

Receptor a 43 GHz termoelectricamente enfriado para el Radiotelescopio RT5.

D. Hiriart, J. Valdez, J. L. Ochoa.

Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México.
Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B. C., México.

RESUMEN:

Se presenta el diseño y construcción de un nuevo receptor de bajo ruido en la banda de 42.5 a 43.5 GHz para observar las líneas de máseres astrofísicos de monóxido de silicio (SiO) en las transiciones $J=1-0$ ($v=2$), $J=1-0$ ($v=1$) y $J=1-0$ ($v=0$) en el radiotelescopio de 5 metros (RT5).

El receptor es enfriado termoelectricamente a la temperatura de -30°C y tiene un factor de ruido de 2 dB y una ganancia de 30 dB en el intervalo de operación. Se presenta el diseño, construcción y pruebas de la etapa de enfriamiento por efecto Peltier ayudado por circulación de líquido refrigerante.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ENFRIAMIENTO DEL RECEPTOR FRONTAL	3
3. EL RECEPTOR	4
3.1 EL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO A 43 GHZ	5
3.2 LA ANTENA ALIMENTADORA	6
4. CONTROL DE TEMPERATURA	9
5. EL SISTEMA DE VACÍO	11
6. CIRCULACIÓN DE REFRIGERANTE	13
7. PRUEBAS Y RESULTADOS	15
8. CONCLUSIONES	15
9. AGRADECIMIENTOS	16
10. REFERENCIAS	16
APÉNDICE A. DIAGRAMAS MECÁNICOS DE LA ANTENA ALIMENTADORA (<i>FEEDHORN</i>)	17
APÉNDICE B. DIAGRAMAS MECÁNICOS DE LA BOTELLA DE VACÍO	19
APÉNDICE C. PROVEEDORES	21
APÉNDICE D. CARTA DE ACEPTACIÓN DEL RECEPTOR	22

1. INTRODUCCIÓN

El radiotelescopio de 5 metros, RT5, es una colaboración del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y los Institutos de Geofísica y Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para reconstruir y poner en operación el radiotelescopio de 5 metros de diámetro que operaba en el Observatorio McDonald de la Universidad de Texas en Austin [1]. Este radiotelescopio estará ubicado en el volcán Sierra Negra, Puebla, junto a las instalaciones del Gran Telescopio Milimétrico. Una vez que se cuente con los receptores apropiados, el RT5 será utilizado durante el día para la observación de regiones solares activas a longitudes de onda milimétrica y, durante la noche, para el monitoreo de máseres astrofísicos de monóxido de silicio (SiO). Aquí se presenta el diseño y la construcción de un receptor a 43 GHz para la observación de máseres de monóxido de silicio utilizando el RT5.

Después de la entrega del primer receptor en 2010 para observar líneas a 43 GHz de máseres de SiO en el RT5 [2], el Dr. Eduardo Mendoza del Departamento de Astrofísica del INAOE y miembro del desarrollo del RT5, nos solicitó un segundo sistema con una figura de ruido menor. Para lograr ese objetivo es necesario enfriar el receptor frontal. Al principio se había solicitado enfriar el receptor hasta una temperatura criogénica de -70°C utilizando nitrógeno líquido. Ante la dificultad de contar con el suministro continuo de nitrógeno líquido en la montaña de Sierra Negra, se decidió optar por el enfriamiento termoeléctrico que facilita, además, la operación autónoma del sistema. La construcción del nuevo receptor se realizó bajo un convenio de colaboración entre el INAOE y el Instituto de Astronomía de la UNAM.

En este documento se presenta el diseño y construcción de un nuevo receptor de bajo ruido, enfriado termoeléctricamente, con un ancho de banda de 42.5 a 43.5 GHz para observar las líneas de máseres astrofísicos de SiO en las transiciones $J=1-0$ ($v=2$), $J=1-0$ ($v=1$) y $J=1-0$ ($v=0$) en el radiotelescopio de 5 metros (RT5). Este documento está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se presentan los cálculos de ruido para el nuevo receptor; en la Sección 3 se presenta el amplificador de bajo ruido y el alimentador del nuevo receptor construido; la Sección 4 muestra el sistema de control de temperatura; en la Sección 5 se presenta la botella criogénica que contiene al receptor; en la Sección 6 se presenta el sistema de circulación de líquido refrigerante; en la Sección 7 se presentan las pruebas y resultados del sistema de enfriamiento y por último, en la Sección 8 se presentan las conclusiones de este trabajo.

2. ENFRIAMIENTO DEL RECEPTOR FRONTAL

En el primer receptor construido [2], la figura de ruido era de 4 dB y equivalente a una temperatura de ruido de 438 K operándolo a una temperatura ambiente de 22°C (294.15 K) con una ganancia de 33 dB. Enfriando ese receptor a -35°C (237.15 K) obtendríamos una temperatura de ruido de $438 \text{ K} \times (237.15/294.15) = 353 \text{ K}$ que es equivalente a una figura de ruido de 3.5 dB. Esto es una mejora del 24% en su temperatura de ruido si lo operamos a -35°C.

En el nuevo receptor que se describe en este documento, el amplificador inicial de bajo ruido tiene una figura de ruido de 2.5 dB o, equivalentemente, una temperatura de ruido de 226 K, cuando se opera a -35°C con una ganancia de 32 dB. **Esto significa una disminución del 51% en la temperatura de ruido del nuevo receptor, comparado al anterior operado a la temperatura ambiente.** La temperatura de -35°C puede obtenerse fácilmente con un módulo de celdas Peltier. Otras opciones de enfriamiento serían utilizar hielo seco con una temperatura de sublimación de 195 K o nitrógeno líquido a 70 K, pero estos materiales no están disponibles en la montaña y complican la operación autónoma del receptor.

El enfriamiento de la etapa frontal de un receptor de radioastronomía (en nuestro caso compuesto por el amplificador de bajo ruido y su antena alimentadora) mejorará el comportamiento del receptor. La temperatura de ruido del sistema, T_{sis} , está dado por:

$$T_{\text{sis}} = T_A + T_R \quad , \quad (1)$$

donde T_A es la temperatura de la antena y T_R es la temperatura de ruido de las componentes, que está dada por:

$$T_R = T_F + (T_{\text{ABR}}/G_F) + (T_{\text{IF}}/(G_F \times G_{\text{ABR}})) + \dots \quad , \quad (2)$$

donde T_F es la temperatura de ruido debido a la línea de transmisión (en nuestro caso, la antena de alimentación al amplificador de bajo ruido); T_{ABR} es la temperatura de ruido del amplificador de bajo ruido; T_{IF} es la temperatura de ruido de la etapa de conversión a la frecuencia intermedia; G_F es la ganancia en potencia de la línea de transmisión, y G_{ABR} es la ganancia en potencia disponible en el amplificador inicial de bajo ruido. La ganancia de la antena alimentadora es la misma en ambos receptores (10 dB), pero la T_F disminuye en un factor de $(237.15/294.15) = 0.81$.

