

Caracterización de los radio eventos solares con estructura temporal fina. Casos de estudio: eventos del 8 de febrero y el 9 de julio de 1982

Adolfo L. Méndez Berhondo ⁽¹⁾, Ramón E. Rodríguez Taboada ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No.2906, La Lisa, C. Habana, CP 11600, Cuba.

Recibido: enero-octubre, 2005	Aceptado: noviembre, 2005
-------------------------------	---------------------------

Resumen

En este trabajo se analiza la estructura temporal de los radio-eventos impulsivos de muy corta duración a través de una caracterización de los perfiles que presentan en las longitudes de ondas de radio en que fueron observados. Para este estudio los radio-eventos fueron separados en eventos impulsivos de banda estrecha (eventos que se observaban en sólo una de las frecuencias de observación analizadas) e impulsivos de banda ancha (eventos que se observaban en al menos dos frecuencias simultáneamente). Los parámetros analizados fueron la impulsividad (aumento de la intensidad por unidad de tiempo), la duración y la intensidad. Un aspecto analizado, y que reviste gran importancia para la interpretación de la génesis de este tipo de eventos, fue la relación entre la intensidad de los mismos con la intensidad del fondo de radioemisión sobre el cual ellos se presentan. Las observaciones fueron realizadas por el radio polarímetro multicanal de la Estación Basovizza del Observatorio Astronómico de Trieste en las frecuencias de 235 MHz, 325 MHz y 408 MHz con una resolución temporal de 30 Hz (30 mediciones por segundo). Fueron seleccionados los eventos del 08 de febrero de 1982 y 09 de julio de 1982. El estudio fue realizado analizando estos dos casos independientemente debido a las características de cada caso.

Palabras clave: Física solar.

Abstract

This study is related to the fine temporal structures (sub-second events with characteristic time $t < 10^{-1}$ seconds) of solar flares radio emission. In this work the temporary structure of the impulsive radio-events of very short duration are analyzed. The impulsive radio-events were separated in impulsive events of narrow band (events observed in single frequency) and impulsive events of wide band (events observed in at least two frequencies simultaneously). In both case we considered only events with more than 100 solar flux unit. The observations used were provided by the multichannel polarimeter of the Station Basovizza of the Trieste Astronomical Observatory in 237, 327, and 408 MHz, with a temporal resolution of 30 Hz (30 measurements by second). We selected the 08 February 1982 and 09 July 1982 solar radio bursts. The analyzed parameters were the impulsiveness (increase of the intensity by unit of time), the duration and the intensity. An important analyzed aspect for the interpretation of the genesis of this type of events was the relationship between the intensity of the impulsive radio events and the intensity of the background radioemission continuum on which they are presented. The study was carried out analyzing these two cases independently due to the characteristics of each case.

Key words: Solar physics.

Introducción

En este trabajo se analizan algunas características de los radio eventos solares con estructura temporal fina (tiempo característico $t < 10^{-1}$ segundos). Este tipo de eventos incluye los llamados spikes, pulsaciones, disminuciones impulsivas en la intensidad de la radioemisión (anti-spikes), etc. En particular, los spikes son eventos con una duración característica menor de 10^{-1} s, una temperatura de brillantéz excepcionalmente alta ($T_B \approx 1015$ K) y un muy estrecho ancho de banda espectral (2-15 MHz) que son producidos por mecanismos de ciclotrón maser. Este tipo de evento fue reportado por primera vez en la literature por Droge and Riemann, 1961; Elgaroy, 1961; y De Groot, 1962, referidas a observaciones en longitudes de onda métricas.

Las propiedades observadas en este tipo de eventos apuntan hacia una interpretación de los eventos individuales como micro flares, y la presencia de un gran número de estos eventos individuales durante el proceso de la explosión (flare) apunta por su parte hacia la idea de un proceso de fragmentación en la liberación de energía durante la evolución del flare. Las investigaciones están encaminadas a esclarecer si esta fragmentación es producto de propiedades intrínsecas del propio mecanismo de generación de la radioemisión o un resultado secundario de una fragmentación en la estructura de la fuente de radioemisión asociada al flare (Fleishman and Melnikov, 1998). Aún no existe un modelo capaz de reproducir todas las características y propiedades observadas de los mismos.

