

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

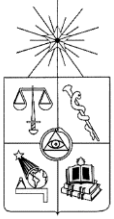
INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL RADIOTELESCOPIO MINI

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

PABLO FERMÍN VÁSQUEZ ROSATI

SANTIAGO DE CHILE

ABRIL 2011



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL RADIOTELESCOPIO MINI

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

PABLO FERMÍN VÁSQUEZ ROSATI

PROFESOR GUÍA:

RICARDO BUSTOS PLACENCIA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

FAUSTO PATRICIO MENA MENA

HECTOR MILER AGUSTO ALEGRIA

SANTIAGO DE CHILE

ABRIL 2011

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: PABLO VASQUEZ
FECHA: 03/06/2011
PROF. GUÍA: Sr. RICARDO BUSTOS

“INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL RADIOTELESCOPIO MINI”

Esta memoria se enmarca en una iniciativa del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile que tiene como principal objetivo la puesta en operación del radiotelescopio “Telescopio de Ondas Milimétricas del Sur de 1.2 m” (1.2 m *Southern Millimeter-Wave Telescope*), también conocido como Mini, en Cerro Calán, Santiago de Chile.

El radiotelescopio fue originalmente instalado y operado en los años 80’ y 90’ en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo. Durante esos años se llevaron a cabo numerosas investigaciones científicas, dentro de las cuales destaca el mapeo completo de la emisión del 12CO en nuestra galaxia.

El receptor del Mini fue trasladado al Laboratorio de Ondas Milimétricas del Departamento de Astronomía en el año 2004 para efectuarle dos modificaciones. Se reemplazó el antiguo oscilador local tipo Klystron por uno nuevo del tipo Gunn que amplía el rango de frecuencia y permite observar emisiones en otras transiciones. Además, se instaló un amplificador HEMT en la primera etapa de recepción que proporciona una mejor relación señal a ruido.

Una vez modernizado el receptor se inicia el traslado completo del Mini al laboratorio el año 2009. Durante el segundo semestre del año 2010 se construye un nuevo edificio en Cerro Calán donde se instala el Mini con el objetivo de volver a observar el cielo luego de aproximadamente 15 años de inactividad.

En la presente memoria se detalla el proceso de instalación y puesta en marcha del Mini donde destaca la realización de las siguientes actividades: pruebas del radiotelescopio y sus distintos componentes tales como sistema motriz, receptor, banco de filtros, espectrómetro, sistema y programa de control, equipos de medición y equipos sintetizadores; el traslado y la instalación del radiotelescopio desde el laboratorio al nuevo edificio; la calibración del sistema de apuntamiento (*pointing*) de la antena; la caracterización del estado actual de radiotelescopio; y, la obtención del primer espectro (*first light*) en radiofrecuencia de una fuente astronómica obtenido en Cerro Calán.

El radiotelescopio provee de un medio de desarrollo para la Universidad de Chile que expande las fronteras de la investigación astronómica y de la instrumentación para docentes y alumnos quienes pueden lograr un entrenamiento que les ayudará a enfrentar los futuros desafíos de la radioastronomía en nuestro país.

Agradecimientos

A mí querida familia, en especial, a Papá Mincho, Mamá Tola, Dani, Andre y Mari. Al equipo del Observatorio de Cerro Calán y del Laboratorio de Ondas Milimétricas, en particular, a Ricardo Bustos, Leonardo Bronfman, Fernando Olmos q.e.p.d., José Pizarro, José Pepe Velásquez, Jorge May q.e.p.d., Nicolás Reyes, Ricardo Finger, Nicolás Ramos, Rafael Rodríguez, Patricio Mena y el resto de los integrantes del laboratorio.

Explícita o implícitamente, todos ustedes están entre las páginas de esta memoria. Gracias por su apoyo, sus consejos, su ayuda y su compañía.

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	v
Índice de cuadros	vi
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Estructura de la presente memoria.....	2
2. Contextualización.....	4
2.1. La astronomía expande sus sentidos.....	4
2.2. Una breve historia del Mini	5
2.3. Especificaciones técnicas.....	7
2.3.1. Antena y sistema motriz	8
2.3.2. Receptor.....	11
2.3.3. Espectrómetro.....	16
2.3.4. Sistema Computacional	16
2.3.5. Equipos auxiliares	17
3. Implementación	19
3.1. Trabajos en el laboratorio	19
3.1.1. Pruebas preliminares	19
3.1.2. Estudio del consumo de potencia del sistema	19
3.1.3. Prueba de vacío.....	20
3.1.4. La temperatura de ruido del receptor: Prueba de cargas fría/caliente	22
3.1.5. Diseño físico y prueba de la placa de oscilador local.....	24
3.2. Traslado y montaje.....	28
3.2.1. Embalaje y traslado	28
3.2.2. Montaje, distribución y conexión.....	31
4. Puesta en marcha	34
4.1. Pruebas preliminares y ajustes mecánicos	34
4.2. Pruebas del receptor.....	35
4.3. Modificaciones en el programa de control	38
4.4. Alineación y posicionamiento fino del radiotelescopio.....	39
4.4.1. <i>Sun Pointing</i>	39
4.4.2. <i>Star Pointing</i>	41
4.5. Primeras observaciones.....	45

4.5.1.	R Coronae Australis	45
4.5.2.	Nebulosa de Orión	46
4.5.3.	Mapeo de 9 puntos de la nebulosa de Orión.....	48
5.	Discusión de los resultados	49
5.1.	Estado del sistema motriz y el <i>pointing</i>	49
5.2.	Estado receptor	49
5.2.1.	Funcionamiento de la placa de oscilador local.....	50
5.3.	Estado del espectrómetro	50
5.4.	Estado de la computadora y el programa de control.....	51
5.5.	Estado general del radiotelescopio	51
6.	Conclusiones.....	52
	Bibliografía.....	55
	Anexos.....	56
A.	Manual para centrar el receptor	56
B.	Manual de encendido y operación básica del radiotelescopio	59
C.	Procedimiento <i>Sun pointing</i>	75
D.	Procedimiento <i>Star pointing</i>	76

Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de bloques básico del radiotelescopio Mini	7
Figura 2: Patrón de radiación de la antena	9
Figura 3: Corte transversal radiotelescopio Mini	10
Figura 4: Receptor del Radiotelescopio Mini.....	12
Figura 5: Izquierda: Curva I-V del dispositivo Gunn. Derecha: Dispositivo Gunn y sus tornillos micrométricos	13
Figura 6: Diagrama del oscilador local	14
Figura 7: Poder generado por el oscilador local anterior.....	15
Figura 8: Esquema del antiguo oscilador local.....	15
Figura 9: Ventana “Monitor” del programa de control	17
Figura 10: Esquema del nuevo oscilador local.....	25
Figura 11: Nueva placa de Oscilador Local	26
Figura 12: Diseño jaula de madera para el traslado de la antena	30
Figura 13: Momentos claves del traslado, 28 de septiembre del 2010.....	31
Figura 14: Momentos cruciales del montaje, 29 de septiembre del 2010.	31
Figura 15: Instalación del receptor	32
Figura 16: Esquema de distribución de los componentes en el nuevo edificio.....	32
Figura 17: Contrapesos para el balance instalados en diciembre del 2010. Izq: contrapeso bajo la antena. Der: contrapeso sobre la caja del receptor	34
Figura 18: Resultado <i>Antenna Dipping</i> manual	37
Figura 19: Gráfico entregado por el programa en prueba <i>Antenna Dipping</i>	39
Figura 20: Imagen de pantalla obtenida del <i>sun scan</i> en <i>sun pointing</i>	40
Figura 21: Telescopio óptico para el <i>pointing</i> adosado al primario	40
Figura 22: <i>Paddle Interface</i>	41
Figura 23: Resultado <i>star pointing</i> 1	42
Figura 24: Resultado <i>star pointing</i> 3	44
Figura 25: First Light del Mini en Cerro Calán el día 17 de noviembre del 2010	45
Figura 26: Espectro de la Nebulosa de Orión obtenido en Cerro Calán el 20 de enero de 2011 ..	47
Figura 27: Espectro de la Nebulosa de Orión obtenido en Cerro Tololo el 25 de junio de 1993..	47
Figura 28 Espectro de la Nebulosa de Orión obtenido en Cerro Calán el 17 de abril de 2011	47
Figura 29: Espectros de la Nebulosa de Orión y sus inmediaciones.....	48

Índice de cuadros

Tabla 1: Especificaciones del radiotelescopio Mini	8
Tabla 2: Consumo de potencia en 110 V.....	20
Tabla 3: Presión y temperatura en el termo en prueba de vacío.....	21
Tabla 4: Comparación entre medidores de presión	22
Tabla 5: Pruebas <i>Hot Cold</i> realizadas con medidor de potencia en el laboratorio.....	23
Tabla 6: Pruebas <i>Hot-Cold</i> realizadas con el programa de control	23
Tabla 7: Ajustes del oscilador local según la transición a observar	27
Tabla 8: Atenuaciones y potencias en la salida del oscilador local.....	27
Tabla 9: <i> Holding Time</i> luego del montaje	35
Tabla 10: Temperatura del receptor medida de forma manual en el nuevo edificio	36
Tabla 11: Temperatura medida por el programa de control en el nuevo edificio	36
Tabla 12: Valores obtenidos en <i>Antenna Dipping</i> manual.....	37
Tabla 13: Valores obtenidos en las pruebas <i>Star Pointing</i>	42

1. Introducción

La radioastronomía es la rama de la astronomía que estudia los fenómenos y los objetos del espacio exterior midiendo sus radiaciones electromagnéticas en la región de radio del espectro. Si bien es una disciplina relativamente joven su progreso ha sido exponencial desde el comienzo en la década de 1930, teniendo un auge particular en los últimos veinte años gracias al progreso en la tecnología asociada como son los super conductores y el proceso digital de señales, entre otros.

Durante la década de 1980 la Universidad de Harvard inicia un mapeo del monóxido de carbono en nuestra galaxia, para el cual fue necesario instalar un radiotelescopio en el hemisferio sur. El *Southern Millimeter Wave Telescope* (SMWT), también conocido como Mini por su pequeño tamaño, fue operado en el Observatorio Interamericano Cerro Tololo, IV Región, Chile, (CTIO por sus siglas en inglés) por el Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile en conjunto con la Universidad de Harvard y la Universidad de Columbia. Luego de más de quince años de actividad el radiotelescopio detiene sus operaciones para estar inoperativo por más de diez años.

Por medio de una iniciativa del Departamento de Astronomía (DAS) de la Universidad de Chile el receptor es trasladado al Observatorio Astronómico Nacional en Cerro Calán, Santiago de Chile, para ser modernizado y realizar estudios de la opacidad del cielo desde el año 2005 en adelante. Los resultados obtenidos dan la oportunidad para que la antena y el resto de los componentes del radiotelescopio sean trasladados a Cerro Calán en septiembre del año 2009, cuando es montado dentro del Laboratorio de Ondas Milimétricas de manera provisoria. Finalmente se realiza su instalación y puesta en marcha durante el año 2010, tema del cual trata la presente memoria. Esta última etapa constituye el cierre de un largo proceso cuyo fin es entregar una importante herramienta tanto para la docencia como para la investigación en radioastronomía e instrumentación en la Universidad de Chile.

En la presente memoria se expone el proceso de caracterización, traslado, instalación y puesta en marcha del radiotelescopio Mini. Durante este proyecto la participación del alumno es complementada con la constante colaboración y el apoyo del Laboratorio de Ondas Milimétricas del DAS y su infraestructura así como también el aporte del personal del Observatorio Astronómico Nacional.

Es importante notar que existen tres tipos de trabajos documentados en esta memoria. Primero trabajos realizados a cabalidad por el alumno, segundo trabajos realizados por un equipo del cual el alumno formó parte y tercero trabajos de los cuales el alumno no participó directamente pero de todas maneras son documentados, puesto que son parte importante del proceso y ayudan a comprender de manera más acabada el mismo.

1.1. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es proporcionar al Observatorio Astronómico Nacional de un radiotelescopio en condiciones operativas. De la misma manera se pretende entregar un instrumento para la investigación astronómica y facilitar a la docencia una herramienta que permita acercar al alumnado a la radioastronomía. Por otro lado se busca proveer al Laboratorio de Ondas Milimétricas una plataforma de prueba y desarrollo para la instrumentación astronómica. Los objetivos específicos se muestran a continuación.

- Conocer el funcionamiento del radiotelescopio y comprender la función de cada una de sus partes.
- Realizar pruebas que permitan caracterizar el estado del radiotelescopio antes del traslado.
- Fabricar una nueva placa de oscilador local que permita el montaje del mismo en el radiotelescopio.
- Trasladar el radiotelescopio, montarlo e instalarlo en el nuevo edificio, sitio de observación definitivo.
- Realizar las modificaciones y calibraciones pertinentes que permitan poner en marcha el sistema.
- Llevar a cabo pruebas que permitan caracterizar el estado del radiotelescopio luego del traslado. Evaluar su condición y sus posibilidades como instrumento de observación.
- Obtener los primeros espectros de fuentes astronómicas de radio frecuencia en el observatorio astronómico nacional (*first light*).
- Entregar un radiotelescopio operativo para su futuro uso en observaciones y programas definidos por el DAS.

1.2. Estructura de la presente memoria

Es importante notar que hay tres etapas importantes en el proceso: el trabajo realizado en el laboratorio; el traslado y montaje de los equipos; y, la puesta en marcha del radiotelescopio. Estas etapas son fácilmente identificables dentro del presente documento. A continuación se detallan los contenidos de cada capítulo.

En el Capítulo 2 se pretende dar un marco de contenidos que permitan introducir al lector en el tema que trata el presente documento. Primero se introduce de manera simple la radioastronomía para dar pie a una pequeña reseña de la historia del radiotelescopio Mini. Luego se detallan las especificaciones técnicas del radiotelescopio y sus componentes más importantes.

En el Capítulo 3 se describe la implementación y los trabajos previos a la puesta en marcha. Primero se describen las pruebas preliminares y la familiarización con el sistema llevada a cabo en el laboratorio. Se detalla el estudio del consumo de potencia del sistema con motivos de diseño futuro de la red de 110 V del nuevo edificio. Se muestran las pruebas de vacío y temperatura de receptor las cuales permiten conocer el estado del mismo antes del traslado. Se detalla el diseño y la prueba de una nueva placa de oscilador local, la cual es fabricada con el fin de ser montada en el radiotelescopio de forma definitiva. Luego se documenta el proceso de embalaje y traslado, el cual da paso al montaje la distribución y la conexión de los distintos componentes e instrumentos del sistema.

En el Capítulo 4 se expone la última etapa del proceso, la puesta en marcha. Primero se describen las pruebas preliminares y los ajustes mecánicos posteriores al montaje. Se documentan las pruebas de vacío y temperatura de receptor realizadas luego del traslado. Se describen los cambios hechos en el programa de control del radiotelescopio que permiten situar al sistema en su nueva locación y tiempo. Se detalla el proceso de alineación y posicionamiento fino del radiotelescopio el cual es de vital importancia para obtener espectros y apuntar a las fuentes de forma precisa. Finalmente se incluyen las primeras observaciones realizadas y las conclusiones que éstas arrojan.

En el Capítulo 5 se discuten los resultados obtenidos de forma crítica en relación a los objetivos planteados y en el Capítulo 6 se concluye sobre el trabajo realizado apuntando a los logros conseguidos, las carencias que fueron detectadas y las posibles mejoras futuras.

2. Contextualización

2.1. La astronomía expande sus sentidos

Hasta mediados del siglo XX toda la astronomía se basó en estudios de la luz visible proveniente del espacio. Durante siglos astrónomos e ingenieros centraron sus esfuerzos en potenciar la capacidad de sus instrumentos para captar mayor cantidad de luz. Sin embargo, actualmente gran parte de la información obtenida por los astrónomos proviene del espectro invisible que radia desde el universo que nos rodea. Este cambio radical en la forma de hacer astronomía comienza a finales de la década de 1920 cuando a un joven ingeniero llamado Karl Jansky se le encargó un estudio sobre el ruido presente en comunicaciones inalámbricas transatlánticas. Los resultados de este trabajo indicaron la existencia de tres tipos de interferencias: descargas breves procedentes de fenómenos climatológicos locales; descargas análogas correspondientes a fenómenos climatológicos muy lejanos; y, silbidos persistentes procedentes de una misteriosa fuente en movimiento regular a través del cielo. Después de meses de intensa investigación Jansky llegó, en la primavera de 1932 a la conclusión de que la fuente de aquel ruido estaba localizada en la constelación de Sagitario: en la dirección del núcleo de nuestra galaxia. Ya para 1944 Grote Reber el primer radio astrónomo aficionado había publicado el primer mapa radial de la Vía Láctea usando un satélite de plato construido por él mismo en un terreno desocupado al lado de su casa. En 1951 H.I Ewen y A. Edward Lilley detectaron la primera señal de radio de hidrogeno neutro en el espacio. La idea de que las moléculas se detectarían en el espacio usando ondas de radio ya había entrado en sus mentes. Efectivamente, en 1968, las primeras líneas de radio de moléculas interestelares fueron descubiertas por el astrónomo Charles H. Townes de la Universidad de California en Berkeley. Townes y su equipo descubrieron agua y amoníaco en el espacio. Esta observación fue hecha por Patrick Thaddeus un estudiante de Townes, quien guió más tarde muchos descubrimientos asombrosos.

El siguiente gran evento en esta historia toma lugar en 1970, cuando Arno Penzias, Robert Wilson y Keith Jefferts en los laboratorios Bell detectaron monóxido de carbono en el espacio por primera vez. El hidrógeno es el elemento más simple y abundante en el Universo y el hidrógeno molecular es por lejos la molécula más abundante. Desafortunadamente bajo condiciones típicas interestelares el hidrógeno molecular no emite en frecuencias de radio o en longitudes de onda del orden de los milímetros. Sin embargo el segundo ingrediente más abundante en las nubes moleculares, el monóxido de carbono (CO), tiene un alto y poderoso espectro en las ondas milimétricas y parece mantener una razón constante con el hidrógeno molecular de alrededor 1:100,000. Por este motivo el monóxido de carbono se ha vuelto el trazador estándar o la “marca” para el hidrógeno molecular invisible el cual conforma la mayor parte de la masa molecular de la galaxia. Observaciones de monóxido de carbono luego revelaron que la presencia de este gas molecular en el espacio era mucho más extensa de lo que jamás se había sospechado. Investigaciones sobre la presencia de esta y otras moléculas en el Universo han sido el objeto de estudio de la radioastronomía a lo largo de los años.

Gracias al uso de la interferometría¹ sumado al advenimiento del proceso digital de señales, computadores más veloces y pequeños, y la introducción de mezcladores de superconductores la

¹ Método que permite que una o más antenas ubicadas a distancia o en arreglos funcionen como si fueran una sola gran antena.

radioastronomía ha progresado exponencialmente. Nuevas antenas y arreglos de antenas están siendo diseñados y construidos. Algunos contienen decenas de antenas operando en armonía, entregando resoluciones que se comparan a los telescopios ópticos. Actualmente en Chile existen numerosos observatorios radio astronómicos, dentro de los cuales destacan los proyectos APEX (Atacama PathFinder Experiment), ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment), CBI (Cosmic Background Imager) y particularmente el proyecto ALMA (Atacama Large Millimeter Array) el cual, utilizando líneas base de hasta diez kilómetros, entregará una capacidad de observación nunca antes vista.

2.2. Una breve historia del Mini

Un personaje clave en la historia del Mini es Ph.D. Patrick Thaddeus, profesor de física y astronomía aplicada de la Universidad de Harvard. Inicialmente, Thaddeus y sus colegas, Ph.D. Ken Tucker y Ph.D. Mark Kutner comenzaron delimitando el monóxido de carbono usando un radiotelescopio de 4.8 metros de diámetro en el observatorio Mac Donald en Texas. El plan era seguir marcando desde el exterior de las nubes que observaban hasta encontrar un lugar donde no existiese más monóxido de carbono. Pronto descubrieron que había mucho más que demarcar y que hacerlo con tal radiotelescopio les tomaría muchos años. Ese gran radiotelescopio solo podía mirar una pequeña área del cielo en cada observación. Tal resolución es generalmente muy valiosa pero al tratarse de demarcar grandes áreas en el cielo, se vuelve un gran impedimento. Thaddeus hace un símil con intentar ver un elefante con una lupa o pintar un granero con un pequeño pincel. Obviamente una “brocha” de mayor tamaño era necesaria.

Patrick Thaddeus y sus colegas diseñaron un radiotelescopio especialmente construido para la labor de mapear completamente la galaxia en CO. El NMWT (*Northern Millimeter-Wave Telescope*) fue diseñado con un plato primario o antena principal relativamente pequeño y consecuentemente un gran ancho de haz de aproximadamente $1/8$ de grado, el que puede ser comparado a un lente de gran angular. Con este nuevo instrumento fue posible mapear grandes partes del cielo en tiempos relativamente cortos. El NMWT comenzó su vida en un lugar bastante extraño para un radiotelescopio de investigación, el techo de un edificio de 15 pisos en Manhattan, Nueva York. Este edificio era el Laboratorio de Física Pupin en el campus de la Universidad Columbia. A pesar de que la luz y las radiaciones producidas por los humanos interfieren en la mayoría de los receptores de los telescopios ópticos, para las ondas de radio en general y en particular para la longitud de onda óptima para observar el CO, la atmósfera terrestre, la luz y el ruido producidos por los humanos interfieren de mucho menor manera.

Para poder completar el estudio era necesario contar con un radiotelescopio en el hemisferio sur ya que no todo el cielo es visible desde el norte. Es por esto que una réplica del NMWT fue construida. Por un lado el diseño previamente probado acarrearía menos inconvenientes técnicos, además era lógico completar el mapeo con un instrumento de las mismas características, evitando mayor procesamiento de los datos obtenidos para poder combinar la información recolectada con ambos radiotelescopios.

Los trabajos preliminares en este nuevo radiotelescopio comenzaron en 1980, y en abril de 1981 fue iniciada la mayor parte de la construcción. Durante 1982 el radiotelescopio fue totalmente ensamblado en el campus de la Universidad Columbia en Nueva York donde fue testado por completo, llegando a realizar observaciones astronómicas. El radiotelescopio fue enviado a Chile en noviembre de 1982, año en el cual fue mayormente ensamblado en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo.

El radiotelescopio Mini funcionó satisfactoriamente en el Observatorio de Cerro Tololo por más de 15 años, dando origen a numerosas publicaciones científicas, deteniéndose su uso en el año 1998 debido a que dejó de ser competitivo en términos de operación. Finalmente, el Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile (DAS) decidió modernizar el receptor, con el fin de que éste siga siendo útil a la investigación científica. Para ello el receptor fue desmontado y trasladado hasta el Laboratorio de Ondas Milimétricas ubicado en Cerro Calán, lugar donde se llevaron a cabo trabajos de remodelación.

Durante el año 2005, el estudiante de ingeniería eléctrica Walter Max-Moeberck realizó el reemplazo del oscilador local del receptor. Inicialmente se utilizaba un tubo de microondas Klystron, que generaba una señal de 53-60 GHz, que posteriormente era doblada llegando a 106-120 GHz. Actualmente con el remplazo del oscilador local, el receptor utiliza un oscilador Gunn que puede generar directamente una señal de 85-114 GHz. Las principales ventajas que presenta esta nueva tecnología, por sobre los tubos de microondas, son la menor cantidad de ruido que se inyecta al mezclador, la facilidad de operación y el mayor rango de frecuencias que se pueden generar. Por otro lado, al disponer de un oscilador local que pueda cubrir una mayor banda de frecuencias, es posible realizar observaciones de espectros de otras moléculas, no sólo 12CO y 13CO, Max-Moeberck, 2005[9].

Por medio de una colaboración con California Institute of Technology (CALTECH), el DAS dispuso de un amplificador HEMT que puede operar en la banda 85- 115 GHz con una ganancia de 20 dB y que fue instalado durante el año 2006 por el estudiante de ingeniería eléctrica Nicolás Reyes. Este amplificador fue construido durante el 2005 en el Jet Propulsion Laboratory (JPL), dependiente de la NASA/Caltech. Con el objetivo de disminuir la temperatura de ruido del receptor este amplificador fue incorporado como *front-end* del sistema. El estudiante de ingeniería eléctrica Mario Vielma desarrolló los cálculos para determinar cuantitativamente el aumento de la relación señal a ruido con esta modificación, Vielma, 2006[11]. También, se desarrolla un detallado análisis acerca de la factibilidad de incorporar este componente al receptor, teniendo especial cuidado con los niveles de potencia esperados en cada etapa del sistema, de tal forma de evitar dañar componentes delicados al realizar esta modificación, Reyes, 2006[10].

Una vez que el nuevo receptor se encontraba en funcionamiento se realizó un estudio de la opacidad del cielo de Santiago para evaluar la posibilidad efectiva de realizar observaciones radioastronómicas y por consiguiente efectuar el traslado de la antena al Observatorio Astronómico Nacional en Cerro Calán, Santiago de Chile. Este trabajo tuvo como resultado una memoria de título, Ramos, 2009[8]. Una vez obtenidos estos resultados, donde se expone que durante los meses de mayo y octubre Santiago presenta buenas condiciones para observar en días despejados, se decide trasladar la antena a Santiago para finalizar su montaje. El traslado fue realizado en septiembre del 2009 y su posterior montaje previo se llevó a cabo paulatinamente durante ese mismo año dentro del Laboratorio de Ondas Milimétricas del DAS. Esta etapa fue realizada con motivo de conocer su estado luego de más de 10 años de encontrarse inoperativo.

Durante el primer semestre del año 2010, año en el cual se enmarca la presente memoria, se realizaron una serie de pruebas y caracterizaciones del radiotelescopio, además se llevaron a cabo ajustes necesarios pensando en su montaje final. La finalización de la construcción del nuevo edificio en septiembre del año 2010 permite su traslado y montaje definitivos, abriendo así un nuevo capítulo en la historia del Mini y de la radioastronomía a nivel nacional.

Por más de tres décadas los radiotelescopios de 1.2 metros de ambos hemisferios han sido ocupados principalmente para obtener lo que hoy se conoce como el más grande, uniforme y ampliamente utilizado estudio de nubes moleculares densas formadoras de estrellas. Un total de 24 disertaciones de doctorado han sido escritas basadas en observaciones o trabajos instrumentales hechos en estos radiotelescopios y aún muchos más estudiantes de pregrado han participado en observaciones y trabajos de instrumentación ya sea en laboratorios o como asistentes de observación.

2.3. Especificaciones técnicas

El radiotelescopio Mini es básico en cuanto a construcción y diseño. Físicamente se divide en cinco partes principales: La antena; el receptor; el espectrómetro; los servo amplificadores (*drives*); y, el computador de control. Además existen elementos anexos como sintetizadores de señales, analizadores de espectro y el sistema de control del domo. En la Figura 1 se presenta un diagrama de bloques básico del radiotelescopio.

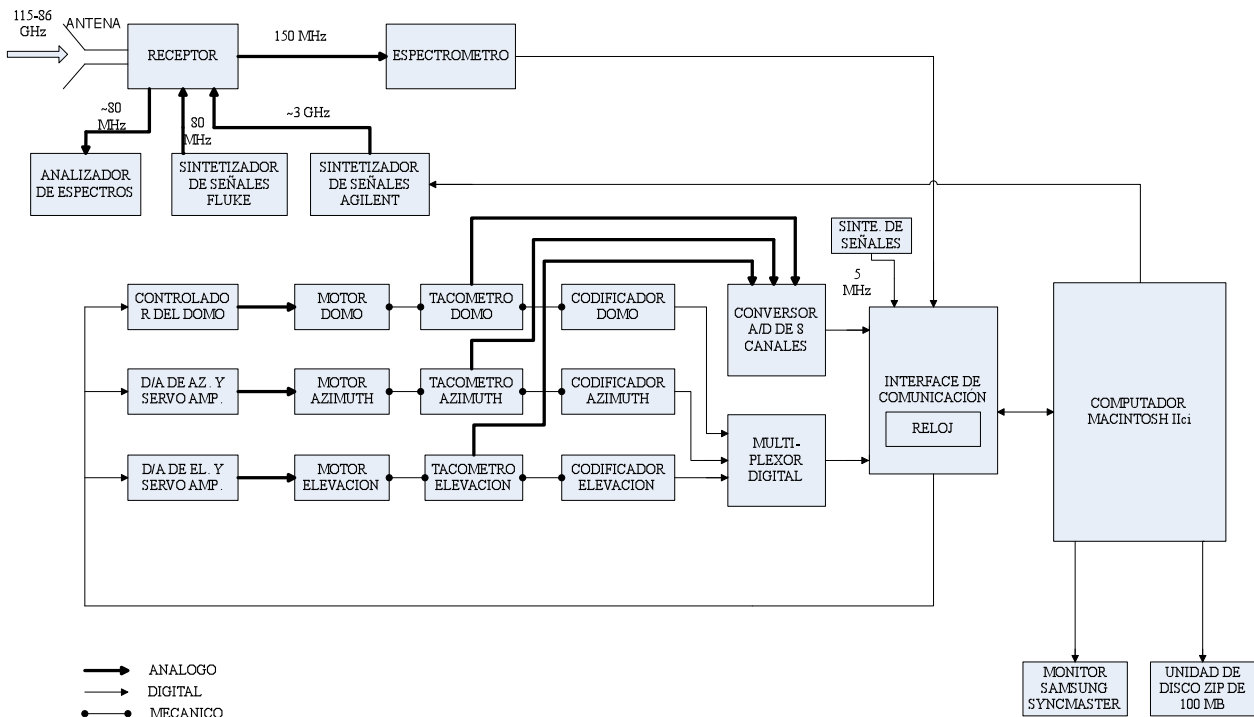


Figura 1: Diagrama de bloques básico del radiotelescopio Mini

Tanto el flujo de datos como el lazo de control se realizan por cada ciclo del reloj, siendo este último externo a la computadora de control. La computadora de control corre un solo programa a la vez, es decir, no es multi-tareas. Esto permite asegurar que el programa de control ocupe todos los recursos del sistema y que de esta forma el flujo de datos no sea interrumpido. En cada ciclo se prioriza el flujo de información desde el espectrómetro, sin embargo el sistema nunca registrará datos si el apuntamiento (*pointing*) no es correcto o existe alguna alarma presente. En el esquema de la Figura 1 se puede apreciar la forma en la que se comunican los distintos elementos, ya sea: mecánica; digital; o, análogamente. Además se puede apreciar que el lazo de control de los movimientos del radiotelescopio es totalmente realimentado, mientras que el lazo

entre el receptor y la computadora de control no es realimentado. En la Tabla 1 se muestran las características más relevantes del radiotelescopio.

