



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PUESTA EN SERVICIO DEL TELESCOPIO CPT (CHARTS PATHFINDER
TELESCOPE) EN CERRO CALÁN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

VICENTE RODRIGO AITKEN ALBORNOZ

PROFESOR GUÍA:
RICARDO FINGER CAMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
TOMAS CASSANELLI ESPEJO
FRANCO CUROTT MOLINA

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por:
NOMBRE INSTITUCIÓN

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICÓ
POR: VICENTE RODRIGO AITKEN ALBORNOZ
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: RICARDO FIGNER CAMUS

**PUESTA EN SERVICIO DEL TELESCOPIO CPT (CHARTS PATHFINDER
TELESCOPE) EN CERRO CALÁN**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

*But remember this, Japanese boy...
airplanes are not tools for war.
They are not for making money.
Airplanes are beautiful dreams.
Engineers turn dreams into reality.*

- Hayao Miyazaki

Agradecimientos

 Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.3.1. Ensamblado Mecánico	2
1.3.2. Diseño del receptor	2
1.3.3. Primera Luz y Caracterización	2
1.3.4. Observar Hidrógeno neutro	2
2. Antecedentes	3
2.1. Conceptos previos	3
2.1.1. Radiotelescopio	3
2.1.2. Línea de Hidrógeno Neutro	3
2.1.3. CHARTS y FRB	3
2.2. Marco teórico	4
2.2.1. Patrón de Radiación	4
2.2.2. Polarización	5
2.2.3. Antenas de Apertura	6
2.2.4. Antena Alimentadora	7
2.2.5. Receptor Heterodino	7
2.3. Estado del Arte	8
2.3.1. Telescopio Mini	9
2.3.2. Telescopio FAST	9
2.3.3. Telescopio SRT	10
2.3.4. Observatorio CHIME	10
2.3.5. Guía de Construcción de Radiotelescopio con una RTL-SDR	11
3. Diseño y Simulacion	12
4. Implementacion y Ensamblaje	13
5. Analisis de Resultados	14
6. Conclusiones	15
Bibliografia	16

Índice de Ilustraciones

2.1.	Patrón de radiación del telescopio Mini en el cerro Tololo con cortes en azimut y elevación[2].	4
2.2.	Patrón de radiación teórico que compara la radiación isotrópica con la radiación de una antena directiva con la medida de haz de media potencia y la existencia de lóbulos laterales [3].	5
2.3.	A la izquierda se tiene una polarización lineal del campo electromagnético y a la derecha una polarización circular izquierda[2].	6
2.4.	Geometría característica de un reflector parabólico para el tipo de Foco Primario[2].	7
2.5.	Diagrama de bloques de un receptor heterodino para astronomía de tipo DSB.	8
2.6.	Telescopio MINI en el Observatorio Cerro Calan de la Facultad de Ciencia Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile[5]	9
2.7.	Telescopio Fast en la provincia de Guizhou, China [6].	9
2.8.	Telescopio SRT del MIT en la azotea del departamento de ingeniería eléctrica de la FCFM[7].	10
2.9.	Telescopio experimental CHIME en Canada [8].	10
2.10.	Software utilizado por RTL-SDR Blog para observar Hidrógeno neutro con una RTL-SDR[9].	11

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

La construcción de un nuevo instrumento de observación astronómica conlleva diversos desafíos, oportunidades y nuevos conocimientos. Por lo que el posicionamiento un nuevo radiotelescopio de 3 metros de diámetro es un proyecto que involucra distintos aspectos mecánicos, electrónicos, de radiofrecuencia o RF y de software. Para asegurar un funcionamiento correcto y poder realizar observaciones astronómicas para aportar a nuestros astrónomos y a la comunidad científica.

En la cumbre del Cerro Calan, en la ciudad de Santiago, se encuentra el Observatorio Astronómico Nacional y el departamento de astronomía de la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile. Aquí se encuentra el telescopio CPT (CHARTS Pathfinder Telescope), un radiotelescopio de reflector parabólico de 3 metros de diámetro, de superficie de malla metálica y con una montura alt azimutal. En este documento se detalla el proceso de construcción mecánica, electrónica y de software para la caracterización y puesta en servicio de este telescopio.

