

CONSTRUCCIÓN DE UN RADIOTELESCOPIO PEQUEÑO PARA LA
EXPLORACIÓN SOLAR EN CENTROS DE INTERÉS

Jaime Pinzón Peñaloza
Julieth Camila Cabrera Bernal

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Bogotá D.C
08 de junio de 2023

CONSTRUCCIÓN DE UN RADIOTELESCOPIO PEQUEÑO PARA LA EXPLORACIÓN
SOLAR EN CENTROS DE INTERÉS

Jaime Pinzón Peñaloza
Julieth Camila Cabrera Bernal

Presentado para obtener el título de Licenciado en Física

ASESORA: MARÍA CRISTINA CIFUENTES ARCILA

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN: La Actividad Experimental para la Enseñanza de la
Física

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Bogotá D.C
08 de junio de 2023

Resumen

La pregunta que orientó esta investigación fue *¿Cómo construir un radiotelescopio a escala pequeña para su uso en centros de interés de radioastronomía en la escuela secundaria?* Así, el objetivo de la investigación correspondió al diseño y la construcción de un radiotelescopio de bajo costo para su uso en el centro de interés en radioastronomía del Colegio Rodrigo Lara Bonilla IED. El marco teórico se elaboró poniendo a dialogar referentes sobre la historia de la radioastronomía, algunas características de las ondas de radio, los mecanismos de producción de ondas de radio de los diferentes objetos, procesos y eventos celestes, el funcionamiento de los radiotelescopios, la atenuación de las ondas de radio causada por la atmósfera terrestre, una descripción del objeto cósmico de estudio (el sol), la descripción del radiotelescopio construido, la importancia de la experimentación en la construcción del conocimiento científico y el potencial de la radioastronomía para involucrar a los estudiantes en su propio proceso de construcción de conocimiento científico escolar. La metodología utilizada fue de gestión de proyectos, para la construcción del radiotelescopio, y de diseño de recursos de aprendizaje, para la elaboración de las actividades experimentales centradas en la observación del sol. Los resultados de la investigación corresponden al radiotelescopio construido y las actividades experimentales diseñadas. Se construyó un radiotelescopio con las siguientes características: sus componentes son de bajo costo y fácil acceso, se compone de tres módulos, módulo de recepción, procesamiento y estructural, y se construyó para la observación del sol. En el documento se detalla el diseño del radiotelescopio construido, haciendo énfasis en los módulos que lo constituyen, los componentes de cada módulo, los costos de los componentes, la forma apropiada de conectar y utilizar el radiotelescopio y su proceso de calibración. Las actividades experimentales que se proponen se diseñan tomando la perspectiva constructivista y el enfoque de enseñanza por investigación guiada. En el documento se presenta la descripción de la población a la que van dirigidas las actividades, el enfoque de enseñanza, una descripción detallada de cada una de las actividades y como anexo se incluye el documento orientador para los estudiantes sugerido. De este trabajo se concluye que es posible la construcción de un radiotelescopio pequeño con materiales de bajo costo lo suficientemente preciso para ser utilizado en un ambiente educativo, también ofrece una oportunidad para que los estudiantes de escuelas secundarias se involucren en la observación científica y la construcción del conocimiento en radioastronomía y física.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
1 Generalidades de la investigación.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Preguntas y subpreguntas de investigación.....	5
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
1.5 Marco contextual	7
1.6 Antecedentes	7
1.6.1 Documentos técnicos sobre radiotelescopios pequeños	8
1.6.2 Observaciones con radiotelescopios	8
1.6.3 Documentos didácticos sobre la enseñanza de la radioastronomía	9
1.7 Metodología	9
2 Radioastronomía	11
2.1 Los orígenes de la radioastronomía	11
2.2 Las ondas de radio y los radiotelescopios.....	13
2.2.1 Las ondas de radio.	13
2.2.2 Radiotelescopios	16
2.2.3 Efectos de la atmósfera terrestre en las ondas de radio extraterrestres	20
3 Objeto cósmico de estudio	23
3.1 El Sol.....	23
3.1.1 Mecanismos de producción de ondas de radio en el Sol	23
3.1.2 Temperatura de brillo del sol	24

4	Diseño y construcción del radiotelescopio	27
4.1	Módulo receptor.....	28
4.1.1	La antena reflexiva.....	28
4.1.2	Radorreceptor.....	33
4.2	Módulo de procesamiento.....	37
4.2.1	Circuito amplificador y conversor de señales.....	37
4.3	Módulo estructural	41
4.3.1	Sistema de movimiento.....	41
4.3.2	Sistema de guía óptico	44
4.4	Montaje completo	46
5	Observaciones con el radiotelescopio construido.....	49
5.1	Calibración del radiotelescopio.....	49
5.2	Funcionamiento del radiotelescopio	50
6	Secuencia de actividades: Radioastronomía para aficionados – Sintonizando el Sol	
	54	
6.1	Caracterización de la población	54
6.2	Estrategia y enfoque de enseñanza para el diseño de las actividades	54
6.3	Diseño y secuenciación de actividades	57
6.3.1	Descripción general de las actividades	57
6.3.2	Ruta de aprendizaje.....	58
6.3.3	Desarrollo por actividad.....	60
7	Conclusiones	65
8	Bibliografía	69
9	Anexos	71
9.1	Anexo 1 Código conversión analógico a digital	71

9.2	Anexo 2 Datos de frecuencia registrados.....	72
9.3	Anexo 3 Actividades ALMA en la escuela.....	88
9.4	Anexo 4 Instructivo de uso del radiotelescopio	93
9.5	Anexo 5 Guía de actividades para los estudiantes	97

Introducción

En el documento se destaca la ausencia de la astronomía en las propuestas curriculares más recientes del sistema educativo colombiano. Cuando se llegan a abordar en la escuela algunos de los contenidos en astronomía se hacen de manera tradicional y libresco, asignando su enseñanza a profesores de ciencias sociales. Estas formas de enseñanza no contemplan la observación y la construcción de modelos como aspectos fundamentales para la construcción de conocimiento científico escolar, en este contexto surge la necesidad de desarrollar propuestas de enseñanza que incluyan la observación del cielo más allá de la contemplación y no limite la observación en astronomía a ver a simple vista o con un instrumento que amplie la visión (telescopios ópticos) ya que los cuerpos, eventos o procesos celestes emiten radiación en todo el espectro electromagnético.

Este proyecto presenta una descripción detallada de la construcción y uso de un radiotelescopio pequeño de bajo costo para fines educativos como herramienta para dar la debida importancia a la observación, construcción de modelos y el desarrollo de habilidades de experimentación.

El documento en el capítulo uno describe el contexto problemático de la investigación, la pregunta y sub-preguntas que ayudaron a guiar la investigación, los objetivos del proyecto, además de otras generalidades de la investigación. En el capítulo dos se resume los orígenes de la radioastronomía, la utilización de los radiotelescopios para detectar y analizar ondas de radio emitidas por objetos celestes, y la radioastronomía en el estudio de la actividad solar. En el capítulo tres se describe el objeto de estudio (el sol) donde se mencionan los criterios que se tuvieron en cuenta para su selección, algunas de sus características y los mecanismos de producción de ondas de radio del sol. En el capítulo cuatro se describe el diseño y la construcción de un modelo adecuado para un radiotelescopio con fines educativos, adicionalmente se proporciona información detallada sobre los componentes utilizados en la construcción del radiotelescopio, sus costos, conexiones entre los diferentes componentes. En el capítulo cinco se menciona el proceso por el cual se calibró el instrumento y algunas observaciones que se hicieron con el mismo. En el capítulo seis se caracteriza la población a las que van dirigidas las actividades, el enfoque de enseñanza que se utilizó para el diseño de las mismas y la secuencia de actividades diseñadas con el propósito de explorar el Sol con el radiotelescopio. Por último, en el capítulo siete se desarrollan las diferentes conclusiones de la investigación.

1 Generalidades de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

El estudio de los cuerpos celestes (los planetas, sus satélites naturales, los asteroides, cometas, meteoroides, entre otros), así como de las estrechas relaciones entre algunos eventos celestes y terrestres, estuvo presente en la mayoría -sino en todas- las civilizaciones antiguas. Estos estudios desempeñaron un papel destacado en estas civilizaciones pues posibilitaron los viajes y la navegación, informaron la toma de decisiones sobre la siembra y cosecha, permitieron el pronóstico de estaciones y mareas, entre otros. Con el transcurrir del tiempo estos estudios se fueron ampliando, profundizando y consolidando hasta el establecimiento de la astronomía como disciplina científica, siendo esta una de las primeras formas en la que la humanidad desarrollo ciencia (Scassa & Paz, 2019).

La astronomía ha sido uno de los grandes ausentes en las propuestas curriculares más recientes del sistema educativo colombiano, y en los anteriores programas de ciencias y tecnología. Prueba de ello es que la astronomía no es una asignatura contemplada específicamente en las propuestas curriculares del Ministerio de Educación Nacional (MEN), aunque en los Estándares de Educación en Colombia se contemplan el abordaje de algunos “temas” de astronomía, de manera aislada, en diferentes áreas como Ciencias Naturales y Ciencias Sociales.

Para el área de ciencias naturales los temas propuestos por el MEN son: el sol, la luna y las estrellas en el cielo (de primero a tercer grado); el sistema solar y el tamaño, la forma, la posición y el movimiento de sus componentes (de cuarto a quinto grado); el modelo planetario y la fuerza gravitacional; y los procesos de formación y extinción de estrellas (de sexto a séptimo grado) (Ministerio de Educación Nacional , 2004). Lastimosamente, en muchas escuelas estos temas no se abordan en las clases de ciencias naturales porque se da mayor énfasis a los temas “tradicionales” de física: cinemática del movimiento, leyes de newton, calor y temperatura, electricidad y magnetismo, luz y sonido, por mencionar los más representativos. Adicionalmente, también es común que la enseñanza de estos temas se aborde en las clases de ciencias sociales (Scassa & Paz, 2019), lo cual puede llevar a confusiones o malentendidos sobre los principios leyes y conceptos de la astronomía, debido a que los profesores de ciencias sociales están formados en el estudio de la sociedad humana y su comportamiento, la cultura, economía, política, historia, entre otros. Cabe

aclarar que no se quiere desmeritar el esfuerzo y trabajo de los profesores de ciencias sociales ya que aun con sus limitaciones se esfuerzan en la enseñanza de la astronomía.

Los temas sugeridos por el MEN no tienen en cuenta que la educación en astronomía no se debe restringir al sistema solar y la formación y extinción de estrellas, sino que debería incluir al universo completo: las galaxias e incluso las modernas teorías cosmológicas, como lo sugieren Scassa & Paz (2019). Estos otros temas también son pertinentes y relevantes y pueden permitir mayor profundidad y complejidad en el aprendizaje de la astronomía.

Adicionalmente, la enseñanza de la astronomía, al igual que la de las ciencias, en algunas instituciones sigue siendo tradicional y libresca: centrada en la lectura de textos, presentación de videos y explicación de ideas por parte del profesor. Algunos profesores también recurren a actividades prácticas, pero muchas de estas se reducen a la realización de maquetas sobre el sistema solar y el sistema tierra-luna-sol, maquetas que, por ejemplo, en muchos casos contribuyen a fomentar visiones deformadas sobre las relaciones entre tamaño y peso de los componentes de estos sistemas (Peñalba, 2020). Estas formas de enseñanza desconocen la observación y la construcción de modelos como dimensiones fundamentales para la construcción de conocimiento escolar.

En este contexto, surge el interés de aportar al diseño de propuestas de enseñanza que incorporen la observación del cielo en los procesos de construcción de conocimiento escolar. Más aún, cuando la mayoría de las personas, sobre todo las que viven en grandes ciudades, no tienen la “costumbre” de observar el cielo -más allá de la contemplación- y tampoco se les ha enseñado a observarlo. Enseñar a observar el cielo implica, entre otras cosas, lograr que los estudiantes reconozcan y hagan un uso significativo de algunas de las técnicas de observación que las comunidades científicas han desarrollado para tal fin.

Es importante aclarar que la observación en astronomía no sólo se limita a “ver a simple vista” o a “ver” a través de instrumentos que amplían la capacidad de visión (los telescopios ópticos). Como los diferentes cuerpos, eventos y procesos celestes emiten una gran cantidad de ondas electromagnéticas de diferentes longitudes (no sólo las del espectro visible), también es posible “ver” por medio de la recepción y análisis de la radiación a través de diversos instrumentos entre los que se destacan los radiotelescopios, que captan la radiación emitida en el rango de las ondas de radio, a partir de esos análisis se pueden desarrollar modelos explicativos

que permitan hacer deducciones sobre las características y procesos físicos de los cuerpos, eventos y procesos celestes.

La observación mediante el uso de radiotelescopios en la escuela plantea desafíos adicionales en comparación con la observación con el “ojo desnudo” y la observación con telescopios ópticos. En primer lugar, *el desafío de contar con un radio telescopio, ya que normalmente estos instrumentos son de grandes dimensiones¹, tiene un alto grado de complejidad técnica y, sobre todo, son costosos.* En segundo lugar, *el desafío de dar significado a lo que se “observa con el radiotelescopio”, ya que demanda hacer un análisis de la radiación captada por el radiotelescopio.*

Desde 1999, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), de los estados Unidos de América, diseñó un sencillo receptor de radiotelescopio decamétrico y un kit de antena, que permite recibir las emisiones de ondas de radio de Júpiter, de las tormentas solares y de nuestra galaxia, que puede ser utilizado con fines educativos en la escuela secundaria. Este radiotelescopio tiene un costo de \$ 384 dólares americanos, más gastos de envío. Lastimosamente, muchos colegios en Colombia no cuentan con los recursos económicos para adquirir este Kit, u otros equivalentes disponibles en el mercado. Una de estas instituciones es el Colegio Rodrigo Lara Bonilla.

El Colegio Rodrigo Lara Bonilla, en el cual se desarrolla la práctica pedagógica, ha sido pionero en la enseñanza y divulgación de la astronomía en la ciudad de Bogotá desde 2004, y tiene amplia trayectoria y reconocimiento. Actualmente, cuentan con un club de astronomía en el que participan estudiantes de diferentes grados de la básica secundaria y la media vocacional, en el que se desarrollan procesos de indagación sobre los cuerpos y eventos celestes, en la modalidad de centros de interés. Para realizar estas indagaciones cuentan con un observatorio astronómico dotado con, entre otras cosas, varios telescopios como: un telescopio catadióptrico de 32mm totalmente electrónico, telescopio Meade electrónico y telescopio Konus de 130mm. Desde el año 2022 este colegio consideró relevante incorporar la radioastronomía a su club y, en consecuencia, la “adquisición” de un radiotelescopio pequeño con fines educativos.

¹ Baste como muestra el radiotelescopio FAST (ubicado en china) que tienen una antena de 305 metros de diámetro.

En consecuencia, con lo expuesto, se ve la necesidad de aportar con el diseño y construcción de un radiotelescopio “sencillo”, pequeño y de “bajo costo”² con fines educativos, que cumpla con los requerimientos básicos de funcionamiento y sea lo suficientemente preciso para que se puedan realizar observaciones confiables, en el rango de emisión de los fenómenos a estudiar.

1.2 Preguntas y subpreguntas de investigación

A partir de este contexto problemático surge la siguiente pregunta de investigación

- ¿Cómo construir un radiotelescopio a escala pequeña para su uso en centros de interés de radioastronomía en la escuela secundaria?

La pregunta de investigación da paso a las siguientes sub-preguntas que ayudarán a guiar la investigación de la siguiente manera:

- ¿Por qué los cuerpos, procesos y eventos celestes emiten ondas de radio?
- ¿Qué objeto de estudio será el más pertinente y apropiado para hacer radioastronomía en el aula?
- ¿Cómo se puede captar y procesar ondas de radio extraterrestres con materiales y equipos de “bajo costo”?
- ¿Qué características se deben tener en cuenta para la construcción de un radiotelescopio con fines educativos?
- ¿Qué modelos explicativos se usan en radioastronomía para darle significado a las observaciones?

1.3 Justificación

La observación ocupa un papel relevante en los procesos de construcción de conocimiento científico (Hacking, 1983-1986) y conocimiento científico escolar (Hodson, 1996), incluidos los conocimientos de la astronomía como disciplina científica. Cuando se habla de observación astronómica no se restringe a la simple contemplación del cielo, que es la forma más común de

² Comparados con los del mercado y los grandes radiotelescopios del mundo utilizados en centro de investigación en astrofísica.

entender esta palabra, sino se hace referencia un proceso intelectual de recolección y análisis de información del mundo físico en el marco de las dinámicas de construcción de conocimiento (Kuhn, 1962), que es influenciado por los conocimientos, expectativas y experiencias del investigador y por la teoría sobre el instrumento, esto último para el caso de observaciones indirectas (Hodson, 1996).

De acuerdo con lo anterior una forma de introducir la observación investigativa a la escuela secundaria, desligándola de la simple contemplación, es por medio de la radioastronomía (Scassa & Paz, 2019), porque cuando los estudiantes “observan” el cosmos con un radiotelescopio deben estar en capacidad de utilizar este instrumento de forma significativa³ para recopilar información sobre cuerpos y/o eventos celestes. Pero allí no termina el proceso de observación, también deben analizar esta información para darle sentido y explicar aquello que estudian. Esto sugiere que la radioastronomía no sólo permite aprender sobre los contenidos de la física, sino que también sobre el papel de la observación en las dinámicas de las ciencias, a través de la participación en procesos auténticos de “observación”.

Adicionalmente, la utilización de un radiotelescopio para el estudio del cosmos en la escuela posibilita la articulación de varios campos temáticos de la física, entre los que se destacan temas de electromagnetismo, física de ondas, telecomunicaciones (Pedraza, 2020), lo cual es beneficioso en el área de la educación al trabajar interdisciplinariamente estos temas que puedan percibirse como alejados, permitiendo generar conexiones entre estos, también se trabaja una aplicación de estos temas, lo cual le permite al estudiante visualizar un uso de la Física desligado de la percepción que a veces se tiene que es solo teoría.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Construir un radiotelescopio pequeño, económico y con materiales de fácil acceso para su uso en centros de interés de radioastronomía en la escuela secundaria.

³ Hablamos de uso significativo para desligarnos de las perspectivas en las que los instrumentos son utilizados ciegamente por los estudiantes, como cajas negras, lo cual a nuestro juicio no permite a los estudiantes comprender la carga teórica que subyace a la construcción de estos instrumentos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- 1) Recopilar fuentes bibliográficas que permitan identificar un modelo de radiotelescopio pequeño que se pueda implementar en el aula.
- 2) Adecuar un modelo de radiotelescopio pequeño que se pueda implementar en el aula.
- 3) Seleccionar los componentes pertinentes para la construcción del radiotelescopio a construir.
- 4) Comprobar de forma experimental el funcionamiento del radiotelescopio pequeño y hacerle sus diferentes ajustes.
- 5) Desarrollar el diseño de diferentes actividades experimentales con el radiotelescopio pequeño para la enseñanza de la radioastronomía con el fin de fortalecer diferentes habilidades de pensamiento científico.

1.5 Marco contextual

La construcción del radiotelescopio y el diseño de las actividades con el mismo se hicieron para dotar al colegio Rodrigo Lara Bonilla de instrumentación para su centro de interés en radioastronomía, ya que el colegio no contaba con este tipo de material para el desarrollo del mismo.

La construcción del radiotelescopio se realizó teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas del colegio y las actividades con base a la población, ya que el centro de interés está conformado entre 6 a 10 estudiantes de edades variadas, que cursan grados desde sexto a once y asisten los sábados en un horario de 8:00 a.m a 12:00 p.m, debido a que éste es un curso extracurricular. Adicionalmente se tuvo en cuenta la franja horaria en la que se desarrolla el centro de interés para escoger el objeto de estudio que se analizó con el radiotelescopio.

1.6 Antecedentes

Para construir los antecedentes de este proyecto se revisaron algunos *documentos técnicos* (guías y manuales) que describen el desarrollo, prueba y mantenimiento, algunas *observaciones que se pueden hacer con los radiotelescopios* (artículos) que presentan mejoras y las observaciones hechas con los radiotelescopios y algunos *documentos didácticos* que sintetizan propuesta para la enseñanza de la radioastronomía. A continuación, se presentan algunos de los

aspectos más representativos de dichos documentos que permitieron orientar el trabajo de investigación.

1.6.1 Documentos técnicos sobre radiotelescopios pequeños

Se revisaron varios documentos que muestran detalladamente los elementos que componen los radiotelescopios y su proceso de construcción, así como una breve explicación del funcionamiento de diferentes modelos de radiotelescopios pequeños (Luna, Dominguez, Colmbres, & Fragoso, 2013), (Sáenz & Castregón, 2019) y (Tapia, 2013) . En estos documentos se muestra que todos los radiotelescopios se componen de dos módulos: el módulo de recepción y el de procesamiento.

Estos documentos fueron útiles para reconocer los componentes básicos de un radiotelescopio, lo cual pone de manifiesto que es posible la construcción con materiales asequibles en el mercado como los son antenas satelitales de televisión y conversores de reducción de ruido usados en telecomunicaciones como Ban Pass Filter (BPF), amplificador de bajo ruido (LNB) entre otros. Adicionalmente se utilizaron como punto de partida para el diseño del prototipo y la selección de componentes del radiotelescopio construido.

1.6.2 Observaciones con radiotelescopios

Los autores (Tapia, 2013), (Niño, Moreno, & Gomez, 2016) y (Conesa, 2016) presentan algunos de los estudios que se pueden realizar haciendo uso de los radiotelescopios, entre los que sobresalen: i) el cálculo del diámetro angular del sol, recolectando información del Sol con un radiotelescopio que sigue su trayectoria en diferentes días y a diferentes horas; ii) el mapeo de diferentes sectores del cielo observable, ubicando los radiotelescopios pequeños apuntando el cielo en un ángulo menor a los 25° para determinar las diferentes ondas que se pueden captar en esos sectores. Estos estudios sugieren algunas de las “observaciones” astronómicas que se pueden realizar con los radiotelescopios pequeños, aunque no muestran información detallada del proceso que se utilizó.

Aunque estos autores ya contaban con un radiotelescopio, mejoraron el diseño de los diferentes radiotelescopios pequeños de sus instituciones. Estos radiotelescopios pequeños arrojan resultados con una validez en el área de la radioastronomía comparables con los resultados de

instituciones y proyectos más enfocados en la radioastronomía como lo son el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y Gran Telescopio Milimétrico (GTM).

1.6.3 Documentos didácticos sobre la enseñanza de la radioastronomía

En el campo de la enseñanza de la radioastronomía la autora (Ahuma, 2020) propone una estrategia de enseñanza de las ondas de radio por medio de la observación astronómica a partir de 5 actividades que se centran en el estudio del espectro electromagnético enfocándose en las ondas de radio, electromagnetismo, física de ondas, historia y funciones de la radioastronomía y el proyecto ALMA. Para tal fin, utiliza material didáctico como videos, lecturas, experimentos o indagaciones por parte de los estudiantes, aunque no aplica como tal un radiotelescopio de ningún tipo. Las conclusiones más relevantes de este trabajo son: a) la radioastronomía es una herramienta útil en el aula a la hora de enseñar la física de ondas, particularmente las ondas electromagnéticas, b) la radioastronomía es una ciencia que despierta interés en los estudiantes por los fenómenos electromagnéticos, c) para la enseñanza de la radioastronomía es indispensable el uso de un radiotelescopio, con los cuales se solucionan problemas principalmente atmosféricos para la observación en contraste a lo óptico.

1.7 Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron dos metodologías: una para el diseño y la construcción del radiotelescopio y otra para el diseño de las actividades experimentales de radioastronomía. Es de notar que, el diseño de las actividades experimentales y la construcción del radiotelescopio se desarrolló en paralelo, puesto que son procesos interdependientes.