Antena	1.2 m Cassegrain
Precisión superficial	20 μm
Ancho del az	8.8 minutos de arco (a 115.3 GHz)
Ancho de banda	128 MHz, 25.6 MHz
Resolución espectral	1 MHz, 0.1 MHz
Temperatura de ruido	380 K (SSB)

Tabla 1: Especificaciones del radiotelescopio Mini

2.3.1. Antena y sistema motriz

El sistema de la antena consiste en un primario parabólico de 1.2 m y un secundario hiperbólico de 18.8 cm en configuración *Cassegrain* los cuales entregan una razón de f/D efectivo de 3.79. La antena primaria está recubierta por una capa de una sola pieza de aluminio monolítico, labrado numéricamente con una precisión menor a 12 μm . Las deformaciones gravitacionales calculadas suman otros 8 μm de error obteniendo un total de 20 μm . Tomando como referencia la longitud de onda del CO de 2.6 mm se obtiene una superficie con precisión superior a $\lambda/100$. Estas características son consideradas ideales según los estándares de la radioastronomía convencional, Cohen, 1983[1], K.Rohlfs and T.Wilson, 2009[3].

Para chequear la óptica y el alineamiento del radiotelescopio se midió el diagrama de radiación de la antena usando un transmisor ubicado en Cerro Morado a 3 km de distancia de Cerro Tololo. Esto se considera el campo lejano de la antena ya que es una distancia de aproximadamente $6D^2/\lambda$. El ancho medido del lóbulo principal a 3 dB FWHM (*Full With Half Maximum*) es de 8.8 minutos de arco a 115.3 GHz, con lóbulos laterales a más de 18 dB bajo el lóbulo principal, Bronfman, 1989[2]. En la Figura 2 se aprecia el parámetro de radiación de la antena, tanto en azimut como en elevación. En la Figura 3 se muestra un esquema de la antena.

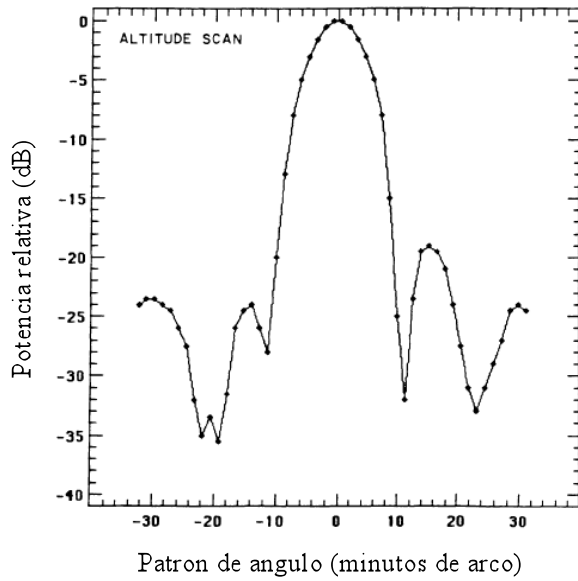


Figura 2 a

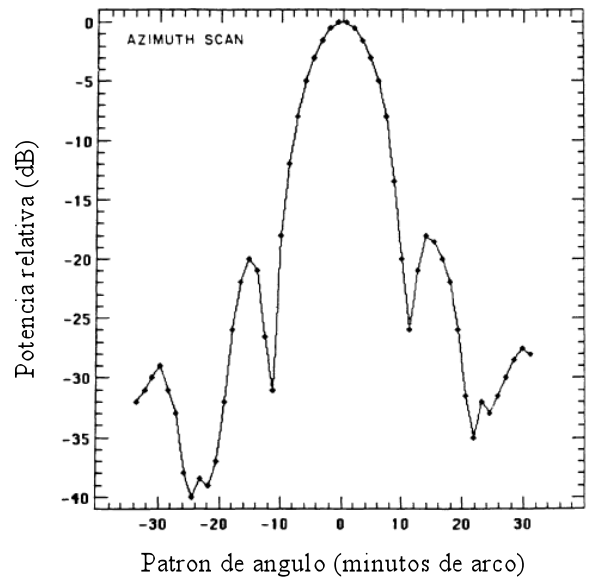


Figura 2 b

Figura 2: Patrón de radiación de la antena

La antena se encuentra montada sobre un eje horizontal acoplado a una estructura con forma de tenedor llamada horqueta (*fork*), la cual se posa sobre una base. El sistema provee los ejes de movimiento, azimut y elevación. Acoplados a cada eje se encuentran su respectivo motor, codificador de posición y freno. En la Figura 3 se pueden observar las distintas partes del radiotelescopio.

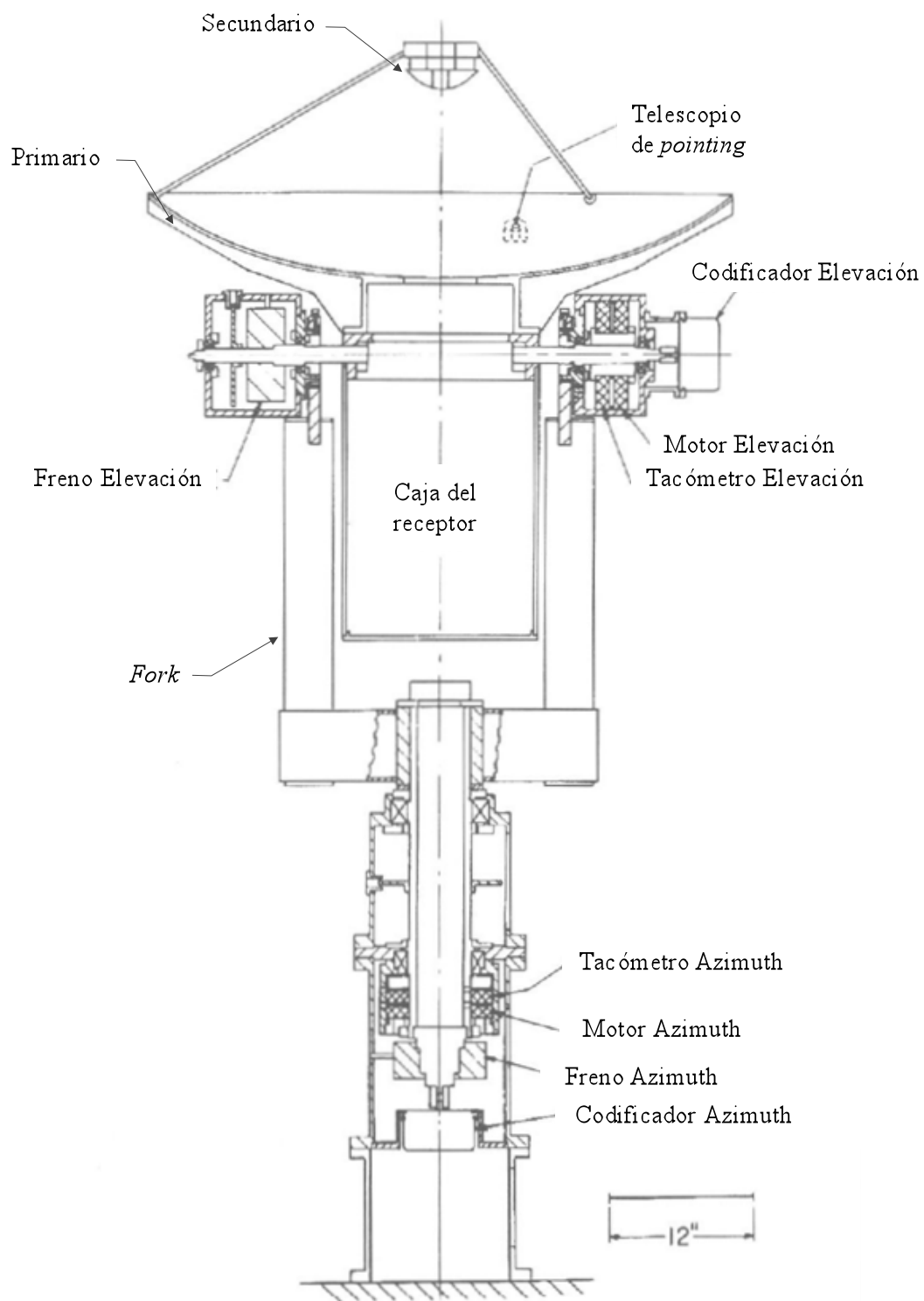


Figura 3: Corte transversal radiotelescopio Mini

Debido al pequeño tamaño de la antena, motores de accionamiento directo (*direct-drive*) son utilizados en ambos ejes, obteniendo la ventaja de carecer de engranajes en el sistema. Los motores entregan 16 m kg de torque, permitiendo que el radiotelescopio se mueva con una velocidad de 5 grados por segundo. Esta velocidad de movimiento permite que los cambios de posición para obtener referencias (*position switching*²) sean realizados rápidamente y, por consecuencia, la obtención de espectros.

Ambos ejes de movimiento, azimut y elevación son monitoreados por tacómetros y codificadores de posición de 16 bits entregando una precisión de 0.33 minutos de arco. Estas señales son leídas por la computadora de control del radiotelescopio a 100 Hz. Esta última se encarga de calcular las correcciones de torque para el sistema de guía. Los frenos funcionan con lógica inversa, es decir, se encuentran siempre activados (radiotelescopio frenado) a menos que reciban una señal o voltaje que los desactiva. Esto es importante de considerar ya que si se desea mover el radiotelescopio manualmente este debe tener conectado el sistema el frenos.

2.3.2. Receptor

El receptor, Figura 4, se compone de tres bloques principales: el procesador frontal (*front-end*), el oscilador local y el bloque de frecuencia intermedia. El procesador frontal (*front-end*) realiza el primer procesamiento de la señal. Su principal objetivo es realizar una conversión de frecuencia y obtener una señal de frecuencia intermedia de 1390 MHz. El oscilador local es el bloque encargado de generar una señal de alta frecuencia que será utilizada por el mezclador en el proceso de conversión hacia abajo (*down-conversion*). La etapa de frecuencia intermedia recibe la señal de 1390 MHz a la salida del front-end y realiza una segunda conversión de frecuencia, produciendo una señal de 150 MHz que es enviada al espectrómetro.

El front-end

En el *front-end* se ubican los componentes que operan sobre la señal proveniente desde el espacio. Este bloque se encuentra al interior del crióstato y es enfriado con nitrógeno líquido, de tal forma de disminuir el ruido que el sistema adiciona a la señal original. En primer lugar la señal es captada por una antena tipo bocina (*horn*), el que lleva la señal hacia la guía de onda que la conducirá hacia el amplificador HEMT y luego al mezclador. Por medio de una ventana de vacío, la guía de onda introduce la señal al interior del termo. Una vez en el interior, la señal pasa por un amplificador HEMT e ingresa a un anillo resonante. Esta componente tiene una doble finalidad, por un lado actúa como filtro pasa banda y, por otro lado, permite incorporar la señal del oscilador local, es decir, actúa como un diplexor.

El anillo resonante corresponde a una guía de onda curvada de tal forma que el recorrido de la señal es un círculo. Cuando la señal que ingresa al anillo tiene una longitud de onda igual al perímetro de la estructura, la señal no se cancela y por tanto no es atenuada. En este caso se dice que esta es la frecuencia de resonancia del anillo. En cambio, si la frecuencia corresponde a la mitad de la frecuencia principal, la señal se cancela totalmente. Este mismo fenómeno se produce para las armónicas de la frecuencia principal, Chang, 1996[12]. De hecho, si f_0 es la frecuencia a la que está sintonizado el anillo, entonces en $f = Nf_0$, donde $N = 1, 2, 3, \dots$ la señal no sería atenuada, y en $f = Nf_0 + f_0/2$ la señal será atenuada de forma máxima.

² *Position switching* es una técnica de observación en la que se observan alternadamente la fuente de interés y una región donde no exista emisión en la frecuencia o línea observada. De esta manera se puede conocer la parte de la respuesta del instrumento que se debe a la presencia de la fuente.

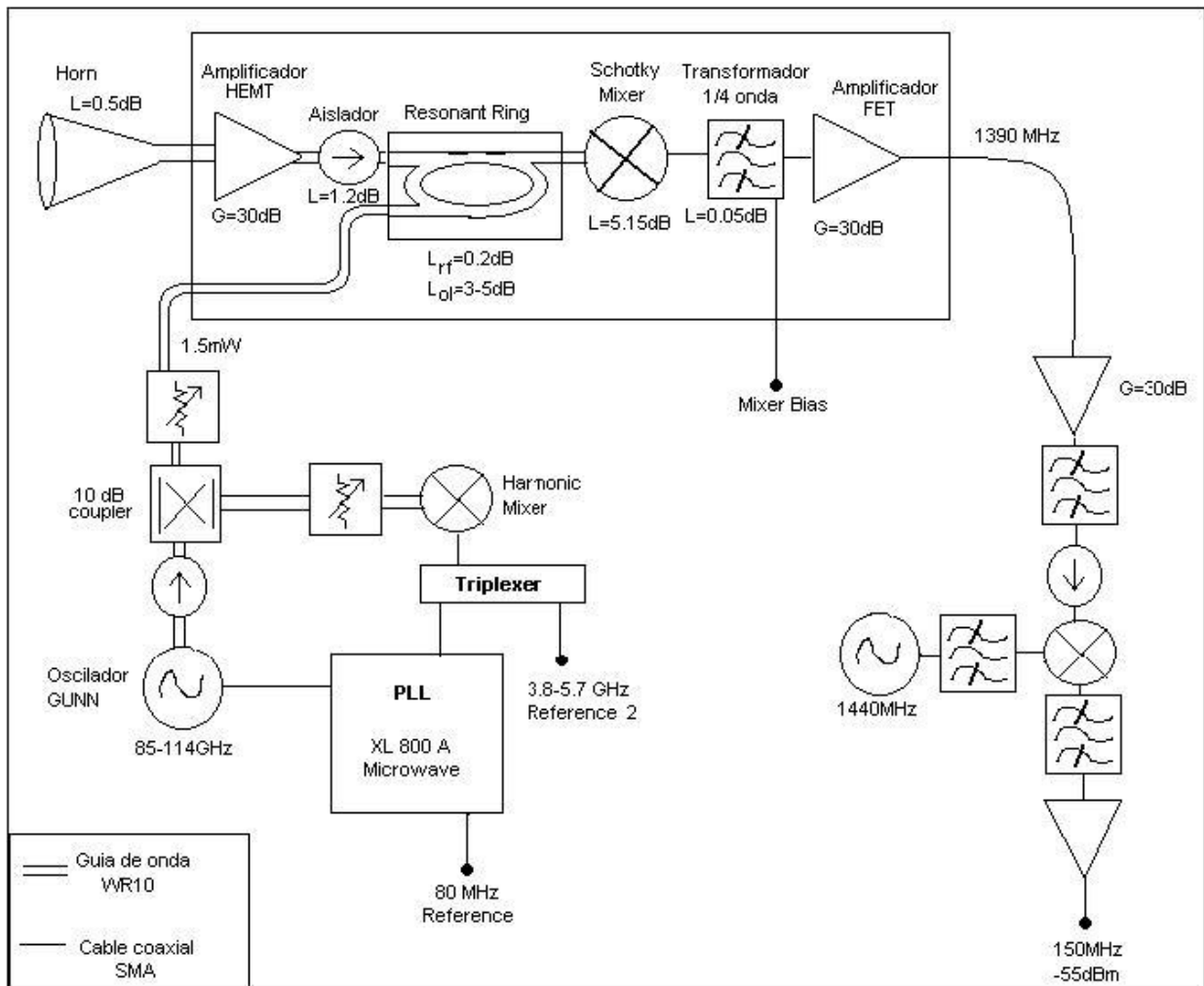


Figura 4: Receptor del Radiotelescopio Mini

El anillo resonante en cuestión tiene una frecuencia principal de alrededor de 8 GHz pudiéndose variar ligeramente este valor por medio de un tornillo micrométrico. El anillo debe ser sintonizado de forma que la señal de oscilador local sea acoplada hacia el mezclador con una mínima cantidad de pérdidas. Al atravesar el anillo resonante la señal de oscilador local es filtrada eliminándose el ruido proveniente desde el oscilador local. Este proceso determina que las pérdidas de acoplamiento entre el oscilador y el mezclador sean de 3 a 5 dB. Por otro lado la señal RF es conducida hacia el mezclador por una guía de onda que tiene solamente 0.3 dB de pérdidas, Hong-Hi Cong, 1979[13].

Una vez que se han *diplexado* la señal RF y la señal de oscilador local en una misma guía de onda, éstas son conducidas hacia el mezclador. Se trata de un mezclador en base a un diodo Schotky de GaAs. Para minimizar la cantidad de potencia que es reflejada, el mezclador cuenta con un *back-short* ajustable por medio de un tornillo micrométrico. Las pérdidas de conversión de este componente son de 5.15 dB y posee una temperatura de ruido de 189 K, Cohen, 1983[1], Hong-Hi Cong, 1979[13]. El mezclador presenta mejores resultados cuando es polarizado con una señal de 0.5 V. En esa situación requiere de una potencia de oscilador local de 0.6 mW, resultando dañado con potencias mayores a 3 mW. Luego del mezclador la señal es amplificada por un FET (*Field Effect Transistor*). Para reducir las desadaptaciones de impedancia entre

ambos componentes se utiliza un transformador de cuarto de onda entre ellos Collin, 1922[6]. Este transformador actúa también como un filtro pasa banda sintonizado en 1390 MHz y acopla una señal DC al sistema, la que permite que el mezclador alcance su punto óptimo de operación. Como los adaptadores de este tipo suelen poseer un ancho de banda muy angosto, se optimizó el funcionamiento de este componente añadiendo una estructura del tipo herradura (*Horse-Shoe*), de tal forma de obtener un mayor ancho de banda Hong-Hi Cong, 1979[13].

El oscilador local

En este bloque se ubica el oscilador Gunn, figuras 4 y 5, que provee al mezclador de la señal necesaria para realizar el proceso de heterodinización. El oscilador Gunn fue fabricado por Ph.D. J.E. Carlstrom, y puede generar señales en un rango de frecuencias que va desde los 85 GHz hasta 114 GHz. Un dispositivo Gunn es un semiconductor dopado de tal forma que presenta una región de impedancia negativa, tal como se puede observar en la Figura 5. Por medio de una polarización adecuada el dispositivo es forzado a operar en esta zona, y es acoplado a un circuito resonante. Rápidamente el dispositivo comienza a oscilar con una frecuencia determinada por el circuito resonante adyacente. En general los dispositivos Gunn no son acoplados a un circuito tradicional, sino a una cavidad resonante, cuyas dimensiones determinan la frecuencia de operación. El ajuste de la frecuencia se realiza por medio de un tornillo micrométrico, que controla las dimensiones de la cavidad resonante. Es posible realizar un ajuste fino de la frecuencia de salida por medio de variaciones en el voltaje de polarización del dispositivo. Esta característica es utilizada por el PLL para enclavar el oscilador en la frecuencia deseada.

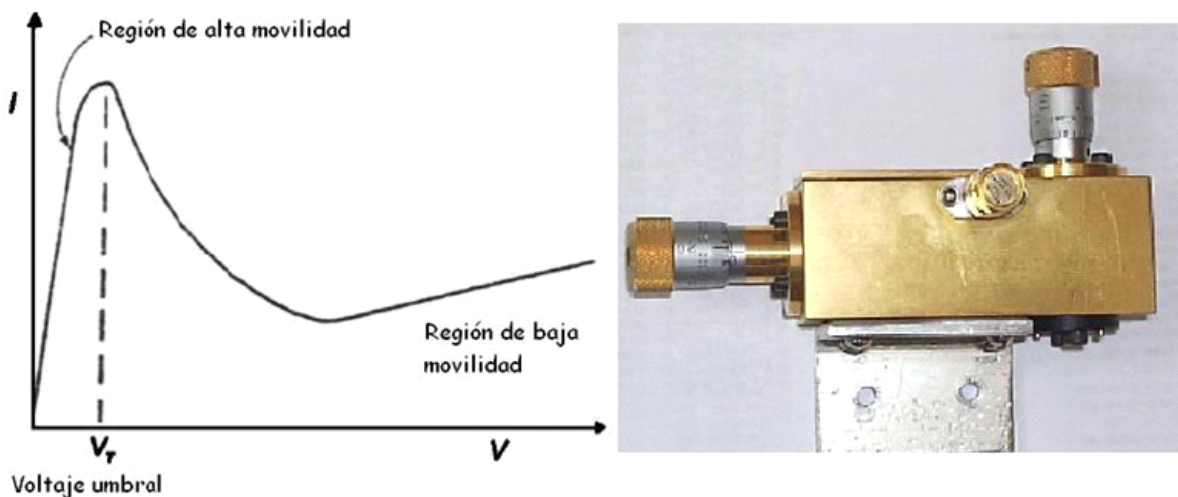


Figura 5: Izquierda: Curva I-V del dispositivo Gunn. Derecha: Dispositivo Gunn y sus tornillos micrométricos

La señal de alta frecuencia generada es conducida hacia una guía de onda. Para evitar que la potencia sea reflejada se utiliza un segundo tornillo micrométrico el que modifica las características de la guía de onda, permitiendo que la transferencia de potencia sea óptima. Para proveer de una buena adaptación de impedancia entre el Gunn, Figura 5, y el resto del circuito se utiliza un aislador (10/5000 Aerowave) que protege el dispositivo de posibles reflexiones de potencia desde los componentes vecinos al Gunn.

El ajuste fino de la frecuencia del oscilador es realizado por un PLL especialmente diseñado para controlar osciladores Gunn (XL 800A, Microwave). Utilizando un acoplador

direccionales de 10 dB (10/3000/10 Aerowave) se toma una muestra de la señal producida por el Gunn, que es conducida hacia un mezclador armónico (*harmonic mixer*) de Pacific Milimeter Products. Este componente tiene dos puertos, el primero es una guía de onda por donde ingresa la señal de alta frecuencia proveniente desde el oscilador Gunn, el segundo es un coaxial por donde ingresa una señal de referencia de alrededor de 5 GHz y salen las componentes resultantes de la mezcla.

En el mezclador la señal del Gunn es mezclada con una señal de referencia del orden de 5 GHz. A la salida del mezclador se selecciona una señal que corresponde a la mezcla de la N-ésima armónica de la referencia con la señal proveniente desde el Gunn. Un triplexer permite separar la resultante de la mezcla y enviarla hacia el PLL, donde es comparada con una segunda señal de referencia de 80 MHz y, en base a la diferencia entre ambas, se genera la señal de control del Gunn. Por otro lado, el triplexer permite llevar hacia el mezclador armónico la señal de 5 GHz que se utiliza como referencia. También tiene una salida DC que permite monitorear la corriente continua que se presenta en el diodo, que no debe superar los 2 mA. En la Figura 6 se presenta un esquemático del proceso que se ha descrito.

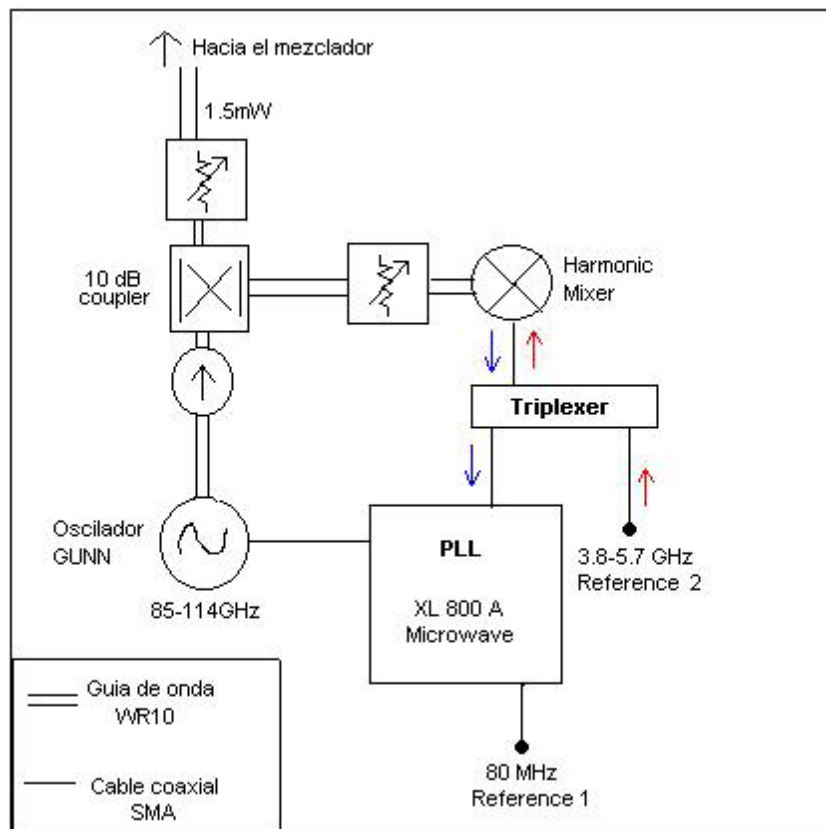


Figura 6: Diagrama del oscilador local

La señal producida por el Gunn, cuando éste se encuentra controlado, presenta excelentes características de ruido y de estabilidad, siendo idónea para utilizarse en el mezclador. En pruebas anteriores, Reyes, 2006[10], se midió en laboratorio el nivel de potencia generado por este sistema de oscilador local, Figura 7. Se observó que el oscilador genera una potencia variable entre los 2 y los 32 mW. Considerando que el mezclador necesita de una potencia de 2 mW para

funcionar, y que resulta irremediablemente dañado con 4 mW, se concluye que el oscilador genera demasiada potencia en casi toda la banda de funcionamiento, debiendo atenuarse siempre la señal. Para ello se utiliza un atenuador variable que debe ser sintonizado en cada frecuencia de interés, teniendo mucho cuidado de no dejarlo nunca totalmente abierto.

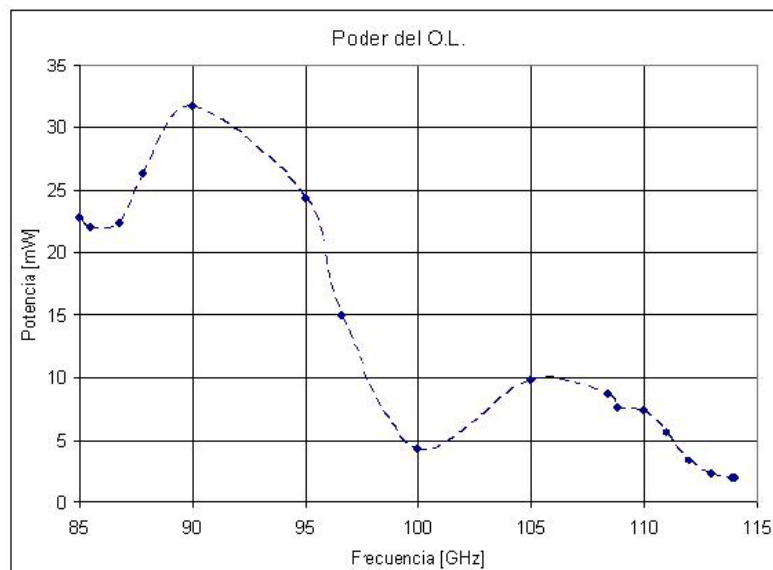


Figura 7: Poder generado por el oscilador local anterior

En la Figura 8 se muestra una fotografía del sistema de oscilador local antiguo del radiotelescopio. Como parte del presente trabajo se corrigió una guía de operación para el nuevo oscilador local, Anexo B. En dicho documento se detallan los pasos para operar de forma óptima y segura el oscilador Gunn. Además se entrega una tabla que contiene los valores de sintonización necesarios para realizar observaciones de distintas líneas espectrales.

Dentro de los trabajos realizados en la presente memoria, la configuración del oscilador local que se muestra en las figuras 6 y 8 fue modificada. Detalles sobre la nueva configuración se encuentran en la sección 3.1.5.

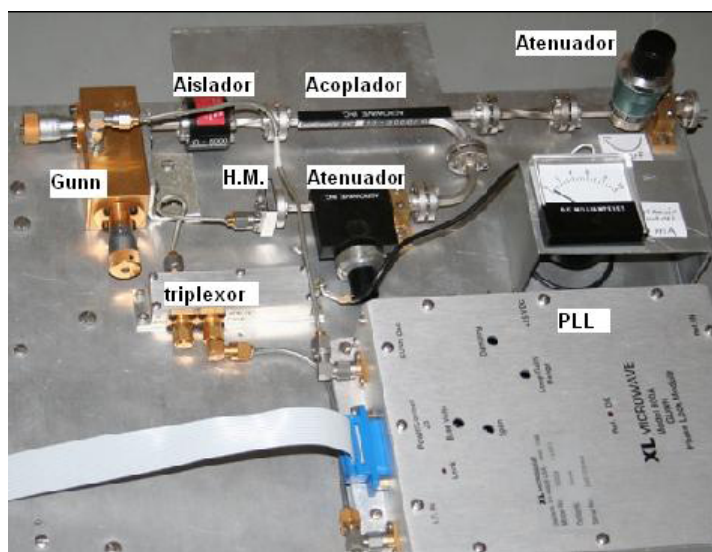


Figura 8: Esquema del antiguo oscilador local

El bloque de frecuencia intermedia

Este bloque procesa la señal de frecuencia intermedia (1390 MHz) obtenida a la salida del termo. Como se encuentra fuera del criostato opera a temperatura ambiente. Su principal objetivo es realizar un segundo proceso de heterodinización, que da como resultado una señal de 150 MHz entre 23 y -55 dB que es enviada hacia el espectrómetro. Para ello la señal es amplificada, filtrada y mezclada. Un aislador previene posibles reflexiones de potencia entre este bloque y el *front-end*.

2.3.3. Espectrómetro

Un espectrómetro es un instrumento que mide con precisión la cantidad de potencia que es recibida por unidad de frecuencia, permitiendo estudiar las líneas espectrales recibidas por el receptor. Para poder obtener cada línea por separado la señal entrante es multiplexada y filtrada según la frecuencia correspondiente a cada línea. Una vez filtrada la señal se puede conocer la potencia obtenida para cada frecuencia o línea de forma separada. Uno de los bancos de filtros fue provisto por la Universidad de Columbia mientras que el otro fue construido en el Max Planck Institute for Radio Astronomy (MPIfR) y rediseñado totalmente en el Observatorio Radio Astronómico de Maipú. Durante algún tiempo el receptor contó con un Acoustic-Optic Spectrometer (AOS) propiedad del MPIfR, luego ese instrumento fue regresado a Alemania, Reyes, 2006[10].

