

## **LONGITUDES CARACTERISTICAS DE LAS REGIONES ACTIVAS SOLARES: UN ANALISIS PRELIMINAR A PARTIR DE LAS FLUCTUACIONES DE LA RADIOEMISION**

Adolfo L. Méndez Berhondo <sup>(1)</sup>, Ramón E. Rodríguez Taboada <sup>(1)</sup>

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

Recibido: enero-octubre, 2000	Aceptado: noviembre, 2000
-------------------------------	---------------------------

### **Resumen**

Utilizando las observaciones regulares de la Estación Radioastronómica de la Habana (estación CUBA) fueron analizadas las fluctuaciones de la componente S y del nivel de fondo de las tormentas de ruido. Ambas fueron interpretadas como oscilaciones de la estructura magnética debidas a un flujo caliente descendente. En consecuencia, fueron estimadas las respectivas longitudes características de cada estructura magnética. Se estimó también el ángulo de pitch.

**Palabras clave:** Astronomía, Física Solar, Magnetismo

### **Abstract**

In this paper using the observations at station CUBA, both S component and noise storm background fluctuations are analyzed and interpreted as due to a downward flux of heated exciting eigenmode oscillations of vertical magnetic tubes anchored to the photosphere associated to the active region. In consequent, the corresponding characteristic length of the magnetic structure of the active region were estimated. The pitch angle was estimated too.

**Key words:** Astronomy, Solar Physics, Magnetism

## 1.-Introducción

Las observaciones del continuo de la radioemisión solar son empleadas fundamentalmente para el estudio de las condiciones físicas y de los procesos ondulatorios que tienen lugar en la atmósfera solar, y en particular de aquellos que ocurren en las regiones activas a distintas escalas espacio-temporales.

Las investigaciones encaminadas a la búsqueda de fluctuaciones del continuo (llamado también nivel de fondo) se han realizado principalmente en la banda centimétrica sobre el nivel de la llamada componente de variación lenta (componente S) teniendo como hipótesis de trabajo que las fluctuaciones de la radioemisión en esta banda reflejan inestabilidades predestellantes en la baja corona, que pueden dar origen a grandes destellos (Kobrin et al. 1978). No obstante, toda vez que el nivel de fondo de las tormentas de ruido (TR) solares ha sido interpretado como la presencia en banda métrica de la componente de variación lenta observada en banda centimétrica (Zheleznyakov 1970) las fluctuaciones en esta banda, en principio, deben ser también consideradas en una visión conjunta como parte de un mismo fenómeno. En este sentido, se ha podido establecer que durante las tormentas de ruido, la emisión del continuo muestra fluctuaciones (Elgaroy 1977).

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Fluctuaciones de la componente S

Para analizar las fluctuaciones de la componente S se utilizaron las observaciones en las frecuencias de 15 000, 9 500 y 6 700 MHz de la Estación Radioastronómica de la Habana (ERH) previas a la ocurrencia de un gran destello, así como las del propio día en que este tuvo lugar. El destello ocurrió el día 19 de Octubre de 1989 a las 12:32 horas UT clasificado como 4B / X 13, el cual se asoció al grupo No. 401 (Datos Solares No. 10, 1989). De igual forma se escogió a modo de comparación y teniendo en cuenta la posibilidad de fluctuaciones de origen atmosférico, un día cercano en el que no se hubiese reportado actividad solar significativa en estas frecuencias. El día escogido para este control fue el 04 de Octubre de 1989. En el procesamiento de la data fueron eliminados de los registros los eventos que tuvieron lugar en los intervalos analizados. En la tabla I se muestra los intervalos de observación utilizados.