Para la construcción del radiotelescopio se utilizó una metodología de gestión de proyecto, basada en tres fases escalonadas y secuenciales: diseño, construcción y pruebas, ajuste y operación. En la fase de diseño, se seleccionó y adaptó un prototipo de radiotelescopio al contexto al que se aplica (lugar, clima, interferencias, objeto de estudio, entre otros) y a sus necesidades. En la fase de desarrollo, se llevó a cabo la construcción del radiotelescopio a escala pequeña, la cual se realizó por módulos los cuales son: módulo receptor, módulo de procesamiento y módulo estructural. Finalmente, en la fase de pruebas, ajuste y operación, se hicieron unas observaciones de prueba, las cuales permitieron realizar ajustes al radiotelescopio y se comprobó que el radiotelescopio funcionara de manera correcta.

Para la elaboración de las actividades experimentales se utilizó una metodología de diseño de recursos de aprendizaje, que contó con tres fases: a) caracterización de la población para la cual se diseñan las actividades experimentales, b) estrategia y enfoque de enseñanza para el diseño de actividades experimentales y c) diseño y secuenciación de actividades experimentales.

2 Radioastronomía

En el campo de la astrofísica están surgiendo desarrollos prácticos modernos para comprender mejor la información espectral⁴ derivada de fuentes cósmicas. Los radiotelescopios son un modo de práctica actual utilizado para observar estos sucesos. A pesar de las diversas adaptaciones que ofrece esta tecnología, los físicos y los profesores de física de todo el mundo necesitan una mejor comprensión de la física subyacente y los componentes operativos de los radiotelescopios, así como una explicación de los objetos cósmicos que se detectan.

Para el desarrollo de las siguientes secciones de este capítulo se tomaron como referencias los siguientes libros (Smith, 1969), (Verschuur, 2007) y (Kundu & Gergely, 1980).

2.1 Los orígenes de la radioastronomía

En esta sección se hace un resumen de la historia de la radioastrónoma con el fin de contextualizar sobre el desarrollo que ha tenido la misma, dar cuenta de la importancia que tiene el instrumento de medida que se utiliza en radioastronomía y la relación entre esta ciencia y la ingeniería en telecomunicaciones, tomando como referencia los libros: Radioexploración del Sol (Smith, 1969) y The invisible universe: The story of radio astronomy (Verschuur, 2007).

El físico Alemán Heinrich Hertz en 1888 fue el primero en producir ondas de radio, realizando una serie de experimentos con base en la teoría de James Maxwell sobre las ondas electromagnéticas. Una década después de este avance, varios científicos que investigaban la posibilidad de captar ondas de radio extraterrestres como: Oliver Lodge, Charles Nordmann, Wilsing y Scheiner, intentaron experimentalmente registrar ondas de radio provenientes del sol, ya que pensaban que éstas serían las más fáciles de captar. Los experimentos de esa época no tuvieron mucho éxito, no fue hasta tres décadas después que se pudieron hacer registros de ondas de radio extraterrestres, gracias al desarrollo tecnológico en comunicaciones inalámbricas.

En 1928 en los laboratorios de la empresa de comunicaciones “*Bell Telephone*” en la sede de Holmdel, New Jersey, se le asignó a un ingeniero físico llamado Karl Jansky investigar por qué se producían interferencias que causaban problemas en la radiotelefonía.

⁴ Descripción y análisis de la radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda del espectro.

Jansky para su investigación construyó una antena directiva que medía 14,5 metros. Esta antena recibía ondas de radio a una frecuencia de 20,5 MHz y estaba montada en una especie de plataforma giratoria, con el fin de poder moverla y direccionarla a la fuente que causaba la interferencia. Jansky descubrió ruido proveniente de tormentas eléctricas y un ruido que parecía un silbido constante y casi imperceptible de origen desconocido. Su primera sospecha fue que la causa del silbido provenía del sol, ya que aumentaba y disminuía una vez al día, pero tras una gran investigación encontró que el silbido provenía del centro de la vía láctea.

Jansky se convirtió en el primer radioastrónomo del mundo, pero su investigación no generó interés en la comunidad científica de la época y no precedieron investigaciones en radioastronomía. Sin embargo, el descubrimiento de Jansky generó interés en un aficionado, Grote Reber, de la astronomía, que se dedicó a seguir los pasos de Jansky y empezó construyendo su propio radiotelescopio en el patio de su casa, en Wheaton, Illinois, que consistía en una antena parabólica de 9,4 m de diámetro. Su radiotelescopio se puso en marcha en 1938 e hizo el primer mapa sistemático de las ondas de radio del cielo.

En 1942, en la Segunda Guerra Mundial, al equipo de Stanley Hey se le asignó investigar las graves interferencias que sufrían los radares británicos contra aeronaves, ya que se pensaba que estas interferencias las estaban produciendo los alemanes con el objetivo de desestabilizar las defensas del ejército británico. Pero Stanley descubrió que el causante de estas interferencias era el sol, siendo el primero en descubrir ondas de radio provenientes del sol. En junio de 1942 George Clark Southworth empezó a registrar las ondas de radio emitidas por el sol, confirmando que aumentaba la frecuencia de ondas de radio con la actividad de las manchas solares.

Después de la Segunda Guerra Mundial John Kraus creó un radio observatorio en la universidad de Ohio que se usó para detectar fuentes de radio extra galácticas, además fue el inventor de la antena reflectora de esquina, la antena helicoidal, entre otros varios tipos de antenas que se usan actualmente. John Kraus contribuyó a que esta ciencia fuera más relevante en las investigaciones científicas sobre el universo.

La radioastronomía en las décadas de 1970 y 1980 fue un instrumento importante para el estudio de los planetas de nuestro sistema solar y el descubrimiento y estudio de objetos distantes en el universo.

En la actualidad la radioastronomía es una ciencia fundamental para el entendimiento de objetos astrofísicos, la exploración del universo y el descubrimiento de los cuerpos cósmicos tan

alejados que un telescopio óptico no puede detectar. Aunque aún son inciertos los límites que tiene esta ciencia y su potencial para descubrir nuevo conocimiento.

Con las investigaciones de estos científicos se puede evidenciar que todos los avances en radioastronomía desde su descubrimiento han sido dependientes del desarrollo tecnológico de la época y han estado altamente influenciados por los avances en telecomunicaciones.

2.2 Las ondas de radio y los radiotelescopios

Este capítulo se centra en las ondas de radio y los radiotelescopios. Los diversos elementos presentes en el espacio, como planetas, exoplanetas, estrellas, polvo y gas, emiten ondas electromagnéticas en todo el espectro. Una parte significativa de estas ondas posee longitudes de onda extremadamente largas, se conocen como ondas de radio, Debido a su longitud, se requieren telescopios especiales conocidos como radiotelescopios para detectarlas. Estos telescopios son considerablemente más grandes que los utilizados para capturar la luz visible. Estos enormes instrumentos se dirigen hacia estrellas o planetas específicos y permiten obtener información sobre su estructura, movimiento y composición mediante el análisis de las ondas de radio que emanan de dichos objetos (Europea, 2022).

2.2.1 Las ondas de radio.

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas. Según la teoría de campos electromagnéticos las ondas electromagnéticas se conforman de campos magnéticos y eléctricos que oscilan perpendicularmente entre sí en un ciclo repetitivo y son transversales a la dirección de propagación de las ondas. Estas no requieren de un medio material para propagarse. Su velocidad de propagación es constante, en el vacío aproximadamente es de 3×10^8 m/s (Smith, 1969).

Una onda electromagnética se caracteriza a partir de las siguientes variables: amplitud, frecuencia y longitud. A continuación, se da una pequeña descripción de cada una de ellas.

La *amplitud* de una onda electromagnética determina la cantidad de energía transferida por la onda: una mayor amplitud indica una cantidad de energía mayor y por lo tanto una onda más intensa. La amplitud se mide en Voltios sobre metros (V/m) (Maximo & Beatriz, 1998).

Cuando se refiera a la *frecuencia* de una onda electromagnética da cuenta de la cantidad de ciclos que la onda completa en un segundo, también está relacionada con la energía de la onda, entre mayor la frecuencia mayor la energía transportada y, por tanto, la onda tendrá mayor

capacidad para traspasar objetos o interactuar con la materia. La frecuencia se mide en Hertz (Hz) o en ciclos por segundo (c/s) (Maximo & Beatriz, 1998).

Mientras que la *longitud* de una onda electromagnética es la distancia entre dos puntos máximos (crestas) o entre dos puntos mínimos (valles) sucesivos. Ésta tiene una relación inversamente proporcional a la frecuencia, por tanto, cuando la longitud de onda es corta la frecuencia será mayor. La longitud se mide en unidades de longitud (m, cm, nm, entre otros) (Maximo & Beatriz, 1998).

Las ondas electromagnéticas se clasifican en grupos dependiendo de su frecuencia o longitud de onda, que determinan sus propiedades y características. Se dividen en siete categorías que de menor a mayor frecuencia son: ondas de radio y microondas (>1 Hz – 300 GHz), infrarrojas (300 GHz – 400 THz), luz visible (400 THz – 800 THz), ultravioletas (800 THz – 30 PHz), rayos x (30 PHz – 30 EHz) y rayos gamma (>30 EHz). A esta clasificación se le llama espectro electromagnético.

Los cuerpos celestes como planetas, estrellas y galaxias, y los eventos celestes como la colisión de agujeros negros y las super novae, emiten energía en forma de ondas electromagnéticas (radiación) en todo el espectro electromagnético. Parte de esta radiación no se percibe en la superficie terrestre por diversos factores, por ejemplo, la distancia del emisor a la tierra, los obstáculos en su trayectoria (polvo cósmico y gas estelar) y las interacciones con la atmósfera terrestre (absorción, reflexión y refracción). Sin embargo, las ondas de radio alcanzan a llegar a la superficie de la tierra porque, al tener mayor longitud de onda, pueden viajar mayores distancias, en comparación con las ondas de menor longitud; penetrar las nubes de polvo y gas, lo que no hace la luz visible y la radiación ultravioleta; y atravesar la atmósfera terrestre, lo que no logran las ondas electromagnéticas de longitud corta (rayos x y gamma). Se aclara que las ondas de radio de alta frecuencia son absorbidas por la atmósfera terrestre, pero que las de baja frecuencia logran penetrarla.

Las ondas de radio que provienen fuera de la tierra se denominan ondas de radio extraterrestres.

Las ondas de radio tienen longitudes de onda desde los 100 Km hasta de 100 μ m, se propagan con una frecuencia de 10 KHz a 10 THz y al ser una onda electromagnética se ve afectada por los fenómenos de reflexión, refracción, absorción, atenuación, polarización e interferencia.

Cuando se refiere a la *Reflexión* de una onda es cuando esta cambia su dirección de propagación con un ángulo de incidencia al encontrarse con una superficie. Para superficies lisas

el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión de la onda, mientras para superficies rugosas estos ángulos son diferentes (Maximo & Beatriz, 1998).

En cuanto a la *Refracción* de una onda es cuando esta cambia su dirección y velocidad de propagación al variar a un medio con diferente densidad (Maximo & Beatriz, 1998).

Mientras que la *Absorción* es el proceso, mediante el cual se trasfiere la energía de una onda electromagnética a un medio material, lo que implica una disminución en la amplitud de la onda a medida que se propaga a través de un medio, por tanto, se produce una transformación de la energía electromagnética en otras formas de energía como calor o energía cinética. La absorción de una onda electromagnética en un medio es directamente proporcional a la densidad del medio y la distancia recorrida por la onda en el medio (Jackson, 1962).

Por otro lado, en la *Atenuación* la onda disminuye gradualmente la amplitud a medida que se propaga en un medio, entre mayor sea la distancia entre el emisor y el receptor mayor será su atenuación (Maximo & Beatriz, 1998).

Por lo que se refiere a la *Polarización* de una onda es la forma en la que se describe el campo de desplazamiento de la onda electromagnética en función del tiempo en cierto punto, para ondas de radio extraterrestres el campo eléctrico tiene diferentes orientaciones aleatorias y por lo tanto se dice que no está polarizado, se entiende que una onda electromagnética esta polarizada cuando sus campos tienen un único movimiento restringido (Alzate, 2016).

Por último, la *Interferencia* es cuando una o más ondas se superponen en un medio se combinan produciendo un patrón de amplitud diferente a las amplitudes de las ondas originales, si sus amplitudes están en fase esta aumenta (interferencia constructiva) y si sus amplitudes están desfasadas esta disminuye (interferencia destructiva) (Maximo & Beatriz, 1998).

2.2.1.1 Mecanismos de producción de ondas de radio extraterrestres

Una vez determinado que es una onda de radio y sus características y teniendo en cuenta el capítulo anterior esto lleva a la pregunta *¿por qué los cuerpos, procesos y eventos celestes emiten ondas de radio?* Siendo importante esto para poder darle sentido a la información que se capta con el radiotelescopio.

Las ondas de radio se generan de diferentes maneras ya que dependen de las condiciones físicas del cuerpo celeste que las emite. En general se producen en todos los procesos que

involucren el movimiento de electrones, en particular durante los cuales los electrones pierden energía. Esta energía perdida puede ser irradiada en forma de ondas de radio.

El movimiento de los electrones que producen ondas de radio puede clasificarse en dos tipos movimiento lento y movimiento rápido.

Donde Los *electrones de movimiento lento* son aquellos que se mueven a velocidades relativamente bajas en comparación a la velocidad de la luz. Por lo general viajan dentro de nubes candentes de gas que rodean estrellas de alta temperatura. Este proceso de emisión se denomina radiación térmica de ondas de radio (Verschuur, 2007).

Mientras que cuando se refiere a los *electrones de movimiento rápido* son aquellos que se aceleran hasta velocidades cercanas a la de la luz, debido a explosiones estelares. En general este proceso se produce cuando los electrones interactúan con un campo magnético; la radiación emitida depende de la energía de los electrones y la intensidad del campo magnético. Este proceso puede irradiar emisión en cualquier longitud de onda. Este proceso de emisión se denomina radiación no térmica de ondas de radio o sincrotrón (Verschuur, 2007).

2.2.2 Radiotelescopios

Debido a que este tipo de ondas electromagnéticas (ondas de radio) no son visibles a simple vista o con instrumentos que amplíen la visión es importante determinar ¿Qué características tienen los radiotelescopios para que puedan captar las ondas de radio extraterrestres? Para poder responder esta pregunta se usó como referencia el libro Radio Physics of the Sun (Kundu & Gergely, 1980)

Al conjunto de instrumentos que se utilizan en radioastronomía se denomina radiotelescopio. Aunque existen diferentes tipos de radiotelescopios todos poseen los mismos componentes básicos: una *antena* o un conjunto de antenas (principalmente parabólicas), que permiten coleccionar las señales de radio emitidas por los objetos de estudio; un *receptor*, que transforma las señales electromagnéticas recibidas en señales eléctricas; y un *sistema de almacenamiento*, que registra las señales dadas por el receptor.

Inicialmente para que cualquier radiotelescopio funcione la antena debe tener la capacidad de moverse en el azimut o en elevación⁵ ya sea de forma manual o automática, lo ideal es que tenga la capacidad de moverse de ambas formas para poder registrar el objeto de estudio a medida que se mueva en el cielo.

Los radiotelescopios por lo general hacen dos tipos de registros ya sea por la cantidad de energía de radiofrecuencia de la señal captada (su potencia) en intervalos de tiempo regulares, la potencia se mide en Vatios (W) o en decibelios-milivatios (dBm) y/o en la frecuencia de la señal emitida por el objeto de estudio en intervalos de tiempo, la frecuencia se mide en Hertz (Hz) o en Ciclos por segundo (c/s).

Normalmente los registros se muestran por medio de un gráfico. Idealmente se esperaría que el gráfico tuviera forma sinusoidal, pero como estas ondas de radio provienen de objetos y/o eventos celestes que emiten en una banda espectral amplia y, además, el instrumento de medida genera ruido, la gráfica por tanto presentara un espectro amplio de frecuencias superpuestas y no una única frecuencia de una señal. En este espectro los picos más grandes corresponden al incremento de la potencia recibida a medida que la fuente pasa y la antena la detecta.

A partir de los diferentes análisis que se hagan de los registros obtenidos se pueden determinar diferentes características del objeto de estudio como: el movimiento relativo del objeto de estudio, el tamaño angular aparente, la temperatura de brillo, entre otros.

2.2.2.1 Parámetros de una antena para su uso en radioastronomía

Los principales parámetros de una antena son: el *área efectiva* y el *ancho de banda*. La potencia total que recibe un radiotelescopio depende del área efectiva de la antena, la cual está limitada por su tamaño, en consecuencia, para estudiar objetos lejanos y/o pequeños se necesitan antenas muy grandes, pero para estudiar fuentes de emisión grandes y/o cercanas, como el sol, no se necesitan antenas tan grandes. El ancho de banda determina la capacidad del radiotelescopio

⁵ Azimut: es un movimiento determinado por un ángulo horizontal generalmente de norte a sur o viceversa.

Elevación: es un movimiento determinado por un ángulo vertical desde el horizonte hasta un objeto celeste sobre el plano horizontal.

para distinguir detalles de la distribución angular de la radiación. Este depende de la geometría de la antena y es fijo para cada radiotelescopio.

2.2.2.2 *Parámetros del receptor para su uso en radioastronomía*

Es importante que el receptor de un radiotelescopio este calibrado y para esto debe tener una fuente estándar de potencia, que es un circuito que produce un rango de potencia constante, a partir el cual el radiotelescopio compara la potencia de la señal recibida con la de la fuente estándar de potencia, si la señal recibida se encuentra en el rango de potencia de la fuente quiere decir que el receptor está calibrado.

Los parámetros más importantes del receptor son la *intensidad de flujo mínima* y el factor de ruido. El primero es la cantidad mínima de energía o de radiación que el receptor puede detectar. El segundo es una medida que relaciona la potencia de la señal obtenida y la del nivel de ruido del propio receptor: cuanto menor sea ese factor mejor será la capacidad del radiotelescopio para medir señales débiles.

Es importante que el receptor de un radiotelescopio sea lo más sensible posible para que la detección de radiofrecuencias sea precisa y tenga un error mínimo.

2.2.2.3 *Radio interferómetros*

A la tierra llegan señales de radio muy débiles que corresponden a los objetos celestes y/o eventos más lejanos y para poder ser captadas se necesitaría una antena parabólica extremadamente grande. Lo cual trae problemas estructurales, ya que las antenas de estas dimensiones no es posible moverlas y necesitan de una estructura grande y pesada que la sostenga, por esta razón la construcción implica costos muy elevados y hacer esto es muy poco eficiente.

Por estos motivos en la radioastronomía moderna se hace uso de técnicas como la interferometría, que funciona mediante la sincronización de varios radiotelescopios relativamente pequeños distribuidos estratégicamente en un área extensa, donde el receptor suma constructivamente la señal de las antenas y se forma una nueva señal la cual va a ser mucho más clara que las señales individuales. Entre mayor sea el número de radiotelescopios sincronizados mejor será la señal resultante, el área de recolección será más grande y se puede comparar a una antena parabólica gigantesca.

Haciendo uso de la interferometría se pueden producir imágenes de alta resolución, detectar señales muy débiles y estudiar objetos y/o eventos celestes en diferentes longitudes de onda.

2.2.2.4 Radiotelescopios importantes

Los radiotelescopios más importantes del mundo van a ser nombrados en la siguiente tabla.

Tabla 1 Radiotelescopios importantes del mundo

Nombre	Locación	Altura (m.s.n.m.)	Diámetro de la antena o antenas (m)	Objetos de estudio
Radiotelescopio de Arecibo	Arecibo, Puerto Rico	130	305	Descubrimiento de planetas extrasolares, estudiar pulsares y galaxias distantes. Detectar asteroides cercanos a la tierra.
Radiotelescopio Green Bank	Virginia Occidental, Estados Unidos	800	100	Estudio de la vida extraterrestre, la dinámica del universo y detectar ondas gravitacionales.
Radiotelescopio Parkes	Nueva Gales del Sur, Australia	360	64	Estudio de objetos celestes lejanos como pulsares, galaxias y planetas. Apoyo de misiones espaciales.
Radiotelescopio ALMA	Atacama, Chile	5000	55 antenas con un diámetro de 12m y 14 antenas de 7m de diámetro	Estudiar la formación de planetas, escalas de tiempo cósmicos y examinar la estructura de galaxias.
Radiotelescopio VLA	San Austin, Estados Unidos	2124	27 antenas de 25m	Detectar galaxias, estrellas y nebulosas. Estudio de la evolución del universo.
Radiotelescopio GMRT	Maharashtra, India	655	30 antes de 45m	Detección de galaxias, cuásares y pulsares.

Nombre	Locación	Altura (m.s.n.m.)	Diámetro de la antena o antenas (m)	Objetos de estudio
				Estudio de la radiación de fondo de microondas y agujeros negros.

2.2.3 Efectos de la atmósfera terrestre en las ondas de radio extraterrestres

Como hemos mencionado anteriormente las ondas de radio extraterrestres se ven afectadas por la atmósfera terrestre, específicamente por dos regiones que se denominan ionósfera y tropósfera. Esta sección se basa en la información del libro *Radio Physics of the Sun* (Kundu & Gergely, 1980).

La ionósfera, es una parte de la atmósfera terrestre que se encuentra aproximadamente entre los 100 a los 500 Km sobre el nivel del mar (ver Ilustración 1). Está compuesta por gases ionizados y estos permiten la reflexión de ondas de radio terrestres y la refracción de ondas de radio extraterrestres. Lo anterior permite las transmisiones de radio y transmisiones satelitales, además de funcionar como protección de la radiación cósmica y solar.

La tropósfera, también se le conoce como la atmósfera inferior, ya que es la parte más baja de la atmósfera terrestre extendiéndose desde la superficie terrestre hasta aproximadamente de 10 a 15 Km en los polos y 17 Km en el ecuador sobre el nivel del mar (ver Ilustración 1). Al estar en contacto directo con la superficie terrestre afecta directamente el clima y las condiciones meteorológicas.

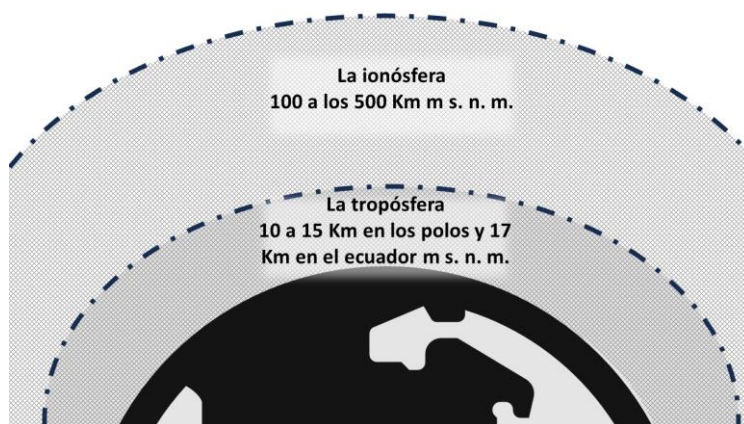


Ilustración 1 Regiones de la atmósfera terrestre

2.2.3.1 Atenuación de las ondas de radio extraterrestres por la ionósfera

La ionósfera se divide en dos secciones principales denominadas: sección E y sección F, que se clasifican a partir de su altitud y frecuencia crítica, siendo esta última, la frecuencia más baja que puede penetrar la sección con una incidencia vertical. Estas secciones se caracterizan por:

- Sección F: Esta sección se subdivide en la región superior F que se encuentra a una altura de los 250 a 400 Km.s.n.m y su frecuencia crítica es de 5 a 12 MHz, y, la región inferior F, se encuentra a una altura de 200 Km.s.n.m y su frecuencia crítica es de 3 a 6 MHz. En la noche esta sección no se subdivide y se encuentra a una altura de los 300 Km.s.n.m y tiene una frecuencia crítica de 3 a 8 MHz.
- Sección E: mantiene una altura constante de 100 Km.s.n.m en la noche y el día, y su frecuencia crítica es de 3 a 4 MHz.