Actualmente el radiotelescopio cuenta con dos bancos de 256 canales cada uno. Uno de los bancos tiene un ancho de banda de 0.1MHz por canal, obteniendo un ancho de banda total de 25.6 MHz, mientras que el otro cuenta con un ancho de banda de 1 MHz en cada canal, obteniendo un ancho de banda total de 2×128 MHz ya que la señal es dividida y filtrada dos veces. Cada banco de filtros es seleccionable de forma manual y operan de forma independiente, es decir que no se pueden ocupar ambos a la vez. Los espectrómetros dividen la señal IF final centrada en 150 MHz en 16 bandas de 1.6 o 16 MHz de ancho. Cada una de las 16 bandas pasa por el mismo número de filtros, cada uno compuesto de 16 filtros contiguos del tipo Butterworth de 2 polos de 0.1 o 1 MHz de ancho. Las salidas de los filtros pasan a través de detectores que siguen la ley del cuadrado. Después de una etapa de amplificación, las señales detectadas son acumuladas por integradores. El tiempo de muestreo es de 48 ms, seguido por un mantenedor de 5 ms para la lectura secuencial de un convertidor análogo digital. Los 256 valores producidos por el convertidor son guardados en un *buffer* durante el siguiente ciclo, permitiéndole al computador un total de 48 ms para leer la información. El banco de filtros angosto cuenta con una resolución espectral de 0.26 kms^{-1} y puede cubrir un rango de 70 kms^{-1} (ancho de banda) en 115 GHz, mientras que el banco ancho permite una resolución espectral de 2.6 kms^{-1} y un rango espectral de 333 kms^{-1} . Mayores detalles sobre las distintas tecnologías utilizadas como procesador trasero (*back-end*) se pueden estudiar en, Wilson, 2009[3].

2.3.4. Sistema Computacional

Anteriormente al año 1991, el direccionamiento, almacenamiento de la información y calibración del radiotelescopio eran controlados por un computador llamado *Data General NOVA minicomputer* que poseía un programa de control especialmente diseñado. Este computador de control era bastante limitado en velocidad y memoria (disponía tan solo de 32 K byte de memoria RAM y 5 MB de memoria fija) sin embargo era lo suficientemente rápido como para permitir una pequeña reducción de datos en línea. Para procesamiento posterior, toda la información era

transmitida vía cinta magnética del tipo 1600 bpi 9-track a una estación digital llamada VAXstation II/GPX.

En 1991, las funciones de control del radiotelescopio fueron transferidas a un computador Macintosh IICI, el cual corre una versión traducida y mejorada del programa original en código C. Esta unidad realiza todo el trabajo; control del direccionamiento, almacenamiento y calibración. El computador cuenta con un disco duro de 80 MB y un procesador Motorola 68030 de 25 MHz y una ROM de 32 bit, además opera con sistema operativo 6.0.4.

Para poder comunicar este computador con el resto de los equipos del radiotelescopio fue construida una interface de comunicación a principio de los años 90', Figura 1, la cual conecta una serie de puertos digitales con el computador mediante un puerto IDC50 SCSI-1 de 50 pines.

LST	SOURCE	FOLDER	OBSERVER	SCAN#	UT DATE	UTC				
00:00:00	MAD	AEN_scans	AEN	1	3/08/11	00:00:00				
What, me worry?										
R. A.	DECLINATION	AZIMUTH	ELEVATION	OBS MODE						
ONPOS 19:19:04	14:09:46 *	COMMAND 180.00	45.00	Switched						
OFFPOS 19:02:36	17:22:37	ACTUAL 180.00	45.00	FET: OFF						
HOME POS 0:00:00	0:00:00	ERROR 0.00	0.00	EFFICIENCY %						
GALACTIC: 48.999	0.000	DOME 180.00		99 99						
ARC	BW	ARC	BW	RMS	FWHM	INTEG	ELAPSED	ON-OFF	CALIB	
OFFSET 0.0	0.0 W	0.0	0.0 N	0.00	1.3	10:00	0:00	0:15	0:01	
DMAP	LIST?	I	IMAX	J	JMAX	BW	COS?	HOM?	GRID	BRAKES
0.0	N	1	1	1	1	0.125	Y	N	1	
OFFS: 0 from none						SMPL: none				
FREQUENCY			CALIBRATION							
RESTFREQ	LINE	HARM	T CAL	T WAT	TAU W	T REC				
115271.201	12 C0	23	252 K	270 K	0.291	250 K				
SYNTH SIG	VLSR	VANT	CHPCR	<TP>	<DP>	TDOME	STARTUP: 3/24 18:09 UT			
103.095214	0.0	-41.4	1.01	0 K	0.00 K	117 F	DEFAULTS			
SYNTH REF	OFFRQ	DELFL	CALOK	TPOK	DPOK	T AMB	ORDER	MARKS	VELINT	
103.095214	0.0	0.25	5 %	10.0	10.0	60 F	1	1	-10.0	10.0

Figura 9: Ventana "Monitor" del programa de control

El programa de control cuenta con dos ventanas principales: la ventana "Command", en la cual se ingresa la línea de comandos donde se especifica la tarea que se desea realizar y la ventana "Monitor", Figura 9, donde se muestra la información más importante del estado actual del radiotelescopio.

2.3.5. Equipos auxiliares

Si bien estos equipos no constituyen parte integral del radiotelescopio, para hacer uso de este son indispensables. Mayor detalle sobre su uso práctico se puede encontrar en el Anexo B.

Bomba de vacío

Este equipo permite bajar la presión dentro de la cámara de vacío del termo para luego poder enfriar el mismo. Este proceso es necesario pues la presencia de aire dentro del mismo al momento de enfriarlo puede dañarlo. La humedad presente en el aire puede crear cristales que obstruyan la ventana de vacío y la expansión del agua al minuto de congelarse puede dañar físicamente el termo y la cámara de vacío. Por otro lado, la mayor presencia de materia permite que el intercambio de calor entre el interior y el exterior del termo sea mayor, teniendo por consecuencia un menor tiempo de uso del receptor frío.

Analizador de espectros

Este equipo permite monitorear la una señal de 80 *MHz* proveniente del PLL del oscilador local que indica el enclavamiento del oscilador Gunn. El instrumento es de gran utilidad puesto que enclavar el oscilador es una tarea fina y el PLL sólo tiene un indicador *led* de enclavamiento. El analizador de espectros permite al operario conocer en un rango más amplio la relación entre el ajuste del oscilador Gunn y el enclavamiento del PLL lo que facilita la operación del oscilador local.

Sintetizadores de señales Fluke y Agilent

Estos equipos entregan las señales necesarias para enclavar el oscilador Gunn. El sintetizador Fluke entrega una referencia de 80 *MHz* mientras que el sintetizador Agilent entrega distintas frecuencias cercanas a los 3 *GHz* según la transición que se esté observando. Este último se encuentra conectado al computador de control mediante un puerto *GPIB*, el cual le transmite la frecuencia correspondiente corregida del efecto *Doppler*.

Generador de ondas de 5 MHz

Este generador de ondas entrega una señal sinusoidal de referencia de 5 MHz y 2.8 V_{pp} a la interface de comunicación, Figura 1. Esta señal permite que el reloj de referencia externo sea generado, el cual es transmitido al computador de control y rige el comportamiento del programa de control.

Domo y sistema de control

El domo fue especialmente diseñado y construido para el Mini en la Universidad de Columbia al igual que el resto del radiotelescopio. Este tiene la forma de una cúpula y cuenta con una escotilla o *shutter* la cual se abre para permitir que el radiotelescopio observe el cielo. El domo es propulsado por un motor eléctrico de 1 HP acoplado a una caja reductora. Tanto el motor como el tacómetro y el codificador de posición se encuentran acoplados mecánicamente a un sistema engranajes que encajan sobre un riel solidario al domo y permiten que la tracción sea ejercida para moverlo.

3. Implementación

3.1. Trabajos en el laboratorio

El ensamblaje previo del radiotelescopio en las dependencias del Laboratorio de Ondas Milimétricas del DAS fue una etapa importante. Luego de más de diez años de encontrarse inoperativo era necesario hacer pruebas y constatar su estado antes de la instalación. Su disposición en el laboratorio permitió que se evaluara de manera más fácil comparado con una instalación inmediata en el edificio nuevo, esto debido a que en el laboratorio se contaba con más espacio, más instrumentos, más herramientas y acceso de forma más fácil al radiotelescopio.

El alumno se familiariza con el uso del radiotelescopio durante el primer semestre del 2010: conoce sus distintos dispositivos y las funciones de cada uno; se familiariza con el programa de control del radiotelescopio; aprende el uso del oscilador local y del receptor; y, todos los accesorios relativos a la operación del radiotelescopio. Durante este proceso se ayuda por guías de operación previamente elaboradas por parte del equipo del laboratorio, documentos que fueron corregidos y que se adjuntan como Anexo B. En este proceso el alumno crea las bases sobre las cuales se relacionará con el radiotelescopio en el futuro.

3.1.1. Pruebas preliminares

Como ya fue mencionado, la familiarización con el radiotelescopio comienza por la instrucción del profesor guía junto con el uso de guías de trabajo, Anexo B. En primer lugar se conocen las distintas partes del radiotelescopio y sus funciones individuales. Luego se aprende a encender los equipos y establecer comunicación entre el radiotelescopio y el programa de control mediante movimientos simples. Durante estas pruebas se observa que el radiotelescopio oscila cuando se le da la orden de apuntar en casi todas las direcciones. Esta anomalía se atribuye a que el receptor no está montado y que un balance de las cargas debe ser realizado con mayor cuidado y precisión para que los motores reciban el torque que son capaces de soportar. Más adelante se menciona otro motivo de la anomalía, desperfectos en los codificadores de posición, como se detalla en 4.3. Además se conoce el funcionamiento del oscilador local y el receptor. Una vez realizado este proceso, se procede a caracterizar aspectos importantes dentro del proceso de lo que a la puesta en marcha se refiere.

3.1.2. Estudio del consumo de potencia del sistema

La mayoría de los equipos eléctricos del Mini están diseñados para trabajar con 110 V, ya que en su mayoría provienen de EE.UU. El consumo de potencia del sistema debe ser conocido con motivo de diseñar una red respaldada en 110 V en el nuevo edificio. Para esto se dispuso de un amperímetro de tenazas para medir el consumo en el caso de que no fuera accesible o no existiera la placa característica del aparato. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Dispositivo	Consumo		
	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]
Espectrómetro 0.1 [MHz]	3.80	114	433.2
Espectrómetro 1 [MHz]	3.80	114	433.2
Motores de elevación y azimut	4.70	114	535.8
Computadora de control	0.95	114	108.3
Ventiladores y codificadores de posición	1.90	114	216.6
Sintetizador de frecuencia Fluke 80 [MHz]	1.50	115	172.5
Sintetizador de frecuencia Agilent ~ 3 [GHz]	-	-	250.0
Analizador de espectros	-	-	200.0
Contador de frecuencias	-	-	20.0
Fuente de poder receptor	-	-	30.0
Motor del domo	-	-	746.3
Total			3145.9

Tabla 2: Consumo de potencia en 110 V

Los dispositivos que no muestran corriente ni voltaje muestran potencias máximas obtenidas en las respectivas placas. El sintetizador de frecuencias Fluke no muestra potencia sino corriente y voltajes máximos en su placa. El motor del domo es de 1 HP, potencia que fue convertida a Watts.

El transformador comprado de 220 a 110 V es de 10 KVA, lo que cubre con creces la demanda presente. Es importante mencionar que no todos los elementos deben ser respaldados, sino que sólo los más delicados. Teniendo especial importancia el receptor y el oscilador local, los cuales cuentan con los componentes electrónicos más delicados. Estos consumos son pequeños en relación a los del resto de los equipos por lo que no influyen de mayor manera en un estudio del consumo de la potencia, sin embargo es importante manipularlos con cuidado, como se indica en el Anexo B. Por otro lado, se considera que el motor del domo no debe ser respaldado por lo que una unidad de respaldo de 4 KW es suficiente para proteger los equipos.

3.1.3. Prueba de vacío

Un concepto importante dentro de los que se abordan en un proyecto de este tipo es el de usabilidad. Esto se refiere simplemente a determinar la fracción de tiempo que va ser posible usar el radiotelescopio para los fines que fue construido, es decir, realizar observaciones astronómicas. Un factor importante en la usabilidad del radiotelescopio es su capacidad para mantener el vacío y por ende la temperatura de nitrógeno líquido en el receptor. Esta prueba se conoce con el nombre de *Holding Time* o tiempo de sostén del vacío y fue realizada en laboratorio con motivo de conocer cuál era el estado del receptor antes de subirlo a la antena en su emplazamiento definitivo. Los resultados de la prueba realizada se presentan en la Tabla 3.

Fecha	Hora	Temperatura[°C]	Presión [umHg]
5/10/2010	17:30	20	>100
	17:45	20	7.5
	18:00	20	6.5
6/10/2010	10:15	20	4.0
	10:30	-47	1.4
	10:40	-115	1.0
	10:57	-197	4.0
	10:58	-197	4.5
	11:11	-197	3.5
	11:26	-198	2.5
	11:38	-198	2.0
	11:50	-198	1.5
	12:00	-198	1.4
	12:30	-198	1.0
8/10/2010	13:00	-198	1.2
	18:00	-198	1.2

Tabla 3: Presión y temperatura en el termo en prueba de vacío

La totalidad del proceso fue monitoreada con un barómetro, el cual indica la presión dentro de la cámara de vacío del termo. El rango de la aguja indicadora tiene una cota superior de 10. El vacío es detectable por el instrumento después de aproximadamente 10 minutos de bombeo cuando la presión dentro de la cámara alcanza la cota máxima del instrumento. Desde ese momento el descenso de la presión es fácilmente observable hasta los 6 μmHg . Luego de toda una noche de bombeo se observa que el barómetro indica 4 μmHg y se decide comenzar a agregar nitrógeno líquido. Manteniendo la bomba conectada y bombeando se nota cómo la presión baja hasta 1 μmHg . El proceso de enfriamiento del termo es lento, transcurren aproximadamente 30 minutos hasta que se enfría y se detiene la evaporación del nitrógeno, de esta manera se puede verter fácilmente. Una vez lleno el termo de nitrógeno se procede a cerrar la cámara de vacío. Se observa cómo la presión vuelve a subir hasta 4 μmHg . Una vez que el sistema se estabiliza dentro de una hora y media la presión vuelve a bajar a 1 μmHg donde se mantiene por más de 24 horas. Se observa que durante las próximas 5 horas la presión se mantiene en 1.2 μmHg . La prueba se monitorea hasta las 18:00 Hrs del día viernes debido al horario de funcionamiento del laboratorio. Se concluye que el termo se encuentra en buen estado, sosteniendo con una sola carga de nitrógeno un excelente nivel de vacío por más de 24 Hrs.

Es importante mencionar que parte del proceso es monitoreado con un segundo barómetro. Este presta mayor confianza que el barómetro integrado en el termo debido a que su precisión es mucho mayor, la tecnología que lo conforma es actual ya que las horas de uso del mismo son menores. El instrumento en cuestión mide la presión en milibares (mbar) y es un accesorio de la bomba de vacío, por lo tanto al cerrar la cámara de vacío se pierde la posibilidad de monitorear el estado de la presión dentro del termo. Sin embargo, durante el proceso de vaciado es posible monitorear con ambos barómetros y así comparar su comportamiento. Las presiones monitoreadas se presentan en la Tabla 4.

Temperatura[°C]	Presión en el termo [mbar]	Presión en la bomba [mbar]	Diferencia [mbar]
20	1.00E-02	1.20E-03	8.80E-03
20	8.67E-03	7.40E-04	7.93E-03
20	5.33E-03	2.20E-04	5.11E-03
-47	1.87E-03	6.30E-05	1.80E-03
-115	1.33E-03	6.30E-05	1.27E-03

Tabla 4: Comparación entre medidores de presión

Las presiones medidas dentro del termo fueron transformadas a la unidad de mbar para poder comparar los valores. Se observa que la diferencia es del orden de 10^{-3} y que disminuye a medida que la presión desciende. Esto refleja errores cercanos al 100 % en el barómetro integrado al termo. Sin embargo, si bien este último no es tan preciso como el integrado en la bomba se considera que es lo suficientemente exacto como para cumplir su función puesto que no es necesario monitorear de forma muy precisa el vacío.

3.1.4. La temperatura de ruido del receptor: Prueba de cargas fría/caliente

En radioastronomía la temperatura de ruido del receptor es un factor de suma importancia. Este es el principal indicador que determina la sensibilidad del instrumento al momento de efectuar mediciones. La sensibilidad se refiere a la capacidad del radiotelescopio de detectar fuentes débiles de emisión en radio y está definida como

$$\Delta T = \frac{T_A + T_{ruido}}{\sqrt{\Delta\nu \cdot \tau}}$$

Donde: T_A es la temperatura de ruido aportada por la fuente; T_{ruido} es la temperatura de ruido aportada por el instrumento; $\Delta\nu$ es el ancho de banda en que se está realizando la medida; y, τ es el tiempo de integración. Existen muchas formas de realizar pruebas para obtener la temperatura de ruido de un receptor, dentro de las cuales destaca el método del factor Y o Pruebas de cargas fría/caliente (*Hot-Cold test*). En este método de medida el proceso consiste en detectar y relacionar la potencia entregada por el receptor cuando este se enfrenta a una carga caliente y a una fría de temperaturas conocidas. Con los valores de potencia medidos para ambos casos se obtiene el factor Y definido como

$$Y = \frac{P_{hot}}{P_{cold}}$$

Además sabemos que la potencia asociada a una medición está dada por

$$P_{hot} = k\Delta\nu(T_{hot} + T_{ruido})$$

$$P_{cold} = k\Delta\nu(T_{cold} + T_{ruido})$$

Donde: k es la constante de Boltzmann; $\Delta\nu$ es el ancho de banda en que se está realizando la medida; T_{hot} y T_{cold} la temperatura de las fuentes con las que son realizadas las mediciones de potencia; T_{ruido} la temperatura de ruido aportada por el instrumento; y, P_{hot} y P_{cold} la potencia registrada para cada medición. Realizando un cociente entre estas expresiones y ocupando el factor Y antes definido se deduce la temperatura del receptor a partir de la siguiente fórmula

$$T_{ruido} = \frac{T_{hot} - Y T_{cold}}{Y - 1}$$

En este caso la prueba fue realizada de dos formas distintas: una obteniendo los valores de potencia con la ayuda de un medidor de potencia externo; y, otra a través del programa de control del radiotelescopio. Para ambos casos el oscilador local es enclavado para observar en 115 GHz y es ajustado de forma óptima según se indica en el Anexo B. La Tabla 5 muestra los valores obtenidos con el medidor de potencia.

T Hemt[°C]	T Dewar [°C]	P Hot [mW]	P Cold [mW]	Y	Trx [K]
-185	-198	1.26	0.72	1.75	217.87
-185	-198	1.32	0.74	1.78	205.16
-185	-198	1.32	0.74	1.78	205.16
-184	-198	1.31	0.74	1.77	210.11
-184	-198	1.26	0.74	1.70	237.71
-184	-198	1.39	0.8	1.74	222.86
-184	-198	1.3	0.75	1.73	224.57
					217.63±11.88

Tabla 5: Pruebas *Hot Cold* realizadas con medidor de potencia en el laboratorio

La temperatura caliente (*hot*) fue considerada como 298.15 K (25 °C) y la temperatura fría (*cold*) como 77 K. La temperatura del receptor fue registrada en reiteradas ocasiones, como se muestra en la Tabla 5. En la columna “Trx” se muestra la temperatura de ruido o temperatura de receptor obtenida para cada caso. La prueba es repetida numerosas ocasiones puesto que los valores observados no son constantes. Sin embargo esto no es extraño, tomando en cuenta que las cargas no son ideales y que lo óptimo sería contar con paletas de forma cónica y no plana, como es el caso, para evitar reflexiones. Se obtuvo un valor promedio de 217.63 K con una desviación estándar de 11.88 K, un error usual en este tipo de mediciones.

El programa de control cuenta con un comando especial el cual acciona la prueba de temperatura del receptor. Una vez iniciada la prueba el programa solicita que se monte la carga caliente para su registro y a continuación la carga fría y de esta forma registra los respectivos valores de potencia. Es importante mencionar que en este proceso el banco de filtros y el espectrómetro son los encargados de recibir la potencia proveniente del procesador trasero (*back end*). Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 6.

V Hot [V]	V Cold [V]	Y	Trx Calculado [K]	Trx Computador [K]
5.42	3.82	1.42	457.10	431.60
5.80	3.65	1.59	300.74	283.70
5.48	3.70	1.48	388.08	366.10
5.60	3.80	1.47	393.78	371.90
5.68	3.77	1.51	362.24	345.50
5.70	3.70	1.54	335.52	316.10
5.75	3.79	1.52	354.13	334.90
			370.23±49.63	349.97±46.89

Tabla 6: Pruebas *Hot-Cold* realizadas con el programa de control

El programa de control obtiene la temperatura de receptor para cada canal a través de la misma fórmula descrita anteriormente asumiendo $T_{\text{hot}}=300$ K y $T_{\text{cold}} = 77$ K para cada uno de los 256 canales. El valor mostrado en la columna “Trx Programa” es el promedio de la temperatura de ruido calculada para cada uno de los 256 canales que entrega el programa, valor que se muestra en la pantalla del computador de control luego de hacer la prueba. Además de este valor de temperatura de receptor el programa muestra un voltaje asociado a cada medición de fuente caliente y de fuente fría, los cuales se muestran en las columnas “V Hot” y “V Cold”. Asumiendo que estos valores son proporcionales con la medición de potencia en cada caso fue calculado el factor Y con el cual fue obtenida la temperatura de receptor que se muestra en la columna “Trx Calculado”. Esta temperatura de ruido es calculada de forma independiente del programa de control a modo de verificar que el mismo realiza el cálculo correcto. Al igual que en el caso anterior se observa que los valores obtenidos para temperatura de ruido no son constantes. Con respecto a los valores obtenidos por el programa de control, “Trx Programa”, se obtuvo un valor promedio de 349.97 K con una desviación estándar de 46.89 K. Se puede observar que tanto la temperatura promedio como la desviación estándar obtenidas son mayores que en el caso anterior, Tabla 5, obteniendo una diferencia de 132.34 K. Además se presentan diferencias entre el valor calculado de forma independiente, “Trx Calculado” y el calculado por el programa de control. Se observa que los valores son distintos pero se encuentran en el mismo orden de magnitud. La diferencia se atribuye los distintos procesos mediante el cual se obtienen los valores o bien a una proporción no directa entre el valor registrado de voltaje y la potencia asociada al mismo en cada caso. A pesar de las justificaciones, este resultado muestra que el estado general del sistema presenta deficiencias, las cuales son justificables por el largo período inoperativo, las condiciones a las que ha sido sometido dentro de los procesos de traslado y ensamblaje y la falta de mantenimiento. Personal que anteriormente operó el radiotelescopio comparte su experiencia argumentando que es de particular cuidado el banco de filtros, este es muy sensible a los cambios de temperatura y se debe ajustar apropiadamente. Estas imprecisiones o dudas con respecto al cálculo de temperatura de ruido por el programa deben ser tomadas en cuenta a futuro para lograr comprender las diferencias observadas. Es este valor de temperatura de ruido, “Trx Programa” el que queda registrado en el programa de control y, por lo tanto, el que se ocupa para realizar operaciones aritméticas útiles y necesarias para la operación del radiotelescopio.

3.1.5. Diseño físico y prueba de la placa de oscilador local

El oscilador local es una sección de vital importancia en el receptor. La modernización del mismo trajo consigo cambios físicos que hacían imposible su montaje en el radiotelescopio. Este proceso de modernización fue realizado con motivo de constatar el correcto funcionamiento de la tecnología y no así el futuro montaje. Para la instalación definitiva de la placa la redistribución de sus componentes era necesaria. Sumado a esto, un doblador de frecuencia y un filtro se deben incluir con el fin de entregar la frecuencia correcta al *triplexer* y el PLL. El filtro fue diseñado por el estudiante de doctorado Rafael Rodríguez, integrante del Laboratorio de Ondas Milimétrica, y fabricado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Esta nueva etapa de doblaje se debe a que el sintetizador de frecuencias disponible para el radiotelescopio es de máximo 3 GHz y el sistema necesita valores cercanos a los 6 GHz. Un esquema del nuevo oscilador local se presenta en la Figura 10.

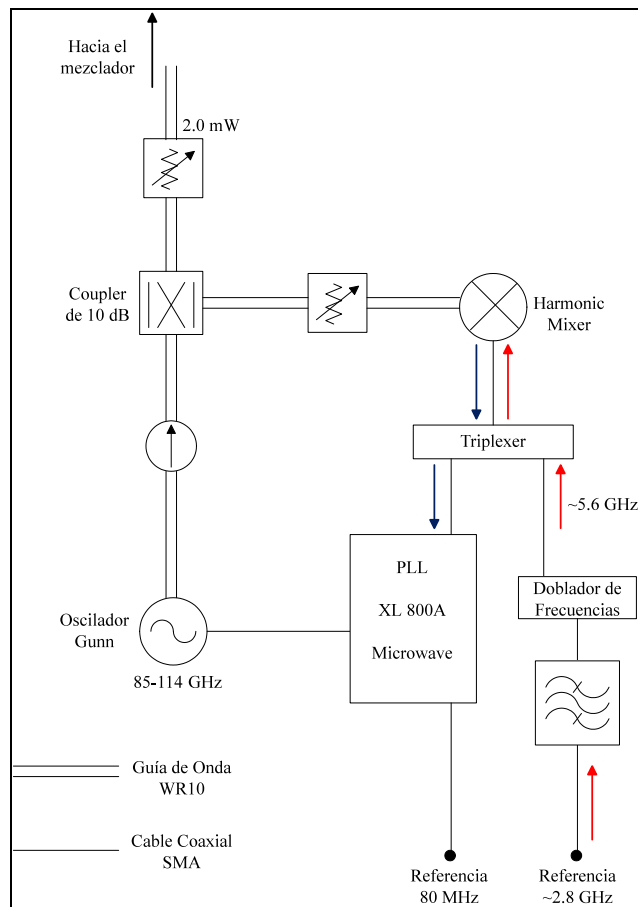


Figura 10: Esquema del nuevo oscilador local

Dentro de las dificultades de este proceso destacan dos: por un lado, la gran cantidad de partes en relación al espacio disponible; y, por otro, el hecho de que la guía de onda de salida de la placa debe calzar con otra que proviene desde el termo en un lugar preciso. Como primer acercamiento se hizo una copia de la placa de aluminio donde fueron montados los componentes de la antigua placa de oscilador del tipo Klystron. Luego con la ayuda de modelos a escala de los componentes en papel se estudió las distintas disposiciones posibles para los componentes. Una vez decidida una configuración se procede a perforar la placa y a montar los componentes. Esta etapa es de sumo cuidado puesto que las piezas son en su mayoría rígidas y las perforaciones deben ser hechas con precisión. Además de esto se sueldan los cables que proveen de corriente continua a distintos dispositivos de la placa. Del mismo modo se incluyen las perillas que permiten ajustar el *backshort* y el *resonant ring* mediante cables de acero guiados por tubos rígidos y semi-rígidos. En la Figura 11 se muestra la nueva placa de oscilador local construida.



Figura 11: Nueva placa de Oscilador Local

En comparación con la distribución anterior, Figura 8, se observa que los componentes quedan distribuidos de manera distinta puesto que es necesario integrar un mayor número de componentes y la salida de la guía de onda hacia el receptor se encuentra en un lugar distinto, al centro de la parte superior de la placa. En la parte posterior de la placa se disponen las fuentes de polarización de los amplificadores HEMT y FET. En ellas se pueden medir los voltajes de polarización y ajustar los mismos. Si bien es importante medir estos valores y conocer sus ajustes, no es necesario hacerlo durante las observaciones por lo que su disposición no trae inconvenientes.

Es importante notar que la posibilidad de medir la potencia de salida del oscilador se pierde debido a que el acoplador disponible es muy grande como para hacerlo calzar en la placa. El diseño de un acoplador más pequeño es realizado pero su construcción no es llevada a cabo por motivos de disponibilidad de tiempo y retrasos por desperfectos en la maquinaria del taller mecánico. De todas maneras no se cuenta con un medidor de potencia como para monitorearla en todo minuto, este aparato pertenece al laboratorio y es indispensable para las labores que en él se realizan. Con motivo de suplir la necesidad del monitoreo de potencia y conocer los valores del atenuador de salida del oscilador local en relación a la potencia entregada, además de revisar el funcionamiento general del mismo, se realiza la prueba descrita a continuación. Se registra la potencia en la salida del oscilador local en relación al valor del atenuador RF para cada transición obteniendo en cada caso la mayor potencia posible desde el oscilador Gunn y procurando que este último se encuentre enclavado. En la Tabla 7 se indican los ajustes necesarios para enclavar el oscilador Gunn en su potencia máxima.

Transición	Frecuencia [GHz]	Tunning micro Gunn	Backshort micro Gunn	Frec. sintetizador [MHz]	Pot. sintetizador [dBm]
12CO	115.3	2.5	97	2845.030	12.7
13CO	110.2	7.2	127	2718.284	10.8
C18O	109.8	7.8	64	2707.804	10.6
CS	98.0	26.0	23	2838.557	12.2
HCO+	89.2	52.0	100	2741.204	10.6
SiO	86.8	60.8	110	2845.899	12.4
H13CO+	86.7	61.0	110	2842.811	12.2

Tabla 7: Ajustes del oscilador local según la transición a observar

Esta prueba se realizó a partir de valores previamente estudiados en memorias anteriores, Max-Moerbeck, 2005[9], Reyes, 2006[10] y presentes en las guías de operación disponibles en el laboratorio, las cuales han sido actualizadas en el tiempo. En la Tabla 7 se indican todos los ajustes necesarios para obtener máxima potencia con el oscilador Gunn enclavado. La frecuencia del oscilador Gunn se obtiene a partir de la frecuencia de transición observada y la frecuencia resultante deseada de la primera mezcla, como se muestra a continuación

$$f_{Gunn} = f_{tran} - 1390 [MHz]$$

La frecuencia del sintetizador de señales es calculada según lo siguiente.

$$f_{Agilent} = \frac{(f_{Gunn} - 80)}{2 \cdot N}$$

El factor 2 aparece en la fórmula por la presencia del doblador de frecuencias en la nueva placa. El factor N representa el armónico utilizado, valor que debe estar entre 20 y 15. Una vez conocida la frecuencia necesaria en el sintetizador Agilent se procede a registrar la potencia necesaria que debe entregar para que el oscilador Gunn logre enclavarse. Además se registran los ajustes de los tornillos micrométricos. El valor observado en la columna “*Tunning Micro Gunn*” de la tabla 7 corresponde a la frecuencia que se desea generar, mientras que el observado en la columna “*Backshort Micro Gunn*” es un ajuste que permite obtener potencia óptima y que se obtiene buscando el *peak* o punto máximo de la curva observando la potencia en la salida. Una vez ajustado el oscilador local se procede a observar los valores en el atenuador RF para obtener distintas potencias. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 8.