Las capacidades de observación de un telescopio de radio son definidas con las características de su antena receptora y sus propiedades de sensibilidad, resolución angular y ancho de banda. Lo cual es también definido por el propósito de construcción y los intereses científicos de los investigadores. Para el caso del CPT, se busca observar la línea de emisión de hidrógeno neutro, a una frecuencia de 1420 MHz, con el propósito de validar la funcionalidad del telescopio para realizar mediciones de radioastronomía. Ya que la emisión de hidrógeno neutro o H1 es una de las más fuertes en el espectro de radio y es una de las más estudiadas.

Luego de la puesta en servicio del telescopio, se espera poder adaptar el receptor para un ancho de banda superior y realizar estudios de interferometría de larga base con otros telescopios, estudiar la detección temprana de llamaradas solares y apoyar al proyecto CHARTS (Canadian-Chilean Array for Radio Transient Studies) en el estudio del fenómeno astrofísico de ráfagas rápidas de radio (FRB). Por lo que todas las decisiones de diseño y construcción, fueron tomadas teniendo en cuenta todas las capacidades que se pensaron en la concepción de este instrumento.

Durante este trabajo se detallan los procesos de construcción mecánica del reflector pa-

rabólico, el ensamblaje de la montura alt azimutal, el diseño y construcción del receptor de radiofrecuencia. También se detallan los trabajos de caracterización del telescopio con la medición de su patrón de radiación, su sensibilidad y resolución angular. Para culminar con su primera luz, un evento en el cual todo telescopio observa por primera vez una fuente astronómica, dando al inicio a su vida útil como instrumento de observación.

1.2. Objetivo General

Las motivaciones que inspiraron la memoria incluyen la ayuda a la comunidad científica en los estudios cosmológicos y de radioastronomía, entregar nuevas herramientas para la investigación de los astrónomos de la universidad y los atractivos bajos costos que conllevan el diseño a construir.

1.3. Objetivos Específicos

1.3.1. Ensamblado Mecánico

Completar el ensamblado del reflector parabólico a utilizar, asegurando su integridad mecánica y funcionamiento del motor en su montura.

1.3.2. Diseño del receptor

Evaluación de las distintas opciones de diseño de la antena receptora y construir la electrónica de adquisición para las frecuencias de interés.

1.3.3. Primera Luz y Caracterización

Lograr caracterizar los parámetros de funcionamiento del telescopio y detectar las primeras ondas de radio.

1.3.4. Observar Hidrógeno neutro

Iniciar los estudios astronómicos observando una de las bandas de diseño de 1420 MHz o línea de Hidrógeno.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Conceptos previos

2.1.1. Radiotelescopio

En la astronomía clásica, se utilizan telescopios que operan en el rango visible del espectro electromagnético, el mismo rango que tiene el ojo humano, donde estos actúan como el receptor o, al mismo tiempo, una cámara fotográfica. En contraste, un radiotelescopio es un instrumento que observa en longitudes de onda mucho más grandes en el espectro de radio. Estos telescopios, usualmente, son constituidos por un reflector parabólico que concentra la luz obtenida en su foco, donde se ubica un receptor de radio.

Un telescopio de radio tiene consideraciones distintas a uno óptico, ya que el anterior puede observar con múltiples receptores a la vez como lo es el caso de una cámara fotográfica, pero uno de radio, debe tener un receptor de mayor envergadura proporcional con el tamaño de la longitud de onda, lo que limita el número de receptores a uno en la gran mayoría de los casos.

Otro punto importante a destacar, es la característica de ciencia que se puede realizar con estos telescopios, ya que para el caso de la línea de Hidrógeno, se pueden observar fuentes que no necesariamente provienen de estrellas o, para frecuencias más bajas, estrellas con que irradian fuera del rango visible.

2.1.2. Línea de Hidrógeno Neutro

El movimiento de un electrón en un átomo de Hidrógeno neutro, genera un campo magnético que se acopla con los espines del protón y el electrón. “Este acople da cuenta de la radiación a 1420 MHz que viene de la transición entre dos niveles energéticos de primer nivel del estado fundamental del hidrógeno” [1].

Observar H1 permite estudiar la evolución del universo primitivo, rescatando información proveniente de la transición de la “Época Oscura” a la formación de las primeras fuentes de luminosas del universo.

