

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS PROFESIONAL

para obtener el título de:

LICENCIADO EN FÍSICA

TÍTULO DE LA TESIS

“Implementación de un Radiotelescopio Dipolar”

PRESENTA

Daniel Antonio Rossano Mercado

DIRECTORES

Dr. Juan Sumaya Martínez

Ing. Geo. Alfonso Abrego Castillo

Toluca, Estado de México, Febrero 2020.

Agradezco a todos los que me apoyaron para realizar la tesis, a instituciones que me acogieron como los profesores que me aguantaron, mis familiares por su paciencia, e amigos que me apoyaron, muchas gracias de corazón, GRACIAS.

Agradecimientos Generales

Agradecer a la Facultad de Ciencias por prestar las instalaciones para implementar el radio observatorio para culminar mis estudios de licenciatura, al Director M. José Guadalupe Anaya por su atención en el proyecto.

Tener la fortuna de integrarme al equipo del Dr. Juan Sumaya. Tiene varios proyectos en los cuales me integro, tratando de que los alumnos, aprendan más y no estén en una sola área, si no que sean multidisciplinarios, trata de avanzar sus investigaciones junto con la tecnología e integrarla, su forma de pensar hace que los proyectos se realicen. El Doc. te ayuda a que des el primer paso, pero te deja solo para que aprendas, te enfrentes al mundo solo, como lo hacen las aves con sus crías, tal vez no muchos lo entiendan, la metáfora, pero es una excelente persona, que ha enseñado más con experiencia que con libros.

Conocer al director de la Red Mexicana de Radiotelescopios, Alfonso Abrego Castillo, ha sido toda una aventura, con su carisma, ha conocido a muchas personas, para aprender de ellas, él pasar esas enseñanzas a las siguientes generaciones, su entusiasmo para enseñar hace que lo quieras seguir, él no se da por vencido, si alguno de sus alumnos tiene inquietudes de algo lo ayuda, no los deja, él tiene la profesión de un profesor en el alma.

La Red Mexicana de Radiotelescopios está integrada por muchas personas, como los miembros como investigadores que apoyan a la Red, muchos pretendientes a la UNAM., con el objetivo, de que las nuevas generaciones aprendan, que todo es posible, si tienes ganas de aprender, y si no tienes ganas, hacen que tengas ganas. Muchos de sus miembros me apoyaron, me enseñaron, siempre atentos, me trataron como otro miembro, de ellos aprendí tantas cosas, porque ellos son sabios en sus áreas, unas eminencias, yo quiero ser como ellos, sé que me faltara un largo tiempo para llegar hacer como ellos, pero no es imposible, de ellos quiero aprender más, por lo cual, quien esté leyendo esto, intégrate a la Red, es una experiencia inolvidable y divertida, única en el mundo.

En mis días de estudio de la Licenciatura, conocí diversos profesores, de cada uno de ellos me llevo algo importante, para mi desarrollo profesional como personal, algo que no olvidado, que algunos nos enseñaron fue que, si me equivocaba en el procedimiento, ya había aprendido una forma de resolver el problema, que no era correcta, pero para la otra ya sabía que por ese camino no era él correcto. Compartieron sus experiencias, enseñanzas, consejos, su guía, y que teníamos que apoyarnos, ser un equipo, trabajar en equipo.

*“Acumulamos conocimiento creyendo aumentar nuestro poder.
Pero si no los aplicamos a realizar nuestros sueños,
no nos sirven de nada”*

Alejandro Jodorowsky

Índice

Figuras

Tablas

CAPÍTULO 1

Introducción

Antecedentes

Radioastronomía

Proyecto Radio Jove de la NASA

Red Mexicana de Radiotelescopios

Frecuencias de los radiotelescopios

Objetivos

CAPÍTULO 2

Radio Fuente

Tipos de radiofuentes

Radiofuentes en el sistema solar

Sol

Capas internas del Sol

Núcleo

Zona radiante, zona de radiación o radiativa

Tacolina

Zona convectiva

Capas externas del Sol

Fotosfera

Granulación solar

Manchas solares

Cromosfera

Fulguración

Zona de transición

Corona

Eyecciones de masa coronal

Tormenta solar
Estallidos de radio del Sol
Júpiter
Satélite Ío
Satélite Europa
Satélite Ganímedes
Júpiter e Ío
Radiación sincrotrónica y radiación ciclotrónica
Radiofuentes fuera del sistema solar

CAPÍTULO 3

Dipolo
Antena tipo Dipolo
Teoría
Radiación del Dipolo
Patrón de potencia
Resistencia a la radiación
Densidad de Flujo de potencia
Directividad
Ganancia de potencia
Zonas de Radiación
Zonas de Fresnel

CAPÍTULO 4

Construcción del Radiotelescopio
Antena
Ubicación de las antenas
Construcción del receptor
Software de adquisición de datos
Hardware
Configuración Radio Skypipe
Calibración

CAPÍTULO 5

Resultados
Gráficas de interferencias
Gráficas del Sol
Gráficas de Júpiter
Gráficas del Centro de la Galaxia

CAPÍTULO 6

Conclusiones

Apéndice 1 (Receptor)

Apéndice 2 (Calibrador)

Referencias
Bibliografía
Glosario

Figuras

- Figura 2.1: Manchas Solares y granulación en la fotosfera, 2018/08/19, Fotografía de Gabriel Cordan.
- Figura 2.2: Reconexión de los filamentos del campo magnético del Sol en rayos X en 2018/06/21.
- Figura 2.3: Estructura del Sol desde el Núcleo hasta la Corona y algunos fenómenos solares.
- Figura 2.4: Júpiter con sus bandas, la mancha roja y eclipse de una de sus lunas.
- Figura 2.5: Emisión de las tormentas Jovianas en forma de cono.
- Figura 2.6: Júpiter e Ío, la radiación según la fuerza del campo magnético con sus frecuencias correspondientes.
- Figura 2.7: Diagrama de un electrón a velocidades relativistas cuya energía cinética son comparables a su masa de reposo $m_e c^2$ mostrando un patrón asimétrico.
- Figura 3.1: Sistema de coordenadas que describen la radiación de un dipolo transmisor con una fuente de frecuencia de corriente.
- Figura 3.2: Diagrama del dipolo con las zonas de campo.
- Figura 3.3: Zonas de Fresnel.
- Figura 4.1: Base de cubeta con cemento para el poste.
- Figura 4.2: Diagrama del radiotelescopio con su orientación.
- Figura 4.3: Se muestran varios lóbulos del radiotelescopio.
- Figura 4.4: Antena tipo Dipolo de 19.9 MHz.
- Figura 4.5: Esquema, vista de la parte superior de la antena de 19.9 MHz.
- Figura 4.6: Antena tipo Dipolo de 24.0 MHz.
- Figura 4.7: Esquema, vista de la parte superior de la Antena de 24.0 MHz.
- Figura 4.8: Receptor de 24.0 MHz, elaborado por Guillermo Figueroa Ferrari (RedMex).
- Figura 4.9: Receptor de 19.9 MHz, elaborado por Daniel A. Rossano.
- Figura 4.10: Ventana de opciones, identidad del radio observatorio.
- Figura 4.11: Ventana de opciones, conexión del tipo de red.
- Figura 4.12: Configuración de la tarjeta de sonido, del receptor a la computadora.
- Figura 4.13: Calibrador, elaborado por Daniel A. Rossano.
- Figura 4.14: Ventana para realizar la calibración del sistema.
- Figura 4.15: Etapa 1 de la calibración.
- Figura 4.16: Etapa 2 de la calibración.
- Figura 4.17: Etapa 3 de la calibración.

Figura 4.18: Continuación de la etapa 3 de la calibración.
Figura 4.19: Etapa 4 de la calibración.
Figura 4.20: Etapa 5 de la calibración.
Figura 4.21: Etapa 6 de la calibración.
Figura 4.22: Etapa 7 de la calibración.
Figura 4.23: Se muestra los radiotelescopios funcionando con su respectiva calibración.
Figura 5.1: Interferencia desconocida registrada el 20/08/2018.
Figura 5.2: Interferencia desconocida registrada el 23/11/2018.
Figura 5.3: Interferencia desconocida registrada el 27/11/2018.
Figura 5.4: Interferencia desconocida registrada el 30/11/2018.
Figura 5.5: Interferencia desconocida registrada el 27/11/2018.
Figura 5.6: Interferencia desconocida registrada el 23/11/2018.
Figura 5.7: Interferencia desconocida registrada el 01/06/2018.
Figura 5.8: Interferencia desconocida registrada el 27/11/2018.
Figura 5.9: Interferencia desconocida registrada el 26/10/18.
Figura 5.10a: Interferencia del teléfono celular registrada 01/06/2018.
Figura 5.10b: Interferencia del teléfono celular registrada 01/06/2018.
Figura 5.11: Gráfica del 24/08/2018, en el radiotelescopio de 19.9 MHz lo registro a las 19:35:42 UTC, hasta las 20:03:50 UTC, de la región activa 2719.
Figura 5.12: Gráfica obtenida del NOAA, del 24/08/2018 gráfica de 6 Hrs.
Figura 5.13: Gráfica del 20/08/2018 con el radiotelescopio de 19.9 MHz.
Figura 5.14: Gráfica del 20/08/2018 con el radiotelescopio de 24 MHz.
Figura 5.15: Gráfica obtenida del NOAA, del 20/08/2018 al 22/08/2018 gráfica de 3 días.
Figura 5.16: Gráfica del 03/08/2018 a las 22:39 UTC se observó un estallido tipo S.
Figura 5.17: Gráfica del 11/08/2018 registrada por el observatorio Cal Poly SLO, dirigido por David Mitchel, un Júpiter S-burst, a una frecuencia de 20.1 MHz.
Figura 5.18: Gráfica del 06/09/18 a las 20:40 UTC, se observa una tormenta de Júpiter Ió-B en el radiotelescopio de 19.9 MHz.
Figura 5.19: Gráfica del 06/09/18 a las 20:40 UTC, se observa una tormenta de Júpiter Ió-B en el radiotelescopio de 24 MHz.
Figura 5.20: Programa Júpiter Radio Map., donde se localiza la tormenta Joviana.
Figura 5.21: Gráfica de 24 hrs del 13/05/2019 a las 19:00:32 UTC al 14/05/2019 a las 19:00:32 UTC del radiotelescopio de 19.9 MHz.
Figura 5.22: Gráfica del 03/12/2018 a las 15:31:49 UTC al 04/12/2018 a las 15:31:48 UTC del radiotelescopio de 24 MHz.
Figura 5.23: Gráfica del 03/12/2018 a las 15:46:42 UTC al 04/12/2018 a las 15:46:42 UTC del radiotelescopio de 19.9 MHz.
Figura 5.24: Gráfica del 20/03/2019 a las 20:18:55 UTC al 21/03/2019 a las 20:18:54 UTC del radiotelescopio de 19.9 MHz.
Figura A1.1: Diagrama de bloques del receptor RedMex.

Tablas

Tabla 2.1: Regiones fuente de Óo-relacionadas y no Óo-relacionadas en intervalos angulares.

Tabla 2.1: Zonas de Fresnel para la antena de 19.9 MHz.

Tabla 2.2: Zonas de Fresnel para la antena de 24 MHz.

Tabla A1.1: Especificaciones eléctricas del receptor, realizadas por Guillermo Figueroa Ferrari.

CAPÍTULO 1

Introducción

El físico estudia la naturaleza que lo rodea para desentrañar todos sus secretos, y cada quien decide qué camino seguir, uno de ellos estudiará es el espectro electromagnético, algunos estudiarán la luz visible, otros los rayos gamas, rayos X, así como el estudio de las ondas de radio y microondas. En este mi caso he decidido escoger la Radioastronomía, pero ¿cómo empezar?, fue lo que me pregunté, entonces empecé a buscar información y descubrí que ya había personas que dejaron sus conocimientos para los recién graduados en Física.

Como resultado de esa búsqueda surgió este proyecto para de la implementación de un radiotelescopio y para realizar un estudio de los cuerpos celestes del universo que emiten radiación en la región de radiofrecuencia.

Antecedentes

En 1862 James Clerk Maxwell (1831-1879) predice la existencia de la radiación electromagnética, basado en trabajos de Faraday, Volta, entre otros, demostrando que la electricidad y el magnetismo son interdependientes.

Después, Heinrich Hertz (1857-1894) para comprobar la validez de la teoría de Maxwell, utilizó un dipolo y produce las primeras ondas electromagnéticas de aproximadamente 5 metros de longitud de onda, con el dipolo las transmite y recibe con una antena espiral cuadrada en 1887, también demostró que las ondas están polarizadas y pueden interferir entre ellas.

Thomas Alva Edison (1847-1931) en 1890 propone detectar las ondas de radio de Sol con un aparato que construyeron en el laboratorio de Edison, pero no hay evidencia del experimento funcionara.

En la misma época, Sir Oliver Lodge (1851-1940) a finales del siglo XVIII, realizó mejoras en los receptores, llevo a cabo un experimento que no logro detectar el Sol.

Al mismo tiempo dos astrofísicos en Alemania, Johannes Wilsing (1856-1943) y Julius Scheiner (1858-1913), publicaron su invento para detectar el Sol, lo realizaron por 8 días, sin resultados, escribieron que la atmósfera absorbe las ondas de radio del Sol, estaban equivocados en sus declaraciones.

En 1900 por el experimento de Wilsing y Scheiner, Carles Nordman, estudiante Francés de posgrado realiza en el glaciar Mt. Blanc a 3100 metros aproximadamente, un experimento para detectar las ondas de radio del Sol, evitando la absorción de la atmósfera, su antena un dipolo era sensible a estallidos de radio de baja frecuencia, pero hoy se sabe que ese tipo de estallidos ocurren en el máximo solar, cuando realizó la detección estaba en un mínimo solar.

También en 1900, Max Planck (1858-1947) realizo un importante aporte teórico, que deriva la curva de radiación térmica o teoría del cuerpo negro. Al calentar un cuerpo a altas temperaturas, estos emiten energía, que la curva de intensidad contra la longitud de onda, que dice que más temperatura es más corta la longitud de onda. El espectro de luz del Sol se asemeja a la curva de radiación térmica, que predice la cantidad de radiación que recibimos del Sol, en el espectro de radio, que sería a longitudes de onda de 10 a 100 cm, para ese año esa radiación era débil para los receptores que existían.

Un año más tarde en 1901 Guillermo Marconi (1874-1937) consigue la primera transmisión y recepción de señales de radio a través del Atlántico desde Newfoundland a Cornwall

Al siguiente año, en 1902 Oliver Heaviside (1850-1925) con Kennelly predicen una capa de gas ionizado de la alta atmósfera que reflejan las ondas de radio, llamada la ionosfera o capa de Heaviside, en este si lanzaban una onda de radio hacia la ionosfera desde la Tierra esta capa la rebota de vuelta hacia la Tierra, esto sirvió para hacer comunicaciones a larga distancias, pero esto nos dice que si rebota interna mente también lo realizaría en el exterior, si se lanza una onda desde el espacio hacia la ionosfera, esta capa rebota la onda al espacio. 18 años más tarde en 1920 se confirma la existencia de esta capa, encontrando que refleja $\lambda > 15$ metros o frecuencias inferiores a 20 MHz, es casi transparente a $\lambda < 5$ metros o a frecuencias mayores de 50 MHz.

En los años 30's Laboratorios Bell Telephone utilizaba ondas cortas de $\lambda \sim 15$ o frecuencia ~ 20 MHz, estaban trabajando en la mejora de las comunicaciones transatlánticas, pero tenían interferencias que afectan a estas transmisiones, por lo cual le encargan al ingeniero Karl G. Jansky (1905-1950) que estudiara el origen de las interferencias (estática). Para esta tarea monta una antena receptora direccional para recibir ondas de radio de 20.5 MHz o equivalente a 14.6 metros de longitud de onda, medía 30 metros de largo por 4 de alto, montada en 4 ruedas en un riel circular con rotación azimutal, a esta antena la apodaron Merry go Round. Tras varios meses de estudio descubrió 3 fuentes emisoras de ruido. La primera de estas son las tormentas eléctricas terrestres, la segunda, tormentas eléctricas marinas y una tercera interferencia a la cual denominó "Hiz" la determinó como de origen desconocido, que alcanzaba su máximo una vez al día, cuya fuente cambiaba gradualmente de posición, en un ciclo de 23 horas y 56 minutos, entonces busco en la astronomía encontrando que esos 4 minutos de retraso son de objetos fijos, fuera del sistema solar, calculando posteriormente que el origen estaba en dirección de la constelación de Sagitario, hacia donde estaba localizado el centro de la Vía Láctea. El 5 de mayo de 1933 publica sus resultados en New York Times. Desde ese momento nació la Radioastronomía.

Radiotelescopios

Es así que la Radioastronomía se encarga del estudio de los cuerpos celestes mediante el análisis y tratamiento de su emisión de ondas electromagnéticas en un rango de frecuencias específicas dentro del espectro radioelétrico. La Información se percibe mediante el uso de antenas y dispositivos que adecuan las débiles señales para ser interpretadas por un software y así hacer posible su lectura y correlación para la creación de imágenes en resoluciones que varían según el tamaño de la antena utilizada.

En 1937 ~~Entonces~~ Grote Reber (1911-2002) construye en el patio de su casa en Wheaton, en Illinois E.U. una antena parabólica de un diámetro de 9.7 metros. Probo en $\lambda = 9.1$ cm a una frecuencia de 3.3 GHz, suponiendo que obedecía la radiación térmica, pero obtuvo resultados negativos, después intento $\lambda = 33$ cm a una frecuencia de 910 MHz, modificando la banda de recepción de su receptor, pero de nuevo obtuvo resultados negativos, reconstruyó el receptor para $\lambda = 1.87$ m, a una frecuencia de 160 MHz con resultados exitosos, confirmando los hallazgos de Jansky, encontrando áreas de fuerte radiación que se concentraban en el centro galáctico. Haciendo importantes hallazgos y mapas del cielo en ondas de radio.

En 1942 J. S. Hey en plena segunda guerra mundial, operaba los radares británicos, ~~por~~ debido a las incursiones alemanas que hacían a Inglaterra, pero cada mañana notaba una interferencia, descubriendo que era la radiación solar; este fenómeno lo mantuvo en secreto hasta 1946. Los radares detectan los rastros de meteoritos.

En 1945 el profesor Jan Oort, sabe de G. Reber, pone a su estudiante Hendrick van de Hust a estudiar la línea del hidrógeno neutro. Esto es cuando el electrón cambia su espín de paralelo al espín del protón a un espín antiparalelo al espín del protón del hidrógeno.

Con una antena rectangular de tipo cuerno, Ewen y Purcell descubren la emisión de radio del Hidrógeno neutro a $\lambda \sim 21$ cm en 1951.

El 6 de abril de 1955 en un campo de Maryland los radioastrónomos Bernard Bruke y Kenneth Franklin del Departamento de Magnetismo Terrestre de la Institución Carnegie de Washington, detectaron emisiones de radio del planeta Júpiter, empezando el campo de la radioastronomía planetaria.

Todos estos hombres de ciencia colocaron las bases de lo que hoy es la radioastronomía. Desde entonces se estudió el cielo con ondas de radio, los científicos que se dedicaron a la radioastronomía descubrieron, observaron cosas que a simple vista no se podían observar por los astrónomos, ahora se observa en todo el espectro electromagnético, permitiéndonos observar detalles en la mayoría de las longitudes de onda, de los cuerpos celestes de la bóveda, comprendiendo un poco más el cosmos, cómo se formó, cómo se desarrolla, y como se desarrollara en un futuro.

Proyecto Radio Jove de la NASA

En Goddard Space Flight Center se encuentra el área de Radio Jove, este proyecto integrado por Jim Sky, Jim Thieman, Bill Pine, Max Kepler, Chuck

Higgins, Jay Friedlander y Kazumasa Imai, entre otros científicos e Institutos. Con alumnos interesados en estas áreas de la física como la divulgación del mismo, realizaron el taller de verano en el Observatorio Nacional de Radioastronomía Green Bank, en el cual les enseñaban sobre la radioastronomía, haciendo Kits para este propósito, sólo estudiaron a Júpiter, cada año esperaban la temporada de las tormentas Jovianas.

Después de un tiempo varios de los científicos mencionados del proyecto viajaron a Maryland, para poder encontrar el lugar donde Bruke y Franklin hicieron el descubrimiento de las emisiones de radio de Júpiter. Solo llevaban fotos para saber en qué lugar se llevó a cabo el descubrimiento, llegaron a un lugar a la orilla del río Potomac, donde podía estar las antenas, buscaron algún vestigio de las antenas, pero no se encontró nada. Entonces ellos decidieron presentar el reconocimiento oficial al estado de Maryland como un lugar histórico, la cual fue aceptada.

Varios del proyecto Radio Jove empezaron con un proyecto nuevo que incluiría el estudio del Sol y Júpiter, llamado Solar System Radio Explorer Kiosk (SSREK), conjunto con el Centro de Ciencias de Maryland (MSC), la Federación Nacional de Colegios en Baltimore, y Goddard. Este sería lo que hoy es el proyecto Radio Jove actual, pero sería John Kraus un científico que trabajó en la marina en la segunda guerra mundial, radio amateur, experimento con antenas, el diseño del haz 8JK, el reflector de esquina entre otros trabajos, en la Universidad Estatal de Ohio construyó su radio telescopio llamado ojos de radio, la actitud suya era "Hágalo usted mismo", a menudo con sus estudiantes se le observaba vertiendo hormigón, colocando cables y demás cosas para sus proyectos.

Con los avances que realizaron cada uno de los integrantes, en los receptores, el software, para que más personas aprendieran esta ciencia. Divulgando el proyecto Radio Jove, e integrando escuelas, museos, institutos, a este proyecto como colaboradores. Dejando libre la información para que cualquier persona pudiera realizar un radiotelescopio para captar las emisiones de radio del Sol como de Júpiter, manteniendo las raíces de Jansky, Bruke y Franklin, como todas aquellas personas que integran el mismo proyecto.

Red Mexicana de Radiotelescopios

En 2004 alumnos de la Preparatoria 5 de la UNAM, al tomar una materia que les hablaron de las áreas de la astrofísica le interesó un área de la cual querían saber de la radioastronomía, los Profesores Alfonso Abrego y Jesús Ortega Piedras investigaron sobre el tema, decidieron buscar quien les podría asesorar, por lo cual visitaron al Instituto de Astronomía de UNAM, también en ese entonces

Centro de Radioastronomía y Astrofísica (CRyA) en Morelia, hoy Instituto de Radioastronomía y Astrofísica (IRyA) de la UNAM, encontraron el proyecto Radio Jove al cual se integraron, comprando el equipo a la NASA, un día detectaron una explosión del Sol, el cual la registraron y se la mandaron a los encargados a la NASA, recibieron la contestación diciéndoles que desde ese momento estaban colaborando con la NASA, pero los alumnos más interesados querían saber más del Sol buscaron a un experto del tema lo cual lo encontraron en el Instituto de Geofísica de la UNAM, en la CDMX, pero los alumnos con los profesores empezaron a tener más inquietudes buscaron como explorar es las áreas de la astronomía y la radioastronomía, construyendo equipo, el cual se integra por recomendación de un investigador Guillermo Figueroa Ferrari, en un principio a enseñarles sobre las comunicaciones, equipos, demás material que se necesitara, pero a él, como los alumnos, los profesores, e investigadores, le gusto esto aún más, por lo cual fundaron la Red Mexicana de Radioastronomía, el objetivo era que todas las preparatorias e institutos de la UNAM, formarían parte de ello, formalmente, pero ese no sería su objetivo principal.

Poco a poco se integraron profesores de las preparatorias, los mismos investigadores que apoyaron desde un principio, hasta de un diputado, con radio observatorios en sus sedes, pasarían algunos años para que esta red, creciera aún más y ya no dentro de la UNAM, se unieron otras preparatorias federales, universidades incluso asociaciones civiles, contando con el asesoramiento de eminencias es sus áreas.

Su objetivo principal es extender la red a todo México, principalmente se divulgue esta rama de la física a todo el país. Esta red empezó por los alumnos y seguirá para las siguientes generaciones.

La Red cuenta con los siguientes radio observatorios;

Radio observatorios en la Ciudad de México:

- Escuela Nacional Preparatoria No. 3, Justo Sierra.
- Escuela Nacional Preparatoria No. 4, Vidal Castañeda y Nájera.
- Escuela Nacional Preparatoria No. 5, José Vasconcelos.
- Escuela Nacional Preparatoria No. 6, Antonio Caso.
- Escuela Nacional Preparatoria No. 7, Ezequiel A. Chávez.
- Escuela Nacional Preparatoria No. 8, Miguel E. Schulz.
- Escuela Nacional Preparatoria No. 9, Pedro de Alba.
- Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Vallejo.
- Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur.
- Instituto de Astronomía, UNAM.
- Instituto de Geofísica, UNAM.