Materiales y métodos

Las observaciones fueron obtenidas del Observatorio Astronómico de Trieste, Estación Basovizza, en las frecuencias de 237, 327, y 408 MHz, con una resolución temporal de 30 Hz (intervalo de cifrado de 30 Hz equivalente a 30 mediciones por segundo). Fueron seleccionados los radio-eventos del 08 de febrero de 1982 y del 09 de julio de 1982. Los intervalos de observación seleccionados de muestran en la tabla 1. Se consideraron sólo aquellos eventos impulsivos que presentaran una intensidad mayor de 100 unidades de flujo.

La inspección visual de la data muestra eventos impulsivos de corta duración (tiempo característico $t < 10^{-1}$ s) que se presentan simultáneamente en más de una frecuencia. Toda vez que este tipo de eventos impulsivos de muy corta duración se asocian a eventos de muy corto ancho de banda espectral (< 10 MHz), se consideró oportuno separar los eventos impulsivos estudiados en dos grupos: un grupo que incluye a los eventos impulsivos de muy corta duración observados en sólo una frecuencia (a los que llamamos eventos impulsivos de banda estrecha) y otro grupo que incluye a aquellos que fueron observados simultáneamente en al menos dos frecuencias (a los que denominamos eventos impulsivos de banda ancha).

A partir del análisis de los patrones de polarización que presentaron ambos eventos, se estudiaron aquellos eventos impulsivos que presentaban un patrón de polarización diferente al patrón de polarización del continuo. Otro aspecto estudiado fue la relación entre algunos parámetros característicos de estos eventos: impulsividad, duración e intensidad.

Tabla 1. Fechas, frecuencias e intervalos de observación utilizados.

<u>Fecha</u>	<u>Frecuencias</u>	<u>Intervalos</u>
08 febrero 1982	237 MHz, 327 MHz, 408 MHz	12:46:01 U.T. – 12:54:40 U.T.
09 julio 1982	237 MHz, 327 MHz, 408 MHz	07:35:01 U.T. – 07:40:43 U.T.

Resultados y discusión

Los mecanismos de generación generalmente asociados con eventos impulsivos de muy corta duración, son mecanismos de origen plasmáticos, donde la cantidad de energía que es irradiada está relacionada con la razón de crecimiento de la inestabilidad del plasma. Por esto podemos asumir que la impulsividad del evento es una medida de esta razón de crecimiento de la inestabilidad del plasma. Teniendo en cuenta esto, un aspecto analizado en este estudio fue la posible relación entre la impulsividad de estos eventos de muy corta duración y otros parámetros que lo caracterizan (duración e intensidad).

En la Fig. 1 se muestra la distribución de la impulsividad vs. duración de los eventos impulsivos de banda estrecha para los radio eventos del 8 de febrero y del 9 de julio de 1982. En el caso del evento del 8 de febrero, la distribución parece indicar la existencia de dos poblaciones con diferentes distribuciones: una lineal y otra según una ley de potencia; en ambas, la impulsividad decae con la duración. En cambio, en el caso del evento del 9 de julio, no se aprecia ninguna dependencia. En el caso de los eventos impulsivos de banda ancha, el análisis tampoco arrojó un comportamiento claro.

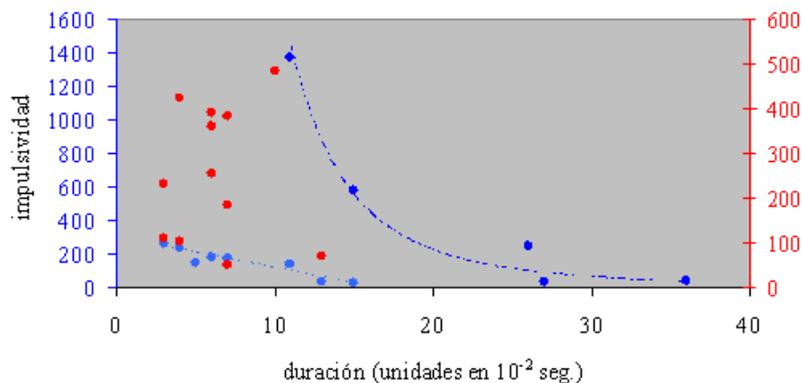


Fig. 1. Distribución de la impulsividad vs. duración de los eventos impulsivos de banda estrecha para los radio eventos del 8 de febrero (en azul) y del 9 de julio (en rojo) de 1982

Por otra parte, en la Fig. 2 se muestra la distribución de la impulsividad vs. duración de los eventos impulsivos de banda ancha en la frecuencia de 237 MHz. Se puede apreciar que para el evento del 8 de febrero, la distribución sugiere una dependencia lineal positiva, entre tanto, para el evento del 9 de julio la tendencia es a disminuir. Esto indica que no es evidente que los eventos más impulsivos presenten siempre una duración mayor.

