ACTUALIZACIÓN DEL RECEPTOR CRIOGÉNICO BANDAS K/Q DE LA ANTENA ARIES DEL CNTRAG DE YEBES:

Nuevo receptor banda Q

B. Vaquero, J.M. Serna Puente, J.A. López Fernández, J.A. López Pérez, P. de Vicente, F. Tercero, M. Patino, J.M. Yagüe, J.A. Abad, S. Henche

INFORME TÉCNICO IT - CNTRAG 2015 - 7

ÍNDICE

1		Intr	ıtroducción1		
	1.	1	Res	umen de especificaciones	. 1
2		Geo	omet	ría del criostato	. 2
	2.	1	Etap	pa exterior (vacuum case)	3
		2.1.	1	Ventana de vacío.	. 6
		2.1.	2	Juntas de vacío	. 7
	2.2	2	Etap	pa intermedia (radiation shield)	. 8
		2.2.	1	MultiLayer Insulation (MLI)	. 8
		2.2.	2	Filtro de infrarrojos	9
	2.3	3	Etap	pa fría (cold plate)	10
3		Am	plifi	cadores de bajo ruido	12
	3.	1	Mo	dulo de polarización de los amplificadores	13
4		Boo	cina l	banda Q	16
	4.	1	Mee	didas de la bocina en banda Q	16
5		Cat	lead	lo interior y exterior de DC	20
	5.	1	Cab	leado de polarización de los amplificadores de bajo ruido	22
	5.2	2	Cab	leado de housekeeping	24
6		Sist	ema	criogénico	27
7		Me	didas	s del comportamiento térmico y de vacío	28
8		Inst	alaci	ión del receptor en el Radiotelescopio de 40 m	29
	8.	1	Ten	nperatura de ruido	30
9		Ref	eren	cias	31
1()	Ane	exos		32
	10).1	E	specificaciones del amplificador YMQ 3011 (LCP)	32
	10).2	E	specificaciones del amplificador YMQ 3005 (LCP)	34
	10).3	E	specificaciones del amplificador YMQ 3009 (RCP)	35
	10).4	E	specificaciones del amplificador YMQ 3006 (RCP)	37
	10).5	E	specificaciones de los sensores de temperatura DT670	38
	10).6	E	specificaciones de los cables semirígidos	39
	10).7	N	Iedidas de los cables de RF	40

1 Introducción

En el presente informe se resumen las modificaciones realizadas en el receptor de bandas K/Q instalado en el radiotelescopio de 40 m del Observatorio de Yebes.

Debido a cambios en los proyectos de observación que se realizan en el radiotelescopio de 40 m del Observatorio de Yebes, se necesita que las bandas K y Q estén situadas en dos receptores diferentes de modo que puedan realizarse observaciones de forma simultánea. Para la observación en banda K se ha desarrollado un nuevo receptor (Ref. 15) por lo que la banda K del receptor K/Q se ha retirado completamente. En el caso de la banda Q, se han instalado nuevos amplificadores de bajo ruido, LNAs, desarrollados en el propio Observatorio de Yebes y se han retirado los aisladores.

El resto de la estructura del receptor se ha mantenido como estaba. Se trata de un criostato de ciclo cerrado de dos etapas, una fría a 20 K y otra intermedia a menos de 70 K, para las cuales se emplea una cabeza refrigeradora CTI-350. También emplea dos trampas criogénicas a base de zeolitas y dos resistencias calefactoras que mejoran de forma importante el funcionamiento del criostato.

Banda de frecuencias	Q Band: 41-49 GHz
Tomporatura físico	< 65 K radiation shield
Temperatura física	< 22 K cold stage
Presión	< 10 ⁻⁶ mbar
	29,5 + 24,3 dB LCP
Ganancia LINAS	27,5 + 22,8 dB RCP
Temperatura de ruido (receptor	RCP band: < 60 K
instalado RT 40 m)	LCP band: < 60 K
	Q band: feed
Entradas	RCP calibration: 2.4
	LCP calibration: 2.4
Calidae	RCP: conector 2.4
Sandas	LCP: conector 2.4
Impedancia	50 Ω

1.1 Resumen de especificaciones

2 Geometría del criostato



En la siguiente figura se muestra, de forma general, el diseño del criostato.

Figura 1. Vista general del receptor (diseño original de la banda Q).

Se emplea una cabeza refrigeradora CTI Cryogenics 350 (doble etapa). Tanto la bocina en banda Q como el polarizador y los cuatro LNAs se encuentran conectados a la etapa fría de la cabeza (20K).

La entrada/salida al criostato se efectúa a través de bridas que poseen dos conectores 2.4 (2 salidas para las salidas de los amplificadores y dos entradas para la señal

de calibración del receptor). La entrada de la señal se realiza a través de una ventana de vacío de teflón de 8,5 mm de espesor situada en la parte superior del receptor.

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

2.1 Etapa exterior (vacuum case)

Se diferencian tres partes: el cilindro exterior, tapa superior y tapa inferior.





Figura 2. Dewar y brida superior con la ventana de vacío.



Figura 3. Plano del dewar del receptor.



Figura 4. Bridas superior e inferior del dewar.

El cilindro exterior ha sido hecho en acero inoxidable AISI-316. Consta de tres piezas, dos bridas y el cilindro (2 mm de grosor), ensambladas mediante soldadura estanca bajo atmósfera inerte de gas argón por procedimiento automático TIG. Las soldaduras han sido limpiadas, decapadas y pasivadas. Tras los test de vacío no se han detectado fugas. Las dos bridas están hechas en acero inoxidable AISI-316 con 16 taladros ciegos roscados M8. En ellas se ha torneado un canal para junta tórica. El acabado es pulido espejo BA en toda la brida, incluyendo el canal.

Las tapas de aluminio, superior e inferior, se han mecanizado en los talleres del Observatorio. Son de duraluminio, tienen un grosor de 15 mm y forma octogonal.



Figura 5. Cilindro y tapa superior.