Las ondas de radio extraterrestres se ven afectadas en la ionósfera por los fenómenos de refracción, reflexión y absorción.

El índice de refracción de una onda de radio se determina por la Ecu. 1

$$\mu = \sqrt{1 - N \left(\frac{e^2}{\pi} \right) m F^2} \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde N es el número de electrones, e la carga del electrón, m la masa del electrón y F la frecuencia de la onda.

Es importante conocer el índice de refracción ya que esta referencia a la velocidad de la onda en un medio y para este caso ayuda a determinar cuanto afecta el paso por la atmosfera a la propagación de la onda.

Si entra en una región donde el índice de refracción es cero la frecuencia crítica está dada por la Ecu. 2

$$F_e = \sqrt{N \left(\frac{e^2}{\pi} \right) m} \quad \text{Ecu. 2}$$

Donde N es la ionización máxima en la ionósfera.

Para el caso de la absorción en las ondas de radio esta dado por las colisiones entre los electrones que vibran en el campo de la onda y las moléculas de aire que se encuentran en ionósfera. La pérdida aumenta con lo denso que este el aire en el momento que se haga la observación, por esta razón la perdida será mayor en las partes inferiores de la ionósfera.

Finalmente, la ionósfera puede atenuar las ondas de radio extraterrestres por divergencia, absorción o división completa causada por una reflexión total de la onda, pero estas afectaciones serán insignificantes cuando la onda incida justo en el cenit con una frecuencia superior a los 20 MHz.

2.2.3.2 Atenuación de las ondas de radio extraterrestres por la tropósfera

Para el caso de la tropósfera todas las ondas de radio mayores a los 25 cm de longitud de onda no se ven afectadas por ningún fenómeno, para el caso de longitudes de onda menores a los 25cm, las ondas de radio son absorbidas por la tropósfera debido a la interacción del campo electromagnético de la onda con el momento dipolar⁶ permanente en los gases atmosféricos. La atenuación total de una onda de radio extraterrestre se produce dependiendo de su trayectoria en el aire y su ángulo de elevación, para el caso que el ángulo de elevación sea superior a los 3 cm. Otro factor que afecta la propagación de las ondas radio en la tropósfera es la humedad del ambiente en el momento que se haga la observación, porque si el porcentaje de humedad es alto hay un aumento en las moléculas de vapor de agua las cuales pueden interactuar con las ondas de radio.

⁶ El momento dipolar es una medida que da cuenta de la fuerza de atracción de dos átomos

3 Objeto cósmico de estudio

Para la construcción del radiotelescopio es importante saber el objeto de estudio ya que de ello dependen ciertas características del mismo. El emisor de radiofrecuencias más intenso de nuestro sistema planetario es el Sol, debido a esto, es el cuerpo celeste que menos afectaciones tiene en la propagación de sus ondas de radio por la atmosfera terrestre, y por tanto no requiere un radiotelescopio demasiado sofisticado, tampoco, un plato colector muy grande, otra consideración que se tuvo en cuenta para seleccionar este objeto cósmico es que su pico de emisión tiene que ser en el día, debido a que esta investigación se hace en el marco de la producción de material de apoyo para realizar actividades en radioastronomía en el aula y el Sol cumple con esta condición. Debido a lo anterior se planificó el prototipo de radiotelescopio para estudiar este astro, por otra parte, se tuvo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas en la que se van a hacer las observaciones para la construcción del instrumento y el estudio de las radiofrecuencias emitidas por el sol.

3.1 El Sol

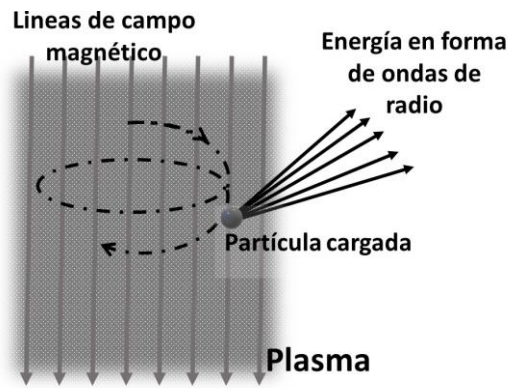
El Sol es una masa agitada de gas ionizado caliente con campos magnéticos, en el núcleo se produce energía derivada de la fusión del hidrogeno en helio que es irradiada hasta la superficie solar, como se ha mencionado anteriormente el Sol es el cuerpo celeste más grande del sistema planetario y es el que produce la mayor emisión de radiofrecuencias, según la NASA, la radiación del Sol en radiofrecuencias comprende desde unos pocos MHz hasta varios GHz. En la radioastronomía el estudio del Sol comprende una amplia rama de investigación, pero este capítulo se hablará de algunas generalidades del Sol determinadas a partir de diferentes observaciones y análisis, resumidas en el libro Radio Physics of the Sun (Kundu & Gergely, 1980), con el fin de caracterizar algunas propiedades de su emisión en radiofrecuencia y conocer más del objeto de estudio a investigar.

3.1.1 Mecanismos de producción de ondas de radio en el Sol

El Sol también tiene una atmosfera y como la atmósfera terrestre se divide en capas, la capa más interna de la atmósfera solar se llama fotosfera que es la capa visible del Sol y donde se producen la mayor parte de la energía solar, después se encuentra la cromósfera que es una capa

delgada y brillante que no puede verse en forma de luz y por último la capa más externa de la atmósfera solar es la corona que es una capa muy delgada y caliente que se extiende por millones de kilómetros en el espacio. En la fotosfera surge gas candente ionizado que se mueve hacia arriba y hacia abajo enfriándose y calentándose.

El gas candente ionizado que rodea al Sol se le conoce como plasma, cuando las partículas ionizadas se mueven armónicamente en el plasma irradian energía en forma de ondas de radio (ver Ilustración 2), este proceso es de emisión térmica de ondas de radio.



*Ilustración 2 Mecanismos de producción de ondas de radio en el Sol
Fuente: Elaboración propia*

3.1.2 Temperatura de brillo del sol

Inicialmente, como la emisión de radiofrecuencias del Sol es considerablemente más grande que la banda de la antena utilizada, entonces la potencia recibida por la antena puede expresarse en términos de la temperatura de brillo⁷. Para poder calcular la temperatura de brillo el Sol debe considerarse como un simple cuerpo caliente y utilizar la teoría de radiación de cuerpo negro.

Según la teoría cuántica de radiación propuesta por Planck, un cuerpo negro es un concepto teórico que describe un cuerpo caliente con una emisión y absorción de radiación perfecta, es así

⁷ La temperatura de brillo es una medida de la temperatura aparente de un objeto celeste.

como se define la temperatura de brillo, como la temperatura que tendría un cuerpo negro para emitir la misma cantidad de radiación que el Sol en una longitud de onda específica.

Solo se utilizará la ecuación que describe la potencia máxima de radiación de onda larga de un cuerpo. La Ecu. 3 describe la potencia máxima emitida por un cuerpo negro en un intervalo de frecuencias.

$$P_e = \left(\frac{2\pi KT}{\lambda^2} \right) \Delta f \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad \text{Ecu. 3}$$

Donde K es la constante de Boltzmann, T la temperatura absoluta, λ la longitud de onda, f la frecuencia, r el radio del Sol y R la distancia de la tierra al sol.

Se asume que la temperatura absoluta del cuerpo negro es de 6000 K que corresponde a la temperatura de onda larga del Sol inactivo y entre 50000 K y 1000000 K para el Sol activo según las mediaciones hechas por Langley en 1903.

Se denomina Sol inactivo al periodo donde no hay mucha actividad en su superficie, como lo son las manchas y tormentas solares, en este periodo la emisión de las ondas de radio es más constante y la temperatura aparente aumenta linealmente con la longitud de onda.

Por otro lado se denomina Sol activo cuando hay muchas manchas solares en su superficie, en este periodo la intensidad de las ondas de radio emitidas se ve aumentada por las manchas o tormentas solares en comparación al Sol inactivo la emisión tiene una magnitud mayor y caótica.

Los fenómenos en la actividad solar que afectan la intensidad en las ondas de radio emitidas son: las llamaradas solares, las tormentas solares y las explosiones aisladas, aunque puedan sonar parecidas cada una se refiere a un fenómeno distinto.

Donde *las llamaradas solares* se caracterizan por un aumento de la intensidad en las ondas de radio, variación de miles de veces de magnitud de la frecuencia en unos pocos segundos. En las observaciones de este fenómeno se presentan picos muy altos y fluctuantes en la frecuencia y luego disminuye gradualmente hasta llegar a los valores normales del Sol inactivo, por lo general cuando ocurre una llamarada solar se presentan tormentas eléctricas en la tierra y la aparición de auroras boreales (Kundu & Gergely, 1980).

Por otra parte, *las tormentas solares* se diferencian de las llamaradas solares porque el aumento en la intensidad y las fluctuaciones de las frecuencias duran muchas horas o hasta días,

las intensidades de la frecuencia aumentan aproximadamente 100 veces mayor en comparación cuando el Sol esta inactivo. Este fenómeno se asocia con la aparición de manchas solares, aunque son dos fenómenos distintos, por lo general la tormenta disminuye su intensidad de dos a tres días antes que la mancha visual que se observa y por lo contrario nunca aparece una tormenta solar hasta que la mancha solar ya es visible, además por la polarización circular que tiene la radiación indica que el campo magnético asociado con este fenómeno tiene un papel importante en la radiación de esta emisión (Kundu & Gergely, 1980).

Y por último las *explosiones aisladas* ocurren ocasionalmente, se observan ráfagas de intensidad en longitudes de ondas métricas durante solo algunos segundos y a menudo ocurren varias de estas seguidas, son infrecuentes, esporádicas y no están relacionadas con ningún fenómeno visual presente en el sol. A diferencia de las tormentas solares la polarización de las ondas es aleatoria (Kundu & Gergely, 1980).

4 Diseño y construcción del radiotelescopio

Para el diseño del prototipo inicialmente se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que el radiotelescopio no fuera muy grande ya que va ser usado en una institución educativa.
- Que los costos totales de la construcción del radiotelescopio sean menores en comparación con los costos de este tipo de instrumento en el mercado, los cuales pueden rondar entre los \$384 y los \$500 dólares estadounidenses más gastos de envío.
- Que los componentes del radiotelescopio fueran de fácil acceso y la interfaz donde se visualizarán los datos obtenidos fuera sencilla y fácil de usar, ya que éste será usado por estudiantes de secundaria.

Adicionalmente, para el diseño del prototipo se tomó como base el “*Manual Técnico de Construcción de un Radiotelescopio para Usos Docentes*”, del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), de México, y el trabajo de grado de Juan Sebastián Vallejo Higueta, titulado “*Desarrollo de un Radiotelescopio para la Observación de la Actividad Solar en la Banda KU*”, que fue elaborado en el marco del grupo de investigación de Astro-Ingeniería Alfa-Orión de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Basados en los diseños que se presentan en estos documentos estructuramos el desarrollo de nuestro Radiotelescopio a través de tres módulos. Esto lo hicimos con el fin de facilitar la construcción del equipo, ya que cada módulo se puede construir de manera independiente y, luego, ensamblarlos. Lo anterior también ayuda a tener una mejor organización.

Los módulos son los siguientes:

- Módulo receptor. Como su nombre lo indica es el encargado de la recepción de las ondas de radio. Este se compone por una antena parabólica receptora, un receptor de señales y un detector de satélites analógico.
- Módulo de procesamiento. Es el encargado de amplificar, comparar y convertir la señal recibida para que pueda ser visualizada y almacenada para su análisis. Se compone de un circuito amplificador de señales, un conversor de señales analógicas a digitales y un software de visualización y registro.

- Módulo estructural. Se compone de una estructura metálica que funciona como soporte y aísla el módulo de procesamiento, un sistema de motores que permita el movimiento de la antena y un sistema de guiado óptico.

Se puede ver la organización de los módulos en el Esquema 1.



*Esquema 1 Estructura radiotelescopio
Fuente: Elaboración propia*

4.1 Módulo receptor

4.1.1 La antena reflexiva

Es un disco metálico grande que se curva hacia arriba, con una superficie exterior lisa y reflectante que recoge las ondas de radio y las enfoca.

Para nuestro radiotelescopio utilizamos una antena parabólica, porque estas antenas son capaces de reflejar y dirigir las señales de radiofrecuencia a su foco, con lo que se obtienen una mayor precisión y eficiencia que en comparación con otros tipos de antenas, como por ejemplo la antena monopolar o la antena Yagi.

4.1.1.1 Geometría de la antena parabólica

La forma geométrica de la antena parabólica es una cónica, específicamente de una parábola. Una parábola se define geoméricamente como: “en todos los puntos P del plano que equidistan de una recta fija d , llamada directriz, y de un punto fijo F , llamado foco, que no

pertenece a d . Se llama eje de la parábola a la recta que contiene al foco y es perpendicular a la directriz, y vértice al punto intersección de la parábola y el eje” (Có, 2018).

En la Figura 1 se ilustra lo anterior.

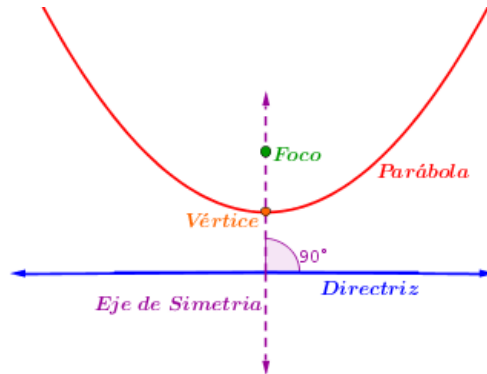


Figura 1 Parábola

Fuente: Aprendiendo Matemáticas [Esquema].

<https://www.cecyl3.ipn.mx/ibiblioteca/mundodelasmaticas/ConceptoDeParabolaYSusElementos.html>

Para el caso de una figura tridimensional se rota la parábola en su eje de simetría formando un foco en el centro y todas sus secciones trasversales son parábolas iguales. Esta figura es llamada un paraboloides de revolución.

La forma de una antena parabólica se constituye de una sección de un paraboloides. La sección utilizada se obtiene de hacer un corte con un plano paralelo a solo una directriz que no pase por el vértice. Este corte no es perpendicular al eje de simetría debido a que al posicionar un receptor en el foco de la antena este produciría sombra en el plato receptor e interferirá en la recepción de las señales. En la Figura 2, se esquematiza la sección correspondiente a una antena parabólica.

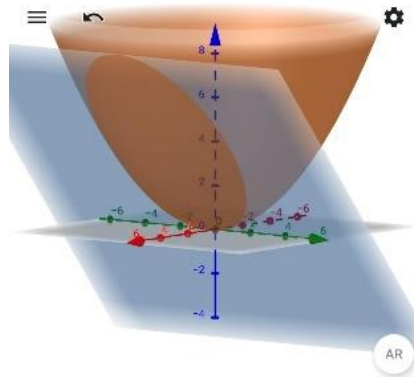


Figura 2 Corte con un plano paralelo a solo una directriz que no pase por el vértice de un paraboloide.

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2 Parámetros funcionales de la antena

Los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta de una antena para hacer radioastronomía son:

- **Ancho de banda:** Es la capacidad de la antena para recibir señales en un rango específico de radiofrecuencias, es decir el intervalo entre las frecuencias más bajas y altas en las que la antena puede funcionar. Un ancho de banda más amplio significa que la antena recibe radiofrecuencias en un intervalo mayor (Kundu & Gergely, 1980).
- **Área efectiva:** La eficiencia de una antena se determina a partir de la razón entre la potencia recibida (en una dirección específica) y la densidad de la potencia de la señal incidente (en esa misma dirección). A este valor se le llama “área efectiva”. Una antena con mayor área efectiva será más sensible a recibir señales más débiles, que provienen de distancias más largas y/o que atraviesan obstáculos antes de llegar a la antena (Kundu & Gergely, 1980).
- **Lóbulos laterales:** Una antena tiene un lóbulo principal (ver Figura 3) y dependiendo de cómo fue diseñada tendrá menos lóbulos secundarios esto depende de qué tan eficientemente fue diseñada. En una antena bien diseñada en promedio la potencia de una señal en el lóbulo principal es 200 veces mayor que los lóbulos laterales o secundarios. Para captar señales grandes como las emitidas por el Sol se pueden omitir los haces secundarios (Kundu & Gergely, 1980).

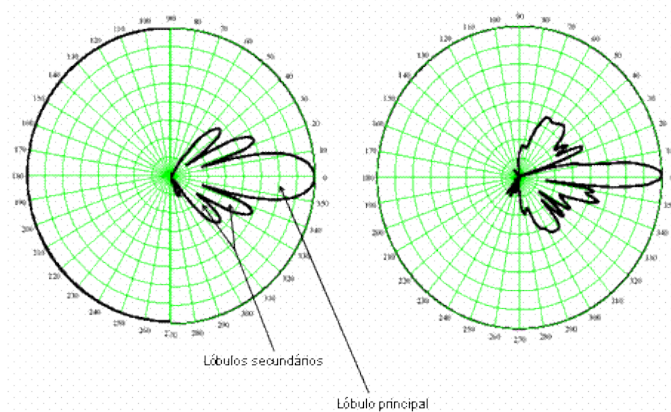


Figura 3. Lóbulos de una antena parabólica
 Fuente: Diagrama de radiación [Esquema]. Blog Antenas 13.
<https://antenas13.blogspot.com/p/parametros-generales-de-una-antena.html>

4.1.1.3 Características de la antena utilizada

Para la elaboración del radiotelescopio se utilizó una antena parabólica de foco “Offset”, que tiene un plato colector paraboloide ovalado con punto focal a un lado del plato colector. La ubicación del punto focal de este tipo de antenas permite una mejor recepción de las señales, ya que el receptor (que se ubica en el foco) no genera sombra en el área colectora, en comparación con las antenas con punto focal ubicado en el centro.

Esta antena que es de uso común en telecomunicaciones se seleccionó por las siguientes razones:

- Tiene alta eficiencia en relación con la forma de la antena y la distancia entre el plato y el receptor. En su foco se reflejan entre el 70% y 80% de la señal recibida por el plato, en comparación a una antena de foco central que recibe entre un 60% y 70% de la señal captada.
- La antena incluye el recetor (un bloque de bajo ruido), lo anterior es una ventaja porque ya viene instalado en el foco de la antena y no fue necesario hacer los cálculos para ubicarlo. Por otro lado, el receptor recibe la misma señal de entrada que la captada por la

antena (banda Ku⁸), es importante porque en esta banda se puede hacer observaciones en radioastronomía solar.

La antena Offset que se utilizó para la elaboración del radio telescopio (ver Fotografía 1) fue donada al proyecto por la empresa de telecomunicaciones DIREC TV En el mercado el valor de este tipo de antenas oscila entre los \$ 500.000 y \$ 1.000.000 de pesos colombianos.



Fotografía 1 Antena de foco Offset
Fuente: fotografía propia

Las características específicas de la antena se muestran en la Tabla 2 Características de la antena parabólica de foco OffsetTabla 2.

Tabla 2 Características de la antena parabólica de foco Offset

Parámetros	Valor	Unidades
Diámetro	0,72	m
Frecuencia	10.95 – 12.75	GHz
Ancho de Haz	0.864	°
Ganancia típica	35,9	dB
Área efectiva	12	mm ²

⁸ La banda Ku es una de las bandas de frecuencia utilizadas en telecomunicaciones, satélites y transmisiones de televisión satelital. Hace parte del sistema de nomenclatura de bandas de frecuencia establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU por sus siglas en inglés).

4.1.2 Radiorreceptor

El radiorreceptor es la parte que recibe las ondas de radio directamente de la antena receptora. En el radiotelescopio construido se compone de dos piezas: un bloque de bajo ruido (LNB, por sus siglas en inglés) y un detector de satélites.

4.1.2.1 Bloque de bajo ruido (LNB)

Un LNB es un dispositivo electrónico generalmente utilizado en telecomunicaciones para la recepción de señales de televisión satelital. Normalmente este dispositivo viene acoplado a la antena receptora en su foco, para garantizar la captación de la mayoría de las señales reflejadas por la antena.

Los dos módulos principales de LNB se denominan: el amplificador de bajo ruido y el conversor de frecuencias.

- **Filtro.** Es el encargado de minimizar el ruido (interferencia) generado por el mismo dispositivo y de filtrar las señales recibidas en el rango de radiofrecuencias determinado por el fabricante.
- **El conversor de frecuencias.** La antena receptora recibe señales de alta radiofrecuencia, en el rango comprendido entre los 12,4 GHz a los 18 GHz (banda Ku), que no pueden ser enviadas por un cable coaxial, por lo que no pueden ser leídas, procesadas y almacenadas para su análisis. Por esta razón, la función del conversor es disminuir la frecuencia de las señales recibidas al rango de 1 GHz a 2GHz (banda L), las cuales si se pueden transmitir a través de un cable coaxial.

4.1.2.1.1 Componentes del LNB.

Los componentes electrónico más comunes de un LNB se nombran a continuación, pero no quiere decir que son los únicos, ya que estos pueden tener algunas variaciones dependiendo del tipo de LNB y su uso.

- **Amplificador de bajo ruido (LNA):** Es un componente electrónico que se encuentra en la parte posterior del LNB y cumple la función de minimizar el ruido e incrementa la amplitud de la señal.

- Filtro de paso bajo: Este componente filtra cualquier señal alta de radiofrecuencia que este fuera del rango específico de la banda Ku para que la señal sea más clara.
- Oscilador local (LO): Este componente produce una señal de frecuencia constante utilizada para convertir la señal de la banda Ku a la banda L.
- Mezclador: Este componente mezcla la señal generada por él LO con la señal de la antena para poderla pasar por una banda intermedia (FI).
- Filtro de paso alto: Este componente filtra cualquier señal de baja radiofrecuencia que este fuera del rango específico de la banda L, que pueda haberse producido en el proceso de conversión.
- Conector: Esta parte conecta por medio de una salida coaxial la señal convertida y filtrada para poder ser procesada.

4.1.2.1.2 Características del LNB.

El LNB que se utilizó para el radiotelescopio es un PLL321S-2⁴ (ver Fotografía 2). La elección de este componente se debió a que recibe una frecuencia de entrada igual a la de la antena (banda Ku), entrega una frecuencia de salida que puede recibir el detector de satélites (banda L) y tiene un bajo índice de ruido (interferencia).

Este receptor trabaja en el rango de frecuencia en el que el radiotelescopio funciona (banda Ku), en esta banda es posible captar radiofrecuencias emitidas por el sol. Adicionalmente, este LNB era el que por defecto venía con la antena, lo que evitó el proceso de articulación de otro LNB con la antena y redujo gastos, ya que el valor de un LNB oscila entre los 50 y 70 mil pesos colombianos.



Fotografía 2 LNB
Fuente: fotografía propia

En la Tabla 3 se especifican los diferentes parámetros del LNB.

Tabla 3 Características del LNB

Parámetros	Valor	Unidades
Frecuencia de entrada	10.95 – 12.75	GHz
Frecuencia de salida	950 - 2150	MHz
Ganancia	60	dB
Ruido	0.1	dB

4.1.2.2 *Detector de satélites*

Un detector de satélites o un localizador de satélites es un dispositivo utilizado para encontrar una señal de un satélite en específico. Funciona mostrando la intensidad de una señal en una dirección en específica y se usa para ajustar la antena receptora en dirección del satélite u objeto del que se quiere recibir la señal, es un dispositivo pequeño y portable que se utiliza para instalaciones de satélites domésticas.