- Museo UNIVERSUM.

Radio observatorios en el Estado de México:

- Centro de Docencia y de Apoyo Pedagógico S.C.
- Facultad de Ciencias, UAEMex.
- EPO 19, San Martín de las Pirámides.
- EPO 107, Acolman.
- COBAEM Plantel 11, Otumba.
- COBAEM Plantel 39, Acolman.

Radio observatorios en Michoacán:

- Instituto de Radioastronomía y Astrofísica, UNAM.
- Tecnológico de Pátzcuaro.

Radio observatorio en Puebla:

- Bachillerato Alfonso Reyes, San Gabriel Chilac.

Radio observatorio en Veracruz:

- Facultad de Ciencias, UAV.

Radio observatorios en Chiapas:

- Secundaria 124, Villa Corzo.
- Nuevo Vicente Guerrero.
- Preparatoria Simojovel.
- ETV 286, 2 de Octubre, Villa Corzo.

Radio observatorios en Oaxaca:

- Secundaria 28 de Agosto, San Agustín Etla.
- IEBO, San Pedro Mixtepec.
- COBAO, Nazareno.

Radio observatorio en Zacatecas:

- Facultad de Ciencias Químicas, UAZ.

Radio observatorio en Nayarit:

- Preparatoria No. 6, Ixtlan del Rio.

Radio observatorio en Hidalgo:

- Sociedad Astronómica de la UAEH.

Frecuencias de los radiotelescopios

Radiotelescopio de 19.9MHz: ¿Por qué usar esta frecuencia?, porque el proyecto de Radio SkyPipe de la NASA, usa esta frecuencia en su receptor. Pero la Red Mexicana de Radiotelescopios, en algunos de sus radio observatorios tienen este receptor, otros radio observatorios cuentan con el receptor RedMex [Apéndice 1], por ser más barato, pero estos receptores usan la frecuencia de 19.9MHz, porque no se encontró un cristal de cuarzo con la frecuencia de 20.1MHz, solo se encuentra de 20MHz, escasamente 19.9MHz, pero a 20MHz es usada para radiodifusión, por eso se escogió la de 19.9MHz. Como varios radio observatorios ya lo implementaron de la red, para colaborar con RedMex, colocaremos el radiotelescopio a 19.9MHz.

Radiotelescopio de 24MHz: ¿Por qué usar esta frecuencia?, esto es porque Júpiter emite a 25MHz, pero es más fácil encontrar cristales de cuarzo de 24MHz, a esta frecuencia era usada por radioaficionados hace años, pero en los últimos años ya no la ocupan dejándola libre, por lo cual no se ha estudiado el universo en esta frecuencia que es la más cercana a 25MHz.

Objetivos

Implementar un radio observatorio tipo dipolo para el estudio del Sol y de Júpiter en frecuencias de 19.9 MHz y 24 MHz. También señales del centro galáctico se pueden estudiar en ambas frecuencias.

Estudiar el efecto ciclotrón y sincrotrón para comprender las radiofrecuencias obtenidas en los radiotelescopios.

Construir un radio observatorio con dos radiotelescopios a frecuencias de 19.9 MHz y 24 MHz.

Analizar las emisiones de radio del Sol y Júpiter a las frecuencias de 19.9 MHz y 24 MHz.

Clasificar el tipo de tormenta que registre el radio observatorio.

CAPÍTULO 2

Radiofuentes

La radiación electromagnética proveniente de cuerpos celestes se denomina como radio fuente, cuando se identifica la dirección de la radiación de donde se origina, se le conoce como fuente discreta, se clasifican como localizadas, extendida y puntuales:

Puntual: Es una radio fuente que presenta un ángulo pequeño como un punto en matemáticas, comparado con el lóbulo de la antena de medición que tiene un gran ángulo.

Localizada: Es una radio fuente que presenta un ángulo pequeño pero extendido, comparado con el lóbulo de la antena de medición que tiene un gran ángulo.

Extendida: Es una radio fuente que cubre gran parte del cielo.

Estas emisiones provienen de moléculas y electrones moviéndose por campos magnéticos así como por gas caliente.

Tipos de Radiofuentes

- Radiofuentes extragalácticas estas fuentes suceden en las demás galaxias sin incluir a nuestra galaxia la Vía Láctea.
- Radiofuentes Galácticas estas fuentes suceden en la misma Vía Láctea.
- Radio Fuente de Línea Espectral esta fuente es en una frecuencia fija y en un rango reducido de frecuencias.
- Radio Fuente de Continuo esta fuente es en un rango amplio de frecuencias, o varias frecuencias.
- Radio Fuente térmica tiene relación con la función de la ley de Planck, radiación emitida por la temperatura de un cuerpo.
- Radio Fuente no térmica tiene relación con las partículas que interactúan con el campo magnético.

Radiofuentes en el sistema solar

- **Sol**

El Sol se encuentra en el perihelio a una distancia aproximada de 147 millones de Km, en el afelio a una distancia aproximada de 152 millones de Km, en la distancia media es de 149, 597, 870, 700 metros o aproximadamente a 150 millones de Km,

que lo llaman UA (Unidad Astronómica). Su diámetro es de 1, 391, 400 Km. El Sol tiene una rotación particular, en el ecuador tarda 25.4 días, en los polos tarda 34.4 días, conocido como rotación diferencial, por esta diferencia se retuerce el campo magnético provocando varios eventos solares, también tiene el ciclo solar de aproximadamente 11 años, cuando es un mínimo los eventos solares son pocos y de baja intensidad, cuando es el máximo los eventos solares son constantes de alta intensidad. Aproximadamente tiene una edad de 4, 600 millones de años, contiene aproximadamente un 73 % de Hidrógeno, 24% de Helio, el restante de Nitrógeno, Oxígeno, Carbón, Hierro, entre otros elementos en muy pocas cantidades, se cree que estará por otros 5,500 millones de años más. El Sol es una estrella de tipo G2V, en la secuencia principal o diagrama Hertzsprung-Russell, llamada una estrella enana amarilla, con 5 800 °k de temperatura. Pero el estudio del Sol empezó desde que Galileo Galilei construyó el telescopio refractor, observando por primera vez la superficie solar, sus manchas solares principalmente, desde que se tiene razón nuestros antepasados se guiaban por el sol, haciendo calendarios solares llamados solarios, los ocuparon para agricultura, para marcar estaciones, entre otras cosas, uno de estos calendarios es el calendario Azteca.

A continuación, se describen las capas que conforman la estructura interna del Sol:

Capas internas del Sol

Núcleo: Es donde se producen todas las reacciones termonucleares, es donde se genera toda la energía, tiene una temperatura aproximada de 15 millones de Kelvin.

Zona radiante, zona de radiación o radiativa: Está compuesta por plasma o de mayormente de hidrógeno y helio ionizado, es tan densa esta capa que un fotón que se generó en el núcleo tarda alrededor de 170.000 años en pasar desde el interior al exterior de esta capa, esto es porque son absorbidos, remitidos ininidad de veces, a un ritmo más lento, su temperatura rodea desde aproximadamente 15 millones de Kelvin, decreciendo a una temperatura de 6, 000 Kelvin desde la parte inferior hasta la parte exterior, en esta capa ya no hay reacciones nucleares.

Tacoclina: Una zona de transición entre la zona radiante y la zona convectiva, teniendo poco grosor, por la fricción entre las zonas, en la tacoclina se genera la mayor parte de los campos magnéticos del Sol.

Zona convectiva: En esta capa el plasma es menos denso que la capa anterior, por lo cual se crean corrientes de plasma caliente que asciende a la superficie del

Sol, hace que el plasma frío descienda esto hace que sea una zona convectiva, este proceso no es homogéneo, como turbulenta. Los fotones son absorbidos y remitidos con mayor facilidad en esta capa, lo cual tarda solo unos 30 días en pasar por esta capa, la temperatura ronda en la parte inferior a 6,000 Kelvin decreciendo a una temperatura de 5.800 Kelvin en su parte exterior, las oscilaciones que se producen por ondas de presión generadas por la turbulencia, se estudian por efecto doppler, por la Heliosismología.

Capas externas del Sol

Fotosfera: es la superficie del Sol, con un espesor aproximado de unos cientos de km, en el ecuador más gruesa que en los polos, es donde se observan la mayor parte de los eventos solares como:

Granulación solar: son columnas causadas por las corrientes convectivas del plasma en la zona convectiva, el centro es la parte de plasma caliente que asciende, en las orillas el plasma frío, que desciende, estos solo duran entre 8 a 20 minutos, con un diámetro aproximado de 1,500 Km. [Figura 1]

Manchas solares: Consiste en una región central oscura llamada Umbra, rodeada por una estructura de filamentos oscuros y claros llamada Penumbra esta tiene más temperatura que la umbra pero menos temperatura media de la fotosfera, las manchas se crean por la intensa actividad magnética del campo magnético solar, este no permite que se realice la convectividad del plasma como debe ser usualmente, esto es por la rotación diferencial que presenta el Sol, tienen un tamaño aproximado de 10 km a casi 200000 km, duran unas cuantas semanas hasta aproximadamente 2 meses, el campo magnético en un grupo de manchas solares tienen una intensidad media de 0.3 Teslas. Se clasifican en dos tipos, el primer tipo las activas donde las líneas de campo se retuercen y se reconectan, provocando estallidos conocidos como erupciones solares, el segundo tipo, como no activas o pasivas, estas no presentan estallidos. Las manchas tienen un ciclo de 11 años aproximadamente, esto es porque la polaridad del campo de las manchas se invierte, cada ciclo puede ocurrir uno llamado máximo solar esto ocurre porque aparecen constantemente manchas activas durante este ciclo, otro llamado mínimo solar esto ocurre porque aparecen pocas manchas solares, de esas pocas son activas, las manchas suceden en el ecuador, rara vez se ven en las proximidades del círculo polar o a latitudes cerca de 70° norte y sur pero regularmente estas por debajo de latitudes de 40° norte y sur. Regularmente van intercalados estos ciclos, un máximo seguido de un mínimo, así repetitivamente, pero también hay casos donde un mismo ciclo se repite de nuevo, por ejemplo, dos mínimos solares seguidos. [ver Figura 2.1]

Ocurren también los fenómenos como las protuberancias, los filamentos en la fotosfera.

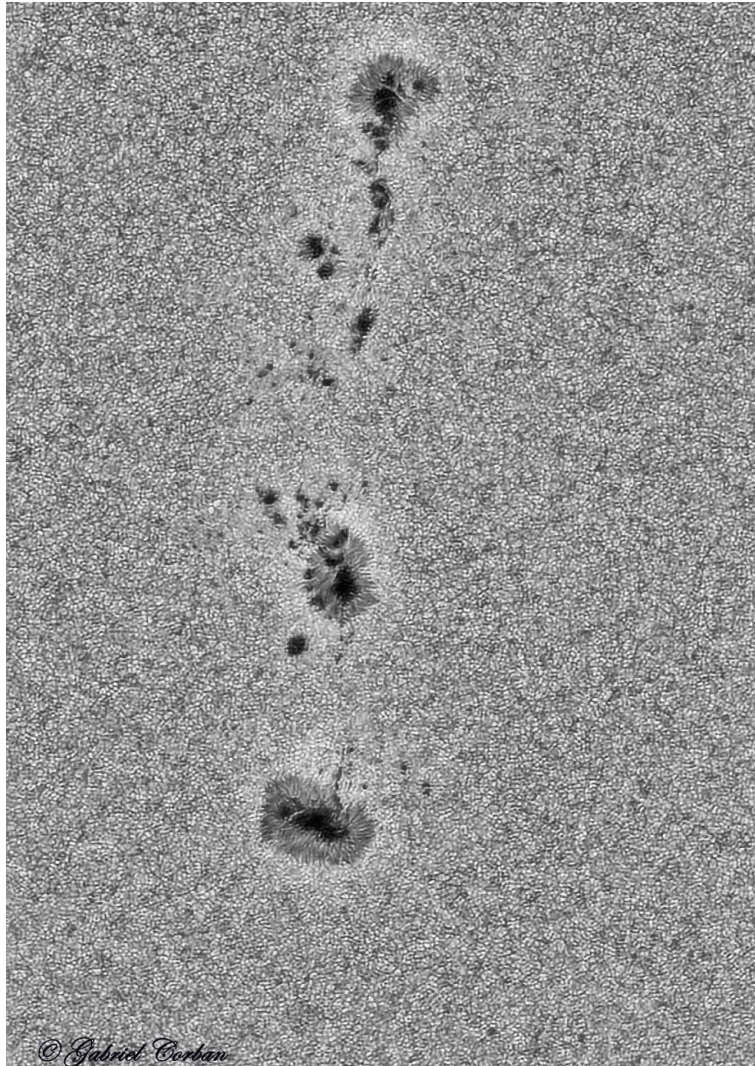


Figura 2.1: Manchas Solares y granulación en la fotosfera, 2018/08/19, Fotografía de Gabriel Cordan. [17]

Cromosfera: Una capa tenue, transparente, no homogénea no sé observa a simple vista por el brillo de la fotosfera, es perceptible cuando ocurre un eclipse de Sol total, o con telescopios que eclipsen el Sol artificialmente, con filtros especiales como por ejemplo el $H\alpha$, con un grosor mayor de los 10 000 km, ocurren fenómenos como las prominencias, fulguraciones.

Fulguración: Explosión de radiación electromagnética que abarca desde los rayos gamma hasta las ondas de radio con una energía aproximada de 6×10^{25} Julios,

calentando el plasma a decenas de millones de grados kelvin, acelerando las partículas a casi la velocidad de la luz, esto ocurre en minutos, en las regiones activas, en las manchas solares. Las fulguraciones son precursoras de las eyecciones de masa coronal o CME. Se clasifican por el flujo de rayos X con la:

Letra A: Flujo de rayos X normales del Sol.

Letra B: Flujo de rayos X de baja intensidad en el Sol.

Letra C: Flujo de rayos X situación de mayor inestabilidad, de mínima intensidad en el Sol.

Letra M: Flujo de rayos X de moderada intensidad en el Sol

Letra X: Emisión de rayos X, flujo de rayos X de máxima intensidad en el sol.

La numeración va de 1.0 a 9.9 en las clases A, B, C y M, en las clase X la numeración va desde X1.0 hasta X100, pero esta están divididas en dos de X1.0 a X50.0 son de máxima intensidad pero las de X50.1 a X100 son de intensidad peligrosa, esto se mide en W/m^2 en vatios por metro cuadrado, cada clase es 10 mayor que la anterior en su pico de flujo, la fulguración del tipo X es de $10^{-4} W/m^2$.

Existen dos tipos de fulguraciones: en primer tipo son las rápidas de rápido ascenso y descenso de flujos de rayos X de varios minutos, el segundo tipo son de larga duración emitiendo mayor flujo de rayos X hasta varias horas de duración. [Figura 2.2]

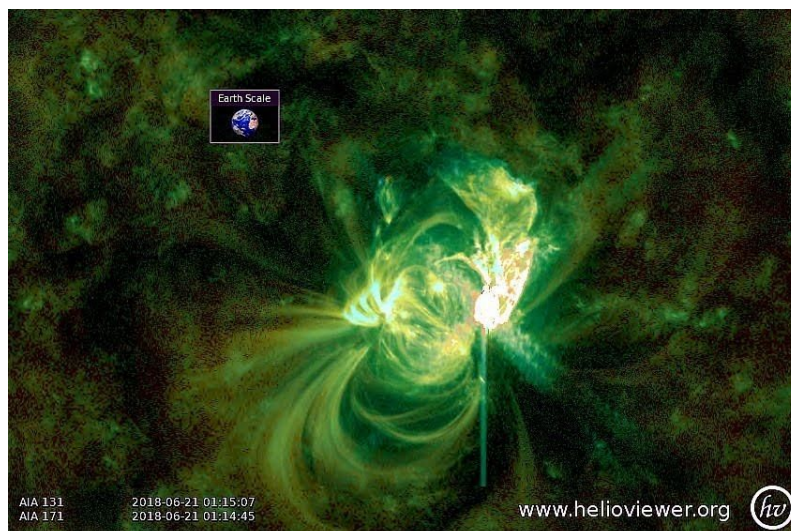


Figura 2.2: Reconexión de los filamentos del campo magnético del Sol en rayos X en 2018/06/21.

Zona de transición: Una capa de un espesor de aproximadamente de 20 Km, la temperatura aumenta considerablemente a unos miles de grados.

Corona: La capa externa del Sol, es poco densa esta capa, es difícil de observar, solo en eclipses, con equipo que eclipse artificialmente al Sol, para observar, su temperatura de millones de Kelvin, esta capa no es esférica, es irregular, por esta diferencia en el plasma, provoca los agujeros coronales, también debido al flujo de campo magnético abierto, provocando el viento solar, de vez en cuando la actividad se incrementa ocurren las eyecciones de masa coronal. [Figura 2.3]



Figura 2.3: Estructura del Sol desde el Núcleo hasta la Corona y algunos fenómenos solares. [19]

Eyecciones de masa coronal: son explosiones en la corona, lanza al espacio una nube de partículas, plasma, radiación, con un campo magnético. Estas ocurren por variaciones en la configuración del campo, otras por fulguraciones, filamentos, su velocidad máxima inicial es aproximadamente de 1000 km/s en el Sol, por su avance va perdiendo velocidad. Las eyecciones encuentran dos tipos, un tipo son las eyecciones lentas que tardan varios días en llegar a la Tierra, el otro tipo son las eyecciones más rápidas llegan a la tierra en cuestión de horas.

Tormenta solar

Una tormenta solar consiste, en primer lugar, en una erupción solar, esto ocurre en las regiones activas, en las manchas solares donde ocurre una reconexión magnética, con una variación repentina e intensa de brillo liberando grandes cantidades de energía, y partículas energéticas, en segundo lugar, sucede una fulguración emite radiación electromagnética esta radiación viaja a la velocidad de

la luz. En tercer lugar, suceden las eyecciones de masa coronal son nubes de plasma, dependiendo de su campo magnético puede afectar a la Tierra.

Una Tormenta puede ocasionar auroras, dañar satélites, transformadores, afectar las radiocomunicaciones, afectaciones en el campo magnético, afectar la ionosfera del planeta.

Estallidos de radio del Sol

Los estallidos de radio que ocurren en el sol son de varios tipos, a continuación, se describe cada uno;

Estallidos de Tipo I: Son explosiones cortas de banda estrecha en un rango de 8 a 200 MHz que se producen en grandes cantidades, con emisión en el continuo, con una duración de menos de 1 segundo a 10 segundos, de intensidades variables, estas tormentas duran desde horas hasta días, son provocadas en regiones activas, prominencias y llamaradas.

Estallidos de Tipo II: Son ráfagas entre 20 a 150 MHz de barrida lenta, sucede la deriva esto es que va de 150 MHz hasta 20 MHz con el segundo armónico, con una duración entre 3 hasta 30 minutos, son provocadas en emisiones de protones, ondas de choque magneto hidrodinámicas y llamaradas que viajan en la atmósfera solar.

Estallidos de Tipo III: Son ráfagas que van de 1 GHz hasta 10 KHz de barrida rápida, sucede en grupos o individuales, algunas veces acompañadas con el segundo armónico, con emisión de plasma o giro sincrotrón, son explosiones individuales que duran desde 1 hasta 3 segundos, las explosiones grupales duran desde 1 hasta 5 minutos, estas tormentas duran desde minutos hasta horas, son provocadas en regiones activas, flujo de electrones y llamaradas

Estallidos de Tipo IV: Es estacionaria de estructura fina con emisión entre 20 MHz hasta 2 GHz en el continuo de banda ancha, con emisión de plasma o giro sincrotrón, con una duración de horas hasta días, son provocados por emisiones de protones y después de una llamarada, siguen a los estallidos de tipo II

Estallidos Tipo IVa: Es no estacionaria de estructura suave, entre 20 hasta 400 MHz en el continuo de barrida lenta, sucede la deriva, con una duración de 30 minutos hasta 2 horas, son provocadas por ondas de choque magneto hidrodinámicas y prominencias.

Estallidos Tipo IVb: Es continua de estructura suave, entre 25 hasta 200 MHz en el continuo, con una duración de 3 hasta 45 minutos, son provocadas por emisión de protones y llamaradas.

Estallidos Tipo V: Se generan siempre después de un estallido de tipo III, son de banda ancha, entre 10 hasta 200 MHz en el continuo, con una duración de 1 hasta 3 minutos, son provocadas en regiones activas, flujo de electrones y llamaradas.

Nota: para más información de los estallidos consultar Radio Emission From The Sun and Stars, George A. Dulk. [22]

- **Júpiter**

Júpiter se encuentra del Sol a una distancia media aproximadamente es de 778 millones de Km, o aproximadamente a 5 UA, en el perihelio a una distancia aproximada de 741 millones de Km, en el afelio a una distancia aproximada de 816 millones de Km, en su mínima distancia de la Tierra a Júpiter es de 594 millones de Km, tiene una inclinación de rotación de 3.1 grados, la duración de su rotación es de 9 horas 55 minutos terrestres, con un periodo de translación de 11 años 314 días con 20 horas, con un diámetro ecuatorial de 142855 Km, está compuesto de un núcleo de sólido, de una capa líquida, el resto de forma gaseosa, los principales elementos son el Hidrógeno, Helio, Argón, entre otros elementos en reducidas cantidades, como el amoníaco, metano, ácido sulfúrico, oxígeno, nitrógeno. Las capas atmosféricas son la troposfera, estratosfera, termosfera, exosfera, las nubes que se observan desde el espacio están divididas por bandas llamadas Cinturones que son las oscuras de tonalidad café, las zonas que son las claras de una tonalidad blanca grisácea [ver Figura 2.4], esto es por la composición química de las nubes, los vientos, las corrientes de chorro entre la bandas algunos moviéndose hacia el este llamados retrógrados y otros hacia el oeste llamados progradados, creando vórtices ciclónicos y anticiclónicos uno de estos vórtices es la gran mancha roja. En Júpiter orbitan 79 satélites, los más grandes son Ío, Europa, Ganímedes, Callisto, conocidas como las lunas Galileanas, esto porque Galileo fue el primero en observarlas, llamándoles las lunas Jovianas. Entre los planetas del sistema solar, Júpiter tiene el campo magnético más intenso, con Ío crea sus propias auroras boreales y australes, sin la ayuda del Sol.

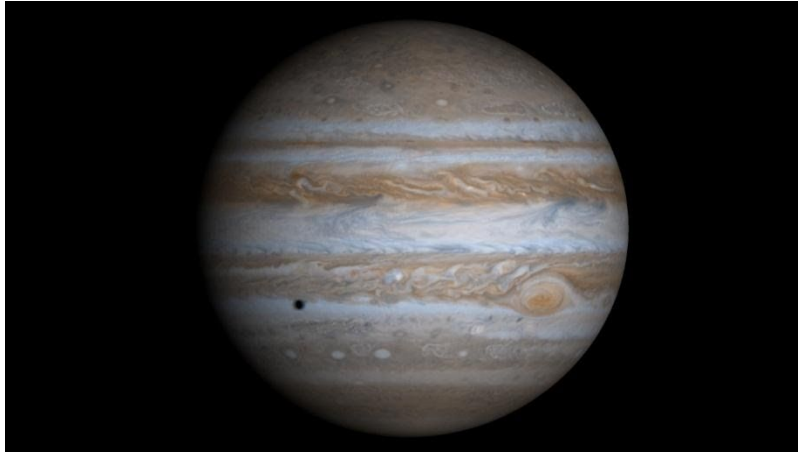


Figura 2.4: Júpiter con sus bandas, la mancha roja y eclipse de una de sus lunas. [30]

Satélite Ío: Es el satélite más cercano orbitando al planeta de los más grandes, con un diámetro de 3,643 Km, se encuentra a una distancia aproximada de 420 mil Km en el perihelio, en el afelio con una distancia aproximada de 423 mil Km, es un cuerpo rocoso, con núcleo de hierro, con un periodo de rotación de aproximadamente de 42 horas, mostrando una rotación sincrónica, siendo el satélite más activo geológicamente, esto es ocasionado por las mareas, por las interacciones gravitacionales de Júpiter, el satélite Europa, Ganímedes, estos con Ío, están en resonancia orbital o llamada resonancia de Laplace. Para disipar el calor por la actividad volcánica, con más de 400 volcanes activos, expulsando dióxido de azufre, dando lugar a una atmósfera de dióxido de azufre, pero el dióxido se descompone en azufre y oxígeno los cuales le dan su característico color amarillento anaranjado.