**Tabla I.** Intervalos de observación utilizados en el análisis de las fluctuaciones de la componente S.

Día	Comienzo observación UT	Fin observación UT	Frec. GHz		
04	15:20	21:00	6.7	9.5	15.0
16	13:00	17:40	6.7	9.5	15.0
17	13:10	17:10	no obs.	9.5	15.0
18	13:00	18:05	6.7	9.5	no obs.
19	18:30	21:30	6.7	9.5	15.0

### 2.2 Fluctuaciones del nivel de fondo de las Tormentas de Ruido

En el caso del análisis de las fluctuaciones del nivel de fondo de las TR solares fueron utilizados igualmente las observaciones de la ERH, esta vez en la banda de 220 MHz en el intervalo de observación de las 14:00 a las 20:00 horas UT.

Debido a que la radiación de la TR se concentra en un determinado cono, cuyo ángulo depende de la altura de la fuente, y con una superficie lateral impenetrable, por lo que la radiación no puede salir a través de ella, se escogieron días en que por el meridiano central, o muy cerca de este, estuviese cruzando una sola región activa. Fueron seleccionados los días 11 y 18 de Enero de 1978, donde hubo reporte de TR. La TR del día 11- 01-78 fue asociada al grupo No. 8 (Datos Solares, No. 1, 1978), cuyo paso por el meridiano central ocurrió el día 12-01-78. La TR del día 18-01-78 se asoció al grupo No.9, que tuvo su paso por el meridiano central el propio día 18. Para obtener el nivel de fondo de la TR se procedió a trazar una curva envolvente inferior al registro, que elimina de esta manera los picos debidos a los bursts tipo I y/o III.

Al ser considerado por muchos que el nivel de fondo de las TR es la presencia en banda métrica de la componente S, creímos oportuno escoger días en que el nivel de fondo no excediese de forma apreciable el valor de la componente de base para esta banda.

En ambos casos las realizaciones fueron cifradas con un intervalo de digitalización de 30 segundos, y fueron calculados los respectivos espectros de potencia mediante el uso de la Transformada Rápida de Fourier.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Fluctuaciones de la componente S

Los espectros de potencia para las tres frecuencias el día de control (04-10-89, día tranquilo) resultaron ser semejantes, mostrando un máximo en el período del orden de los 60 minutos. La gran similitud entre los tres espectros obtenidos indica que las fluctuaciones espurias producto de inestabilidades propias en los receptores no son perceptibles en el rango de períodos de estudio, ya que las observaciones son realizadas con radiotelescopios independientes. Por otra parte, aun cuando no se llevó a cabo un control especial para excluir la influencia de la atmósfera terrestre, el comportamiento de los espectros (su evolución temporal en cada una de las frecuencias) indica el origen esencialmente solar de las variaciones analizadas. En ese mismo sentido, se manifiesta el hecho de que los valores obtenidos están acordes a los reportados por Kobrin et al. (1976) en un experimento específico para excluir la influencia atmosférica. De hecho puede decirse que la influencia de la atmósfera en el espectro del día de control no parece ser significativa.

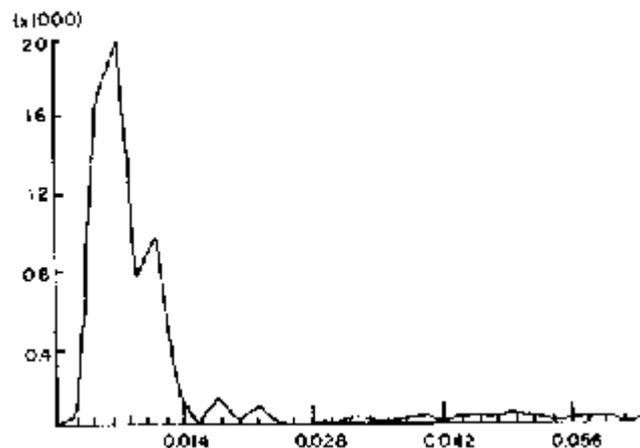
En los espectros calculados se observa que el máximo está desplazado hacia los 80 minutos respecto a los 60 minutos verificados el día de control. Además, los espectros calculados presentan un máximo secundario sobre los 20 minutos (figura 1).