4.1.2.2.1 *Componentes del detector de satélites.*

Los componentes comunes de un detector de satélites son:

- **Conectores:** El detector de satélites tiene dos conectores coaxiales tipo F, hembra, uno de entrada y el otro de salida.
- **Medidor de intensidad de señal (por su abreviación en ingles S-Meter):** Es un componente que indica la intensidad aparente de una señal recibida por un receptor de radio, en decibeles (dB). Al apuntar la antena hacia un satélite u objeto el S-Meter se satura e indica la señal específica de ese satélite u objeto. Un S-Meter funciona de forma similar a un galvanómetro, pero en cambio de detectar y medir una corriente eléctrica mide la intensidad de una señal de radio.

- Potenciómetro de sensibilidad: Este componente electrónico contiene un resistor variable tipo potenciómetro, que se utiliza para ajustar la sensibilidad del detector de satélites y alinear con precisión la antena receptora.
- Pantalla: Dependiendo si es un buscador de satélites analógico o digital puede indicar la intensidad de señal, ya sea mediante una escala analógica con aguja o un display numérico digital.
- Zumbador: Es un transductor electroacústico que produce un sonido o zumbido que indica cuando se ha encontrado la señal de un satélite u objeto.
- Batería o fuente de alimentación: Este componente solo está presente en los detectores de satélites digitales, en los analógicos se necesita una fuente externa de alimentación.
- Luces LED: Indica la intensidad de la señal recibida.

Es de notar que algunos de estos componentes pueden variar dependiendo el modelo.

4.1.2.2.2 Características del detector de satélites.

El detector de satélites que se usó para la construcción del radiotelescopio es un Sat Finder análogo SF-9506 de la marca HDMISAT (ver Fotografía 3). Este dispositivo tiene un costo de \$45.000 pesos colombianos. Se utilizó este dispositivo analógico debido a su fácil acceso en el mercado colombiano y porque, en este caso particular, genera menos interferencia de radiofrecuencias (RFI) en comparación con los dispositivos digitales, ya que estos últimos por la alta velocidad de comunicación de sus circuitos electrónicos generan más RFI.



*Fotografía 3 Detector de satélites
Fuente: Fotografía propia*

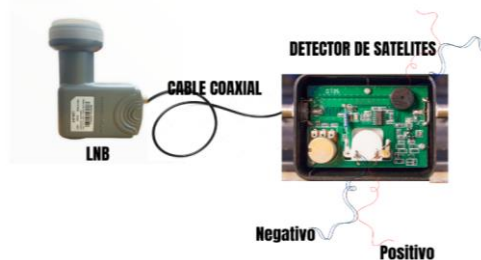
En la Tabla 3 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se especifican los diferentes parámetros del detector de satélites.

Tabla 3 Características del detector de satélites

Parámetros	Cantidad	Unidades
Frecuencia de operación	950 - 2150	MHz
Voltaje de funcionamiento	13 - 18	V

4.1.2.3 Montaje de LNB con el detector de satélites

Se usan conjuntamente estos dos dispositivos como radiorreceptor (ver Esquema 2), debido a que el LNB convierte y filtra las señales obtenidas con la antena y el detector de satélites ayuda a ubicar con mayor precisión las fuentes de radio que se quieren estudiar, en este caso el sol, debido a que el Sol emite radiofrecuencias desde los 30 KHz a los 300 KHz y a esa banda se llama LW, se limitara la captación de radiofrecuencias a la banda Ku que está contenida en la banda LW. Adicionalmente ayuda a detectar las señales de baja intensidad y poder modular la señal de detección.



Esquema 2 Radiorreceptor
Fuente: Elaboración propia

4.2 Módulo de procesamiento

4.2.1 Circuito amplificador y convertor de señales

El circuito amplificador y el convertor de señales tienen como función recibir la señal de salida del detector de satélites, amplificarla y digitalizarla, con el fin de poderla visualizar y almacenar.

4.2.1.1 *Circuito amplificador*

Un circuito amplificador es un dispositivo electrónico que aumenta la amplitud de una señal ya sea de audio, video o eléctrica, sin alterar la forma de la señal. En los radiotelescopios la función del amplificador es aumentar la potencia de la señal recibida para que pueda ser transmitida por cable a una mayor distancia o para que la señal sea suficiente para ser procesada por otro dispositivo electrónico (computador). Adicionalmente, el amplificador compara las frecuencias para limitarlas a un rango específico y el circuito amplificador entrega una señal de salida polarizada lineal, lo cual ayuda a su posterior análisis.

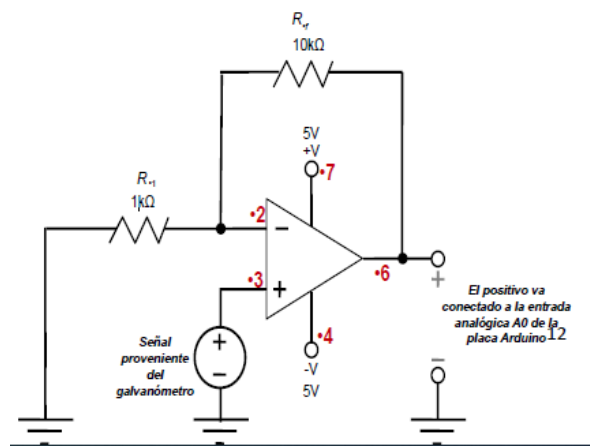
Para el radio telescopio que se diseñó este circuito amplificador limitó las radiofrecuencias recibidas al rango de las frecuencias emitidas por el Sol (400 – 2000 Hz), dado que, como se anunció previamente, este radiotelescopio se diseña para hacer estudios del Sol.

El circuito que se utilizó consta de las siguientes partes:

- Un amplificador operacional (LM741), el cual, como su nombre lo indica, es el encargado de amplificar la señal de entrada. Este puede ser configurado para amplificar el voltaje, la corriente o la transductancia, en este caso se usó para amplificar la corriente.
- Una fuente de alimentación de 13 Voltios a corriente continua que se usa para polarizar el amplificador operacional, esto es necesario para el correcto funcionamiento del amplificador.
- Dos resistencias de $10\text{k}\Omega$ y $1\text{k}\Omega$ que se encargan de fijar la ganancia del amplificador operacional a un nivel específico de 26 a 30 dB, el cual es correspondiente al rango de radiofrecuencias emitidas por el sol. Gracias a las resistencias el amplificador operacional recibe dos corrientes, las cuales las compara para ajustar su ganancia.

El circuito funciona en un bucle (ciclo) donde parte de la señal amplificada de salida vuelve a entrar al circuito con el fin de garantizar una señal de salida de frecuencia específica. En resumen, el circuito funciona recibiendo una señal de entrada, amplificándola en un rango de ganancia específico de 26 a 30 dB y continuo.

A continuación, se muestra el esquema del circuito (Esquema 3).



Esquema 3 Circuito amplificador

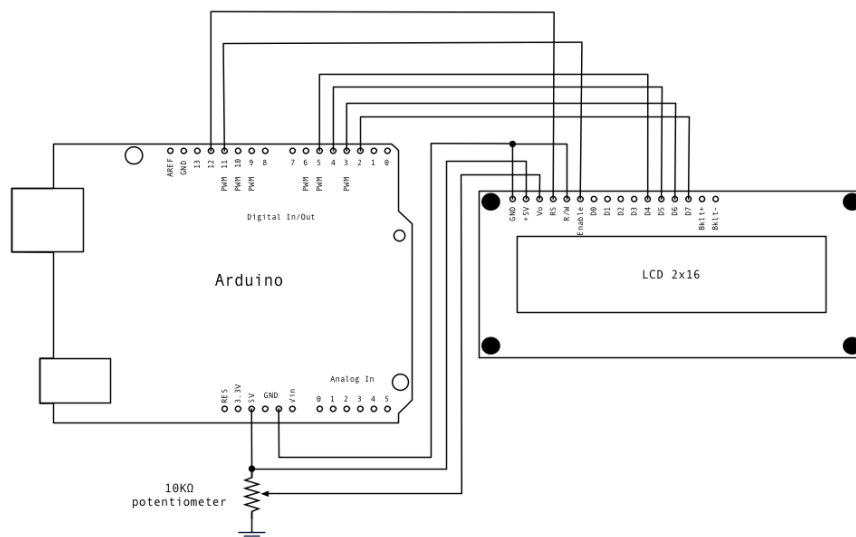
Fuente: (Luna, Dominguez, Colmbres, & Fragoso, 2013)

4.2.1.2 Conversor de señales

El circuito amplificador entrega una señal eléctrica que varía continuamente en el tiempo, por esta razón, para poder ser procesada por un computador u otro dispositivo digital debe ser convertida en una señal digital, lo cual es, un conjunto de datos discretos que representan un valor para cada señal original. Para poder realizar lo anterior se necesita un hardware de conversión analógico a digital (por sus siglas en ingles ADC) y un software que haga la conversión.

En este caso se usó el chip ADC del Arduino Mega y se programó el software en el lenguaje de programación del Arduino IDE (versión 2.1.0).

El circuito amplificador se conectó al Arduino Mega en el pin A0, que corresponde a una entrada analógica, y la señal digital de salida del ADC se conectó tanto en una pantalla LCD de 16x2 para Arduino (ver Esquema 4) como a un computador. Esto último con el fin de visualizar las señales recibidas, filtradas y amplificadas.



Esquema 4 Conexión pantalla LCD al Arduino
Fuente: (Hitek, 2022)

Para el software utilizado se tomó como base el código desarrollado por (Luna, Dominguez, Colmbres, & Fragoso, 2013), en su trabajo investigativo llamado “*Manual Técnico de Construcción de un Radiotelescopio para Usos Docentes*”. Sin embargo, este código se adaptó teniendo en cuenta a los componentes específicos del radiotelescopio construido, tales como: el tipo de antena, el LNB, la pantalla LCD, entre otros. Además, se adaptó teniendo en cuenta el hecho de que las condiciones ambientales en la ciudad de Bogotá son distintas a la ciudad de México, ciudad para la cual Luna y Domínguez proponen su radiotelescopio. Por último, se actualizaron las librerías⁹ a la versión más reciente del Arduino Mega (versión 2.1.0).

El software realiza el proceso de conversión en las siguientes 4 etapas:

1. Muestreo: El programa toma muestras de la señal analógica en intervalos continuos de tiempo, para esto hace que el chip ADC mantenga el valor de la señal en un capacitor en un periodo de 8 segundos.
2. Cuantificación: El programa mide la amplitud de cada muestra y asigna un valor único a cada medición, el número de valores digitales depende del número de bits del chip ADC, el Arduino uno tiene 10 bits, es decir el programa arrojará entre 0 a 1023 valores digitales.

⁹ Una librería es un conjunto de códigos y datos que necesitan los programas para funcionar de forma correcta.

3. Codificación: Una vez cuantificada la señal el programa convierte los valores en código digital, pasa los datos de un sistema binario a uno hexadecimal.
4. Almacenamiento: Finalmente almacena los datos en la memoria del Arduino Mega para su posterior procesamiento.

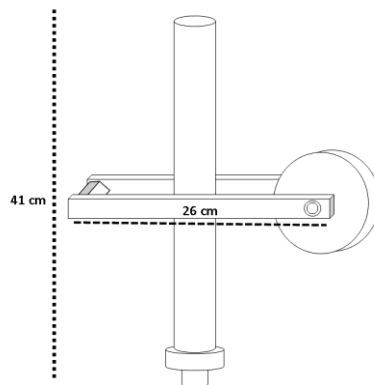
Los valores digitales son procesados en la pantalla LCD o en el computador y estos valores pueden ser mostrados ya sea en una lista o en una gráfica en la que se muestra como varia la frecuencia en intervalos de tiempo. El código completo se encuentra en el Anexo 1.

4.3 Módulo estructural

4.3.1 Sistema de movimiento.

Se añadió este sistema para que el plato colector del radiotelescopio construido pueda moverse en el azimut y en altitud, con la finalidad de poder seguir al sol. Para lograr lo anterior el sistema cuenta con tres bloques los cuales son: estructura, motores, controlador.

Estructura, se modificó la base del plato colector agregando, un tubo de hierro de forma vertical de 41 cm, en la base inferior del tubo se puso un eje de rotación con el fin de mover la antena en el azimut y en la mitad del tubo y se agregó un perfil de hierro de 26 cm horizontalmente acoplado a una polea con una guaya de acero recubierta fija a la parte superior del plato colector para mover el plato colector en altitud. La estructura se presenta en el siguiente esquema.

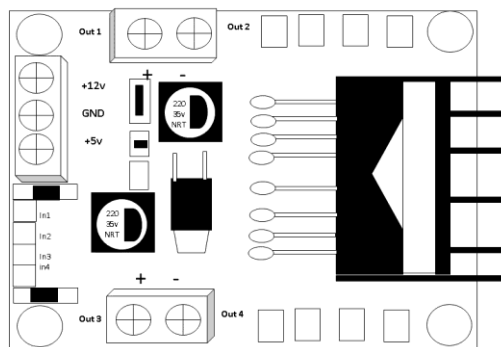


Esquema 5 Estructura del plato colector
Fuente: Elaboración propia

Motores, Cuenta con dos motores DC, uno que puede mover un objeto de hasta 6 kg conectado al eje de rotación de forma vertical con un piñón y el otro de 14 kg conectado a la polea

de forma horizontal con un piñón, tienen un ángulo de giro de 360 grados cada uno, y funcionan a 12 V.

Controlador, Para controlar el sentido y velocidad de los motores se usó un circuito integrado llamado puente H l298N, se compone de un chip L298N que se encarga de controlar el sentido de los motores, enviando una señal lógica de transistor a transistor (TTL por sus siglas en ingles) y para modificar la velocidad de los motores utiliza modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en ingles). Este puente también tiene un regulador de voltaje LM7805 enviando siempre 5 V al chip L298N y dos pines H para cada motor que van conectados a un pulsador (botón). El controlador cuenta con 4 pulsadores (dos para cada motor). Ver Esquema 6 Puente H l298N.



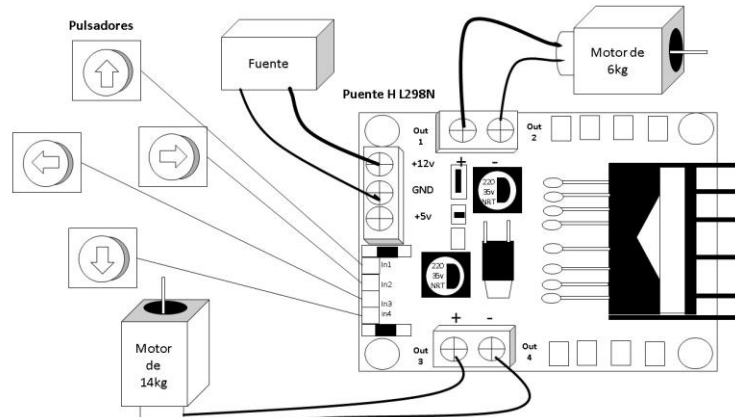
Esquema 6 Puente H l298N
Fuente: Elaboración propia

El motor que va conectado al eje de rotación tiene asignados dos pulsadores uno para el movimiento a la derecha y el otro para el movimiento a la izquierda y para el motor que está conectado a la polea se le asignaron los otros dos pulsadores para el movimiento hacia arriba y abajo.

Cuando se oprime un pulsador el chip L298N recibe una señal TTL que tiene un voltaje entre 0 – 0.8 V y les indica a los motores que se mueva a la derecha y hacia arriba respectivamente a cada motor o recibe un voltaje entre 2.5 – 5 V que le indica a los motores que se muevan a la izquierda y hacia abajo dependiendo de que pulsador se esté oprimiendo. Dependiendo el tiempo que se mantenga oprimido el pulsador el chip variara el ancho de la señal, manteniendo la

frecuencia constante, lo cual controla la cantidad de corriente enviada al motor aumentando la velocidad de los motores.

Los cuatro pulsadores van conectados a los pines de entrada del puente H I298N y los motores van conectados tanto el positivo y negativo a los pines de salida. Las conexiones se pueden visualizar en el Esquema 7.



Esquema 7 Conexión puente H I298N a los motores
Fuente: Elaboración propia

Los precios de los anteriores componentes se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 4 Precios sistema de movimiento

Componentes	Precios en pesos colombianos
Tubo de hierro 1 m	29.000
Perfil de hierro 1m	25.000
Polea	25.000
Motores (2)	143.000
Pulsadores (4)	15.000
Controlador H I298N	15.000
Guaya 1m	4.000

4.3.2 Sistema de guía óptico

Se añadió este sistema con el fin de facilitar las observaciones con el radiotelescopio, ya que permite visualizar el objeto de estudio, lo cual puede aportar información complementaria a la recibida por el radiotelescopio.

Este sistema se compone de las siguientes partes:

Telescopio monocular: Se usa para poder visualizar el objeto de estudio al que este direccionada la antena.

Cámara Web: Debido a que el radiotelescopio está ubicado alejado del centro de mando, la cámara web se usa para visualizar y grabar lo que ve el telescopio monocular desde el centro de mando.

Filtro solar: Como se visualiza el Sol el telescopio monocular debe tener un protector (filtro) para que sea posible ver el astro y no dañar los otros componentes.

En la **Tabla 5** se describen los anteriores componentes y su precio en el mercado colombiano.

Tabla 5 Componentes sistema de guiado

Componentes	Descripción	Precio en pesos colombianos
Telescopio monocular	Es un tipo de telescopio con diámetro del objetivo de 42mm y un aumento de 12 x	120.000
Cámara web	Tiene una resolución de 1080 p (Full HD) y una tasa de refresco de 30 FPS	60.000
Filtro solar para telescopio	Este filtro es de 50 mm con una densidad de laminada de 5,0 de una película Baader	20.000

La cámara web se alinea a 1 cm con el telescopio, debido a que a esta distancia la cámara enfoca correctamente lo que se observa en el telescopio (ver Fotografía 4). Este sistema se fijó en una montura que se hizo con una tabla y se aisló dentro de un tubo de PVC que se ancló con amarres plásticos a la antena más específicamente con el soporte del LNB (ver Fotografía 5).



Fotografía 4 Alineación telescopio y cámara web

Fuente: Fotografía propia



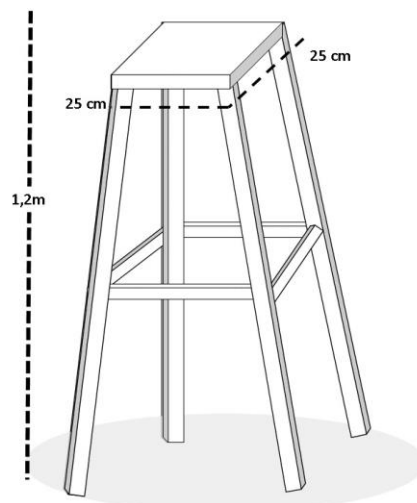
Fotografía 5 Montura guiado óptico

Fuente: Fotografía propia

Es importante resaltar que el alcance del sistema de guiado óptico está limitado por las características del telescopio monocular, para este caso como el objeto de estudio es el Sol y el sistema solo es un apoyo no es necesario un telescopio profesional y basta con uno básico.

4.3.2.1 Estructura y caja de conexiones principales

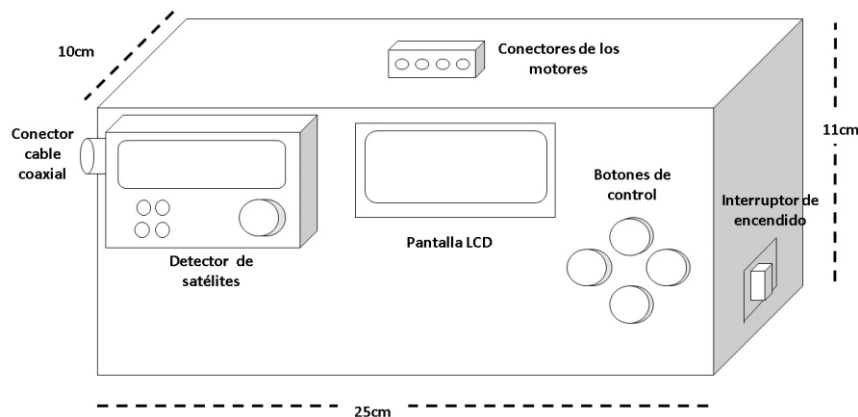
Para sostener el plato colector, el sistema de guiado óptico y sistema de movimiento se construyó una estructura en forma de silla, ya que esta forma es estable estructuralmente, de 1,2 m, hecha con perfil de hierro cuadrado con un grosor de 2,5 mm. La estructura se puede ver en el Esquema 8.



Esquema 8 Estructura radiotelescopio

Fuente: Elaboración Propia

Para aislar el módulo de procesamiento, el controlador de los motores y la fuente de alimentación se compró una caja de circuitos de $25 \times 11 \times 10$ cm que se adaptó una de sus caras para colocar la pantalla LCD, el detector de satélites, los pulsadores y el interruptor de encendido y apagado. La caja de circuitos se puede ver en el Esquema 9.



Esquema 9 Caja de circuitos
Fuente: Elaboración propia

4.4 Montaje completo

Inicialmente se debe encender el radiotelescopio con el interruptor que se encuentra a un lado de la caja de circuitos. El radiotelescopio construido funciona similar a un telescopio óptico, pero refleja las ondas de radio en la antena parabólica de foco offset en lugar de un espejo de vidrio, las ondas emitidas por el Sol se reflejan al foco de la antena, donde está ubicado el LNB. El LNB recibe las ondas de radio en una frecuencia de 10,95 a 12,75 GHz, las filtra a una frecuencia de 950 a 2159 MHz y las convierte en una señal eléctrica para que pueda ser enviada por un cable coaxial al detector de satélites. El detector de satélites ayuda a determinar la intensidad de las ondas de radio provenientes del Sol para direccionar la antena a medida que se va moviendo el Sol en el transcurso del día y, adicionalmente, ayuda a ubicar al Sol en los días que no se vea en el cielo por condiciones climáticas.

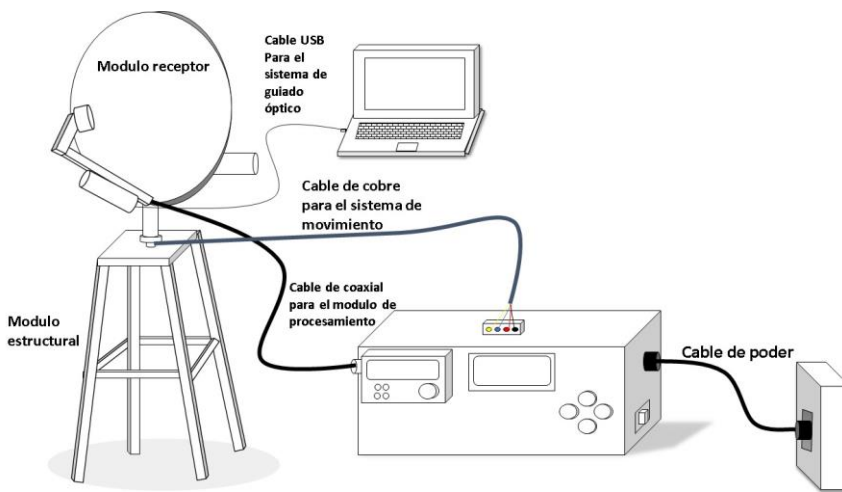
Luego la señal pasa de los conectores positivo y negativo del S-meter del detector de satélites al circuito amplificador por medio de un cable eléctrico de cobre. El circuito amplificador

aumenta la amplitud de la señal, ya que al pasar por los anteriores componentes pierde intensidad, adicionalmente funciona como filtro para reducir la señal en el rango de frecuencias específico en el que se va a estudiar al Sol (400 – 2000 Hz) y reduce el ruido de la señal, entregando una señal eléctrica de salida con una frecuencia específica y constante, hasta este punto es una señal analógica. La frecuencia es recibida por el Arduino Mega y transformada a una señal digital por medio de un programa de conversión ADC. El Arduino Mega tiene dos salidas en las que se pueden visualizar las señales en forma de datos o gráficas, una salida va conectada a una pantalla LCD en la que se visualiza el valor de la frecuencia en intervalos de 8 segundos y la otra a un computador donde se muestra la variación de la frecuencia en intervalos de tiempo en una gráfica. Cuenta con dos métodos de visualización ya que depende de si se tiene o no un computador, se recomienda que haga la visualización desde un computador ya que va a permitir que los datos sean almacenados.