2.1.3. CHARTS y FRB

Los fenómenos astrofísicos transitorios de radio o FRB, son eventos de extremadamente corta duración y origen desconocido que ocurren en un amplio rango de frecuencias. Estos

pulsos inspiraron el proyecto CHARTS, para apoyar su búsqueda y estudio.

El proyecto CHARTS, es una colaboración entre la Universidad de Chile y la Universidad de Toronto con el objetivo de construir un arreglo de 128 sintonizadas para operar en el rango de 300MHz a 500MHz en el marco de la búsqueda de FRB.

2.2. Marco teórico

A continuación, se explicarán los conceptos, herramientas y fundamentos para sustentar la construcción y operación de un nuevo radiotelescopio. Incluyendo los elementos teóricos más relevantes para realizar este proyecto.

2.2.1. Patrón de Radiación

El patrón de radiación es el gráfico de la potencia transmitida por la antena, evaluada sobre una esfera de radio constante[2]. Usualmente, se estudian cortes del patrón que corresponden a las curvas en tres dimensiones de este, que son contenidas en la intersección de esta esfera pasando por el origen.

La medición de patrón de radiación, es la potencia que se obtiene en la aproximación de campo lejano. por lo que este es independiente de la distancia. El patrón de radiación, se define como el campo eléctrico y la potencia normalizada para ser expresada en decibelios que se representa por las siguientes ecuaciones.

$$\vec{F}(\theta, \Phi) = \frac{E(\vec{\theta}, \phi)}{\max|\vec{E}(\theta, \phi)|} \quad (2.1)$$

$$P(\Theta, \Phi) = |\vec{F}(\theta, \Phi)|^2 \quad (2.2)$$

$$P(\Theta, \Phi)_{dB} = 10 \log P(\Theta, \Phi) = 20 \log |\vec{F}| = F(\Theta, \Phi) \quad (2.3)$$

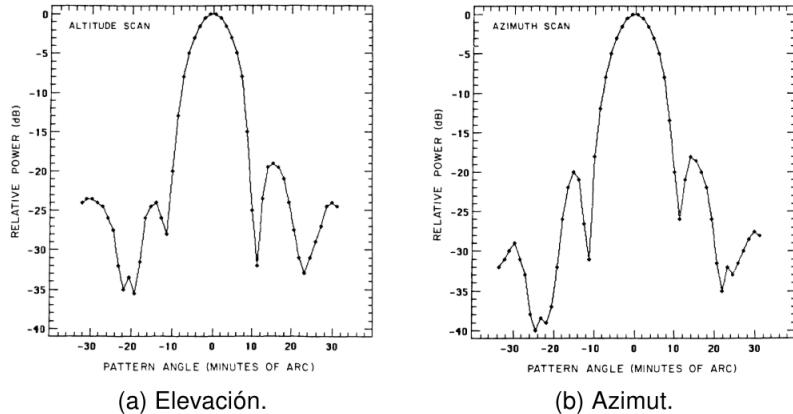


Figura 2.1: Patrón de radiación del telescopio Mini en el cerro Tololo con cortes en azimut y elevación[2].

A partir de patrón de radiación, como el de la figura 2.1, se pueden obtener características

muy relevantes para la caracterización y estudio de una antena y, particularmente, un radio-telescopio. Entre estas características, se encuentran la medida del ancho de haz de media potencia, o HPBM por su sigla en inglés.

También, se encuentra la radiactividad, que representa la concentración de potencia en un solo punto, definida como la razón entre el haz de mayor potencia de la antena estudiada y el haz de la antena isotrópica. Con esta medida, se define la ganancia y la eficiencia de antena, que se obtienen a partir de la potencia enfocada en la dirección deseada por el haz principal del patrón de radiación.