Satélite Europa: Es el segundo satélite orbitando al planeta de los más grandes, con un diámetro de 3,122 Km aproximadamente, se encuentra a una distancia aproximada de 664 mil Km en el perihelio, se encuentra en el afelio a una distancia aproximada de 676 mil Km, la corteza es de hielo, llamado un mundo helado, un satélite rocoso, con núcleo de hierro, con una rotación de aproximadamente de 85 horas, mostrando una rotación sincrónica, realiza con el satélite Ío la resonancia Laplace, cuando órbita una vez Europa, Ío orbita dos veces, con una atmosfera de Oxígeno.

Satélite Ganímedes: Es el tercer satélite orbitando al planeta, siendo el más grande de los satélites con un diámetro de 5268 Km, se encuentra a una distancia aproximada de 1,069 millones Km en el perihelio, en el afelio se encuentra a una distancia aproximada de 1,071 millones Km, con núcleo de hierro, con un campo magnético con una delgada atmósfera de oxígeno, con una rotación de aproximadamente de 171 horas, realizando una rotación sincrónica, este realiza la

resonancia Laplace con los satélites Europa, e Ío, cuando órbita una vez Ganímedes orbita 2 veces Europa e Ío órbita 4 veces.

Júpiter e Ío

En Ío suceden mareas gravitatorias por la resonancia orbital y la gravedad de Júpiter, moviendo la corteza terrestre varias decenas de metros manteniendo el núcleo activo, expulsando al exterior los átomos de dióxido de azufre, estos átomos pierden un electrón por la luz ultravioleta del Sol, por el campo magnético de Júpiter generando una potente corriente eléctrica, las partículas se concentran en la órbita de Ío como un toroide, genera ondas de energía electrodinámica, esas partículas se mueven a casi la velocidad de la luz, creando radiación sincrotrónica, circulan alrededor de magnetosfera de Júpiter por las líneas de campo magnético hasta las regiones polares, los electrones que se mueven entre las regiones polares a este proceso se llama radiación ciclotrón o ciclotrónica del máser, en este proceso suceden las señales de radio de Júpiter. En los polos de Júpiter por el campo magnético expulsa las emisiones de radio en forma de un cono que llega hasta la Tierra, porque estas partículas alcanzan temperaturas de hasta 100,000 K, si el planeta se encuentra en el interior o en el exterior del cono no recibirá las ondas de radio, pero si se encuentra la Tierra en el borde del cono recibirá las ondas de radio, a estas se les conoce como radio tormentas Jovianas. [ver Figura 2.5]. A las frecuencias que se trabaja se le conoce como emisión DAN o radiación decamétrica que van desde los 3 a 40 MHz, las más fuertes son las Ío-DAN, relacionadas con el sistema Júpiter-Ío, las tormentas Jovianas son de ruido radial e intermitentes está compuesta por dos tipos de estallidos o también llamadas ráfagas, los estallidos L o estallidos Largos, los estallidos S o estallidos cortos, los estallidos débiles son corta duración, los fuertes de varias horas, las emisiones de radio dependen de la fase de Ío, también llamada conjunción geocéntrica superior o “SGC”, y el Meridiano de Longitud Central o “CML”, que son las longitudes de la actividad Joviana viendo a la tierra cuando se reciben la señal, en la siguiente tabla se observa su clasificación:

Fuente	CML	Fase de Ío	Tipos
Ío-A	200°-290°	195°-265°	Ráfagas S y L
No Ío-A	200°-290°		Ráfagas S y L con polarización RH
Ío-B	090°-200°	075°-105°	Ráfagas S y L
No Ío-B	090°-200°		Ráfagas L con polarización RH
Ío-C	290°-010°	225°-250°	Ráfagas S y L
No Ío-C	290°-010°		Ráfagas S con polarización RH

Tabla 2.1: Regiones fuente de Ío-relacionadas y no Ío-relacionadas en intervalos angulares. [16]

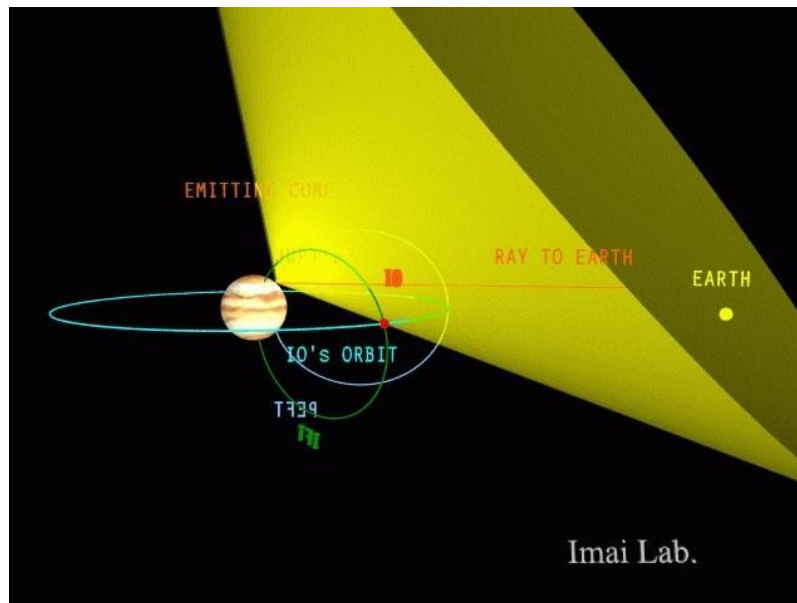


Figura 2.5: Emisión de las tormentas Jovianas en forma de cono. [33]

Radiación sincrotrónica y radiación ciclotrónica

En Júpiter ocurre la radiación sincrotrónica que son partículas cargadas no relativistas, la radiación ciclotrónica que son partículas relativistas, por el CML son atrapadas y aceleradas, dependen de la intensidad del campo eléctrico, magnético, velocidad y carga, está dada por la fuerza de Lorentz, que generan las ondas de radio, rayos X.

Ecuación de la fuerza de Lorentz:

$$\vec{f} = q (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \quad (2.1)$$

Dónde:

f es la fuerza electromagnética total.

q es la carga.

\vec{E} es el vector intensidad del campo eléctrico.

\vec{V} es la velocidad de la carga.

\vec{B} es el vector de inducción magnética.

Ecuación de la frecuencia de ciclotrón:

$$f_c = \frac{eB}{2\pi m_e c} = 2.8B \quad (2.2)$$

Dónde:

B es la intensidad del campo magnético.

m_e es la masa del electrón.

Para Júpiter la fuerza del campo magnético es de 14.1 Gauss, en la parte baja de su atmósfera, entonces aplicando la anterior ecuación obtenemos la frecuencia de ciclotrón es de 39.5 MHz es lo más alto que soporta el campo magnético de Júpiter. Aplicando la ecuación para 24 MHz obtendremos 8.57 Gauss en la fuerza de campo magnético, a 19.9 MHz tendríamos 7.10 Gauss. Ver Figura 2.6.

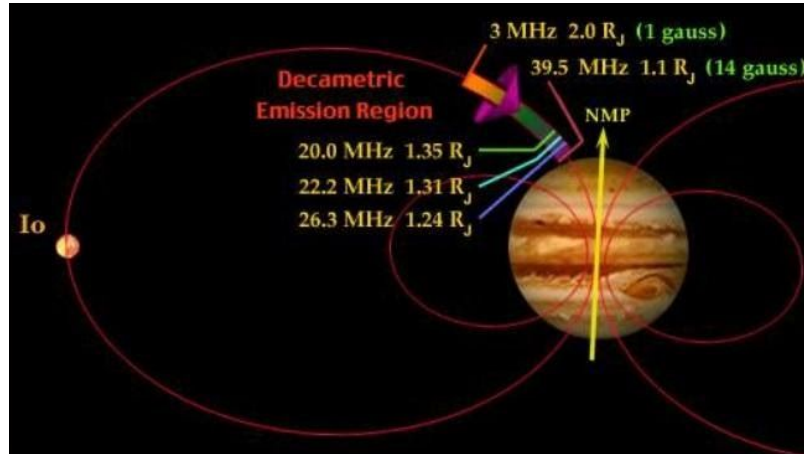


Figura 2.6: Júpiter e Ío, la radiación según la fuerza del campo magnético con sus frecuencias correspondientes. [37]

Ecuación de emisión giro resonancia: Es un efecto relativista de los electrones cuando cambia el patrón del dipolo sinusoidal a uno no simétrico, como se muestra en la Figura 2.7, son los armónicos de la línea del ciclotrón, es responsable de la emisión coronal en las regiones activas, usando la ecuación (ciclotrón):

$$f_c = 2.8sB \quad (s = 1, 2, 3, \dots) \quad (2.3)$$

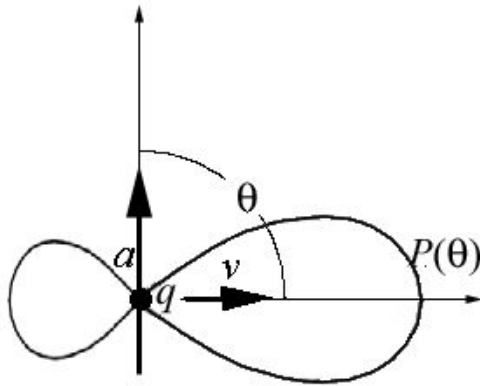


Figura 2.7: Diagrama de un electrón a velocidades relativistas cuya energía cinética son comparables a su masa de reposo $m_e c^2$, mostrando un patrón asimétrico. [38]

Emisión giro sincrotrón: Esta emisión sucede a velocidades ligeramente a la ultra relativista, con ensanchamiento térmico, por los gases ionizados, que se combinan con la emisión continua, en energías de los electrones de 100 a 300 KeV, este tipo de emisión sucede por las llamaradas solares responsable de las emisiones de radio.

Emisión de sincrotrón: En esta emisión a velocidades ultra relativistas, el patrón que se muestra en la Figura 2.7. es más estrecho, el ancho del haz está a un factor de $1/\gamma^3$, es más asimétrico, produciendo que pulsos estrechos a los del ciclotrón, estas emisiones van a la dirección del movimiento, teniendo más armónicos que la emisión ciclotrón, este tipo de emisión están asociados a fuentes extragalácticas, estrellas de neutrones y agujeros negros.

Ecuación de la frecuencia de sincrotrón:

$$\nu = \frac{\gamma^2 e B}{2\pi m_e c} = 2.8 \gamma^2 B \quad (2.4)$$

Dónde:

γ es el factor del ángulo de apertura en el movimiento de la partícula por un campo magnético.

Radiofuentes fuera del sistema solar

El centro de la Vía Láctea es un núcleo activo, esto es por un disco de acreción alrededor del agujero negro en el centro de nuestra galaxia, esto es por la ley de conservación del momento angular, ocasionando un conglomerado de gas, polvo y sistemas solares. Son los objetos con la mayor cantidad de emisiones del espectro electromagnético del universo.

También se hace mención de los más grandes fenómenos del espacio, la muerte violenta de una estrella, por el colapso gravitacional de la misma que ya no puede sostener las reacciones termonucleares en su interior, conocidas como novas y supernovas, produciendo una explosión de radiación electromagnética al espacio.

La radiación de fondo cósmica, es el remanente del modelo cosmológico, conocido como Big Bang, que se encuentra a una temperatura de 2.725 °K.

Las radiofuentes faltantes no las describo, eso es porque las frecuencias que se usan en los radiotelescopios no permite captarlas.

CAPÍTULO 3

Dipolo

Antena tipo Dipolo

El dipolo es una antena de tipo alambre, es omnidireccional, de las más sencillas, consiste en dos cables alineados con la longitud de onda que resuena con la frecuencia que se requiera.

Con la siguiente ecuación, se calcula la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

Dónde:

λ es la longitud de onda

f es la frecuencia de la antena

c es la velocidad de la luz

Para una antena de tipo dipolo de $\frac{1}{2}$ de λ , la antena debe ser del 95% de λ , entonces tenemos que la ecuación anterior se modifica a la siguiente:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{143}{f_{MHz}} = [m] \quad (2.2)$$

Ahora obtenemos $\frac{\lambda}{2}$ para el dipolo.

Para una frecuencia de 24 MHz el dipolo debe de tener una longitud de 5.95 m, para la frecuencia de 19.9 MHz el dipolo debe de tener una longitud de 7.18 m.

La separación entre dipolo a dipolo de la antena donde tiene su máxima radiación es de 0.65λ , en el caso de las antenas la separación entre dipolo a dipolo es de 0.4λ y 0.48λ que equivale a 6 mts en cada uno.

Teoría

Es fácil calcular las características de una antena transmisora, entonces se puede hacer el análisis con las mismas características para una antena receptora, pero no se modifican esas características porque son las mismas.

Radiación del Dipolo

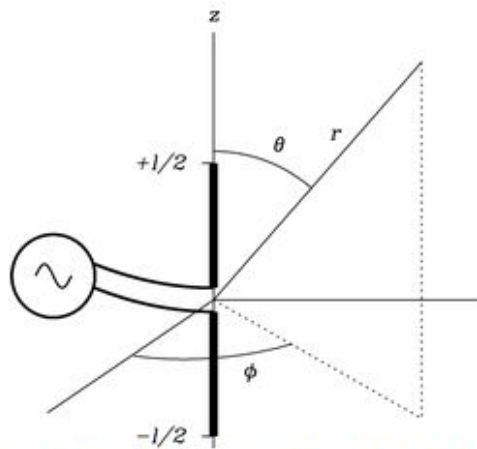


Figura 3.1: Sistema de coordenadas que describen la radiación de un dipolo transmisor con una fuente de frecuencia de corriente. [37]

La radiación del dipolo depende a la frecuencia del transmisor, entonces usamos una corriente oscilante sinusoidal I que es la longitud total del dipolo y frecuencia angular de $\omega = 2\pi\nu$.

$$I = I_0 \cos \cos (\omega t) \quad (2.3)$$

Dónde:

I_0 es la corriente máxima que entra por cada extremo del dipolo.

Se reemplaza la función trigonométrica por su complejo exponencial. Por lo cual la corriente de conducción se escribe como:

$$I = I_0 e^{-i\omega t} \quad (2.4)$$

Dónde:

I es la parte que representa la corriente real.

Esta conducción acelera las cargas por los cables de la antena.

La fórmula de Larmor se usa para la radiación de la antena, para este caso las cargas o electrones viajan a una velocidad menor a la de la luz, por lo cual se considera que no son relativistas, usando Larmor predice muy bien la radiación, para este cálculo convierte las cargas, las acelera en corrientes que varían en el tiempo. La corriente eléctrica del cable es la tasa de flujo de la carga eléctrica por el largo del cable y se representa en la siguiente ecuación, simplificándola para el eje z en el cable de conducción del dipolo:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{dz} \frac{dz}{dt} = \frac{dq}{dz} v \quad (2.5)$$

Dónde:

v es la velocidad del flujo de las cargas.

La derivación de la fórmula de Larmor:

$$E_{\perp} = \frac{qv \sin \theta}{rc^2} \quad (2.6)$$

Se aplica para obtener el dE_{\perp} en cada segmento del dipolo infinitesimal de longitud dz , pero tiene que cumplir con esta regla $l \ll \lambda$, para que los campos eléctricos estén en fase, y que se pueda obtener el campo total E_{\perp} del dipolo:

$$E_{\perp} = \int_{z=-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{dq}{dz} dz \frac{v \sin \theta}{rc^2} \quad (2.7)$$

Dónde:

r es la distancia de la carga.

θ es el ángulo formado por un cable conductor y distancia de la carga estacionaria.

A distancias $r \gg l$ el $(1/r)$ es casi constante en toda la antena, por lo que podemos sacarlo de la integral, esto para tener una corriente de conducción sinusoidal $\dot{v} = -i\omega v$ como se observa en la siguiente ecuación:

$$E_{\perp} = \frac{-i\omega \sin\theta}{rc^2} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} I dz \quad (2.8)$$

La intensidad del campo eléctrico irradiado E_{\perp} es proporcional a la integral de distribución de corriente a lo largo de la antena, esta corriente en el centro es la corriente de excitación vista en la ecuación (2.4), entonces la corriente en los extremos decae a cero. En otras palabras, tenemos una onda estacionaria que decae casi linealmente desde el centro hasta los extremos de la antena:

$$I(z) \approx I_0 e^{-i\omega t} \left[1 - \frac{|z|}{(\frac{l}{2})} \right] \quad (2.9)$$

Integrando, obtenemos:

$$E_{\perp} \approx \frac{-i\omega \sin\theta}{rc^2} \frac{I_0 l}{\lambda} e^{-i\omega t} \quad (2.10)$$

Si sustituimos $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$ en (2.10), e ordenando los factores, obtenemos:

$$E_{\perp} = \frac{-i\pi \sin\theta}{c} \frac{I_0 l}{\lambda} \frac{e^{-i\omega t}}{r} \quad (2.11)$$

La ecuación del flujo de Poyting promediado en el tiempo para este caso es:

$$\langle S \rangle = \frac{c}{4\pi} \langle E_{\perp}^2 \rangle \quad (2.12)$$

Sustituyendo la (2.11) en (2.12), obtenemos la siguiente ecuación:

$$\langle S \rangle = \frac{c}{4\pi} \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{I_0 l}{\lambda} \frac{\pi}{c}\right)^2 \frac{\sin^2\theta}{r^2} \quad (2.13)$$

Patrón de Potencia

El patrón de potencia es la distribución angular de potencia radiada en una antena transmisora, el patrón de potencia de acuerdo a la ecuación (2.13) es:

$$P \propto \sin^2\theta \quad (2.14)$$

El patrón de potencia es de forma toroidal como la radiación de Larmor, la radiación del dipolo tiene la polarización paralela al dipolo. La potencia recibida solo depende de la longitud proyectada perpendicular a la línea de visión del dipolo que es $l \sin\theta$. La intensidad recibida del campo eléctrico es proporcional a la longitud del dipolo. La potencia total promediada en el tiempo emitida resulta de la integral de flujo de Poynting sobre el área de la superficie de una esfera cuyo radio es $r \gg l$, esto es:

$$\langle P \rangle = \int \langle S \rangle dA \quad (2.15)$$

Sustituyendo (2.13), obtenemos:

$$\langle P \rangle = \frac{c}{4\pi} \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{I_0 l}{\lambda} \frac{\pi}{c}\right)^2 2\pi \int_{\theta=0}^{\pi} \sin^3\theta d\theta \quad (2.16)$$

Entonces

$$\langle P \rangle = \frac{\pi^2}{3c} \left(\frac{I_0 l}{\lambda}\right)^2 \quad (2.17)$$

Dónde:

I_0 es la corriente impulsora.

$\frac{l}{\lambda}$ es la longitud total normalizada de la antena.

Resistencia a la radiación

George Ohm en sus investigaciones aplicando un voltaje a los materiales era proporcional a la corriente, pero también observó que los materiales tenían una resistencia.

Desarrollando la Ley de Ohm, para la potencia media de un circuito resistivo con corrientes variables en el tiempo, pero para el caso de corriente sinusoidales, dependiente a la frecuencia.

El dipolo de $\lambda/2$ es una antena resonante, esto implica que la impedancia de la antena es resistiva.

Para la antena de media onda es una onda estacionaria con distribución de corriente de

$$I = I_0 e^{-i\omega t} \cos \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \quad (2.18)$$

Teniendo un máximo como lo indica la ecuación (2.4), con punto de alimentación en $z = 0$, disminuyendo co-sinusoidalmente a cero hasta los extremos $z = \pm \lambda/4$.

Suponiendo que la radiación por todas partes del dipolo se emite en fase según la ecuación (2.8)

Así que partiendo de la ecuación (2.18), desarrollándose obtenemos la siguiente ecuación:

$$\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} Idz \approx I_0 e^{-i\omega t} \int_{-\frac{\lambda}{4}}^{+\frac{\lambda}{4}} \cos\left(\frac{2\pi z}{\lambda}\right) dz = \frac{I_0 \lambda}{\pi} e^{-i\omega t} \quad (2.19)$$

Entonces

$$\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} Idz \approx \frac{I_0 l}{2} e^{-i\omega t} \quad (2.20)$$

Por otro lado, la potencia irradiada promedio $\langle P \rangle$ por I_0 es proporcional al cuadrado como se muestra a continuación como un factor:

$$\left(\frac{2\lambda}{\pi l}\right)^2 \quad (2.21)$$

Por lo cual el desarrollo de la Ley de Ohm para corrientes sinusoidales más el factor de la ecuación (2.21), obtendremos la resistencia de radiación de un dipolo de media onda como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R = \left[\frac{2\pi^2}{3c} \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \right] \left(\frac{2\lambda}{\pi l}\right)^2 \quad (2.22)$$

Entonces tenemos una resistencia de 73.12 Ω en el sistema MKS.

Densidad de Flujo de potencia

La densidad de flujo de potencia está dada en watts, que irradia uniformemente en todas direcciones en forma de ondas electromagnéticas a cierta distancia de la antena, hablando del área contenida en una esfera hipotética, se expresa de la siguiente manera:

$$s_0 = \frac{W_0}{4\pi r_0^2} \quad (2.23)$$

Dónde:

s_0 es la densidad de flujo de potencia (Es la magnitud del vector de Poyting en el extremo exterior de la esfera).

W_0 es la potencia radiada por la antena.

r_0 es la distancia del centro al extremo exterior.

Directividad

La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección a cierta distancia y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, e irradia por igual en todas las direcciones, se expresa de la siguiente manera:

$$D(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{s_0} \quad (2.24)$$

Dónde:

ρ es la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación de la antena a cierta distancia.

D es la directividad.

Sustituyendo s_0 de la ecuación (2.23) en la ecuación (2.24) y teniendo la máxima directividad tendremos la máxima radiación en todas las direcciones, entonces obtenemos:

$$D_{max} = \frac{\rho_{max}}{\frac{W_0}{(4\pi r^2)}} \quad (2.25)$$

Entonces tenemos una directividad de 1.64, esto es un dipolo de $\lambda / 2$ ideal.

Ganancia de potencia

La ganancia de potencia de una antena se define como la potencia por unidad de ángulo sólido en la dirección (θ, ϕ) , comúnmente se expresa en unidades de decibelios (dB):

$$G = 10 \log_{10}(D) \quad (2.26)$$

Dónde:

G es la ganancia de la antena.

Entonces tenemos una ganancia de 2.148 dB, pero también se puede expresar como 0 dBd o 2.15 dBi.

Otra forma de expresar la ganancia es con la siguiente ecuación:

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi) \quad (2.27)$$

Dónde:

η es el factor de eficiencia de la antena.

El factor de eficiencia está dado por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{r_r}{r_r + r_l} \quad (2.28)$$

Dónde:

r_r es la resistencia de radiación.

r_l son las pérdidas de la antena.

Zonas de Radiación

Zona de campo cercano: región próxima a la antena de propagación donde predomina el campo reactivo, por lo cual E y B son ortogonales, sus límites son:

$$r < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.24)$$

Dónde:

D es la longitud de la antena

r es la distancia

En la aproximación de la región de campo cercano se desconoce la fase como la relación entre E y B, se tienen que medir por separado para conocer su campo electromagnético.

Los campos eléctricos inducidos en esta zona son los que produce el dipolo eléctrico de su carga.

Zona de campo intermedia: región intermedia entre la zona de campo cercano y la zona de campo lejano, donde el campo reactivo no predomina.

Emergen los campos de radiación, que depende de los valores de r como λ para que exista este campo como no existan, en esta también está la zona de Fresnel se encuentra entre:

$$0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq r \leq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.25)$$

Zona de campo lejano: también conocida como zona de Fraunhofer.

En esta zona predominan los campos electromagnéticos, se propagan las ondas como ondas planas. Donde la potencia decae como $\frac{1}{r^2}$.

$$r_{ff} > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.26)$$

Si $r < r_{ff}$ ocurrirían errores de fase, con las ondas provenientes fuera del eje reflector, también reduciendo el área de recolección efectiva y degradando el diagrama del dipolo [ver Figura 3.2]. En esta zona es independiente la distancia r de la distribución angular del campo radiado.

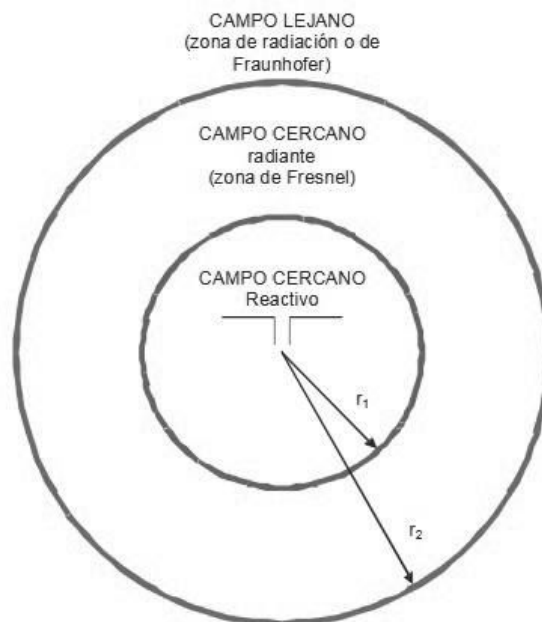


Figura 3.2: Diagrama del dipolo con las zonas de campo. [41]

Esta es la distancia mínima para colocar una antena de un cuerpo que irradia radiación electromagnética. Por lo cual, para realizar observaciones de un cuerpo celeste con un radiotelescopio, el cuerpo debe de estar en la zona de campo lejano del radiotelescopio, este requisito lo cumplen los objetos del sistema solar con los radiotelescopios chicos, medianos y grandes hechos por el hombre.