Transición	Frecuencia [GHz]	Atenuación para obtener 1 mW	Atenuación para obtener 2 mW	Atenuación para obtener 3 mW	Atenuación para obtener 4 mW	Potencia máxima [mW]
12CO	115.3	2.47	1.68	0.46	-	3.20
13CO	110.2	3.53	3.02	2.56	2.28	9.78
C18O	109.8	3.64	3.09	2.74	2.32	10.90
CS	98.0	4.32	3.90	3.54	3.28	>20
HCO+	89.2	4.80	4.25	3.96	3.72	>20
SiO	86.8	4.65	4.11	3.80	3.50	>20
H13CO+	86.7	4.68	4.12	3.78	3.43	>20

Tabla 8: Atenuaciones y potencias en la salida del oscilador local

Se observa que el oscilador se comporta de forma satisfactoria, entregando valores de potencia suficientes en todas las transiciones. Es de especial utilidad la columna “Atenuación para obtener 2 mW”, potencia óptima que debe recibir el mezclador, mostrando claramente que es necesaria la atenuación para las transiciones observables. De la misma manera se observa que, salvo en la transición de 12CO o 115 GHz, la potencia suministrada es capaz de dañar irreparablemente el mezclador, dejando así inoperativo el radiotelescopio. Comparando estos valores con los de la Figura 7 se observa que se obtuvieron resultados similares pero con una tendencia a ser mayores. En particular no fue observada la baja de potencia cercana a los 100 GHz observada en la Figura 7. Esto se puede atribuir a: una mejor calibración del oscilador Gunn; un mejor ensamblaje físico del oscilador reflejándose así en menores pérdidas; instrumentos de medición en distintas condiciones; o, errores en el proceso de medición. Sin embargo, estas diferencias no son en ningún caso un impedimento para la operación del receptor y por tanto el radiotelescopio.

Antes del traslado, la placa de oscilador local es nuevamente ensamblada al termo para corroborar el funcionamiento del receptor completo en su configuración física definitiva. Este proceso consiste en detectar potencia en la salida del procesador trasero (*back end*) luego de encender el receptor y enclavarlo según los pasos descritos en el Anexo B. Es detectado un problema en la alimentación del amplificador FET, el cual se resuelve cambiando el cable que polariza el mismo. El receptor entrega potencia en la salida concluyéndose así que se encuentra listo para su montaje.

3.2. Traslado y montaje

Dentro de las tareas necesarias para la instalación del radiotelescopio en su nuevo edificio el traslado y el montaje conforman una parte esencial. Es un momento del proceso en el cual la mayoría de los equipos se exponen a ser dañados y donde se deben tomar una serie de decisiones cruciales.

Esta labor fue ampliamente analizada por el equipo del Laboratorio de Ondas Milimétricas en conjunto con personal del observatorio que prestó ayuda para la ocasión. Los aspectos a considerar más importantes son: la fecha de entrega del edificio y el cumplimiento del cronograma; la disponibilidad de equipos para el traslado y sus respectivos costos; el desmontaje y embalaje de los equipos enfocados en un traslado y montaje seguro y eficaz; una distribución eficiente de los equipos dentro del nuevo edificio; y, los ajustes finos que corresponden al montaje del receptor en la antena.

Por lo demás se decide montar los equipos de mayor peso y envergadura con la ayuda de una grúa dentro del nuevo edificio, para luego cerrarlo con el acoplamiento del domo al edificio. De esta forma la labor puede ser realizada más rápidamente y con mayor seguridad, contando con el apoyo de la grúa.

3.2.1. Embalaje y traslado

Normalmente los equipos de este tipo cuentan con manuales donde se especifica claramente como conectar sus componentes, sin embargo, en el caso del Mini no es así. A pesar de que existe mucha documentación al respecto los manuales más completos son los que datan de su primer montaje en 1982, época desde la cual el radiotelescopio ha sido sometido a una serie de modificaciones, no todas completamente documentadas. Por otro lado, el Mini fue

desensamblado paulatinamente y por distintas personas en cada ocasión. Esto produjo que su reensamblaje en el laboratorio fuera una tarea ardua.

Tomando en cuenta lo anterior la tarea de desconectar los equipos fue realizada con suma cautela y metódicamente. Se adoptó el procedimiento con el cual se desensambló el sistema por última vez en cerro Tololo el cual se basa en la identificación de sectores. Estos sectores corresponden a divisiones físicas de las conexiones. De esta forma fueron demarcados siete sectores: el costado derecho de la antena; el costado izquierdo de la antena; la base del radiotelescopio; el computador de control; el *rack* de *drives*; el espectrómetro y la interface de comunicación con la computadora. Un archivo de fotos y una tabla donde se especifica ambos extremos de cada conexión y su correspondiente imagen fueron creados para ayudar en el proceso. Estos archivos son incluidos en forma de anexo digital.

Una vez que los equipos son desconectados se procede al embalaje de los mismos. Los cables son guardados según los sectores a los que corresponden, al igual que algunos accesorios tales como ventiladores y cajas de conexión que pueden ser dañadas durante el traslado. Los equipos de menor tamaño son dispuestos en cajas mientras que los de mayor tamaño son recubiertos con elementos amortiguadores y sellados para protegerlos del polvo y la suciedad presente en el traslado y el nuevo edificio.

La parte de mayor cuidado en esta etapa es la antena. Se decide trasladar la antena unida al *fork*, de esta forma se evita armar todo nuevamente, considerando que el traslado es dentro del mismo recinto y el estado de la antena puede ser monitoreado en todo minuto. Además ocupando esta estrategia la fuerza necesaria para el movimiento, montaje y desmontaje se puede ejercer sobre la estructura del *fork* y no en la antena, cuya deformación es lo que se desea evitar a toda costa. Para asegurar la integridad de estas unidades se construye una estructura de madera, Figura 12, que permite que el *fork* se pose sobre la misma dejando a la antena libre de fuerzas o torsiones que puedan deformarla. Esta tarea es realizada por José Pizarro y Ricardo Finger, integrantes del Laboratorio de Ondas Milimétricas. Una imagen del diseño de la jaula de la antena se muestra en la Figura 12.

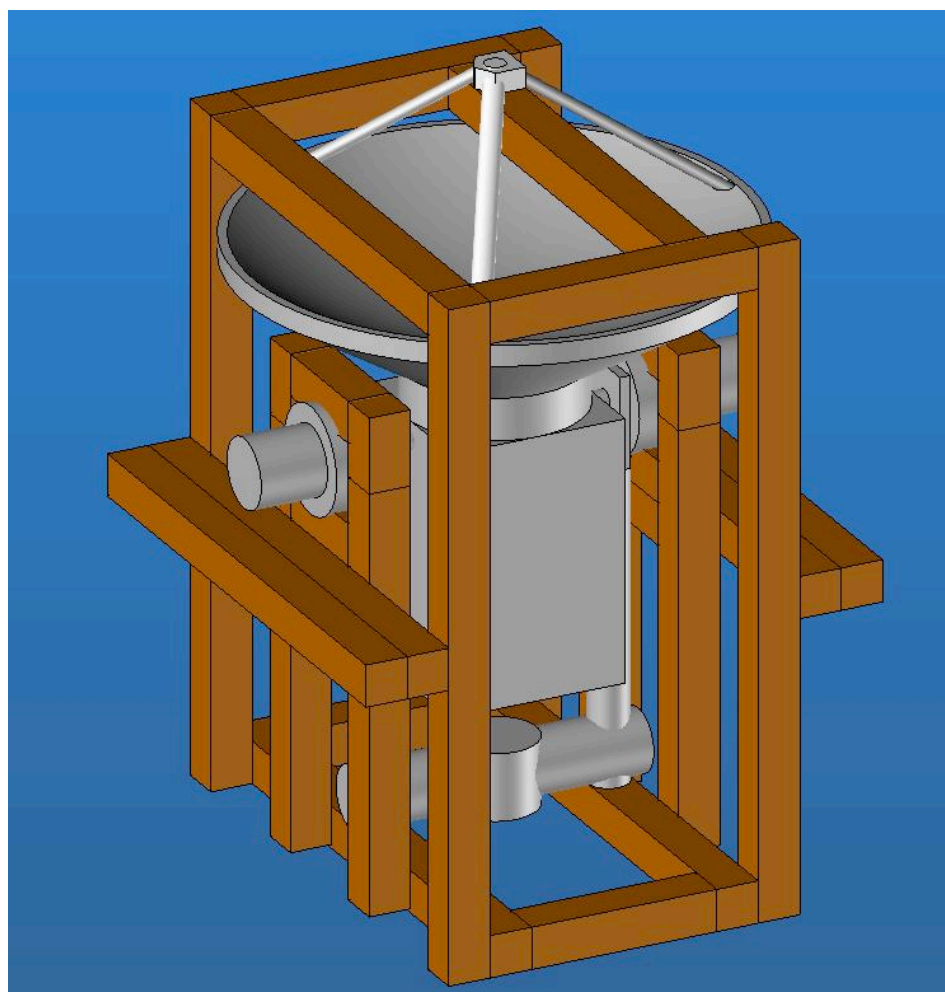


Figura 12: Diseño jaula de madera para el traslado de la antena

El día miércoles 28 de septiembre del 2010 se realiza la primera etapa del traslado al edificio nuevo. La base del radiotelescopio es desacoplada y trasladada por separado del *fork* y la antena. Para el traslado de los equipos más pesados y el desmontaje del *fork* de la base se cuenta con el respaldo de una grúa horquilla. Para poder manipularlos con mayor seguridad y facilidad los equipos son dispuestos sobre plataformas llamadas *pallets* y movidos dentro de las dependencias del observatorio con la ayuda de una transpaleta. Una vez retirados del laboratorio, maniobra de cuidado por la integridad de los equipos y por el estrecho espacio con que cuenta la grúa para operar dentro del establecimiento, son transportados a un costado del nuevo edificio y cubiertos con mangas plásticas. Los componentes pasarán ahí la noche del 28 de septiembre para ser izados por la mañana, el 29 de septiembre. En la Figura 13 se presentan imágenes del proceso.



Figura 13: Momentos claves del traslado, 28 de septiembre del 2010

3.2.2. Montaje, distribución y conexión

La etapa del montaje es crucial dentro del proceso y debe llevarse a cabo de forma expedita, segura y precisa. El domo, parte del diseño original y traído desde Cerro Tololo, ha sido ensamblado al costado del edificio el cual cuenta con un techo provisorio que se retira en el día del montaje. Para ingresar los equipos de mayor peso en el edificio se ocupa una grúa pluma. Primero se ingresan los *racks* de mayor tamaño, el espectrómetro y los *drives*. Acto seguido se procede a ingresar la base del radiotelescopio para luego montar el *fork* sobre la misma. Momentos clave de esta etapa se muestran en la Figura 14.



Figura 14: Momentos cruciales del montaje, 29 de septiembre del 2010.

Una vez montados los equipos más pesados se monta el domo y se trasladan los elementos de menor tamaño de forma manual.

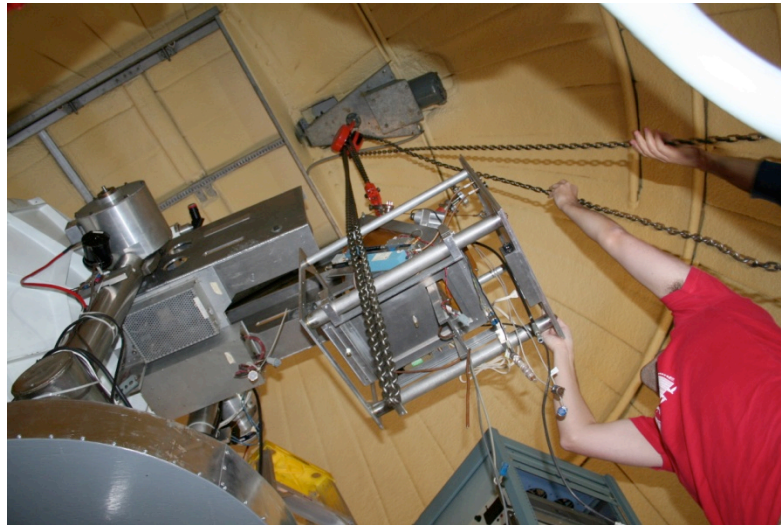


Figura 15: Instalación del receptor

El receptor, una vez trasladado al edificio definitivo se levanta y se instala con la ayuda de un tecele que se sostiene de una argolla en el interior de la cúpula, Figura 15. La conexión de los equipos se realiza siguiendo la guía y las notas realizadas anteriormente en la desmontadura del equipo. La distribución queda como se muestra en la Figura 16.

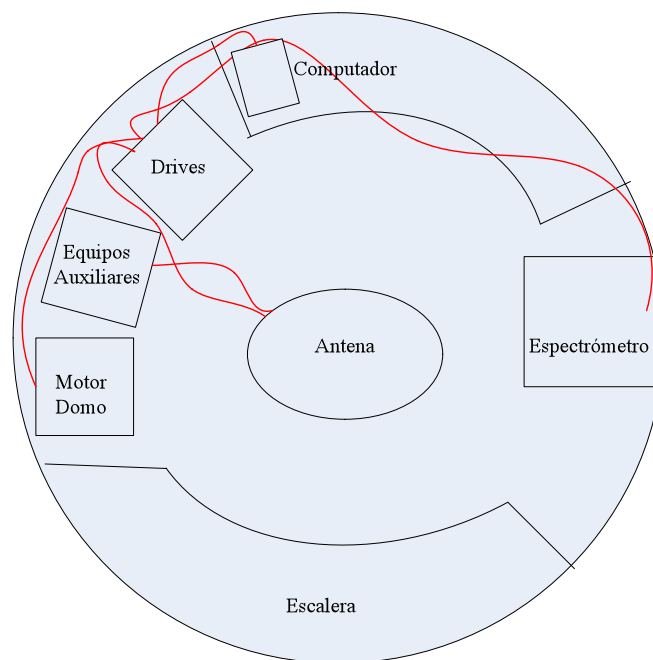


Figura 16: Esquema de distribución de los componentes en el nuevo edificio

La gran mayoría de los conectores se encuentran en buen estado, sin embargo algunos presentan pequeñas fatigas de material que son reparadas. La distribución principal del cableado se lleva a cabo como se muestra en la Figura 16. Dentro de las conexiones, las que presentaron el mayor desafío fueron las que comunican los equipos auxiliares con la placa de oscilador local,

puesto que la envoltura de los cables o *cable wrap* debe permitir que los instrumentos se comuniquen y que el radiotelescopio pueda realizar todos sus movimientos sin que los cables se enreden o entorpezcan las maniobras. En particular la señal de 3 GHz que llega al PLL del oscilador local es la más sensible en cuanto a las pérdidas, para esta es necesario fabricar un cable del tipo N del menor largo posible que permite que la señal llegue con la potencia suficiente y el radiotelescopio pueda moverse libremente. Las pérdidas que aporta el nuevo filtro instalado, Figura 10, llevan el sistema al límite, la señal llega a su punto óptimo sólo cuando la potencia en el sintetizador de señales de 3 GHz es máxima. El nuevo edificio proporciona todas las comodidades necesarias para la operación del radiotelescopio.

4. Puesta en marcha

Esta etapa conforma la última parte de la memoria, en la cual se cumplen los objetivos más importantes. En ella se vuelca toda la preparación y el esfuerzo realizado para traer el radiotelescopio a Cerro Calán. Además se integran todas las pruebas realizadas con anterioridad y se da pie para realizar las pruebas finales y terminar el proceso y los objetivos planteados.

4.1. Pruebas preliminares y ajustes mecánicos

Se realizan primeras pruebas de movimiento. Se corrobora que los equipos se encuentren comunicados. El radiotelescopio se mueve con la velocidad que se espera y sus límites de movimiento son 9.6° y 363° en azimut, lo que es correcto de acuerdo a su configuración inicial. Además se nota que el monitoreo de la posición (*tracking*) se pierde después de los 360° , por lo que no se puede realizar observaciones pasado este punto.

Se ajusta la base con la ayuda de niveles y los pernos de ajuste y presión. Lo que se intenta nivelar en este proceso es que el radiotelescopio quede posicionado de forma perpendicular al terreno. Se ajusta la bocina (*horn*) del receptor con el secundario según los pasos mostrados en el Anexo A. En este caso se busca que el receptor quede alineado y centrado de manera que las ondas provenientes del secundario lleguen de forma precisa a la bocina (*horn*) y así al receptor.

Como ya fue mencionado, los motores de movimiento carecen de engranajes o cajas reductoras pues son del tipo de accionamiento directo (*direct drive*), lo que causa que el torque que entregan sea limitado. Por este motivo el balance de la antena es de gran importancia pues permite que los motores sean capaces de sostener el radiotelescopio en el rango de elevación en que se realizan las observaciones, entre 30° y 80° principalmente.

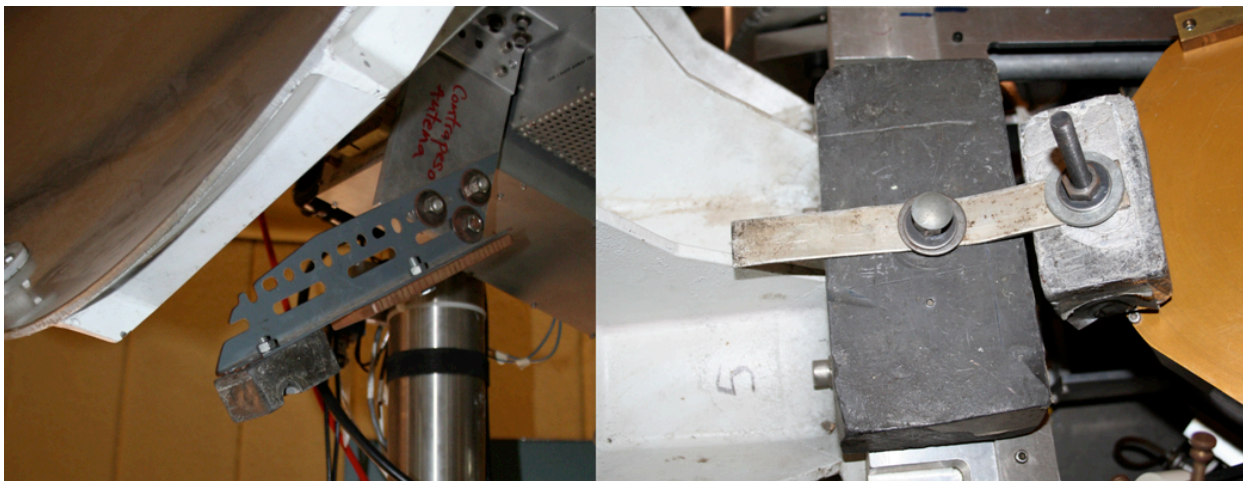


Figura 17: Contrapesos para el balance instalados en diciembre del 2010. Izq: contrapeso bajo la antena. Der: contrapeso sobre la caja del receptor

Como se puede observar en la Figura 17, se dispone de contrapesos fijos sobre la caja del receptor y de un contrapeso ajustable bajo la antena el cual permite modificar la distancia al centro de masas y con esto el torque que se aplica al sistema. Este sistema es particularmente útil porque el peso del termo varía aproximadamente en 3 Kg cuando se encuentra lleno de nitrógeno

líquido siendo esta una diferencia en el balance importante. En algunas ocasiones durante la puesta en marcha se opera con el receptor vacío, por ejemplo realizando pruebas de alineamiento fino. Sin embargo durante la operación del radiotelescopio, el termo debe encontrarse siempre lleno de nitrógeno líquido por lo que los contrapesos deben mantenerse fijos.

4.2. Pruebas del receptor

Una vez montado el receptor se realizan pruebas para constatar su estado. La primera prueba de importancia realizada es la del tiempo de sostén del vacío (*Holding Time*), con la cual se constata el estado físico del termo luego del montaje. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9.

Fecha	Hora	Temperatura [°C]	Presión termo [μmHg]	Presión bomba [mbar]
10/11/2010	10:00	25	4.0	1.30E-03
	14:40	-196	2.0	6.60E-04
	15:10	-196	2.0	9.30E-04
	15:20	-196	2.0	3.00E-04
	15:30	-196	2.0	-
	14:00	-196	1.6	-
	19:00	-196	1.4	-
11/10/2010	18:00	-196	1.5	-
12/10/2010	10:00	-196	4.0	-
	18:00	-196	2.0	-

Tabla 9: *Holding Time* luego del montaje

Se puede observar que a temperatura ambiente la presión alcanza el mismo nivel que en el laboratorio según lo que indica el medidor de presión del termo, 4 μmHg , mientras que en el medidor de presión de la bomba la diferencia es de un orden de magnitud con respecto a lo obtenido anteriormente, Tabla 3. En este punto se decide enfriar el termo puesto que las horas de bombeo han sido más de 12. Junto con el descenso de la temperatura la presión baja hasta 2 μmHg cuando se decide cerrar la cámara de vacío del termo. Durante la tarde el indicador de presión del termo desciende. El nivel de vacío y la temperatura se mantienen durante dos días aproximadamente. Se observa que a las horas de mayor temperatura ambiente -no olvidar que la prueba es realizada en verano y sin sistema de aire acondicionado- la aguja del barómetro marca presiones entre 1 y 10 μmHg más altas. Se supone que este instrumento es sensible a la temperatura y no así que la presión en el termo varía pues la temperatura de este se mantiene fija en todo momento.

Como fue mencionado anteriormente, la temperatura de ruido del receptor es de gran importancia por lo que se realizan las pruebas necesarias para conocer este parámetro. El oscilador local es enclavado para observar en 115 GHz y es ajustado de forma óptima según se indica en el Anexo B. En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos de forma manual con el medidor de potencia externo.

Themt[°C]	Tdewar [°C]	Thot [K]	Tcold [K]	Trx [K]
-180	-197	298.15	77	580.02
-180	-197	298.15	77	624.56
-180	-197	298.15	77	586.08
-180	-197	298.15	77	604.84
-180	-197	298.15	77	554.86
				590.1±26.3

Tabla 10: Temperatura del receptor medida de forma manual en el nuevo edificio

En la Tabla 10 se puede observar que la temperatura del receptor se ha elevado drásticamente, obteniendo un valor promedio de 590.1 K con una desviación estándar de 26.3 K. Dentro de los motivos posibles de este cambio destacan dos: primero, partículas de polvo o mugre que hayan entrado la bocina (*horn*) durante el traslado, el montaje y alineamiento; y segundo, el funcionamiento deficiente de la electrónica del receptor, en particular del amplificador HEMT y de los amplificadores FET los cuales hubo que polarizar nuevamente por causa de un cable defectuoso. Al igual que la vez anterior se procede a realizar la prueba automatizada a través del programa de control, el cual entrega los valores mostrados en la Tabla 11.

Themt[°C]	Tdewar [°C]	Thot [K]	Tcold [K]	Trx [K]
-180	-197	298.15	77	779.1
-180	-197	298.15	77	756.6
-180	-197	298.15	77	717.1
				750.9±31.4

Tabla 11: Temperatura medida por el programa de control en el nuevo edificio

El programa de control arroja un valor promedio de 750.9 K con una desviación estándar de 31.4 K. Al igual que en las pruebas realizadas en el laboratorio la temperatura entregada por el programa es mayor que la calculada de forma manual obteniéndose una diferencia de 160 K entre los promedios. Después de limpiar la bocina (*horn*) con la ayuda de una botella de aire comprimido se obtienen los siguientes resultados.

Trx Manual 488.16 K
Trx Programa 596.6 K

Se observa que los resultados mejoran pero aún no alcanzan los niveles obtenidos en el laboratorio. Sin embargo en este caso es cuando se alcanza la menor diferencia entre los dos métodos, obteniéndose una diferencia de 108.44 K. Esto indica la posibilidad de que haya más partículas en la bocina (*horn*) y la ventana de vacío.

Finalmente se intenta realizar una prueba llamada *Antena Dipping* a través de la cual el programa de control determina el estado y la opacidad de la atmósfera. Dicha prueba es necesaria para calibrar el receptor diariamente y constituye una buena prueba de integración pues requiere que el receptor, el espectrómetro y el programa del control se comuniquen y funcionen de forma correcta. La prueba no se pudo realizar con el programa de control por fallas en los codificadores de posición que no entregan con precisión suficiente el estado de la antena. Por este motivo la prueba se realiza de forma manual registrando los valores de potencia obtenida con un medidor externo para distintas elevaciones a un azimut fijo. El ensayo arroja los resultados que se muestran en la Tabla 12.

Elevación [°]	Potencia [dBm]	Frec. Central [MHz]
70.59	-11.18	125.789
59.86	-11.16	125.78
50.36	-11.15	125.782
40.16	-11.1	125.792
35.03	-11.07	125.799
29.98	-11.04	125.798
24.87	-11.01	125.812
20.11	-10.98	125.82
15	-10.92	125.825
10.64	-10.87	125.832

Tabla 12: Valores obtenidos en *Antenna Dipping* manual

La columna “Frec. Central” muestra la frecuencia central registrada por el medidor de potencia. El hecho de que se registren 125 MHz aproximadamente es un indicador favorable considerando que el *back end* entrega frecuencias entre 0 y 250 MHz. A partir de los resultados obtenidos se elabora un gráfico que se presenta en la Figura 18.

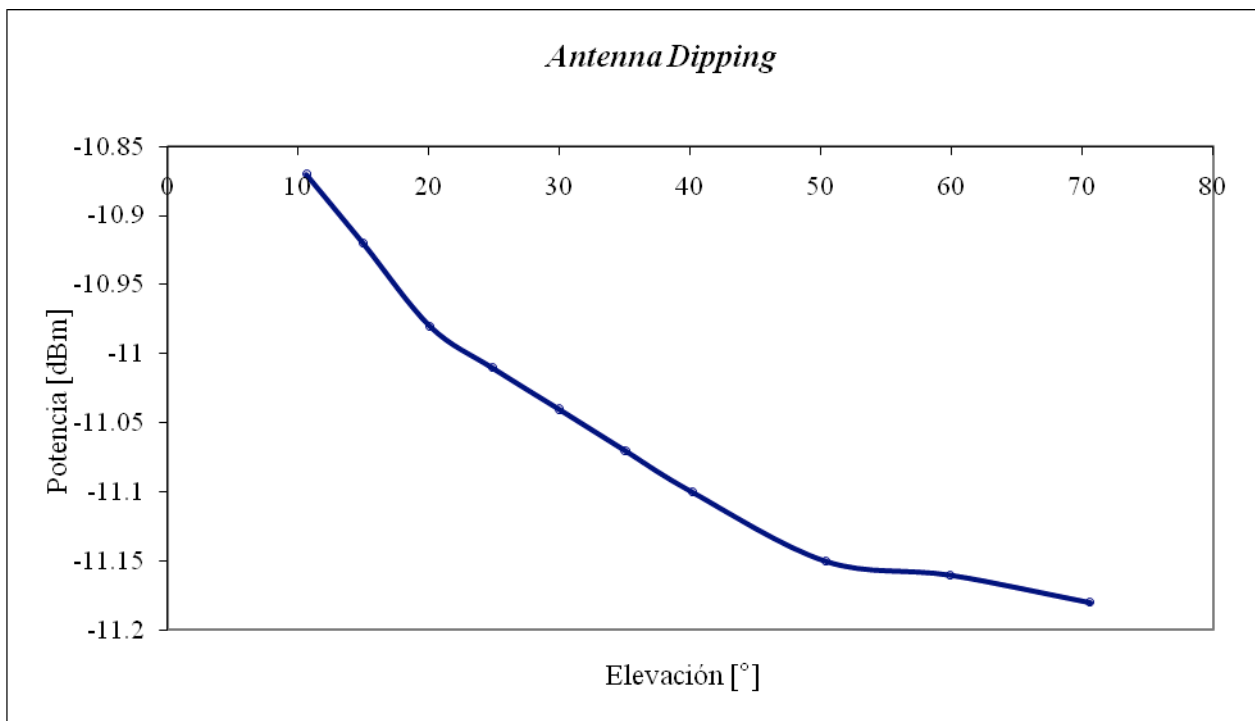


Figura 18: Resultado *Antenna Dipping* manual

Se nota que el receptor es capaz de detectar distintas potencias para distintas elevaciones. A medida que la elevación disminuye, la cantidad de atmósfera que se observa es mayor, de esta forma la cantidad emisión registrada es mayor, por lo que la potencia registrada debe aumentar, Rohlfs and Wilson, 2009[3]. Esta prueba muestra que se cuenta con un receptor sensible a las emisiones en 115 GHz, frecuencia para la cual fue enclavado el receptor al momento de tomar las medidas.

4.3. Modificaciones en el programa de control

Dentro del grupo que participa en la puesta en marcha de este radiotelescopio, un integrante clave es el Ph.D. Thomas M. Dame, docente de la Universidad de Harvard, quien lidera las investigaciones realizadas con el NSWT. Su vasto conocimiento del funcionamiento del radiotelescopio, en particular del programa de control, permite que se realicen cambios fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema. Dentro de los factores que influyen en la estricta manera de cumplir con el calendario de actividades se encuentra la visita de Thomas Dame, puesto que sólo se cuenta con una semana de su presencia y para que él pueda llevar a cabo sus actividades la antena debe encontrarse en estado latente: sistemas mecánicos ajustados; distintos módulos comunicados y operativos; disponibilidad de todo lo necesario para realizar observaciones astronómicas; y, un programa de control activo. Dentro de los cambios realizados en el programa de control los más importantes son el cambio del sistema de calendario para fechas posteriores al año 2000, problema conocido como *Y2K* y el cambio de las coordenadas de posición del radiotelescopio de Cerro Tololo a Cerro Calán. Además se ordenan las carpetas dentro del disco duro del computador y se cambia el nombre del programa de control de “AOS control” a “Calan Control”. Durante estas actividades se nota que *tracking*, capacidad del radiotelescopio para apuntar hacia donde se le indica y mantener registro de su posición actual, es defectuoso. En azimut los tres bits menos significativos no son registrados. Este problema es resuelto limpiando el codificador de posición de azimut con una botella de aire comprimido, mientras que en elevación, el bit número 12 no es registrado, problema que es resuelto soldando una resistencia que se encuentra desconectada en el circuito del codificador de posición de elevación. Se concluye que estos desperfectos en los codificadores eran los causantes de las oscilaciones observadas cuando se apuntaba la antena en distintas direcciones en el laboratorio como también de los problemas para realizar el *Antenna Dipping*, como se indicó en 3.1.1. El hecho de que el programa de control no encuentre la posición deseada por la falta de precisión en bits en ambos ejes, llama a corregir constantemente lo que provoca las oscilaciones. La prueba de *Antenna Dipping* no se podía llevar a cabo porque el programa nunca recibía la posición exacta donde se debía encontrar para tomar los datos, razón por la cual los datos no eran registrados pues es condición primera el estar apuntando en la dirección correcta. Una vez que se arreglan los desperfectos en los codificadores de posición se resuelve el problema de las oscilaciones y la prueba de *Antenna Dipping*, Figura 18, es realizada de forma exitosa obteniéndose los siguientes resultados.

$$\text{Tau W: } 0.0944 \pm 0.0207$$

$$\text{Eta: } 0.9094 \pm 0.0437$$

$$\text{T Wat: } 277.3244 \pm 2.3432$$

Donde:

Tau W: profundidad óptica del agua en 12CO, como referencia, es difícil observar con TAU W por sobre ~ 0.3 .