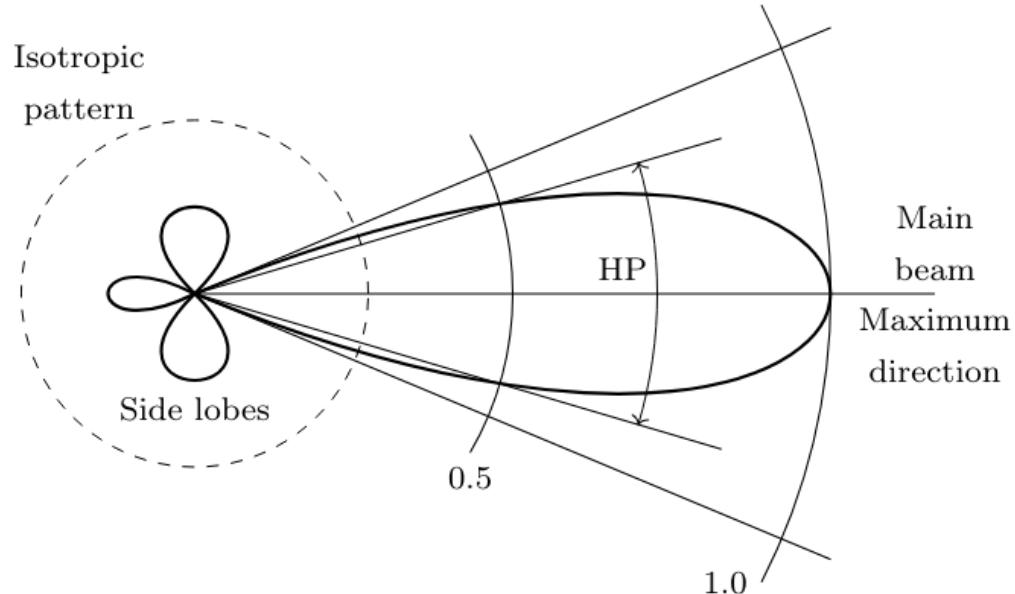


Figura 2.2: Patrón de radiación teórico que compara la radiación isotrópica con la radiación de una antena directiva con la medida de haz de media potencia y la existencia de lóbulos laterales [3].

La figura 2.2 representa un patrón de radiación producido por una antena altamente directiva ubicada en el centro de la circunferencia punteada. Esta antena está orientada para que la concentración de radiación sea hacia la derecha de la figura.

2.2.2. Polarización

La polarización de una antena hace referencia a la polarización del campo eléctrico y magnético que produce al irradiar potencia al medio. Convencionalmente, se utilizan 2 polarizaciones para las observaciones astronómicas y para las telecomunicaciones, la polarización lineal y la polarización circular.

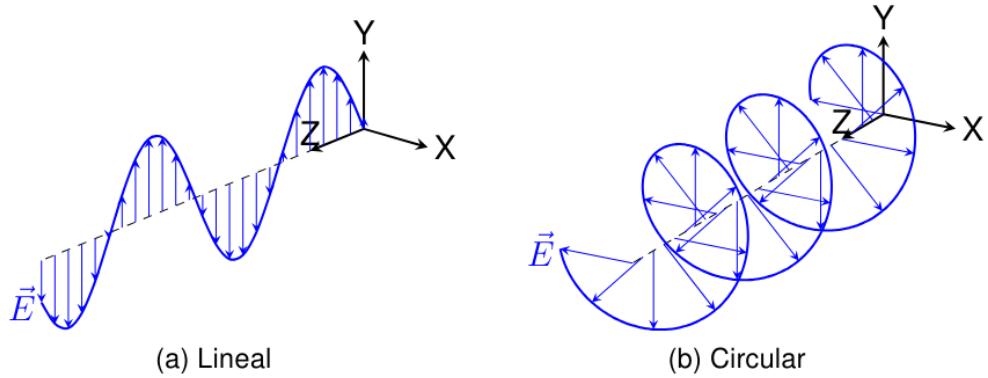


Figura 2.3: A la izquierda se tiene una polarización lineal del campo electromagnético y a la derecha una polarización circular izquierda[2].

La polarización lineal, se genera con el campo eléctrico contenido en un plano, como se puede ver en la figura 2.3. En contraste, la polarización circular se produce en un caso particular cuando el campo eléctrico rota con una frecuencia constante en torno a un eje y su magnitud es constante. De lo contrario, se produce una polarización elíptica en torno al eje de propagación, tal como se observa en la figura anterior.

Las distintas polarizaciones, se pueden generar por medios constructivos en la geometría de la antena o medios de alteración de fase, ya sea por efectos de largo eléctrico o modulaciones electrónicas para generar el desfase de las líneas alimentadoras.