La tapa inferior dispone de salidas para varios usos. Por un lado está la conexión para la cabeza refrigeradora, en la cual se ha torneado un canal para junta de vitón. Y rodeando a ésta, 8 taladros ciegos M5. También se encuentran dos salidas para vacío, una para bombeo y otra para medida de la presión. Además hay tres aberturas donde se colocan las bridas con los conectores SMA, K o 2.4 herméticos que permiten la entrada y salida de las señales del receptor en coaxial. Por último, hay seis conectores Fischer herméticos para el cableado de housekeeping y de polarización de los amplificadores.

El cableado de DC (housekeeping y polarización de los LNAs) se realiza con cable criogénico de fósforo-bronce, Lakeshore Cryogenics AWG32, con aproximadamente 1500 mm de longitud total para reducir la carga por conducción. Sobre la brida inferior del dewar podemos encontrar una placa donde se realiza la transición de cable convencional, proveniente de los conectores Fischer, a cable criogénico a través de conectores DB9 o DB15. Al lado de esta placa se encuentra un cilindro de aluminio que se utiliza para enrollar los cables criogénicos, debido a la gran longitud de éstos.



Figura 6. Conectores Fischer herméticos, placa con los DBs y cilindro de aluminio.



Figura 7. Tapa inferior del criostato.

2.1.1 Ventana de vacío.

El objetivo de la ventana de vacío es permitir la transición (física, electromagnética y de vacío) entre el exterior del receptor que está a temperatura ambiente y el interior del criostato (etapa fría en la que se encuentra las bocina, LNAs, etc.).

La ventana de vacío original empleada en el receptor estaba hecha de teflón como muestra la figura inferior y permitía la entrada de las señales en bandas K y Q.



Figura 8. Antigua ventana de vacío hecha de teflón.

Esta ventana fue sustituido por una de Mylar de 0.5 mm de espesor, que a bajas frecuencias ofrece mejores resultados que las ventanas de teflón. Los resultados obtenidos en banda Q no fueron los esperados, así se reemplazó por una nueva ventana de teflón adaptada al nuevo diseño del receptor.



Figura 9. Diseño de la ventana de teflón.

Para instalar las nuevas ventanas (tanto la primera de Mylar como la definitiva de teflón), se ha construido una nueva brida superior del dewar con una apertura menor, que sólo deja pasar la señal a la bocina en banda Q, ya que la bocina en banda K no se encuentra dentro del receptor, reduciendo así la carga por radiación. Además se ha diseñado una pieza especial para sujetar las ventanas sin que haya riesgos de ruptura y asegurar un buen sellado de la junta.



Figura 10. Brida superior del dewar con la ventana de vacío de Mylar.



Figura 11. Disposición final del receptor banda Q con la ventana de teflón, junto al receptor de 22 GHz en el radiotelescopio de 40 m.

2.1.2 Juntas de vacío

En la tabla inferior se dan las especificaciones de las juntas de vacío utilizadas en el receptor y su localización:

Juntas de viton	Тіро	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	Referencia	Cant.
Cabeza refrigeradora - Brida inferior del dewar	OR VI	110.72	3,53	305.643	1
Bridas superior e inferior del dewar - Dewar	OR VI	365	5	304.143	2
Brida superior - Teflón	OR VI	142,47	3,53	509.232	1
Ventana de vacío - Teflón	OR VI	160	3	467.134	1
Bridas SMAs - Brida inferior del dewar	OR VI	58,42	2,62	305.517	3

Tabla 1. Juntas de vacío de Epidor (Ref. 16).

2.2 Etapa intermedia (radiation shield)

Se diferencian cuatro partes: la placa intermedia, el cilindro, el superaislamiento MLI y el filtro de infrarrojos.



Figura 12. Placa intermedia instalada en el criostato.

La placa intermedia es la conexión entre la etapa intermedia del refrigerador criogénico y el recubrimiento. Sobre ella se sitúan 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 pulido, tiene un espesor de 4mm.

La bomba criogénica incluye una resistencia de regeneración de 100 Ω y 2,5 W. El sensor de temperatura es un diodo DT670 de Lakeshore. La resistencia calefactora es de 25 W y 100 Ω . Tanto el circuito de regeneración como el de calentamiento incluyen termostatos protectores de 70°C.

2.2.1 MultiLayer Insulation (MLI)

Se ha empleado la técnica MLI para reducir la carga térmica por radiación entre la etapa caliente y la etapa intermedia.

Las láminas de MLI utilizadas en nuestro desarrollo son NRC-2. Consisten en una película de material aislante muy ligero (mylar: polyester film) de unas 6 micras de espesor con aluminio de alta reflectividad depositado en ambas caras y de aspecto rizado. La reflectividad del NRC-2 de 0.03. Para que el superaislameinto sea efectivo la presión debe ser inferior a 10^{-4} mbar (la presión alcanzada en el interior del dewar suele estar por debajo de 10^{-6} mbar cuando el receptor de encuentra a temperatura criogénica).

Se han colocado 8 capas de superaislamiento alrededor del cilindro de la etapa intermedia, por debajo de la placa y en la tapa superior donde se encuentra el filtro de IR, con un espesor total aproximado de 4 mm.



Figura 13. Aspecto final de la etapa intermedia tras instalar el superaislamiento.

2.2.2 Filtro de infrarrojos

El último elemento importante de la etapa intermedia es el filtro de infrarrojos. Se emplea para reducir la caga térmica hacia la etapa fría (radiación infrarroja que se introduce en el criostato a través de la ventana de vacío del dewar). El material empleado es poliestireno extruido (espesor 3 ± 0.3 mm, conductividad térmica a 40°C 0.003 W/mK, densidad 35 kg/m³). El filtro consiste en tres capas de poliestireno de 3 mm de espesor cada una separadas por arandelas de nylon de 0.8 mm de grosor.



Figura 14. Esquema del filtro de infrarrojos.

En el montaje original del receptor se utilizaba como filtro de infrarrojos una sola lámina de poliestireno de 1 cm de grosor. Se ha cambiado la configuración porque después de varias pruebas realizadas en diferentes receptores del Observatorio se ha comprobado que el montaje de tres capas separadas ofrece mejores resultados.



Figura 15. Configuración original (arriba) y configuración final (abajo) del filtro de IR.