Se calcularon además las diferencias de fases entre las diferentes frecuencias a través del análisis de las funciones de cross-correlación. Este análisis mostró que las señales presentan un mismo desfase de 10 minutos entre cada una de ellas, estando siempre más adelantada la señal de 6 700 MHz y más atrasada la de 15 000 Mhz. La diferencia de fase observada puede ser explicada asumiendo un descenso de flujo de calor, provocando un aumento de temperatura del nivel girorresonante según su disposición en altura en la estructura y la consecuente dilatación del tubo magnético provocando oscilaciones radiales en la estructura.

Las fluctuaciones con períodos del orden de los 80 y 20 fueron en consecuencia interpretadas como oscilaciones radiales de una típica estructura magnética bipolar en una región activa. Entonces, según (Vrsnak et al. 1990):

$$w_n^2 + d^2 = k^2 v_a^2, \quad w_0 \approx v_a/R$$

donde  $w_n$  es la frecuencia del modo excitado,  $d$  es el factor de damping,  $v_a$  es la velocidad de Alfvén ( $\approx 300$  Km/s) y  $R$  es el radio de la estructura, obteniéndose que a los periodos de 80 y 20 minutos corresponden estructuras con radio de  $6.27 \times 10^4$  y  $4.30 \times 10^4$  km respectivamente. Para el factor de damping se tomó el valor de  $4.6 \times 10^{-3} s^{-1}$  (Vrsnak et al. 1990). Estos valores de  $R$  son consistentes con los valores de campo magnético  $B$  y densidad de electrones  $N_e$  característico de las regiones activas. A partir entonces de la intensidad del campo magnético y la concentración electrónica puede calcularse el 'torcimiento' de la estructura magnética (ángulo de pitch).



(a) (b)

**Fig. 1.** Periodogramas correspondientes a la frecuencia de 9 500 MHz para los días 16 (a) y 18 (b) en los cuales puede se puede observar el desplazamiento de la componente del período principal de los 60 minutos a los 80 minutos, así como el incremento de la importancia relativa de la componente sobre los 20 minutos. Las abscisas están referidas a ciclos/intervalo de cifrado. Las ordenadas están referidas a amplitud en unidades arbitrarias.

Para la estructura del orden de los 60 000 km se estimó un campo magnético en la base de 2 500 Oe y que  $N_e$  estaba aumentada hasta  $0.2 \times 10^{10} cm^{-3}$ , obteniéndose un ángulo de pitch de 78 grados. Para la otra estructura se tomó un campo de 1 200 Oe con  $N_e$  de  $0.5 \times 10^{10} cm^{-3}$ , calculándosele un ángulo de pitch de 85 grados. Los valores obtenidos aquí concuerdan con las mediciones del ángulo de pitch realizadas por Vrsnak 1990, o sea la estructura

menos extendida ( $R = 43\,000\text{ km}$ ) muestra un ángulo de pitch superior. Los cálculos están resumidos en la tabla II.