Adicionalmente el radiotelescopio cuenta con un sistema de movimiento que permite hacer seguimiento del Sol en el transcurso del tiempo en el que se quiera estudiar y un sistema de guiado óptico que ayuda a visualizar el Sol, ya que el radiotelescopio está alejado del centro de mando.

Todos los componentes electrónicos del radiotelescopio están alimentados por una fuente principal de 19 V, adicionalmente tiene dos fuentes DC variables conectadas a la fuente principal, ya que algunas componentes funcionan a voltajes diferentes, una ajustada a 5V para el Arduino Mega, el controlador de los motores y la pantalla LCD y la otra ajustada a 12V para alimentar una parte del detector de satélites y los motores.

En el Esquema 10 se muestran las conexiones entre los diferentes módulos del radiotelescopio y en la Fotografía 6 se muestra el radiotelescopio construido.



*Esquema 10 Conexiones de los módulos
Fuente: Elaboración propia*



*Fotografía 6 Radiotelescopio construido
Fuente: Elaboración propia*

En la siguiente tabla se muestra el precio total del radiotelescopio.

Tabla 6 Precio total del radiotelescopio

Componentes	Precios en pesos colombianos
Antena y LNB	Donados
Arduino Mega	Donado
Detector de satélites	60.000
Pantalla LCD	20.000
Sistema de movimiento	256.000
Sistema de guiado óptico	200.000
Estructura	100.000
Caja de circuitos	25.000
Otros componentes (tornillos, tuercas, cable, entre otros)	110.000
Total	771.000

5 Observaciones con el radiotelescopio construido

5.1 Calibración del radiotelescopio

El radiotelescopio cuenta con diferentes componentes que deben ser calibrados de forma individual antes de poder calibrar el montaje completo del radiotelescopio, inicialmente se hizo la calibración de la antena y receptor LNB, para esto la antena debe direccionarse hacia una fuente de radiofrecuencia ya conocida, para este fin se usó un satélite artificial Hughes Electronics HS-601 de la empresa DIRECTV debido a que tanto la antena y el receptor LNB son fabricados por dicha empresa, el satélite para la ciudad de Bogotá se ubica a una orientación de 263° a una elevación de 65° , para ubicar la orientación se usó una brújula y para el medidor se ubicó el soporte de la antena en el valor correspondiente de 65° (DIRECTV, 2023), una vez ubicada la antena se usó un osciloscopio para determinar los valores de frecuencia, se encontró que el receptor LNB recibe frecuencias en el rango de 10 a 12 GHz aproximadamente que es consecuente con la banda de frecuencia Ku, que es la banda de frecuencias en las que transmite el satélite y por tanto estos componentes están calibrados.

Luego de esto, se midió la impedancia del detector de satélites con un analizador de impedancia dando un valor de 75 ohmios que corresponde al valor normal para el detector de satélites análogo SF-9506 de la marca HDMISAT, según su ficha técnica. Esto es importante ya que el detector de satélites debe tener la impedancia precisa para que genere la menor interferencia en la señal.

El último componente que se revisó fue el Arduino Mega cerciorándose que los drivers estén actualizados a su última versión para el lenguaje de programación del Arduino IDE (versión 2.1.0), para el correcto funcionamiento tanto de este como de la pantalla LCD.

Por último, para la calibración del montaje completo se utiliza el circuito amplificador, el cual compara la señal proveniente del S-Meter del detector de satélites en un rango de 26 a 30 dB constantes y solo permite el paso para las señales con esta ganancia, que corresponden a la potencia de radiación del Sol recibida por la antena en relación con la potencia de salida de la señal mostrada por el radiotelescopio según (Luna, Dominguez, Colmbres, & Fragoso, 2013). De esta manera el radiotelescopio está calibrado para recibir únicamente las radiofrecuencias emitidas por el sol, este proceso es necesario puesto que la antena, el receptor LNB y el detector de satélites están diseñados para captar señales de satélites artificiales de televisión y se modificó para su uso

en radioastronomía. El proceso de calibración del radiotelescopio es similar al de un radiotelescopio convencional que cuenta con una fuente estándar de potencia para este fin.

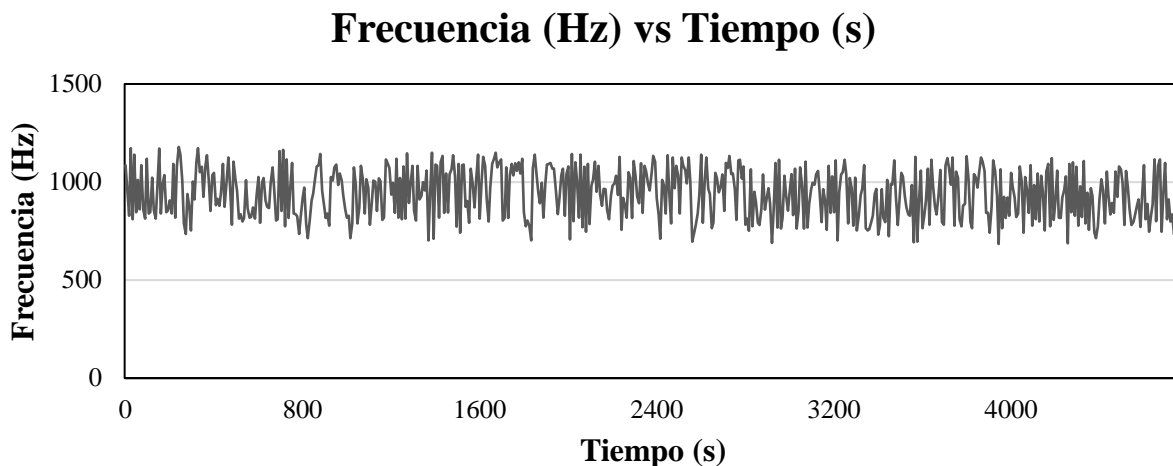
Es importante tener en cuenta que el propio instrumento genera interferencia y por tanto el radiotelescopio construido esta calibrado de tal forma que genere la menor interferencia posible.

5.2 Funcionamiento del radiotelescopio

Es importante resaltar que las radiofrecuencias que se muestra en la pantalla LED ya han sido procesadas por los diferentes componentes del radiotelescopio y en este proceso la señal reduce su frecuencia, por tal motivo los valores de frecuencia mostrados son menores a los recibidos por el receptor LNB, pero tienen el mismo comportamiento y representan las mismas variaciones de intensidad, por tanto al medir las radiofrecuencias emitidas por el Sol esta se verá reflejada en la escala del detector de satélites.

Para comprobar el correcto funcionamiento del radiotelescopio se hicieron diferentes pruebas en dos momentos, el primer momento se hizo el registro de los datos obtenidos con el radiotelescopio de las radiofrecuencias emitidas por el Sol durante 8 días en un horario de 8:00 am a 1:00 pm, debido a que el radiotelescopio muestra los valores de frecuencia cada 8 segundos, las observaciones realizadas en un día son aproximadamente 2250 datos de frecuencia, en el Anexo 2 se puede ver un ejemplo del tipo de tabla de datos obtenidos con el radiotelescopio con 600 datos de frecuencia en función del tiempo tomados el día 23 de mayo de 2023 en un periodo de 1 hora y 20 minutos de 10:00am a 11:20am, en la Grafica 1 se muestran los valores de frecuencia en función del tiempo.

Grafica 1 Frecuencia en función del tiempo

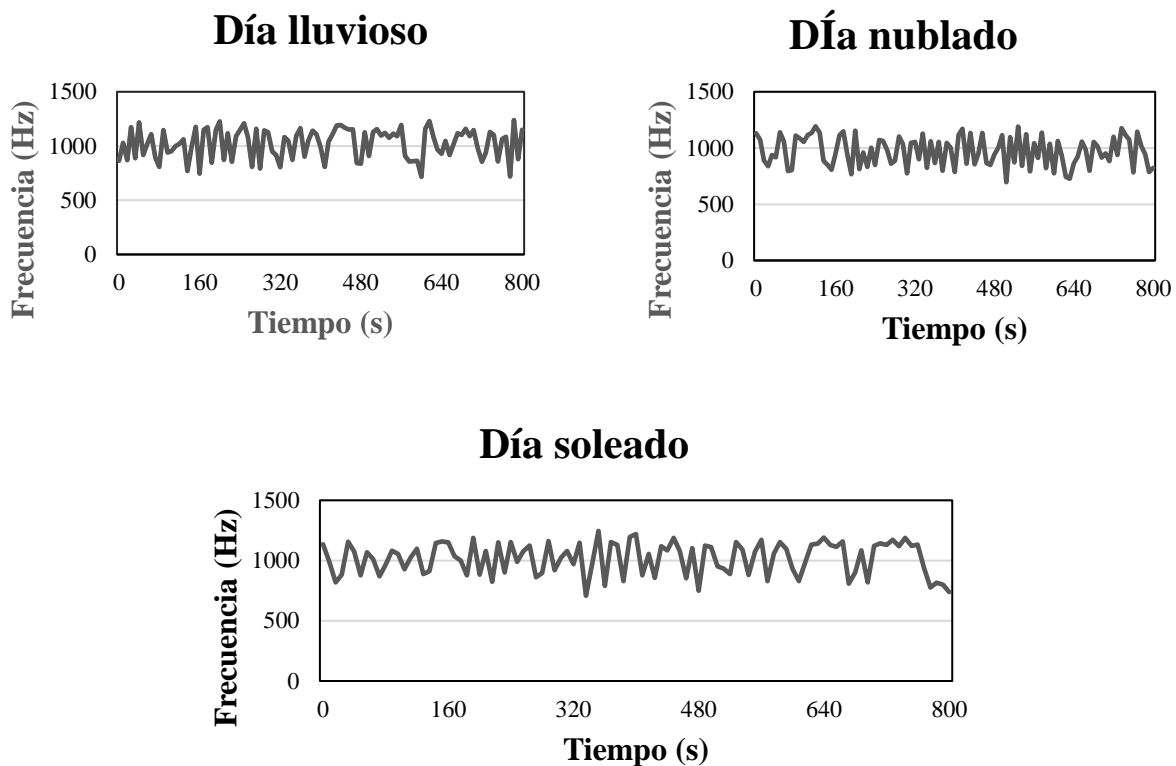


Una vez obtenidos los datos en el segundo momento se hicieron 3 diferentes análisis a partir de los gráficos de los datos de frecuencia en los diferentes días, los cuales son los siguientes:

- *Aumento de frecuencia en un día:* en los diferentes días los valores de frecuencia inician en aproximadamente 600 Hz a las 8:00 am, aumenta y disminuye constantemente en un rango de frecuencias durante una hora, la intensidad de la frecuencia va aumentando progresivamente a medida que pasan las horas hasta llegar a su punto máximo a las 12:00 pm, la frecuencia máxima que alcanza el Sol esta entre los 1500 a 1800 Hz aproximadamente y en los días más Soleados puede llegar hasta los 2000 Hz, esto ocurre debido a que al mediodía el Sol se encuentra en su punto más alto en el cielo, en la mayoría de las regiones, lo que significa que la radiación solar tiene que atravesar una menor cantidad de atmósfera para llegar a la superficie de la Tierra, después de medio día la intensidad de los aumentos y disminuciones de la frecuencia se reduce a medida que el Sol va descendiendo en una curva mientras se mueve hacia el horizonte occidental en el cielo.
- *Condiciones climáticas:* las mediciones hechas con el radiotelescopio se hicieron en diferentes días con condiciones climáticas distintas, en la Gráfica 2 se muestran una parte de la totalidad de los datos obtenidos, sobre todo en días soleados,

nublados y lluviosos¹⁰, en las gráficas de frecuencia en función del tiempo, no se ven cambios significativos en las gráficas de los diferentes días por tanto se puede concluir que estas condiciones no afectan de forma importante la recepción de ondas de radio provenientes del sol, aunque no se hicieron mediciones en días con lluvias torrenciales o tormentas eléctricas que sí podrían afectar en mayor medida a las mediciones.

Grafica 2 Condiciones climáticas



¹⁰ Día soleado: toma de datos el día 15/05/2023, hora de inicio a las 10:00 am durante un periodo de 13 min, donde se tomaron alrededor de 100 datos.

Día nublado: toma de datos el día 06/05/2023, hora de inicio a las 10:00 am durante un periodo de 13 min, donde se tomaron alrededor de 100 datos.

Día lluvioso: toma de datos el día 13/05/2023, hora de inicio a las 10:00 am durante un periodo de 13 min, donde se tomaron alrededor de 100 datos.

- *Temperatura de brillo:* Es la temperatura efectiva¹¹ del Sol que determina el espectro de radiación electromagnética emitida por esta estrella, pero no debe confundirse con la temperatura real en el núcleo del Sol. En radioastronomía se expresa a partir de la potencia recibida por la antena, lo que quiere decir que sí la potencia aumenta esto indica que la temperatura de brillo del Sol también aumenta. Para calcular la potencia recibida por la antena se hace uso de la Ecu. 3, donde se toma el valor teórico de temperatura absoluta del Sol de 5500°C y los intervalos de frecuencia de 400 a 2000 Hz, para estos intervalos de frecuencia recibidas por el radiotelescopio se obtiene que el valor de la potencia es de $5,3 \times 10^{-31} \text{ w/m}^2$. Esto indica que, por cada metro cuadrado de superficie de la antena, está recibiendo una potencia de $5,3 \times 10^{-31}$ vatios. Por último, es importante resaltar que la temperatura absoluta del Sol que se utilizó para calcular la potencia es una media promedio, ya que la temperatura real varía a lo largo de la atmósfera solar.

Las observaciones y el análisis de las mismas se hicieron con el fin de caracterizar las radiofrecuencias que se obtienen con el radiotelescopio.

¹¹ La temperatura efectiva es la temperatura a la que se encuentra la atmósfera solar.

6 Secuencia de actividades: Radioastronomía para aficionados – Sintonizando el Sol

6.1 Caracterización de la población

Las actividades propuestas fueron diseñadas para los estudiantes del centro de interés en radioastronomía del colegio Rodrigo Lara Bonilla, el cual es complementario al club de astronomía Phoenix. Tanto el centro de interés como el club hacen parte del Proyecto Ambiental Escolar (PRAE) del colegio, el cual tiene como finalidad promover el análisis y la comprensión de los problemas y las potencialidades ambientales locales, regionales y nacionales.

En el periodo comprendido entre el segundo semestre de 2022 al primer semestre del 2023, 10 estudiantes de edades entre los 12 a 17 años participaron en el centro de interés. En este periodo se desarrollaron actividades con los estudiantes sobre los objetos de estudio de la radioastronomía, los instrumentos que captan las ondas de radio, las características de estos y su funcionamiento, algunos de los radiotelescopios más importantes del mundo y ciertas características de las ondas electromagnéticas, en el marco de los procesos de práctica pedagógica desarrollados por los investigadores. Para la realización de las actividades se usó como guía el manual de radioastronomía ALMA a la Escuela (ALMA, ESO, NAOJ, & NRAO, 2019), lo anterior con la finalidad de dar un acercamiento a temas referentes a la radioastronomía. En el Anexo 3 se muestran algunas de las actividades que se hicieron con los estudiantes.

Cabe aclarar que en este documento no se presenta una sistematización y reflexión sobre este proceso ya que no está contemplado en los objetivos de la investigación, pero denota los conocimientos previos sobre radioastronomía que tienen los estudiantes para los cuales se diseñan las actividades que se presentan en este capítulo.

Las actividades que se proponen están centradas en el uso práctico del radiotelescopio que permite a los estudiantes hacer sus primeras observaciones en radioastronomía, y aunque están diseñadas para este centro de interés pueden ser utilizadas como guía para otros escenarios, en los cuales se deseen hacer observaciones con un radiotelescopio.

6.2 Estrategia y enfoque de enseñanza para el diseño de las actividades

Las actividades se diseñaron desde el enfoque de enseñanza por investigación guiada, que se caracteriza por situar a los estudiantes en un contexto de construcción de conocimiento “similar” a los procesos que hacen los científicos en la construcción de modelos que den cuenta del

comportamiento de la naturaleza. En este sentido, se aleja de procesos de enseñanza centrados en la memorización de información (Pozo & Miguel Angel, 1998).

Las investigaciones guiadas son aquellas en las que los estudiantes son partícipes activos en la construcción de su propio conocimiento científico escolar, a partir, de la obtención de datos reales y la construcción de modelos explicativos sobre los hechos obtenidos en comunidades de aprendizaje (Martí, 2012). Este enfoque se centra en la construcción de conocimiento científico con base en la interpretación del mundo natural, por medio de un proceso de investigación, el cual permite desarrollar habilidades de pensamiento científico asociadas a la obtención y el análisis de datos, que implica -entre otras cosas- el ordenamiento, clasificación, comparación, representación e identificación de patrones en los datos, y al establecimiento de conclusiones y argumentos a partir de los hechos establecidos o las evidencias derivadas de los datos obtenidos (Martí, 2012). En estas investigaciones el debate, diálogo y discusión con los otros (compañeros y maestros) es fundamental para propiciar la construcción social del conocimiento (Wagensberg, citado por (Martí, 2012)), a través de la contrastación de los diferentes puntos de vista.

Reconociendo que uno de los objetivos de la construcción de conocimiento científico escolar es comprender el mundo natural, se considera pertinente incorporar la experimentación en el aula de clase. Entendiendo la experimentación como un proceso que involucra hacer con las manos, el pensamiento y el “corazón”, con lo cual se espera superar enfoques de enseñanza en los que la experimentación es esencialmente instrumental, procedural, centradas casi que exclusivamente en el desarrollo de montajes experimentales prediseñados por el maestro y en la toma de datos (Martí, 2012).

En este enfoque de enseñanza el docente no va ser el generador de conocimiento, pero si tiene la tarea de ofrecer a los estudiantes un ambiente educativo propicio para que se involucren activamente en su proceso de aprendizaje (Pozo & Miguel Angel, 1998). El papel del docente es guiar la investigación ya que es la persona con más experiencia en el aula de clases y será el encargado de proponer las preguntas que orientan el proceso de investigación escolar (Dewey, citado por (Martí, 2012)). El nivel de autonomía inicial de los estudiantes en la investigación dependerá del nivel de desarrollo de sus habilidades de pensamiento científico. Por esta razón, es importante que el docente conozca a sus estudiantes para determinar el grado de autonomía que tendrán a lo largo de todo el proceso.

Se adopta este enfoque porque, como lo menciona Martí (2012), las estrategias por investigación producen mejores resultados en la comprensión de contenidos y un mayor entendimiento de la actividad científica, en comparación con otros enfoques centrados en la transmisión de información, la memorización de contenidos y en la experimentación pensada como una receta de cocina enfocada a la comprobación de ideas teóricas siguiendo rigurosamente una serie de pasos. Además, porque este enfoque de enseñanza, al igual que el trabajo científico, no se centra solamente en los conocimientos, sino también en la generación y resolución de problemas teóricos y prácticos (Pozo & Miguel Angel, 1998), promoviendo el desarrollo de habilidades de pensamiento propias de la ciencia.

Basados en este enfoque de enseñanza se diseñan las actividades que se presentan en las siguientes secciones de este capítulo. Estas actividades se privilegia *la observación* con el radiotelescopio como estrategia primordial en la construcción de conocimiento científico escolar. Esta observación no se limita a la obtención y registro de los datos con el radiotelescopio, sino que hace referencia a un proceso cognitivo más complejo en donde los estudiantes le dan significado a los datos obtenidos a partir de su análisis. También se privilegia *la generación de modelos explicativos de las observaciones*, por medio de la argumentación, justificación, socialización y contrastación de los diferentes puntos de vista. El proceso de observación y modelización es el que se entiende como experimentación.

Las actividades diseñadas tienen como objetivo que los estudiantes elaboren explicaciones sobre algunas de las características de la radiación captada por el radiotelescopio y de los procesos físicos del sol, tales como llamaradas, tormentas y explosiones aisladas, y que desarrollen las habilidades de pensamiento relacionadas con el análisis e interpretación de datos para la obtención, justificación y argumentación de conclusiones, dentro de una actividad de investigación colaborativa, esto es, una actividad en la que se propicia el diálogo, el debate y la discusión consigo mismo y con los otros.

Para finalizar es importante mencionar que, debido a que las actividades se diseñan como un primer acercamiento a un radiotelescopio, se inicia con un nivel bajo de autonomía por parte de los estudiantes en las actividades de investigación y se va aumentando gradualmente a medida que se van desarrollando las mismas, finalizando con una actividad que requiere un alto grado de autonomía por parte de los estudiantes.

6.3 Diseño y secuenciación de actividades

6.3.1 Descripción general de las actividades

La intención de este módulo de radioastronomía para aficionados es que los estudiantes, a partir de la observación y el análisis, aprendan a utilizar un radiotelescopio, puedan dar significado a los datos obtenidos por medio de este instrumento a partir de la interpretación de gráficas propias de la radioastronomía y logren dar explicaciones de ciertos fenómenos físicos del Sol como: los diferentes procesos físicos en su superficie (explosiones solares y llamaradas solares), como afecta el clima a la recepción de radiofrecuencias emitidas por el Sol y como afectan la recepción de radiofrecuencias emitidas por el Sol en relación con la posición relativa de la tierra respecto al sol.

La primera actividad se orienta a partir de las preguntas *¿cómo funciona el radiotelescopio?* y *¿cómo se utiliza el radiotelescopio?* Con esta actividad se busca que el estudiante identifique las partes del radiotelescopio y su funcionamiento. Para responder a estas preguntas se plantea que el estudiante explore los componentes del radiotelescopio y la funcionalidad de cada componente y que indague sobre el proceso de recepción de ondas electromagnéticas en el radiotelescopio.

En la segunda actividad se abordan las preguntas *¿cómo se puede interpretar la información obtenida con el radiotelescopio a partir de un programa de audio?*, *¿qué relación hay entre el tono del sonido derivado del Sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol?*, con el propósito de que los estudiantes establezcan relaciones entre tono del sonido y la frecuencia de radiación recibida por el radiotelescopio. Para el establecimiento de estas relaciones se realizan mediciones con el radiotelescopio y se analiza la información obtenida.

La pregunta que orienta la tercera actividad es *¿cómo afectan las condiciones climáticas de nubosidad y lluvia a las mediciones realizadas con el radiotelescopio?* Esta actividad sirve para que los estudiantes determinen la forma en que las condiciones climáticas afectan las mediciones con el radiotelescopio de las radiofrecuencias emitidas por el sol. Para lograr esto se propone que los estudiantes hagan mediciones en tres días a la misma hora con diferentes condiciones climáticas y analicen la información obtenida.

En la cuarta actividad se plantea la pregunta *¿cómo se ven afectadas las mediciones realizadas con el radiotelescopio al ser tomadas en diferentes meses del año?* Aquí se busca que

los estudiantes establezcan la relación entre la intensidad de las radiofrecuencias captadas con el radiotelescopio y la distancia relativa entre la tierra y el Sol en los diferentes meses del año. Para tal fin, se plantea que los estudiantes hagan mediciones cada mes desde enero hasta julio y comparen en que mes hay mayor intensidad de radiación.