2.3 Etapa fría (cold plate)



Figura 16. Placa fría con todos sus elementos.

La etapa fría está constituida por una placa conectada a la etapa fría de la cabeza refrigeradora mediante cuatro tornillos. La conexión térmica se mejora empleando indio. Sobre esta placa se encuentran la bomba criogénica fría, la resistencia calefactora, el sensor de temperatura, el termostatos para las resistencias calefactoras y los soportes para todos los dispositivos que deben ir instalados en esta etapa (bocinas, polarizadores, amplificadores, transiciones de coaxial a guía de onda...).

Las características de los elementos de housekeeping son como los de la etapa intermedia.



Figura 17. Diseño del interior del receptor (vista 3D) (La posición de los LNAs no coincide con el diseño definitivo del receptor, con dos amplificadores por polarización.)

3 Amplificadores de bajo ruido

Este receptor cuenta con cuatro amplificadores de bajo ruido en banda Q desarrollados en el propio Observatorio de Yebes. Cada pareja funciona en una polarización, circular derecha y circular izquierda. Las bandas de funcionamiento son las siguientes:

LNA / Banda	YMQ 3011 Banda Q LCP LNA1	YMQ 3009 Banda Q RCP LNA1	YMQ 3005 Banda Q LCP LNA2	YMQ 3006 Banda Q RCP LNA2
Banda	31-50 GHz	31-50 GHz	31-50 GHz	31-50 GHz
Temperatura de ruido media @15K	16 K	17.8 K	22.4 K	25.8 K
Ganancia media @15K	29.5 dB	27.5 dB	24.3 dB	22.8 dB
Temperatura de ruido media @296K	171.9 K	170.5 K	183.4 K	204.6 K
Ganancia media @15K	29.2 dB	28.5 dB	27.8 dB	26.8 dB
Etapas	3	3	3	3
\mathbf{S}_{11}	-10.1 dB	-8.2 dB	-9.7 dB	-8.8 dB
Rango de frecuencias de interés radioastronómico	41-45 GHz			
Utilidad	VLBI - SD			

Tabla 2. Principales e	especificaciones de	los LNAs en banda Q	2.
------------------------	---------------------	---------------------	----



Figura 18. Diseño e imagen 3D de los amplificadores de bajo ruido en banda Q.

Las siguientes imágenes muestran la situación de los amplificadores en la etapa fría. La entrada a los dos primeros amplificadores de cada una de las polarizaciones es en guía de onda, por lo que hay colocadas dos transiciones desde el polarizador a los amplificadores. Los dos amplificadores siguientes tienen entrada en coaxial. Para conseguir la temperatura más baja posible en los amplificadores, además de estar unidos a la etapa fría a través del polarizador y la bocina tienen dos mallas de cobre que los unen con la cabeza refrigeradora.



Figura19. Situación de los amplificadores en el receptor.

3.1 Modulo de polarización de los amplificadores

Los amplificadores de banda Q poseen sus propias fuentes de alimentación, encargadas de generar las señales de polarización adecuadas. Estas fuentes ya están ajustadas según los valores de polarización de cada amplificador, indicados en el informe, para temperaturas del orden de 15 K. De todos modos, estos valores se pueden verificar y modificar fácilmente en el módulo con el correspondiente potenciómetro. Se pueden ajustas los valores V_d y I_d, hasta de cuatro etapas, aunque estos amplificadores sólo cuentan con tres.

Se han desarrollado dos módulos de polarización cada uno con dos tarjetas. El primer módulo para los dos primeros amplificadores (3011 y 3009) y el segundo para los amplificadores que están en segundo lugar en la cadena de recepción (3005 y 3006).



Figura 20. Modulo de polarización de una pareja de amplificadores.



Figura 21. Componentes de la placa.

Se han construido cables específicos que poseen en un extremo un conector Fischer de 11 pines (conectado al criostato en el conector correspondiente) y en el otro extremo un conector DB9 que se conecta al módulo de polarización.

Las siguientes tablas muestras los valores de polarización de los 4 amplificadores que se encuentran en el receptor:

YMQ 3011 Banda Q LCP LNA1		
Optimum bias values @14K		
V_{d1}	0.5 V	
I _{d1}	5 mA	
V_{g1}	0.39 V	
V_{d2}	0.5 V	
I _{d2}	5 mA	
V_{g2}	0.39 V	
V _{d3}	1.25 V	
I _{d3}	13 mA	
\overline{V}_{g3}	0.32 V	

YMQ 3009 Banda Q RCP LNA1		
Valores óptimos @15K		
V_{d1}	0.5 V	
I _{d1}	5 mA	
$\mathbf{V_{g1}}$	0.35 V	
V_{d2}	0.5 V	
I _{d2}	3 mA	
$\mathbf{V_{g2}}$	0.30 V	
V _{d3}	1.25 V	
I _{d3}	13 mA	
V_{g3}	0.23 V	

YMQ 3005 Banda Q LCP LNA2

Optimum bias values @14K		
V_{d1}	0.5 V	
I _{d1}	3 mA	
V_{g1}	-0.11 V	
V_{d2}	0.5 V	
I_{d2}	3 mA	
V_{g2}	-0.13 V	
V_{d3}	1 V	
I _{d3}	6 mA	
$\overline{V_{g3}}$	-0.25 V	

YMQ 3006 Banda Q RCP LNA2		
Valores óptimos @15K		
V _{d1}	0.5 V	
I _{d1}	4 mA	
V_{g1}	-0.09 V	
V_{d2}	0.5 V	
I _{d2}	4 mA	
V_{g2}	-0.11 V	
V _{d3}	1 V	
I _{d3}	6 mA	
V_{g3}	-0.25 V	

Tabla 3. Valores de polarización óptimos a 14-15 K.

4 Bocina banda Q



Figura 22. Imagen 3D de la bocina y dimensiones.

4.1 Medidas de la bocina en banda Q

La medida se ha realizado en el laboratorio de medida de antenas del Observatorio de Yebes. Se trata de un sistema plano de medida en campo cercano. El alimentador bajo prueba está compuesto por una bocina cónica corrugada con lente acoplada a un polarizador/acoplador.