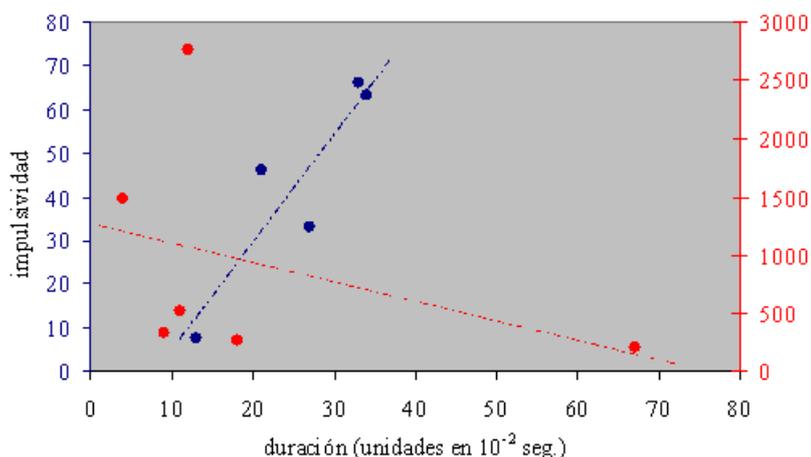


Fig. 2. Distribución de la impulsividad vs. duración de los eventos impulsivos de banda ancha para los radio eventos del 8 de febrero (en azul) y del 9 de julio (en rojo) de 1982 en la frecuencia de 237 MHz

Igualmente, del análisis de la posible relación entre la impulsividad de estos eventos y la intensidad de los mismos, no se obtuvieron evidencias claras que indicaran que exista una dependencia directa entre ambas.

Un aspecto al que se le prestó especial atención fue a la presencia de absorciones en la intensidad de la radioemisión con valores y tiempos característicos de muy corta duración ($t \sim 0.2$ segundos) del orden de los eventos impulsivos. De la inspección de los perfiles de ambos radio eventos, se encontraron absorciones en la intensidad con valores y tiempos característicos del orden de los eventos impulsivos reportados en la literatura como dips o anti-spikes (Fleishman and Melnikov, 1998). Los mismos fueron encontrados sólo en el caso del evento del 9 de julio de 1982 únicamente en la frecuencia de 408 MHz (Fig. 3). Es notorio que estos dips presentaron una polarización 100 % derecha (Fig. 4).

Esto fue interpretado como resultado de un fenómeno de plasmático de resonancia magneto-iónica, donde la radioemisión polarizada impacta en una región cuyo grosor óptico para la onda (modo ordinario o extraordinario) podría estar en resonancia con ella, donde el grosor óptico sería mayor que uno, impidiendo la propagación de la onda.

Por otra parte, en las otras dos frecuencias, 327 y 237 MHz del propio día 9 de julio, fueron observados igualmente eventos con una polarización 100 % derecha, pero asociados no a dips, sino, eventos impulsivos de banda estrecha (Fig. 5). La presencia de estos eventos impulsivos con una polarización 100 % derecha apoya la idea de la existencia de mecanismos de resonancia magneto-iónica. Estos casos son indicativos igualmente, siguiendo el mismo razonamiento, de una emisión que proviene de la región que es opaca para armónicos de su frecuencia fundamental en la cual podríamos observar los dips o absorciones correspondientes a estos eventos.

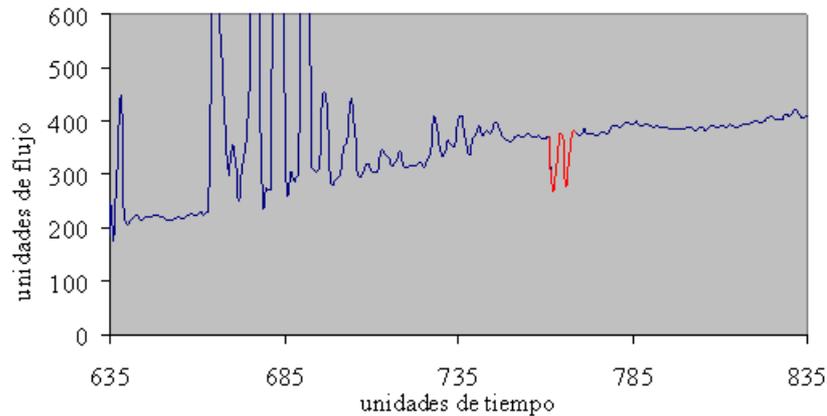


Fig. 3. Segmento del perfil del evento del 9 de julio de 1982 en la frecuencia de 408 MHz. Se puede apreciar las absorciones -dips (trazado en rojo)- en la intensidad de la radioemisión de muy corta duración ($t \sim 0.2$ s) observados sólo en esta frecuencia.