2.2.3. Antenas de Apertura

Las antenas de apertura son aquellas que su funcionamiento es caracterizado por el campo generado en una superficie reflectante, la cual se denomina como apertura. Dentro de las antenas de apertura están las antenas de apertura parabólica que utilizan una superficie parabólica para irradiar potencia. Existen 4 tipos de configuraciones para las antenas parabólicas, *Cassegrain*, *Gregorian*, *off-axis* o fuera de foco y *axial feed* o Foco Primario. Esta última es el que se utilizará para el proyecto.

Estas antenas concentran la radiación en un punto focal dependiendo de su geometría de paraboloides. Usualmente, se instala la antena alimentadora en el foco de la parábola o en el foco de la segunda parábola para las antenas *Cassegrain* y *Gregorian*.

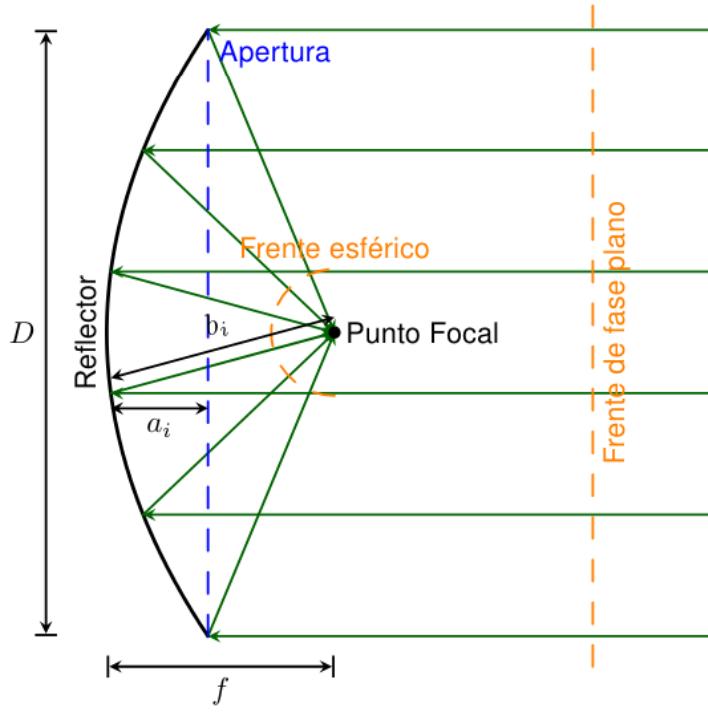


Figura 2.4: Geometría característica de un reflector parabólico para el tipo de Foco Primario[2].

La representación de seguimiento de rayos en dos dimensiones para un reflector parabólico en la figura 2.4, hace referencia al tipo de configuración a utilizar en la construcción del reflector del nuevo radio telescopio.

2.2.4. Antena Alimentadora

La antena alimentadora, es aquella antena que captura la radiación proveniente de los reflectores. Se debe ocupar una antena con un patrón de radiación directivo, con el objetivo de captar la mayor cantidad de la luz concentrada por el reflector.

Ejemplos de antenas directivas:

- Yagi-Uda
- Bocina
- Log-Periódica
- Antenas de semi espacio
- Antenas de parche

2.2.5. Receptor Heterodino

Los receptores heterodinos, o coherentes, son los más usados en la radioastronomía. Su función característica es convertir una señal de alta frecuencia a un rango de menor frecuencia, conservando la información de fase y de amplitud para poder ser digitalizada con facilidad[4].

Para esto, los receptores utilizan un mezclador con un oscilador local para adquirir la señal desde la antena alimentadora para luego ser procesada digitalmente.

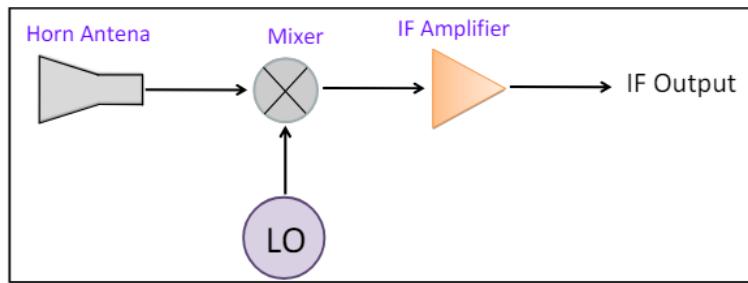


Figura 2.5: Diagrama de bloques de un receptor heterodino para astronomía de tipo DSB.