T Wat: temperatura efectiva del vapor de agua (K).

Eta: ajuste de los valores a la curva.

Además el programa de control entrega un gráfico que se presenta en la Figura 19.

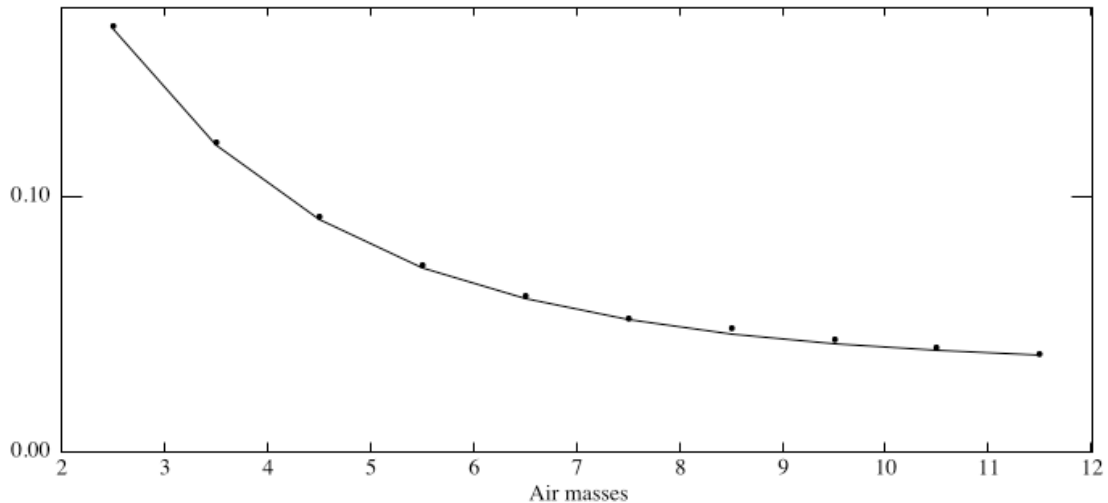


Figura 19: Gráfico entregado por el programa en prueba *Antenna Dipping*

Este es un gran hito dentro de la puesta en marcha pues demuestra el correcto funcionamiento y la comunicación entre el programa y los sistemas de control del radiotelescopio. De ahora en adelante es posible realizar pruebas de afinamiento claves y se abre la posibilidad de llevar a cabo observaciones de fuentes astronómicas.

4.4. Alineación y posicionamiento fino del radiotelescopio

Los últimos ajustes necesarios para poner en marcha el radiotelescopio corresponden a calibraciones de mayor precisión que las llevadas a cabo hasta el minuto de forma manual y mecánica. Este afinamiento final es realizado por el programa de control el cual calcula correcciones en base a una serie de observaciones realizadas con el telescopio óptico de *pointing* adosado al primario de la antena, Figura 3, Figura 21. Estas correcciones son almacenadas como compensaciones virtuales, no así mecánicas, llamadas *offsets*.

4.4.1. *Sun Pointing*

Como primer acercamiento es necesario constatar que el telescopio óptico se encuentra alineado con la antena. Con esto en mente se lleva a cabo una prueba de calibración llamada *Sun Pointing* la cual provee esta información. El procedimiento de la prueba es descrito en el manual del observador (*Observer's Manual*), cuya sección que se refiere a la prueba en cuestión está disponible en el Anexo C. A continuación se describen los pasos conceptuales más importantes.

Una vez que el programa de control ya tiene los datos fecha, hora y de posición del radiotelescopio correctos, puede calcular la posición del Sol y apuntar la antena en su dirección. Para esto la antena se cubre con un material especial transparente en frecuencias de radio el cual impide que el Sol dañe alguna unidad del sistema. Una vez que el radiotelescopio se encuentra apuntando al Sol, se observa por el telescopio de *pointing*, Figura 21, la posición del mismo en la mira y se corrigen errores mediante una interfaz llamada *Paddle Interface*, Figura 22, que permite mover la antena por pasos de distinta precisión medida en bits del codificador de posición. Una vez que se tiene el Sol completamente centrado en la mira del telescopio de *pointing* se procede a realizar un muestreo en radiofrecuencia o *sun scan*, Figura 20.

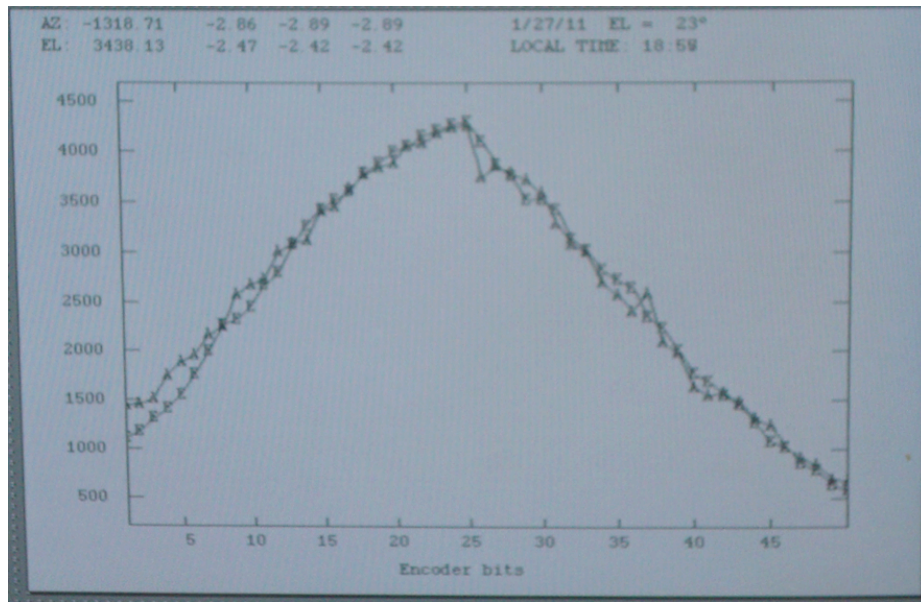


Figura 20: Imagen de pantalla obtenida del *sun scan* en *Sun Pointing*

El radiotelescopio recorre en elevación y azimut la posición del Sol en el cielo. Inicia su recorrido apuntando lejos del mismo y registra la potencia a medida que se acerca al centro. Luego de pasar por el centro se aleja y realiza el mismo proceso. Los valores de potencia registrada para azimut y elevación son entregados en un gráfico, Figura 20, junto con el error en bits calculado por el programa. Esta prueba, además de entregar una calibración importante en cuanto al sistema permite saber si el telescopio óptico, Figura 21, y el primario de la antena se encuentran alineados, puesto que relaciona observaciones ópticas prácticas junto con datos en radiofrecuencia obtenidos a través del receptor y el espectrómetro. Se obtienen resultados de *Sun Pointing* con errores inferiores a un bit, lo cual se considera lo suficientemente preciso.

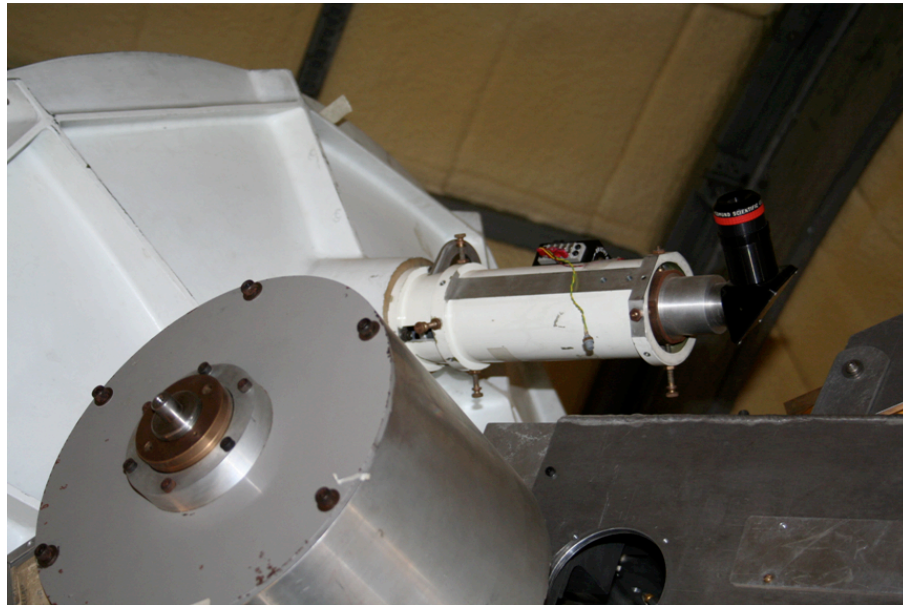


Figura 21: Telescopio óptico para el *pointing* adosado al primario

4.4.2. *Star Pointing*

Sabiendo que el telescopio de *pointing* es solidario a la antena, es decir ambos apuntan en la misma dirección, es posible realizar una calibración en base a la observación de estrellas, fuentes de radiación en el espectro visible que permiten concretar un ajuste de mayor precisión. Para ello es necesario operar de noche y contar con un catálogo de al menos 20 estrellas – idealmente 50- de la mayor luminosidad posible, visibles entre 30° y 79° de elevación, rango de operación del radiotelescopio. Este procedimiento es llamado *Star Pointing* y, al igual que en el caso del *Sun Pointing*, es descrito en el manual del observador (*Observer's Manual*) cuya sección referida al *Star Pointing* se incluye en el Anexo D. El proceso consiste en apuntar el radiotelescopio a una estrella conocida y, observando con el telescopio de *pointing*, corregir la precisión con la que apunta hasta que sea óptima mediante la *Paddle Interface*, Figura 22. Se repite el procedimiento para distintas estrellas de manera que se cubra todo el cielo y así el modelo calibre el *pointing* en todas las direcciones observables.



Figura 22: *Paddle Interface*

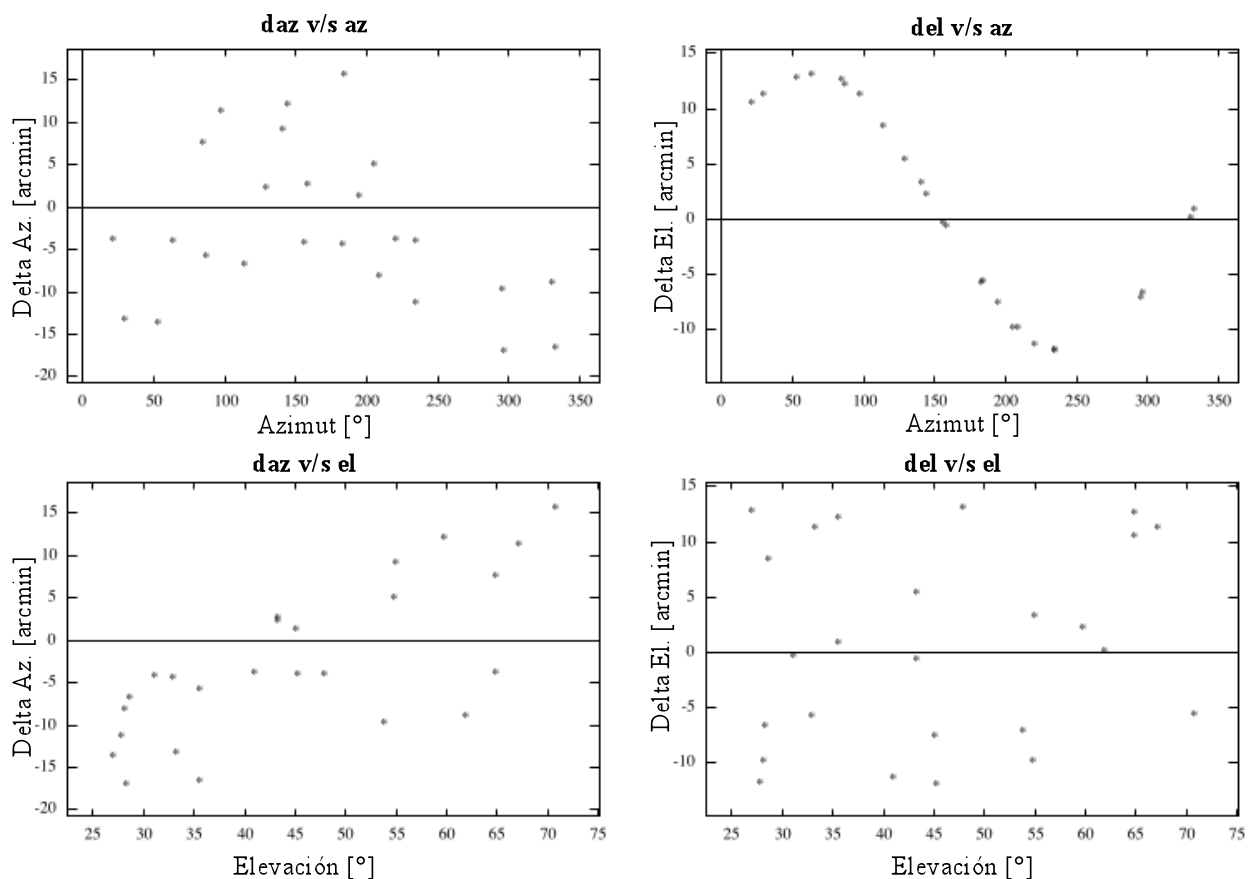


Figura 23: Resultado *Star Pointing* 1

Las correcciones hechas en cada caso o estrella pueden ser apreciadas en gráficos que entrega el programa, Figura 23. Los términos “daz” y “del” significan “delta azimuth” y “delta elevación”, correspondientemente y se refieren al error asociado a la observación hecha en cada caso. Con los datos obtenidos el programa realiza correcciones basándose en 4 parámetros: elevación; azimuth; longitud; y, latitud mediante un comando llamado “starfit 4”. Con estos valores y los datos actuales de posición del radiotelescopio, se obtienen correcciones de los parámetros azimuth, elevación, longitud y un ángulo *phi*, el cual se relaciona con la latitud. Estas correcciones deben ser hechas directamente en dos archivos llamados “asm_defs.h” y “macrodefs.h” los cuales contienen las constantes más importantes para el programa de control. Con el primer *Star Pointing* realizado con 25 estrellas el día 28 de enero del 2011, Figura 23, se obtienen las correcciones correspondientes a la fila 1 de la Tabla 13.

Corrección	Azsv [bits]	Elsv [bits]	Dazf [bits]	Delf [bits]	Dlong [sec]	Cosphi	Sinphi	Skew
1	-1163.71	3573.13	-5.96	1.43	-54.68	0.834947228	-0.550330015	-
2	-1169.67	3574.56	1.71	-0.4	0.14	0.834831949	-0.550504874	-
3	-1169.96	3574.16	4.43	-0.26	-1.94	0.834842838	-0.550488361	-
4	-1169.96	3574.16	-36.62	-0.16	0.38	0.834842198	-0.550489332	0.0038182
5	-1206.58	3574	-0.15	0.54	0.37	0.834808088	-0.550541057	-

Tabla 13: Valores obtenidos en las pruebas *Star Pointing*

En la Tabla 13 se muestran todos los valores obtenidos en las pruebas *Star Pointing* para cada corrección donde:

Azsv es el valor salvado en *offset* de azimut, con el que fue realizado el *Star Point*.

Elsv es el valor salvado en *offset* de elevación, con el que fue realizado el *Star Point*.

Dazf es el valor de corrección de azimut.

Delf es el valor de corrección de elevación.

Dlong es el valor de corrección de longitud.

Cosphi es el nuevo valor de coseno de *phi*.

Sinphi es el nuevo valor de seno de *phi*.

Skew es el ángulo de inclinación cuando el modelo utilizado es de cinco parámetros.

Una vez efectuadas las correcciones correspondientes a la fila 1 de la Tabla 13 el *Star Pointing* se repite para constatar si fue efectivo; de ser así al recorrer la base de datos de las estrellas con la antena estas deberían ser perfectamente apuntadas por la mira del telescopio de *pointing*. Sin embargo, este no es el caso y se procede a realizar una nueva corrección de 29 estrellas, obteniéndose los resultados de la fila 2 de la Tabla 13.

Durante el *Star Pointing* correspondiente a la corrección 3 se observa que las estrellas nuevamente no son apuntadas de forma precisa, a pesar de esto los resultados parecen converger, por lo que se realizan nuevamente las correcciones y se procede a constatar los resultados con una nueva iteración de la prueba. En esta ocasión la calibración se realiza con 31 estrellas y se obtienen los resultados de la fila 3 de la Tabla 13.

Se observa que las correcciones sugeridas por el programa crecen en relación a la iteración anterior. Es por esto que se decide no realizar los cambios sugeridos por el programa y analizar la situación. A continuación se presenta una imagen con las correcciones realizadas en cada caso, para cada estrella en la iteración 3.

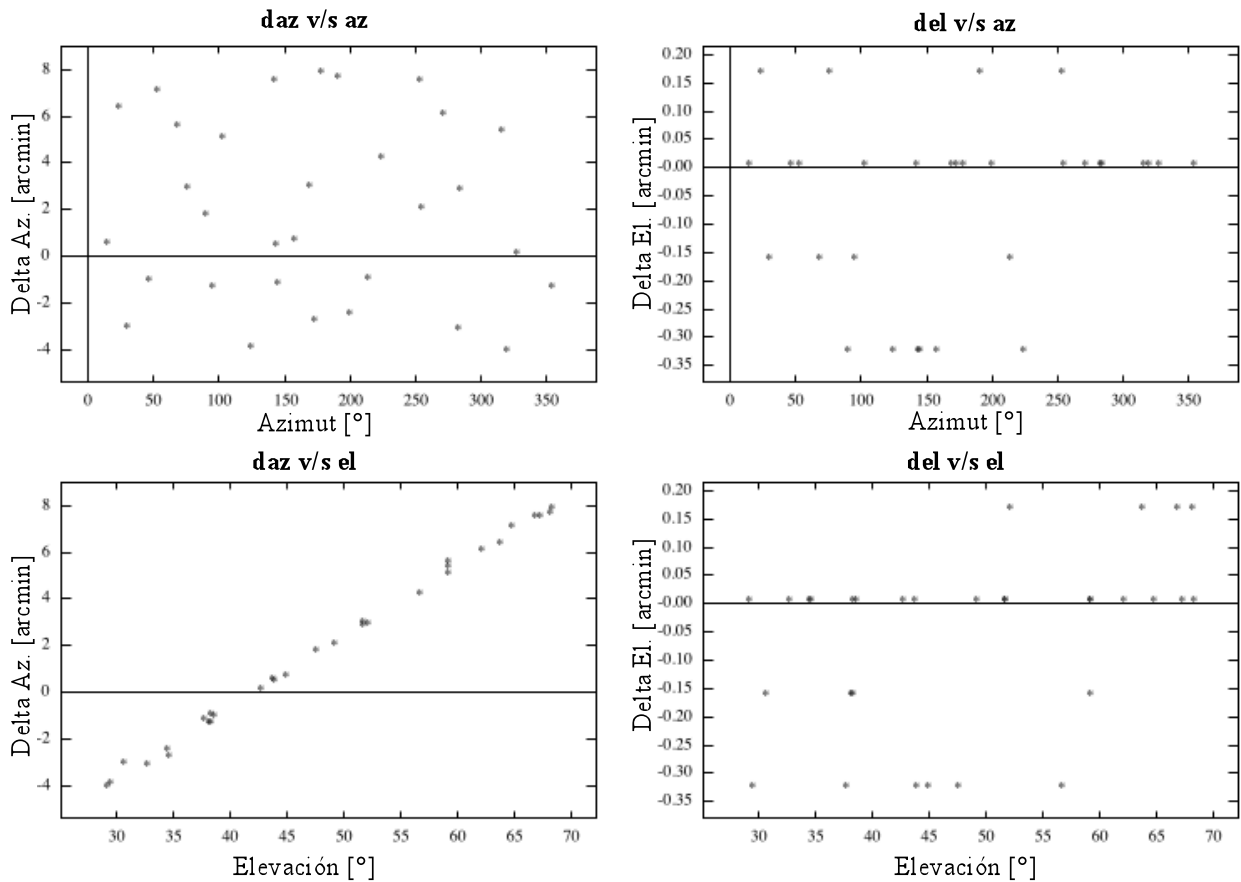


Figura 24: Resultado *StarPointing 3*

Se observa que el error en elevación es un orden menor en relación al observado en azimuth. Además se nota una tendencia lineal en el error o delta azimuth v/s elevación. Esto último indica la posibilidad de que los ejes del radiotelescopio no se encuentren alineados, explicándose así un error creciente en azimuth a medida que crece la elevación. No se pasa por alto el hecho de que el error debiese ser cero en azimuth para elevación cero en el caso práctico, mas se asume que el modelo corrige intentando minimizar los errores por lo que desplaza la curva hasta el punto observado.

Considerando lo anterior se procede a realizar correcciones que toman en cuenta esta no perpendicularidad de los ejes a través del comando “starfit 5” el cual se basa en: elevación; azimuth; longitud; latitud; y, *skew* o ángulo entre ambos ejes. Este último parámetro de *skew* es el que corrige la no perpendicularidad de los ejes. A través de este método realizado el día 24 de marzo del 2011, los resultados obtenidos se muestran en la corrección 4 de la Tabla 13.

Una vez realizadas estas correcciones se realiza nuevamente el proceso de *Star Pointing* para constatar el estado, el cual a primera vista entrega resultados positivos pues las estrellas son muy bien apuntadas por el telescopio de *pointing*. Los resultados obtenidos a través de una corrección de cuatro parámetros se pueden observar en la fila 5 de la Tabla 13.

Siendo los errores de elevación y azimuth menores de un bit y la corrección de la longitud menor que un segundo se da por terminado el *pointing* del radiotelescopio, considerándose el mismo como exitoso.

4.5. Primeras observaciones

La obtención de espectros de fuentes astronómicas es la última fase del proceso y confirma una puesta en marcha exitosa. Luego de realizar los ajustes y pruebas anteriormente descritos y constatar el estado del aparato, se sabe que se cuenta con un radiotelescopio en condiciones de operar, sin embargo es necesario mencionar que los espectros que se muestran en esta sección fueron obtenidos antes de finalizar el modelo de *pointing* mediante la corrección de cinco parámetros.

4.5.1. R Coronae Australis

A continuación en la Figura 25 se muestra el primer espectro de una fuente astronómica obtenido el día 17 de noviembre del 2010 con el Mini en Cerro Calán.

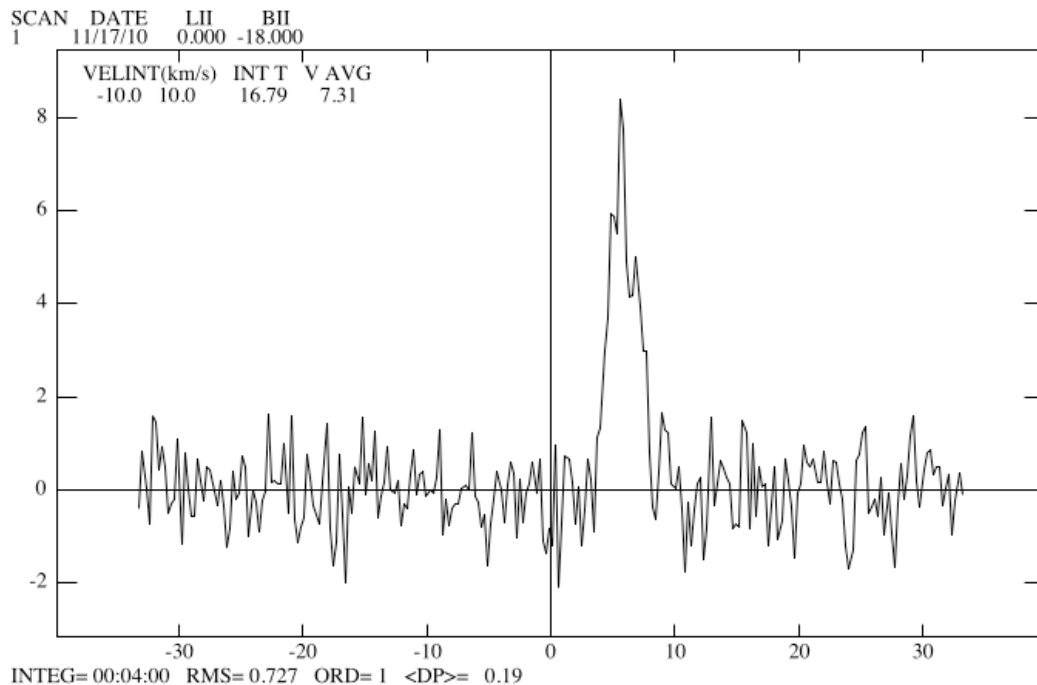


Figura 25: First Light del Mini en Cerro Calán el día 17 de noviembre del 2010

El espectro de la Figura 25 fue obtenido con el espectrómetro angosto de 0.1 MHz, y el oscilador enclavado para 115 GHz observando la fuente R Coronae Australis (R CrA). Este espectro fue obtenido minutos después de realizar un *Sun Pointing* cercano en coordenadas a la región observada, lo que permite apuntar de forma más o menos precisa en esa dirección sin contar con un modelo de *pointing* ajustado en todas direcciones. Lo que se aprecia en el gráfico es Temperatura (K) v/s Velocidad Radial (Km s⁻¹). La temperatura registrada es la temperatura de antena, directamente proporcional con la potencia obtenida de la fuente, en otras palabras no representa la temperatura de la fuente sino la potencia que obtenemos de la misma. La velocidad radial representa la componente de la velocidad con la que el objeto se acerca o aleja del radiotelescopio, la cual se obtiene luego de compensar los movimientos de traslación y rotación de la Tierra así como también el movimiento del baricentro del sistema solar con respecto al

centro galáctico.³ La imagen muestra un receptor más ruidoso de lo esperado en condiciones óptimas, esto se observa en la altura de la línea que rodea al máximo obtenido. Sin embargo esto concuerda con las altas temperaturas de receptor obtenidas en las pruebas de cargas fría/caliente (*hot cold*).

4.5.2. Nebulosa de Orión

Además de R Coronae Australis fue observada la Nebulosa de Orión (M 42), espectro que se muestra en la Figura 26. Al igual que el espectro anterior, Figura 25, este es obtenido con el espectrómetro angosto y con el oscilador local enclavado en 115 GHz. El resultado es bastante parecido al anterior. Para poder hacer un análisis más profundo se incluye un espectro de la Nebulosa de Orión obtenido para una calibración en Cerro Tololo el año 1993 en la Figura 27. Para completar el análisis se presenta el mejor resultado obtenido observando dicha nebulosa en Cerro Calán en la Figura 28.

Comparando las imágenes 26, 27 y 28 es claro que la temperatura de ruido en el receptor actual es más alta que para espectros obtenidos anteriormente. Además se nota que la velocidad espectral se encuentra dentro del mismo rango mientras que la temperatura de antena no. La baja temperatura observada en la Figura 26 se atribuye a que al momento de realizar la observación el radiotelescopio no posee *pointing* bien ajustado, pues esta observación fue realizada antes de corregir el modelo con cinco parámetros. El hecho de que la antena no apunte precisamente al centro de la nebulosa provoca que la potencia registrada y, por lo tanto, la temperatura sea menor, manteniéndose la velocidad espectral dentro del rango esperado. Luego de realizar la corrección del *pointing* nuevos espectros de Orión son obtenidos, como el que se aprecia en la Figura 28.

³ La velocidad radial de una fuente astronómica distante se puede medir con precisión, tomando una alta resolución del espectro y asociando el corrimiento observado por efecto Doppler con la velocidad de la fuente observada. Por convención, una velocidad radial positiva indica que el objeto se aleja, si el signo es negativo, entonces el objeto se acerca. Mayor información al respecto en [3].

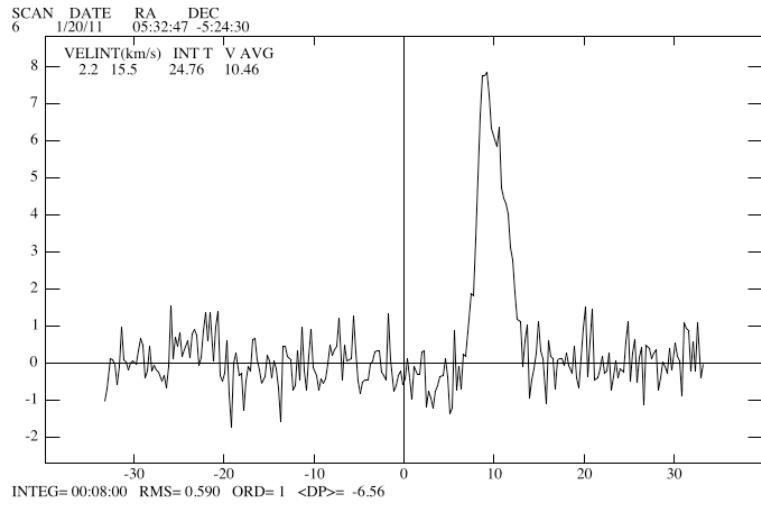


Figura 26: Espectro de la Nebulosa de Orión obtenido en Cerro Calán el 20 de enero de 2011

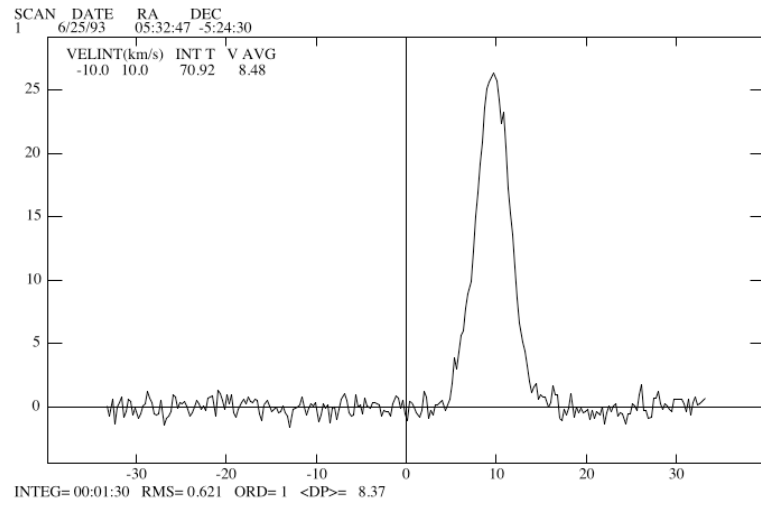


Figura 27: Espectro de la Nebulosa de Orión obtenido en Cerro Tololo el 25 de junio de 1993

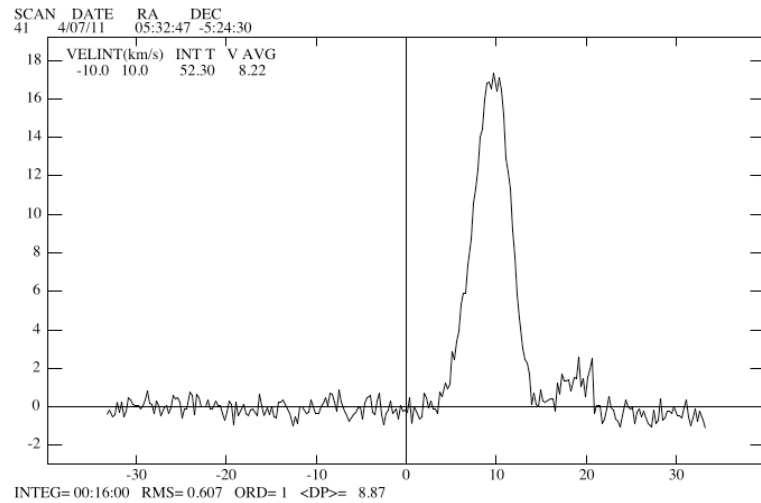


Figura 28 Espectro de la Nebulosa de Orión obtenido en Cerro Calán el 17 de abril de 2011

4.5.3. Mapeo de 9 puntos de la nebulosa de Orión

Con motivo de comprobar la precisión del sistema de apuntamiento (*pointing*) del radiotelescopio basado en observaciones en radiofrecuencia se realiza un mapeo de la Nebulosa de Orión y su alrededor cercano, Figura 29.