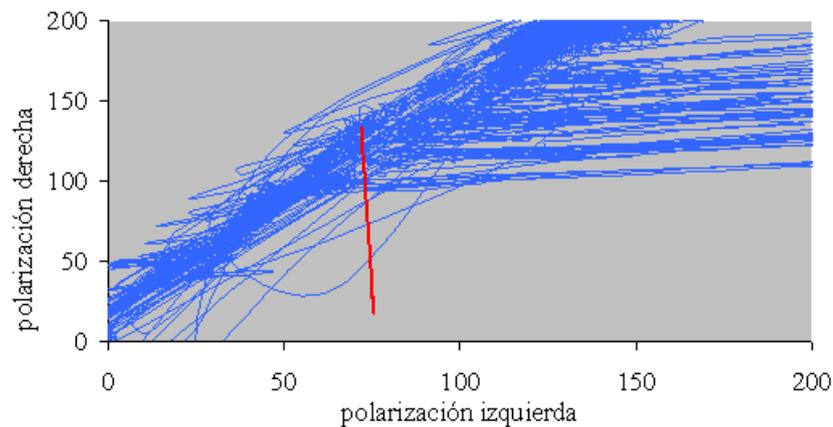


Fig. 4. Segmento del patrón de polarización del evento del 9 de julio de 1982 en la frecuencia de 408 MHz. Se muestra (en trazo rojo) que las absorciones -dips- en la intensidad de la radioemisión de muy corta duración observados sólo en esta frecuencia, presentaron una polarización 100 % derecha.

Una cuestión crucial relativa a la naturaleza de este tipo de eventos impulsivos de muy corta duración o spikes, es la posible relación entre estos eventos impulsivos de corta duración y el fondo de radioemisión o continuo sobre el cual se presentan. La generación de los spikes se cree debida a electrones rápidos no térmicos generados durante la fase primaria del proceso de liberación de la energía en el flare. Debido a esto, es de esperar una relación entre las propiedades de estos eventos impulsivos de muy corta duración ($t < 10^{-1}$ s) y las características de las emisiones secundarias no térmicas tal como el continuo sobre el cual se presentan (Fleishman and Melnikov, 1998). En relación con esto, en Fleishman et al. (2003) se analiza la correlación entre spikes observados en la banda decimétrica y el continuo.

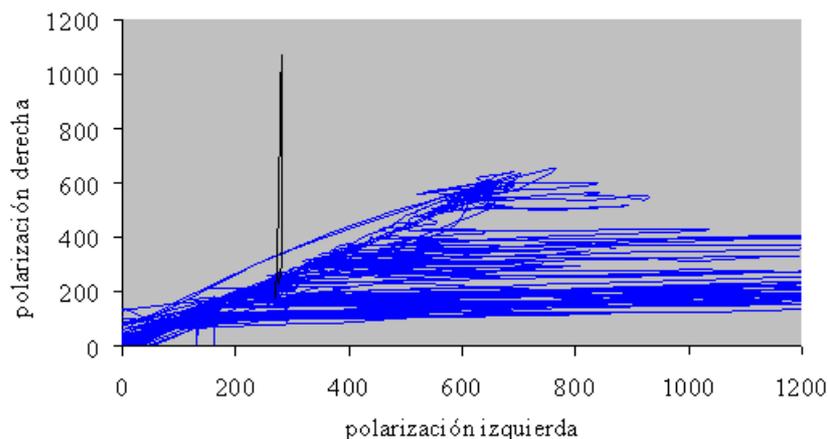


Fig. 5. Segmento del patrón de polarización del evento del 9 de julio de 1982 en la frecuencia de 327 MHz. Se observa un evento con polarización 100 % derecha (trazo en negro), pero no asociado a dips, sino que son eventos impulsivos de banda estrecha