El campo lejano para la antena de 19.9 MHz es de 6.803 m, para 24 MHz es de 5.626 m.

Zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel son regiones elipsoidales, una región de espacio entre el emisor de la onda electromagnética y la antena receptora, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere 180° (ver Figura 3.3).

Las transmisiones de ondas pueden presentar pérdidas de enlace por un cuerpo que obstruya haciendo deficiente la intensidad de propagación de la onda o que pueda reducir la calidad de la señal emisora, aumentando el ruido. Esta obstrucción a la intensidad de propagación no debe de sobrepasar el 20%, para mantener aún una buena calidad, de preferencia que se encuentre libre la primera zona de Fresnel.

Las zonas de Fresnel impares contribuyen positivamente a la intensidad de propagación, mientras que las zonas de Fresnel pares contribuyen negativamente a la propagación de la señal.



Figura 3.3: Zonas de Fresnel. [44]

Ecuación para las zonas de Fresnel:

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.27)$$

Dónde:

n es para las zonas de Fresnel

λ es la longitud de onda dada en Km

d_1 es la distancia desde el transmisor al obstáculo está dada en Km

d_2 es la distancia desde el obstáculo al receptor está dada en Km

En la siguientes Tablas se muestra las primeras 7 zonas de Fresnel de los siguientes sistemas en las frecuencias de nuestras antenas:

Sistema	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Sol-Mercurio-Tierra	731486.072	1034477.524	1266971.042	1462972.144
Sol-Venus-Tierra	671865.117	950160.761	1163704.519	1343730.234
Sol-Tierra	750878.882	1061903.099	1300560.374	1501757.764
Tierra-Marte-Júpiter	1016885.674	1437663.591	1760771.109	2033163.348
Tierra-Júpiter	1539553.874	2177257.968	2666585.531	3079107.748

Tabla 2.1: Zonas de Fresnel para la antena de 19.9 MHz (Todos los resultados están en kilómetros).

Sistema	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Sol – Mercurio - Tierra	666080.897	941980.639	1153685.956	1332161.795
Sol – Venus - Tierra	611790.897	865202.984	1059652.917	1223581.794
Sol - Tierra	683739.717	966953.980	1184271.928	1367479.433
Tierra – Marte - Júpiter	925684.930	1309116.183	1603333.331	1851369.961
Tierra - Júpiter	1401896.038	1982580.389	2428155.164	2803792.075

Tabla 2.2: Zonas de Fresnel para la antena de 24 MHz (Todos los resultados están en Kilómetros).

CAPÍTULO 4

Construcción del Radiotelescopio

Antena

Para los radiotelescopios, se requiere una antena para 19.9 MHz, y otra antena para 24.0 MHz, cada antena está constituida por 2 dipolos de $(1/2)\lambda$.

De la ecuación (3.2) solo tenemos que dividir de nuevo entre 2 para tener el de $(1/4)\lambda$, para obtener 2 elementos del mismo tamaño, para formar un dipolo, en cada elemento en uno de sus extremos se colocara un aislante, después los extremos restante de cada elemento se unirán con un aislante cada uno en el lado opuesto del aislante, para obtener un dipolo con dos elementos, en este caso se utilizó PBC de $\frac{1}{2}$ pulgada para realizar los aislantes. Para los elementos se usó cable de cobre desnudo del calibre 14.

Donde se encuentra el aislante de en medio se conecta el cable coaxial, en un lado de conecta la malla y del otro lado del dipolo se conecta el alambre del centro del coaxial, la longitud del coaxial fue de 6.5 m, al otro lado se conectarán las campanas o conectores de tipo F para cable coaxial. El cable coaxial es del RG59, con impedancia de 75Ω .

Los postes de los dipolos se construyeron con PVC de 2 pulgadas rellenos de arena y grava. Para sostener los tubos se utilizaron botes de 25L como base, estos están rellenos de piedras grandes y cemento, como se muestra a continuación en la Figura 4.1.



Figura 4.1: Base de cubeta con cemento para el poste.

Del dipolo los extremos donde se encuentran los aislantes, se sujetarán a un poste, utilizando 2 por dipolo, como se muestra en la Figura 4.2.

Cada poste tiene 2 lazos de anclaje para hacer tensión para que las antenas no se muevan por el viento y también para prevenir que se deformen cada dipolo, como se muestra en la siguiente Figura 4.2.

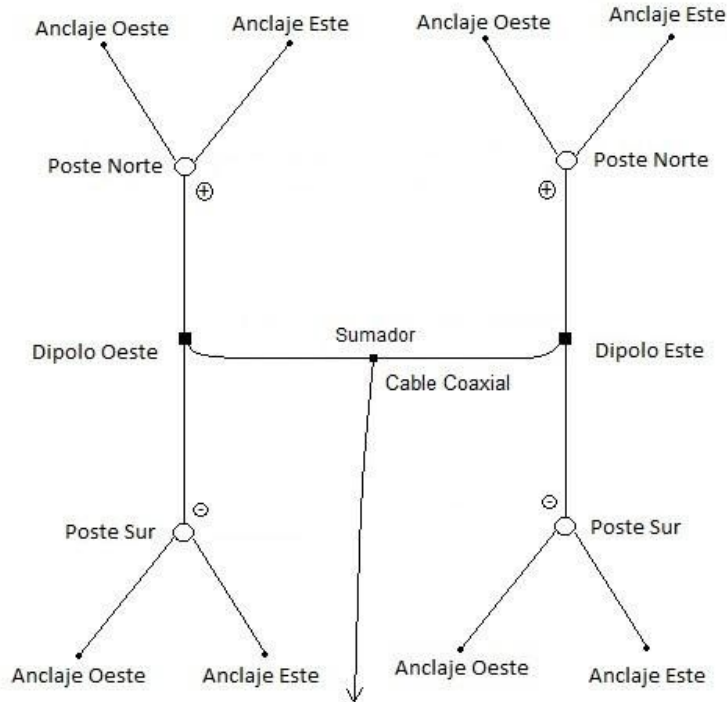


Figura 4.2: Diagrama del radiotelescopio con su orientación.

Los cables coaxiales de los dos dipolos estarán unidos por sumador de frecuencias, a este sumador se le conectará una punta del cable coaxial, la otra se conectará con el receptor, como se muestra en la imagen [Figura 4.2].

Cada antena está en fase, el lóbulo de la antena se encuentra apuntando hacia el Cenit, como se muestra en la siguiente [figura 4.3].

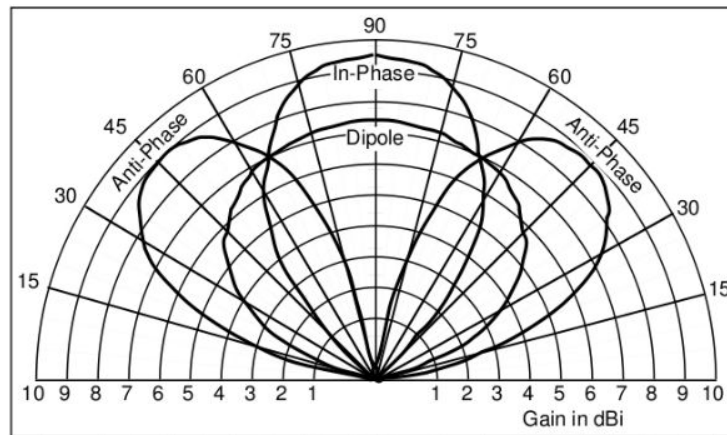


Figura 4.3: Se muestran varios lóbulos, lóbulo de un solo dipolo es el del centro (Dipole), los tres restantes lóbulos son de antenas de dos dipolos, cuando están en fase corresponde al lóbulo (In Phase) en la figura 4.2 se muestra como positivo hacia el norte y negativo en el sur, los lóbulos

(Anti Phase) es cuando no están en fase, se muestran los dipolos como negativo positivo hacia el norte, y los del sur como positivo negativo. [16]

Ubicación de las antenas

Las antenas se encuentran en la Facultad de Ciencias de la UAEM, la antena de 19.9 MHz está ubicada en el techo del edificio D, con orientación Este-Oeste, polarización Sur-Norte, como se muestra en las siguientes imágenes [Figura 4.4 - 4.5], sus coordenadas geográficas son $19^{\circ}24'33.4''$ N, $99^{\circ}41'19.6''$ W. La antena de 24.0 MHz está ubicada en el techo del edificio C, con orientación Este-Oeste, polarización Sur-Norte, como se muestra en la siguiente imagen [Figura 4.6 – 4.7], sus coordenadas geográficas $19^{\circ}24'33.7''$ N, $99^{\circ}41'20.4''$ W.



Figura 4.4: Antena tipo Dipolo de 19.9 MHz.

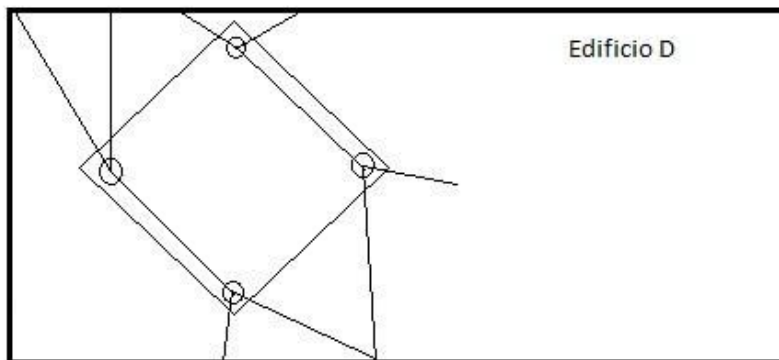


Figura 4.5: Esquema, vista de la parte superior de la antena de 19.9 MHz.



Figura 4.6: Antena tipo Dipolo de 24.0 MHz.

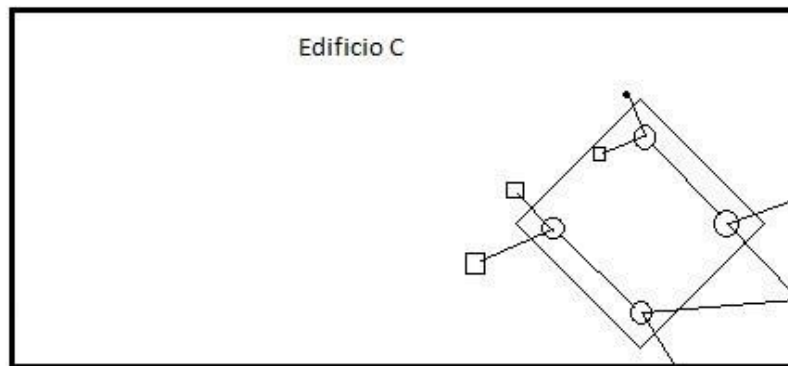


Figura 4.7: Esquema, vista de la parte superior de la Antena de 24.0 MHz.

Construcción del receptor

Se adquirió previamente el receptor de 24.0 MHz con Guillermo Figueroa [ver Figura 4.8], y utilizando componentes electrónicos de fácil adquisición en México. Se construyó un receptor para la frecuencia de 19.9 MHz, se seleccionó esta frecuencia porqué en la Red varios observatorios contaban con esta frecuencia.

Se realizó la placa de PCB con el método de la plancha, se soldaron los circuitos electrónicos, en un gabinete de plástico, se conectaron los Jack's para salidas de audio, un Jack para la alimentación del circuito, el conector hembra tipo F para el cable coaxial, un switch de tipo palanca, un led, para el encendido y apagado del equipo, como se muestra en la siguiente imagen [Figura 4.9], todo esto se realizó siguiendo el diagrama del circuito electrónico. [Apéndice 1]



Figura 4.8: Receptor de 24.0 MHz, elaborado por Guillermo Figueroa Ferrari (RedMex).



Figura 4.9: Receptor de 19.9 MHz, elaborado por Daniel A. Rossano.

El cable de las antenas se conectará a los receptores correspondientes a su frecuencia. Del receptor se conectó al micrófono de la computadora se usó extensiones de audífonos estéreo de 3.5 mm, macho-macho, estos cables son blindados. Cabe mencionar que estos cables no se adquirieron si no que se construyeron específicamente para este propósito.

Software de adquisición de datos

Radio Skypipe: Es un software que se usa en radioastronomía en especial para el proyecto de Radio Jove de la NASA. Su instalación es muy sencilla y permite recibir, almacenar y graficar en tiempo real. En este programa se grafica en tiempo real la intensidad de las emisiones de radio de los cuerpos celestes que emitan en

la frecuencia ocupada por el receptor, teniendo un registro de esos datos, usando una tarjeta de sonido para hacer la adquisición, si necesidad de aparatos costos. También se puede analizar los datos en el mismo software, así como compartir los datos con otros radio observatorios en el mundo usando su dirección IP.

Hardware

- Computadora de escritorio HP Compaq Pro 6300 MT, con procesador Intel Core i5-3470 de 3.20 GHz, con Windows 10 Education, memoria RAM de 2 GHz.
- Computadora de escritorio Hp ProOne 400, con procesador Intel Core i5-4570T de 2.90 GHz, con Windows 8.1 Enterprise, memoria RAM de 8 GHz

Configuración Radio Skypipe

La computadora se le instala el programa de radio Skypipe, y se configura de la siguiente manera:

En la ventana principal de Skypipe en la parte superior izquierda se encuentra una barra de opciones, se busca “Options” aparecerá una nueva ventana donde se ingresa el nombre de identificación del radio observatorio, nombre del usuario, localización, coordenadas geográficas, correo electrónico, también la dirección de la carpeta donde se guardan las gráficas en la computadora [ver figura 4.10].

The image shows the 'Radio-SkyPipe Options' dialog box with the 'Identity' tab selected. The dialog has several tabs: 'Advanced Logging', 'Servers', 'Sound', 'Timing', 'Misc.', 'Identity', 'Data Source', 'Connection', 'Strip Chart', and 'Logging'. The 'Identity' tab contains the following fields and controls:

- Local Name:** Text box containing 'Red Mex UAEM'.
- Observer Name:** Text box containing 'F.C'.
- Location:** Text box containing 'Toluca' with a globe icon to its right.
- Latitude (+/- DD:MM:SS.S):** Text box containing '19:24:00.0'.
- Longitude (DDD:MM:SS.S):** Text box containing '99:41:20.2' with a 'W' button to its right.
- Time Zone:** Text box containing '-6' and a checked 'Auto Detect' checkbox.
- Email Address:** Empty text box.
- Notes File Name (for inclusion of text info in data file):** Text box containing 'C:\Program Files (x86)\Radio-SkyPipe II\notes.txt' with a 'browse' button to its right.
- Notes File Text (may be edited here):** A large text area with a green background containing the text 'Replace this text with information about your observatory.' and a 'Save Notes File' button to its right.
- Server Information Text:** Text box containing 'no info available'.

At the bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Save', and 'Cancel'.

Figura 4.10: Ventana de opciones, identidad del radio observatorio.

En la ventana de “Options” se busca la pestaña “Connection” aparecerán varias opciones donde se seleccionará la opción “I use a DSL or cable internet Connection”, es por la configuración que tiene la computadora con el cable de red de internet. Después en el cuadro naranja al final se encuentra un cuadro con ceros, se escribe en esa parte la dirección IP, esta opción es para que te puedan observar otros radio observatorios cómo obtener sus datos vía internet, esto es para compartir tus datos a la Red como para la NASA [ver Figura 4.11].

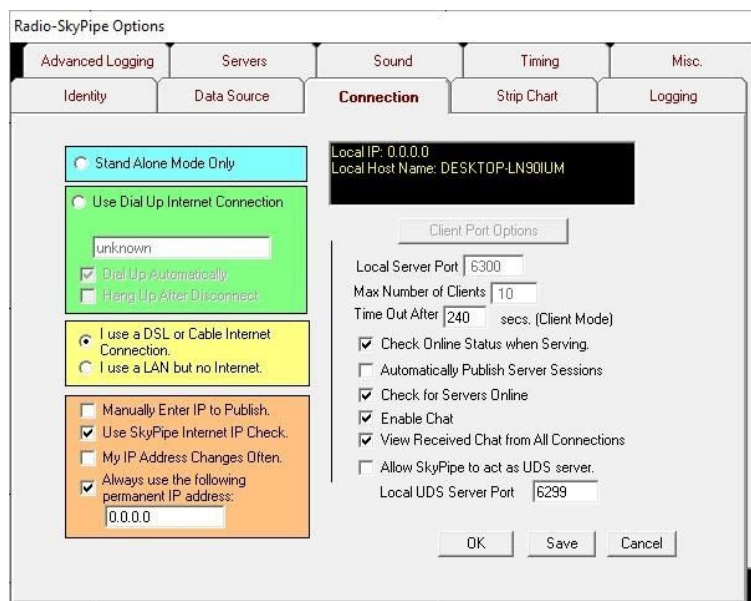


Figura 4.11: Ventana de opciones, conexión del tipo de red.

A continuación busca la opción de “Sound”, en este apartado encontrará un cuadro del lado izquierdo, donde aparecerán varias opciones como la tarjeta de audio interna de la computadora, otra tarjeta externa, selecciona el modo donde coloco el cable de audio del receptor en nuestro caso se seleccionó el micrófono de la tarjeta de audio de la motherboard de la computadora, en la parte de debajo de esa ventana aparece el formato, se dará click en “Choose Sound Format” aparecerá una ventana con varias opciones, se buscará la opción de “Attributes” en ella se desprenderá una lista donde seleccionaremos “12.000KHz, 16 bit, stereo 46kb/sec” [ver Figura 4.12], das click en Ok, después en la parte inferior derecha se verán tres botones, corresponden a “OK, Save, Cancel” en ese orden,

primero guardar la información botón “Save”, al final solo queda dar click en el botón “OK”, con esto está configurado el programa a la computadora.

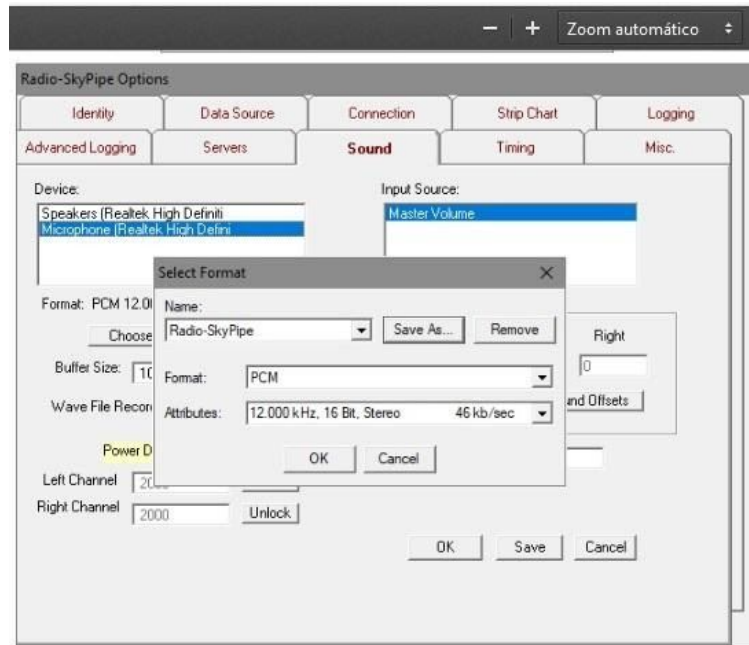


Figura 4.12: Configuración de la tarjeta de sonido, del receptor a la computadora.

Calibración

Se construyó un calibrador con el método de la plancha para obtener el PBC, se soldaron los circuitos electrónicos en un gabinete de aluminio, se conectaron un Jack para la alimentación, se usó un conector tipo F hembra para el cable coaxial, un switch de tipo palanca, un led, para el encendido como el apagado, como se muestra en la siguiente imagen [Ver Figura 4.13].

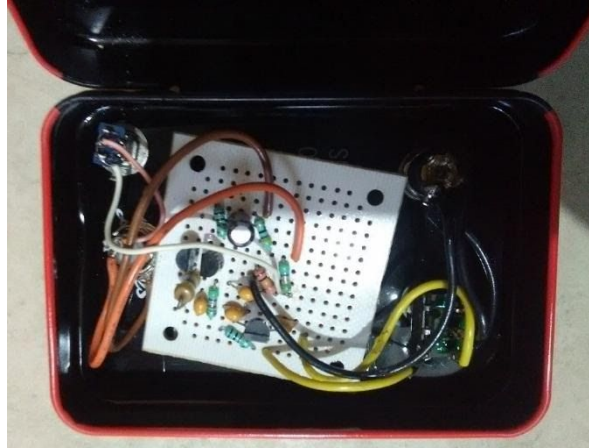


Figura 4.13: Calibrador, elaborado por Daniel A. Rossano. [Apéndice 2]

Para realizar el calibrado del Skypipe, la computadora y el receptor, tendrá que conectar el calibrador al receptor con un cable coaxial, el receptor tendrá que estar conectado a la computadora por el cable de audio, estos deben estar apagados cuando se realice la calibración [ver Apéndice 2], el programa ya tiene una opción para el calibrado, en la ventana principal se selecciona “Tools”, desplegará una lista, al final de ella seleccione “Calibration Wizard” [ver Figura 4.14], después de seleccionarlo aparecerán unas ventanas donde empieza la calibración, no se moverá nada solo leer, y click en ok [ver Figura 4.15], nuevamente aparecerá una ventana para realizar el segundo paso, solo seleccione la opción que le funcione mejor, para el radiotelescopio se marca la primera opción “I use a standard Jove Dual Dipole and I want to calculate the losses between the antenna and the receiver” [ver Figura 4.16], esto es para calcular la pérdida de la antena por el cable.

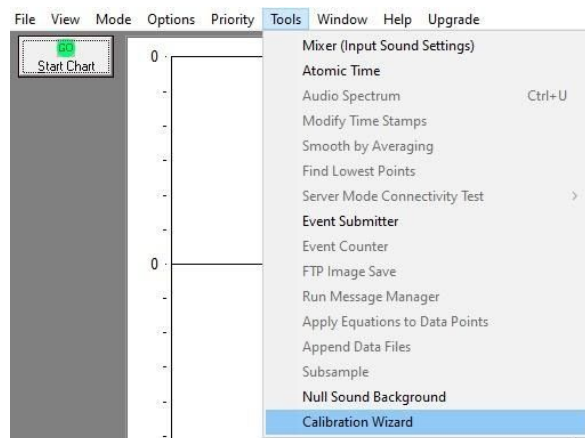


Figura 4.14: Ventana para realizar la calibración del sistema.

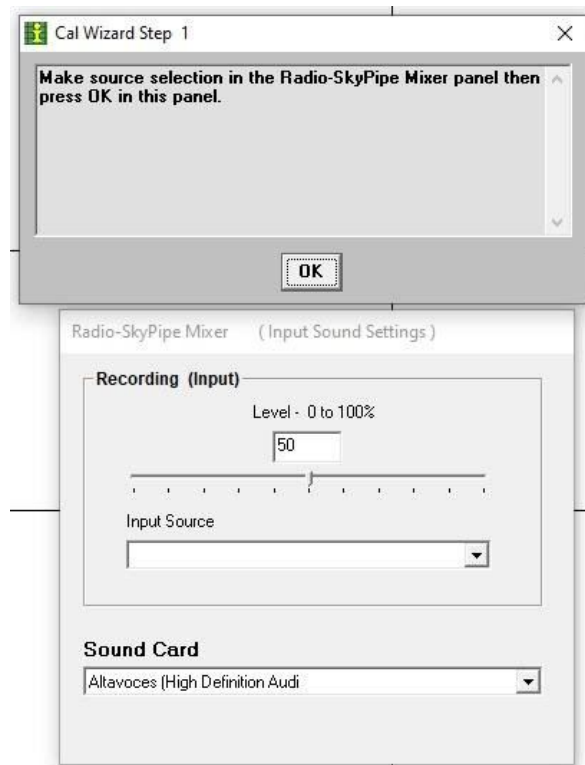


Figura 4.15: Etapa 1 de la calibración.

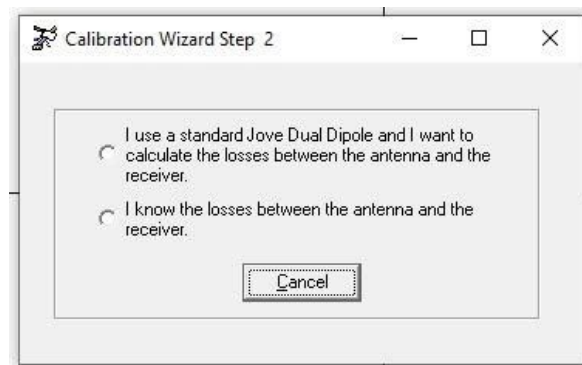


Figura 4.16: Etapa 2 de la calibración.

Siguiente paso: nuevamente tendremos una ventana donde seleccionamos el tipo de cable que usamos, se seleccionó RG59, en la parte inferior se pondrá el largo del cable, a un lado puede seleccionar en pies o metros, realiza clic en OK [ver Figura 4.17], aparece una ventana con la pérdida en decibeles, tenemos una pérdida de 2.06 dB, este es un ejemplo, [ver Figura 4.18], hacer clic en Ok.

Para los radiotelescopios la distancia del cable de la antena al receptor para la antena de 19.9 MHz es de 25 m teniendo una pérdida de 2.26 dB, para la antena de 24 MHz es de 20 m teniendo una pérdida de 2.01 dB.

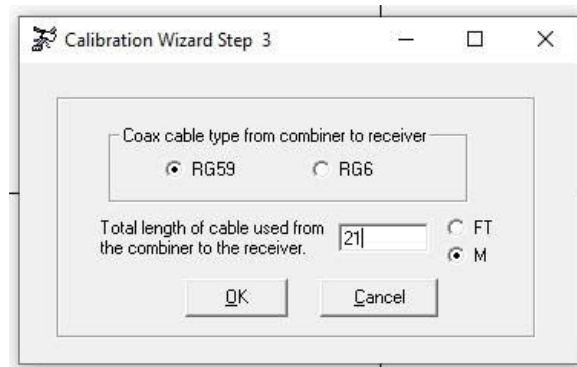


Figura 4.17: Etapa 3 de la calibración.

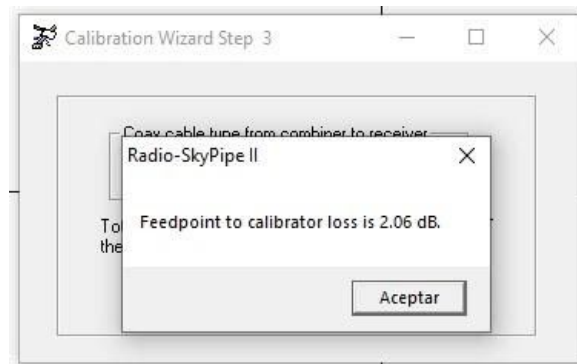


Figura 4.18: Continuación de la etapa 3 de la calibración.

Para el siguiente paso, nuevamente tenemos una ventana está para la temperatura mínima de la antena, no se mueve nada, se hace clic en OK [ver Figura 4.19].

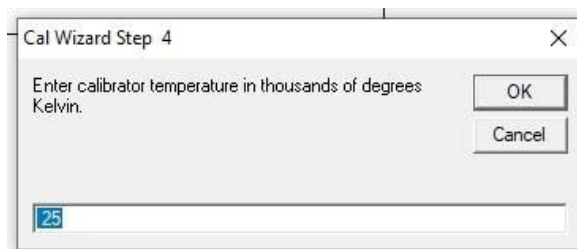


Figura 4.19: Etapa 4 de la calibración.

En el siguiente paso aparece una nueva ventana, donde se prendera el calibrador, seguido se prendera el receptor, una vez prendidos dará clic en Aceptar [ver Figura 4.20].

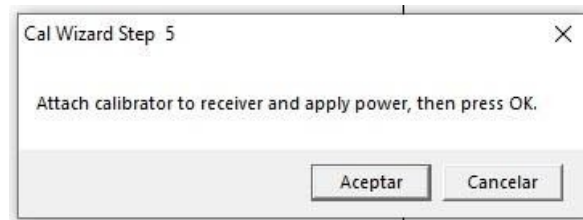


Figura 4.20: Etapa 5 de la calibración.

Siguiente paso aparecerán nuevamente las ventanas del paso 1, pero en este caso estará funcionando el programa, se observa en la pantalla principal de Skypipe una gráfica de ruido, si en la gráfica muestra que está en un rango de entre 200 a 400 en la escala del eje Y, no se moverá nada, pero si esta fuera de este rango, se moverá el "Level – 0 to 100%", se puede realizar por medio de escribir el número en el cuadro de abajo o mover de un lado la barra que se encuentra en la parte inferior de esta, importante ver si esta la tarjeta de sonido donde se conectó el receptor [ver Figura 4.21], se hace clic en Ok una vez terminado este paso.

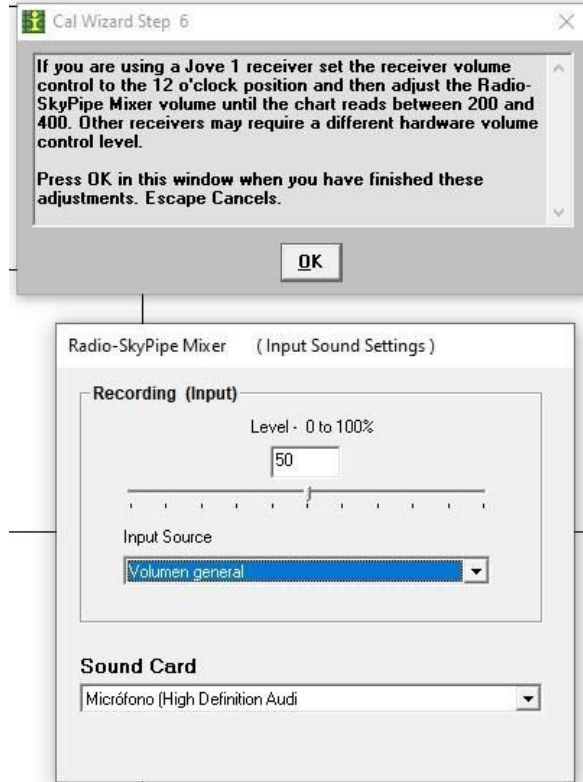


Figura 4.21: Etapa 6 de la calibración.

El siguiente pasó aparecerá una nueva ventana donde hay que esperar que finalice el proceso de calibración [ver Figura 4.22], esto es para atenuar los ruidos producidos por la electrónica de la computadora, receptor, fuentes de radio artificiales, la escala del eje Y de programa antes de la calibración no tenía unidades, ahora las unidades son más objetivas como son es la temperatura, o los Jansky [$10^{-26} \frac{W}{m^2Hz}$], pero nos permite definir las unidades para la temperatura de la antena.

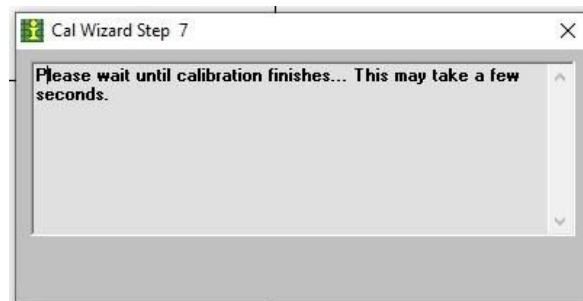


Figura 4.22: Etapa 7 de la calibración.

Finalizado la calibración, se desconectará el calibrador, se conectará la antena, se podrá usar el radio telescopio, se puede realizar una comparación con otros radiotelescopios, sin esta calibración cada radiotelescopio tendría distintos valores, no se podrían estandarizar las mediciones para un estudio correcto de las radiofuentes de los cuerpos celestes.

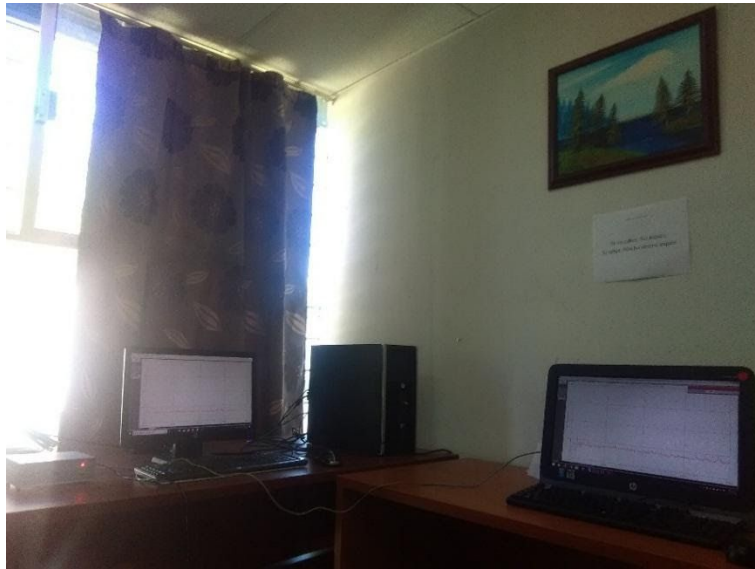


Figura 4.23: Se muestra los radiotelescopios funcionando con su respectiva calibración.

CAPÍTULO 5

Resultados

Gráficas de Interferencias

A continuación, se muestran algunas gráficas notables de interferencias obtenidas por los radiotelescopios:

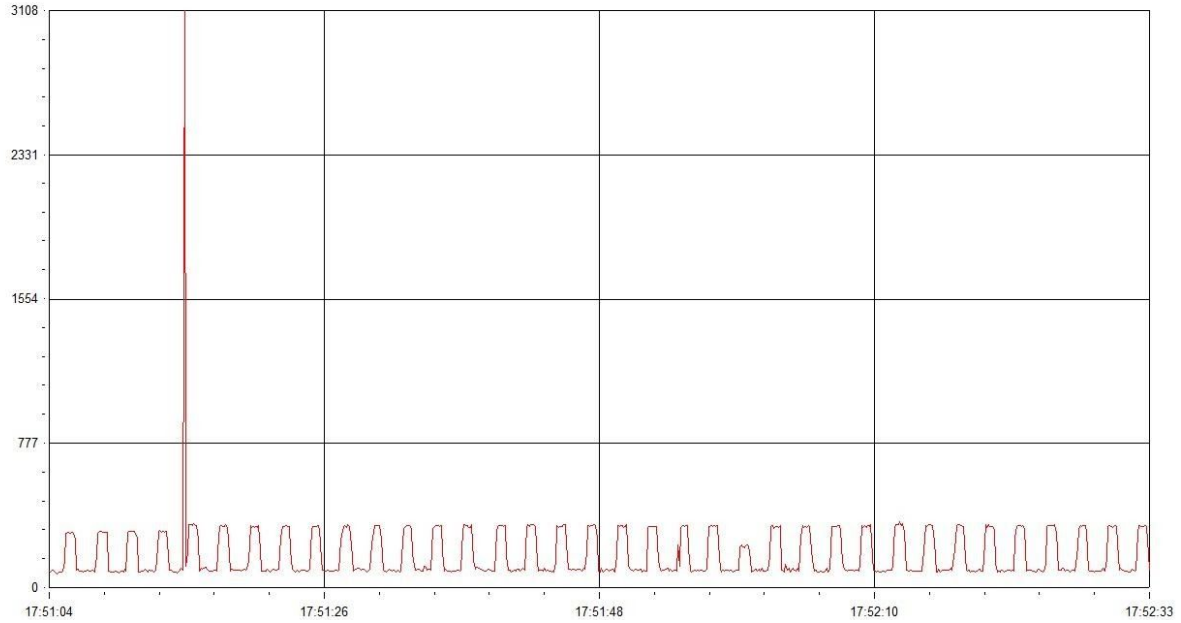


Figura 5.1: Interferencia desconocida registrada en repetidas ocasiones, de duración variable de varias horas seguidas, de forma rectangular, también se muestra una ionosonda (pico izquierdo) se registran varias veces al día, fecha de la gráfica el 20/08/2018.

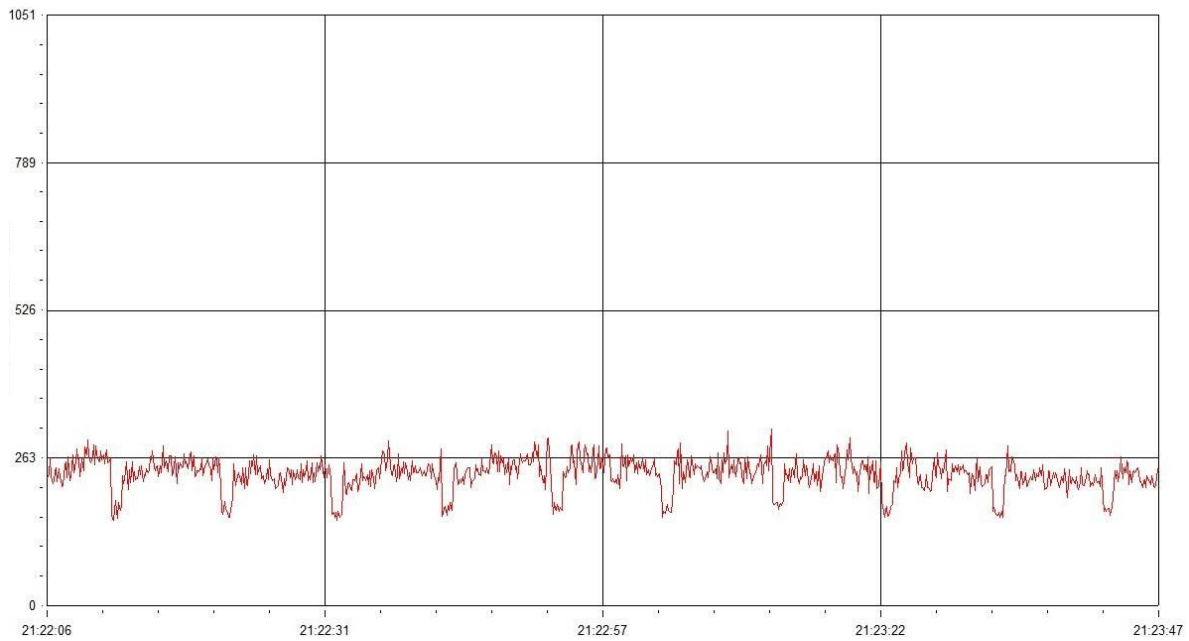


Figura 5.2: Interferencia desconocida registrada el 23/11/2018, de duración aproximada de dos horas seguidas.

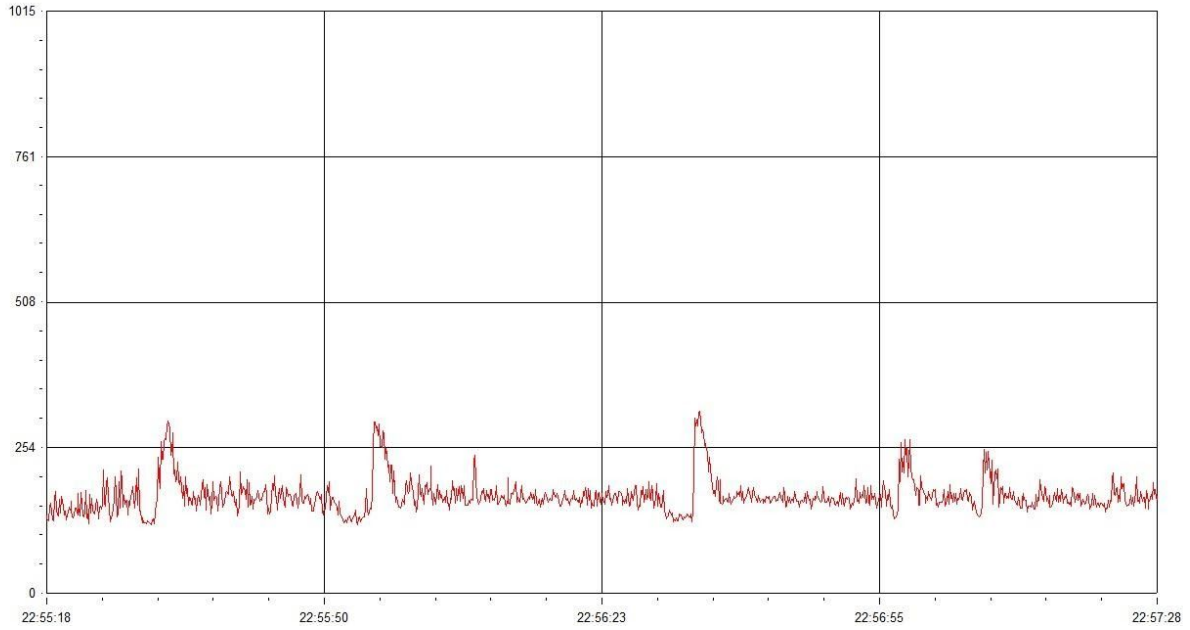


Figura 5.3: Interferencia desconocida registrada un par de ocasiones, de duración aproximada de una hora, fecha de la gráfica el 27/11/2018.

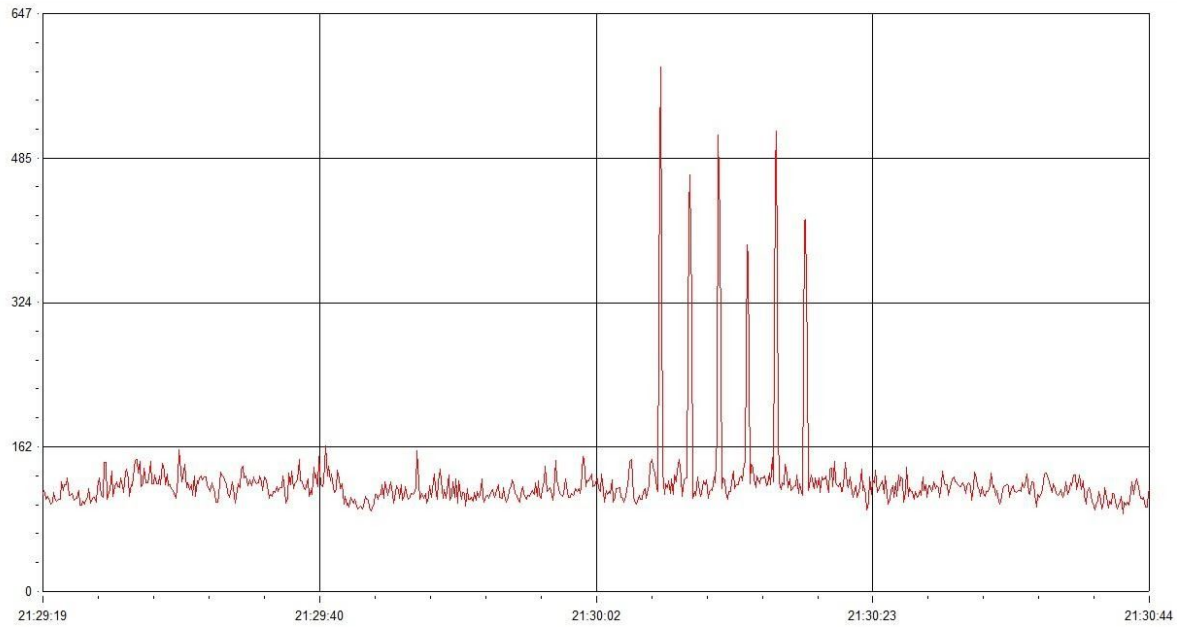


Figura 5.4: Interferencia desconocida registrada casi todos los días, en varias ocasiones al día, de duración de unos segundos, registrando entre 3 a 7 picos, esta interferencia afecta también al teléfono interconectado de la institución, fecha de la gráfica el 30/11/2018.

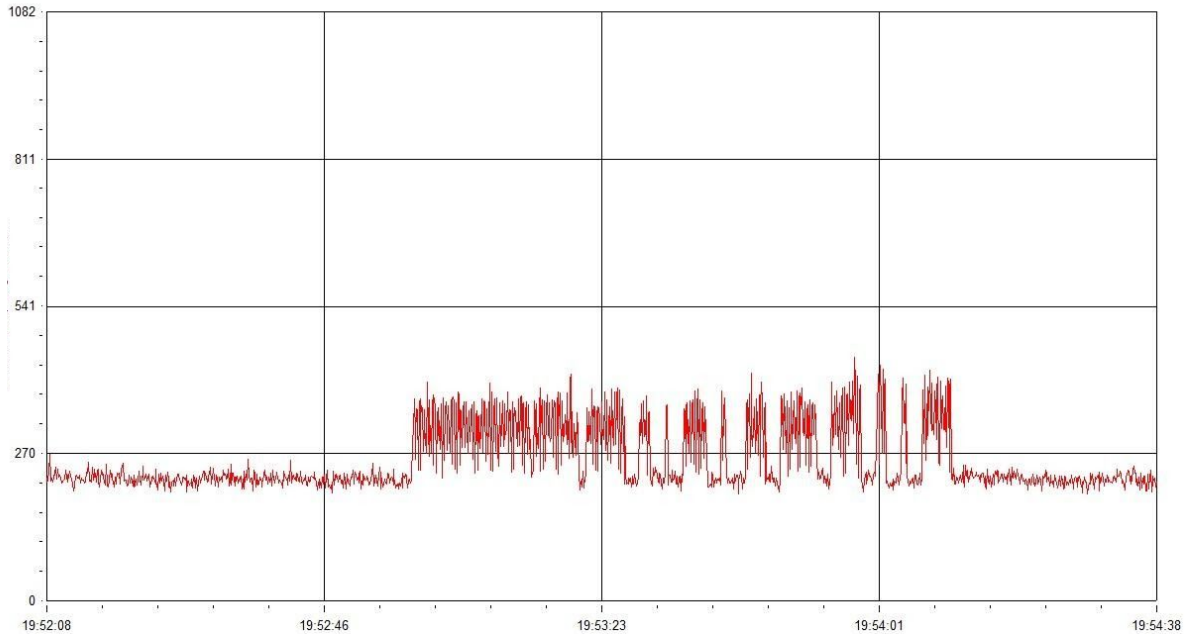


Figura 5.5: Interferencia desconocida registrada ocasionalmente, con diferentes intensidades, cada una con duración de unos segundos a más de un minuto, esta gráfica es una de las más largas, fecha de la gráfica el 27/11/2018.

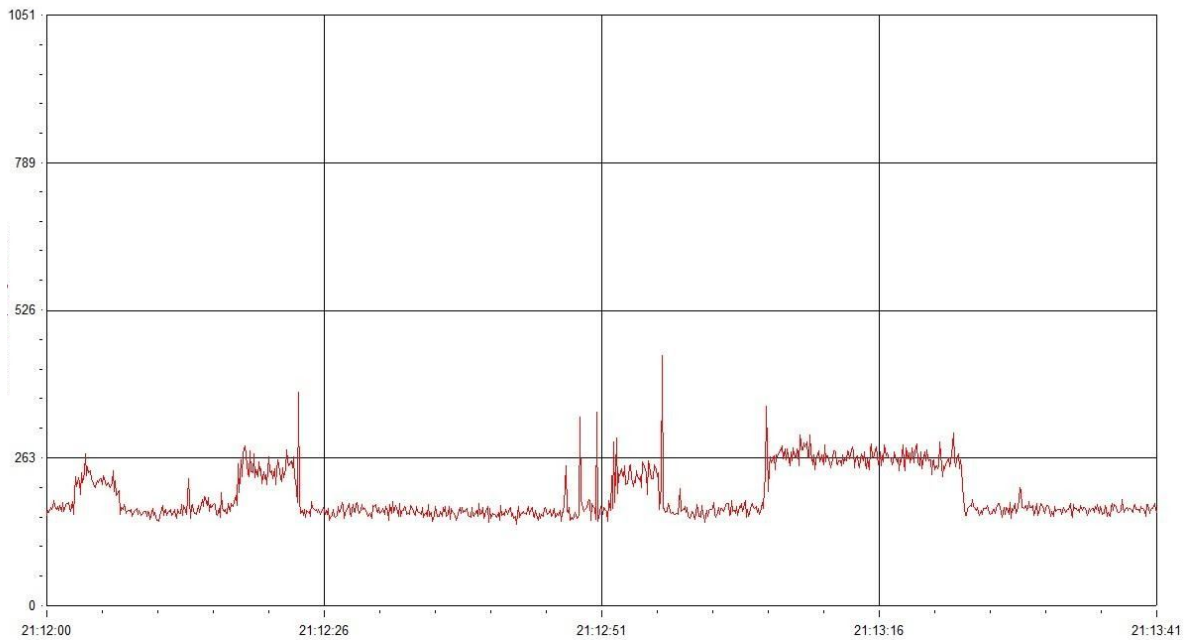


Figura 5.6: Interferencia desconocida registrada el 23/11/2018, durante una hora registrándose varias veces con diferente duración.

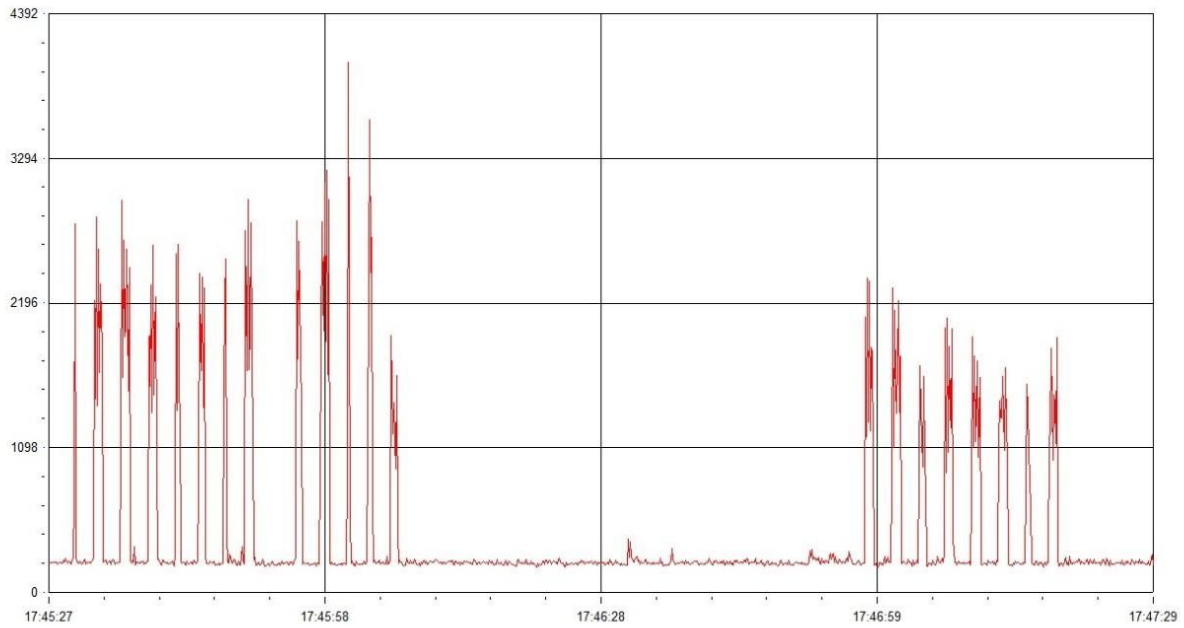


Figura 5.7: Interferencia desconocida registrando un patrón variable, con una duración de varios minutos, fecha de la gráfica el 01/06/2018.

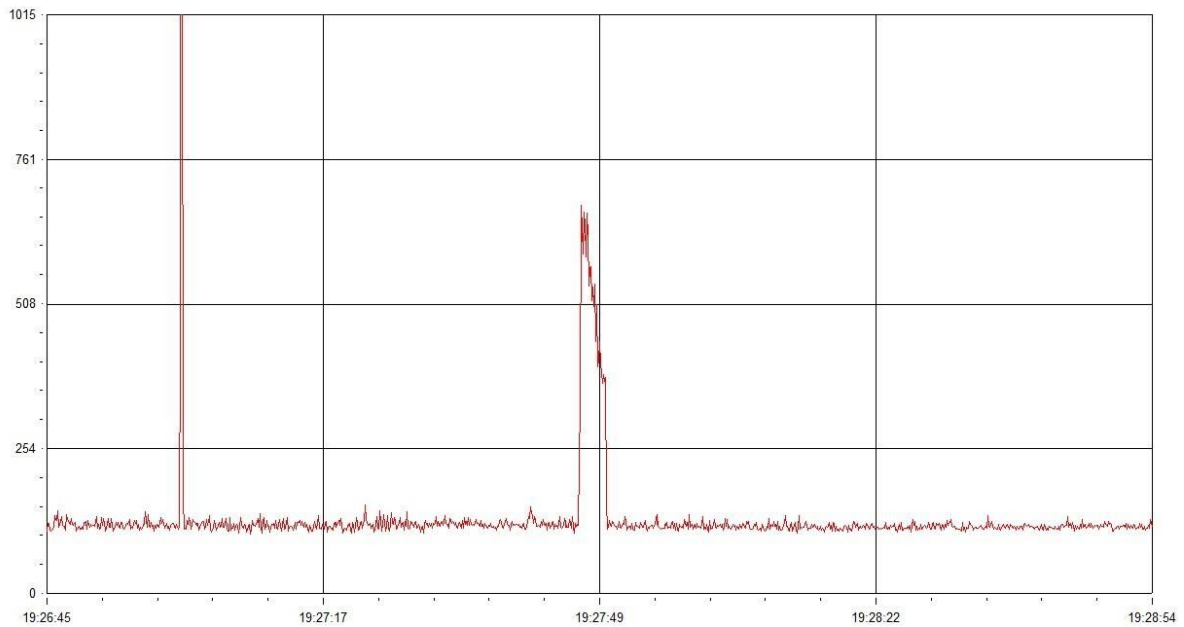


Figura 5.8: Interferencia desconocida registrada varias veces al día, que se ha registrado en otros radiotelescopios de la Red, de una duración de 3 seg., fecha de la gráfica el 27/11/2018.

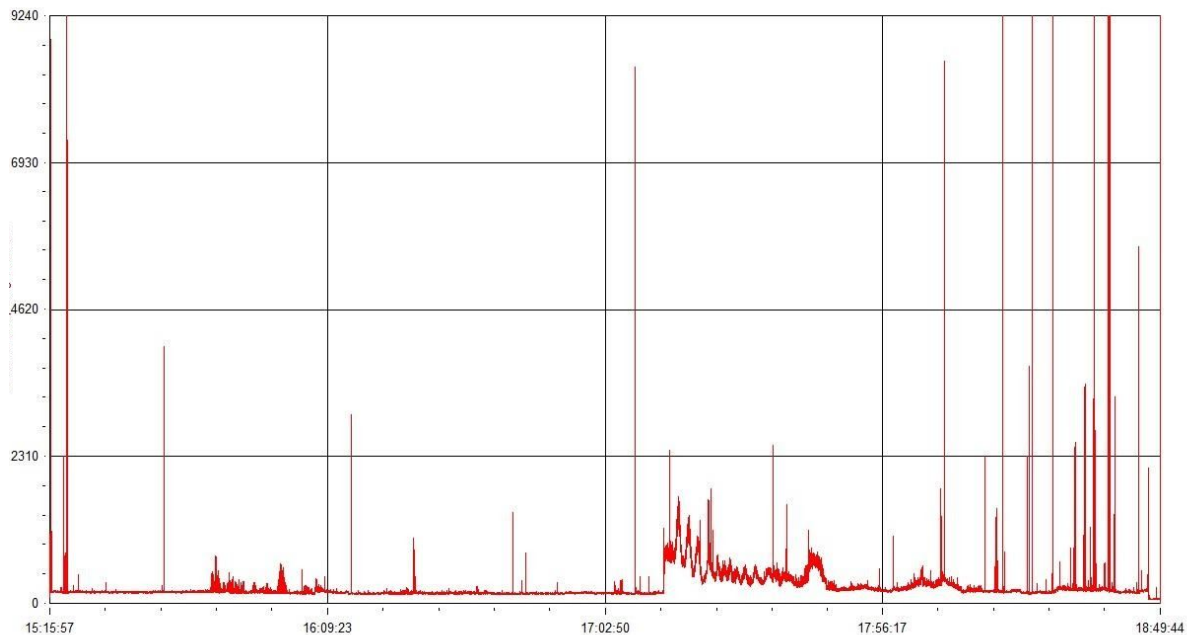


Figura 5.9: Interferencia desconocida registrada el 26/10/18 a las 17:14 UTC, se registró en el radiotelescopio de 24 MHz.

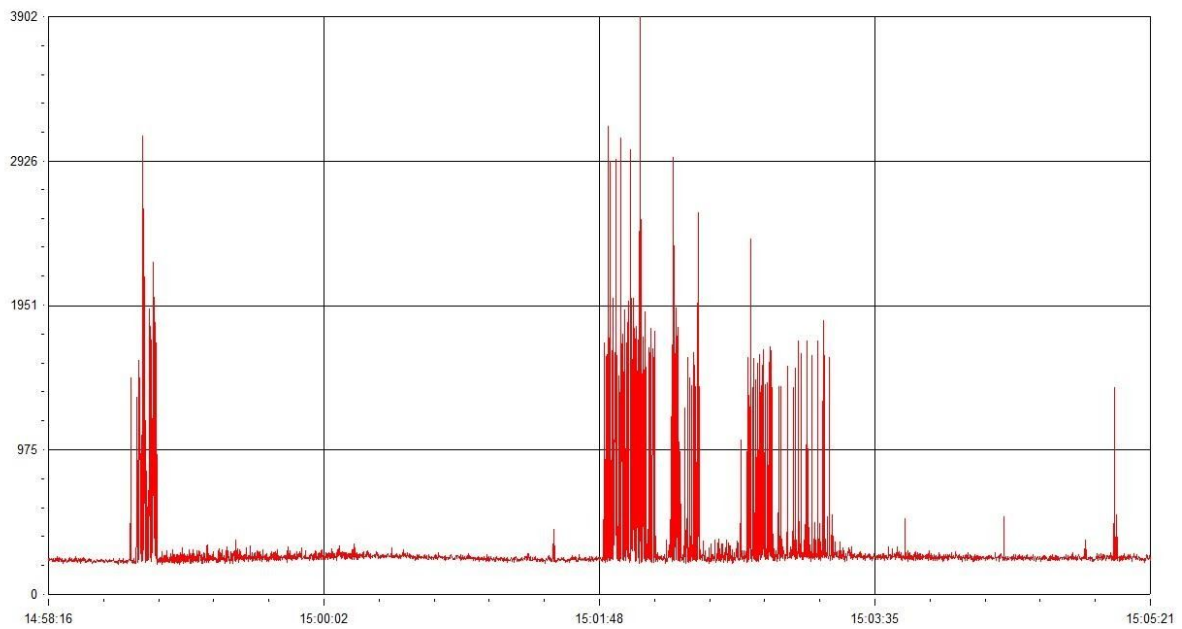


Figura 5.10a: Interferencia del teléfono celular registrada 01/06/2018.

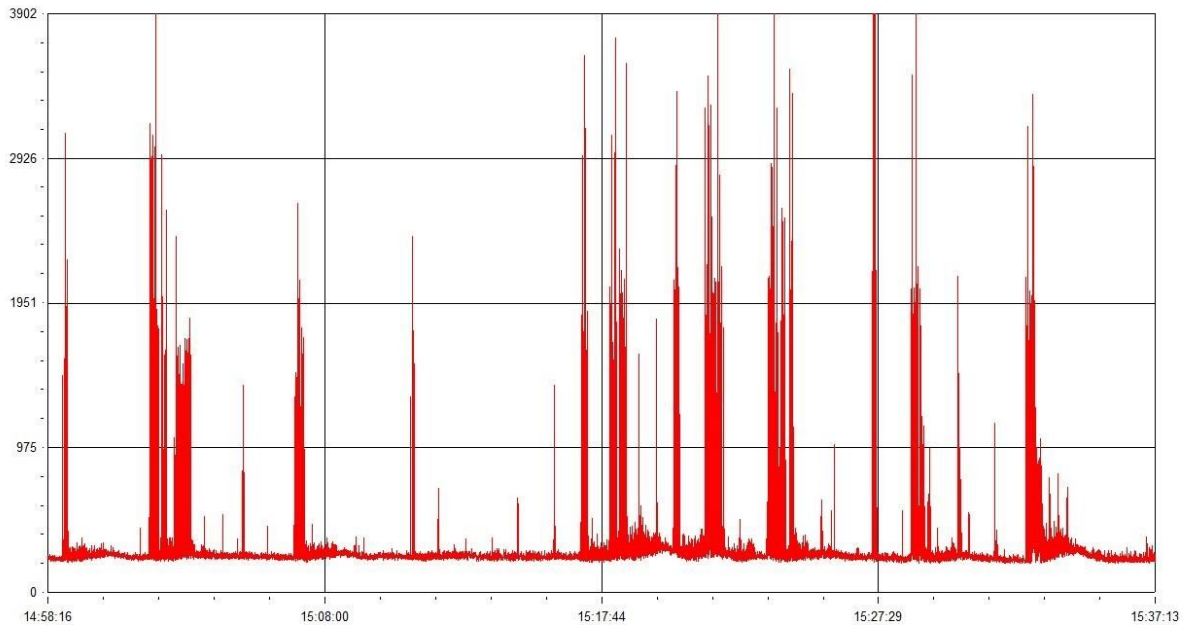


Figura 5.10b: Interferencia del teléfono celular registrada 01/06/2018.

Se muestra en la Figura 5.10a, Figura 5.10b, una llamada telefónica, esto no es tan ocurrente, se experimentó con varios teléfonos celulares pero la mayoría no interfirieron con la señal, se registra la llamada si es cerca de la antena como del receptor. Presenta variaciones con la intensidad dependiendo la radiación que emite el teléfono.

Gráficas del Sol

A continuación, se muestran algunas gráficas, obtenidas por los radiotelescopios:

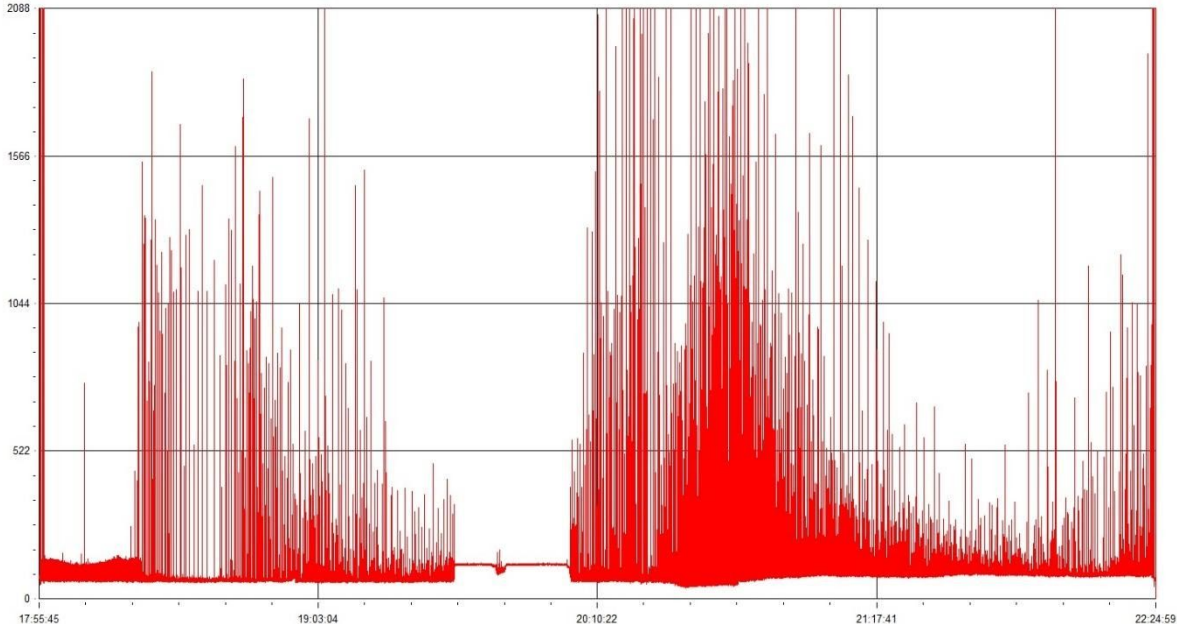


Figura 5.11: Gráfica del 24/08/2018 en horario de las 17:55:45 UTC hasta 22:24:59 UTC, registrando una tormenta eléctrica, usando el radiotelescopio de 19.9 MHz, durante la tormenta eléctrica se registró a las 19:35:42 UTC, hasta las 20:03:50 UTC, de la región activa 2719 una tormenta solar esta radiación opaca a la tormenta eléctrica.

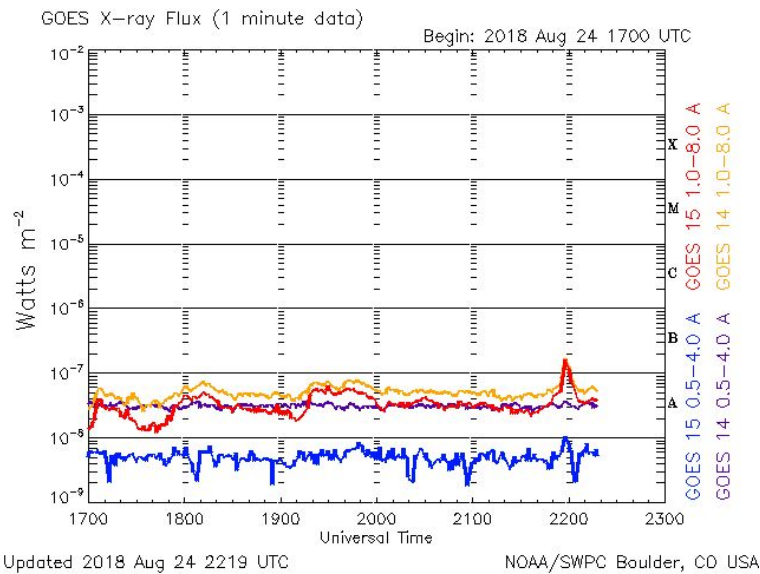


Figura 5.12: Gráfica obtenida del NOAA, del 24/08/2018 gráfica de 6 Hrs, muestra la actividad del Sol obtenida por dos satélites del NOAA. [46]

Se encendió el radiotelescopio de 19.9 MHz a las 17:56 UTC, por las condiciones climatológicas se mantuvo funcionando solo uno de los radiotelescopios, en ese momento en él Sol empezaba una tormenta solar de baja intensidad de la región

activa 2719, pero también en ese momento se estaba registrando una interferencia como se muestra en la Figura 5.1, en la Figura 5.11, se observa que la interferencia se atenúa un poco, por actividad de la región activa, tiempo después empieza otra tormenta solar que el radiotelescopio registra por la misma región activa otra tormenta solar de baja intensidad, que la registra a las 19:35:42 UTC hasta 20:03:50 UTC, opacando la tormenta eléctrica en la Figura 5.11, desapareciendo los picos. Horas más tarde sucede otra tormenta solar de la misma región de intensidad B1 (ver Capítulo 2, Fulguración), pero por la inclinación del Sol en el horizonte (dirección oeste), no hubo registro en la gráfica.

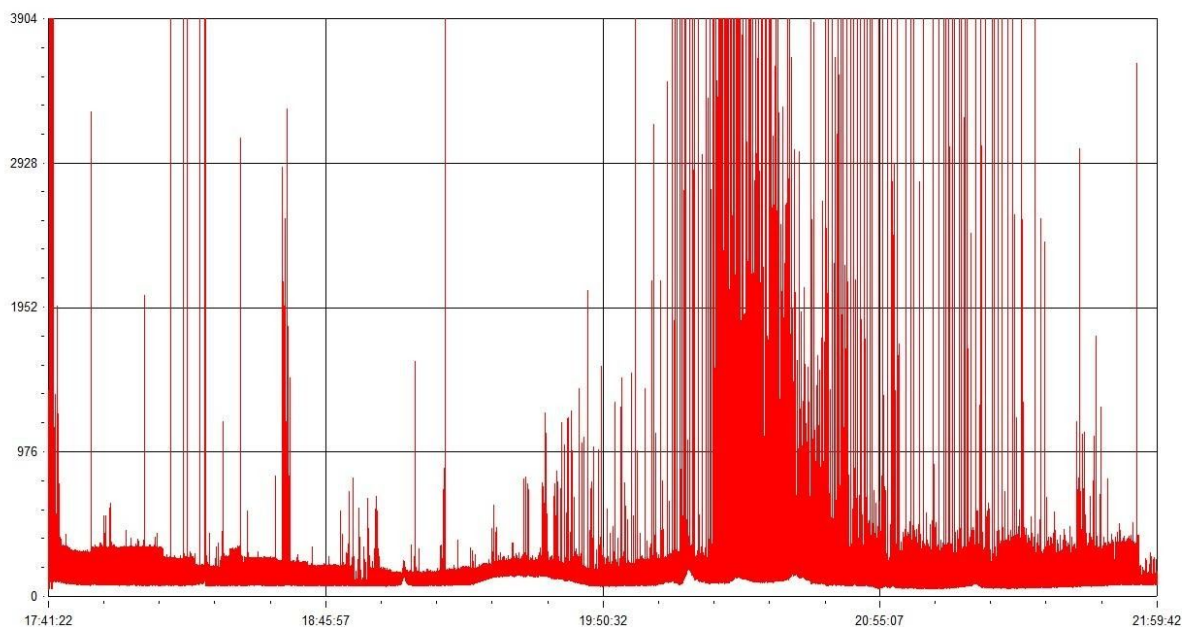


Figura 5.13: Gráfica del 20/08/2018 con el radiotelescopio de 19.9 MHz, en horario de las 17:41:22 UTC hasta las 21:59:42 UTC. Se muestra la interferencia de la Figura 5.1.

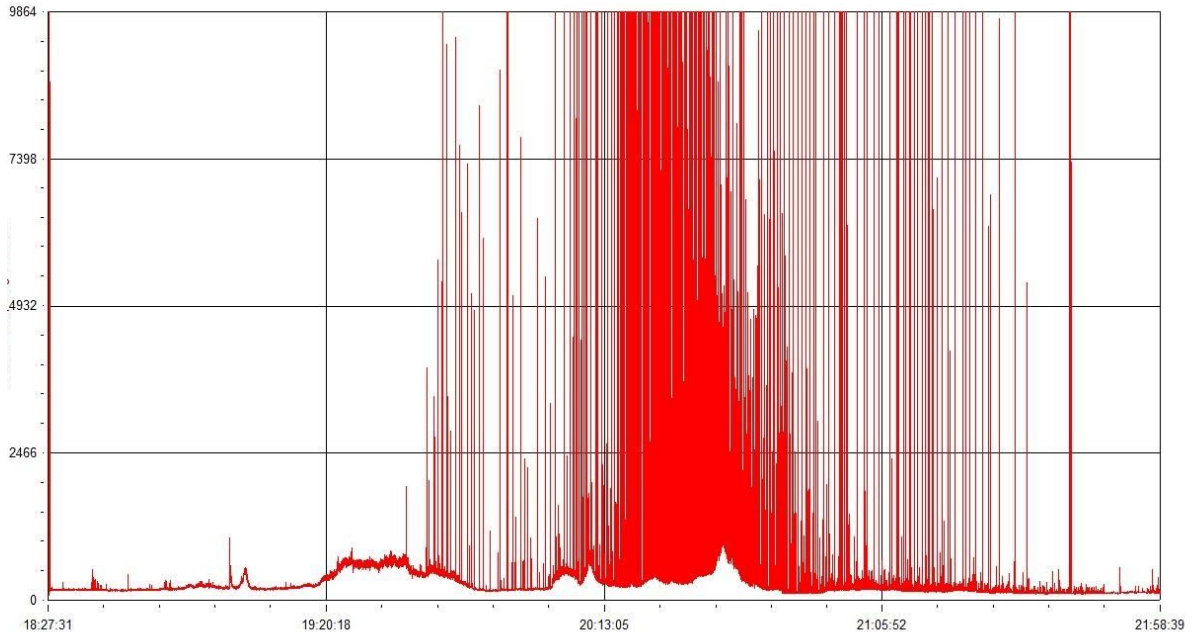


Figura 5.14: Gráfica del 20/08/2018 con el radiotelescopio de 24 MHz, en horario de las 18:27:31 UTC hasta las 21:58:39 UTC.

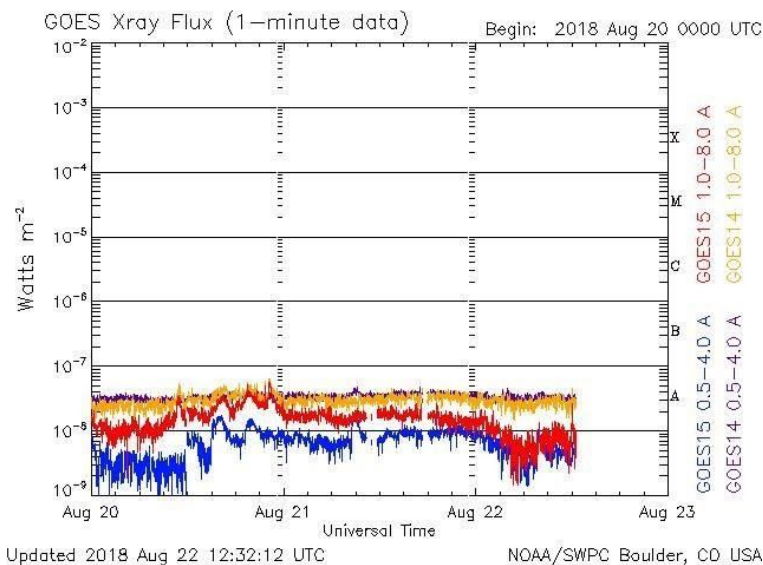


Figura 5.15: Gráfica obtenida del NOAA, del 20/08/2018 al 22/08/2018 gráfica de 3 días, muestra la actividad del Sol de dos satélites, el día que interesa es el 20/08. [46]

Como muestra las gráficas de las Figuras 5.13 y 5.14, una comparación con los dos radiotelescopios el día 20 de agosto, en la mañana se mostró buenas condiciones meteorológicas, pero después de las 19:30 hrs UTC, ya eran algo malas las condiciones meteorológicas, en ese transcurso el Sol tuvo varias

tormentas, como se muestra en la Figura 5.15, que se registraron en los radiotelescopios, aunque si observamos la Figura 5.11, no se muestra la tormenta solar opacando la tormenta eléctrica, pero si se observan varias subidas de intensidad en la gráfica, no se puede afirmar que ese día todas las tormentas solares se registraron en los radiotelescopios pero es posible que algunas se registraran.

Se puede ver que en ambas Figuras 5.13 y 5.14 de los radiotelescopios muestran el mismo padrón en las gráficas.

Gráficas de Júpiter

A continuación, se muestra unas gráficas de tormentas Jovianas, obtenidas por los radiotelescopios:

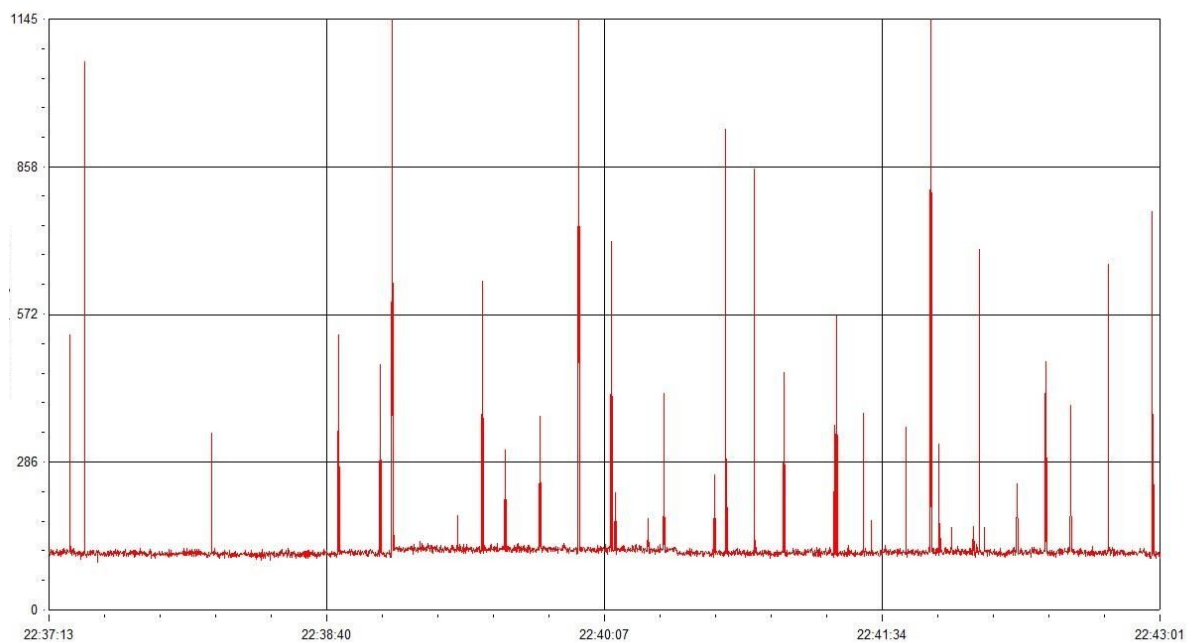


Figura 5.16: Gráfica del 03/08/2018 a las 22:39 UTC se observó un estallido tipo S, los picos son interferencia de rayos, se observa una tormenta eléctrica, se obtuvo una parecida el día 11/08/18 ver Figura 5.17.

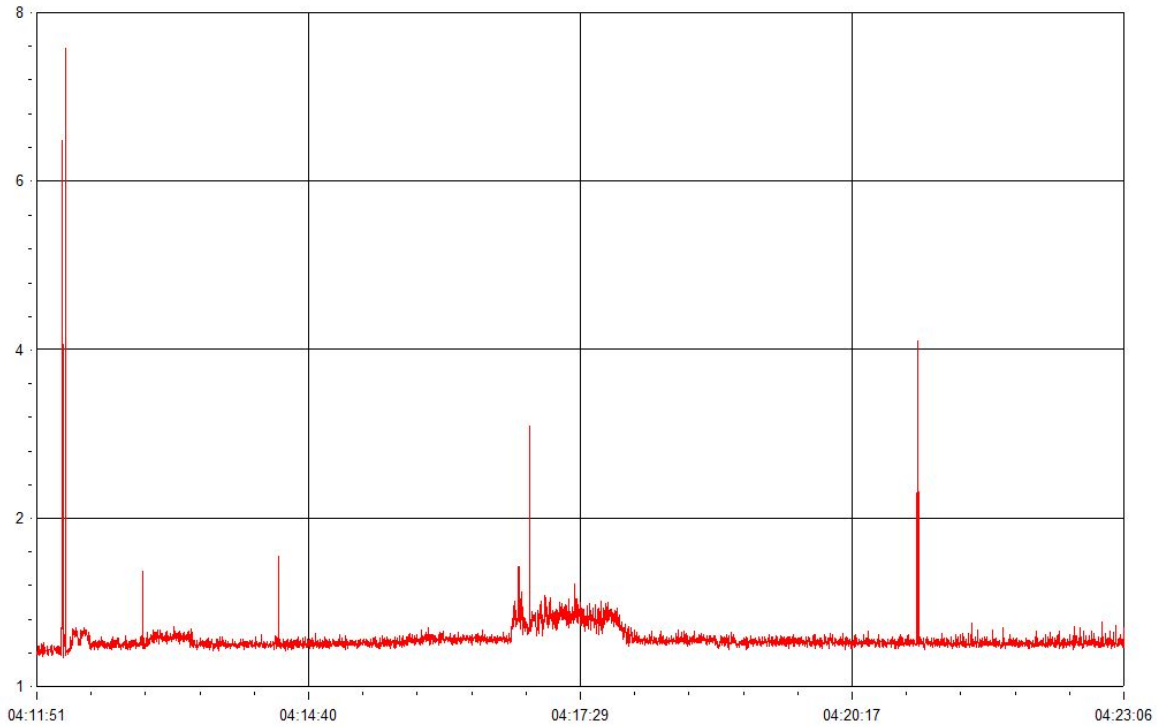


Figura 5.17: Gráfica del 11/08/2018 registrada por el observatorio Cal Poly SLO, dirigido por David Mitchel, un Júpiter S-burst, a una frecuencia de 20.1 MHz. [47]

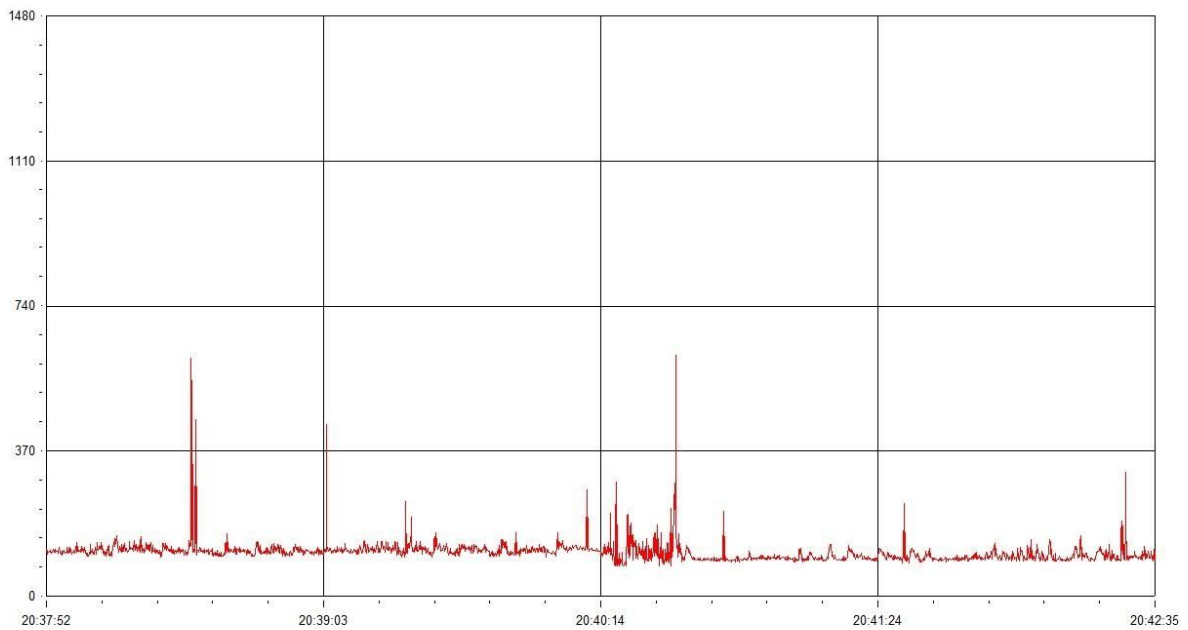


Figura 5.18: Gráfica del 06/09/18 a las 20:40 UTC, se observa una tormenta de Júpiter Ió-B en el radiotelescopio de 19.9 MHz.

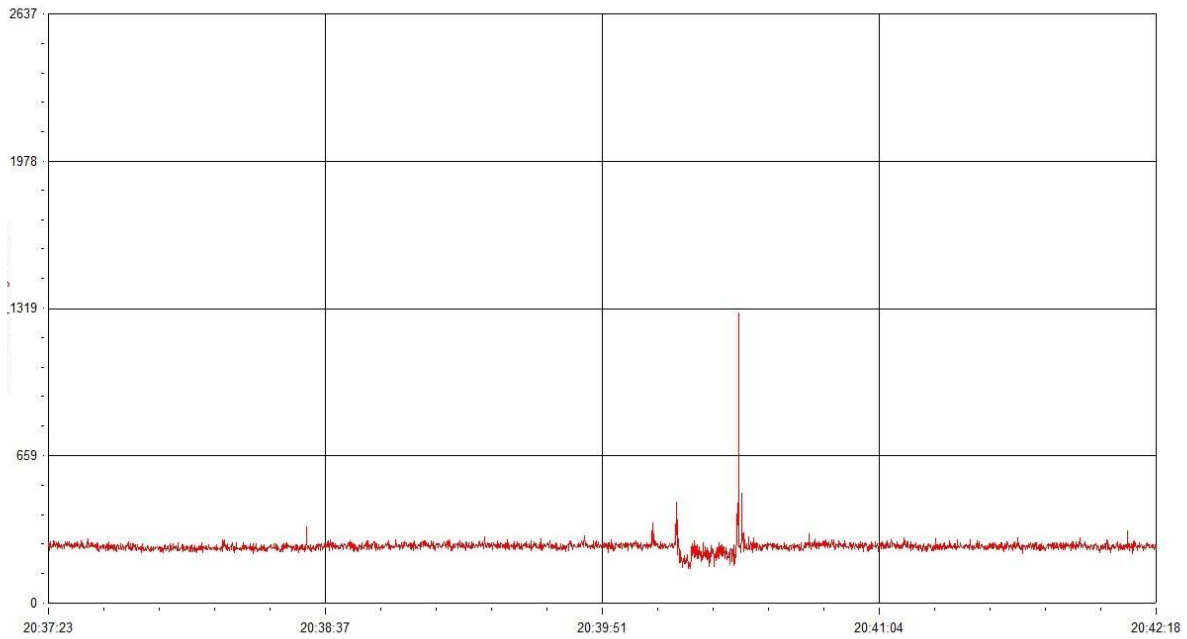


Figura 5.19: Gráfica del 06/09/18 a las 20:40 UTC, se observa una tormenta de Júpiter Ió-B en el radiotelescopio de 24 MHz.

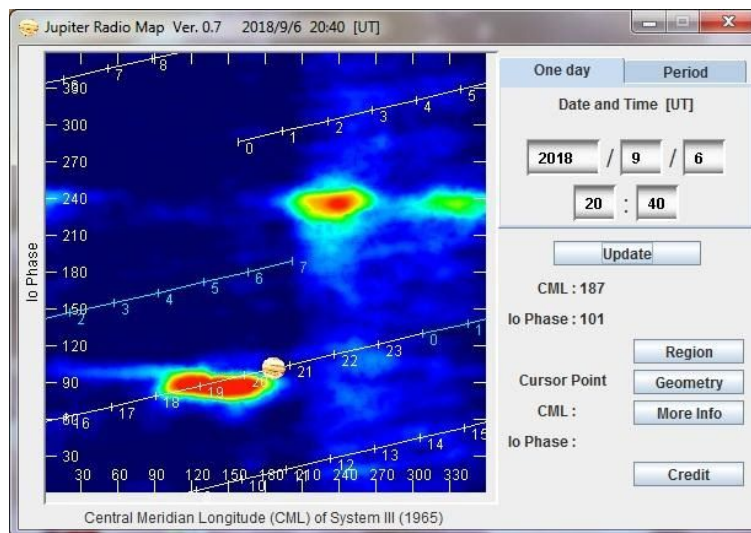


Figura 5.20: Programa Júpiter Radio Map., donde se localiza la tormenta Joviana de las Figuras 5.16 y 5.17.

Gráficas del Centro de la Galaxia

A continuación, se muestran algunas gráficas de 24 hrs donde se muestra el centro de la Galaxia, por condiciones de infraestructura, en pocas ocasiones se

pudo dejar prendidos los radiotelescopios, se obtuvieron de los radiotelescopios las siguientes gráficas:

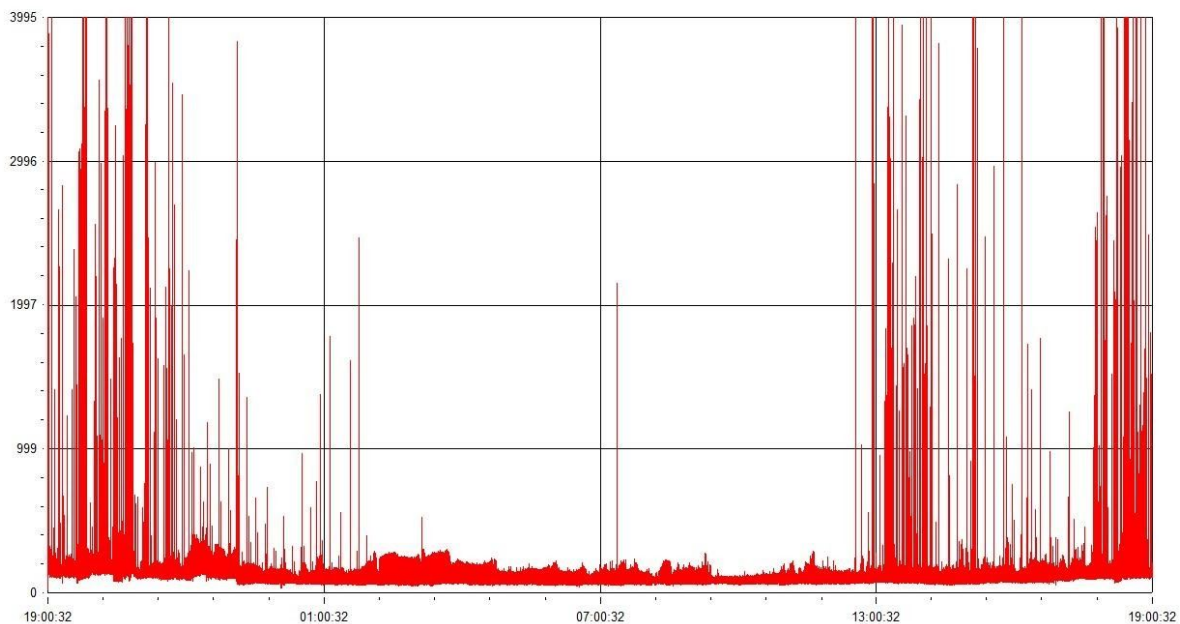


Figura 5.21: Gráfica de 24 hrs del 13/05/2019 a las 19:00:32 UTC al 14/05/2019 a las 19:00:32 UTC del radiotelescopio de 19.9 MHz, en la parte de las esquinas de la gráfica roja es donde está el Sol, y la parte de en medio en la noche, el centro de la galaxia su punto pico se encuentra entre las 11 hrs UTC, pero su pico mínimo de la gráfica entre las 3 hrs UTC.

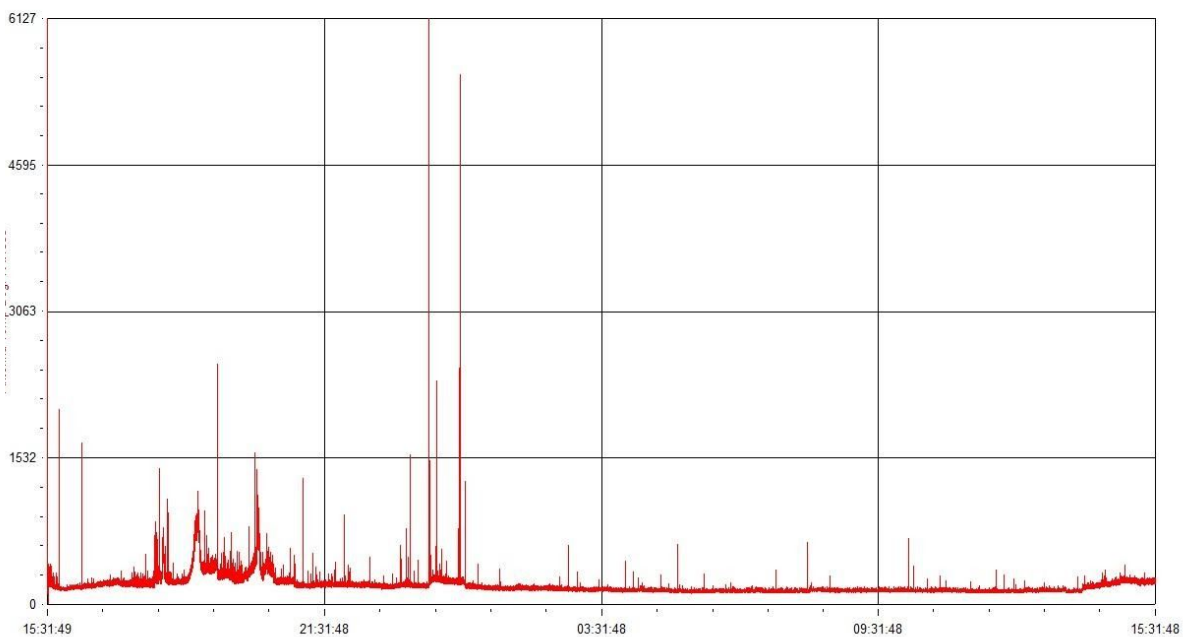


Figura 5.22: Gráfica del 03/12/2018 a las 15:31:49 UTC al 04/12/2018 a las 15:31:48 UTC del radiotelescopio de 24 MHz, para esta fecha el centro de la galaxia está próxima al Sol, por lo cual no se aprecia.

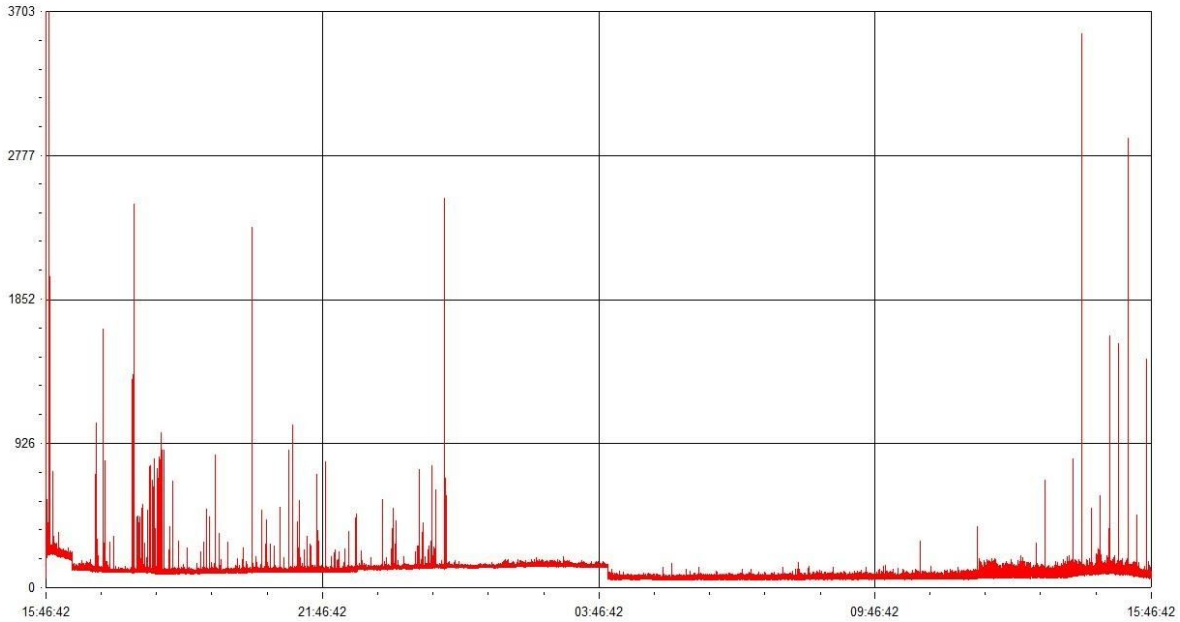


Figura 5.23: Gráfica del 03/12/2018 a las 15:46:42 UTC al 04/12/2018 a las 15:46:42 UTC del radiotelescopio de 19.9 MHz, no se puede apreciar el centro de la galaxia.

Como se observa en las Figuras 5.22, y la Figura 5.23, se observa una comparación entre los radiotelescopios de 24 hrs, pero como se muestra en la Figura 5.23, algo ocurrió con el radiotelescopio de 19.9 MHz, no registró una gráfica parecida al del radiotelescopio de 24 MHz en la primera mitad, se observa que desde la segunda mitad de los radiotelescopios se observa una similitud.

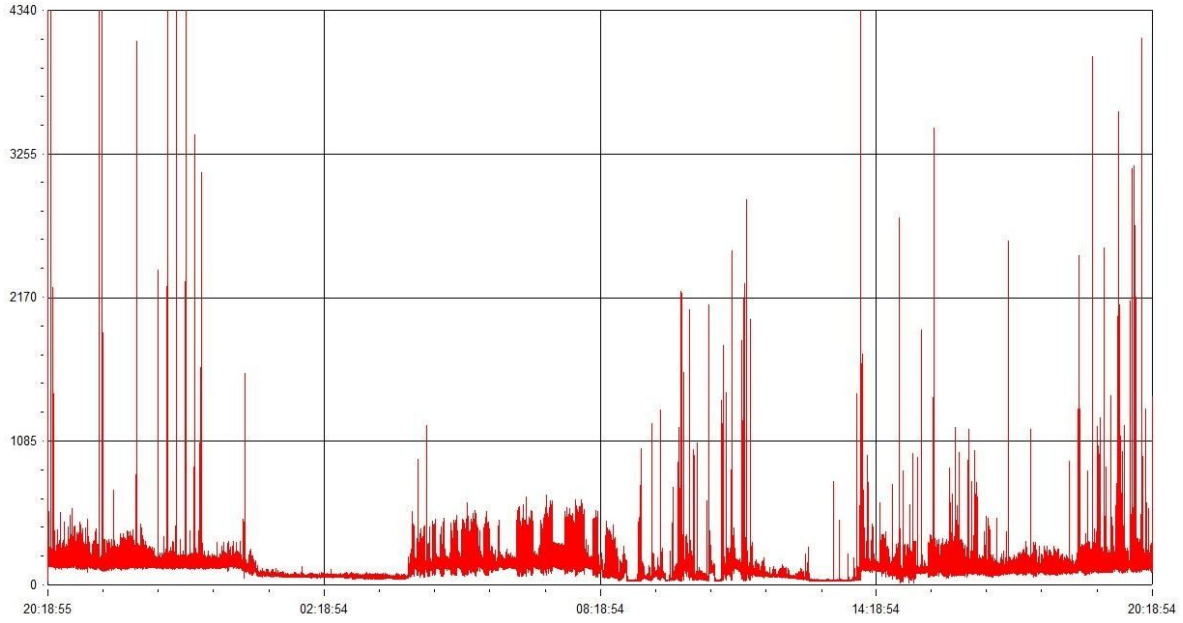


Figura 5.24: Gráfica del 20/03/2019 a las 20:18:55 UTC al 21/03/2019 a las 20:18:54 UTC del radiotelescopio de 19.9 MHz, se muestra varias interferencias a lo largo del día, el centro de la galaxia se observa en su punto más alto cuando amanece, en esta gráfica no se puede apreciar.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

Se construyó dos radiotelescopios de tipo dipolo, con frecuencias de 19.9 MHz, otro de 24 MHz, cada uno con una antena compuesta de dos dipolos, para el estudio del Sol, Júpiter, centro Galáctico de la Vía Láctea.