Como se puede apreciar de la ecuación (2), la temperatura de la primera componente es la más relevante en el comportamiento de la temperatura de ruido de las componentes del receptor.

En los últimos cálculos hemos ignorado las pérdidas mínimas introducidas por la ventana de entrada al vacío hecha de Teflon® pero, de cualquier manera, con el enfriamiento de la parte frontal del receptor se logra una mejora en la figura de ruido del sistema de recepción.

3. EL RECEPTOR

La *Figura 1* muestra el diagrama a bloques del receptor a 43 GHz termoelectricamente enfriado para la observación de máseres de SiO en el RT5. Es un receptor heterodino que consiste de un amplificador de bajo ruido (ABR) en una botella al vacío. EL ABR es enfriado por una etapa Peltier hasta -35°C . Para evitar pérdidas de calor por convección, el recipiente se encuentra a un vacío de 10^{-6} Torr. La parte caliente de la etapa Peltier es enfriada por agua que circula a un flujo de aproximadamente 2 litros por minuto. En el interior de la botella al vacío (*dewar*) se encuentra la antena alimentadora (*feedhorn*) del ABR. La señal del radiotelescopio pasa a través de una ventana de Teflon® que mantiene el vacío dentro de la botella pero que es transparente a la radiación milimétrica (ver *Figura 6*). El vacío en la botella se realiza con la ayuda de una bomba extractora a través de una válvula de vacío.

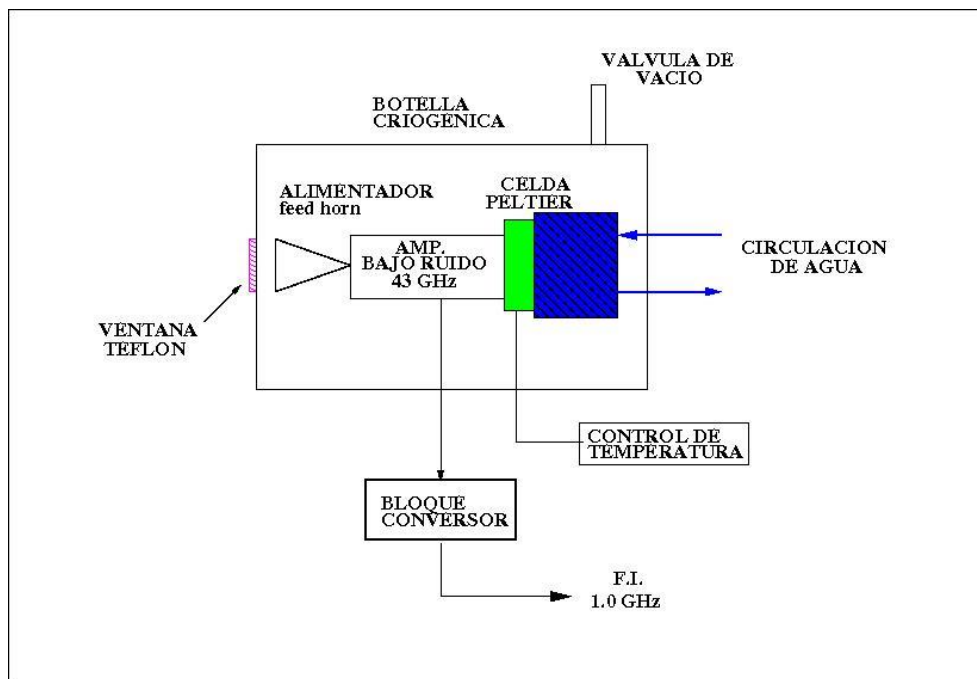


Figura 1: Diagrama del receptor a 43 GHz enfriado termoelectricamente.

La señal de salida en la banda de 42.5-43.5 GHz debe ser alimentada a un bloque convertidor para pasarla a la banda de 1-2 GHz para su posterior procesamiento en un correlador digital de dos bits [3]. Como bloque convertidor se recomienda utilizar el receptor previamente construido [2]. Dentro de dicho bloque convertidor, un oscilador amarrado en fase proporciona la señal del oscilador local a 41.5 GHz para convertir la señal de entrada en el intervalo de 42.5 a 43.5 GHz a una frecuencia intermedia en el intervalo de 1.0 a 2.0 GHz. Esta señal a frecuencia intermedia pasa a través de un amplificador para luego ser entregada a la salida a través de un conector hembra tipo SMA (por sus siglas en inglés de *SubMiniature versión A*).

Debido a que las líneas espectrales en emisión máser de SiO son muy delgadas, el oscilador local encargado de la conversión de frecuencia deberá tener una estabilidad muy alta (de algunas partes por millón) de manera que su fase sea despreciable.

Para utilizar el viejo receptor como bloque convertidor a la frecuencia intermedia se deberá retirar la antena alimentadora y sustituirla con el adaptador de guía de onda WR₁₉ a conector hembra SMA de 1.85mm proporcionado (Parte # 19AC206 de Fairview Microwave Inc.) y luego conectar con el cable semirrígido (Parte # VKo86MMHFJ-12D de RF Coax Inc) de 12 pulgadas de longitud y con conectores de 1.85mm a 2.19mm a la salida del conector de RF de la botella de vacío.

En las siguientes sub-secciones se describen las características del amplificador de bajo ruido y de la antena alimentadora. En la Sección 4 se explicará el bloque de control de temperatura.

3.1 EL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO A 43 GHz

La *Figura 2* muestra el amplificador de bajo ruido a 43 GHz utilizado en este proyecto. El amplificador fue construido por la compañía Spacek Labs y opera en la banda 42.5 a 43.5 GHz, de manera que cubre las líneas de SiO a ser estudiadas.

La Tabla 1 muestra la ganancia del receptor como función de la frecuencia a la temperatura de 22°C y -35°C. El amplificador tiene una figura de ruido de 2.5 ± 0.5 dB a -35°C en el ancho de banda de operación correspondiente a una temperatura de ruido del amplificador de 438 K. La ganancia promedio del receptor es 32.65 ± 0.15 dB en todo el ancho de banda a -35°C.

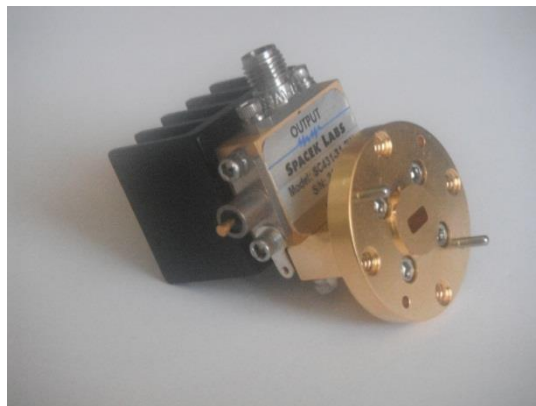


Figura 2: Amplificador de bajo ruido en el intervalo de 42 a 43 GHz.