Medidas en polarización circular (LHCP y RHCP). Diagramas de radiación (copolar y contrapolar), relación axial y directividad. Rango de frecuencias entre 40 y 50 GHz, $\Delta f = 2$ GHz.



Figura 23. vista de la antena situada en la cámara anecoica.

Frecuencia (GHz)	Directividad (dB)	Ralación axial (dB)	BW(-3dB)
40	28.3	4.2	7
41	28.5	3.4	7
42	28.8	3	7
43	28.9	2.7	7
44	29.1	2.6	7
45	29.4	2.4	7
46	29.7	2.3	7
47	29.9	2.3	6
48	30.1	2.4	6
49	30.2	2.3	6
50	30.3	2.4	6

LHCP

Tabla 4. Bocina banda Q: directividad y relación axial, 40-50 GHz - LCP.











Figura 24. Patrón de radiación en amplitud 40-50 GHz - LCP.

RHCP

Frecuencia (GHz)	Directividad (dB)	Ralación axial (dB)	BW(-3dB)
40	28.3	4	7
41	28.5	3.4	7
42	28.8	3	7
43	28.9	2.8	7
44	29	2.6	7
45	29.4	2.4	7
46	29.7	2.2	6
47	29.9	2.2	6
48	30.2	1.9	6
49	30.3	2.0	6
50	30.2	1.2	6

Tabla 5. Bocina banda Q: directividad y relación axial, 40-50 GHz - RCP.







Figura 25. Patrón de radiación en amplitud 40-50 GHz - RCP.

5 Cableado interior y exterior de DC.

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

- Dos de 16 pines empleados para las señales de monitorización y housekeeping. Actualmente uno de ellos no se utiliza.
- Dos de 11 pines correspondientes a las señales de polarización de los amplificadores de la polarización RCP.
- Dos de 11 pines correspondientes a las señales de polarización de los amplificadores de la polarización LCP.

Conector	Función
C1	Polarización LNA1 banda Q LCP
C2	Polarización LNA1 banda Q RCP
C3	Polarización LNA2 banda Q LCP
C4	Polarización LNA2 banda Q RCP
C5	Housekeeping $=> \sin uso$
C6	Housekeeping

Tabla 6. Conectores Fischer herméticos de la brida inferior del dewar.

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



Figura 26. Fischer de 11 pines (vista conector, female), punto rojo arriba.



Figura 27. Fischer de 16 pines (vista conector, female), punto rojo arriba.



Figura 28. Brida inferior del dewar con los conectores Fischer, 2.4, cabeza refrigeradora, sensor de presión, etc.

En este receptor se efectúa una transición de cable convencional a cable criogénico mediante la utilización de conectores DB9 (LNAs) y DB15 (housekeeping) que reciben por uno de sus extremos las señales procedentes de cada uno de los conectores Fischer y en el otro extremo se sueldan los cables criogénicos correspondientes.



Figura 29. Transición a cable criogénico AWG32 Phosphor Bronze.

5.1 Cableado de polarización de los amplificadores de bajo ruido

La siguiente imagen muestra el pin-out del conector de polarización de los amplificadores:

	PIN	SIGNAL
9 PIN SINGLE ROW	1	GND
NANO-D PANEL-SOCKET	2	VD4
CONNECT SIDE	3	VG4
	4	VD3
	5	VG3
	6	VD2
	7	VG2
		VD1
	9	VG1

Figura 30. Pin-out del conector de polarización de los amplificadores YMQ.

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

Señales de polarización	DB9 Módulo 1 AMPLI 1 YMQ 3011 LCP	Color	Conector Fischer C1 del dewar	Transición de cable convencional a criogénico DB9	Conector NANO-D de los amplificadores
GND	1	Rojo	8	8	1 negro
V _{d1}	2	Blanco	4	4	8 violeta
V _{g1}	3	Negro	3	3	9 gris
V _{d2}	4	Violeta	6	6	6 verde
V _{g2}	5	Gris	5	5	7 azul
V _{d3}	6	Verde	9	9	4 naranja
V _{g3}	7	Azul	7	7	5 amarillo
V _{d4}	8	Naranja	11	2	2 marrón
V_{g4}	9	Amarillo	10	1	3 rojo
	10				
	11				

Tabla 7. Pin-out amplificador 1, YMQ 3011, de la polarización LCP.

Señales de polarización	DB9 Módulo 1 AMPLI 1 YMQ 3009 RCP	Color	Conector Fischer C2 del dewar	Transición de cable convencional a criogénico DB9	Conector NANO-D de los amplificadores
GND	1	Rojo	8	8	1 negro
V _{d1}	2	Blanco	4	4	8 violeta
V_{g1}	3	Negro	3	3	9 gris
V _{d2}	4	Violeta	6	6	6 verde
V _{g2}	5	Gris	5	5	7 azul
V _{d3}	6	Verde	9	9	4 naranja
V _{g3}	7	Azul	7	7	5 amarillo
V _{d4}	8	Naranja	11	2	2 marrón
V_{g4}	9	Amarillo	10	1	3 rojo
	10				
	11				

Tabla 8. Pin-out amplificador 1, YMQ 3009, de la polarización RCP.

Señales de polarización	DB9 Módulo 2 AMPLI 2 YMQ 3005 LCP	Color	Conector Fischer C3 del dewar	Transición de cable convencional a criogénico DB9	Conector NANO-D de los amplificadores
	1	Negro	1		
	2	Rojo	2		
GND	3	Marrón	3	3	1 negro
V _{d1}	4	Violeta	4	4	8 violeta
V _{g1}	5	Azul	5	5	9 gris
V _{d2}	6	Verde	6	6	6 verde
V_{g2}	7	Amarillo	7	7	7 azul
V _{d3}	8	Naranja	8	2	4 naranja
V _{g3}	9	Blanco	9	9	5 amarillo
			10		
			11		

Tabla 9. Pin-out amplificador 2, YMQ 3005, de la polarización LCP.