**Tabla II.** Resumen de los cálculos de las longitudes características y los correspondientes ángulos de pitch.

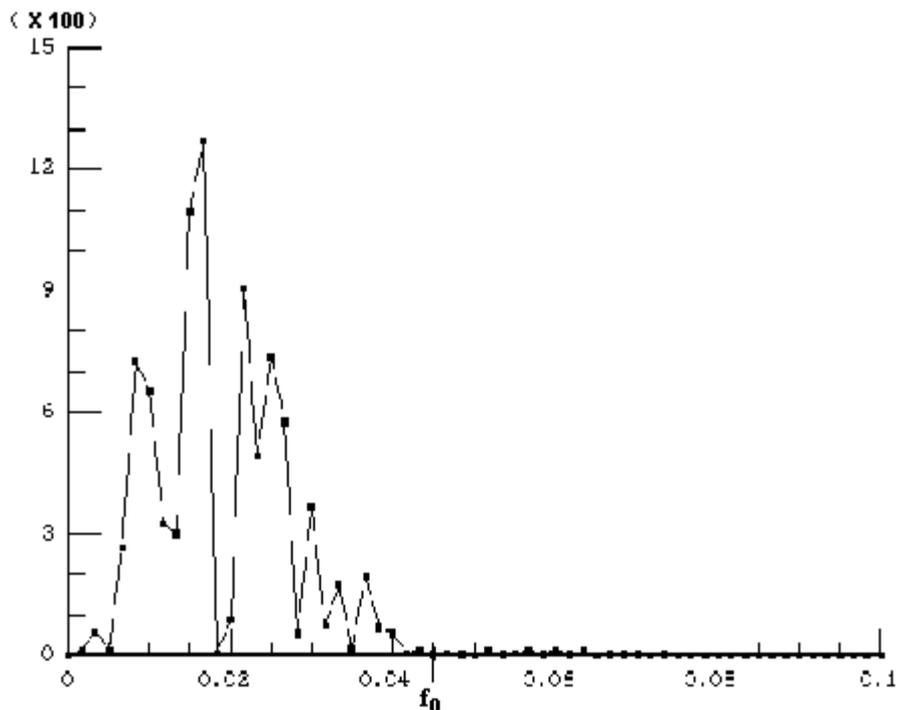
Período (min.)	Longitud característica (km)	Angulo de pitch (grados)
80	$6.27 \times 10^4$	78
20	$4.30 \times 10^4$	85

El hecho de que los periodos fundamentales de las fluctuaciones de la componente S los días anteriores al destello, se desplazaron de 60 a 80 minutos, puede ser explicado cómo debido al aumento de la longitud característica de la estructura, cuyos campos magnéticos penetran más profundamente en la corona. Por otra parte la aparición de los periodos de 20 minutos sería el resultado del surgimiento de una nueva estructura magnética. La idea de suponer a los 20 minutos como un armónico fue desechada debido a que las características geométricas de la estructura no varían sensiblemente y sería necesario introducir un nuevo factor perturbador de la estructura para explicar su aparición.

### 3.2 Fluctuaciones del nivel de fondo de las Tormentas de Ruido

Aquí hacemos extensivo el estudio de las fluctuaciones de la radioemisión solar a capas más externas de la corona solar bajo las mismas hipótesis de trabajo, dentro de una visión conjunta de las fluctuaciones del nivel de fondo como parte de un mismo fenómeno.

Los periodogramas calculados se distinguen en primer lugar de los obtenidos para las fluctuaciones de la componente S por el hecho de que a partir de una cierta frecuencia la amplitud del espectro se hace cero, esto es, los espectros son más compactos (figura 2).



**Fig 2.** Periodograma del nivel de fondo de la TR del día 11-01-78. Las abscisas están referidas a ciclos/intervalo de cifrado. Las ordenadas están referidas a amplitud en unidades arbitrarias.

Estas fluctuaciones fueron igualmente interpretadas como oscilaciones de una estructura magnética bipolar en la región activa en cuestión, y en consecuencia se realizaron los cálculos correspondientes de las longitudes características de las estructuras. En la tabla III se muestran los resultados.

**Tabla III.** Resultados de los cálculos y características fotosféricas para cada grupo.

Caso	Area del grupo	Area mancha princ.	No. de manchas	Intensidad del campo (Oe)	R (km)
TR día 11 (grupo 8)	51	15	10	0.01	51 900
TR día 18 (grupo 9)	14	14	1	0.16	59 300

Nota: área del grupo y de la mancha principal en millonésimas de hemisferio visible.