La figura de ruido óptima para este amplificador se obtiene cuando opera a -35°C. La entrada es a través del adaptador WR-19 y la salida del amplificador es a través de un conector tipo K hembra.

TABLA 1

Valores reportados por el fabricante para la ganancia del receptor como función de la frecuencia a las temperaturas de operación de 22°C y -35°C. Se muestra también la figura de ruido del receptor a -35°C. Las pruebas se hicieron de +7 a +12 VDC @ 71 mA.

Frecuencia (GHz)	Ganancia @ 22°C (dB)	Ganancia @ -35°C (dB)	Figura de Ruido @ -35°C (dB)
42.50	29.7	32.5	2.3
42.75	29.7	32.5	2.3
43.00	30.1	32.6	2.3
43.25	30.1	32.8	2.2
43.50	30.1	32.8	2.3

3.2 LA ANTENA ALIMENTADORA

La *Figura 3* muestra la antena alimentadora del receptor. Esta antena realiza el acoplamiento eléctrico entre la guía de onda de entrada del ABR al aire libre. La parte exterior de la antena, incluyendo la sección de los “chokes”, fue elaborada en el Taller de Mecánica de Precisión en la sede académica en Ensenada del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los planos de este alimentador se muestran en el Apéndice A.

La parte interna del alimentador consiste en una sección que gradualmente convierte su entrada circular a la apertura rectangular del conector WR-19 a la entrada del amplificador (ver *Figura 4*). La parte interior de la antena alimentadora, donde se realiza la transición de una guía de onda eléctrica con sección transversal circular, a la rectangular del conector WR-19, fue construida por método de descarga eléctrica (EDM por sus siglas en inglés de *Electro Discharge Machining*) en los talleres de la compañía C&H Machine de Escondido, California, EE. UU. Esta antena realiza el acoplamiento eléctrico entre la guía de onda de entrada del ABR al aire libre. La antena tiene un ancho de haz de 55° y una ganancia de 10 dB a 42.5 GHz. El ancho del haz es suficiente para iluminar el plato principal del RT5 cuando el receptor se coloca en su foco primario. La antena tiene una conexión de entrada WR-19.



Figura 3: Antena alimentadora para el amplificador de bajo ruido.

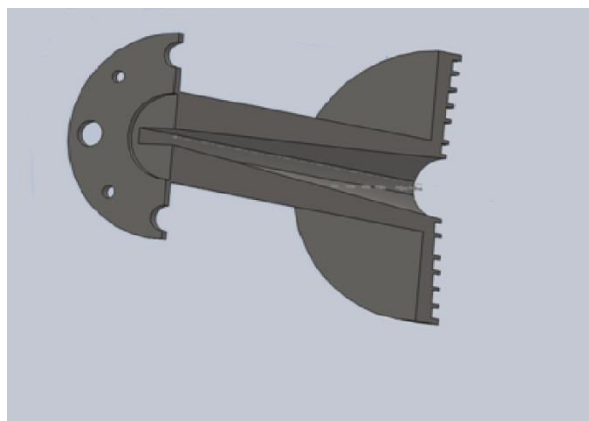


Figura 4: Corte longitudinal de la antena alimentadora del receptor para mostrar la transición de la sección transversal circular a la rectangular.

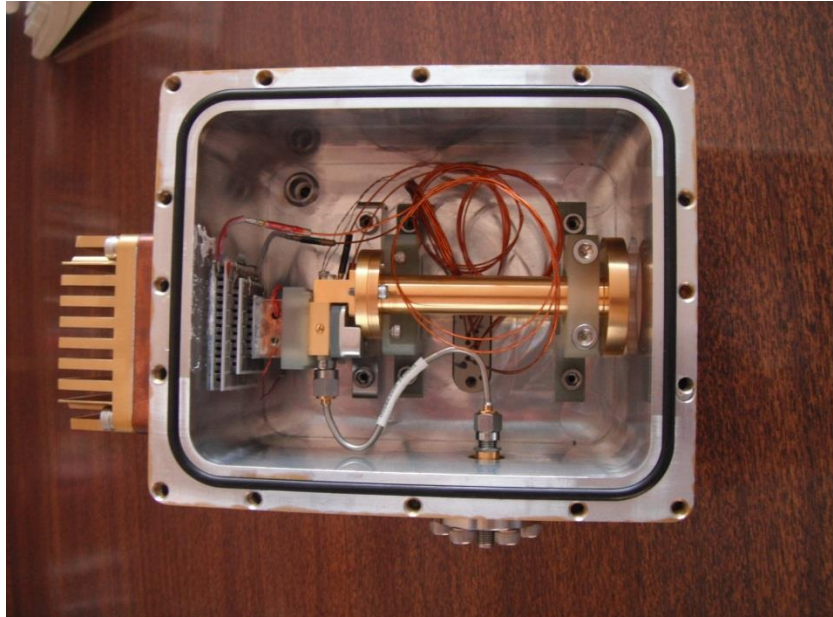


Figura 5: Vista del interior del receptor a 43 GHz montado en su botella de vacío. En esta fotografía se puede apreciar el alimentador conectado al amplificador de bajo ruido. A la izquierda se aprecia el módulo Peltier. En la parte externa, de lado izquierdo, se puede ver el disipador de calor sobre el módulo de circulación del líquido refrigerante. En la parte inferior puede apreciarse el cable de acero inoxidable que lleva la señal de RF hacia el exterior.

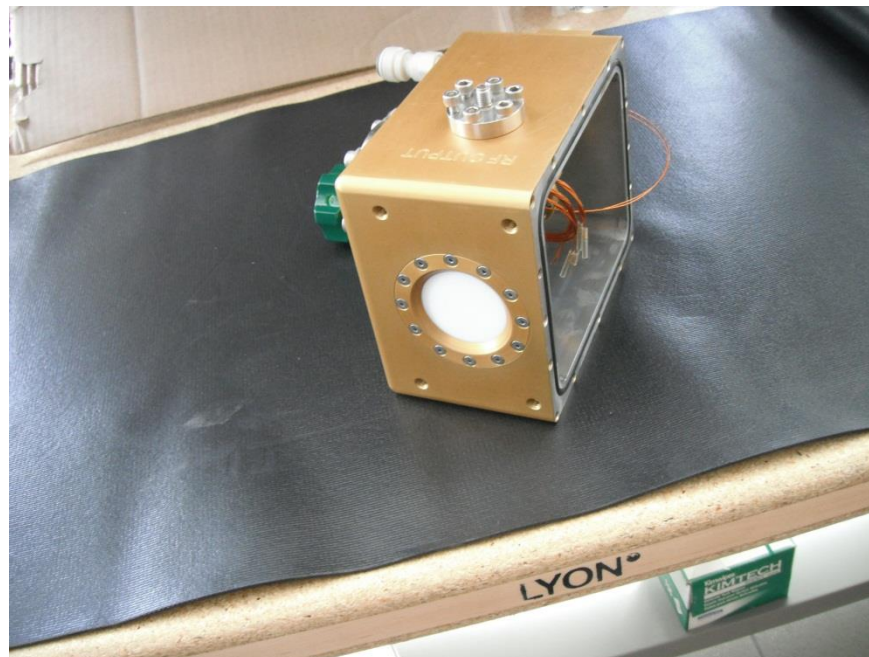


Figura 6: Vista del interior de la parte frontal de la botella de vacío donde se puede apreciar la ventana de Teflon®. En la parte superior puede apreciarse el conector de vacío para RF.