La quinta actividad se estructura a partir de las preguntas *¿cómo identificar algunos procesos físicos que ocurren en la superficie del Sol a partir del análisis de las gráficas de frecuencia obtenidas con el radiotelescopio?* Esta actividad permite a los estudiantes clasificar los diferentes procesos físicos que ocurren en la superficie solar, por medio de la interpretación de los picos de intensidad de frecuencia en intervalos de tiempo específicos en las gráficas. Para responder esta pregunta los estudiantes deben realizar diferentes mediciones, organizar los niveles de intensidad de la radiación recibida en función del tiempo, identificar incrementos (repentinos, intermitentes y periódicos) en la intensidad de la radiación recibida y establecer relaciones entre los incrementos, su tiempo de duración y los procesos físicos solares.

6.3.2 Ruta de aprendizaje

A continuación, en la Tabla 7 se muestra la ruta de aprendizaje de cada actividad donde se evidencia las preguntas guiadas, ideas clave y desempeños esperados.

Tabla 7 Ruta de aprendizaje

Actividad	Preguntas guiadas	Ideas clave	Desempeños esperados
1	<p><i>¿Cómo funciona el radiotelescopio?</i></p> <p><i>¿Cómo se utiliza el radiotelescopio?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - El radiotelescopio capta ondas de radio. - El radio telescopio se compone de tres módulos: módulo receptor, módulo de procesamiento y modulo estructural. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifico las partes del radiotelescopio. - Identifico la funcionalidad de cada parte del radiotelescopio. - Clasifico las partes del radiotelescopio a partir de su función.
2	<p><i>¿Cómo se puede interpretar la información obtenida con el radiotelescopio a partir de un programa de audio?</i></p> <p><i>¿Qué relación hay entre el tono del sonido derivado del Sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - El sonido es más agudo cuando las mediciones se hacen en el mediodía. - El sonido es más grave cuando las mediciones se hacen antes del mediodía. - La intensidad de las frecuencias aumenta cuando las mediciones se hacen en el mediodía. - La intensidad de la frecuencia es menor cuando las mediciones se hacen antes del mediodía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evidencio que la información obtenida con el radiotelescopio puede analizarse con un programa de audio. - Relaciono el tono del sonido con la intensidad de la frecuencia emitida por el sol.

Actividad	Preguntas guiadas	Ideas clave	Desempeños esperados
		<ul style="list-style-type: none"> - Cuando el sonido es grave la intensidad de la frecuencia es menor. - Cuando el sonido es agudo la intensidad de la frecuencia es mayor. 	
3	<i>¿Cómo afectan las condiciones climáticas de nubosidad y lluvia a las mediciones realizadas con el radiotelescopio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Las radiofrecuencias recibidas con el radiotelescopio pueden ser levemente atenuadas cuando el día está muy nublado o está lloviendo. - Las condiciones climáticas no afectan significativamente las mediciones hechas con el radiotelescopio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifico como las condiciones climáticas pueden afectar las mediciones hechas con el radiotelescopio.
4	<i>¿Cómo se ven afectadas las mediciones realizadas con el radiotelescopio al ser tomadas en diferentes meses del año?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - La intensidad de la frecuencia aumenta en los meses en los que la tierra se acerca en su trayectoria al sol. - La intensidad de frecuencia llega a su punto máximo cuando la tierra se encuentra en el perihelio. - La intensidad de la frecuencia disminuye cuando la tierra en su trayectoria se va alejando del sol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evidencio que la intensidad de la frecuencia varía dependiendo el mes en el que se realizan las observaciones. - Atribuyo la variación de la frecuencia a la distancia entre la tierra y el sol.
5	<i>¿Cómo identificar algunos procesos físicos que ocurren en la superficie del Sol a partir del análisis de las gráficas de frecuencia obtenidas con el radiotelescopio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Una llamarada solar se caracteriza por un aumento repentino y grande en la intensidad de la frecuencia en unos pocos segundos. - Una tormenta solar se caracteriza por un aumento repentino y grande en la intensidad de la frecuencia que puede durar horas o hasta días. - Una explosión aislada se caracteriza por un aumento no muy grande en la intensidad de la frecuencia en intervalos de tiempo regulares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifico variaciones muy grandes de frecuencia que no corresponden a los valores normales recibidas por el radiotelescopio de las radiofrecuencias emitidas por el sol. - Clasifico los aumentos repentinos de radiofrecuencias dependiendo su duración y su regularidad. - Relaciono los tipos de aumentos de frecuencia con el proceso físico correspondiente en la superficie del sol.

En la Tabla 8 se sintetiza las actividades específicas para cada actividad.

Tabla 8 Secuencia de actividades

Actividad	Actividades de enseñanza
1	<ul style="list-style-type: none"> - Explorar el radiotelescopio. - Identificar y dibujar las partes del radiotelescopio. - Los estudiantes indagan la función de las partes del radiotelescopio. - Socializar los dibujos hechos con los diferentes grupos de trabajo. - Entre todos los estudiantes catalogan las partes del radiotelescopio según su funcionalidad.

Actividad	Actividades de enseñanza
2	<ul style="list-style-type: none"> - Hacer mediciones con el radiotelescopio conectado a un computador que ejecute un programa de audio. - Grabar las mediciones en el programa de audio. - Registrar los datos de frecuencia que da el radiotelescopio en la pantalla de la caja de circuitos. - Hacer una gráfica de los datos de frecuencia obtenidos en intervalos de tiempo. - Comparar las grabaciones con las gráficas. - Socializar con los demás grupos los resultados obtenidos.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Hacer mediciones de las radiofrecuencias emitidas del Sol a la misma hora en diferentes días con condiciones climáticas distintas (día soleado, nublado, lluvioso). - Graficar las mediciones de frecuencia en función del tiempo. - Comparar las tres gráficas, con el fin de identificar si hay variaciones significativas en la variación de la intensidad de la frecuencia.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Registrar los datos obtenidos el primer día de cada mes durante los meses de enero a julio. - Graficar los datos obtenidos. - Comparar las gráficas para determinar en qué meses aumenta y en que meses disminuye la frecuencia. - Identificar en que mes hay mayor aumento en la intensidad de la frecuencia. - Relacionar el aumento o disminución de la frecuencia con la distancia de la tierra al sol.
5	<ul style="list-style-type: none"> - Hacer registros periódicos de la radiofrecuencia emitida por el sol, cuando se encuentra alguna anomalía en las gráficas: registrar el tiempo en que dura e identificar la regularidad con la que ocurren las anomalías. - Relaciono las anomalías presentes en la gráfica con la ayuda de la información presente en la guía y dada por el profesor sobre los procesos físicos que ocurren en la superficie del sol.

6.3.3 Desarrollo por actividad

Para todas las actividades presentes en este capítulo se utilizará el radiotelescopio, por esta razón es necesario que revise el Anexo 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se describe como utilizar el radiotelescopio. Adicionalmente, se diseñó un documento para los estudiantes que se incluye en el Anexo 5

6.3.3.1 Actividad 1: Reconocimiento del radiotelescopio solar

Las preguntas que guían esta actividad son ¿cómo funciona el radiotelescopio? y ¿Cómo el radiotelescopio puede captar las ondas de radio? Y tiene como objetivo identificar las partes del radiotelescopio y sus funciones. Para lograr este objetivo comience la actividad organizando a los estudiantes en grupos de tres, incentive a cada grupo a explorar el radiotelescopio con la finalidad de que ellos identifiquen las partes que lo componen, después de la exploración pida a cada grupo que ilustre las partes del radiotelescopio que identificaron y escriban la función que consideran que cumplen cada parte. Una vez los estudiantes finalicen esta parte de la actividad establezca un diálogo con todos los grupos de trabajo donde socialicen el trabajo realizado por cada grupo y

argumenten sus resultados, dirija el diálogo hacia la pregunta ¿cómo clasificarían las partes del radiotelescopio? Con la finalidad de que clasifiquen las partes del radiotelescopio a partir de su funcionalidad en los módulos: de recepción, donde se clasifica la antena, el receptor LNB y el detector de satélites; de procesamiento, donde se clasifica el Arduino Mega y el circuito amplificador; y el estructural, donde se clasifica la montura de la antena, la caja de circuitos y el sistema de motores. Para finalizar incentive a los estudiantes a indagar ¿Cómo el radiotelescopio puede captar las ondas de radio? Una vez realizadas las indagaciones por parte de los estudiantes, pida a los estudiantes que socialicen su indagación y hagan una puesta en común recogiendo las conclusiones obtenidas en toda la actividad con el fin de que puedan dar respuesta a las preguntas generales de la actividad.

6.3.3.2 Actividad 2: Escuchando el sol

Esta actividad tiene como objetivo hallar la relación entre el tono del sonido derivado del Sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol y las preguntas centrales son ¿cómo se puede interpretar la información obtenida con el radiotelescopio a partir de un programa de audio? Y ¿Qué relación hay entre el tono del sonido derivado del Sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él Sol? Para esta actividad es necesario realice registros de la radiofrecuencia emitida por el Sol en tres horas diferentes, se sugieren las 8:30 am, 10:00 am y 12:00 pm, la actividad se dividirá en tres momentos los cuales son:

- *Momento 1:* Lo primero que debe pedir que hagan los estudiantes es conectar el cable blanco (negativo) y rojo (positivo) que salen de la caja de circuitos del radiotelescopio al conector de audio y conectar el plug al computador. En el Anexo 4 se muestra cómo se debe hacer esta conexión. Una vez conectado pide a una parte de los estudiantes que en el computador abran la aplicación *grabadora de voz de Windows* donde pueden empezar a grabar el audio del sonido derivado del Sol. Se recomienda que hagan el seguimiento y grabación del Sol por 30 min. Simultáneamente la otra parte de los estudiantes registraran los datos de frecuencia que se obtienen del radiotelescopio durante el mismo tiempo que el otro grupo y realicen una gráfica de la frecuencia en función del tiempo. Si es pertinente recuérdelos a los estudiantes que en el plano cartesiano se ubican los valores de las frecuencias en el

eje y y en el eje x los valores de tiempo, las escalas de cada eje deben ser proporcionales y que determinen la escala adecuada según los rangos de tus datos.

- *Momento 2:* Una vez los estudiantes finalicen las mediciones incentive el análisis de la información obtenida a partir de las siguientes preguntas: ¿Escuchaste alguna diferencia en el tono de los diferentes audios que grabaste? ¿Si experimentaste alguna diferencia en las tonalidades de los audios por qué crees que pasa esto? ¿A qué hora del día el audio es más agudo y grave? Estas preguntas son para el grupo que realizaron mediciones de audio y las siguientes preguntas: ¿Ves alguna diferencia en la intensidad de la frecuencia en las diferentes graficas que realizaste?, si viste alguna diferencia ¿Por qué crees que ocurre esta variación en la intensidad de la frecuencia? ¿Qué relación hay entre las diferentes gráficas y la hora en que tomaron los datos? Estas preguntas son para el grupo que realizaron las mediciones solo con el radiotelescopio.
- *Momento 3:* Realice una puesta en común en donde los estudiantes de los diferentes grupos socialicen las mediciones que realizaron en el momento 1 y las reflexiones que surgieron en el momento 2 y dirija el dialogo a la pregunta ¿Qué relación hay entre el tono del sonido derivado del Sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol? Se espera que los estudiantes encuentren la relación que cuando el sonido es grave la intensidad de la frecuencia es menor lo cual ocurre cuando se hacen mediciones aproximadamente a las 8:00 am y 10:00 am y cuando el sonido es agudo la intensidad de la frecuencia es mayor lo cual ocurre cuando se hacen mediciones aproximadamente a las 11:00 am y 12:00 pm.

6.3.3.3 Actividad 3: ¡No vemos el Sol!

El objetivo de esta actividad es comprobar como las condiciones climáticas afectan las mediciones con el radiotelescopio de las radiofrecuencias emitidas por el Sol. Para esta actividad es necesario que los estudiantes hagan mediciones de la radiofrecuencia emitida por el Sol durante 30 minutos, estas mediciones las deben hacer en 3 días diferentes a la misma hora, donde las condiciones climáticas sean diferentes, se recomienda que las condiciones climáticas sean en un día soleado, nublado y lluvioso.

Una vez los estudiantes hayan realizado el registro de las mediciones se les debe pedir que grafiquen los datos obtenidos en una gráfica de frecuencia en función del tiempo, una vez

realizadas las gráficas por parte de los estudiantes incentive el análisis de las 3 diferentes graficas a partir de las siguientes preguntas: ¿Hay diferencia en la intensidad de la frecuencia entre los tres días? Si es así cuales, ¿En cuál de los tres días se ve más afectada la intensidad de la frecuencia?, y finalmente recogiendo las observaciones y conclusiones den respuesta a la pregunta central de la actividad ¿Cómo afectan las condiciones climáticas de nubosidad y lluvia a las mediciones realizadas con el radiotelescopio? Se espera que los estudiantes identifiquen que las radiofrecuencias recibidas con el radiotelescopio pueden ser levemente atenuadas cuando el día está muy nublado o está lloviendo y que las condiciones climáticas no afectan significativamente las mediciones hechas con el radiotelescopio.

6.3.3.4 Actividad 4: Siguiendo el Sol

El objetivo de esta actividad es comprobar experimentalmente que a medida que la tierra se acerca en su trayectoria al punto más cercano al Sol (perihelio) la intensidad de las radiofrecuencias recibidas por el radiotelescopio aumenta. Para esta actividad se propone que los estudiantes hagan mediciones con el radiotelescopio el primer día de cada mes, se recomienda que sean desde el mes de enero al mes de julio y que las mediciones se hagan siempre a la misma hora en un intervalo mínimo de cuatros horas. Debido a que se van a tomar mediciones en un rango de más de 1000 datos por día, pídale a los estudiantes que realicen el registro de los datos en la aplicación de Excel para facilitar la realización de las gráficas, tener un mejor orden en los datos obtenidos y poder visualizar las tendencias de las gráficas de una mejor manera. Si considera pertinente antes de empezar con la actividad contextualice a los estudiantes de las funciones que se realizaran en Excel.

Cuando ya completen todas las mediciones incentive a los estudiantes por medio de las siguientes preguntas orientadoras ¿notas alguna diferencia en la intensidad de la frecuencia en las diferentes graficas? Menciona cuales, ¿en qué mes hay mayor intensidad de radiofrecuencias? Una vez los estudiantes den sus posibles respuestas motívelos a que hagan una pequeña indagación sobre como varia la distancia de la tierra al Sol en los diferentes meses del año, para que puedan complementar sus respuestas anteriores. Una vez realizada esta parte de la actividad fomente un dialogo grupal donde los estudiantes den a conocer lo que investigaron y la respuesta de la indagación propuesta, dirija el dialogo a la pregunta central de esta actividad ¿cómo se ven afectadas las mediciones realizadas con el radiotelescopio al ser tomadas en diferentes meses del

año? Donde se pretende que los estudiantes concluyan a partir de su experimentación que en los meses en que la tierra se encuentra más cercana al Sol la intensidad de la frecuencia será mayor hasta llegar a un punto máximo que será cuando la tierra se encuentra en el perihelio, cuando se encuentre más lejana al Sol la intensidad de la frecuencia será menor hasta llegar a un punto mínimo que será cuando la tierra se encuentre en el afelio.

6.3.3.5 Actividad 5: *Espiando el Sol*

En esta actividad se espera que los estudiantes tengan mayor autonomía en su investigación. El objetivo de esta actividad es clasificar los diferentes procesos físicos que ocurren en la superficie solar por medio de la interpretación de los picos de intensidad de frecuencia en intervalos de tiempo específicos en las gráficas. Para lograr este objetivo lo primero que debe hacer es dar una charla donde explique cuales son los diferentes procesos físicos que ocurren en la superficie solar y como se ven reflejados en las gráficas obtenidas con el radiotelescopio, para la explicación puede apoyarse en la información presente sobre el tema en la guía para estudiantes y en el proyecto Radiojove de la NASA que presenta ejemplos de este tipo de actividades, de cómo se ven las gráficas en los momentos en que ocurren estos procesos físicos en la superficie solar. Anime a los estudiantes a buscar aumentos de frecuencia inusuales en las diferentes observaciones que se hagan en el curso y si encuentran algún aumento inusual registren el tiempo en el que dura, la regularidad en la que ocurre y cuanto aumenta la intensidad de la frecuencia en relación a los valores normales, lo anterior con el fin de que los estudiantes clasifiquen estas anomalías en función de los diferentes procesos físicos que ocurren en la superficie solar con ayuda de la guía para estudiantes.

7 Conclusiones

El radiotelescopio construido fue entregado al grupo de astronomía Phoenix del colegio Rodrigo Lara Bonilla en condiciones óptimas de funcionamiento para que pueda ser utilizado en su centro de interés en radioastronomía y puedan empezar hacer observaciones del sol, también se hizo entrega de un instructivo acerca del uso, conexiones y recomendaciones de uso del radiotelescopio y una guía con actividades que sirven para que los estudiantes hagan sus primeras observaciones del Sol con el radiotelescopio.

El radiotelescopio construido es a escala pequeña, ya que va ser utilizado en un ámbito escolar en donde -por lo general- no se dispone de espacios muy grandes para este tipo de instrumentos, también al ser pequeño disminuyó los costos de construcción y al ser diseñado para poder captar las radiofrecuencias emitidas por el Sol no se necesitó de una antena muy grande para lograrlo.

Para el diseño y construcción del radiotelescopio se debe tener en cuenta: *el lugar* en el que estará ubicado, porque de la ubicación depende la sensibilidad con la que se va construir el instrumento, la elección del objeto de estudio y los materiales de construcción; *tener claridad del objeto que se va a estudiar*, ya que diferentes componentes y la calibración de los mismos dependen del objeto cósmico de estudio; y *la población* que hará uso del radiotelescopio, puesto que si va ser utilizado en un ámbito escolar la interfaz en la que se presentan los datos debe ser fácil de entender.

Para nuestro caso el radiotelescopio que se construyó se ubicó en una zona urbana en la ciudad de Bogotá en donde existe mucha interferencia (sistema de audio y el sistema de alarma de los carros, aparatos electrónicos que utilizan señales inalámbricas, las antenas de telecomunicaciones y televisión satelital, entre otros), por esta razón la sensibilidad del instrumento se limitó para que no capte todas las ondas de radio del entorno, sino solo el rango de frecuencias emitidas por el sol. Para tal fin, se construyó con dos filtros: el receptor de señales que filtra el rango de frecuencias entre los 10 a 12 GHz, y el circuito amplificador que solo permite el paso de las señales de frecuencias que se encuentren en el rango de 400 a 2000 Hz, el cual es el rango de frecuencias con las que se van a estudiar el sol. El receptor hace el primer filtro y el circuito amplificador el segundo.

Los materiales de construcción se seleccionaron para que el radiotelescopio sea resistente a los cambios climáticos de la ciudad, la estructura del radiotelescopio está hecha con hierro y

cubierta con una pintura anticorrosiva y esmaltada, los motores del radiotelescopio están aislados dentro de un tubo de PVC y la guaya de la polea tiene un recubrimiento en plástico para disminuir su desgaste.

Para facilitar la construcción del radiotelescopio, se realizó por módulos, con el fin de conectar cada componente del radiotelescopio de manera sencilla. Adicionalmente si se requiere modificar alguno de los componentes del radiotelescopio, se puede hacer sin afectar el funcionamiento de los demás, esto también permite remplazar de manera sencilla cualquier componente del radiotelescopio en caso de que este dejara de funcionar.

La construcción total del radiotelescopio para fines educativos o divulgativos tuvo un costo de \$771.000 pesos colombianos y da evidencia que se puede lograr que los costos de producción sean menores en comparación con los radiotelescopios en el mercado que rondan entre los \$356 a los \$500 dólares estadounidenses más los gastos de envío. Adicionalmente se evidencia que, si es posible la construcción de un radiotelescopio con materiales de fácil acceso, debido a que todos los componentes que constituyen al radiotelescopio se pueden adquirir de forma sencilla en el mercado colombiano.

El desarrollo de esta investigación permite concluir que se puede construir un radiotelescopio pequeño con materiales de bajo costo, con una interfaz sencilla de entender y que los datos obtenidos con el radiotelescopio son fiables para hacer radioastronomía en la escuela ya que los datos obtenidos con el radiotelescopio son similares a los resultados de los radiotelescopios construidos por (Luna, Dominguez, Colombes, & Fragoso, 2013) y (Higuera, 2019).

El radiotelescopio construido se diseñó solo para un objeto de estudio, el sol, esto limita los objetos que se pueden trabajar en radioastronomía ya que si se quiere estudiar otra radiofuente se tiene que construir otro radiotelescopio o hacerle modificaciones al radiotelescopio construido específicamente a la antena, al receptor y al circuito amplificador ya que estos componentes fueron diseñados y/o seleccionados específicamente para el estudio del sol.

El radiotelescopio no tiene la función de seguimiento automático del Sol y por tanto siempre que se realicen observaciones se debe ir moviendo la antena del radiotelescopio de forma manual con los botones de movimiento a medida que el Sol va cambiando su posición en el cielo, lo cual implica que siempre debe haber alguien cuando se hacen observaciones.

El programa de Arduino que utiliza el radiotelescopio no guarda de forma automática los datos obtenidos por lo tanto si no se quiere guardar los datos de forma manual es necesario utilizar un programa externo que almacene los datos de forma automática.

Este documento puede ser utilizado como un instructivo para quien desee construir su propio radiotelescopio ya sea para su uso en un ambiente escolar como para aficionados en radioastronomía, ya que se muestra de una manera detallada los componentes que lo componen, el rango de precios, la función que cumple cada uno, los parámetros funcionales de los mismos, el rango de frecuencias al que funciona el radiotelescopio, su calibración, las conexiones que deben hacer entre los diferentes componentes y el código de programación que se utilizó. También puede servir para docentes que quieran llevar la radioastronomía al aula ya que presenta una secuencia detallada de las actividades que se pueden realizar con el radiotelescopio tanto para que apliquen las que se proponen como para que diseñen otras con base en estas.

El uso práctico de un radiotelescopio en un ambiente educativo puede fomentar el desarrollo de habilidades de experimentación propias del trabajo científico, debido a que la información dada por el radiotelescopio por sí sola no es suficiente ni dice nada del objeto cósmico de estudio, es en el proceso de observación, justificación, argumentación y construcción de modelos explicativos es donde se le da sentido a la información obtenida con el radiotelescopio y pueden dar cuenta del comportamiento o características del objeto de estudio.

Debido a lo anterior la radioastronomía es una herramienta de enseñanza que puede servir para dar la debida importancia a la observación y experimentación en los procesos de construcción de conocimiento científico escolar y también dar un acercamiento a los estudiantes a las diferentes metodologías que se utilizan para hacer ciencia.

Las observaciones con el radiotelescopio y en general en la radioastronomía implican tener tiempo para realizarse, ya que se requiere de una amplia base de datos para poder hacer deducciones a partir del análisis de estos. Por lo anterior se recomienda que si se quiere hacer radioastronomía escolar sea en espacios extracurriculares, para darle la debida importancia y tiempo necesario a la observación, debido a que algunas observaciones pueden tomar hasta meses y no serían suficientes las horas semanales que se le asignan a las clases de física en las instituciones escolares.

Un curso extracurricular de radioastronomía se abordan temas de física como: física de ondas, electromagnetismo, física moderna, entre otros, estos conocimientos se abordan de forma

práctica en los análisis y modelos propios de la radioastronomía, por tanto puede ser una herramienta para que los estudiantes afiancen y pongan en práctica sus conocimientos en física, y relacionen los temas de la física con procesos físicos del universo, por lo anterior se puede realizar un curso extracurricular de radioastronomía para complementar las clases de física.