En el presente trabajo, un aspecto de este problema es analizado como sigue. Los diagramas de polarización de los eventos del 8 febrero y del 9 julio de 1982 difieren sustancialmente. Mientras que en caso del 8 febrero de 1982, tanto la emisión de fondo o del continuo, como los eventos impulsivos (de banda estrecha y banda ancha) presentan el mismo patrón de polarización: la razón de polarización derecha e izquierda es siempre de un valor cercano a 0.8 (Fig. 6). Sin embargo, en el caso del 9 julio de 1982, es remarcable la presencia de eventos impulsivos cuyo patrón de polarización difiere del patrón de polarización de la emisión de fondo o continuo (Fig. 7).

De la Fig. 8 se puede inferir que existe una relación inversa entre la intensidad de los eventos impulsivos cuyo patrón de polarización difiere del patrón de polarización del nivel de emisión de fondo o continuo sobre el cual se presentan, y la intensidad de este nivel de fondo.

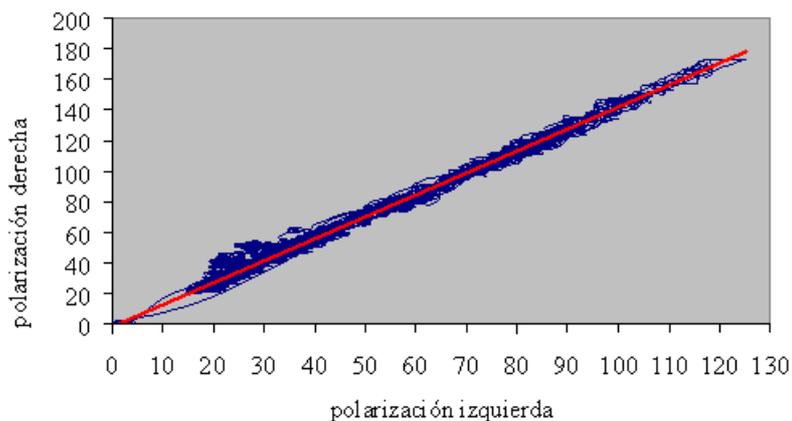


Fig. 6. Patrón de polarización del evento del 8 de febrero de 1982 en la frecuencia de 408 MHz. Es notorio que tanto la emisión de fondo o del continuo, como los eventos impulsivos (de banda estrecha y banda ancha) presentan el mismo patrón de polarización. La razón de polarización izquierda-derecha es siempre de un valor cercano a 0.8

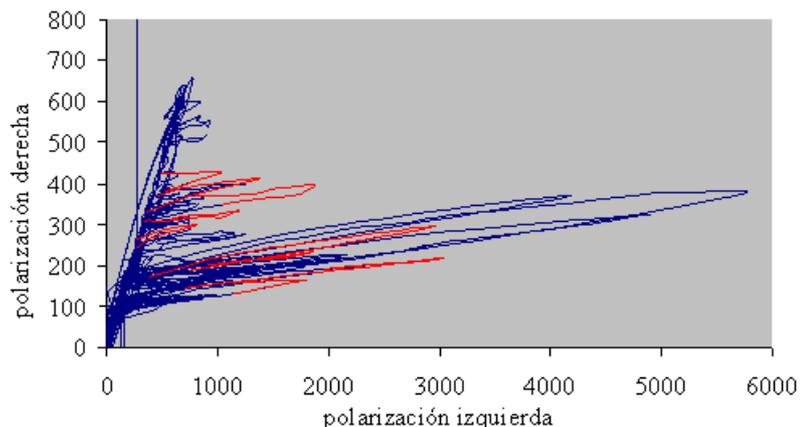


Fig. 7. Patrón de polarización del evento del 9 de julio de 1982 en la frecuencia de 327 MHz. Se puede apreciar (con trazo rojo) la presencia de eventos impulsivos cuyo patrón de polarización difiere del patrón de polarización de la emisión de fondo o continuo.

Este es un resultado que consideramos muy importante. Los trabajos referidos en la literatura a este respecto, o sea, a la posible relación entre los eventos impulsivos de muy corta duración y su nivel de fondo, están focalizados fundamentalmente a analizar la relación entre los clusters o grupos en los cuales se suelen presentar los spikes y su nivel de fondo. Aquí nosotros analizamos la relación entre la intensidad, no del cluster de spikes, sino la intensidad de cada evento impulsivo de banda estrecha y su nivel de fondo o continuo.