Señales de polarización	DB9 Módulo 2 AMPLI 2 YMQ 3006 RCP	Color	Conector Fischer C4 del dewar	Transición de cable convencional a criogénico DB9	Conector NANO-D de los amplificadores
	1	Rojo	1		
	2	Blanco	2		
GND	3	Negro	3	3	1 negro
V _{d1}	4	Violeta	4	4	8 violeta
V _{g1}	5	Gris	5	5	9 gris
V _{d2}	6	Verde	6	6	6 verde
V_{g2}	7	Azul	7	7	7 azul
V _{d3}	8	Naranja	8	2	4 naranja
V _{g3}	9	Amarillo	9	9	5 amarillo
			10		
			11		

Tabla 10. Pin-out amplificador 2, YMQ 3006, de la polarización RCP.

5.2 Cableado de housekeeping

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			
8	calef_on	Señal que tras pasar por el termostato activa las resistencia calefactoras			
7	calef_mon	Detecta si el termostato asociado a las calefactoras está activado			
5	regen_on	Señal que tras pasar por el termostato activa las resistencias regeneradoras de las zeolitas			
9	regen_mon	Detecta si el termostato asociado a las regeneradoras está activado			
10	gnd_res	Tierra de los circuitos de las resistencias y termostatos			

Tabla 11. Señales de house-keeping.

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-32-100 (Quad-lead wire, 32AWG (Ø=0.203mm), 100ft).

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



Figura 31. Conexionado de las señales de "house-keeping".

Todas estas señales de housekeeping 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. Conexión del DB25 al sistema Lakeshore 218 (posiciones 1 y 2), configurado para los sensors DT670.
 - 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 (-).
- Y por otro, tres conectores banana que son los encargados de alimentar las resistencias calefactoras y regeneradoras:
 - Banana roja: activar resistencias regeneradoras.
 - Banana negra: GND.
 - Banana amarilla: activar resistencias calefactoras.
- Existen otros dos puntos de acceso:
 - Rojo: monitorizar estado de las resistencias regeneradoras.
 - Negro: monitorizar estado de las resistencias calefactoras.

Consumo de las resistencias:

- Regeneradoras: 6,18 V => 83 mA
- Calefactoras: $25,76 \text{ V} \Rightarrow 446 \text{ mA}$

- Pin-out cableado de housekeeping

A continuación se muestra el pin-out del cable exterior de house-keeping, del Fischer al DB25 y las bananas y el pin-out entre el Fischer y el DB15, en el interior del criostato, que realiza el cambio de cable criogénico a cable convencional.

Señal	DB25 pin	Conectores banana	Fischer Pin	DB15 Pin
Ti_+	3, 4		1	1
Ti	15, 16		2	2
Tc_+	6, 7		3	3
Tc	18, 19		4	4
Regen_on		Rojo	5	7
Calef_mon		Negro (test point)	7	10
Calef_on		Amarillo	8	5
Regen_mon		Rojo (test point)	9	9
GND_res		Negro	10	8

Tabla 12. Descripción del cable exterior de housekeeping y de la correspondencia entre el Fischer de 16 pines y el conector DB15.

6 Sistema criogénico

Este receptor utiliza una cabeza refrigeradora CTI-Cryogenics modelo 350, que posee las siguientes características:

Model 350 Cryodyne The Model 350 is available in both single and two stage configurations. The two stage $% \left({{{\rm{A}}_{{\rm{B}}}} \right)$ Refrigeration System M-350 was originally designed to cool amplifiers in satellite communication ground stations. The M-350 is the basic refrigerator that is used in the majority of cryopumps throughout the world. The M-350 is used in many laboratory and commercial applications such as cooling low noise microwave amplifiers for radar and radio astronomy. The M-350 is used in basic materials research, matrix isolation spectroscopy and cooling of superconductors. The single stage M-350 will provide 40 watts of heat lift at 77K. The two stage M-350will provide a heat lift of 4 watts at 20K Model 350 Two Stage Cryodyne Refrigerator Typical Performance (60Hz) and 20 watts at 77K simultaneously. 30 Stage Heat Load (watts) ¥ 26 22 June 18 Stage econd 10 Second Stage 6 30 40 50 60 70 First Stage Temperature (K) 90 Model 350 Single Stage Cryodyne Refrigerator Typical Performance (60Hz) 60 50 Applied Load (watts) 40 30 20 10 25 30 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 10 ture (K) 34 32 FIRST STAGE HEAT 30 28 TEMP. [X] 26 24 STAGE 22 SECOND STAGE HEAT SECOND LOAD [WATTS! 20 18 16 14 12 lc 55 65 70 75 80 85 FIRST STAGE TEMP. (K) 40 50 60 90 95 100 105 110 45

Figura 32. Modelo CTI-350 (Capacidad refrigeradora) @50Hz.

Para el funcionamiento de esta cabeza refrigeradora se puede usar el compresor CTI modelo 8200, basado en el ciclo de expansión de He gas Gifford-McMahon (2 etapas) y refrigerado por aire, o el compresor Oxford M600 de características similares pero capaz de controlar hasta tres cabezas refrigeradoras 350 de forma simultánea.

7 Medidas del comportamiento térmico y de vacío

Se han realizado varias pruebas para determinar el comportamiento térmico y de vacío del criostato. Los sistemas utilizados para la realización del vacío y el enfriado son los siguientes:

- Cabeza refrigeradora: CTI 350.
- Compresor: CTI 8200, 220V 50 Hz.
- Sistema de vacío:
 - Sistema compacto HiCube 80 Eco (Pfeiffer) compuesto por una bomba rotatoria y una turbomolecular.
 - Sensores de presión: Pirani y cátodo frío.

Resultados finales de las medidas:

- Temperatura medida en la etapa itermedia: $\leq 63 \text{ K}$.
- Temperatura de la etapa fría: $\leq 22 \text{ K}$.
- Vacío <10⁻⁶ mbar (vacío criogénico).
- Tiempo de enfriado **< 9 h.**
- Tiempo de calentado: ≈ 8 h (con las resistencias calefactoras encendidas).



Figura 33. Test de vacío y frío el receptor banda Q.