Al verificar los resultados con las correspondientes características fotosféricas de cada región, se observa que la estructura de mayor longitud característica ( $R=59\ 300$  km) corresponde a la región menos extensa y compleja. Esta aparente contradicción puede ser explicada de forma cualitativa debido a que los valores de campo magnético difieren en un orden de magnitud entre ambas regiones: el grupo más pequeño y menos complejo (menor área del grupo y menor número de manchas) presenta sin embargo, un campo magnético mucho mayor, por lo que podemos inferir que su estructura penetra más profundamente en la corona.

Si comparamos estos resultados con los obtenidos en la primera parte en el estudio de la componente S, vemos que aquí se han determinado longitudes características menores, lo que pudiera parecer contradictorio a primera vista, pues los niveles de emisión de las TR se encuentran a alturas mucho mayores. Debemos aclarar inicialmente que estos resultados corresponden a dimensiones de las estructuras y no a las alturas de los niveles girorresonantes de emisión. En el caso de las fluctuaciones de la componente S previas a un destello en Ha, nos encontramos ante una región activa muy bien desarrollada, con campos magnéticos de hasta 3100 Oe que penetran muy profundamente en la corona y producen consecuentemente una estructura con longitudes características grandes y donde la emisión alcanza a todos los niveles girorresonantes, y la TR correspondiente tiene un nivel de fondo del orden de las 100 UF. En el caso de las fluctuaciones del nivel de fondo de las TR, la región activa está menos desarrollada, con campos magnéticos de menor intensidad, donde además no existen eventos en la banda centimétrica, sólo TR con niveles de fondo de relativa poca intensidad.

Por otra parte, el hecho de que los espectros calculados para el nivel de fondo de las TR se hagan cero a partir de cierta frecuencia  $f_0$ , puede estar relacionado con el hecho de que las estructuras con longitudes características menores que 30 000 km (valor que corresponde a  $f_0$ ) no alcancen los niveles de emisión para la frecuencia de 220 MHz.

Estos resultados muestran que, al menos para las TR de moderada intensidad, el estudio de las fluctuaciones del nivel de fondo, permite hacer inferencias acerca de las longitudes características de las regiones activas.

## Conclusiones

De este estudio de las fluctuaciones de la radioemisión solar en un amplio rango espacial (zona de transición cromosfera-corona y baja corona) puede concluirse, de forma preliminar, que:

1. Las fluctuaciones de la radioemisión, tanto en banda centimétrica como en banda métrica, pueden ser interpretadas cualitativamente dentro del mismo modelo de oscilaciones radiales de la estructura magnética en la región activa.
2. Las fluctuaciones de la radioemisión brindan información sobre las longitudes características de las estructuras magnéticas de la región activa.
3. Se obtuvo un estimado de la altura mínima por debajo de la cual la TR no perturba la frecuencia de 220 MHz.
4. Se comprobó que la caracterización fotosférica de la región activa es insuficiente para juzgar sobre la estructura de la región a nivel coronal.

A partir de estos resultados se considera conveniente proponerse además establecer si existe relación entre la intensidad de las fluctuaciones y la longitud característica de la región activa.

**Referencias**

- Elgaroy O. (1977): Solar Noise Storm, Pergamon Press, International Series in Natural Philosophy, Vol 90, 363pp  
Kobrin M.M.; V.V. Pakhomov; N.A. Prokofeya (1976): Solar Physics 50, 1, 113.  
Kobrin M.M.; A.I. Korshunov; S.I. Arbusov; V.V. Pakhomov; V.M. Fridman; Yu. V. Tikhomiroy (1978): Solar Physics 56 II 359.  
Vrsnak B.; V. Ruzdjak; R. Brajsa; F. Zloch (1990): Solar Physics, 127, 1, 119.  
Vrsnak, B. (1990) Solar Physics, 127, 1, 129.  
Zheleznyakov V.V. (1970) Radioemission of the Sun and Planets, Pergamon Press. International Series in Natural Philosophy Vol. 25, 697 pp.