Este proyecto sirve como punto de partida para la enseñanza de radioastronomía en el aula, ya sea para la educación básica o para instituciones universitarias, donde se podría ampliar a más temas de la radioastronomía y hacer una implementación del uso del radiotelescopio para determinar el impacto que pueda tener en el aula.

Este proyecto da evidencia que se puede hacer radioastronomía con instrumentos de bajo costo con un enfoque educativo, y se espera que a partir de este se puedan realizar más proyectos en radioastronomía, ya que este campo de la ciencia no ha tenido un gran desarrollo a nivel científico y educativo en Colombia. Se ha evidenciado desde la experiencia en la enseñanza de la radioastronomía, que esta rama de la ciencia genera interés en los estudiantes por querer aprender sobre ella, puede aprovecharse esta motivación e interés por estos temas como herramienta para poder hacer ciencia en el aula.

8 Bibliografía

- Ahuma, L. L. (2020). *Una mirada diferente al espacio: propuesta de enseñanza hacia las ondas de radio por medio de la observación astronómica partiendo de las ondas electromagnéticas*.
- ALMA, ESO, NAOJ, & NRAO. (2019). *ALMA en la Escuela*. Obtenido de ALMA : <https://almaobservatory.org/es/publications/manual-de-radioastronomia-alma-en-la-escuela/>
- Alzate, H. (2016). *Física de ondas*. Medellín.
- Có, P. (2018). *Algebra y geometría analítica, secciones cónicas* . Bogotá.
- Conesa, S. R. (2016). *Diseño de un radiotelescopio para estudio de la línea de hidrógeno de nuestra Galaxia usando el receptor de SpectraCyber*.
- DIRECTV. (2023). *Manual de autoinstalacion*. Bogota .
- Europea, A. E. (2022). *Del espacio al aula . Esero*. Obtenido de <https://esero.es/>
- Hacking, I. (1983-1986). *Representar e intervenir*. Mexico.
- Hitek, P. (2022). *Panama Hitek* . Obtenido de <https://panamahitek.com/uso-de-pantalla-lcd-con-arduino/>
- Hodson, D. (1996). *Rethinking the role and status of observatiun in science education*.
- Jackson, J. D. (1962). *Classical Electrodynamics*. Londres.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kundu, M. R., & Gergely, T. E. (1980). *Radio Physics of the Sun*. Londres: Springer.
- Luna, A., Dominguez, G., Colombes, S., & Fragoso, G. (2013). *Manual de construcción de un radiotelescopio en la banda de 12GHz para usos docentes*.
- Martí, J. (2012). *Aprender ciencias en la educación primaria* . Barcelona: GRAÓ.
- Maximo, A., & Beatriz. (1998). *Física general 4a. Edición* . Mexico: Universidad de Oxford .
- Ministerio de Educación Nacional . (2004). *Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.
- Niño, D., Moreno, N., & Gomez, C. A. (2016). *Estudiar el espacio contruyendo un radiotelescopio en la Universidad Agustiniana*.
- Peñalba, E. (2020). *Visualizando el sistema solar*. Durango: Nadir 36 .
- Pozo, J. I., & Miguel Angel, G. C. (1998). *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid: Ediciones Morata .

- Sáenz, J. M., & Castregón, K. Y. (2019). *Construcción de un radiotelescopio para la línea espectral de 21 cm del hidrogeno*.
- Scassa, A. M., & Paz, V. C. (23 de agosto de 2019). *La enseñanza de la astronomía, un gran ausente*. Obtenido de formación in: <http://formacionib.org/noticias/?La-ensenanza-de-la-astronomia-un-gran-ausente#:~:text=La%20Astronom%C3%ADa%20fue%20una%20de,los%20docentes%20a%20pesar%20que>
- Smith, A. G. (1969). *Radioexploración del sol*. Mexico: Reberte .
- Tapia, P. A. (2013). *Puesta en marcha de la antena analógica de un interferometro de dos antenas*.
- Ten, A., & Monrros, M. (1984). *Historia y enseñanza de la astronomía. Los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica*.
- Verschuur, G. L. (2007). *The invisible universe: The story of radio astronomy*. Memphis: Springer.

9 Anexos

9.1 Anexo 1 Código conversión analógico a digital

```
//Crear el objeto LCD con los números correspondientes (rs, en, d4, d5, d6, d7)
LiquidCrystal lcd(8,9,4,5,6,7);

void setup() {
  // Inicializar el LCD con el número de columnas y filas del LCD
  lcd.begin(16, 2);
  // Escribimos el Mensaje en el LCD.
  lcd.print(" RADIOTELESCOPIO ");
  delay(1000);
  lcd.clear();
}

void loop() {

  float sen2=analogRead(A1)*(15 / 5);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" FREQUENCY ");
  // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda línea(fila:1)
  lcd.setCursor(0,1);
  // Escribimos el número de segundos transcurridos
  lcd.print(sen2,1);//1 decimal
  lcd.print("Hz");
  delay(5000);
  return;
```

9.2 Anexo 2 Datos de frecuencia registrados

10:00 am (13 minutos)		10:00 am (13 minutos)		10:00 am (13 minutos)		Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
lluvioso (13/05/2023)		nublado (6/05/2023)		Soleado (15/05/2023)			
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
865	0	1132	0	1135	0	1086	0
1029	8	1073	8	991	8	969	8
869	16	890	16	819	16	828	16
1173	24	838	24	882	24	1173	24
887	32	938	32	1155	32	810	32
1218	40	917	40	1074	40	1140	40
918	48	1141	48	877	48	846	48
1023	56	1059	56	1069	56	1011	56
1108	64	796	64	1013	64	861	64
890	72	805	72	869	72	1086	72
808	80	1111	80	966	80	861	80
1146	88	1085	88	1082	88	813	88
941	96	1055	96	1056	96	1119	96
953	104	1118	104	929	104	840	104
1000	112	1135	112	1024	112	846	112
1019	120	1193	120	1099	120	1023	120
1061	128	1138	128	888	128	858	128
769	136	885	136	912	136	813	136
992	144	849	144	1146	144	969	144
1177	152	806	152	1158	152	1171	152
747	160	942	160	1151	160	840	160
1151	168	1113	168	1036	168	993	168
1174	176	1148	176	1000	176	1035	176
845	184	931	184	876	184	846	184
1151	192	768	192	1187	192	855	192
1227	200	1153	200	883	200	906	200
872	208	812	208	1079	208	840	208
1118	216	960	216	825	216	1092	216
856	224	832	224	1151	224	819	224
1091	232	1002	232	900	232	1080	232
1148	240	850	240	1154	240	1179	240
1210	248	1071	248	989	248	1140	248
1081	256	1064	256	1076	256	1008	256
809	264	980	264	1124	264	789	264
1158	272	860	272	860	272	735	272

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
794	280
1143	288
1127	296
949	304
917	312
806	320
1082	328
1051	336
872	344
1095	352
1165	360
903	368
1053	376
1142	384
1108	392
992	400
809	408
1041	416
1113	424
1187	432
1194	440
1167	448
1154	456
1152	464
844	472
838	480
1127	488
907	496
1130	504
1157	512
1096	520
1120	528
1075	536
1114	544
1092	552
1193	560
908	568

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
887	280
1102	288
1035	296
775	304
1045	312
1054	320
901	328
1128	336
824	344
1059	352
865	360
1055	368
799	376
1047	384
1002	392
786	400
1118	408
1171	416
860	424
1133	432
855	440
954	448
1135	456
866	464
848	472
943	480
1002	488
1113	496
696	504
1097	512
871	520
1192	528
841	536
1122	544
792	552
1044	560
913	568

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
895	280
1161	288
921	296
1024	304
1080	312
969	320
1149	328
708	336
981	344
1246	352
790	360
1153	368
1129	376
829	384
1196	392
1221	400
878	408
1054	416
855	424
1120	432
1085	440
1187	448
1080	456
853	464
1103	472
750	480
1125	488
1110	496
952	504
933	512
887	520
1153	528
1090	536
881	544
1073	552
1173	560
830	568

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
939	280
873	288
753	296
1002	304
912	312
1101	320
1173	328
1050	336
1077	344
924	352
1080	360
1137	368
1002	376
852	384
1035	392
1047	400
882	408
915	416
879	424
948	432
1092	440
873	448
993	456
1125	464
984	472
783	480
1104	488
1014	496
957	504
813	512
837	520
798	528
816	536
1010	544
867	552
819	560
822	568

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
859	576
862	584
863	592
716	600
1159	608
1231	616
1080	624
966	632
930	640
1048	648
916	656
1013	664
1117	672
1103	680
1158	688
1090	696
1146	704
978	712
854	720
937	728
1128	736
1102	744
857	752
1065	760
1086	768
720	776
1239	784
877	792
1150	800

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1138	576
820	584
1038	592
774	600
1064	608
934	616
745	624
728	632
863	640
924	648
1056	656
986	664
798	672
1054	680
1014	688
914	696
953	704
884	712
1101	720
938	728
1177	736
1116	744
1075	752
785	760
1146	768
1015	776
944	784
787	792
823	800

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1057	576
1154	584
1096	592
934	600
830	608
979	616
1133	624
1140	632
1192	640
1129	648
1113	656
1159	664
809	672
901	680
1085	688
820	696
1123	704
1143	712
1130	720
1172	728
1118	736
1187	744
1122	752
1133	760
939	768
776	776
815	784
801	792
738	800

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
870	576
813	584
930	592
1026	600
792	608
996	616
1020	624
906	632
873	640
867	648
993	656
1074	664
966	672
804	680
810	688
1158	696
852	704
1164	712
774	720
1116	728
816	736
963	744
1098	752
840	760
837	768
825	776
735	784
825	792
918	800
972	808
786	816
714	824
804	832
906	840
942	848
1020	856
1080	864

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1086	872
1143	880
954	888
891	896
816	904
840	912
777	920
1026	928
1008	936
1074	944
1089	952
984	960
1044	968
1008	976
930	984
861	992
819	1000
828	1008
714	1016
789	1024
1074	1032
987	1040
789	1048
870	1056
1083	1064
1014	1072
840	1080
1014	1088
972	1096
783	1104
894	1112
1007	1120
1001	1128
852	1136
1019	1144
1005	1152
807	1160

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
819	1168
1116	1176
1098	1184
1071	1192
936	1200
996	1208
843	1216
1119	1224
819	1232
1020	1240
810	1248
1080	1256
813	1264
1146	1272
894	1280
990	1288
1083	1296
855	1304
804	1312
1083	1320
912	1328
930	1336
999	1344
957	1352
1059	1360
702	1368
933	1376
1149	1384
711	1392
1089	1400
1083	1408
819	1416
1101	1424
1134	1432
842	1440
1044	1448
845	1456

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1041	1464
1065	1472
1137	1480
1029	1488
772	1496
1092	1504
741	1512
1086	1520
1089	1528
873	1536
903	1544
792	1552
1068	1560
993	1568
870	1576
1014	1584
1140	1592
813	1600
1005	1608
1128	1616
1083	1624
912	1632
798	1640
971	1648
1092	1656
1116	1664
1149	1672
1074	1680
1101	1688
1115	1696
804	1704
816	1712
1074	1720
816	1728
1032	1736
1092	1744
1034	1752

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1095	1760
1056	1768
1101	1776
1044	1784
1119	1792
846	1800
774	1808
804	1816
777	1824
702	1832
1069	1840
1140	1848
1048	1856
948	1864
891	1872
996	1880
819	1888
991	1896
1089	1904
1092	1912
1098	1920
1068	1928
1068	1936
957	1944
837	1952
915	1960
1035	1968
1068	1976
828	1984
1041	1992
1080	2000
708	2008
1143	2016
801	2024
1101	2032
1008	2040
819	2048

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1140	2056
769	2064
1077	2072
747	2080
1092	2088
786	2096
981	2104
1011	2112
1104	2120
951	2128
1083	2136
939	2144
879	2152
965	2160
963	2168
858	2176
810	2184
930	2192
981	2200
993	2208
1032	2216
934	2224
1128	2232
756	2240
920	2248
879	2256
819	2264
1050	2272
1023	2280
816	2288
1107	2296
1029	2304
925	2312
891	2320
1095	2328
843	2336
1083	2344

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1053	2352
990	2360
957	2368
1044	2376
1134	2384
1104	2392
918	2400
834	2408
711	2416
1011	2424
987	2432
840	2440
1137	2448
951	2456
789	2464
1125	2472
969	2480
1083	2488
1032	2496
840	2504
1125	2512
1083	2520
1062	2528
993	2536
1125	2544
999	2552
696	2560
741	2568
780	2576
840	2584
933	2592
1140	2600
792	2608
1008	2616
1125	2624
966	2632
939	2640

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
765	2648
792	2656
1047	2664
1020	2672
948	2680
978	2688
1038	2696
853	2704
1098	2712
1071	2720
1134	2728
1041	2736
1044	2744
963	2752
807	2760
1110	2768
1113	2776
1017	2784
1080	2792
783	2800
813	2808
752	2816
1065	2824
774	2832
951	2840
897	2848
792	2856
780	2864
864	2872
1038	2880
859	2888
912	2896
969	2904
891	2912
690	2920
849	2928
1098	2936

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
768	2944
1113	2952
762	2960
816	2968
1032	2976
933	2984
855	2992
945	3000
1041	3008
831	3016
1068	3024
762	3032
852	3040
1074	3048
981	3056
762	3064
1104	3072
768	3080
885	3088
960	3096
996	3104
987	3112
1041	3120
1056	3128
945	3136
795	3144
963	3152
903	3160
756	3168
1083	3176
843	3184
1029	3192
846	3200
1110	3208
702	3216
948	3224
1038	3232

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1050	3240
1113	3248
1038	3256
789	3264
1020	3272
969	3280
777	3288
1023	3296
753	3304
825	3312
933	3320
966	3328
1086	3336
765	3344
753	3352
759	3360
795	3368
828	3376
939	3384
966	3392
732	3400
777	3408
963	3416
816	3424
795	3432
1011	3440
723	3448
990	3456
987	3464
1110	3472
927	3480
780	3488
900	3496
1047	3504
1029	3512
927	3520
870	3528

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
834	3536
828	3544
984	3552
693	3560
1128	3568
696	3576
900	3584
1059	3592
765	3600
831	3608
906	3616
1068	3624
783	3632
1113	3640
984	3648
876	3656
834	3664
927	3672
1062	3680
795	3688
783	3696
1085	3704
1122	3712
1071	3720
987	3728
1125	3736
777	3744
1053	3752
1023	3760
810	3768
774	3776
880	3784
888	3792
1131	3800
1014	3808
795	3816
765	3824

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
1041	3832
1026	3840
972	3848
1047	3856
1125	3864
1104	3872
1056	3880
843	3888
843	3896
741	3904
873	3912
1110	3920
1056	3928
930	3936
684	3944
1065	3952
765	3960
924	3968
816	3976
921	3984
828	3992
1047	4000
975	4008
921	4016
822	4024
840	4032
1080	4040
1005	4048
741	4056
1026	4064
954	4072
843	4080
1086	4088
777	4096
984	4104
810	4112
1044	4120

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
798	4128
1032	4136
951	4144
753	4152
1053	4160
1092	4168
774	4176
1122	4184
807	4192
897	4200
1059	4208
819	4216
816	4224
921	4232
960	4240
1029	4248
687	4256
1092	4264
846	4272
1101	4280
828	4288
1077	4296
778	4304
978	4312
822	4320
1107	4328
789	4336
945	4344
756	4352
969	4360
930	4368
744	4376
714	4384
774	4392
912	4400
1014	4408
960	4416

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
789	4424
1053	4432
933	4440
834	4448
894	4456
843	4464
1053	4472
924	4480
1080	4488
1065	4496
999	4504
780	4512
1056	4520
969	4528
861	4536
781	4544
796	4552
831	4560
879	4568
912	4576
771	4584
924	4592
1086	4600
810	4608
888	4616
747	4624
828	4632
885	4640
1116	4648
801	4656
1083	4664
1116	4672
747	4680
957	4688
1098	4696
810	4704
912	4712

10:00 am (13 minutos)	
lluvioso (13/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
nublado (6/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

10:00 am (13 minutos)	
Soleado (15/05/2023)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)

Fecha: 23/05/23 Hora: 10:00 am - 11:20 am	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
798	4720
834	4728
732	4736
807	4744
1068	4752
696	4760
1036	4768

9.3 Anexo 3 Actividades ALMA en la escuela

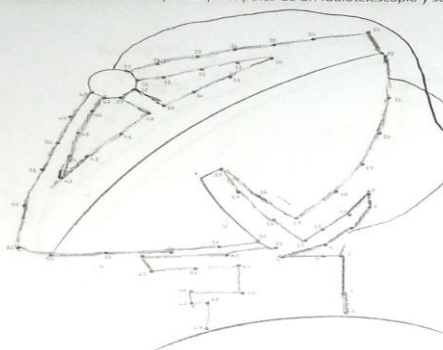
Actividad capta lo invisible

Phon Hernandez

Actividad 1 ¡Capta lo invisible!

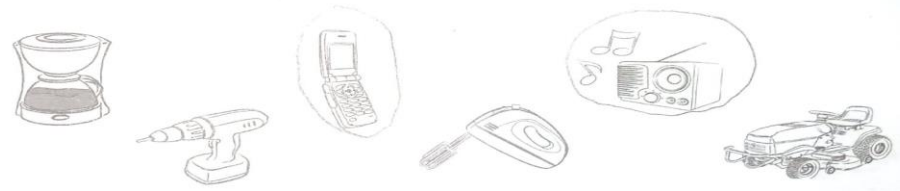
¿Cómo accedemos a Internet usando el Wi-Fi?, o ¿cómo llega la voz en una llamada por celular? La respuesta en ambos casos es que estamos recibiendo o enviando información usando radiación electromagnética. Un radiotelescopio también capta este tipo de ondas, pero a diferencia de estos aparatos (fuentes artificiales), capta las ondas generadas por las estrellas y otros objetos estelares (fuentes naturales).

OBJETIVO: Identifica las partes principales de un radiotelescopio y su función.



DIBUJA

1. Une con un lápiz los puntos en el orden correcto.
2. Identifica las siguientes partes en el dibujo:
 - Plato, sirve para reflejar las ondas de radio en el receptor.
 - Receptor, capta las ondas de radio.
 - Soporte, mantiene el receptor en la posición del punto focal del plato.
3. Indica tres similitudes entre un radiotelescopio y una antena de televisión satelital como las que se instalan en tu hogar.
Ambos funcionan en señales y recibe ondas, su funcionamiento básicamente es igual y transforman las ondas
4. Encierra en un círculo los aparatos dibujados que usan ondas electromagnéticas.



Scanned by TapScanner

Actividad viendo tu voz

ACTIVIDAD 6 – parejas

Viendo tu voz

En el radiotelescopio se utiliza un instrumento que nos permite convertir las señales a unas que puedan ser leídas por un computador, el instrumento que nosotros vamos a utilizar para la construcción del radiotelescopio se llama osciloscopio.

OBJETIVO: Evidenciar la conversión de ondas sonoras en imágenes.

MATERIALES

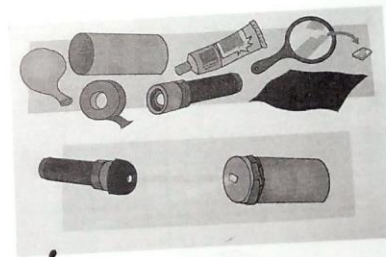
- 1 alcancía pequeña
- 1 globo
- 1 CD
- Tijeras
- 1 laser
- Cinta

PROCEDIMIENTO

1. Quita la tapa superior e inferior de la alcancía.
2. Cortarle el cuello al globo.
3. Cubrir una de las aberturas de la alcancía con el globo y pega los bordes con cinta.
4. Recortar un cuadro pequeño de CD y pegarlo en el centro del globo.
5. Habla por el agujero que queda en la alcancía mientras que tu compañero apunta con el laser al cuadrado del CD.

PREGUNTAS

1. ¿Qué función tiene la alcancía?
2. ¿Qué función tiene el globo?
3. ¿Con que tonalidades de la voz se ve mejor el efecto? Explica tu respuesta.
4. ¿Cómo funciona el pequeño montaje para que podamos ver nuestra voz?
5. ¿Cómo crees que este montaje se relaciona con el Radiotelescopio?



1 la alcantara atrapa toda la voz y vibraciones
2 El globo replica la vibracion de voz que se le pone
3 con una voz grave porque sus ondas generan una mayor vibracion
4 la alcantara atrapa la voz la bomba al estar templada crea una vibracion que el CD sigue al estar pegado a la bomba este esta reflejando la luz del laser y gracias a eso podemos ver nuestra voz
5 la alcantara podria ser el radio telescopio tomando todas las imagenes o en este caso la voz la bomba seria una especie de computador que nos transforma la informacion el CD lo que nos permite observar la imagen y la luz es la informacion que recibe



Actividad partes de un radiotelescopio



Actividad la energía de la luz

ACTIVIDAD 1 parte 1

La energía de la luz

Lo que normalmente llamamos luz es en realidad una forma básica de energía: la Energía Electromagnética. La luz es solo una pequeñísima región de esa energía, la que nuestro ojo puede detectar

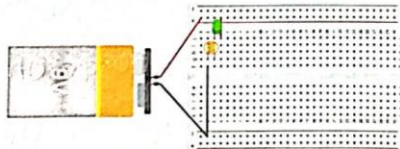
OBJETIVO: Determinar la relación entre el color del led y la intensidad de energía que se necesita para encenderlo.

MATERIALES

- 3 led de diferentes colores.
- Cable.
- 1 fotorresistencia.
- 1 pila de 9 v
- Una fuente de luz variable.

PROCEDIMIENTO

1. Guíate del siguiente esquema para hacer las conexiones del pequeño circuito.



2. Cuando ya tengas el circuito armado con alguno de los leds, ilumina la fotorresistencia con la menor intensidad de tu fuente de luz y ve aumentándola progresivamente hasta que el led encienda. Repítelo con los diferentes leds.
3. Escribe en orden desde el led que necesita mayor intensidad de luz a el que necesita menor intensidad de luz para encenderse.

20/05/23

Led azulito

~~La intensidad de la luz azul~~ Con la cantidad mínima de luz pudimos notar que el led no tenía tanta iluminación, con el siguiente nivel de luz podemos notar que aumentó la intensidad de luz, por lo que podemos definir que no necesita tanta energía

Led Rojo (Rojo)

Concluimos en el nivel más bajo de luz está apagado, en el siguiente nivel de luz se enciende pero no tanto con lo que podemos concluir que necesita más energía que el azulito

Led Blancito

Notamos que en la intensidad mínima el led enciende poco en el primer nivel de luz, en el segundo nivel se enciende bastante, y en el tercer nivel sigue con la misma cantidad de energía, por lo tanto llegamos a la conclusión de que no necesita tanta energía

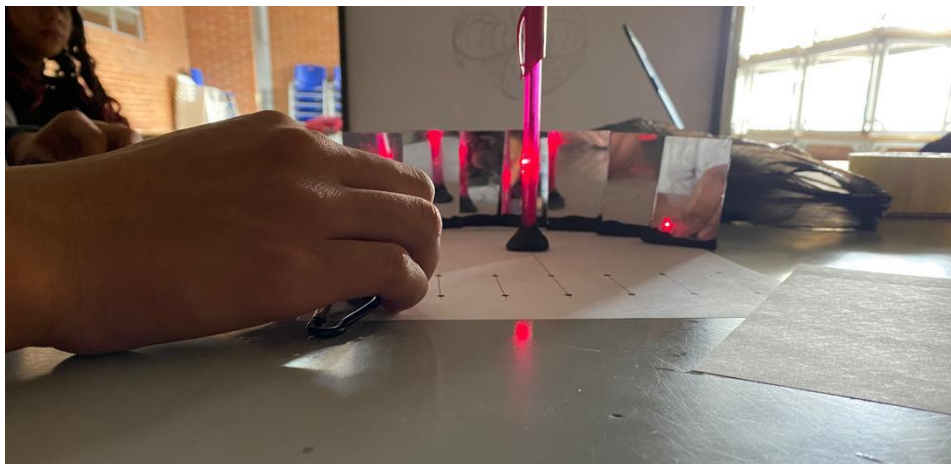
Led Amarillito

podemos notar que la cantidad de energía es mínima por lo tanto necesita bastante energía a luz para que aumente la luz del led

Led Verdecito

El verde necesita más energía ya que en el primer nivel de luz no aumenta la cantidad de energía, por ello llegamos a la conclusión que necesita bastante luz.