4. CONTROL DE TEMPERATURA

La *Figura 7* muestra el diagrama a bloques del controlador de temperatura. Aquí están comprendidos los elementos de control de temperatura y las fuentes de alimentación necesarias para: el controlador de temperatura, el módulo de celdas Peltier y el amplificador de bajo ruido. De esta manera una vez hechas todas las conexiones eléctricas sólo es necesario encender el interruptor principal para iniciar la de operación del receptor.

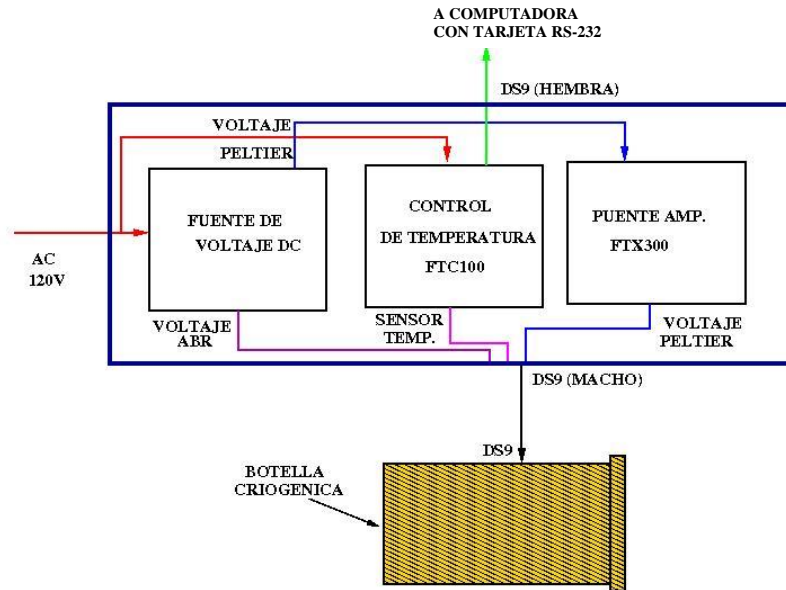


Figura 7: Diagrama a bloques del controlador de temperatura.



Figura 8: Pruebas en el laboratorio del sistema controlador de temperatura mostrado a la derecha de esta fotografía.

El amplificador de bajo ruido opera a un voltaje de entre 7 y 12 volts y consume una corriente de 71 mA consumiendo una potencia de 2 W. Si suponemos que el 100% de este consumo se convierte en un aumento de temperatura del amplificador, necesitaremos una celda Peltier que pueda bajarla. Son pocos los libros que tratan sobre el enfriamiento por celdas Peltier, pero un tratamiento excelente de este problema se puede encontrar en [4].

Para enfriar el amplificador de bajo ruido se utilizó un módulo de enfriamiento Peltier de 2 etapas que es capaz de bajar la temperatura hasta 60°C por debajo de la temperatura ambiente (ver *Figura 9*).

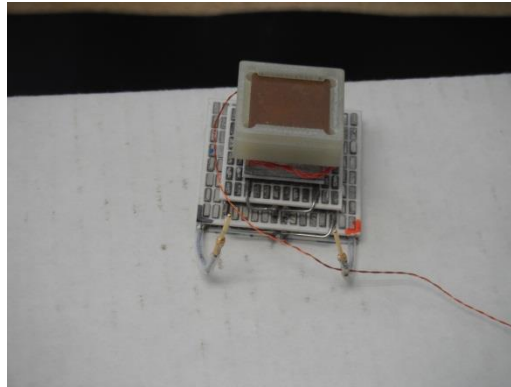


Figura 9: Módulo Peltier utilizado para enfriar el ABR del receptor. En la parte superior se encuentra un bloque de cobre en el cual se encuentra instalado el termistor. Note el cable de conexión del termistor.

La temperatura es regulada por un controlador de temperatura FTC100D TEC de la compañía “Accuthermo Technology” que se muestra en la *Figura 10*. Este controlador se puede programar desde su panel frontal o a través de un programa que se ejecuta en una computadora con sistema operativo Windows. El controlador ya ha sido programado para mantener el control a la temperatura de -20°C así que sólo es necesario encender el bloque de control de temperatura.



Figura 10: Controlador de temperatura FTC100D.

El controlador tiene la capacidad de poder calentar el extremo frío de la celda Peltier al invertir la polaridad en el módulo Peltier. Para realizar esto, el controlador de temperatura utiliza un puente amplificador tipo H (Accuthermo's FTX300 H-bridge amplifier), mostrado en la *Figura 11*. La inversión de polaridad del voltaje en el módulo Peltier permite un mejor control de la temperatura, lográndose precisiones de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

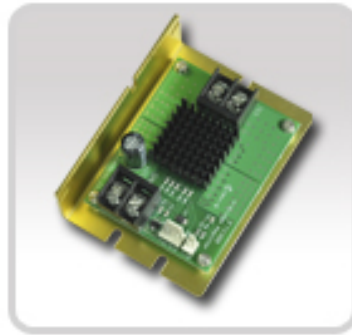


Figura 11: Puente amplificador tipo H modelo FTX300 de la compañía Accuthermo

5. EL SISTEMA DE VACÍO

El sistema de vacío es una componente crítica del receptor. Se requiere de una presión menor a 10^{-5} torr en el espacio vacío de la botella criogénica para minimizar la ganancia del amplificador de bajo ruido y de la antena alimentadora cuando éstos son enfriados a bajas temperaturas. El diagrama esquemático de la botella de vacío se muestra en el Apéndice B.

La botella de vacío fue diseñada y construida por uno de los autores (J.V.) en las instalaciones del Taller Mecánico de Precisión del IAUNAM-Ensenada. La botella consiste de un contenedor rectangular de aluminio de 6.75 x 5.0 x 4.0 pulgadas con una pared de $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor.

En las paredes de la botella de vacío se encuentra un conector de RF para vacío (Parte # SRIVF102-1) con una impedancia de 50 Ohm que puede operar hasta 45 GHz. Para frecuencias más altas es necesario utilizar guías de onda y construir las bridas de conexión de interface de alto vacío (ver [6]).