La figura 2.5 corresponde a un diagrama de bloques de la configuración más simple para un receptor heterodino. Contiene una antena receptora, un mezclador de radio frecuencia, un oscilador local y un amplificador de bajo ruido.

2.3. Estado del Arte

El estado del arte para radiotelescopios, en particular de radios telescopios de reflectores con diámetros de 3 metros o menos. En este caso, la principal línea de desarrollo es en la radio-interferometría y el uso de sistemas de bajo ruido, a la vez que la disminución de los costos para nuevos instrumentos.

Los esfuerzos para la búsqueda de FRB y, específicamente, en la detección del origen de estos pulsos de alta energía, puede lograrse con el uso de *Pathfinding* al correlacionar 2 telescopios separados por largas distancias para hacer interferometría de línea de base muy larga, o VLBI por su sigla en inglés (T. A. Cassanelli, 2021). Experimento que se quiere hacer con el proyecto CHARTS y este nuevo telescopio.

Luego, en el contexto de la construcción un nuevo radiotelescopio para observar la línea de 21cm, se tienen los siguientes exponentes que implementan diversas técnicas que inspiran el desarrollo y operación que se desea con el telescopio CPT.

2.3.1. Telescopio Mini



Figura 2.6: Telescopio MINI en el Observatorio Cerro Calan de la Facultad de Ciencia Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile[5]

El telescopio de la figura 2.6, se encuentra en el cerro Calán, a pocos metros de la ubicación de los cimientos para, CPT, exemplificando las consideraciones de operar en un ambiente extremadamente saturado de interferencia de radiofrecuencia que se puede encontrar en el centro de la ciudad principal del país como Santiago.

2.3.2. Telescopio FAST

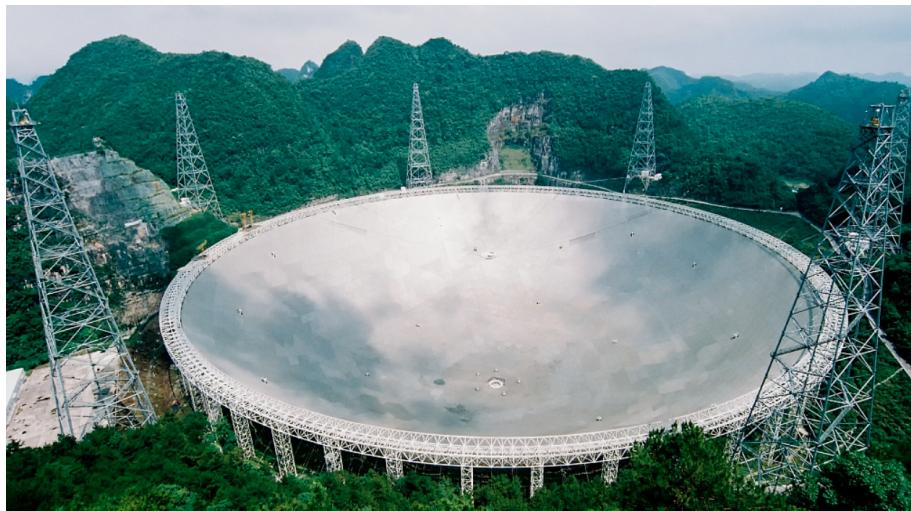


Figura 2.7: Telescopio Fast en la provincia de Guizhou, China [6].

La figura 2.7, corresponde a un telescopio de 500 metros de apertura con un alimentador posicionado en el foco de la superficie parabólica primaria que puede hacer observaciones de

la linea de 21cm y de FRB. El cual se ubica en China, en la provincia de Guizhou.

2.3.3. Telescopio SRT



Figura 2.8: Telescopio SRT del MIT en la azotea del departamento de ingeniería eléctrica de la FCFM[7].

El Telescopio de la figura 2.8, se encuentra ubicado en la azotea del edificio del Departamento Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile, equipado con receptores y filtros diseñados para observar la línea de Hidrógeno neutro. El material de sus reflectores es similar al que se utilizará en CPT.

2.3.4. Observatorio CHIME



Figura 2.9: Telescopio experimental CHIME en Canada [8].

La figura 2.9, corresponde al telescopio experimental sin partes móviles, sintonizado para observar Hidrógeno y con un correlacionador capaz generar una apertura sintética para

encontrar fenómenos astrofísicos transitorios de radio. Trabaja con una arquitectura de instrumentos remotos.

2.3.5. Guía de Construcción de Radiotelescopio con una RTL-SDR

Un enfoque para hacer radioastronomía con componentes comerciales y de bajo costo. Se utilizan radios definidas por software como receptor de radiofrecuencia y destaca las herramientas y software para observar la línea de 21cm.

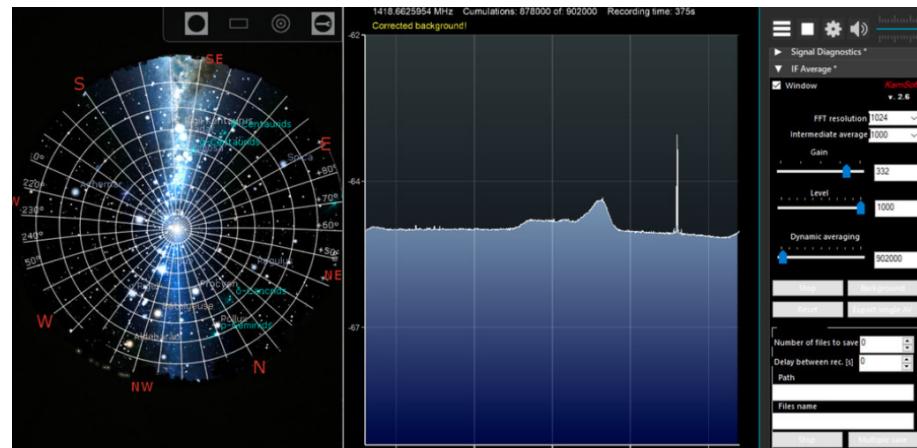


Figura 2.10: Software utilizado por RTL-SDR Blog para observar Hidrógeno neutro con una RTL-SDR[9].

La figura 2.10, corresponde al software de recepción de radio sintonizado en la frecuencia de emisión del hidrógeno neutro a la derecha, además del software de seguimiento astronómico y catálogo de objetos de interés.

Capítulo 3

Diseño y Simulacion

Capítulo 4

Implementacion y Ensamblaje

Capítulo 5

Analisis de Resultados

Capítulo 6

Conclusiones

Bibliografía

- [1] Óscar Restrepo Gaitán, “Desarrollo de tecnologías y metodologías para mejorar la observación de la línea de 21 cm del hidrógeno neutro”, 2023, <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/198618>.
- [2] Alvarado, P. A., “Medición del patrón de radiación del telescopio mini”, 2014, <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116317>.
- [3] Cassanelli, T. A., Fast Radio Burst localization with Very Long Baseline Interferometry. Tesis PhD, University of Toronto, 2022.
- [4] Finger, R. A., Design and construction of a digital sideband separating spectrometer for the 1.2-meter southern radio telescope. Tesis PhD, 2013.
- [5] Departamento de Astronomía, Universidad de Chile, “Current projects, mini radio-telescope installed in cerro calan in 2010”. Online, 2024, http://www.das.uchile.cl/lab_mwl/project.html.
- [6] FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope), “Fast observatory”. Online, 2024, <https://fast.bao.ac.cn/>.
- [7] Curotto, F., “Design, implementation and characterization of a radio frequency interference digital adaptive filter using a field-programmable gate array”, Tesis M.Sc., University of Chile, Santiago, Chile, 2019.
- [8] CHIME/FRB Collaboration, “Chime/frb experiment”. Online, <https://chime-experiment.ca/en>.
- [9] RTL-SDR Blog, “Cheap and easy hydrogen line radio astronomy with an rtl-sdr, wifi, parabolic grid dish, lna and sdrsharp”. RTL-SDR Blog, 2018, <https://www.rtl-sdr.com/cheap-and-easy-hydrogen-line-radio-astronomy-with-a-rtl-sdr-wifi-parabolic-grid-dish-lna-and-sdrsharp/>. Online.