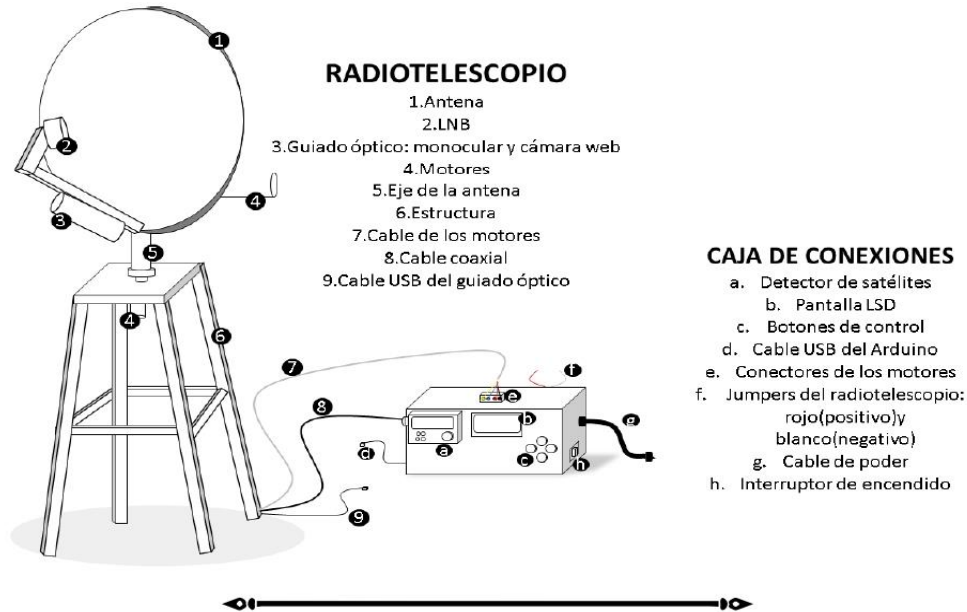
Actividad ¿Por qué la geometría de las antenas de los radiotelescopios?



9.4 Anexo 4 Instructivo de uso del radiotelescopio

Instructivo de uso radiotelescopio

Descripción de las partes:



Características:

1. Antena: la antena tiene un diámetro de 72 cm, una frecuencia de entrada de 10.95 a 12.75 GHz y una ganancia de 35.9 dB.

2. LNB: el receptor LNB tiene una frecuencia de salida 950 a 2150 MHz y una ganancia de 60 dB.

3. Guiado óptico: el monocular tiene un diámetro del objetivo de 42mm, un aumento de 12x, la cámara web una resolución de 1080p (Full HD) y una tasa de refresco de 30 FPS.

4. Motores: dos motores DC que funcionan a 12V con una capacidad de 6kg y 14kg.

5. Eje de la antena: el eje de la antena tiene una altura de 41cm.

6. Estructura: la estructura tiene una altura de 1.2 M y la base unas dimensiones de 25cmx25cm.

Caja de conexiones o circuitos: tiene unas dimensiones de 25x11x10 cm.

a. Detector de satélites: el detector de satélites tiene una frecuencia de operación de 950 a 2150 MHz y funciona a un voltaje de 13 y 18V.

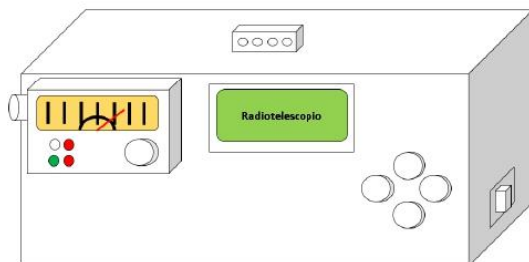
g. Cable de poder: el radiotelescopio tiene 3 fuentes que funcionan a 19,12 y 5V

Radiotelescopio: el radiotelescopio tiene una frecuencia de salida de 400 a 2000 Hz y una ganancia de 26 dB a 30dB.



Uso del radiotelescopio:

- **Para encender el radiotelescopio se debe oprimir el interruptor de encendido(h) a un lado de la caja.**
- **Una vez encendido se iluminará, en el detector de satélites(a) el medidor de escala analógica con aguja y los Leds, además de la pantalla LCD(b) y aparecerá en esta el mensaje de "Radiotelescopio."**

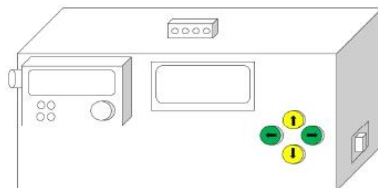


- **Luego la pantalla LCD comenzará a mostrar los valores de frecuencia, este valor cambiará cada 8 segundos para tener el tiempo suficiente de anotarlo.**

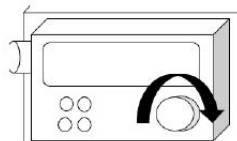


Para el movimiento de la antena:

- **En la caja de conexiones o circuitos están los botones que controlan el movimiento de motor(c), los botones verdes controlan el movimiento de izquierda y derecha y los botones amarillos controlan el movimiento hacia arriba y abajo.**
- **Para controlar la velocidad del movimiento se debe presionar poco tiempo los botones para que se muevan lento y mantener presionado para que se mueva rápido.**

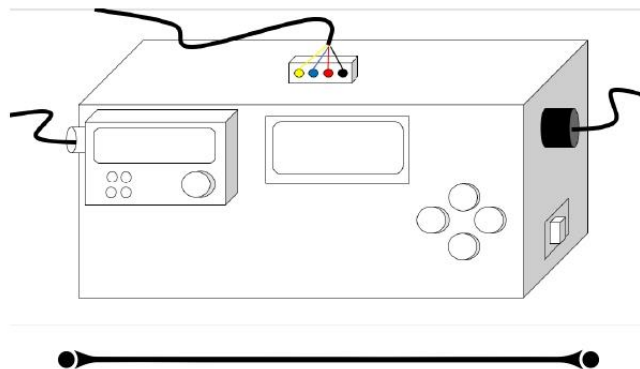


- En caso de que se use el detector de satélites(a) para seguir al sol, se debe apuntar al sol y rotar la perilla hasta que emita un pitido, de esta manera al dejar de estar apuntando al sol el detector de satélites dejara de emitir el pitido y será un indicativo de que se debe mover el radiotelescopio.



Conexiones:

- El cable coaxial (8) debe ir a él conector del detector de satélites(a).
- El cable de los motores (7) tiene 4 cables que deben ir en el siguiente orden: amarillo, azul, rojo y negro de derecha a izquierda a los conectores de los motores(e).
- el cable USB (9) debe ir conectado a un computador.
- el cable de poder(g) debe ir conectado a la red eléctrica.

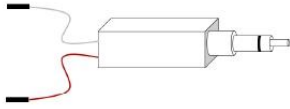


Adicionales:

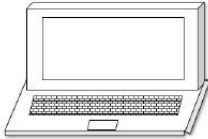
- Filtro solar para el guiado óptico (3).



- Conector de audio.



- **Computador.**



Conexiones adicionales:

- **Para conectar el radiotelescopio a un osciloscopio debe hacerse con los jumpers(f) y el conector respectivo para el osciloscopio.**
- **Para conectar el Radiotelescopio a un computador debe hacerse con el cable USB del Arduino(d).**
- **Para conectar el Radiotelescopio a un computador por la entrada de audio debe hacerse con los jumpers(f) al conector de audio con su respectivo color, los jumpers del radiotelescopio(f) son machos y los del conector de audio son hembras.**

Cuidados:

- **Para usar el Guiado óptico (3) debe ponerse el filtro solar primero.**
- **Todas los tornillos y tuercas que ajustan los motores, ejes y poleas deben ajustarse periódicamente debido a la fricción.**
- **Al usar el radiotelescopio conectado al computador debe primero conectarse al computador y luego encender el radiotelescopio.**
- **Sí se quiere realizar algún cambio o adición al código de programación del Arduino es importante tener en cuenta que el Arduino no puede recibir voltaje o valores de entrada ya que esto puede quemar el Arduino.**

9.5 Anexo 5 Guía de actividades para los estudiantes



¿A QUIEN VA DIRIGIDA ESTA GUÍA?

Va dirigida a los estudiantes que están cursando el centro de interés en radioastronomía del colegio Rodrigo Lara Bonilla, pero esta guía puede servirle a cualquier estudiante que curse desde grado séptimo hasta once.

Es importante aclarar que los estudiantes ya deben tener conocimiento previos en radioastronomía, ya que las actividades que se proponen parten desde el uso práctico de un radiotelescopio pequeño.

¿QUÉ SE VA ENCONTRAR EN ESTA GUÍA?

Esta guía cuenta con actividades básicas que se pueden realizar con un radiotelescopio solar. Las actividades que se presentan fueron diseñadas con base en la estrategia de enseñanza mediante investigaciones guiadas.

Se caracterizan por privilegiar la observación y la experimentación puesto que su propósito no es que aprendan definiciones de memoria sino propiciar que los estudiantes construyan su propio conocimiento científico escolar a partir de la observación.

Las actividades son las siguientes:

1. Reconocimiento del radiotelescopio solar.
2. Escuchando el sol.
3. ¡No vemos el sol!
4. Siguiendo el sol.
5. Espiando el sol.

LA CIENCIA DE LO INVISIBLE

¿QUÉ ES LA RADIOASTRONOMÍA?

Es la ciencia que estudia la radiación de radio que son emitidas por objetos, eventos o procesos celestes. Es una herramienta importante para explorar el universo, descubrir planetas extrasolares, estudiar la estructura del universo a gran escala, detectar ondas gravitacionales emitidas por la colisión de agujeros negros, entre muchas otras cosas.

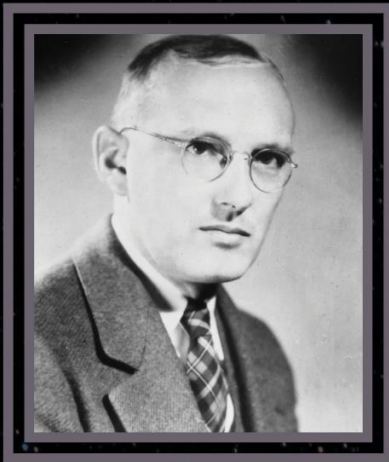


¿QUÉ ES UN RADIOTELESCOPIO?

A diferencia de la astronomía óptica que utiliza telescopios para captar la luz visible, la radioastronomía utiliza antenas para detectar y poder analizar las ondas de radio emitidas provenientes del universo. A este instrumento se le conoce como radiotelescopio.



LA RADIOASTRONOMÍA UN GRAN ACCIDENTE



Karl Guthe Jansky
1905 - 1950

El ingeniero Karl Jansky fue contratado en 1930 por la empresa de telecomunicaciones Bell System para estudiar el origen de la estática que afectaban las radiotelefonía, Jansky usando largas antenas monopolares investigaba la fuente de la estática que afectaban las comunicaciones, tras un largo estudio se dio cuenta que cierto tipo de estática era mayor cuando la

constelación de sagitario estaba en el cielo. Continuando con su investigación se dio cuenta que esta estática no provenía de esta constelación sino en su dirección se el centro de nuestra galaxia. Jansky fue el primero en detectar ondas de radio provenientes fuera de nuestro planeta y así convirtiéndose en el primer radioastronomía del mundo.

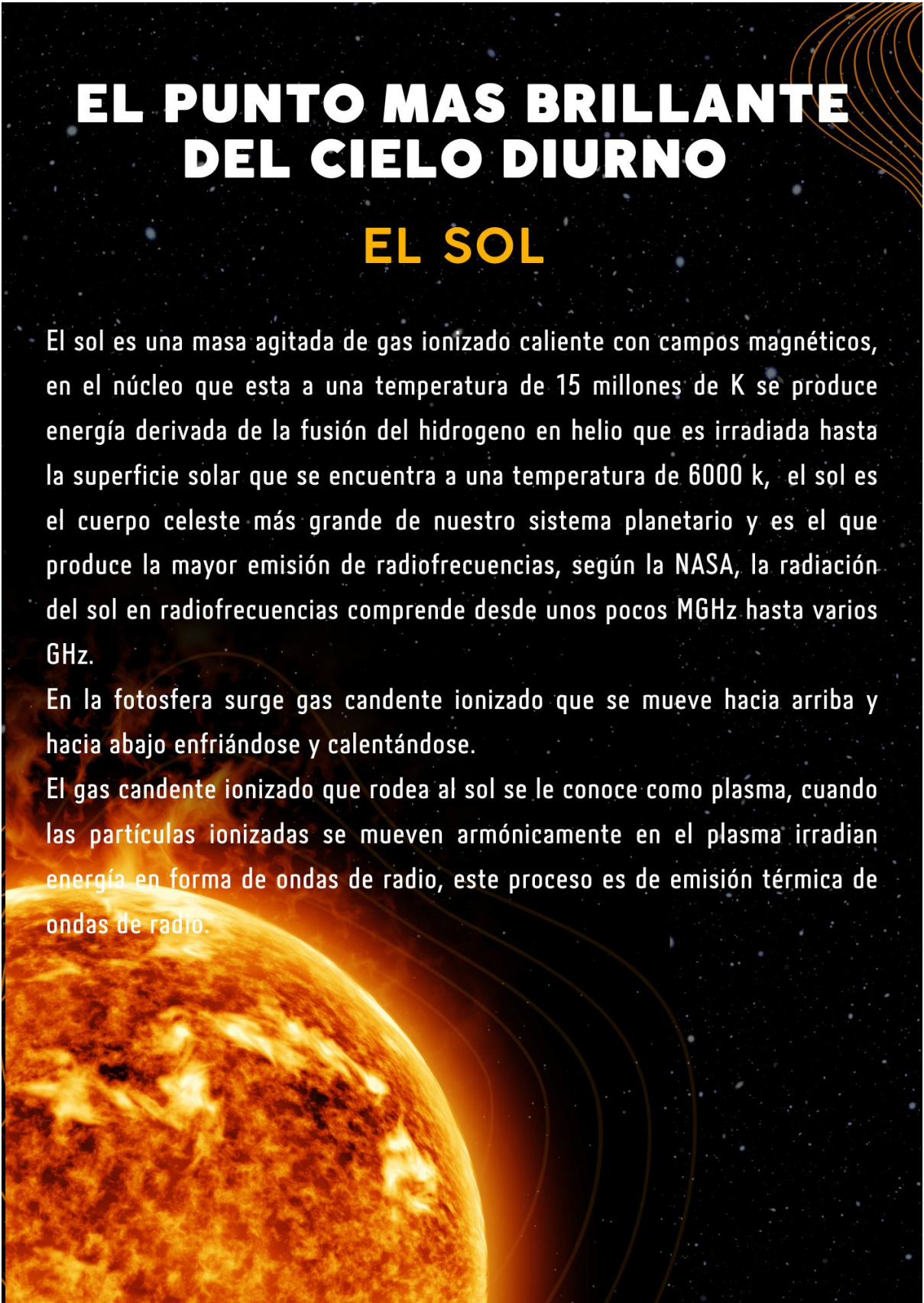
EL PUNTO MAS BRILLANTE DEL CIELO DIURNO

EL SOL

El sol es una masa agitada de gas ionizado caliente con campos magnéticos, en el núcleo que esta a una temperatura de 15 millones de K se produce energía derivada de la fusión del hidrogeno en helio que es irradiada hasta la superficie solar que se encuentra a una temperatura de 6000 k, el sol es el cuerpo celeste más grande de nuestro sistema planetario y es el que produce la mayor emisión de radiofrecuencias, según la NASA, la radiación del sol en radiofrecuencias comprende desde unos pocos MHz hasta varios GHz.

En la fotosfera surge gas candente ionizado que se mueve hacia arriba y hacia abajo enfriándose y calentándose.

El gas candente ionizado que rodea al sol se le conoce como plasma, cuando las partículas ionizadas se mueven armónicamente en el plasma irradian energía en forma de ondas de radio, este proceso es de emisión térmica de ondas de radio.



¿Qué pasa en la superficie del sol?

En algunos periodos de tiempo en el sol hay mayor intensidad en las radiofrecuencias emitidas por él, se dice que en este periodo el sol esta activo, ya que en su superficie ocurren procesos como: llamaradas solares, tormentas solares y explosiones aisladas ¿Pero qué son estos procesos físicos?

- **Llamaradas solares:** son explosiones repentinas y violentas en la atmosfera del sol que liberan una enorme cantidad de energía. Estas explosiones se producen en las regiones activas del sol donde los campos magnéticos intensos interactúan y se entrelazan entre sí.
- **Tormentas solares:** también conocidas como geo tormentas son perturbaciones en el campo magnético de la tierra causadas por la llegada de partículas cargadas provenientes del sol. Estas partículas son expulsadas desde la corona del sol.
- **Explosiones solares:** son parecidas a las tormentas solares, pero no son asociadas a las partículas provenientes a la corona del sol. Son erupciones que ocurren de manera individual y en cortos periodos de tiempo.

Cuando ocurren estos procesos físicos en la superficie solar se puede ver la aparición de manchas solares en la superficie del sol, pero aun se desconoce la forma en que están relacionados.

Actividad 1 Reconocimiento del radiotelescopio solar

¿Cómo funciona el radiotelescopio?

Objetivo: Identificar las partes del radiotelescopio y sus funciones

Procedimiento:

1. Explora el radiotelescopio pequeño, revisa bien cada una de sus partes.
2. ¿Qué componentes del radiotelescopio identificaste? Dibújalas.



3. ¿Qué función crees que cumple cada uno de los componentes?

4. Clasifica los componentes según su funcionamiento

5. Investiga ¿Cómo el radiotelescopio puede captar las ondas de radio.

Actividad 2 Escuchando el sol | Grupo 1

¿Qué relación hay entre el tono del sonido derivado del sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol?

Objetivo: Hallar la relación entre el tono del sonido derivado del sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol

Procedimiento:

Para esta actividad es necesario que realices registros de la radiofrecuencia emitida por el sol en tres horas diferentes, se sugieren las 8:30 am, 10:00 am y 12:00 pm

1. Conecta el cable blanco (negativo) y rojo (positivo) que salen de la caja de circuitos del radiotelescopio al conector de audio y conectar el plug al computador.
2. En el computador abre la aplicación grabadora de voz de Windows.
3. Haz grabaciones del audio del sonido derivado del sol por 30 min.

Preguntas orientadoras:

1. ¿Escuchaste alguna diferencia en el tono de los diferentes audios que grabaste?

2. ¿Si experimentaste alguna diferencia en las tonalidades de los audios por qué crees que pasa esto?

3. ¿A qué hora del día el audio es más agudo y grave?

Actividad 2 Escuchando el sol | Grupo 2

¿Qué relación hay entre el tono del sonido derivado del sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol?

Objetivo: Hallar la relación entre el tono del sonido derivado del sol con el programa de audio y la frecuencia recibida por el radiotelescopio de las ondas de radio emitidas por él sol

Procedimiento:

Para esta actividad es necesario que realices registros de la radiofrecuencia emitida por el sol en tres horas diferentes, se sugieren las 8:30 am, 10:00 am y 12:00 pm

1. Anota los valores de frecuencia que se ven en la pantalla LCD y la hora exacta en la que los tomaste, has este procesos durante 30 min. Te recomiendo que los pongas en una tabla para un mejor organización.
2. Realiza una gráfica de la frecuencia en función del tiempo

Preguntas orientadoras:

1. ¿Ves alguna diferencia en la intensidad de la frecuencia en las diferentes graficas que realizaste?

2. Si viste alguna diferencia ¿Por qué crees que ocurre esta variación en la intensidad de la frecuencia?

3. ¿Qué relación hay entre las diferentes gráficas y la hora en que tomaron los datos?

--	--

Actividad 3 ¡No vemos el sol!

¿Cómo afectan las condiciones climáticas de nubosidad y lluvia a las mediciones realizadas con el radiotelescopio?

Objetivo: Comprobar como las condiciones climáticas afectan las mediciones con el radiotelescopio de las radiofrecuencias emitidas por el sol.

Procedimiento:

Para esta actividad es necesario que realices mediciones en 3 días diferentes a la misma hora, donde las condiciones climáticas sean diferentes, se recomienda que las condiciones climáticas sean en un día soleado, nublado y lluvioso.

1. Anota los valores de frecuencia que se ven en la pantalla LCD y la hora exacta en la que los tomaste, has este proceso durante 30 min.
2. Realiza una gráfica de la frecuencia en función del tiempo

Preguntas orientadoras:

1. ¿Hay diferencia en la intensidad de la frecuencia entre los tres días? Si es así menciona cuales

2. ¿En cuál de los tres días se ve más afectada la intensidad de la frecuencia?

3. ¿Cómo el clima afecta las observaciones realizadas?

Actividad 4 Siguiendo el sol

¿Cómo se ven afectadas las mediciones realizadas con el radiotelescopio al ser tomadas en diferentes meses del año?

Objetivo: Comprobar si varía la emisión de radiofrecuencias del sol en los diferentes meses del año.

Procedimiento:

Para esta actividad debes tomar datos el primer día de cada mes, se recomienda que sean desde el mes de enero al mes de julio y que las mediciones se hagan siempre a la misma hora en un intervalo mínimo de cuatro horas.

1. Anota los valores de frecuencia y la hora exacta en la que los tomaste, has una tabla en Excel.
2. Realiza una gráfica de la frecuencia en función del tiempo en Excel.

Preguntas orientadoras:

1. ¿Notas alguna diferencia en la intensidad de la frecuencia en las diferentes gráficas? Menciona cuáles

2. ¿En qué mes hay mayor intensidad de radiofrecuencias?

3. Investiga sobre cómo varía la distancia de la tierra al sol en los diferentes meses

Actividad 5 **Espiando el sol**

¿Cómo identificar algunos procesos físicos que ocurren en la superficie del sol a partir del análisis de las gráficas de frecuencia obtenidas con el radiotelescopio?

Objetivo: Clasificar los diferentes procesos físicos que ocurren en la superficie solar por medio de la interpretación de los picos de intensidad de frecuencia en intervalos de tiempo específicos en las gráficas.

Procesos físicos en la superficie solar

En radioastronomía para detectar estos procesos se estudian las gráficas de los datos obtenidos por el radiotelescopio, ya que en estas gráficas se pueden identificar estos procesos dependiendo de algunas características de la gráfica como:

- Llamada solar: cuando ocurre una llamada solar se caracteriza por un aumento en la intensidad de la frecuencia, esta variación puede ser muy grande en pocos segundos en comparación con los valores de frecuencia normal. En la gráfica se pueden ver picos muy altos y variables en la frecuencia que luego disminuye gradualmente hasta los valores normales.
- Tormentas solares: estas se diferencian de las llamadas solares ya que los picos de intensidad de la gráfica de la frecuencia pueden durar horas o hasta días y la intensidad de la frecuencia aumenta en menor medida que en una llamada solar.
- Explosiones aisladas: en esta se puede observar aumentos en la frecuencia con picos que duran algunos segundos y a menudo ocurren varios de estos picos seguidos. Estas tormentas aisladas son muy poco comunes.

Procedimiento:

Te animamos a buscar aumento de frecuencia inusuales en las diferentes observaciones que se hagan en el curso. Si encuentras algún aumento inusual de la frecuencia: