



COMPAQ

Inicio

Radio-Diagram 1.4.1

10740
10700
10660
10620
10580

14:25:58.00

14:26:00.00

14:26:02.00

14:26:04.00

Las Señales de Radio del Sol



IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES DE RADIO SOLARES EN LA FRECUENCIA DE 20.1 MHz A PARTIR DE LAS OBSERVACIONES DEL AÑO 2005

Freddy Moreno,¹ Doris Rojas² y Alejandro Jordana

¹ Director del CEAF

² Profesora de Matemáticas

³ Estudiante del Gimnasio Campestre

Correspondencia para los autores: ceaf@campestre.edu.co

Recibido: 27 de octubre de 2006

Aprobado: 7 de diciembre de 2006

RESUMEN

El Observatorio Julio Garavito del Gimnasio Campestre viene desarrollando un proyecto de Radioastronomía con el fin de hacer seguimiento al ciclo del Sol captando las señales de radio en la frecuencia de 20.1 MHz generadas en su atmósfera. Para tal efecto se tienen un receptor y una antena dipolo los cuales captan, registran y clasifican las tormentas de radio y otros fenómenos producidos principalmente durante los destellos solares. En 2005 se registraron señales de 130 días las cuales fueron clasificadas y cuyo análisis permitió identificar tormentas de radio relacionadas con destellos y explosiones de radio Tipo III.

Palabras clave: Destellos, explosiones de radio Tipo III, tormentas de ruido, frecuencia de 20.1 MHz.

SUMMARY

The Julio Garavito Observatory located in the Gimnasio Campestre has been developing a radio astronomy project with the objective of following the sun cycle by capturing the radio signals in the atmosphere that have a frequency of 20.1 MHz. In order to do this, the school is equipped with a receiver and a dipole antenna with which radio storms and other phenomena produced mainly during solar flares, can be received, registered and classified. In 2005, signals that were registered for 130 days were classified and their analysis allowed the identification of radio storms related to the occurrence of solar flares and radio burst labeled type III.

Key words: Flares, radio burst Type III, noise storm, 20.1 MHz frequency.

INTRODUCCIÓN

En el año 2001 el Gimnasio Campestre se sumó al proyecto Radio Jove empleando un arreglo de dipolo y un receptor que toma las señales entre 19 y 21 MHz. El Proyecto Radio Jove es un programa de la NASA cuyo fin principal es desarrollar la radioastronomía en escuelas y colegios. El equipo consta de una antena y las partes para armar un receptor. Inicialmente el principal objetivo de este proyecto es identificar los registros que se generan por la actividad solar (como los destellos) y hacer una clasificación de estos según lo permitan las características y limitaciones que tiene el sistema.

ORIGEN DE LAS ONDAS DE RADIO DEL SOL

En los primeros tiempos de la radio comercial, muchos operadores escucharon un destello creciente de ruido correspondiente a una erupción solar sin sospechar su origen. Durante los años 30, científicos se dieron cuenta que, con frecuencia, a una perturbación visible en la faz solar le seguía una completa extinción de la recepción de onda corta, y dedujeron, correctamente, que este se debía al bombardeo de la ionosfera de la Tierra por alguna forma de radiación solar. En febrero de 1942 varios equipos de radar británicos empezaron a experimentar una fuerte interferencia de naturaleza desacostumbrada. La perturbación era observada en lugares muy distantes y en toda la banda del radar. Los ingleses estaban temerosos que los alemanes estuvieran bloqueando los radares como preludeo a una ofensiva importante. Para solucionar el problema fue llamado Stanley Hey quien rápidamente se dio cuenta que la perturbación observada parecía estar asociada con la aparición de un gran destello solar que fue visto hacia el centro del Sol a finales de febrero de dicho año (Smith, 1967).

En 1943 Grote Reber, ingeniero y astrónomo aficionado, desarrolló un receptor muy sensible con el que captó fácilmente el Sol, aunque lamentaba que durante este periodo, nuestra estrella tuviese una baja actividad y todas las señales fuesen muy parecidas y carentes de interés. En las décadas siguientes, fue evidente para los astrónomos que el Sol interfería en ocasiones con la emisión de ondas de radio, identificando estos con eventos variables tales como los destellos solares.

Un poco de física solar: Si el Sol radiara solamente como una fuente térmica, la intensidad, debería variar con la frecuencia, según la ley de radiación de Planck:

$$B = \frac{2hv^3}{c^2} \frac{1}{e^{hv/kT} - 1}$$

donde B es la intensidad, c es la velocidad de la luz en el vacío, k es la constante de Boltzmann, v es la frecuencia, T la temperatura y h la constante de Planck.

Observaciones con telescopios ópticos producen un espectro que se puede describir con la curva de radiación de Plank para un cuerpo negro a una temperatura de 6000 °K. Sin embargo, observaciones con radio telescopios nos dan densidades de flujo mucho mayores que aquellas correspondientes a un cuerpo negro a 6000 °K. Esta es representada por la línea gruesa de la Figura 1, la cual describe la curva de 6000 °K a longitudes menores a 1 cm, pero se ramifica en dos: una llamada del Sol en calma y la del Sol en actividad (a longitudes de onda mayores a 1 cm). La curva del Sol en calma indica la radiación mínima de fondo recibida de él. En épocas de muchas manchas solares, la radiación se intensifica en gran manera, como se muestra en la segunda curva. Para que el Sol radiase tal cantidad de energía como un cuerpo negro, su temperatura debería ser de millones de grados. Estas curvas están calculadas sobre la base que la extensión angular de nuestra estrella es igual a la de su disco en el visible (0.224 grados²) y que su temperatura es constante en todo su disco (Kraus, 1986). Realmente, la distribución no es uniforme y varía con la longitud de onda, así que las curvas son sólo aproximaciones equivalentes a las temperaturas del cuerpo negro.

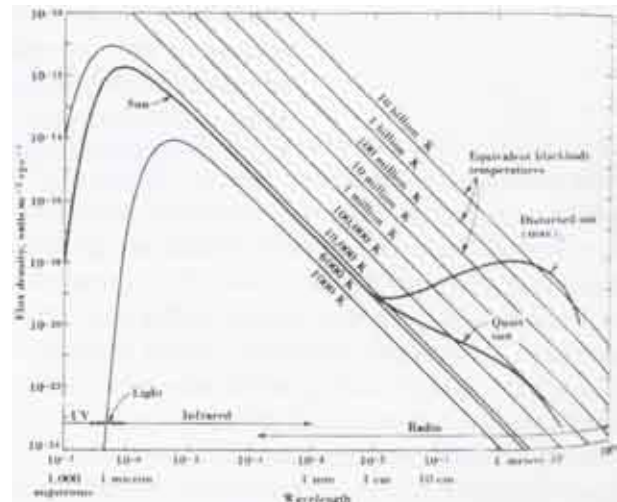


Figura 1. Curvas de radiación de Planck para el Sol en calma (quiet) y para el Sol en actividad (disturbed). Tomado de Kraus, 1986.

Es conveniente dividir la radio emisión del Sol en dos categorías relacionadas con esas dos condiciones (Smith & Smith, 1963):

- Emisiones producidas por el Sol en calma, generadas en épocas de escasa actividad de ras manchas solares.
- Emisiones del Sol en actividad en períodos con muchas manchas solares.

Radio señales del Sol en calma: A longitudes de onda de 1 cm o menos el Sol brilla uniformemente en un área igual al disco óptico o fotosférico. En longitudes de onda del orden de 10cm el radio del Sol es ligeramente más grande que en el disco óptico y hay un pico en la intensidad cerca del limbo solar. Para longitudes de metros, el Sol aparece mucho más grande y tiende a ser más brillante hacia el centro. Esto se debe a que las ondas de radiación más cortas se originan cerca de la fotosfera, mientras que las longitudes de onda del orden de metros son generadas en lo alto de la corona solar.

La radiación en longitudes de onda de milímetros que no es producida por los destellos solares, es la radiación de frenado de electrones térmicos acelerados en campos eléctricos de iones (bremsstrahlung), originados en la cromosfera baja con $\lambda = 2 \text{ mm}$ y $T_B = 6500 \text{ }^\circ\text{K}$. También son importantes las longitudes de onda de centímetros ($\lambda = 2 \text{ cm}$ y $T_B = 10^5 \text{ }^\circ\text{K}$), producida por la radiación giroresonante de electrones térmicos acelerados por campos magnéticos (Kundu & Lang, 1985). A mayores longitudes, la radiación puede ser una mezcla de bremsstrahlung” y giromagnetismo. Sobre las manchas solares, los efectos giromagnéticos son importantes con impulsos muy fuertes e inesperados de radiación (burst) de origen no térmico y originados cerca de la parte superior de los arcos magnéticos (Kraus, 1986).

Radio señales del Sol en actividad: Se pueden dividir en dos: i) el componente de variación lenta, el cual se puede captar en longitudes de onda entre $\lambda = 2 \text{ cm}$ y $\lambda = 60 \text{ cm}$, cuya variación puede cambiar en períodos de días, semanas o meses y u) el componente de variación rápida, caracterizado por producir explosiones de radiación que se desarrollan en períodos de segundos, minutos y hasta horas.

Las variaciones lentas están correlacionadas con condensaciones (radio plages) situadas a distancias hasta de 100000 kilómetros por encima de las fáculas. En general todas estas variaciones muestran radia-

ciones circularmente polarizadas producidas por regiones del tamaño de manchas solares, mientras que emisiones polarizadas al azar provienen de regiones muy extensas, aproximadamente del área de la fácula asociada con las manchas solares.

Componente de variación rápida: Consiste en explosiones de radiación que cambian en intervalos de unos segundos a horas. Intensos y complejos grupos de explosiones en radio siguen en muchos casos, a la aparición de un destello en la cromosfera solar. Estos destellos son fácilmente observables en la línea H_α del hidrógeno o en la línea K del calcio, aparecen de una forma muy brillante sobre las fáculas que rodean las manchas solares. Un destello puede generar tanta energía como 2.4×10^{15} toneladas de TNT. La observación de emisiones de radio, primero en frecuencias altas y luego en frecuencias bajas, después de un destello, es típica. Los electrones emiten radiación en ondas de radio al girar sobre los campos magnéticos, cerca de la parte superior de éstos: sin embargo, los electrones emitidos durante estos fenómenos tienen velocidades con grandes fracciones de la velocidad de la luz (relativísticos), lo cual modifica apreciablemente el proceso de emisión. La radiación es altamente direccional, visible solamente cuando la velocidad del electrón está casi exactamente dirigida hacia un observador y segundo, la emisión ocurre no solamente a la girofrecuencia y a las primeras dos o tres armónicas si no a un amplio número de armónicas cercanamente espaciadas (típicamente de 10 a 50), distribuidas en un continuo. Esta radiación llamada sincrotrón se debe a electrones emitidos con energías de 100 keV a 1 MeV, los cuales pertenecen probablemente a la misma población que produce las explosiones de rayos X. Siguiendo a las explosiones impulsivas de radio hay una gradual intensificación llamada incremento postburst. Esto parece ser equivalente al destello térmico de rayos X suaves, con el “bremsstrahlung como mecanismo de emisión. Estudios realizados sobre este componente en un rango de frecuencias, han clasificado esas emisiones en cinco tipos principales (Wild, 1963):

- Explosiones y tormentas de ruido (Tipo I)
- Explosiones de corrimiento lento (Tipo II)
- Explosiones de rápido corrimiento (Tipo III)

Emisiones del continuo en banda ancha (Tipo IV)
Emisiones del continuo en longitudes de un metro (Tipo V).

Siguiendo a Phillips (1992) las describiremos brevemente: Esta clasificación se explica mejor contando con un *espectro dinámico*, por ejemplo, una gráfica de radio frecuencias (eje Y, con escala logarítmica) y el tiempo (eje X).

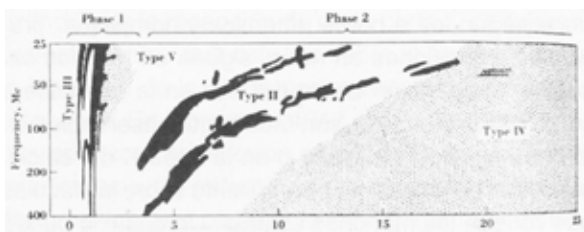


Figura 2. Espectro dinámico de los estallidos de ruido. El eje X corresponde a los minutos después de la aparición de un destello solar.

Explosiones Tipo 1: Son disturbios en longitudes de onda de un metro que aparecen muchas veces sobre un continuo muy amplio. Perduran por varias horas después de un destello, con una estructura fina en la forma de pequeñas explosiones. Las tormentas Tipo 1 son similares pero duran varios días y están asociadas con las regiones activas que tienen grandes manchas pero que no producen destellos. La forma exacta como actúa el mecanismo de radiación no se conoce, pero se piensa que tales explosiones se elevan desde las ondas de plasma que se funden a las ondas electromagnéticas en la frecuencia de radio, produciéndose la emisión en la frecuencia del plasma local f_0 .

Las explosiones Tipo III (o de rápido corrimiento): Son casi tan comunes como los Tipo 1, pero son de diferente naturaleza, ellas normalmente aparecen primero como explosiones de corta duración en las frecuencias más altas, desplazándose hacia las bajas, y así marcando una línea casi vertical a través del espectro dinámico, Figuras 2 y 3. En tanto que los estallidos individuales no duran más de unos pocos segundos, estos tienden a presentarse en grupos que suelen continuar durante varios segundos. Pueden ocurrir en grupos al iniciar un destello, o en algunas ocasiones sin ninguna asociación con ellos. Wild (1963) demostró que el desplazamiento en las frecuencias se debe a que la altura de la fuente, que origina el estallido, cambia en forma sistemática, generando las frecuencias más bajas a las mayores al-

turas, y que la velocidad de la fuente se aleja de la superficie solar a velocidades que podrían variar de $0.2c$ a $0.8c$. En ocasiones una fuente parece alcanzar una altura máxima y después caer a plomo hacia el Sol, produciendo una explosión en U invertida (Smith, 1967).

Según con la interpretación anterior, podemos decir que los estallidos Tipo III son originados por rápidas corrientes de electrones remontándose a través de la corona solar. En cada nivel, los electrones excitan ondas de plasma que oscilan en la frecuencia crítica f_0 local. Finalmente, las ondas de plasma se convierten en las ondas de radio observadas, de frecuencias f_0 y $2f_0$ probablemente mediante la separación de pequeños grupos de iones positivos y electrones. De acuerdo con lo descrito, los estudios de los estallidos Tipo III pueden proporcionarnos información adicional acerca de las frecuencias críticas en diferentes niveles de la atmósfera solar.

Explosiones de Tipo V: Aunque no están referenciadas por Phillips (1992), sí lo están en Smith (1967) y Brandt & Hodge, (1975), Kraus (1986) y algunos ejemplos se pueden ver en la página del proyecto Radio Jove, Figura S. Aproximadamente un 10% de los grupos de estallidos Tipo III son seguidos por un breve periodo de emisión continua, que ha sido llamada resplandor crepuscular, o estallido Tipo V. De ordinario, la radiación dura de 1 a 5 minutos, y en un espectrograma, que barre en frecuencias aparece como una figura amorfa que se extiende sobre un amplio orden de frecuencias por debajo de los 200 MHz, Figura 4. El espectro, la duración y la intensidad de la emisión Tipo V condujeron a Wild a sugerir que se trata de radiación sincrotrónica de las mismas corrientes de electrones rápidos que excitan los estallidos Tipo III. Dado que las fuentes Tipo V parecían mostrar escaso o ningún movimiento, Wild (1967) supuso que los electrones habían sido atrapados finalmente en intrincados campos magnéticos lejos de la corona. Ello detendría el movimiento de la nube de electrones como un todo, pero dentro de la nube los electrones individuales continuarían saltando hacia delante y hacia atrás a gran velocidad, imitando a las partículas atrapadas en los cinturones Van Allen de la Tierra. Según Hodge, las partículas se propagarían a una velocidad aproximada de 1000 Km/s. Figuras 2 y 3.

Estallidos Tipo II: Los momentos iniciales de un destello tienen los caracteres de los Tipo III, y quizás de una emisión Tipo V. Varios minutos después de finalizar los estallidos de desplazamiento rápido, aparece una nueva clase. Conocidos como Tipo II; se parecen a sus predecesores en varios aspectos importantes: muestran una segunda armónica y un desplazamiento sistemático de frecuencia. Sin embargo, su corrimiento de frecuencia es mucho más lento que el de un fenómeno Tipo III, excediendo rara vez de 1 MHz por segundo, y durando normalmente unos 10 minutos en lugar de tan sólo unos segundos. Están muy relacionados con los destellos que producen rayos gamma y con aquellos producidos por grandes masas de eyección. No es extraño que a menudo se les llame explosiones de corrimiento lento. Al final del estallido, puede haber una serie de radio pulsaciones con periodos de un segundo o más, posiblemente debidas a partículas atrapadas en un volumen en la cima de un arco magnético, a través de la cual, la onda de choque pasa. Observaciones muestran que una sola explosión Tipo II puede venir de varias fuentes bastante separadas, sugiriendo que la explosión ha producido una onda de choque fragmentada con varios componentes disparándose hacia afuera en diferentes direcciones (Weiss, 1963).

Estallidos Tipo IV: Desde las primeras observaciones sistemáticas del Sol en ondas de radio, se sabe que las grandes erupciones de ruido son seguidas en ocasiones por largos períodos de emisión continua, notables por su firmeza y carencia de estructura explosiva. Cubren todo el espectro, aunque el término explosión parece inadecuado para un fenómeno que puede durar horas. La radiación se origina en una fuente pequeña fija, en lo profundo de la atmósfera del Sol encima de la región de los destellos, y muestra una fuerte polarización circular. Una peculiaridad más es que la emisión es, preferiblemente, lanzada en un haz agudo en dirección vertical, de suerte que no podemos recibirla a menos que la fuente se halle cerca del centro del disco solar visible, donde está más o menos apuntada hacia la Tierra. Se ha pensado que la radiación se debe a ondas de plasma excitadas por electrones rápidos, nacidos del destello, que han sido atrapados en los rizados magnéticos encima de las manchas solares. Los electrones, oscilando hacia atrás y hacia delante a lo largo de las líneas de campo, crean ondas longitudinales en el plasma circundante, ondas que, a su vez, generan la emisión de radio observada. Figuras 2 y 3.

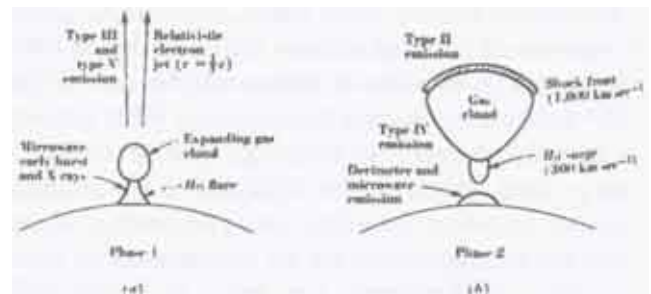


Figura 3. Fases del proceso de generación de los estallidos de ruidos solares Tomado de Kraus, 1986

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se implementó bajo la línea de investigación en radio astronomía, con el propósito de estudiar las señales de Júpiter y del Sol, lo cual complementa la investigación sobre el ciclo solar. El receptor fue armado por el estudiante Francisco Zuluaga y los profesores Francisco Escobar y Edwin García.

El receptor y la antena Radio Jove están diseñados para captar señales electromagnéticas entre 19 y 21 MHz. Después de que se ha ensamblado, se debe calibrar para identificar las frecuencias. Para la calibración se utilizó un generador profesional de radio frecuencia (RF) en la banda de HE La antena se instaló en la terraza del observatorio con una orientación oriente-occidente a la altura recomendada por el fabricante. El registro de las señales se hizo utilizando el programa Skypipe. Se escogió la frecuencia de 20.1 MHz que es la recomendada por el Proyecto Radio Jove. Debido a que las explosiones no son predecibles, es necesario dejar encendido el receptor la mayor parte del día. Se realizaron observaciones durante 130 días, entre febrero y diciembre de 2005.

Para identificar si se han captado explosiones generadas por el Sol, es necesario revisar los registros diariamente y señalar los períodos de tiempo en los cuales se percibe un incremento en las señales recibidas. Puesto que existen interferencias causadas por frecuencias ilegales y señales de radio producidas por estaciones internacionales (Fort Collins 20 MHz), es necesario cruzar los tiempos de las señales interesantes con la hora exacta en que se producen los diferentes tipos de destellos solares en rayos X (Tabla 1). Estos datos pueden ser obtenidos de las páginas de los observatorios solares como el Big Bear Observatory, el Solar Index Data Center (SIDC,

2005) o reportes de satélites solares (SEO) en donde RBR representa un estallido en radio a una frecuencia fija, PSP estallido en muchas frecuencias y RSN tormenta de ruido en radio. Sin embargo, existen explosiones y ruidos generados en el Sol que no son producidos por destellos. En estos casos se verifica si poseen las características de las explosiones de ruido descritas anteriormente. Los datos se organizaron mensualmente, ver Tabla 2.

| Destello | X Flujo en $w m^{-2}$ |
|----------|-------------------------|
| A | $x < 10^{-7}$ |
| B | $10^{-7} < x < 10^{-6}$ |
| C | $10^{-6} < x < 10^{-5}$ |
| M | $10^{-5} < x < 10^{-4}$ |
| X | $10^{-4} < x$ |

Tabla 1. Clasificación de los destellos solares

RESULTADOS

En la tabla 2 se presentan los registros más interesantes captados con el sistema Radio Jove en la frecuencia de 20.1 MHz durante el 2005. En la primera y segunda columnas se indican el día y la hora del fenómeno observado expresado en tiempo universal TU. En la tercera, el tipo de destello en el caso de que coincida con la explosión en radio. La cuarta columna muestra la clasificación del tipo de explosión según lo encontrado en los reportes del SEO y del Proyecto Radio Jove. El receptor Radio Jove sólo capta señales en una banda muy angosta, entre 19 y 21 MHz; por lo tanto, registra las señales de las explosiones Tipo III y ocasionalmente del Tipo V y no es posible identificar los estallidos Tipo I, II y IV.

Durante el período de observación se encontraron 41 señales de 112 que estaban relacionadas con destellos de las categorías B, O, M, y X reportados por SEO (Tabla 2), esto representa sólo el 36.5%, porcentaje inferior al 50 % propuesto por Smith & Smith (1963), ver Tabla 2. Una característica que se encontró es que la intensidad registrada no es proporcional al tipo de fenómeno, es decir los destellos Tipo X, como el captado el 7 de septiembre, no necesariamente producen una intensidad mayor en el registro que uno del tipo M o C. Una explicación inicial puede deberse a que las condiciones de ionosfera superior son diferentes en cada sitio, lo cual puede absorber parte de la radiación recibida.

Algunas veces las señales recibidas en el Observatorio del Gimnasio Campestre coincidieron con las hechas en otros sitios, como por ejemplo, el 21 de junio se captó una explosión en radio generada a las 17:59 TU por el destello 02.0, Figura 4, cuyo desarrollo fue similar al registrado por la estación 8SF Jove SP situada en Sula (Montana) Figura 5. Una revisión detallada del fenómeno nos muestra que el impulso inicial de la explosión es diferente en los dos casos, lo cual podría ser materia de un estudio más profundo pues nos mostraría diferencias en las condiciones en la atmósfera superior sobre los dos sitios. En las figuras 6 y 7 se muestran las señales captadas el 15 de septiembre a las 20:37 TU de una explosión de rápido corrimiento que fue observada desde los 20 a los 38 MHz (PSP) por el NJ3B Radio Observatory y que coincide con el fenómeno visto desde nuestro Observatorio El 24 de noviembre se registró una explosión en ruido Tipo III a las 16:38 TU, Figuras 8 y 9, en las que también se muestra idéntico desarrollo del fenómeno.

El 7 de junio se captó un Tipo V entre las 15:45 y 15:46. Este fenómeno no es fácil identificarlo en 20MHz ya que normalmente dura pocos minutos, Figura 10.

DISCUSIÓN

Como vimos anteriormente, las señales captadas en 2005 correspondieron en un 36.5% con los destellos producidos durante esta época. Esto se debe a que se observó en la banda de 20.1 MHz y las explosiones Tipo III se han estudiado en frecuencias inferiores a los 500 MHz (Young et al., 1961). Otra variable que puede afectar este resultado es que el período analizado corresponde a la fase declinante del ciclo solar número 23.

Según estos autores también es posible que las explosiones de ruido captadas durante el mismo período en que se produce un destello tengan su origen en otros fenómenos solares o atmosféricos.

Según los resultados obtenidos las señales características de las explosiones de ruido del Tipo III son de forma triangular y pueden durar de treinta segundos a cinco minutos. Algunas de ellas coinciden con los destellos, otras las pueden preceder o anteceder.



Figura 4. Señal del Destello C2.1 registrado en el Observatorio NJ3B Radio Observatory el 21 de junio a las 18:01 TU.

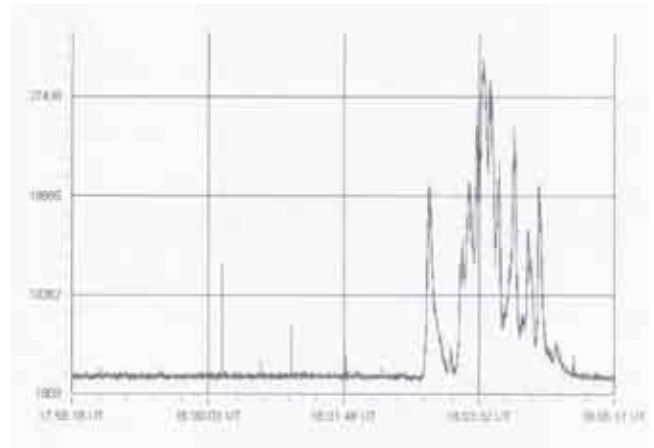


Figura 5. Señal del Destello C2.1 registrado en el Gimnasio Campestre el 21 de junio a las 18:00 TU.

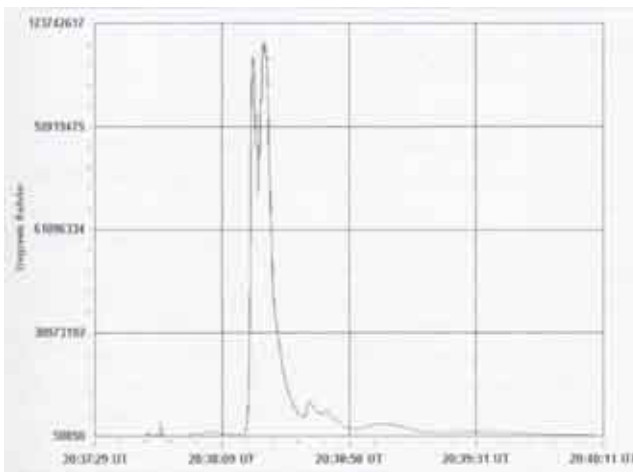


Figura 6. Señal del 15 de septiembre Explosión Tipo V. Tomada por Jim Brown a las 20:38 TU. NJ3B Radio Observatory. Radio Jove Project.

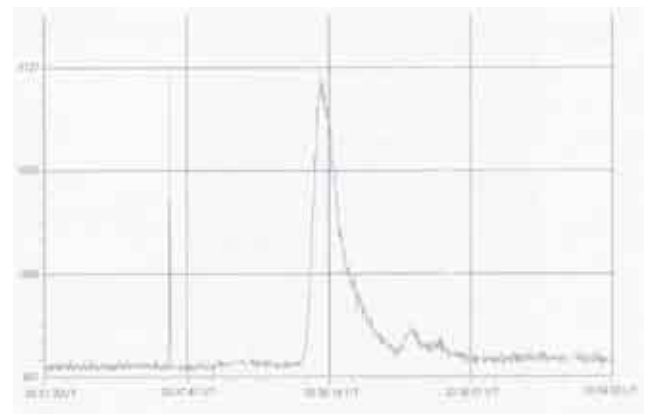


Figura 7. Señal del 15 de septiembre 20:38 TU registrada en el Gimnasio Campestre.

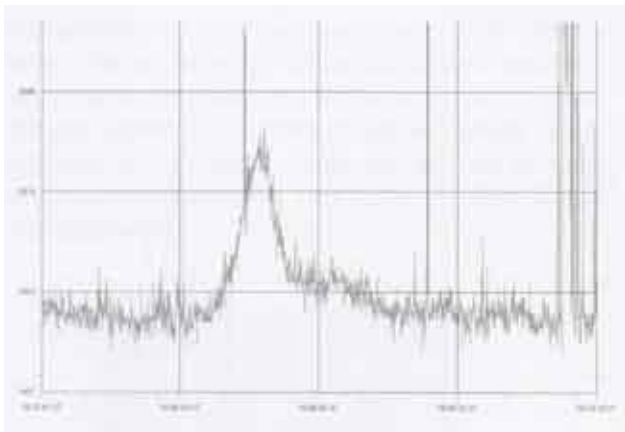


Figura 8. Señal del 24 de noviembre 16:08 TU registrada en el Gimnasio Campestre.



Figura 9. Estallido Tipo III del 24 de noviembre W3FAF Radio Observatory a las 16:08 TU.

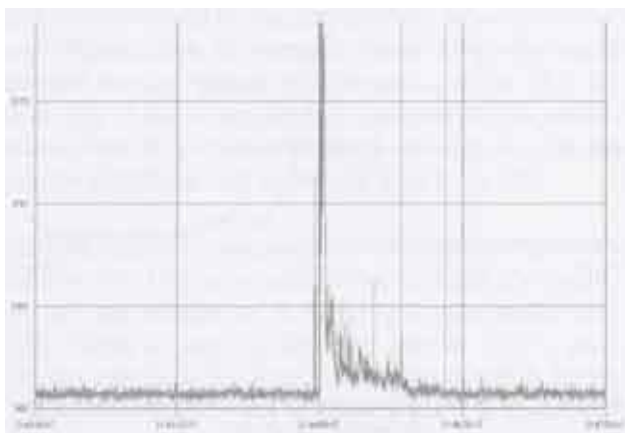


Figura 10. Estallido en radio Tipo V del 7 de junio. Gimnasio Campestre.

CONCLUSIONES

Se estableció la asociación de las explosiones solares con gran cantidad de destellos solares.

Se identificaron explosiones de los Tipos III y V

Se desarrolló un método confiable para observar y registrar de una manera continua las señales de radio originadas en el Sol.

Por medio de los registros de las explosiones en ondas de radio y su clasificación se puede caracterizar el comportamiento de estos fenómenos en la frecuencia de 20.1MHz.

Comparaciones de las observaciones hechas en el Gimnasio Campestre con otros sitios del mundo pueden ser materia de una investigación por su aporte a la identificación de variables en las condiciones de la ionosfera de cada sitio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al ingeniero Roberto Velasco Patiño, por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Brandt J, Hodge, Astrophysics. McGraww Hill. 1975.
- Handbury X. Exploration by radio. John Willey Ed. 1970
- Kraus, John. Radio Astronomy. Cygnus-Quasar Books. Delaware, Ohio. 1986.
- Higuera A. Astronomía para todos. Editor Portilla Gregorio. Unibiblos. Universidad Nacional. 2001.
- Phillips, Kenneth. Guide to the Sun. Cambridge University Press. 1992.
- Radio Jove Proyect. <http://radiojove.gsfc.nasa.gov>
- SEC. Space Environment Center. <http://www.sec.noaa.gov>
- Smith, Alex. Radioexploración dek Sol. Van Nostrand company. 1969.
- Smith H, Smith E. Solar Flares. The Macmillan Company. New York. 1963.
- Weiss A. The positions and movements of the source of of solar radio Burst of spectral Type II. Australian Journal Physics. 1959.
- Wild J, Smerd F. Solar Burst. Ann. Rev. Astron. Astrophys. vol 1. 1963
- Young et al A preliminary study of the dinamic spectra of solar radio Burst in frequency range 500-950 Mc/s, Ap. J 133, 243

Tabla 2

| FECHA | INICIO DE LA SEÑAL GIMNASIO CAMPESTRE . T.U. | SEÑAL RELACIONADA CON DESTELLO | TIPO DE EXPLOSIÓN | EVENTOS SOLARES PUBLICADOS POR SEC. T.U. |
|-----------|--|--------------------------------|--------------------------------|---|
| 10 Feb | 21:42 | Sin destello | Actividad solar | |
| 11 Feb | 13:13 | Sin destellos | Desconocido | RNS 245MHz 12:32 a 21:46 |
| 11 Feb | 14:21 | Sin destello | CMT SEC | RSP108-180MHz 14:21 a 16:11 |
| 11 Feb | 13:56 | B6.3 | Tipo III | XRA 13:50 a 13:57 |
| 14 Feb | 12:44 | Sin destello | Tipo IV SEC | RSP113-180 MHz 12:09 a 14:58 |
| 17 Feb | 14:31 | Sin destello | Señales en grupo | |
| 17 Feb | 21:33 | Sin destello | Actividad solar | Anterior a destello B5.4 |
| 18 Feb | 13:22 | C2.0 | | XRA 12:52 a 13:28 |
| 22 Feb | 18:08 | B8.9 | | XRA 18:06 a 19:36 |
| 8 Marzo | 17:14 | B4.7 | | XRA 17:21 a 17:39 |
| 17 Mayo | 18:29 | Sin destello | Actividad solar | 18:29 a 18:40 |
| 17 Mayo | 19:25 | Sin destello | Tipo III SEC | RSP 30 -74 MHZ 19:24 a 19:25 |
| 20 Mayo | 21:38 | B9.5 | | XRA 21:35 a 22:27 |
| 02 Junio | 15:50 | Sin destello | Tipo III | Origen desconocido |
| 02 Junio | 16:39 | Sin destello | Tipo III | RSP 16:39 a 16:40 25-82 MHZ |
| 07 Junio | 15:45 | Sin destello | Tipo V SEC | RSP40-180Mhz15:44 a15:46 |
| 07 Junio | 14:18 | Sin destello | CMT SEC | RSP 40-180MHz 14:18 a 15:39 |
| 17 Junio | 18:49 | C1.4 | | XRA18:45-19:11 |
| 20 Junio | 22:35 | B7.1 | | XRA 22:35-22:53 |
| 21 Junio | 17:12 | Sin destello | Tipo III SEC | RSP17:12-17:13 , 30-57 MHz |
| 21 Junio | 18:02 | C2.1 | Reportado por Radio Jove | XRA 17:59-18:02 RBR-245 MHz 18:02 |
| 21 Junio | 19:16 | B2.2 | | XRA 19:14-19:24 RSP 30-180MHz 19:18 |
| 27 Junio | 18:01 | B3.9 | | XRA 18:01 a 18:09 |
| 27 Junio | 18:05 | Sin destello | Tipo III SEC | RSP 25-180Mhz 18:05 |
| 27 Junio | 19:11 | | Señal después de destello B3.0 | 19:11 a 19:52 |
| 27 Junio | 20:17 | | Señal después de destello B1.1 | 20:17 a 20:25 |
| 29 Junio | 21:29 | Sin destello | Tipo III | |
| 5 Julio | 13:02 | C1.2 | | XRA 12:48 a 13:05 |
| 5 Julio | 20:31 | Sin destello | Tipo III | 20:31 a 20:36 |
| 6 Julio | 14:37 | B7.1 | Tipo III | XRA 14:38 a 14:43 |
| 7 julio | 16:33 | M4.9 | Tipo III | XRA 16:07 a 16:39 |
| 7 Julio | 21:44 | Sin destello | Desconocido | RSP114 a 180 MHz 21:10 a 23:59 |
| 8 Julio | 2:29 | B8.4 | | XRA 3:13 a 3:34 |
| 8 Julio | 18:00 | Sin destello | Tipo III SEC | |
| 8 Julio | 18:02 | Sin destello | Reportado por SEC | RBR 245MHz 18:02- 18:02 |
| 8 Julio | 18:04 | Sin destello | Tipo III Repor por SEC | RSP 18:00-18:00 25- 180Mhz RSP 18:04 25-180MHz |
| 3 agosto | 19:31 | B5.1 | | XRA 20:18 a 20:28 |
| 3 Agosto | 21:01 | C2.1 | Tipo III | XRA 20:54 a 21:30 |
| 4 Agosto | 18:47 | B7.9 | Tipo III | XRA 18:49-18:59 |
| 4 Agosto | 20:50 | B2.9 | Tipo III | XRA 20:50 a 20:54 |
| 5 Agosto | 19:54 | B9.5 | Tipo III | XRA 19:54 a 20:08 |
| 29 Agosto | 18:46 | B5.6 | Tipo III | XRA 18: 29 a 18:52 |
| 29 Agosto | 22:00 | C6.5 | Tipo III | XRA 21:48 a 22:02 XFL 21:52 a 22:02 |
| 29 Agosto | 22:44 | B5.7 | | XRA 22:44 a 22:51 |
| 7 Sept | 13:13 | Sin destello | Tipo III SEC | RSP 025-80MHz 13:13 a 13:14 |
| 7 Sept | 14:22 | C1.7 | | XRA 14:22 a 14:30 |
| 7 Sept | 17:41 | X17.1 | Tipo II SEC | XRA 17:17 a 18:03 RSP 17:42 a 17:50 25 a 180 MHz |
| 8 Sept | 14:47 | C1.9 | | XRA 14:49 a 14:56 |

Tabla 2
(continuación)

| FECHA | INICIO DE LA SEÑAL GIMNASIO CAMPESTRE . T.U. | SEÑAL RELACIONADA CON DESTELLO | TIPO DE EXPLOSIÓN | EVENTOS SOLARES PUBLICADOS POR SEC. T.U. |
|---------|--|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| 8 Sept | 16:02 | C4.2 | | XRA 16:01 a 16:19 |
| 14 Sept | 15:44 | B8.3 | | XRA 15:44 a 15:54 |
| 15 Sept | 20:37 | C1.5 | Tipo III Reportado por Radio Jove | RSP 20:38 a 20:40 18 a 57 MHz |
| 15 Sept | 21:53 | C3.8 | | XRA 21:56 a 22:05 |
| 22 Sept | 14:24 | B1.2 | | XRA 14:27 a 14:35 |
| 4 Oct | 19:23 | B5.4 | | XRA 19:23 a 19:32 |
| 31 oct | 16:30 | B8.7 | Grupo de señales Tipo III | XRA 16:30 a 16:59 |
| 15 Nov | 15:19 y 15:23 | B4.1 y C2.0 | Dos destellos continuos | XRA 15:19 a 15 :25 XRA 15:25 a 15:35 |
| 15 Nov | 17:22 | M1.4 | | XRA 17:22 a 18:04 |
| 15 Nov | 18:10 | Burst | Origen desconocido | |
| 15 Nov | 21:09 | C2.3 | | XRA 20:50 a 21:12 |
| 16 Nov | 13:52 | B6.3 | | XRA 14:01 a 14:07 |
| 16 Nov | 22:02 | B3.4 | | XRA 22:02 a 22:19 |
| 22 Nov | 19:01 | B1.5 | | XRA 19:01 a 19:11 |
| 23 Nov | 16:07 | B1.9 | | XRA 16:07 a 16:14 |
| 23 Nov | 18:51 | B1.3 | | XRA 18:51 a 9:04 |
| 23 Nov | 20:49 | B1.2 | | XRA 20:49 a 20:54 |
| 24 Nov | 16:08 | Sin destello | | RSP Tipo III 30 – 153 MHz |
| 25 Nov | 13:53 | B1.6 | | XRA 13:53 14:23 |
| 29 Nov | 17:35 | C4.0 | Final del destello | XRA 16:38 a 17:33 |
| 02 Dic | 20:35 | M1.0 | Tipo III | XRA 20:01 a 20:52 |
| 07 Dic | 19:10 | B5.5 | | XRA 18:41 a 19:10 |
| 13 Dic | 17:03 a 17:05 | Sin destello | Origen desconocido | Tipo III/1 |
| 20 Dic | 17:57 a 17:58 | Sin destello | Señal antes de destello B1.3 | |