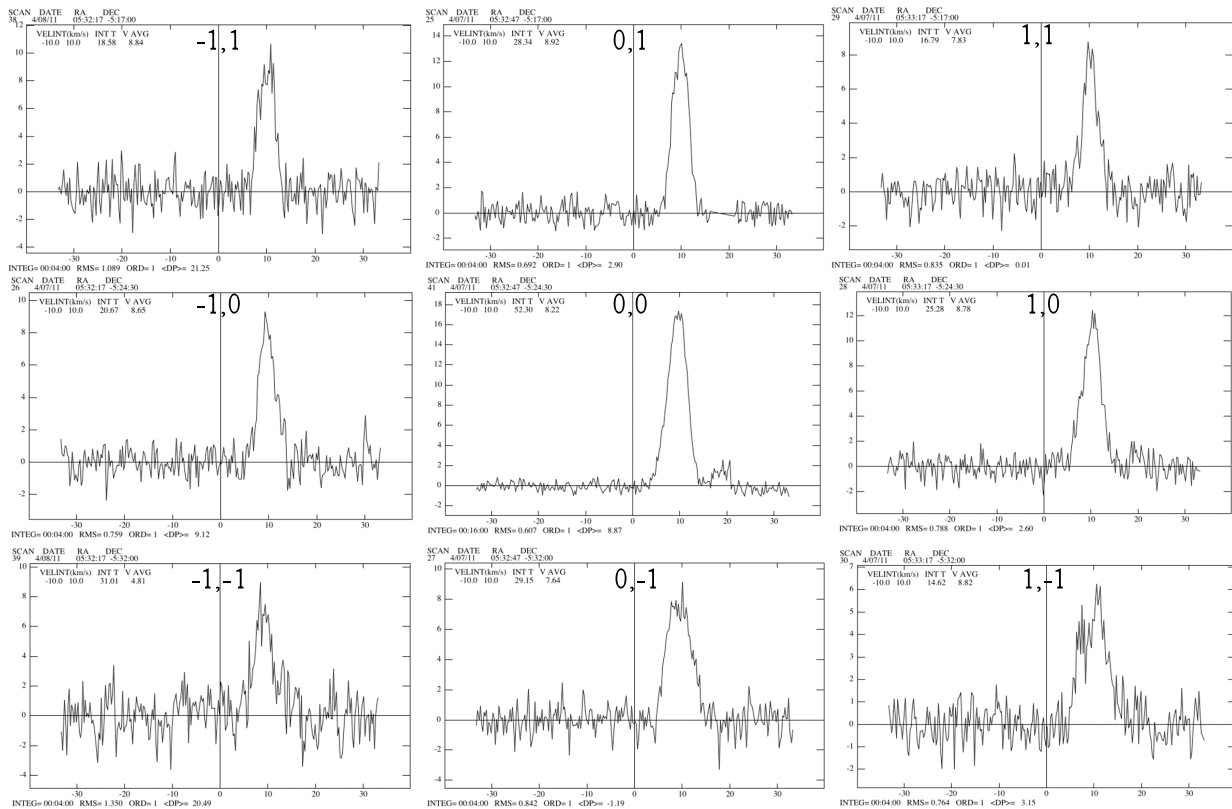


Figura 29: Espectros de la Nebulosa de Orión y sus inmediaciones.

En la Figura 29 las coordenadas (x,y) de cada cuadro representan el corrimiento del *pointing* en anchos de haz de antena con respecto a la fuente. En esta ocasión se obtuvo el espectro de la Nebulosa de Orión y además espectros de regiones cercanas, con motivo de corroborar que el *pointing* es correcto. El espectro del centro de la nebulosa (al centro de la Figura 29; 0,0) registra aproximadamente 18 K, cercano al 75% de la potencia esperada según la Figura 26. Los demás espectros son obtenidos con un desfase de un ancho de haz de antena en ascensión recta y declinación bajo distintas combinaciones (en la Figura 29 se pueden identificar como; ascensión recta, declinación). Se puede apreciar que la temperatura máxima registrada ocurre en el centro de la nebulosa (0,0) mientras para todos los otros espectros la temperatura registrada es menor, con un mínimo aproximado de 6 K y un máximo de 14 K. Esto indica que el modelo de *pointing* es correcto y que esto es constatado por espectros obtenidos con fuentes astronómicas de radiofrecuencia. Sin embargo, la temperatura registrada aún es menor a la esperada. Dentro de las posibles causas de esta baja temperatura registrada se encuentran la alta temperatura de ruido del receptor, el mal estado del banco de filtros y la posible falta del ajuste del foco del secundario con la bocina (*horn*).

5. Discusión de los resultados

Antes del traslado las pruebas realizadas en el laboratorio arrojan resultados esperados. El estudio del consumo de potencia permite estimar el transformador necesario como también la unidad de respaldo UPS necesaria para proporcionar una red segura y estable. El traslado es realizado de forma exitosa, sin percances y da pie a una puesta en marcha expedita y en la cual se cumplen todos los objetivos planteados. A continuación se discuten los resultados obtenidos en mayor profundidad.

5.1. Estado del sistema motriz y el *pointing*

La antena muestra un sistema mecánico sólido, los movimientos se realizan con soltura y precisión. Luego de ser corregidos los errores encontrados en codificadores de posición no fueron observados nuevos inconvenientes. El balance permite que la antena se detenga de forma estable para elevaciones entre 79° y 25° .

El modelo de apuntamiento (*pointing*) del radiotelescopio cumple con la precisión esperada para realizar las observaciones. El sistema arroja errores que corresponden a 0.18 minutos de arco lo cual es lo suficientemente preciso teniendo en cuenta que el ancho del haz de la antena es de 8.8 minutos de arco y el error es menor que el 2%. Observando la nebulosa de Orión se comprueba la precisión del apuntamiento (*pointing*) con fuentes de radio, Figura 29. El hecho de que la temperatura registrada en esta observación sea menor a la esperada es atribuible, entre otras posibilidades, a la posición exacta del foco con respecto al receptor. Si bien la bocina (*horn*) fue alineado con el secundario, no se tomaron consideraciones de foco, o de distancia entre el secundario y la bocina (*horn*), al momento de centrar el receptor. El problema del foco se espera solucionar a la brevedad. Otros factores que pueden influir en esta baja temperatura de antena registrada son la alta temperatura de ruido del receptor y el mal estado del banco de filtros. En el caso de que la alta temperatura de ruido se deba a suciedad en la ventana de vacío o la bocina (*horn*), el problema es fácilmente solucionable: solo de debe bajar el receptor y limpiar la ventana, de lo contrario el problema requiere de mayor trabajo y estudio. El problema del banco de filtros requiere de mayor estudio y trabajo.

5.2. Estado receptor

El tiempo de sostén del vacío o *Holding Time* permite estimar al menos dos días de operación sostenida. Este tiempo se puede extender incluso a una semana completa de operación si el receptor se mantiene frío. Las pruebas arrojan resultados similares en el laboratorio y en el nuevo edificio, por lo que se estima que el termo no sufre daños en el traslado. El medidor de presión del termo se encuentra en buen estado y, a pesar de que no tiene la precisión de otros medidores disponibles en la actualidad, es suficientemente exacto para la operación del radiotelescopio. Lo que se busca con el vacío es disminuir la cantidad de aire en la cámara de vacío para evitar transferencia de calor y posibles cristalizaciones provocadas por la temperatura de nitrógeno líquido. Por tanto si bien un monitoreo de la presión constituye un buen indicador, no es necesario que sea muy preciso.

Las pruebas de cargas frío/caliente (*Hot-Cold*) realizadas en el laboratorio de forma manual arrojan la temperatura de ruido esperada según lo registrado con anterioridad. Si bien en estudios

anteriores, Reyes, 2006[10] se esperan temperaturas de 140 K estas nunca fueron alcanzadas de forma empírica. Sólo se lograron alcanzar valores cercanos a los 200 K, como los observados durante las pruebas presentes en este documento. Por otro lado las pruebas realizadas a través del sistema de control arrojan temperaturas de receptor más altas, registrando una diferencia de 136.5 K. La temperatura obtenida por el programa es más gravitante puesto que este es el valor registrado en el sistema y en base al cual se realizan los cálculos relativos a las observaciones. Una vez instalada la antena, la temperatura de ruido medida de forma manual aumenta aproximadamente 270 K mientras que la medida por *software* lo hace en 242.47 K, teniendo como resultado temperaturas de receptor prácticamente 400 K más altas de lo esperado, ya que lo ideal sería obtener un valor cercano a los 200 K mediante el programa y se obtuvo un valor cercano a los 600 K. Si bien la diferencia entre ambos métodos disminuye, aumenta la temperatura en ambos casos lo cual es altamente perjudicial para la operación de la antena. Dentro de las posibles causantes de esta alza priman un desperfecto en el amplificador HEMT y suciedad entre la bocina (*horn*) y la ventana de vacío. Se cree que estos dos factores son los únicos posibles de elevar la temperatura en tal grado puesto que la prueba de cargas frío/caliente (*Hot-Cold*) disminuye la influencia de los otros componentes del sistema en la medición.

5.2.1. Funcionamiento de la placa de oscilador local

La placa de oscilador local funciona según lo esperado y es posible enclavarla en todas las frecuencias para las que fue diseñada. Todos los ajustes necesarios para operar el oscilador, incluidos los ajustes mecánicos de *Backshort* y *Resonant Ring*, son de fácil acceso y funcionan correctamente. Es importante mencionar que mientras no se cuente con el medidor de potencia en la salida del oscilador se recomienda sólo observar en 115 *GHz* ya que en esta frecuencia se corre menor peligro en dañar el mezclador, pieza altamente delicada e importante. Además se indica nunca tener niveles de atenuación en la salida menores a los observados en la columna “Atenuación para obtener 2 mW” de la Tabla 8. Se sugiere lograr la comunicación del PLL con el sistema de control de manera que este pueda monitorear el estado del enclavamiento. Actualmente el observador debe estar atento al enclavamiento el cual en caso de perderse anula la observación realizada. Mayor comunicación entre el receptor y el programa permitiría un lazo de control más completo.

Es necesario contar con un sistema de monitoreo de la potencia que entrega el oscilador local al mezclador. Para observar moléculas distintas al CO, o bien frecuencias distintas a 115 GHz, la potencia generada por el oscilador Gunn puede dañar el mezclador de forma irreparable. Además este sistema entrega información importante para mantener el receptor en condiciones óptimas al momento de observar. Si bien la Tabla 8 del presente documento conforma una guía útil para operar el oscilador local en ausencia del medidor de potencia, esta no es la manera ideal de hacerlo.

5.3. Estado del espectrómetro

El espectrómetro de 0.1 *MHz* de ancho por canal fue utilizado para realizar observaciones, *Sun Pointing*, *Antenna Dipping* y pruebas *Hot-Cold*. Los resultados obtenidos en las observaciones como en las pruebas *Hot-Cold* muestran que es necesario calibrar el banco de filtros. Es posible que la diferencia entre la temperatura de receptor registrada de forma manual y a través del programa de control se deba a esta falta de calibración, la cual no se ha realizado por su alta dificultad y la falta de conocimiento al respecto en el equipo de trabajo. El espectrómetro

de 1 MHz de ancho por canal fue probado y detecta señales sintetizadas, sin embargo aun no ha sido probado con fuentes astronómicas.

5.4. Estado de la computadora y el programa de control

El programa ha sido modificado de manera que opere correctamente. Se registran en él las coordenadas del nuevo emplazamiento en Cerro Calán. El radiotelescopio opera de forma integrada a través del sistema de control. Las pruebas realizadas confirman la integración y comunicación de las distintas partes. El cambio del sistema de fechas aun no es completamente exitoso pues marca el año 2010 estando en el año 2011. Es necesario renovar el computador pues este ya se encuentra obsoleto, siendo el principal impedimento la dificultad con la que se obtienen datos en formato digital a partir del mismo. Por lo demás cualquier falla en el computador deja al radiotelescopio completamente inoperativo y la falta de repuestos o equipos sustitutos lo convierte en un factor de riesgo importante. El mayor problema para modernizar el computador radica en la conexión entre la interfaz de comunicación y el computador, Figura 1, la cual se realiza mediante un puerto IDC50 SCSI-1, la cual no es una alternativa común ni de punta en el mercado actual. Es importante mencionar que se pretende realizar la modernización del sistema computacional en conjunto con el equipo de trabajo del NMWT, el cual experimenta el mismo problema. Una alternativa viable es diseñar una nueva interfaz de comunicación dotada de un DSP (*Digital Signal Processor*) la cual permita comunicarse a través de un puerto serial o USB con un computador actualizado. Para lograr esto se debe comprender a cabalidad el lazo de control del telescopio y las señales de las cuales este se alimenta, puesto que todas ellas pasan por dicha interfaz.

5.5. Estado general del radiotelescopio

El radiotelescopio se encuentra operativo y es capaz de realizar observaciones astronómicas. Sin embargo se debe ajustar el banco de filtros del espectrómetro, disminuir la temperatura de ruido del receptor y certificar que el foco sea el adecuado para contar con un instrumento en condiciones óptimas. Durante las distintas pruebas y observaciones realizadas es notoria la importancia de la temperatura en la habitación. Los equipos generan una gran cantidad de calor y la mayoría de ellos son sensibles a la temperatura ambiente y a la que ellos mismos generan, por lo que la instalación de un sistema de aire acondicionado es necesaria. Cuando se realizan pruebas durante el día se presentan una serie de comportamientos erráticos en distintos sistemas, mientras que cuando se opera el radiotelescopio de noche, cuando la temperatura desciende y se estabiliza, éste se comporta en forma robusta y estable.

6. Conclusiones

El alcance de los objetivos planteados para el desarrollo de esta memoria definió tres etapas claves para el proceso de puesta en marcha del radiotelescopio, las cuales presentan una clara relación de secuencialidad. Primero fue necesaria la etapa de estudio de la condición del radiotelescopio en el laboratorio, donde se caracterizó el estado de sus sistemas más importantes y se hizo un pronóstico de su condición luego de más de quince años de inactividad. Una vez completada esta fase, fue posible proceder a la segunda etapa, donde se planea y se lleva a cabo el traslado de todos los equipos para ser dispuestos en su emplazamiento definitivo. Con los pasos anteriores logrados es posible proceder a la tercera etapa y final, donde se lleva a cabo la puesta en marcha y se culmina el proceso poniendo en funcionamiento el radiotelescopio, llegando a obtener espectros de fuentes astronómicas. Durante el total desarrollo del proceso se contó con el apoyo del equipo y el respaldo de la infraestructura del Laboratorio de Ondas Milimétricas del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile así como también del soporte del personal del Observatorio Astronómico Nacional. La integración del equipo de trabajo a estas labores es indispensable. La experiencia y preparación de sus integrantes posibilita que las distintas etapas sean completadas correctamente y en los plazos estipulados. La infraestructura disponible otorga todo lo necesario para llevar a cabo trabajos prácticos como también pone a disposición instrumentos y equipos que permiten caracterizar elementos del sistema así como el radiotelescopio en su totalidad.

Durante el proceso se logra conocer el funcionamiento del radiotelescopio de manera profunda. Sus distintas partes son integradas y se ponen en servicio del sistema general. Se realizan variadas pruebas para comprobar el funcionamiento total y parcial del radiotelescopio las cuales permiten caracterizar el aparato una vez instalado. Se comprende la importancia del buen estado de los sistemas mecánicos y su estrecha relación con el programa de control y el rendimiento del conjunto. Se pone a prueba a todo el equipo del Laboratorio de Ondas Milimétricas el cual responde de manera activa y certera. La colaboración del personal del Observatorio Astronómico Nacional muestra una forma de trabajar coordinada y eficaz.

Como resultado se provee de una herramienta con fines docentes y de investigación tanto astronómica como instrumental sin precedentes en el Observatorio Astronómico Nacional. Con el Mini, nuevas generaciones de radioastrónomos pueden acercarse a esta rama de la ciencia siendo de particular interés por el establecimiento del proyecto ALMA en nuestro país. Además, la antena constituye una plataforma de desarrollo y experimentación para el Laboratorio de Ondas Milimétricas, donde al menos en el mediano plazo dos de sus integrantes enfocarán sus tesis de doctorado a mejoras del radiotelescopio. Por otro lado y como fin primero se provee de una herramienta para llevar a cabo estudios y nuevas publicaciones en radioastronomía acercando al observatorio y a todos sus integrantes a la frontera de la investigación científica. Junto a eso, se suma que el instrumento es ubicado en un lugar de fácil acceso para estudiantes, docentes e investigadores por su cercanía con la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y su ubicación en la capital del país.

Si bien el radiotelescopio está operativo, no se encuentra en su punto óptimo. Se deben realizar más pruebas y ajustes con motivo de llevar al aparato al nivel de sensibilidad que es necesario para ocuparlo como instrumento de investigación. Sin embargo es prudente recalcar la robustez del sistema, el cual luego de encontrarse por más de diez años inoperativo y después de

ser trasladado y desmontado más de una vez sigue activo. Solo mantenciones menores debieron ser efectuadas para que el conjunto funcionara de forma integrada.

Durante el proceso es posible notar que el período de inactividad del radiotelescopio, sumado a que fue fabricado y diseñado en una universidad extranjera, dificulta la puesta en marcha. El conocimiento que poseen quienes han trabajado anteriormente con el Mini con respecto al sistema, su operación y sus características se desvanece con el tiempo, haciendo más difícil la familiarización con el aparato. Si bien la documentación es cuantiosa y útil, siempre existen aspectos que no son registrados en los archivos y la experiencia vivida y transmitida por otra persona aporta de manera distinta a la de un texto escrito. La puesta en marcha se nutre de la experiencia de personal que operó el radiotelescopio en el pasado, sin embargo existen vacíos. De ahí entonces la importancia de documentar el proceso técnico de manera minuciosa. Por otro lado, la comunicación con el personal relacionado con la antena del hemisferio norte si bien existe y se sustenta en un espíritu de colaboración mutua, de todas maneras no es la óptima al minuto de resolver inquietudes.

En relación al radiotelescopio, además de los trabajos en desarrollo, hay trabajos indispensables que se deben realizar a futuro y otros de carácter opcional. Dentro de los trabajos a que se deben realizar indispensablemente destacan:

- i. La culminación de la instalación de la red eléctrica. Para resguardar la integridad del radiotelescopio y sus equipos es de suma importancia que se realice la conexión de la red de tierra lo antes posible, así como también la instalación de la red de respaldo UPS y un panel eléctrico separado para la red de 110 V.
- ii. Bajar la temperatura de ruido del receptor para lo que se recomienda limpiar la ventana de vacío y en caso de no obtener resultados favorables, abrir el receptor para constatar el estado de la circuitería.
- iii. Ajustar el banco de filtros del espectrómetro angosto y ancho para lograr un comportamiento más parejo de ambos.
- iv. Incluir un sistema de monitoreo de la potencia entregada por el oscilador local al mezclador. Al no contar con un medidor de potencia en esta etapa se prescinde de un indicador importante al momento de operar el receptor en condiciones óptimas. Por lo demás el operar el oscilador local sin este parámetro cuantificado hace que sea posible dañar el mezclador, en especial para transiciones distintas al 12CO, justamente una de las modificaciones que lo convierte en un instrumento mejorado en cuanto a su estado en Cerro Tololo. El no contar con este medidor de potencia impide que la mejora implementada pueda ser aprovechada.
- v. Instalar un sistema de aire acondicionado para mantener los equipos a una temperatura estable y en un rango recomendable.
- vi. Ajustar el foco del radiotelescopio modificando la distancia entre el *horn* y el secundario.

Existen dos mejoras importantes para el Mini que se encuentran en desarrollo y constituyen las tesis de doctorado de dos integrantes del Laboratorio de Ondas Milimétricas:

- i. Se planea incorporar un espectrómetro digital, el cual entregaría versatilidad de ancho de banda y resolución espectral, permitiendo cambiar estos parámetros según las necesidades del observador.

- ii. Cambiar el receptor de la configuración actual, banda lateral doble (DSB, *Double Side Band*), a una configuración de banda lateral simple (SSB, *Single Side Band*), aumentando considerablemente la sensibilidad del mismo.

Además de estas mejoras se consideran otros aportes opcionales tales como:

- i. Modernizar el sistema computacional y comunicar de mejor manera el oscilador local y el receptor con el programa de control, especialmente para monitorear el estado del enclavamiento en todo momento.
- ii. Otro perfeccionamiento interesante sería incluir una pequeña cámara digital o CCD en el telescopio de *pointing* que permita realizar calibraciones de manera más fácil y tener referencias de fuentes en el espectro visible durante las observaciones.
- iii. Medir el parámetro de radiación de la antena para conocer su estado luego del traslado y el montaje.

Si bien estos trabajos son opcionales se recomienda que sean realizados, especialmente i y iii, para proporcionar un sistema modernizado y caracterizado con mayor precisión.

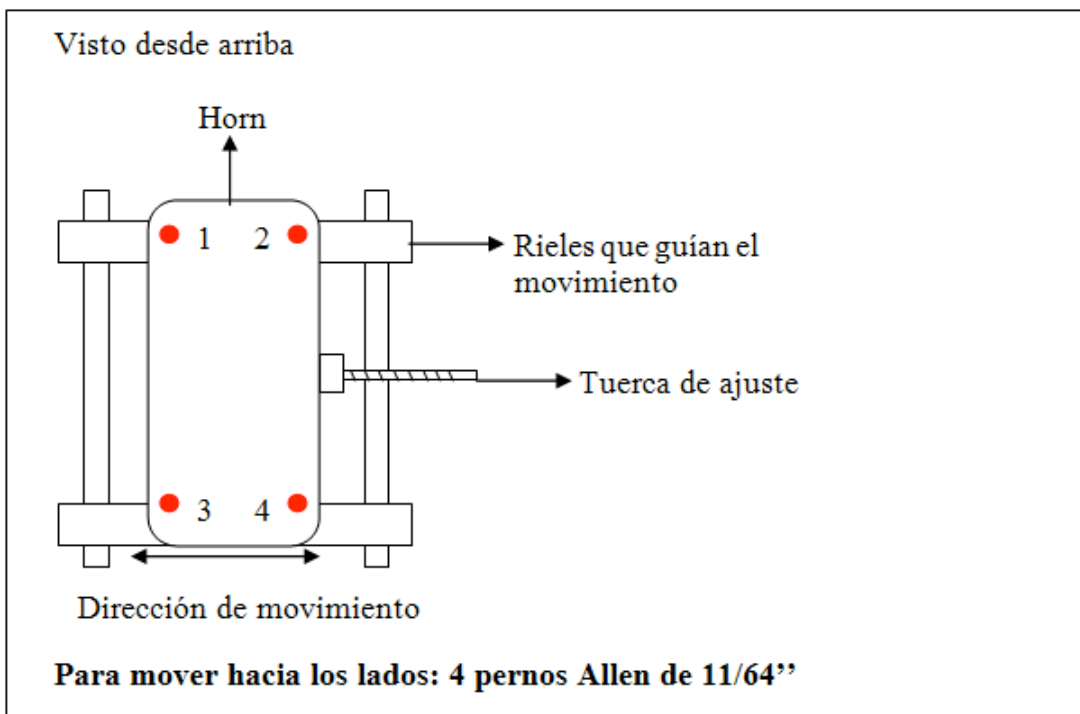
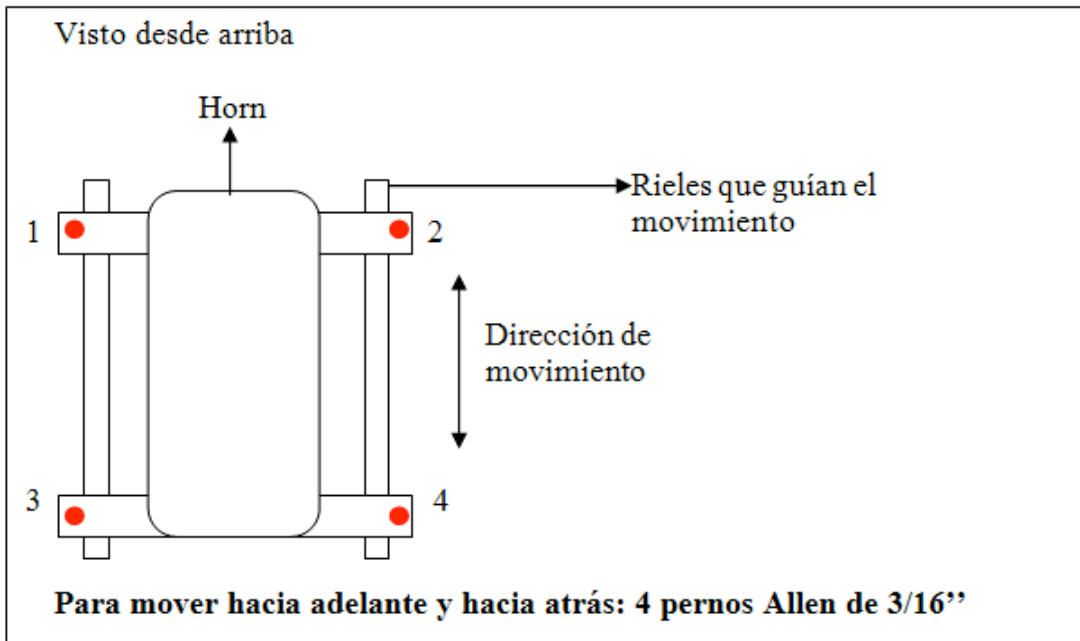
Tanto la historia pasada como el estado actual y las posibilidades futuras del Mini son prometedores. El radiotelescopio provee de un medio de desarrollo para la Universidad de Chile que expande las fronteras de la investigación astronómica y de la instrumentación para docentes y alumnos quienes pueden lograr un entrenamiento que les ayudará a enfrentar los futuros desafíos de la radioastronomía en nuestro país.

