fría: $T_{cold} = 19\text{K}$ (4W)

4 Calibración del receptor

Se ha calibrado el receptor empleando el método del factor Y.

La medida de la temperatura de ruido de un receptor se realiza conectando a la entrada del receptor cargas adaptadas a temperaturas conocidas. Si a la entrada del receptor se sitúa una carga adaptada a temperatura T_H se obtendrá una potencia a la salida P_H . Cuando a la entrada se sitúa una carga a una temperatura diferente T_C , la potencia será ahora P_C . La temperatura de ruido del receptor es

$$T_R = \frac{T_H - Y \cdot T_C}{Y - 1} \quad \text{donde} \quad Y = \frac{P_H}{P_C}$$

Este es el método denominado del factor Y. Su principal hipótesis es que el receptor sea lineal en el rango P_H a P_C . Las cargas térmicas se realizan mediante absorbente de microondas. La carga caliente, P_H , es simplemente el absorbente a temperatura ambiente y la carga fría, P_C , se realiza con el mismo absorbente sumergido en nitrógeno líquido, 77K.

En la siguiente tabla se indican los resultados obtenidos.

	Banda	Polarización	Trx (K)	Tcal (K)							
				0dB	3dB	6dB	9dB	12dB	15dB	18dB	21dB
B1	4.56 - 5.06	RHCP	7	41	21	11	5,5	2,8	1,4	0,7	0,3
		LHCP	9	40	21	10	5,0	2,5	1,3	0,6	0,3
B2	5.9 - 6.4	RHCP	9	164	84	42	20	10,0	5,0	2,5	1,3
		LHCP	10	158	81	40	19	9,5	4,8	2,4	1,2
B3	6.4 - 6.9	RHCP	9	154	76	39	18	9	4,5	2,3	1,1
		LHCP	9	151	76	38	19	9	4,5	2,3	1,1

Números verdes => medidas reales

Números naranja => extrapolaciones

Referencias

- Ref 1. "Criostato del receptor de 22 GHz del CAY". Informe técnico del CAY 2005-12.
- Ref 2. "Criostato del receptor S/X de VLBI del CAY". Informe técnico el CAY 1994-6
- Ref 3. "Cryogenic Heat Transfer". Randall F.Barron. Taylor and Francis, 1999.
- Ref 4. "Cryogenic Systems". Randall F.Barron. Oxford Science publications, 1985.
- Ref 5. "Experimental Techniques in Low-Temperature Physics". Guy K. White.
- Ref 6. "Guidelines for the design of cryogenic systems". NRAO.
- Ref 7. "Cryogenic Process Engineering." Klaus D. Timmerhaus, Thomas M. Flynn.
- Ref 8. "Cryogenic engineering". Hands.
- Ref 9. "Handbook of cryogenic engineering". Weidend.
- Ref 10. "CTI-Cryogenics cryodyne refrigeration systems"
- Ref 11. "Measurement of cryogenic performance of 4-8 GHz Pamtech isolators S/N 117-120". Technical Report CAY.2000-3.
- Ref 12. "Cryogenic design of the Deep Space Network Large Array Low-Noise amplifier system". IPN Progress report 42-157. May, 2004. Communications Ground Systems Section.