La temperatura de operación de este conector de radiofrecuencia es de -200 a 200°C . Cada extremo del conector es configurado con un conector SMA "jack" de 2.92mm. Este conector está montado en una ceja circular de acero inoxidable de 1.33 pulgadas de diámetro para montarse con tornillos en la pared de la botella.

Un conector para vacío tipo DB-9 (Parte # SRIVF401-1E), que conduce los voltajes de alimentación del módulo Peltier y de polarización del ABR, además hace accesible hacia el

exterior las señales del termistor que mide la temperatura del ABR. El conector DB-9 está montado en una placa de acero inoxidable circular de 2.75 pulgadas de diámetro para fijarse mediante tornillos a la pared exterior de la botella criogénica. En el interior de la botella, las señales se conducen a los puntos de destino con el adaptador (Parte # SRISD203-1-9-24), con cables de 24 pulgadas de largo en cada pin. La distribución de pines del conector DB-9 en la pared externa de la botella, se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2

Distribución de conector DB9 en la pared del Dewar.

PIN	FUNCIÓN
1	+V Amplificador de Bajo Ruido
4	Terminal A Termistor
5	Común Peltier
6	Común Amplificador de Bajo Ruido
8	Terminal B Termistor
9	+V Peltier

Los conectores para vacío de RF y tipo DB-9 utilizados, fueron adquiridos en la compañía SRI Hermetics [7].

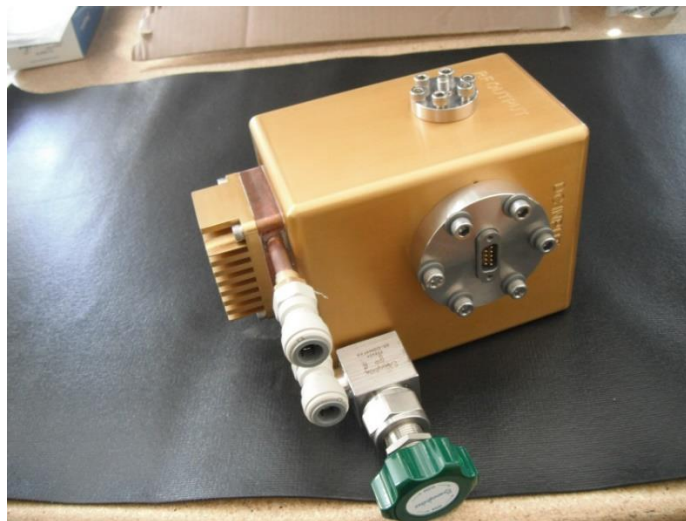


Figura 12: Vista exterior de la botella de vacío.

Se pueden apreciar los conectores para vacío DB-9 (parte frontal) y de RF (parte superior). Asimismo, se aprecia la válvula de vacío y las entradas de la manguera a la bomba circulatoria del líquido refrigerante y su disipador de calor (lado izquierdo del receptor).

La señal a la salida del ABR es llevada al conector de RF por medio de un cable de acero inoxidable semirrígido con conectores tipo K de 2.92mm en ambos extremos (Parte # Ko86MMSB-04.05RD). Véase la *Figura 5*. El cable es de acero inoxidable para aislar térmicamente el ABR del exterior, ya que la conductividad térmica del acero inoxidable es de 16 W/m-K mientras que para el cobre es de 401W/m-K. Este cable tiene una longitud de 4.05 pulgadas y fue adquirido en la compañía RF Coax Inc.

6. CIRCULACIÓN DE REFRIGERANTE

La *Figura 13* muestra el sistema de circulación del líquido refrigerante en el receptor. El flujo que se logra circular a través de la cámara con este sistema es de aproximadamente 1.9 litros por minuto. Se puede utilizar sólo agua como líquido refrigerante cuando la temperatura ambiente es mayor a la temperatura de congelación del agua. Si la temperatura ambiente puede alcanzar una temperatura menor a la de congelación del agua, es necesario utilizar un refrigerante que no se congele (una mezcla de agua y glicol es recomendada). El nivel del refrigerante en el contenedor deberá estar entre el nivel del conector de salida (conector inferior) y el conector de retorno (conector superior).

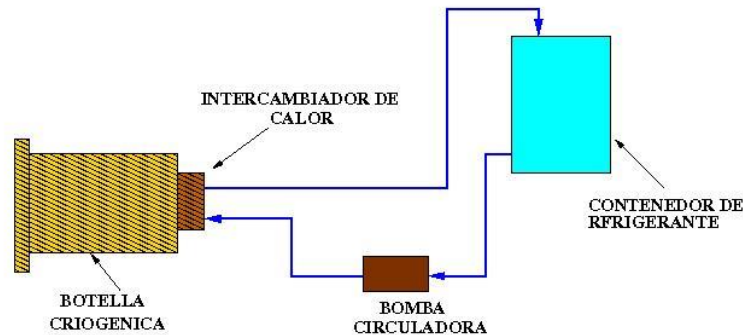


Figura 13: Diagrama esquemático del sistema de circulación de líquido refrigerante.

El refrigerante es propulsado por una bomba centrífuga Marca Little GIANT, Modelo 3-MD-SC, de 1/12 HP de 120 VAC, que consume 2.3 Amperes para una potencia total de 195 W. Las partes plásticas de la bomba están fabricadas de polipropileno vitrificado, por lo que son resistentes al líquido refrigerante y sustancias químicas corrosivas.

ADVERTENCIAS DEL FABRICANTE:

- No permita que la bomba funcione sin líquido.
- Esta bomba no es sumergible, sólo debe operarse en línea.
- Se requiere cebar esta bomba antes de ser utilizada, es decir, debe instalarse de tal manera, que la cabeza de bombeo (voluta) se encuentre inundada en el momento en que la bomba se ponga en marcha.
- No restrinja el lado de la toma de la bomba. Las conexiones de la bomba no deben hacerse con un tubo o manguera con un diámetro interno menor al diámetro interno de la toma de la bomba.
- Si se requiere de un flujo reducido, restrinja el lado de la descarga utilizando una válvula u otro tipo de dispositivo de restricción.
- La bomba deberá instalarse de manera que no quede expuesta a salpicaduras y rociaduras.
- La bomba deberá permanecer encendida con el refrigerante circulando todo el tiempo que la cámara esté operando.

El refrigerante deberá estar contenido en una cubeta de plástico de 5 galones. La cubeta y la bomba están ubicadas a una altura similar a la del receptor para evitar presión hidrostática adicional debida a la diferencia de alturas entre la bomba y el receptor. La bomba se conecta directamente a una tira terminal con interruptor para encenderla o apagarla.

Si el sistema se opera a temperatura ambiente menor al punto de congelación del agua, se deberá utilizar una mezcla de glicol y agua para evitar daños a la bomba propulsora por congelación.

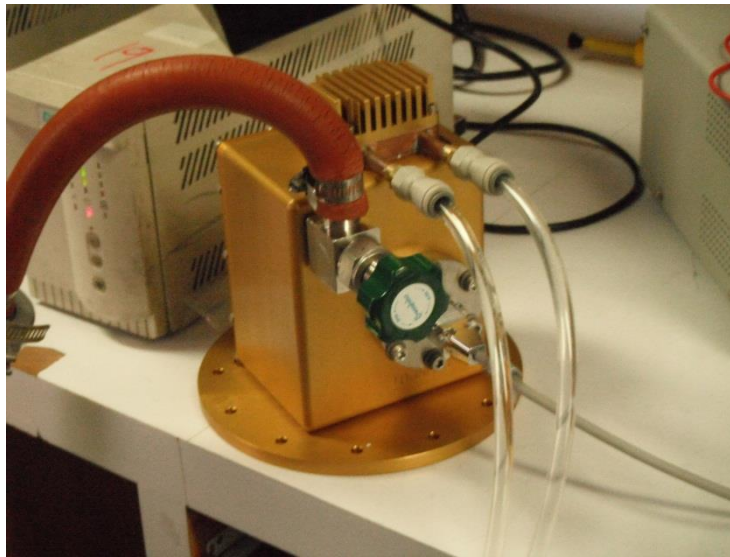


Figura 14: Pruebas del sistema circulador en el laboratorio. En esa ocasión se utilizó agua como líquido refrigerante. En la fotografía se puede apreciar la bomba de vacío utilizada en las pruebas.

7. PRUEBAS Y RESULTADOS

El receptor fue ciclado térmicamente en el laboratorio en 20 ocasiones sin que se presentara ningún problema (ver *Figura 15*). El sistema se enfría desde la temperatura ambiente a la temperatura de operación en menos de 10 minutos.

En la configuración actual, el ABR es enfriado a la temperatura de la segunda etapa del módulo Peltier. El sistema opera a -20°C . La temperatura medida en el lado externo de la botella, en el disipador de calor, cuando no circula el líquido refrigerante, es de 24°C . La primera etapa del módulo Peltier puede operar entre -20 y -35°C dependiendo de la temperatura ambiente.



***Figura 15:** Pruebas en el laboratorio del sistema de enfriamiento del amplificador de bajo ruido. En esta fotografía se pueden apreciar las conexiones de la bomba de vacío, las mangueras de circulación de agua y la conexión RS-232 de la computadora de control. Note que la botella tiene la brida circular para su montaje en el radiotelescopio.*

8. CONCLUSIONES

El sistema receptor presentado en este reporte es un sistema de bajo costo para la observación de las líneas rotacionales de máseres de SiO utilizando el radiotelescopio RT5. Fue diseñado para manufacturarse a un costo mínimo. La carga térmica en el sistema de enfriamiento es de sólo 1W . Se diseñó una ventana de alimentación de RF que opera en vacíos de hasta 10^{-6} Torr y con bajas pérdidas radioeléctricas a la frecuencia de operación. Esta ventana es una componente crítica en la botella de vacío pues debe elegirse un material transparente a la radiación a los 43 GHz y con las dimensiones apropiadas para minimizar las pérdidas.

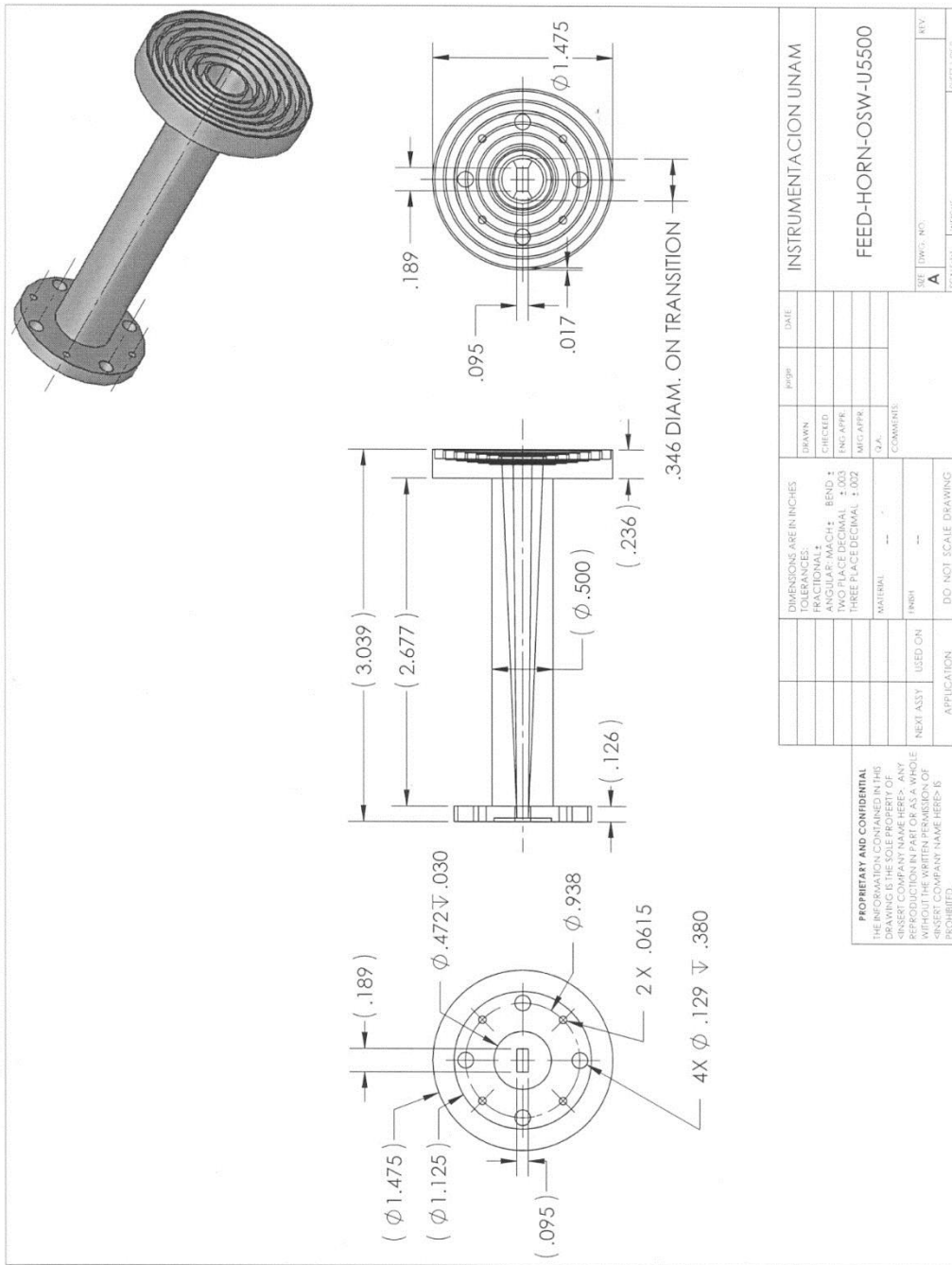
9. AGRADECIMIENTOS

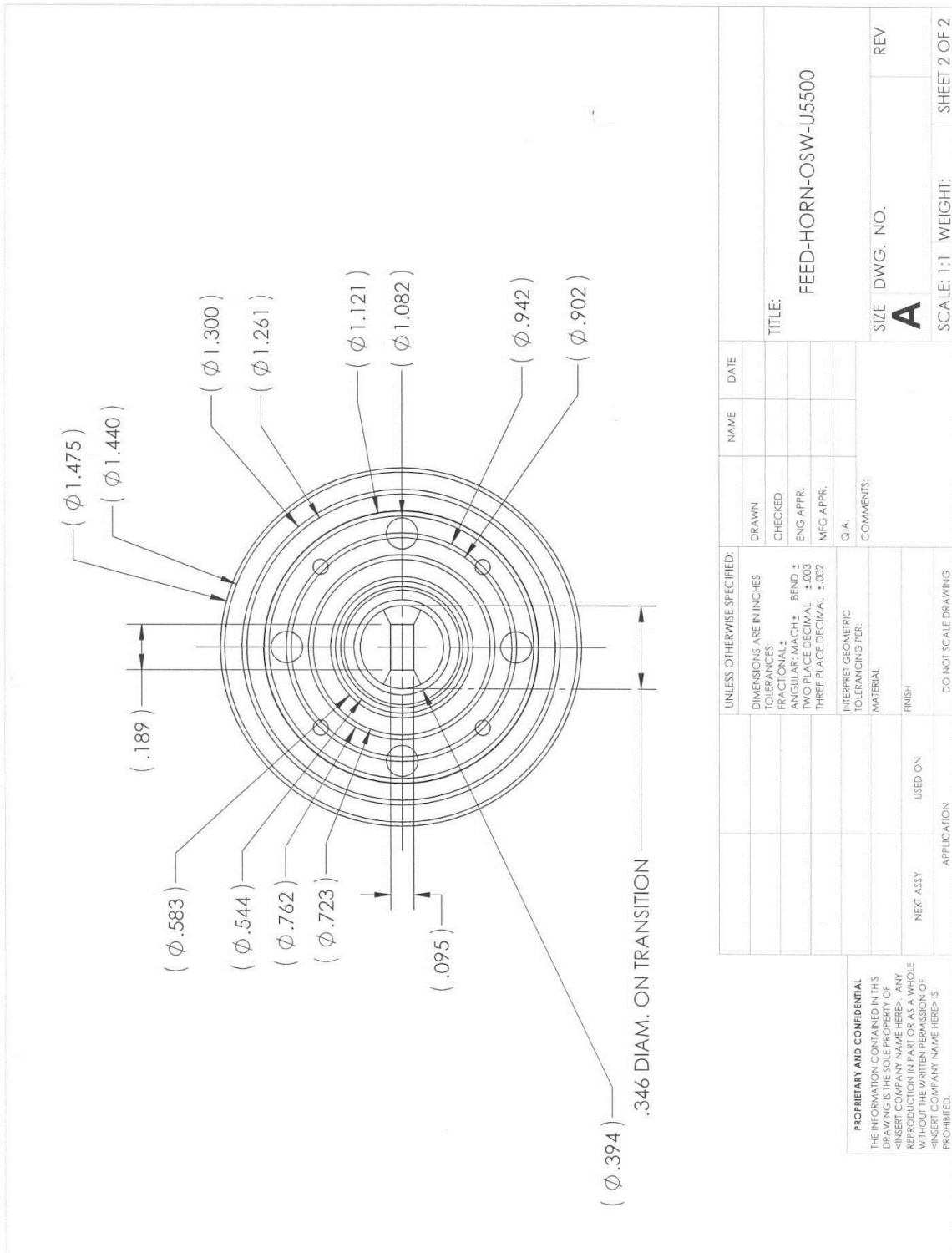
La construcción de este receptor fue posible gracias al convenio de colaboración específico entre la UNAM y el INAOE firmado el 20 de enero de 2008. La botella criogénica fue construida mediante el convenio INAOE-UNAM 01/2007. Este trabajo fue apoyado parcialmente por el proyecto de CONACyT “Desarrollo de Radiotelescopio RT5”. Agradecemos las recomendaciones de un revisor anónimo para el mejoramiento de este documento.

10. REFERENCIAS

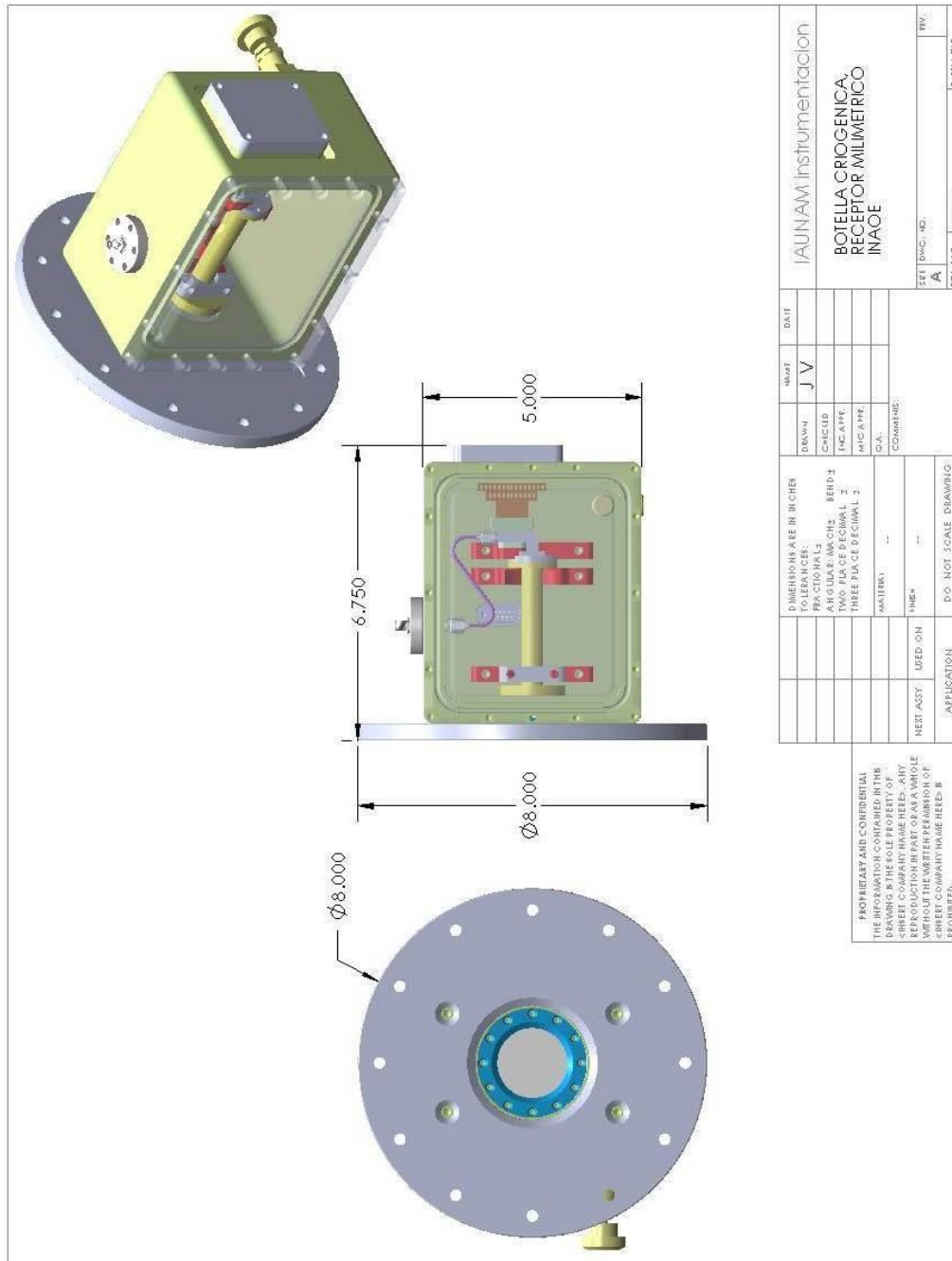
- [1] <http://xilonen.inaoep.mx/~rt5/>
- [2] Hiriart, David; Valdez, Jorge.
“Receptor a 43 GHz para la Observación de Máseres Astrofísicos de Monóxido de Silicio (SiO) para el Radiotelescopio RT5”.
Publicaciones Técnicas del Instituto de Astronomía, UNAM.
Comunicación Interna: CI-2012-01.
Enero, 2012.
<http://ceptiaunam.blogspot.mx/search/label/Comunicaciones%20Internas>
- [3] Pastrana Sánchez, Ángel.
“Autocorrelador Digital de 2 bits para Radioastronomía Back-End del Receptor de 43 GHz para el Radiotelescopio RT-5” (Tesis de Maestría).
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)
Puebla, México, 2008.
- [4] Buil, Christian 1991
“CCD Astronomy: Construction and use of an astronomical CCD camera”.
Willmann-Bell Inc., Richmond Virginia, EE. UU.
1991.
- [5] M. J. Britcliffe, T. R. Hanson, & M. M. Franco.
“Cryogenic Design of the Deep Space Network Large Array Low-Noise Amplifier System”,
IPN Progress Report 42-157,
Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology,
Pasadena, EE. UU.
2004
- [6] G. A. Ediss, N. Horner, F. Johnson, D. Koller, A. R. Kerr 2005
“WR-10 Waveguide Vacuum Feedthrough for the ALMA Band-6 Cartridge”,
Alma Memo 536, 27-Septiembre-2006,
https://science.nrao.edu/facilities/alma/aboutALMA/Technology/ALMA_Memo_Series
- [7] <http://www.srihermetics.com/default.aspx>

**APÉNDICE A. DIAGRAMAS MECÁNICOS DE LA ANTENA ALIMENTADORA
(FEEDHORN)**





APÉNDICE B. DIAGRAMAS MECÁNICOS DE LA BOTELLA DE VACÍO



DIMENSIONS ARE IN INCHES FRACTIONS		DATE	IAUNAM Instrumentacion	
DESIGN	REV	DATE	PROJECT	
CHIEF	JV			
DESIGNER				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				
INCHES				
MATERIAL				
SCALE				
UNIT				
REVISION				
DATE				
BY				
CHECKED				

APÉNDICE C. PROVEEDORES

Amplificador de Bajo Ruido a 43 GHz:

SpaceLabs Inc.
212 East Gutierrez Street
Santa Barbara, California USA 93101
Tel: (805) 564-4404
Fax: (805) 966-3249
sales@spaceklabs.com

Adaptador de cable a guía de onda:

Fairview Microwave Inc.
1130 Junction Dr. #100
Allen, TX 75013
Tel: 1-800-715-4396 / (972) 649-6678
Fax: (972) 649-6689
sales@fairviewmicrowave.com

Cables de RF:

RFCoax Inc.
1725 San Felipe Rd.
Suite 3
Hollister, CA 95023-2537
Tel. (831) 635-0820
Fax. (831) 785-2990
sales@rfcoax.com

Conectores de Vacío:

SRI Hermetics Inc.
3950 Dow Road
Melbourne, FL 32934-9289
Tel 321.254.4067
Fax 321.752.9221
info@SRIHermetics.com

Maquinado por Descarga Eléctrica:

C&H Machine
943 South Adreasen Dr.
Escondido, CA 92029-1934
Tel. (760) 746-6459
Fax. (760) 745-2511
c/oJoshPond
josh@c-hmachine.com

APÉNDICE D. CARTA DE ACEPTACIÓN DEL RECEPTOR



Tonantzintla, Puebla
3 de Septiembre de 2013

DR. DAVID HIRIART GARCÍA
Investigador Titular, Instituto de Astronomía
Universidad Nacional Autónoma de México

Por medio de la presente me dirijo a usted, de la manera más atenta, para hacer constar que recibimos el receptor a 43 GHz enfriado termoelectricamente que construyeron bajo su dirección con base en el convenio específico INAOE-UNAM suscrito el día 20 de enero de 2008.

Asimismo, hago constar que dicho receptor fue integrado en la segunda botella criogénica ordenada para su construcción en el IA-UNAM según convenio específico INAOE-UNAM 01/2007.

Agradezco su apoyo para llevar a buen término estos proyectos de colaboración para la construcción de este equipo.

Sin más por el momento y agradeciendo su atención a la presente aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,

José Eduardo Mendoza Torres
Responsable del Convenio

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

Luis Enrique Erro No. 1 Santa María Tonantzintla, Puebla C.P. 72840 Apartado Postal 51 y 216 Puebla C.P. 72000 Conmutador 266-31-00

Dirección General Tel. 247 40 44 Fax. 247 25 80
Dirección de Investigación Tel. 247 43 06

Dirección de Administración y Finanzas Tel. 247 43 21 Fax. 247 01 81
Dirección de Desarrollo Tecnológico Tel. 247 43 14

Coordinación Astrofísica Tel. 247 22 31
Coordinación Óptica Tel. 247 29 40

Coordinación Electrónica Tel. 247 05 17
Dirección de Formación Académica Tel. 247 27 42