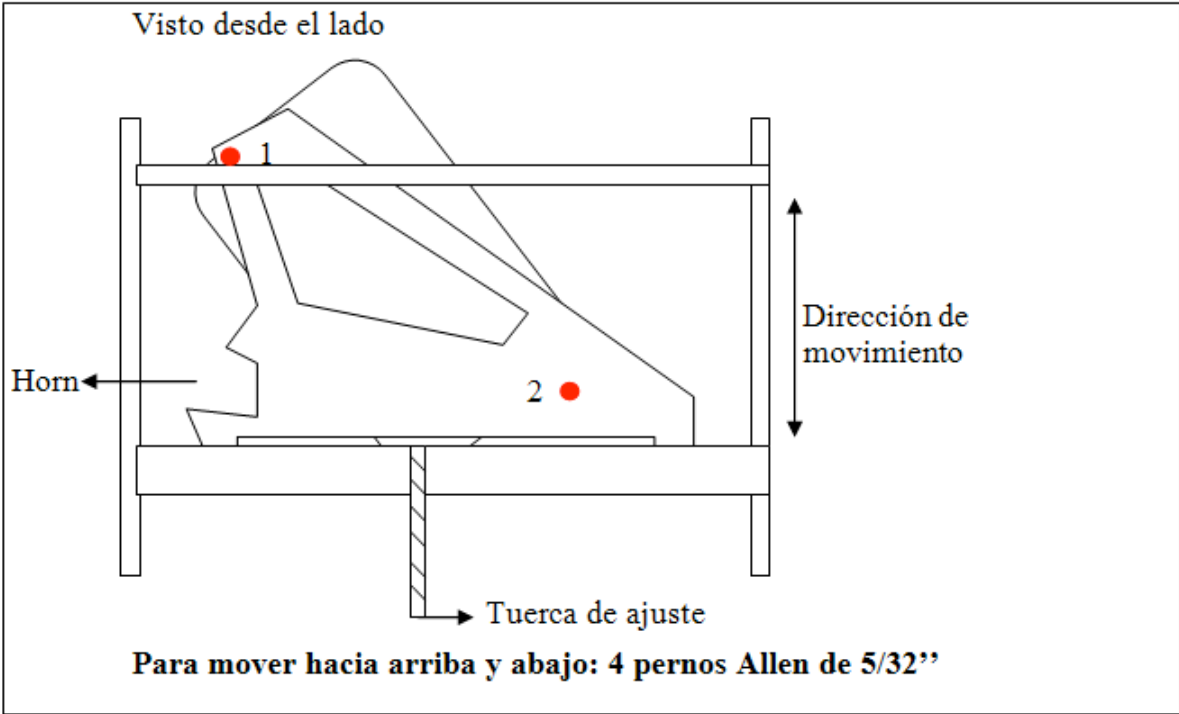
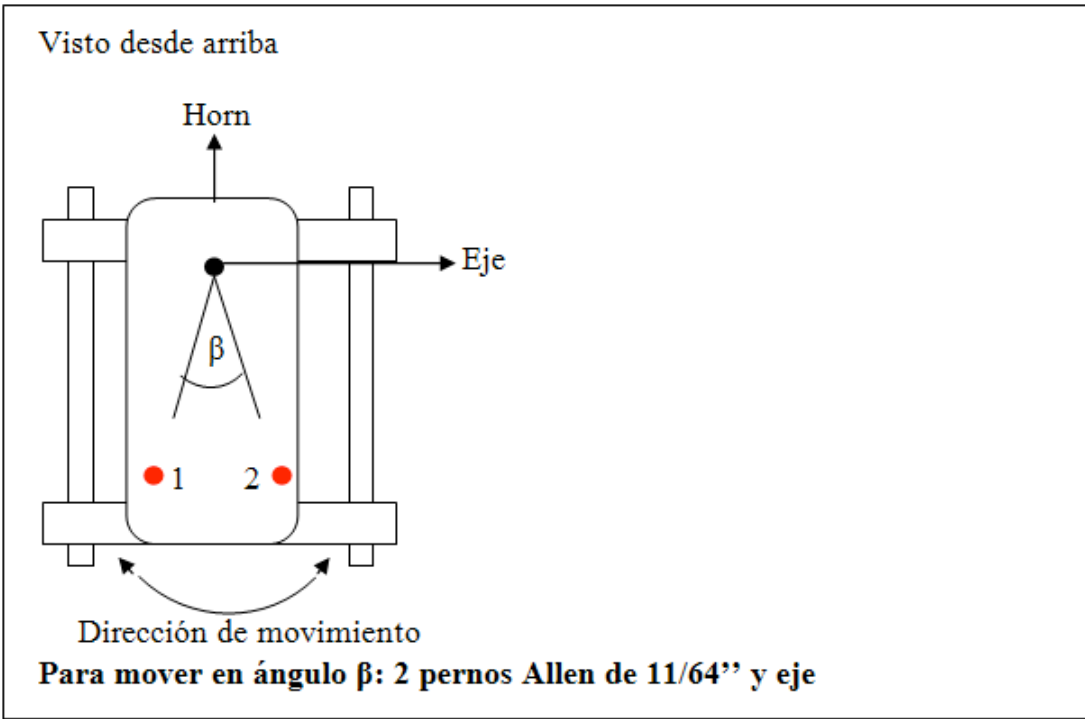
Bibliografía

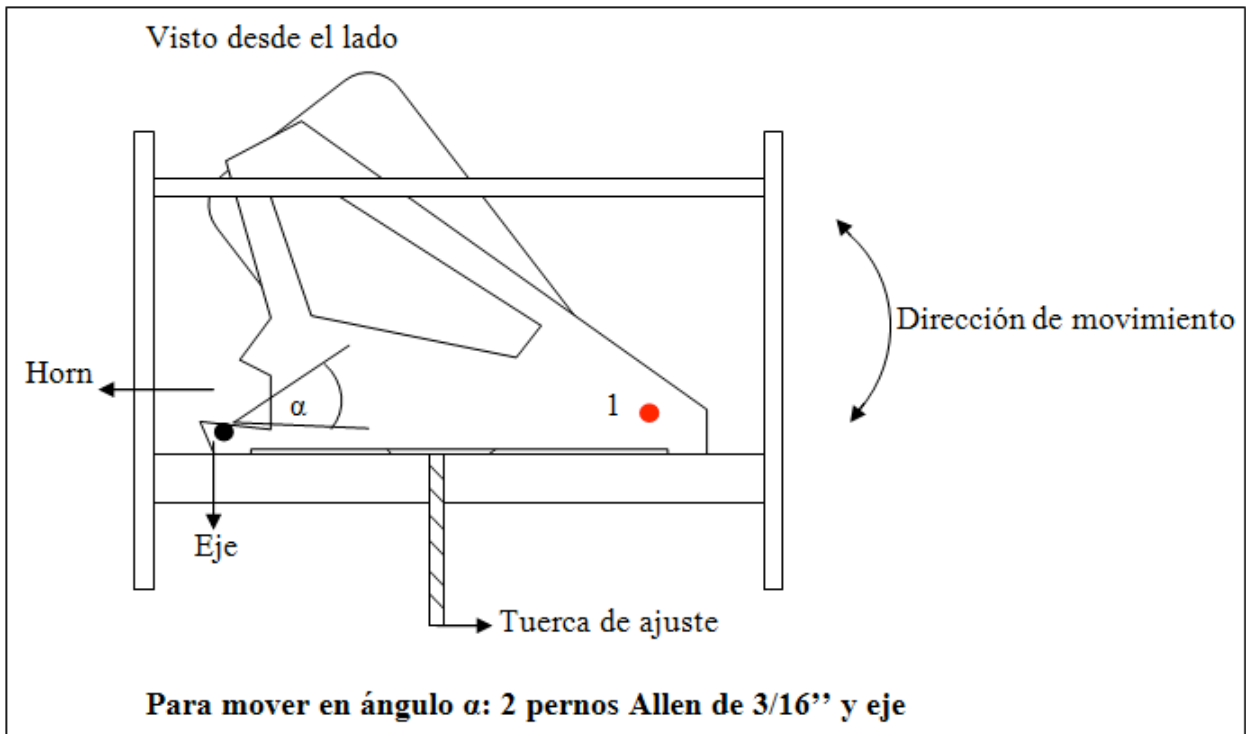
- [1] Cohen, R. S. 1983, *Columbia University Southern Hemisphere Millimeter-Wave Survey Telescope*, en: Burton, W. B. y Israel, F. P. (Eds). *Surveys of the Southern Galaxy*. D. Reidel Publishing Company. pp. 265-269.
- [2] Bronfman, L. 1989, *A Deep CO Survey of Molecular Clouds in the Southern Milky Way*, The Astrophysical Journal Supplement Series, 71:481-548.
- [3] K.Rohlfs and T.Wilson, *Tools for radio astronomy*, A&A Library, fifth edition 2009.
- [4] <http://www.cfa.harvard.edu/mmw/> [consulta mayo 2010]
- [6] Collin R. *Foundations for microwave engineering*, Wiley-IEEE Press; second edition 1992.
- [7] Vásquez, C., *Optimización de la razón señal a ruido de un receptor a 115 GHz*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile, 2007.
- [8] Ramos, N., *Automatización de un radiómetro para medir la opacidad atmosférica a 115 GHz*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile, 2009.
- [9] Max-Moerbeck, W., *Implementación de un Oscilador Gunn en un Receptor a 115 GHz, para fines Radioastronómicos*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile, 2005.
- [10] Reyes, N., *Integración física de un amplificador de bajo ruido a un receptor de 100 GHz*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile, 2006.
- [11] Vielma M., *Diseño de un receptor para radioastronomía milimétrica utilizando amplificadores HEMT*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile, 2006
- [12] Chang, K., *Microwave Ring Circuits and Antennas*, John Wiley & Sons, 1996.
- [13] Hong-Hi Cong, Anthony R. Kerr, Robert J. Mattauch, *The low noise 115 GHz receiver on the Columbia-GISS 4-ft radio telescope*, IEEE Transactions on microwave theory and techniques, March 1979, pp.245-248
- [14] VV. AA., *Manuales y bitácoras de construcción, operación, uso y mantenimiento del radiotelescopio, ubicados en el primer piso del edificio del mismo (sin editorial)*, 1980-2006.

Anexos

A. Manual para centrar el receptor







Observaciones:

- Para centrar el receptor se debe colocar una tapa reflectante en el *horn* y con la ayuda de una linterna alumbrar la misma. El reflejo debe ser visto a través de un orificio en el secundario en el cual se pone otro adaptador que hace el orificio más pequeño.
- Los movimientos deben ser realizados uno a la vez y los pernos deben ser ajustados luego de ser liberados para el movimiento. De lo contrario el receptor se moverá de forma errática
- Tomar precaución al momento de soltar los pernos y realizar los movimientos. Constatar que los pernos liberados corresponden al movimiento que se quiere realizar, de lo contrario se puede dañar el receptor.

B. Manual de encendido y operación básica del radiotelescopio

Procedimiento encendido y operación radiotelescopio Mini

P. Vasquez y R. Bustos
Departamento de Astronomía
Universidad de Chile

Resumen: Se presenta el listado de pasos para el encendido y funcionamiento básico del Radiotelescopio de 1.2 m SMWT o Mini.

A continuación se detallan los pasos, consideraciones y precauciones a tener en cuenta cuando se desee encender y operar el radiotelescopio Mini.

LISTA DE PASOS

IMPORTANTE: Leer con atención y concentración cada punto en detalle y seguir paso a paso en estricto orden.

1. Encendido red de 110 V

Antes de comenzar se debe verificar que el sistema esté provisto de la red de 110 V.

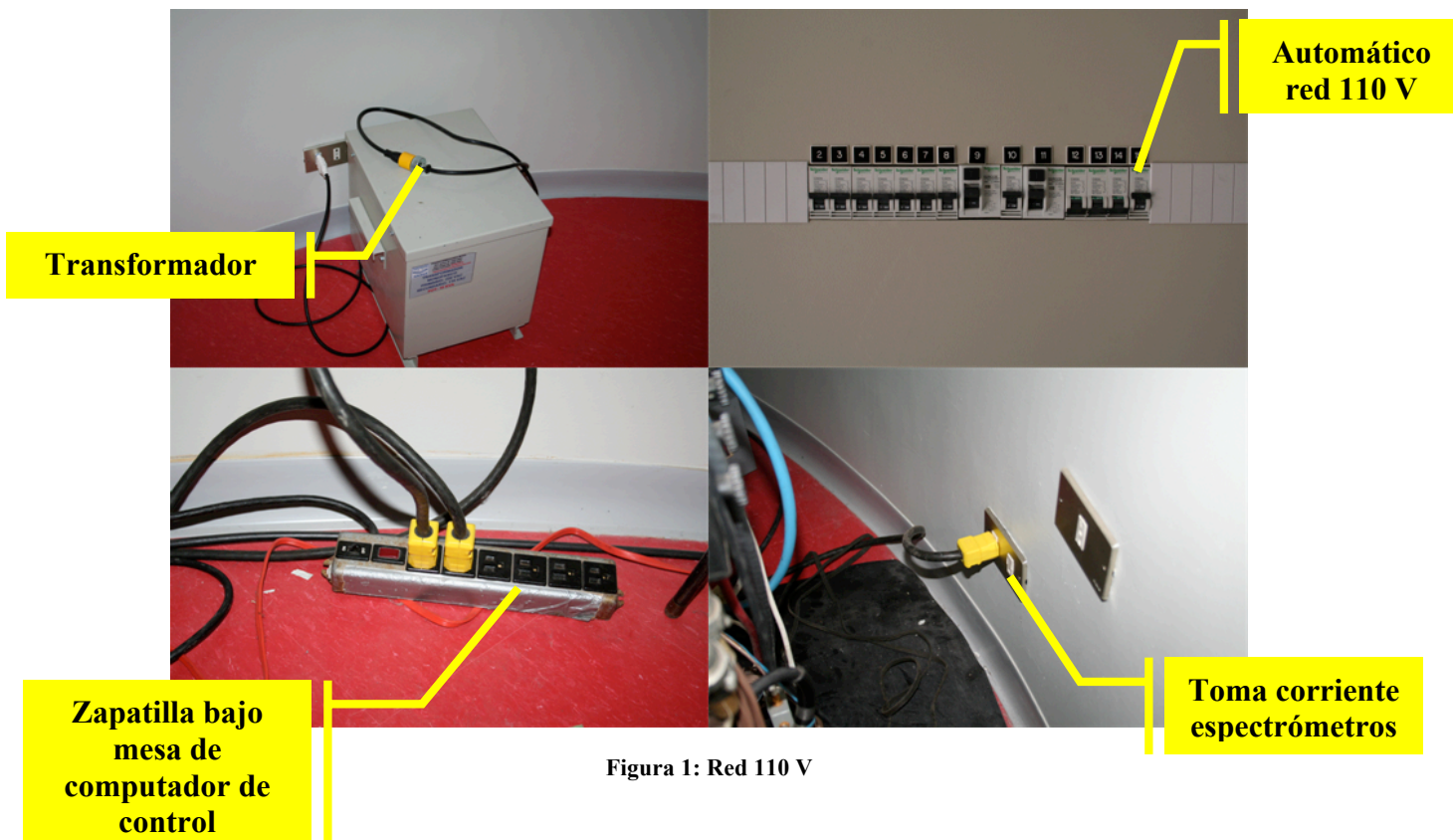


Figura 1: Red 110 V

- 1.1 Comprobar que se encuentre enchufado el transformador a la red de 220 V.
- 1.2 Encender el automático #15 en el panel eléctrico en la entrada del edificio el cual activa la red de 110 V.

- 1.3 Encender la zapatilla bajo la mesa del computador de control y corroborar que se encuentre enchufada a la red de 110 V.
 - 1.4 Corroborar que la toma de corriente de los espectrómetros se encuentre enchufada a la red de 110 V.
- 2. Encender equipos Rack de drives (en orden de arriba hacia abajo)**



Figura 2: Rack de drives

- 2.1 Power supplies: 2 switches rojos.
- 2.2 Guidance paddle interface.
- 2.3 Telescope drive I/O interface.
- 2.4 Telescope drive control (DRVELEC). Aparecerán todos los LEDs del rack en rojo. Más adelante hay instrucciones para apagarlos siguiendo el paso 4.3: Desbloquear Telescope Drive Control.
- 2.5 Telescope DRV/ELEC servo amps power supply.
- 2.6 Tach generator A/D. (mismo rack que 1.7)
- 2.7 Chopper control unit. (mismo rack que 1.6). Mantener switch en COMPUTER CONTROL NORMAL.

3. Encendido rack domo: equipo ubicado bajo el motor domo

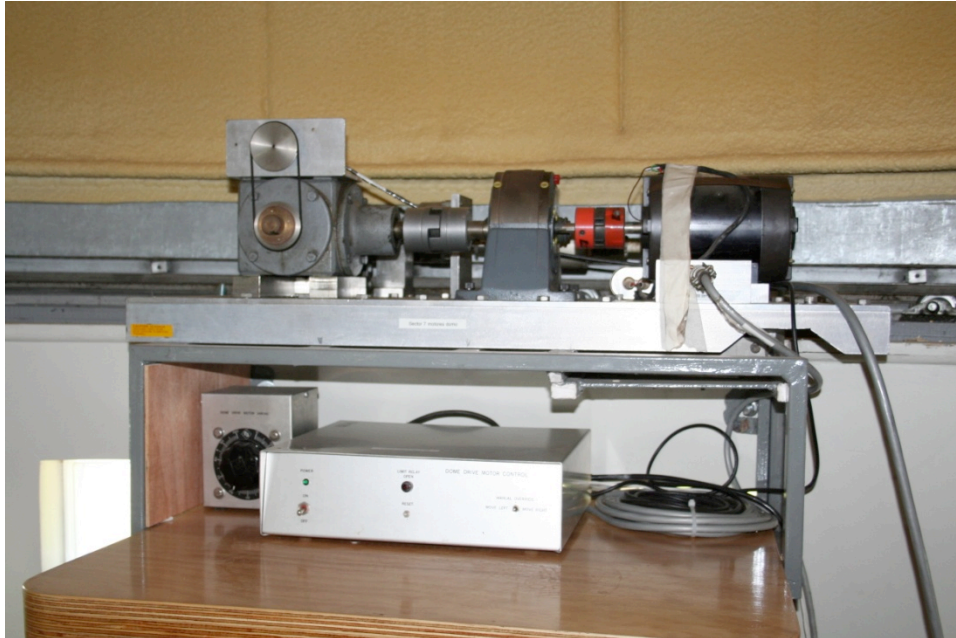


Figura 3: Motor y drive domo

- 3.1 Dome drive motor control. Power ON.
- 3.2 Apretar botón blanco RESET. Se apagará la luz roja del LIMIT RELAY OPEN.
- 3.3 Chequear funcionamiento (opcional) del rack domo: Usar switch "Manual override" para girar hacia la izquierda ("move left") o a la derecha ("move right"). Si el motor no se mueve, chequear que cables estén bien conectados, que llegue power al rack, y volver a 2.1. Si el motor se puede mover hacia ambos lados, continuar.
4. **Encendido de generador de ondas de 5 MHz para generar el clock y enclava el sistema de comunicación con PC**
Este generador se encuentra en la parte superior del Rack de drives (figura 2).
 - 4.1 Power ON.
 - 4.2 Pulsar 5
 - 4.3 Pulsar MHz que aparecerá en pantalla.
 - 4.4 Pulsar AMPL que aparecerá en la pantalla.
 - 4.5 Escribir 2.8
 - 4.6 Pulsar V_{pp} que aparecerá en pantalla.
 - 4.7 Pulsar botón OUTPUT.
 - 4.8 Pulsar botón GRAPH.
 - 4.9 Chequear funcionamiento sistema:
 - 4.9.1 Abrir rack inmediatamente abajo del generador de ondas ("5 en computer rack sobre power supplies") girando los 2 tornillos de las esquinas superiores manualmente.
 - 4.9.2 Chequear visualmente que el LED de la 3ª tarjeta de izquierda a derecha esté encendido en rojo. Si está apagado, volver a 3.1. Si está en rojo, continuar.
 - 4.9.3 Cerrar rack.

5. Encendido Radiotelescopio



Figura 4: Zapatilla enchufes radiotelescopio

- 5.1 Encender zapatilla enchufes ubicada en el piso a un costado de la base del radiotelescopio. Comenzarán a funcionar los ventiladores del radiotelescopio.
- 5.2 Encender switch de color blanco ubicado en el *junction box*, caja adjunta a la base del radiotelescopio.
- 5.3 Desbloquear Telescope Drive Control
 - 5.3.1 En el rack "Telescope Drive Control" los 4 LEDs de OUTPUT (CH.A y CH.B de Azimut y Elevación) del lado izquierdo aparecerán en rojo.
 - 5.3.2 En el mismo rack, pulsar botón amarillo llamado "RESET LIM/OS DETECTORS". Los 4 LEDs debiesen apagarse.
 - 5.3.3 Mover con precaución el switch "Limit/Overspeed brake control" de "locked" a "released (normal)". Si no se pudiese mover el switch, intentar prendiendo y apagando el rack.
 - 5.3.4 Comprobar que los switches "motor overload breakers" estén ON.

IMPORTANTE: Si alguno de los componentes y pasos arriba descritos no se completan, la comunicación con el computador presentará errores y no funcionará correctamente. Por lo tanto, para seguir con el siguiente paso 5 deben haber ocurrido con éxito TODOS los puntos anteriores.

6. Encendido computador Macintosh IICI y ejecución del programa de control



Figura 5: Computador de control Macintosh IICI

- 6.1 Pulsar botón ubicado detrás del computador o el botón de Power/Reset en el teclado.
- 6.2 Encender monitor Samsung SyncMaster 900p.
- 6.3 Esperar ~20 seg.
- 6.4 Doble click para correr programa Calan_control. π en la carpeta Calan control en el disco Carina.
- 6.5 Ir a Project y ejecutar opción RUN o bien ejecutar *Cmd + R* en el teclado.
- 6.6 Empieza a sonar un pito intermitente.
- 6.7 Apretar RETURN y se va el pito.
- 6.8 Consultar el UTC + 0 oficial a través de los sitios:
<http://www.time.gov/timezone.cgi?UTC/s/0/java>
<http://www.horaoficial.cl>
Ocupar el que entregue mayor precisión.
- 6.9 Escribir en ventana de Command:
`% uttime hh mm ss+ Δ`
donde “hh mm ss” es la hora oficial observada en línea y “ Δ ” es un lapso de tiempo que permite realizar la operación descrita a continuación. Por lo general, $\Delta \approx 10$ seg.
También se puede pulsar F12 y aparecerá escrito "% uttime".
Pulsar RETURN
- 6.10 Aparece el mensaje: HIT SPACE TO START CLOCKS.
- 6.11 Llevar la cuenta de la hora observada en línea y la escrita en pantalla (hh mm ss+ Δ). En el momento en que ambas coinciden pulsar SPACE.
- 6.12 Comprobar que la hora observada en pantalla bajo UTC (arriba a la derecha en la ventana de control) coincide con la observada en línea
- 6.13 En caso de obtener el mensaje MAC CLOCK & UT DISAGREE, corregir la hora del sistema en Control Panel, bajo la manzana en el escritorio del sistema operativo. La corrección debe ser hecha en base a la hora vista en línea.

7. Operación del Mini

LST	SOURCE	FOLDER	OBSERVER	SCAN#	UT DATE	UTC					
00:00:00	MAD	AEN_scans	AEN	1	3/08/11	00:00:00					
What, me worry?											
R. A.	DECLINATION	AZIMUTH	ELEVATION	OBS MODE							
ONPOS 19:19:04	14:09:46 *	COMMAND 180.00	45.00	Switched							
OFFPOS 19:02:36	17:22:37	ACTUAL 180.00	45.00	FET: OFF							
HOME POS 0:00:00	0:00:00	ERROR 0.00	0.00	EFFICIENCY %							
GALACTIC: 48.999	0.000	DOME 180.00		99 99							
ARC	BW	ARC	BW	RMS	FWHM	INTEG	ELAPSED	ON-OFF	CALIB		
OFFSET 0.0	0.0 W	0.0	0.0 N	0.00	1.3	10:00	0:00	0:15	0:01		
DMAP	LIST?	I	IMAX	J	JMAX	BW	COS?	HOM?	GRID	BRAKES	
0.0	N	1	1	1	1	0.125	Y	N	1		
OFFS: 0 from none					SMPL: none						
FREQUENCY			CALIBRATION								
RESTFREQ	LINE	HARM	T CAL	T WAT	TAU W	T REC					
115271.201	12 CO	23	252 K	270 K	0.291	250 K					
SYNTH SIG	VLSR	VANT	CHPCR	<TP>	<DP>	TDOME	STARTUP: 3/24 18:09 UT				
103.095214	0.0	-41.4	1.01	0 K	0.00 K	117 F	DEFAULTS				
SYNTH REF	OFFRQ	DEL	CALOK	TPOK	DPOK	T AMB	ORDER	MARKS	VELINT		
103.095214	0.0	0.25	5 %	10.0	10.0	60 F	1	1	-10.0	10.0	

Figura 6: Pantalla de estado programa de control.

- 7.1. Los distintos comandos y procedimientos pueden encontrarse en el *Observers Manual*. Los comandos deben ser ingresados en la ventana Command y ejecutados con la tecla RETURN.
- 7.2. Antes de ejecutar movimiento alguno constatar que nada se interpone en el paso del radiotelescopio (escaleras, cables tensos, personas).
- 7.3. En la ventana Monitor (figura 6) se encuentra la información del estado actual del radiotelescopio, la cual es de vital importancia durante su operación.
- 7.4. Para ejecutar una Macros escribir el comando “%exec nombre_macros”.
- 7.5. Una serie de comandos útiles (los más utilizados) se encuentran en las teclas de función (F1, F2, F3, ...) del teclado para su fácil acceso.
- 7.6. En caso de querer detener el movimiento del radiotelescopio ejecutar “%breaks”.
- 7.7. En caso de querer detener una observación ejecutar “%skill”.
- 7.8. El comando “%trackon” es de gran utilidad pues permite monitorear el estado de los encoders de posición con respecto a la orden de *pointing* entregada en todo momento.
- 7.9. Para salir del programa de control ejecutar “%halt”.

8. Apagado del radiotelescopio y los sistemas del Mini



Figura 7: “BRAKES” manual, comando manual para desactivar los frenos del radiotelescopio

- 8.1. Antes de apagar ejecutar “%brakes”. Luego, sujetar con la mano el radiotelescopio y usar el "BRAKES" manual. Apretar botón de elevación (EL) para soltar freno sin soltar el radiotelescopio con la mano. Liberar lentamente la mano de manera que el radiotelescopio vaya solo a su posición de equilibrio. Dejarlo en equilibrio y soltar botón de elevación (EL) para activar freno. De esta manera el radiotelescopio no queda forzado después de apagar.
- 8.2. En la ventana Command escribir:
- 8.3. % halt
- 8.4. Desaparecerán las ventanas del programa Calan_control.π
- 8.5. Ir a File y ejecutar opción Quit o bien pulsar en el teclado “cmd+Q”.
- 8.6. Ir a Special y ejecutar opción Shut Down.
- 8.7. El computador se apagará automáticamente.
- 8.8. Apagar switch blanco de caja "sector 2". Se oirán como saltan los breaks del rack "Telescope Drive Control".
- 8.9. Sólo si el Oscilador Local se encuentra apagado y desenchufado (enchufe amarillo), apagar zapatilla enchufes en la base del radiotelescopio. De lo contrario primero apagar el Oscilador Local según se indica en la sección Encendido y enclavamiento del Oscilador Local de esta misma guía.
- 8.10. Apagar los 7 equipos del sistema RACK, de abajo hacia arriba. Es decir, en orden inverso al paso 1.
- 8.11. Apagar el generador de ondas.
- 8.12. Apagar el rack del domo.
- 8.13. Beber una cerveza bien helada... !!!

TIPS

Alguna información relevante respecto al funcionamiento del MINI:

- Límites de Azimut: El azimut tiene una zona "ciega" donde no se alcanza a mover. Esto lo da físicamente el limit switch que se activa entre los ángulos 9.6° y 360° . En esos ángulos de azimut el radiotelescopio no permite hacer observaciones.
- Límites de Elevación: La elevación está limitada también físicamente por los limit switches. El rango de movimientos de elevación está entre -5° y 94° . Sin embargo el software sólo permite realizar observaciones en elevaciones menores a 80° y se recomienda siempre observar sobre los 30° .
- Lista de comandos: En el *Observers Manual* aparece una lista detallada con explicación de cada comando que se puede usar. Por ejemplo: uttime, aim, brakes, halt, observer, ts, ae, azf, elf, etcétera.
- Computador se congela: Si en la pantalla del computador ni el teclado ni el mouse responden, entonces hubo un serio problema del programa de control del radiotelescopio. En ese caso, revisar el funcionamiento del generador de ondas repitiendo el paso 3.9 y revisar estado de los racks. Luego re-bootear el computador apagando y prendiendo usando el switch ubicado detrás del computador.
- Encoders: Se puede chequear el funcionamiento de los encoders activando el switch del rack "Telescope drive I/O interface" de NORMAL a MANUAL y elegir el encoder que se desea revisar. Para esto el radiotelescopio debe estar frenado mediante el comando "%breaks". Si un encoder no llegase a funcionar es posible que la ampollita dentro del encoder se haya quemado. Reemplazar por una de repuesto que se ubican en estante de repuestos, cajonera con nombre: Encoder bulbs.
- Detención inesperada de movimientos: El radiotelescopio puede detenerse por 3 motivos:
 - se activan los limit switches que están físicamente en el radiotelescopio.
 - se detectan movimientos muy rápidos (overspeed).
 - motores ejercen mayor torque al permitido (overload).
- En los dos primeros casos, se debe repetir el paso 4.3 y volver a 6. En el tercer caso se debe mover el switch "motor overload breakers" de OFF a ON y hacer el paso 4.3 si es necesario.

IMPORTANTE: Leer con atención y concentración cada punto en detalle y seguir paso a paso en estricto orden.

Encendido espectrómetro angosto y ancho (0.1 y 1 MHz)

P. Vasquez, R. Bustos y R. Rodriguez
Departamento de Astronomía
Laboratorio de Ondas Milimétricas
Universidad de Chile

El espectrómetro del Mini corresponde al rack grande que se muestra en la figura 1. Este espectrómetro tiene 2 componentes principales que se diferencian por el ancho de banda de cada canal:

- 1- Banda angosta de 0.1 MHz.
- 2- Banda ancha de 1 MHz.

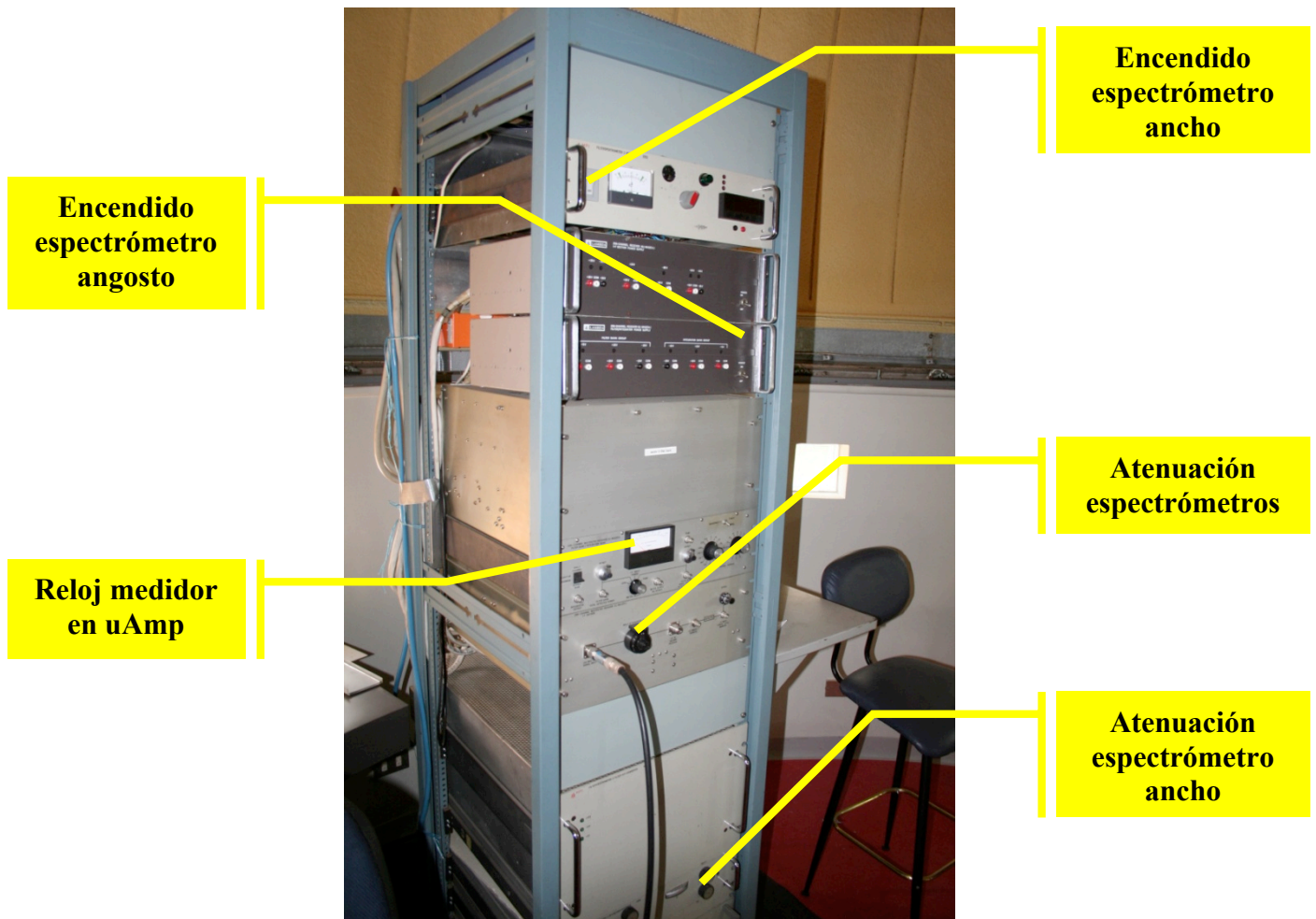


Figura 1: Rack espectrómetro de banda ancha y angosta

Originalmente, el espectrómetro usado en el Mini operó con el espectrómetro de 0.1 MHz y uno de 0.5 MHz. Posteriormente este último fue remplazado por un Acusto Opto Spectrometer (AOS)

el cual finalmente se reemplazó por el espectrómetro de 1 MHz del MPI (Max Plank Institute). Ambos espectrómetros no funcionan simultáneamente. Un *switch* en el Rack que indica 1 MHz - 0.1 MHz a la derecha del sector del medidor en uAmp permite seleccionar el espectrómetro a usar.

El espectrómetro ancho es reconocible por:

- las siglas MPI de color rojo en la equina superior izquierda.
- paneles de color crema.
- hay 5 paneles ubicados en la parte más baja de rack.
- hay 1 panel ubicado en la parte más alta del rack.

El resto de los paneles corresponden al angosto de 0.1 MHz.

Ambos espectrómetros dividen la señal de entrada en 256 canales, los cuales están divididos internamente en 16 super-canales de 16 canales cada uno.

Para encender el espectrómetro angosto (0.1 MHz) se debe:

1. Constatar que la señal IF de salida del receptor del *back end* esté conectado a la entrada 150 MHz I-F INPUT SIGNAL en la parte frontal del rack del espectrómetro. Este conector está ubicado en el mismo panel donde está atenuador, a la izquierda del panel en la parte central del Rack.
2. Encender la zapatilla de 110 V ubicada en la parte posterior del Rack (*switch* blanco zapatilla negra).
3. Enchufar el ventilador auxiliar provisorio que se encuentra en la parte posterior para evitar el calentamiento del banco de filtros a la red de 220 V.
4. Activar los dos *switches* de encendido en el panel de color café oscuro del Rack, ubicado a una altura de 1.60 m aproximadamente. Ambos switches ubicados a mano derecha se deben mover a Power ON.
5. En la parte central del Rack al costado derecho del del reloj de medición de potencia (en μ Amp) seleccionar el *switch* en 0.1 MHz.
6. En el panel ubicado debajo del reloj de medición de potencia (en μ Amp), hay un seleccionador de INPUT ATTENUATION (dB). A esta entrada se le ha sumado una atenuación fija de 6 dB para evitar reflexiones.
7. Ajustar los niveles de atenuación para obtener aproximadamente un valor de 20 μ Amp en la aguja indicadora.
 - 7.1. Si el receptor está a temperatura ambiente, dejar la atenuación de entrada en 43 dB (total de 49) para luego ir bajando la atenuación en la medida que se vaya recibiendo señal desde el receptor.
 - 7.2. Si el receptor está en frío con Nitrógeno líquido a 77 K ó -196 C, dejar la atenuación de entrada en 52 dB (total de 58) para luego ir bajando la atenuación en la medida que se vaya recibiendo señal desde el receptor.
8. Para apagar el espectrómetro desactivar los *switches* Power ON y el *switch* de la zapatilla de 110 V en la parte trasera.

Para encender el espectrómetro ancho (1 MHz) MPI se debe:

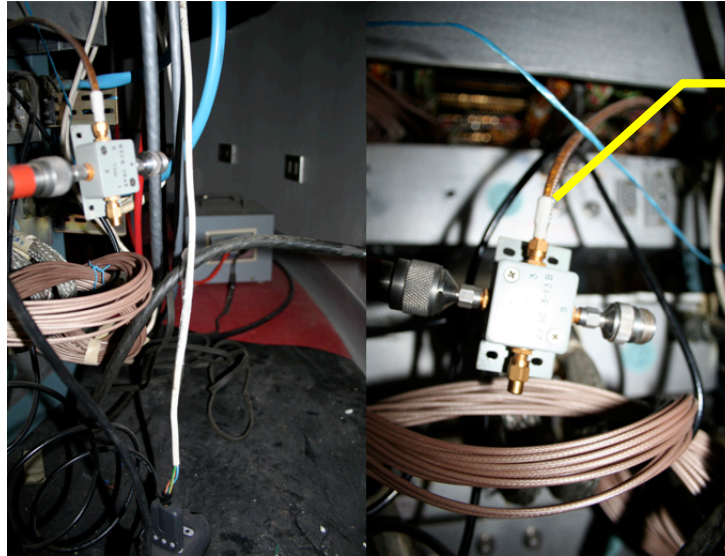


Figura 2: Conexión del espectrómetro ancho

1. Constatar que la señal proveniente de la salida “IF to second receiver” al lado derecho del atenuador de los espectrómetros en la parte central del Rack esté conectada a la entrada del espectrómetro ancho ubicada en la parte trasera del rack (figura 2). Este conector es seguido de un *split* y llega a un equipo que tiene los atenuadores por frente en la parte baja del Rack, separado en secciones A y B.
2. Encender la zapatilla de 220 V ubicada en la parte posterior del rack (*switch* blanco).
3. Activar el *switch* blanco ON en la parte superior del Rack. Un sonido corto será efectuado.
4. En la parte central del Rack al costado derecho del reloj de medición de potencia (en μAmp) seleccionar el *switch* en 1 MHz.
5. En el panel ubicado en la parte inferior del Rack seleccionar la atenuación para ambos canales A y B de manera que en el reloj de medición de potencia asociado a cada uno de los atenuadores la corriente registrada sea cercana a los 20 μAmp . Esta atenuación no debiese ser cambiada regularmente. El atenuador ubicado en la parte central del Rack también atenúa la señal en este caso.
6. Para apagar el espectrómetro desactivar el *switch* blanco ON y el *switch* de la zapatilla de 220 V en la parte trasera.

Para obtener las instrucciones de cómo encender y sintonizar el receptor, ir al documento (adjunto) “Guía de operación del receptor”.

Encendido y Enclavamiento receptor Mini

P. Vasquez, R. Bustos y N. Reyes
Departamento de Astronomía
Laboratorio de Ondas Milimétricas
Universidad de Chile

Este documento describe el sistema de encendido y enclavamiento del receptor de del MINI. Se contemplan 2 sistemas de encendido: encendido básico (sin enclavamiento) y encendido completo (con enclavamiento). Los componentes principales del receptor son:

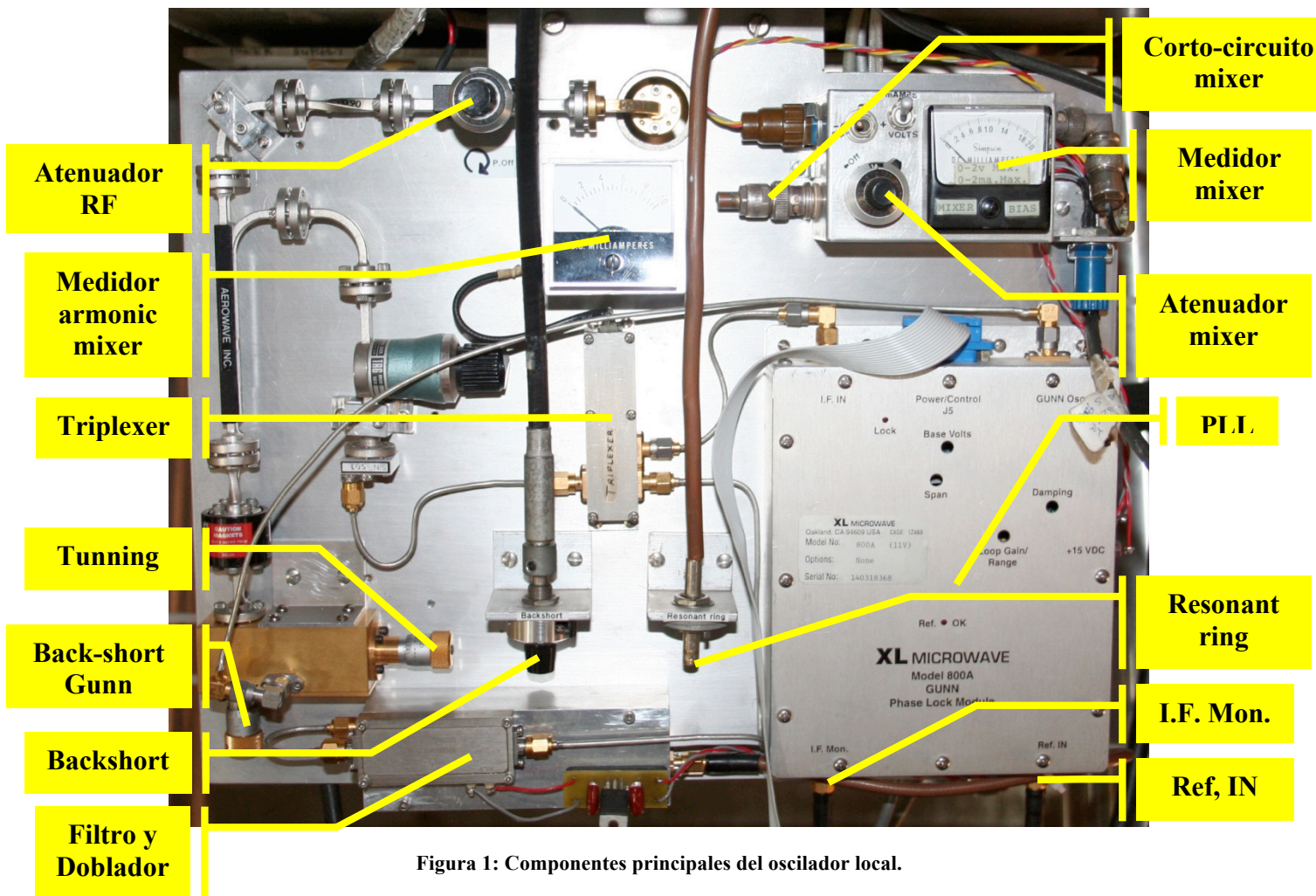


Figura 1: Componentes principales del oscilador local.

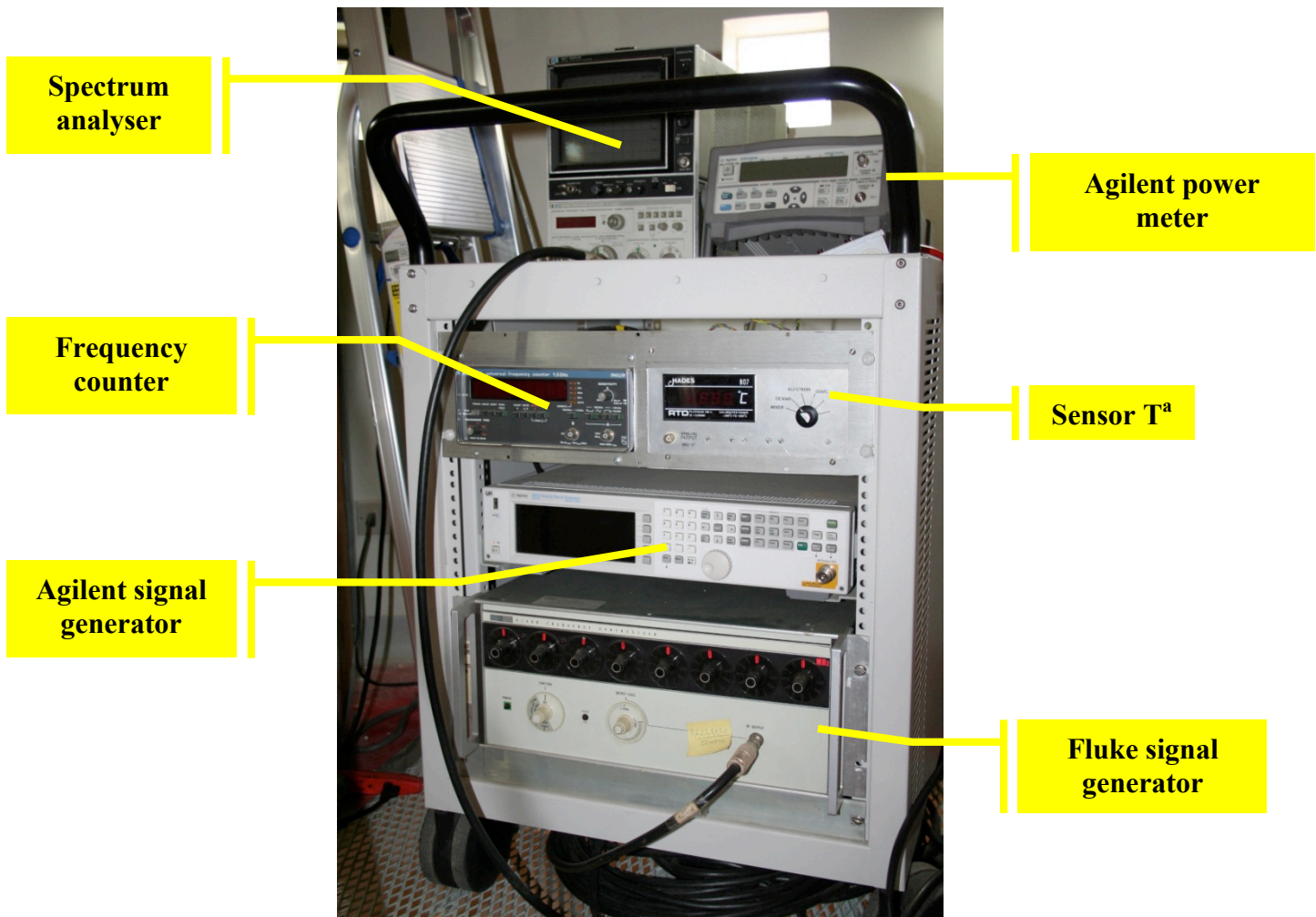


Figura 2: Equipos Auxiliares.

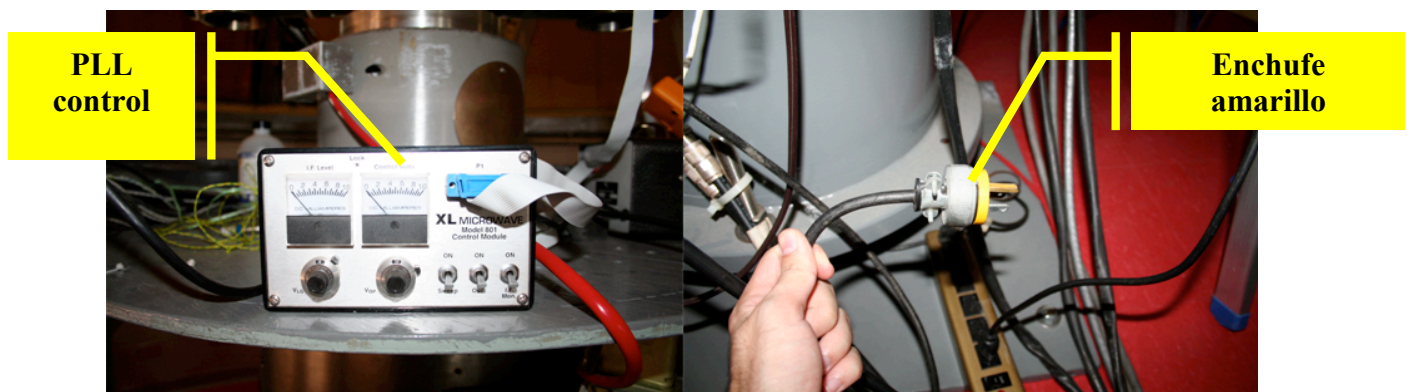


Figura 3: Izq: PLL control. Der: Enchufe Amarillo Oscilador Local

1. Encendido Completo (con enclavamiento):

Lista de pasos para encender el receptor y enclavarlo. Los equipos descritos en las figuras 1, 2 y 3 aparecen en letra negrilla. **Por el momento se recomienda enclavar el oscilador sólo para observar en 115 GHz o transición 12CO y NO otra.** Enclavarlo en otra frecuencia genera potencias capaces de dañar irreparablemente el mezclador. Mientras no se disponga de un sistema para monitorear directamente la potencia entregada al mezclador por el oscilador local se recomienda observar sólo en 115 GHz.

- 1.1. Verificar que el **corto-circuito mixer** esté puesto (Figura 1).
- 1.2. Enchufar sistema a la corriente con el **Enchufe Amarillo** en la zapatilla que se encuentra en la base del radiotelescopio (Figura 3).
- 1.3. En el **PLL control** encender todos los *switches* a ON (OSC, SWEEP y IF MON), y comprobar que los voltajes indican $V_{op} = 10 \text{ v}$ y $V_{lg} = 0$ (Figura 3).
- 1.4. Sacar **corto-circuito mixer** (Figura 1).
- 1.5. Ajustar el **tunning** y el **back-short gunn** según la transición que se desee observar usando valores de Tabla 1. Leer con cuidado los valores marcados en las perillas (Figura 1).
- 1.6. Encender el **Spectrum analyser** (Figura 2).
- 1.7. Comprobar que la potencia del **Fluke signal generator** sea +3 dbm, perilla blanca al centro del aparato con el nombre “OUTPUT LEVEL” (mayor potencia puede dañar el PLL) (Figura 2).
- 1.8. Encender el **Fluke signal generator** girando la perilla blanca de la izquierda llamada “FUNCTION” hasta la posición 10-160 MHz. Comprobar que se encuentre ajustado en 80 Mhz según las perillas negras. Esto logra que entregue la referencia de 80 MHz al **PLL**. El led Ref. OK debiera encenderse en el **PLL**, de lo contrario corroborar que la conexión sea correcta entre el **Fluke signal generator** y la entrada **Ref. IN** del **PLL** (Figura 2).
- 1.9. Encender el **Agilent signal generator** (Figura 2).
- 1.10. Ajustar la frecuencia en el **Agilent signal generator** según la transición que se desee observar usando los valores de la tabla 1. Para esto pulsar el botón “FREQ”, luego ingresar la frecuencia deseada con el teclado numérico y aceptar pulsando GHz o MHz (Figura 2).
- 1.11. Ajustar la potencia del **Agilent signal generator** en 0 dB, para esto pulsar el botón “AMPTD”, luego pulsar 0 y dBm. Activar la frecuencia de salida del generador mediante el botón “RF on/off”. Aumentar la potencia en pasos de 0.1 dB con la ayuda de la rueda en el centro del panel de control. Esto genera un aumento en la corriente del **medidor armonic mixer** (Figura 1) hasta llegar a 2 mA, no sobrepasar este valor. Usualmente dejar potencia del Agilent signal generator en 15 dBm.
- 1.12. En caso de que la corriente en el **medidor armonic mixer** no llegue a 2 mA constatar que la conexión desde el **Agilent signal generator** (Figura 2) pasando por el **Flitro y Doubler** (Figura 1) hasta llegar al **Triplexer** sea correcta.
- 1.13. Durante este proceso debe aparecer un peak en el **spectrum analyzer** (Figura 2) a una frecuencia cercana a 80 MHz. Esta señal proviene de la salida **I.F. Mon.** del **PLL** (Figura 1).
- 1.14. Si la señal queda enclavada, debe encenderse el led rojo LOCK del **PLL** (Figura 1 y 3).
- 1.15. Si la señal IF no quedase enclavada en 80 MHz, probar ajustando cuidadosamente el **Tunning** (Figura 1) del oscilador Gunn en torno al valor indicado en la tabla 1. Durante

- el proceso observar la señal IF en el **Spectrum analyser** (Figura 2) para ayudarse en el proceso de enclavamiento.
- 1.16. Si la señal IF no quedase enclavada en 80 MHz, probar ajustando el V_{LG} del **PLL control**, dejándolo en un valor intermedio (Figura 3).
 - 1.17. En caso de no observar señal alguna en el **Spectrum analyser**, (Figura 2) corroborar que la conexión entre la salida **I.F. Mon.** del **PLL** (Figura 1) y el **Spectrum analyser** sea correcta.
 - 1.18. Girar lentamente el **Atenuador mixer** hasta que haya corriente 0.2 mA en **Medidor mixer** (Figura 1).
 - 1.19. Girar **Atenuador RF** hasta un valor superior al indicado en la columna “Valor aten. RF” de la tabla 1 (valor superior => mayor atenuación). **Este valor nunca debe ser menor al indicado en la tabla para ninguna transición**, una atenuación menor puede dañar irreparablemente el mezclador del receptor. Para la transición de 12CO (115 GHz) dejar el **Atenuador RF** en 3 típicamente (Figura 1).
 - 1.20. Ajustar el **Resonant ring** hasta llegar al máximo de corriente en el **Medidor mixer**. La corriente nunca debe sobrepasar los 0.6 mA. En caso que se sobrepase este valor aumentar el valor del **Atenuador RF** (en el sentido indicado en la etiqueta “P. Off”) (Figura 1).
 - 1.21. También es posible ajustar el **Back-short mixer** (Figura 1). Sin embargo, se recomienda hacer esto cuando se esté midiendo temperaturas de ruido del receptor con objeto de minimizarla. No es recomendable realizar este ajuste muy seguido ya que acorta la vida útil del mezclador.
 - 1.22. En caso que se desee monitorear directamente la potencia con el **Agilent power meter** (Figura 2) este debe ser conectado al *back end*, en la parte posterior de la caja del receptor en la antena.

Tran.	Frec. Tx. [GHz]	Frec. Gunn [GHz]	Tuning	Backshort Gunn	N	Frec. Agil. [GHz]	Valor aten. RF
12CO	115.2712	113.8812	2.5	97	40	2.84503	1.68
13CO	110.22014	108.81135	7.2	127	40	2.718284	3.02
C18O	109.78217	108.39217	7.8	64	40	2.707804	3.09
CS	97.98095	96.59095	26	23	34	2.838557	3.9
HCO+	89.18853	87.79853	52	100	32	2.741204	4.25
SiO	86.84696	85.45696	60.8	110	30	2.845899	4.11
H13CO+	86.75433	85.36433	61	110	30	2.842811	4.12

Tabla 1: Valores enclavamiento oscilador local

En la tabla 1 la frecuencia del **Agilent signal generator** se calcula como: $f_{SG} = (f_{GUNN} - 80)/(N)$, donde N es la armónica utilizada, se recomienda N=40, sin embargo el valor se puede encontrar entre 40 y 30. En la Tabla 1 se entregan los valores precalculados.

Nota:

Durante las observaciones el computador envía la frecuencia deseada al **Agilent signal generator**. Para poder ingresar comandos de forma manual se debe presionar el botón “Local Cancel/(Esc)”. Se recomienda realizar modificaciones únicamente de potencia, para obtener corriente óptima en el **armonic mixer**. En caso de perder el enclavamiento (luz de LOCK apagada, sin señal de 80 MHz en el **Spectrum Analyser**), repetir pasos 10 a 13.

2. Encendido Básico (sin enclavamiento):

Este encendido contempla solo algunos de los mismos pasos que tiene el encendido completo, para el encendido básico, seguir los siguientes pasos del encendido completo:

1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19.

3. Apagado:

- 3.1. Cerrar **atenuador RF** completamente en la dirección que indica la etiqueta “P. Off” (Power Off). Esto debe hacer que el **medidor mixer** baje a 0.2 mA (Figura 1).
- 3.2. Cerrar **atenuador mixer** completamente en la dirección que indica la etiqueta “off” y dejar **medidor mixer** en 0 mA (Figura 1).
- 3.3. Apagar **Agilent signal generator**, **Fluke signal generator** y **Spectrum analyser** (Figura 2).
- 3.4. Apagar **PLL control**. Mover switches a OFF en OSC, SWEEP e IF MON (Figura 3).
- 3.5. Poner **corto-circuito mixer** (Figura 1).
- 3.6. Desenchufar el **Enchufe amarillo** (Figura 3).

C. Procedimiento *Sun pointing*

Sun Pointing Procedure

1. Enter the command **suntest**. This loads the sunpointing program and switches to **RD** mode, and tells you the last date it was run. When it asks you if you need new coordinates, enter **N** only if someone has already run the program today (and therefore already entered today's coordinates). Otherwise, enter **Y**, and then enter the Apparent Right Ascension (RA) and Apparent Declination (Dec) of the sun (which can be found in the Astronomical Almanac the control room) for today's and tomorrow's UT Dates (the program can then interpolate the sun's position to the exact time of day). [NOTE: Remember to enter the minus signs if the Dec is negative. If the Dec is negative, but less than 1 degree in absolute value, put the minus sign on the minutes, not on the 0 degrees.]
2. Increase the attenuators on the 0.5 MHz backend by 5 dB (normally the attenuation is around 14 dB). Enter the command **sunpoint**. **WARNING:** *Make sure the back-end attenuation is high enough before scanning the sun.* Look at the power meter on the 0.5 MHz backend--if the needle is up near 100 on the scale, you need to increase the attenuation even more. Only when the attenuation is high enough should you proceed to the next step.
3. Enter the command **sunscan**, which will cause the program to scan the limbs of the sun in elevation (EL), then in azimuth (AZ), taking 50 measurements on each scan. It will then generate a plot of total power vs. AZ offset (the "A" points), and of total power vs. EL offset (the "E" points). [NOTE: If a hazard interrupts either scan, type **reload** and then **sunscan** again.] To remake this plot, type **sunplot**.
4. To determine the apparent encoder offset errors, type **offsets**. The AZ, then EL, will be iterated three times to give results in encoder bits. They should converge quickly. The paddleboard can be used to change the offsets manually while viewing the sun through the finder scope. [WARNING: *Always make sure the sun filter is in place before attempting to look through the finder scope at the sun!*] The command for this is **paddle offset-in-bits sampling-rate-in-seconds**. The computer will read the paddle buttons at the requested rate and offset each time it finds a button down by the requested amount. If no arguments are given after the paddle command, it uses the default settings: 0.5 bit offsets, sampling rate 0.25 seconds.
5. If the pointing error in either axis is greater than 3 bits, check the clock. If the clock is already set correctly, notify someone before continuing observations. If not, fix the clock setting, then enter **sunend** and then **suntest** to end the test and repeat.
6. When done, type **sunend**. The program will remind you to reset the backend attenuation. Make sure the telescope is no longer pointing at the sun (use the **aim** command) before removing the attenuation (check the power meter). [NOTE: Make sure the attenuator knob is really seated by rocking it slightly left and right.]

D. Procedimiento *Star pointing*

Starpointing Procedure

1. Add more southern-sky stars to the text-only file *starlist* in the *1.2 m control* folder to obtain good azimuth-elevation coverage. (Use the starpointing command **plt_stars 1 0** to plot the az-el positions of the stars; see below.) [NOTE: Stars with high proper motions should not be used.]
2. Type **restore** to make sure you are using the default encoder offsets. Type **azf** and **elf** to get the current encoder offsets; record these.
3. Type **starpoint** to enter starpointing mode. (This command allocates the starpointing arrays, reads in the starlist, and changes the format of the top line of the monitor window.) Type **trackon** so that the pointing can be monitored.
4. Type **star** to take a measurement. This will plot as a function of az and el the points observed so far (•) and the star positions (*). Pick a star with the cursor, use the paddle buttons to center the star on the cross-hairs while looking through the finder telescope, and then hit the center paddle button. If there is any problem, hit the center button anyway, then type **n-** to remove the last measurement from the list. Repeat for about 50 stars, starting in the west and working right to the other side, making two “passes” around.
5. At any time, type:
 - **4plot** to make the four most interesting plots of the observed data: daz vs. az (upper left), del vs. az (upper right), daz vs. el (lower left), and del vs. el (lower right). Errors are in arc-minutes, azimuth and elevation in degrees.
 - **lookall** to type out the raw data taken so far
 - **n-** to remove the last measurement from the list. The number of points done so far, and the encoder offsets in use are indicated on the top line of the monitor
6. When done observing, type **starfit 4** to do a 4-parameter fit. The bottom of the fit will look something like this:

```
observed sig: 0.75 arcmin
```

```
corrected sig: 0.30 arcmin
```

```
0.418    0.043    1.000
-0.129   0.064   -0.013    1.000
0.372    0.058   -0.028    0.423    1.000
0.468    0.051    0.053   -0.004    0.029
1.000
```


The four numbers in the first column are the corrections which must be applied to the az and el encoder offsets, and longitude and latitude of the observatory.

7. Assuming the corrections above, type **starcorr 0.418 -0.129 0.372 0.468** to get them in more usable units. This routine will type something like:

```
lats: -0.526369979   latc: -0.526369976
diff: -0.000000003

DAZF (BITS): -0.39
DELF (BITS):  1.27
DLONG (SEC): -1.49
COSPFI:  0.864704865
SINPHI: -0.502280296
```

IMPORTANT: **starcorr** applies the delta-latitude to the current latitude as determined from COSPHI & SINPHI in *asm_defs.h*. Thus *asm_defs.h* must contain the same values as were used for the starpointing, or else execute **starcorr** only on the telescope computer

Record these numbers, (or better, paste them into a text file). **lats** and **latc** are both the latitude of the observatory in radians, one determined from SINPHI, the other from COSPHI; they are typed out as a check on the routine which sets these values. Their difference, **diff**, should be very small.

8. Type **endstars** to leave starpointing mode.

9. Type **halt** to stop the observing program.

10. There should be a file called *stardata* in the *1.2 m control* folder; this contains the starpointing data. You should rename the file, or at least move it out of that folder. It would be a good idea to copy it to a floppy. If you start another starpointing without moving or renaming the file, the data will be overwritten.

11. At any time, you can reenter the starpointing program, with the command **starpoint**, and then type **datain name** to read in the data from a previous starpointing and analyze it.

Applying Corrections

1. Change AZO and ELO (in *asm_defs.h*) by the amounts indicated by **starcorr**. In the example above, if AZO and ELO were -1332.67 and 3842.86 respectively, change them to -1333.06 and 3844.13.

2. Change CSPHI and SNPHI (in *asm_defs.h*) to the values of COSPHI and SINPHI typed

out by **starcorr**. Record the date of the starpointing in *asm_defs.h* next to these parameters (as a comment).

3. Change the longitude in *macrodefs.h* by the amount indicated by **starcorr**. In the example above, if LONG_S were set to 13.4 in *macrodefs.h*, change it to 11.91.

4. It would be a good idea to do another starpointing (at least 10 stars or so) after the corrections are put in to make sure the pointing errors have improved as expected.

Other Starpointing Commands

plt_stars *stars points*

This plots the stars (*) and/or points observed so far (•) as a function of azimuth and elevation.

plt_stars 1 0 plots only the stars

plt_stars 0 1 plots only the observed points

plt_stars 1 1 plots both stars and observed points

plt_sdata *x y*

This makes a plot of x vs. y, where x and y can be:

1 -- azimuth

2 -- elevation

3 -- (az error)*cos(el)

4 -- el error

newres

If this command is executed, any subsequent **starfit** will replace the observed errors with the fit residuals (in the file named *stardata*). Following **newres** and **starfit 4**, the command **4plot** will plot the residuals--essentially predictions of the errors after the fit corrections are applied. [WARNING: Make sure the *stardata* file is backed up before executing this command (see above), or the raw data will be overwritten by the residuals.]

oldres

This is the default, and specifies that the **starfit** not replace the raw data with the residuals.

starfit *n*

Besides the standard 4 parameter fit, you can also try n=2 to fit only the encoder offsets (not recommended), or n=5 to add a term to account for non-perpendicularity of the azimuth and elevation axes. If the n=5 fit gives a significantly lower "corrected sig" than n=4, contact Tom Dame to discuss application of this fifth parameter (currently it is set to zero).