Implementación del radio observatorio:

El año 2018 tuvo condiciones meteorológicas regulares como malas por las tormentas eléctricas, donde se tenía que apagar los radiotelescopios, por la infraestructura, por la misma razón un estudio del Sol, no se realizó como es debido por apagones del suministro eléctrico aunque se cuenta en las instalaciones un generador de emergencia, se puede solo el programa funcionar, ese es un problema no se pudo resolver ni con programas con comunicación a distancia a otra computadora el internet se apagaba o lo apagaban. Por esa razón no se podría dejar funcionar por las noches, eso ocasionó que, para el estudio de Júpiter, se redujera el tiempo de observación a solo un mes aproximadamente. La misma razón del problema eléctrico realizar gráficas de 24 horas, solo si las condiciones meteorológicas eran buenas por las noches se realiza, aunque solo fue en diciembre en un par de días.

El año 2019 tuvo mejores condiciones meteorológicas, pero el estudio del Sol es un año que casi no hubo zonas activas, eso por mínimo del ciclo solar 24 para empezar el ciclo 25, las que ocurrieron ocurrían cuando no estaba operativo el radiotelescopio o durante la mitad de una tormenta se prendía, por los días no laborables. Para Júpiter no se tuvo oportunidad de su estudio ni para el centro Galáctico, eso porque el receptor de 19.9 MHz empezó a fallar prendía, después de unas horas la señal caía a casi cero, después de unas horas volvía la señal, esto fue ocurriendo en Julio, esto fue ocurriendo también por fallas eléctricas, en la noche si se dejaba, como en el día.

Realizar una clasificación de las tormentas se realizó con las pocas que se obtuvieron, se tuvo un problema con la calibración de los radiotelescopios se calibraban, pero si requería una actualización la computadora, se debía hacer una calibración nuevamente. Se noto que la señal de los radiotelescopios variaba según como se conectaran y se prendía el radiotelescopio, esto ocurría por los cortes eléctricos.

Por lo cual, son probables los registros de Júpiter, de que sean tormentas Jovianas, por las condiciones antes descritas, las del Sol y el centro Galáctico la minoría son probables sus registros, de que se captará otra cosa que el fenómeno de los astros en estudio.

El lugar donde está ubicado el radio observatorio, es variable con las interferencias, esto es porque hay días donde ocurren muchas interferencias por los equipos en las instalaciones, otros días donde casi no se registraban. Varias de esas interferencias registradas son interesantes.

El estudio del efecto ciclotrón y sincrotrón no se podría realizar por el tipo de antena que se maneja es direccional con baja directividad como ganancia, el tipo de polarización es lineal, para este estudio si se requería otro tipo de antena más sensible, que aportara más información de estos efectos, en los cuerpos celestes en estudio.

No se cumplieron todos los objetivos, ya se observó cuáles son las fallas algunas se arreglaron otras están para arreglarse, para cumplir estos objetivos, en especial con el estudio del efecto sincrotrón y ciclotrón. También para realizar una búsqueda especializada de los objetos que ocasionan las interferencias que se ven en el capítulo 5, con otro tipo de equipo, si son terrestres o extraterrestres.

De 16 meses, de registro el radio observatorio sólo 176 días se obtuvo un aceptable registro de datos.

APÉNDICE 1

Receptor

Funcionamiento:

Las señales de radio de Júpiter son muy débiles: producen menos de una millonésima parte de un voltio (1 microvoltio, 1v) en los terminales de antena del receptor. Estas señales débiles de radiofrecuencia (RF) deben ser amplificadas por el receptor y convertidas en señales de audio de potencia suficiente para manejar auriculares o un altavoz. El receptor también sirve como un filtro estrecho, sintonizado a una frecuencia específica para escuchar a Júpiter y al mismo tiempo bloqueando estaciones de radio terrestres fuertes en otras frecuencias. El receptor y la antena que lo acompaña están diseñados para operar en un rango estrecho de frecuencias de onda corta centradas a una frecuencia fija.

La antena intercepta ondas electromagnéticas débiles que han viajado unos 500 millones de millas desde Júpiter a la Tierra. Cuando estas ondas electromagnéticas golpean la antena de cable, se desarrolla un pequeño voltaje de RF en los terminales de la antena. Las señales de la antena se entregan a los terminales de antena del receptor mediante una línea de transmisión coaxial.

Filtro de paso de banda de RF y pre amplificador: Las señales de la antena se filtran para rechazar una fuerte interferencia fuera de banda y luego se amplifican utilizando un transistor. Este transistor y su circuito asociado proporcionan un filtrado adicional y amplifican las señales entrantes por un factor de 10. El circuito de entrada del receptor está diseñado para transferir eficientemente la energía de la antena al receptor mientras se desarrolla un mínimo de ruido dentro del receptor.

El oscilador local (LO) y el mezclador realizan la importante tarea de convertir las señales de radiofrecuencia deseadas al rango de frecuencias de audio. El oscilador local genera una forma de onda de voltaje sinusoidal a una frecuencia. Tanto la señal de RF amplificada de la antena como la frecuencia LO se alimentan al mezclador. El mezclador desarrolla una nueva señal que es la diferencia aritmética entre el LO y la frecuencia de la señal entrante. Suponga que la señal deseada está a 20.101 MHz y el LO está sintonizado a 20.100 MHz. Por lo tanto, la frecuencia de diferencia es $20.101 - 20.100 = .001$ MHz, que es la frecuencia de

audio de 1 kilohercio. Como la señal de RF se convierte directamente en audio, la radio se conoce como receptor de conversión directa.

Filtro de paso bajo: Para eliminar las estaciones interferentes en las frecuencias cercanas, utilizamos un filtro que es como una ventana de unos kilohercios de ancho a través del cual pueden ingresar las señales de Júpiter. Al escuchar a Júpiter o al Sol, la radio se sintoniza para encontrar un "canal despejado". Dado que las frecuencias a más de unos pocos kilohercios de la frecuencia central pueden contener señales interferentes, estas frecuencias más altas deben eliminarse. Este es el propósito del filtro de paso bajo que sigue al mezclador. Transmite frecuencias bajas (de audio) de hasta aproximadamente 3,5 kHz y atenúa las frecuencias más altas.

Amplificadores de audio: El propósito de los amplificadores de audio que siguen al filtro de paso bajo es tomar la señal de audio muy débil del mezclador y amplificarla lo suficiente como para conducir auriculares directamente, o para conducir un conjunto de altavoces amplificados externos. [48]

Guillermo Figueroa Ferrari elaboró el receptor RedMex, como un complemento para el aprendizaje, para la Red Mexicana de Radiotelescopios.

Partes que componen internamente al receptor:

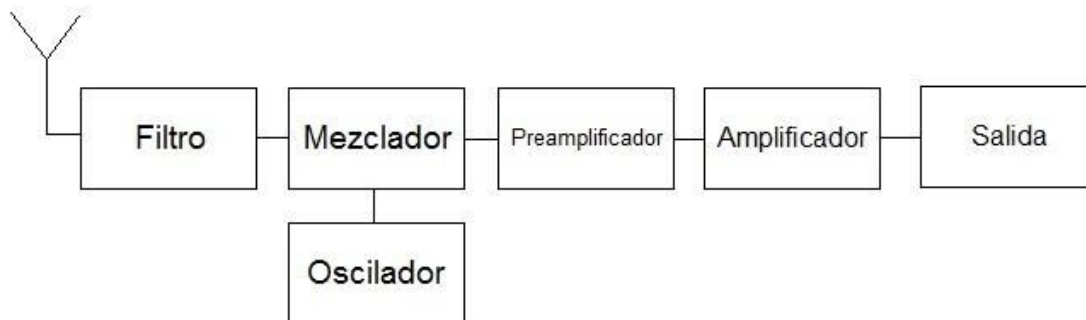


Figura A1.1: Diagrama de bloques del receptor RedMex.

Características del receptor:

	Receptor	Unidades
Voltaje de operación	6 - 18	Voltios
Sensibilidad	>113	dBm
Selectividad	3.9	KHz
Estabilidad de Frecuencia	18	Hz/h

Ganancia	28	dB
Impedancia de Entrada	50	Ohms
Impedancia de Salida	10	Ohms

Tabla A1.1: Especificaciones eléctricas del receptor, realizadas por Guillermo Figueroa Ferrari. [49]

APÉNDICE 2

Calibrador

La fuente de ruido (calibrador ver Figura 4.13, está basado en el modelo RF-2080 C / F del proyecto Radio JOVE) se ha ajustado a una temperatura de 25 mil kelvins. La fuente de ruido es precisa en varios MHz. Para reducir o eliminar la interferencia al receptor causada por fuertes estaciones de transmisión internacional.

Está diseñado para usarse con el asistente de calibración en Radio SkyPipe. Cuando se usa con el Cal Wizard, debe ingresar 25,000 como la temperatura de la fuente de ruido.

El radiotelescopio está diseñado para recibir ráfagas de ruido de radio de Júpiter y el Sol y también ruido de radio de nuestra galaxia. Los observadores pueden mostrar señales de estas fuentes utilizando el software Radio-SkyPipe. Conectando el calibrador al receptor el programa se observa en el eje horizontal es el tiempo mientras que el eje vertical está en unidades SkyPipe (SPU). Para este registro, el receptor y los controles de ganancia de software se configuraron de modo que la línea base se ejecute alrededor de 800 unidades en la escala vertical con la explosión más fuerte que se extiende hasta 2200 unidades. En un sitio de recepción radio silencioso, el ruido de fondo (línea de base) se debe principalmente a las emisiones de electrones relativistas en espiral en el campo magnético galáctico. Sin embargo, se pueden agregar al ruido de fondo galáctico señales provenientes de fuentes terrestres, como líneas eléctricas, computadoras, motores eléctricos y calentadores de acuarios (y muchas otras cosas). Estas fuentes de ruido generalmente son de banda ancha y no puede sintonizar la radio para evitarlas. Si el fondo de ruido total (fuentes galácticas más terrestres) es demasiado alto, entonces las señales de Júpiter y el Sol serán enmascaradas por el ruido local. Para determinar qué tan silencioso o ruidoso es un sitio receptor, necesitamos una fuente de ruido calibrada, una que genera aproximadamente el

mismo nivel de señal que el fondo galáctico. Cuando se sustituye por la antena, la fuente de ruido se estabiliza como un nivel de señal de referencia. Si el nivel de la antena es aproximadamente el mismo que esta referencia, entonces el sitio receptor está en silencio. Sin embargo, si el nivel de ruido de la antena es varias veces más fuerte, entonces sabemos que el sitio es ruidoso y puede no ser adecuado.

Unidades Radio-SkyPipe (SPU) El eje vertical de SkyPipe usa una escala numérica que se puede establecer en el rango de 0 a 32,000 cuando se usa la entrada de la tarjeta de sonido. El seguimiento de la señal en la pantalla SkyPipe se puede ajustar con el control de volumen del receptor Jove y también con el control de volumen del software en Windows. Al cambiar estas ganancias, la traza puede moverse hacia arriba o hacia abajo y comprimirse o expandirse. Sin embargo, no hay un punto de referencia absoluto. Las unidades de escala vertical SkyPipe son números relativos, menos unidades.

Si bien el gráfico muestra señales cada vez más fuertes o más débiles, es difícil hacer comparaciones con registros de otros observadores, ya que pueden estar usando diferentes configuraciones de ganancia. Para obtener información sobre la fuerza absoluta de las señales, necesitamos convertir las unidades SkyPipe (SPU) en unidades de ingeniería con una referencia absoluta. Esto transformará nuestros datos de cualitativos a cuantitativos.

¿Pero calibrado en términos de qué tipo de unidades? Los radioastrónomos manejan señales muy débiles del cosmos y usan unidades especiales para describir la intensidad de la señal. Una unidad común es la temperatura de la antena. [50]

Requerimientos de energía del calibrador requiere +12 a +15 voltios CC a menos de 50 ma. Utiliza un regulador de voltaje interno. El cable de alimentación suministrado con un enchufe de 2,1 mm tiene un trazo negro, rojo o blanco solo un cable. Este cable debe conectarse al terminal + de la fuente de alimentación con el otro cable conectado al terminal negativo. Se recomienda una batería o fuente de alimentación regulada.

Funcionamiento: Encienda el interruptor de alimentación y permita un breve período de calentamiento (30 segundos). Con el interruptor encendido, la antena se desconecta y la fuente de ruido se enciende y se conecta al receptor. Cuando se complete la calibración, apague el interruptor de encendido. Si olvida hacer esto, el receptor permanecerá conectado al generador de ruido, y puede pasar horas escuchando sin antena conectada. Cuando se completa la calibración, no es necesario dejar la alimentación conectada al calibrador. [51]

Referencias

Capítulo 1:

- Antecedentes

[1] https://www.nrao.edu/whatisra/hist_prehist-s.shtml

[2] http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Historia_antenas.pdf

- Radioastronomía

[3] <http://www.crya.unam.mx/radiolab/pioneros.html>

[4] <https://es.wikipedia.org/wiki/Radioastronom%C3%ADa>

[5] <http://www.crya.unam.mx/radiolab/historia-radar.html>

- Proyecto Radio Jove de la Nasa

[6] <https://radiojove.gsfc.nasa.gov/library/newsletters/2004Dec/#2>

[7] <https://radiojove.gsfc.nasa.gov/>

[8] <https://radiojove.gsfc.nasa.gov/library/newsletters/toc.htm>

Capítulo 2:

- Radio Fuente

[9]

<https://ricfsanchez.wordpress.com/2018/08/01/fuentes-de-emision-de-radiofrecuencias-radiofuentes/>

[10] <https://es.wikipedia.org/wiki/Radiofuente>

- Tipos de Radiofuentes

[11] <https://es.wikipedia.org/wiki/Radioastronom%C3%ADa>

- Sol

[12] <https://es.wikipedia.org/wiki/Sol>

[13] <https://www.ecured.cu/Sol>

[14] <https://www.geoenciclopedia.com/erupcion-solar/>

[15] https://es.wikipedia.org/wiki/Fen%C3%B3menos_de_la_superficie_solar

[16] <http://www.crya.unam.mx/~kurtz/proyectos/jupiter/Escuchando-Jupiter.pdf>

- Figura 2.1:

[17] AR 12671 en luz blanca, el 19 de agosto de 8:35:28 U.T. Fotografía de Gabriel Corban (SW Equinox ED120, FLIR USB3 1920x1200 mono camera with the "174" sensor.)

- Figura 2.2:

[18] AIA 171/131 2018-06-21 01:15:07 UTC Class C2.13 solar flare from AR 2715 at 01:15:07 UTC on 2018-06-21. It peaked in X-ray at 01:15:00 UTC. Here is a composite snapshot from SDO/AIA 171 and 131 angstroms. Credit: NASA / SDO / Helioviewer.

- Figura 2.3:

[19] <https://www.astromia.com/solar/estrucsol.htm>

- Tormenta Solar

[20] <https://www.geoenciclopedia.com/erupcion-solar/>

[21] https://radiojove.gsfc.nasa.gov/telescope/ant_manual.pdf

- Estadillos de radio del Sol

[16] <http://www.crya.unam.mx/~kurtz/proyectos/jupiter/Escuchando-Jupiter.pdf>

[22] Radio Emission From The Sun and Stars, George A. Dulk.

- Júpiter

[23] http://www.astrosurf.com/astronosur/pla_jupiter.htm

[24] [https://es.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_\(planeta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_(planeta))

[25] [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Do_\(sat%C3%A9lite\)](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Do_(sat%C3%A9lite))

[26] https://es.wikipedia.org/wiki/Atm%C3%B3sfera_de_J%C3%BApiter

[16] <http://www.crya.unam.mx/~kurtz/proyectos/jupiter/Escuchando-Jupiter.pdf>

[27] <http://www.astronoo.com/es/io.html>

[28] <http://www.astronoo.com/es/europa.html>

[29] https://es.wikipedia.org/wiki/Magnetosfera_de_J%C3%BApiter

- Figura 2.4:

[30] https://www.nasa.gov/images/content/606603main_jupiter1_lg.jpg

- Júpiter e Ío

[23] http://www.astrosurf.com/astronosur/pla_jupiter.htm

[24] [https://es.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_\(planeta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_(planeta))

[25] [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Do_\(sat%C3%A9lite\)](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Do_(sat%C3%A9lite))

[31] https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2004/20feb_radiostorms

[16] <http://www.crya.unam.mx/~kurtz/proyectos/jupiter/Escuchando-Jupiter.pdf>

[27] <http://www.astronoo.com/es/io.html>

[32] <https://eltamiz.com/2010/04/28/el-sistema-solar-io/>

[29] https://es.wikipedia.org/wiki/Magnetosfera_de_J%C3%BApiter

[21] https://radiojove.gsfc.nasa.gov/telescope/ant_manual.pdf

- Table 2.1:

[16] <http://www.crya.unam.mx/~kurtz/proyectos/jupiter/Escuchando-Jupiter.pdf>

- Figura 2.5:

[33] http://www.reeve.com/RadioScience/Radio_Science.htm#Jupiter_Studies, http://jupiter.kochi-ct.jp/jupiter_radio.gif

- Radiación sincrotrónica y radiación ciclotrónica

[34] http://planeterra.osug.fr/IMG/pdf/stellar_emissions.pdf

[35] http://casa.colorado.edu/~wcash/APS3730/c10_synchrotron.pdf

[36] Essential Radio Astronomy, James J. Condon and Scott M. Ranson

- Figura 2.6:

[37] Presentación: Radioastronomía en la escuela media por Pablo M. González

- Figura 2.7:

[38] <https://web.njit.edu/~gary/728/Lecture2.html>

- Radiofuentes fuera del sistema solar

[21] https://radiojove.gsfc.nasa.gov/telescope/ant_manual.pdf

[39]

<http://www.astrocuencia.es/joomla/index.php/divulgacion/896-la-radiacion-cosmica-de-fondo>

Capítulo 3:

- Antena tipo Dipolo

[16] <http://www.crya.unam.mx/~kurtz/proyectos/jupiter/Escuchando-Jupiter.pdf>

[21] https://radiojove.gsfc.nasa.gov/telescope/ant_manual.pdf

[36] Essential Radio Astronomy, James J. Condon and Scott M. Ranson.

- Radiación del Dipolo

[37] <https://www.cv.nrao.edu/~sransom/web/Ch3.html>

- Figura 3.1:

[37] <https://www.cv.nrao.edu/~sransom/web/Ch3.html>

- Patrón de Potencia

[37] <https://www.cv.nrao.edu/~sransom/web/Ch3.html>

- Resistencia a la radiación

[37] <https://www.cv.nrao.edu/~sransom/web/Ch3.html>

- Densidad de Flujo de potencia

[38] https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_199566/PFC_CristinaAmorJimenez.pdf

[39] http://www.upv.es/antenas/Tema_1/Directividad.htm

- Directividad

[38] https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_199566/PFC_CristinaAmorJimenez.pdf

[39] http://www.upv.es/antenas/Tema_1/Directividad.htm

- Ganancia de potencia

[38] https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_199566/PFC_CristinaAmorJimenez.pdf

- Zonas de radiación

[40] <http://www.antenna-theory.com/spanish/basics/fieldRegions.php>

[41] http://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

[37] <https://www.cv.nrao.edu/~sransom/web/Ch3.html>

- Figura 3.2:

[41] http://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

- Zonas de Fresnel

[42] <https://soporte.syscom.mx/redes-inalambricas-enlaces/que-es-la-zona-de-fresnel>

[43] <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>

- Figura 3.3:

[44] <https://soporte.syscom.mx/redes-inalambricas-enlaces/que-es-la-zona-de-fresnel>

Capítulo 4:

- Antena

[45] https://radiojove.gsfc.nasa.gov/telescope/Single_Dipole_suppl_man_rev_1-1.doc

- Figura 4.3:

[16] <http://www.crya.unam.mx/~kurtz/proyectos/jupiter/Escuchando-Jupiter.pdf>

Capítulo 5:

- Figura 5.12:

[46] <https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-x-ray-flux>

- Figura 5.15:

[46] <https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-x-ray-flux>

- Figura 5.17:

[47] <http://radiojove.org/cgi-bin/rjdisplay.pl?sortdate1=201808110000&sortdate2=201808110000&STRING=Jupiter>

Apéndice 1:

- Funcionamiento:

[48] https://radiojove.gsfc.nasa.gov/telescope/rcvr_manual.pdf

[49] Presentación "Receptor20MHzcoloquio2013" por Guillermo Figueroa y Dalila Martínez.

Apéndice 2:

- Calibrador

[50] <https://radiojove.gsfc.nasa.gov/observing/Measuring%20Antenna%20Temperature%20Jove%20.pdf>

[51] <https://radiojove.gsfc.nasa.gov/telescope/RF%202080%20Manual.doc>

Bibliografía

1. Radio Jove, Antena Kit Assembly Manual by The Radio JOVE Project Team.
2. Listening to Jupiter, A Guider for the Amateur Radio Astronomer, Richard S. Flagg.
3. Synthesis Imaging in Radio Astronomy II, Edited by G. B. Taylor, C. L. Carilli and R. A. Perley.
4. Essential Radio Astronomy, James J. Condon and Scott M. Ransom.
5. Teoría de Antenas, Guía de estudio, Jaume Anguera y Antonio Pérez.

Software:

- A. Radio SkyPipe

<http://www.radiosky.com/skypipeishere.html>

B. Radio Júpiter

<http://www.radiosky.com/rjpro3ishere.html>

Glosario

Antena Isotrópica: Antena ideal omnidireccional que distribuye la misma intensidad de radiación uniforme en todas direcciones

Astronomía: Área de la física que estudia los astros del espacio, como su localización, composición, estructura, movimiento, evolución entre otras características.

Bóveda: Se refiere a bóveda celeste, esta es la esfera celeste, donde se encuentran las estrellas que se observan desde la Tierra.

Calibrador: Es un atenuador de ruido, en este caso es para apreciar las señales provenientes del espacio.

CC: Corriente continua.

Cosmos: Otra forma de decir Universo.

Cuerpos Celestes: Un objeto o varios objetos astronómicos como planetas, asteroides, estrellas.

dB: Unidad de referencia para medir la intensidad del sonido, el decibelio o decibel.

dBd: Ganancia de antena en dB por encima de una antena dipolo de media onda resonante.

dBi: Ganancia de antena en dB por encima de un radiador o antena isotrópica.

dBm: Unidad de medida de relación de potencia expresada en decibelios relativa a un milivoltio (mW).

Dipolo: Antena que consiste en dos elementos conductores rectilíneos colineales de la misma longitud.

Espectro radioeléctrico: Es el medio por el cual se transmiten las frecuencias de ondas de radio electromagnéticas.

Espín: Momento cinético intrínseco de una partícula o un sistema de partículas.

Extra galácticas: Término usado para referirse a los objetos fuera de nuestra galaxia como las otras galaxias.

Frecuencia: Es el número de repeticiones por unidad de tiempo en un evento periódico.

G2V: Se refiere a una estrella enana de color amarillo con una temperatura de 5800 °K, en la secuencia principal.

H Alpha: Se denomina a las líneas de emisión del espectro del hidrógeno.

Hidrógeno neutro: Línea espectral de radiación electromagnética por el cambio de estado de la energía de los átomos de hidrógeno atómico neutro, a una longitud de onda de 21 centímetros.

Interferencia: Cualquier proceso que altera, modifica, destruye o interfiere con una señal o una onda.

Ionosonda: Sistema de radar para determinar la altura vertical a la cual la ionosfera refleja las señales de eco a la tierra a varias frecuencias, es un barrido periódico de pulsos de radio.

Línea espectral: Es el cambio de energía de un electrón de una orbita a otra orbita, de un átomo, molécula.

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

PBC: Se refiere a una placa de circuito impreso.

Radio observatorio: Infraestructura donde se encuentra equipo especializado para realizar un estudio.

Radioastronomía: Área de la física que estudia a los astros por medio de las ondas electromagnéticas que emiten.

Radiotelescopio: Aparato receptor para captar, registrar las ondas radioeléctricas que emiten los cuerpos celestes.

Rastro de meteoritos: Gas ionizado en la ionosfera por el ingreso de un meteorito del espacio a la tierra.

RedMex: Red Mexicana de Radiotelescopios.

UTC: Tiempo Universal Coordinado.