8 Instalación del receptor en el Radiotelescopio de 40 m

El nuevo receptor banda Q se encuentra instalado en la rama izquierda de la cabina de receptores del radiotelescopio de 40 m del Observatorio de Yebes. El receptor se encuentra situado sobre una mesa junto con el receptor banda K. Gracias a un espejo dicroico situado entre los dos receptores y otros espejos reflectores es posible hacer observaciones simultáneas con los dos receptores.





Figura 34. Receptores banda Q y banda K en la cabina de receptores del 40m.

8.1 Temperatura de ruido

Temperatura de ruido medida con el receptor situado en el radiotelescopio de 40 m en su configuración final:



Figura 35. Temperatura de ruido del receptor banda Q, con ventana de vacío de teflón y espejo dicroico.

9 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.
- Ref 13. "Nuevo receptor banda C de la antena Aries del Observatorio de Yebes". Informe técnico del CAY 2010-14.
- Ref 14. "Entrada en guía WR-112 del criostato de VLBI". Informe técnico del CAY 1994-1.
- Ref 15. "New K Band Receiver for Multifrequency VLBI". Informe Técnico CNTRAG 2015-6.
- Ref 16. "Juntas tóricas". Epidor Catalog (O-rings).
- Ref 17. "Wettzell S/X Bands Cryogenic Receiver". Informe Técnico CDT 2013-4.
- Ref 18. "O'Higgins S/X Bands Cryogenic Receiver". Informe Técnico CDT 2013-11.
- Ref 19. "Reparación cabeza refrigeradora: CTI 350". Informe Técnico CDT 2014-2.

10 Anexos

10.1	Especificaciones	del	amplificador	YMQ	3011	(LCP)	
------	------------------	-----	--------------	-----	------	-------	--

CRYOGENIC LNA DATA SHEET				DATE: 11/11/14	
BAND: Q (31-	50)	S/N:		YMQ 3011	
MMIC: IAF	Run: 754	Wafer:	82	Cell: 30	
ROOM	TEMPERATU	RE DATA	T =	296	
	V _{d1} = 1.1	I _{d1} =	14.0	$V_{g1} = 0.34$	
	V _{d2} = 1.1	I _{d2} =	14.0	$V_{g2} = 0.34$	
NOMINAL DIAS	V _{d3} = 1.5	I _{d3} =	28.0	$V_{g3} = 0.33$	
	V _{d4} =	I _{d3} =		V _{g3} =	
	FREQ	JENCY BAND:		31-50	
	AVERAGE	NOISE TEMP:		171.9	
COAXIAL	AV	ERAGE GAIN:		29.2	
MEASUREMENTS	MIN. INPUT R	ETURN LOSS:		-10.4	
	MIN. OUTPUT R	ETURN LOSS:		-12.2	
	AVERAGE	NOISE TEMP:			
WAVEGUIDE INPUT					
MEASUREMENTS			-10.1		
	OSCILLATIONS				
CRYOGENIC	TEMPERATU	RE DATA	Т=	15	
	V ₄₄ = 0.5		5.0	$V_{-1} = 0.39$	
NOMINAL BIAS	$V_{41} = 0.5$		5.0	$V_{g1} = 0.39$	
	$V_{d2} = 1.25$		13.0	$V_{g2} = 0.32$	
(P _{diss} = 19.75 mW)	$V_{d3} =$	$I_{d3} =$		$V_{g3} =$	
	FREQ	JENCY BAND:		31-50	
	AVERAGE	NOISE TEMP:	*	16.0	
COAVIAL	AV	ERAGE GAIN:	29.5		
	GA	IN FLATNESS:		9.5	
WEASUREWENTS	MIN. INPUT R	ETURN LOSS:			
	MIN. OUTPUT R	ETURN LOSS:			
	AVERAGE	NOISE TEMP:			
WAVEGUIDE INPUT	AV	ERAGE GAIN:			
MEASUREMENTS	GA	GAIN FLATNESS:			
	OSCILLATIONS	(INP. SHORT):		-	
REMARKS: Coaxial noise measurements according to cold att. method Amplifier with four stages (3 and 4 together) Gain data from NFM measurements					

 V_d in Volts, I_d in mA, Noise temperature in K, Gain and Return loss in dB, Frequency band in GHz



Figura 36. Ganancia y temperatura de ruido a temperatura ambiente y fría.

10.2 Especificaciones del amplificador YMQ 3005 (LCP)

Yebes CENTRO	BSERVAT(DE DESARROI	DRIO [DE YE	BES ICOS – IGN	
Apartado 148 19080 Guadalajara, SPA	IN	Phone: Fax:		+34 949 29 03 11 +34 949 29 00 63	
CRYOGENIC LNA DATA SHEET DATE: 12/12/14					
BAND: Q (31-	50)	S/N:		YMQ 3005	
MMIC: IAF	Run: 752	Wafer:	30	Cell: 45	
ROOM	EMPERATUR	E DATA	Т =	296	
	V _{d1} = 1.1	I _{d1} =	14.0	V _{g1} = 0.08	
	V _{d2} = 1.1	I _{d2} =	14.0	$V_{g2} = 0.06$	
NOMINAL BIAS	V _{d3} = 1.5	I _{d3} =	28.0	V _{g3} = 0.05	
	V _{d4} =	I _{d3} =		V _{g3} =	
	FREQUE	- NCY BAND:	-	31-50	
	AVERAGE N	OISE TEMP:		183.4	
COAXIAL	AVE	RAGE GAIN:		27.8	
MEASUREMENTS	MIN. INPUT RET	URN LOSS:	-9.7		
	MIN. OUTPUT RET	URN LOSS:	-11.7		
	AVERAGE GAIN:				
WAVEGUIDE INPUT	MIN. INPUT RETURN LOSS:				
MEASUREMENTS	MIN. OUTPUT RET	URN LOSS:			
	OSCILLATIONS (IN	NP. SHORT):		-	
CRYOGENIC	FEMPERATUR	E DATA	Т =	15	
	V _{d1} = 0.5	I _{d1} =	3.0	V _{g1} = -0.11	
NOMINAL BIAS	$V_{d2} = 0.5$	I _{d2} =	3.0	V _{g2} = -0.13	
	V _{d3} = 1.0	I _{d2} =	6.0	V _{g2} = -0.25	
(P _{diss} = 9.0 mW)	V _{d4} =	I _{d3} =		V _{g3} =	
	FREQUE	NCY BAND:		31-50	
	AVERAGE N	OISE TEMP:		22.4	
COAXIAL	AVE	RAGE GAIN:		24.3	
MEASUREMENTS		FLATNESS:		7.0	
	MIN. OUTPUT RET	URN LOSS:			
	AVERAGE N	OISE TEMP:			
WAVEGUIDE INPUT	AVE	RAGE GAIN:			
MEASUREMENTS	GAIN	FLATNESS:			
	OSCILLATIONS (IN	NP. SHORT):			
REMARKS: Coaxial noise measurements according to cold att. method Amplifier with four stages (3 and 4 together) Gain data from NFM measurements					

 V_{d} in Volts, I_{d} in mA, Noise temperature in K, Gain and Return loss in dB, Frequency band in GHz

10.3 Especificaciones del amplificador YMQ 3009 (RCP)

CRYOGENIC L		DATE:	11/11/14		
BAND: Q (31-	50)	S/N:		YMQ 300	9
MMIC: IAF	Run: 754	Wafer:	82	Cell:	34
ROOM	T =	296			
	V _{d1} = 1.1	I _{d1} =	14.0	V _{g1} =	0.27
	V _{d2} = 1.1	$I_{d2} =$	14.0	V _{g2} =	0.27
NOMINAL DIAS	V _{d3} = 1.5	I _{d3} =	28.0	V _{g3} =	0.24
	V _{d4} =	I _{d3} =		V _{g3} =	
	FREQUE	ENCY BAND:		31-50	
	AVERAGE NOISE TEMP:			170.5	
COAXIAL	AVERAGE GAIN:		28.5		
MEASUREMENTS	MIN. INPUT RE	TURN LOSS:	-9.1		
	MIN. OUTPUT RETURN LOSS:			-12.0	
	AVERAGE N	OISE TEMP:			
	AVE	RAGE GAIN:			
	MIN. INPUT RE	TURN LOSS:		-8.2	
WILASUREWIEWIS	MIN. OUTPUT RE	TURN LOSS:		-12.2	
	OSCILLATIONS (II	NP. SHORT):		-	

CRYOGENIC TEMPERATURE DATA T = 15						
	V _{d1} = 0.5	I _{d1} =	5.0	V _{g1} = 0.35		
NOMINAL BIAS	$V_{d2} = 0.5$	I _{d2} =	3.0	$V_{g2} = 0.30$		
	$V_{d3} = 1.25$	I _{d2} =	13.0	$V_{g2} = 0.23$		
(P _{diss} = 20.25 mW)	V _{d4} =	I _{d3} =		V _{g3} =		
	FREQUE	NCY BAND:		31-50		
	AVERAGE NO	DISE TEMP:		17.8		
COAXIAI	AVEF	RAGE GAIN:	27.5			
	GAIN	FLATNESS:	8.1			
WEASOREWENTS	MIN. INPUT RET	URN LOSS:				
	MIN. OUTPUT RET	URN LOSS:				
	AVERAGE NOISE TEMP:					
WAVEGUIDE INPUT	AVEF	RAGE GAIN:				
MEASUREMENTS	GAIN	FLATNESS:				
	OSCILLATIONS (INP. SHORT):			-		
REMARKS: Coaxial noise measurements according to cold att. method Amplifier with four stages (3 and 4 together) Gain data from NFM measurements						

 V_d in Volts, I_d in mA, Noise temperature in K, Gain and Return loss in dB, Frequency band in GHz



Figura 37. Ganancia y temperatura de ruido a temperatura ambiente y fría.

10.4 Especificaciones del amplificador YMQ 3006 (RCP)

OBSERVATORIO DE YEBES					
Apartado 148 19080 Guadalajara, SPAIN		Phone: Fax:		+34 949 29 03 11 +34 949 29 00 63	
CRYOGENIC LN	EET		DATE: 12/12/14		
BAND: Q (31-50)		S/N:	Y	MQ 3006	
MMIC: IAF	Run: 752	Wafer:	30	Cell: 17	
ROOM	EMPERATUR	E DATA	T = 2	296	
	V _{d1} = 1.1	I _{d1} =	14.0	V _{g1} = -0.04	
	V _{d2} = 1.1	I _{d2} =	14.0	V _{g2} = -0.06	
NOIMINAL BIAS	V _{d3} = 1.5	I _{d3} =	28.0	V _{g3} = -0.09	
	V _{d4} =	I _{d3} =		V _{g3} =	
	FREQUE	NCY BAND:	-	31-50	
	AVERAGE N	AVERAGE NOISE TEMP:		204.6	
COAXIAL	AVERAGE GAIN:		26.8		
MEASUREMENTS	MIN. INPUT RET	URN LOSS:	-8.8		
	MIN. OUTPUT RET	URN LOSS:	-13.5		
	AVERAGE NOISE TEMP:				
WAVEGUIDE INPUT	MIN INPUT RETURN LOSS:				
MEASUREMENTS	MIN. OUTPUT RETURN LOSS:				
	OSCILLATIONS (IN	P. SHORT):	IORT): -		
CRYOGENIC		E DATA	T = 1	5	
	V _{d1} = 0.5	I _{d1} =	4.0	V _{g1} = -0.09	
NOMINAL BIAS	$V_{d2} = 0.5$	I _{d2} =	4.0	V _{g2} = -0.11	
	V _{d3} = 1.0	I _{d2} =	6.0	V _{g2} = -0.25	
(P _{diss} = 10.0 mW)	V _{d4} =	I _{d3} =		V _{g3} =	
	FREQUE	NCY BAND:		31-50	
	AVERAGE NOISE TEMP:			25.8	
COAXIAL	AVERAGE GAIN:		22.8		
MEASUREMENTS	GAIN FLATNESS:			6.7	
	MIN. INPUT RETURN LOSS:				
	AVERAGE NOISE TEMP				
WAVEGUIDE INPUT	AVERAGE GAIN:				
MEASUREMENTS	GAIN FLATNESS:		-		
	OSCILLATIONS (INP. SHORT):		-		
REMARKS: Coaxial noise measurements according to cold att. method Amplifier with four stages (3 and 4 together) Gain data from NFM measurements					

 V_{d} in Volts, I_{d} in mA, Noise temperature in K, Gain and Return loss in dB, Frequency band in GHz

10.5 Especificaciones de los sensores de temperatura DT670

32 Sensors

Silicon Diodes

DT-670-SD Features

- Best accuracy across the widest useful temperature range—1.4 K to 500 K—of any silicon diode in the industry
- Tightest tolerances for 30 K to 500 K applications of any silicon diode to date
- Rugged, reliable Lake Shore SD package designed to withstand repeated thermal cycling and minimize sensor self-heating
- Conformance to standard DT-670 temperature response curve
- Variety of packaging options
 DT-670E-BR Features
- Temperature range: 1.4 K to 500 K
- Bare die sensors with the smallest size and fastest thermal response time of any silicon diode on the market today
- Non-magnetic sensor
- **DT-621-HR Features**
- Temperature range: 1.4 K to 325 K*
- Non-magnetic package
- Exposed flat substrate for surface mounting
- * Calibrated down to 1.4 K, uncalibrated (Curve DT-670) to 20 K



CAUTION: These sensors are sensitive to electrostatic discharge (ESD). Use ESD precautionary procedures when handling, or making mechanical or electrical connections to these devices in order to avoid performance degradation or loss of functionality.

DT-670 Series Silicon Diodes offer better accuracy over a wider temperature range than any previously marketed silicon diodes. Conforming to the Curve DT-670 standard voltage versus temperature response curve, sensors within the DT-670 series are interchangeable, and for many applications do not require individual calibration, DT-670 sensors in the SD package are available in four tolerance bands - three for general cryogenic use across the 1.4 K to 500 K temperature range, and one that offers superior accuracy for applications from 30 K to room temperature. DT-670 sensors also come in a seventh tolerance band, Band E, which are available only as bare die. For applications requiring greater accuracy, DT-670-SD diodes are available with calibration across the full 1.4 K to 500 K temperature range.

DT-670 Silicon Diodes

The bare die sensor, the DT-670E, provides the smallest physical size and fastest thermal response time of any silicon diode on the market today. This is an important advantage for applications where size and thermal response time are critical, including focal plane arrays and high temperature superconducting filters for cellular communication.







The Lake Shore SD Package -The Most Rugged, Versatile Package in the Industry

The SD package, with direct sensor-tosapphire base mounting, hermetic seal, and brazed Kovar leads, provides the industry's most rugged, versatile sensors with the best sample to chip connection. Designed so heat coming down the leads bypasses the chip, it can survive several thousand hours at 500 K (depending on model) and is compatible with most ultra high vacuum applications. It can be indium soldered to samples without shift in sensor calibration. If desired, the SD package is also available without Kovar leads.

DT-621-HR Miniature Silicon Diode The DT-621 miniature silicon diode temperature sensor is configured for installation on flat surfaces. The DT-621 sensor package exhibits precise, monotonic temperature response over its useful range. The sensor chip is in direct contact with the epoxy dome, which causes increased voltage below 20 K and prevents full range Curve DT-670 conformity. For use below 20 K, calibration is required.

Typical DT-670 Diode Sensitivity Values



www.lakeshore.com

Lake Shore Cryotronics, Inc.

0.0

(614) 891-2244

150

200 250 300 350

temperature (kelvin)

400 450

fax: (614) 818-1600

500 e-mail: info@lakeshore.com

10.6 Especificaciones de los cables semirígidos

UT-085B-SS

Stainless steel 50 ohm semi-rigid cables are designed for applications where low thermal heat transfer is required such as cryogenic feed cables. Because these cables also utilize a solid PTFE dielectric, they are often the first choice for highly corrosive environments.



DIMENSIONS	UNITS	UT-085B-SS
Outer Conductor Diameter	In	0.0865 ± 0.0010
	mm	2.1971 ± 0.0254
Dielectric Diameter	In	0.066 ± 0.001
	mm	1.676 ± 0.025
Center Conductor Diameter	In	0.0201
		0.5105
length (maximum)	Feet	20
	Motor	6.10

MATERIALS

Outer Conductor	304 SS
Outer Conductor Plating	None
Dielectric	PTFE
Center Conductor	SPBeCu
Rohs Compliant	YES

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Outer Conductor Integrity Temp.	°C	225
Operating Temperature (Max)	°C	200
Inside Rend Padius (Minimum)	In	0.250
Weitte	mm	6.350
	lbs / 100ft	1.31
vvelgnt	kg / 100m	1.97

ELECTRICAL CHARACTERISTICS				
Characteristic Impedance	ohm	50		
Capacitance	pF/ft	29.0		
	pF/ m	95.2		
Corona Extinction Voltage	VRMS @ 60 Hz	1800		
Voltage Withstanding	VRMS @ 60 Hz	5400		
Higher Order Mode Frequency	GHz	61.0		
	0.5 GHz	31.2		
	1.0 GHz	44.4		
	5.0 GHz	101.5		
	10.0 GHz	146		
Attenuation	18.0 GHz	199.7		
(Db / 100 Ft Typical)	26.5 GHz	246.2		
	40.0 GHz	308.7		
	50.0 GHz	349.5		
	65.0 GHz	N/A		
	90.0 GHz	N/A		
	0.5 GHz	142.7		
	1.0 GHz	100.5		
	5.0 GHz	44.2		
	10.0 GHz	30.9		
Power (Watts Cw	18.0 GHz	22.7		
@ 20 °C, Maximum)	26.5 GHz	18.5		
	40.0 GHz	14.8		
	50.0 GHz	13.1		
	65.0 GHz	N/A		
	90.0 GHz	N/A		

Cable semirrígido de Micro-coax, UT-085B-SS.



10.7 Medidas de los cables de RF

Cable de calibración Banda Q - LCP.







Cable de salida del amplificador YMQ 3005 - LCP.



Cable de salida del amplificador YMQ 3006 - RCP.