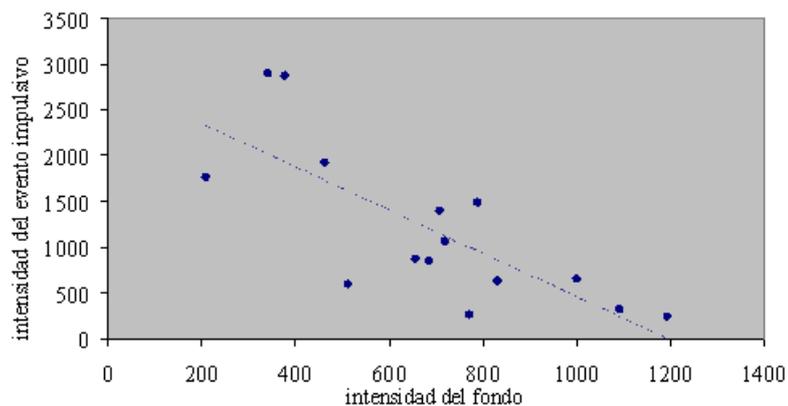


Fig. 8. Relación entre las intensidades del fondo de la radioemisión y los eventos impulsivos en la frecuencia de 327 MHz para el radio evento del día 9 de julio de 1982. Se puede inferir que existe una relación inversa entre la intensidad de los eventos impulsivos cuyo patrón de polarización difiere del patrón de polarización del nivel de emisión de fondo sobre el cual se presentan, y la intensidad de este nivel de fondo.

Conclusiones

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de los eventos impulsivos de muy corta duración (tiempo característico $t < 10^{-1}$ s) asociados a la actividad explosiva de los días 8 de febrero y 9 de julio de 1982. Para el análisis se consideraron los eventos impulsivos individualmente, y se separaron en dos grupos. Un grupo incluye a los eventos impulsivos que tenían lugar en sólo una de las frecuencias de observación; a estos los denominamos eventos impulsivos de banda estrecha. El otro grupo incluye a los eventos impulsivos que fueron observados en más de una frecuencia, y se les denominó eventos impulsivos de banda ancha. Para caracterizar estos eventos impulsivos, se consideraron la impulsividad, la duración, la intensidad, así como los diagramas de polarización que presentaban.

Los eventos impulsivos de muy corta duración –spikes– generalmente tienden a presentarse en clusters o grupos de corta duración sobre el fondo de radioemisión o continuo, que tiene una duración mayor (del orden de minutos). Un aspecto no resuelto reportado en la literatura es si estos spikes forman un grupo homogéneo. Por esta razón consideramos oportuno el estudio de los eventos impulsivos individualmente a partir de algunos de sus parámetros característicos: impulsividad, duración e intensidad. El análisis de la posible relación entre estos parámetros no arrojó alguna evidencia sólida que sustente la existencia de una dependencia entre los mismos.

Otro aspecto importante no resuelto es el referido a la correlación entre estos eventos impulsivos de muy corta duración y el fondo de radioemisión o continuo sobre el cual ellos se presentan. Este aspecto ha sido menos analizado que otros referidos al continuo de radioemisión. Algunos trabajos apuntan a que este aspecto reviste una importancia capital en la naturaleza de estos eventos. Referido a esto, en este trabajo analizamos la posible relación entre los eventos impulsivos de banda estrecha individuales y la intensidad del nivel de fondo o continuo sobre el que se presentan, encontrándose evidencias que indican una relación inversa entre la intensidad de los eventos impulsivos que presentan un patrón de polarización diferente del patrón de polarización del continuo, y la intensidad de este continuo sobre el cual aparecen.

Agradecimientos

Los autores agradecen al staff del Observatorio Astronómico de Trieste-Estación Basovizza, por proveer la data utilizada en este trabajo, y especialmente al Dr. Paolo Zlobec por las sugerencias.

Referencias

- De Groot T. (1962): *Int. Bull. Solar Radio Obs. Europe*, 9, 3.
Droge F., y Riemann P. (1961): *Int. Bull. Solar Radio Obs. Europe*, 8, 6.
Elgaroy O. (1961): *Astrophys. Norv.*, 7, 235.
Fleishman G. D., y Melnikov V. F. (1998): *Physics-Uspekhi*, 41, 12, 1157.
Fleishman G. D., Gary D. E., y Nita G. M. (2003): *Astrophys. J.*, 593, 571.