

**EVOLUCION DE LOS PARAMETROS FISICOS DURANTE LA FASE TARDIA  
EN FULGURACIONES SOLARES DE DOS BANDAS**

**EVOLUTION OF PHYSICAL PARAMETERS DURING THE LATER PHASE IN  
SOLAR TWO-BAND FLARES**

C.H. Mandrini<sup>1</sup>, M.G. Rovira<sup>1</sup>, A.M. Hernández<sup>1</sup>  
y M.E. Machado<sup>2</sup>

1: Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET)

2: Centro Espacial San Miguel (CNIE)

**RESUMEN:** Con el objeto de estudiar la evolución espacial y temporal de los "loops" coronales que se observan durante las fulguraciones solares de dos bandas, se analizaron en detalle los eventos del 21 de mayo de 1980 a las 20:55 T.U. y del 6 de noviembre de 1980 a las 14:50 T.U. Se utilizaron los datos en rayos X en el rango 2.5-30 keV obtenidos por el Hard X-ray Imaging Spectrometer (HXIS) a bordo del satélite Solar Maximum Mission (SMM). Las isoterms para distintos tiempos fueron calculadas a partir del cociente del número de cuentas en las bandas de baja energía, utilizando el programa de predicción de conteo (CRPP). En los dos eventos se observó que las regiones más calientes son las que se encuentran a mayor altura, lo que es compatible con los modelos teóricos que predicen que la reconexión de líneas de campo magnético se producen a alturas cada vez mayores en la corona solar.

**ABSTRACT:** In order to study the spatial and temporal evolution of the post-flare coronal loops observed during two ribbon flares, we have analyzed in detail two events: May 21 1980, 20:55 U.T. and Nov. 6 1980, 14:50 U.T. We have used the set of X-ray (2.5-30 keV) data provided by the Hard X-ray Imaging Spectrometer (HXIS) aboard the Solar Maximum Mission (SMM) Satellite. The isotherms for different times have been obtained, from the count rates in the low energy bands, using the count rate prediction program (CRPP). In both events we have observed that the hottest regions lay at the greatest heights, which is compatible with the theoretical models that predict that the reconnection of opened magnetic fields lines proceeds from low to high altitudes in the solar corona.

## **OBSERVACIONES**

A partir de los datos en rayos X obtenidos por el Hard X-Ray Imaging Spectrometer (HXIS, van Beek y otros 1980) que voló a bordo del satélite Solar Maximum Mission (SMM), se analizaron las fulguraciones de dos bandas (también llamadas dinámicas) del 21 de Mayo de 1980 a las 20:53 TU y del 6 de Noviembre de 1980 a las 14:54 TU. El HXIS observó en las siguientes bandas de energía: B1:3.5-5.5 keV, B2:5.5-8 keV, B3:8-11.5 keV, B4:11.5-16 keV, B5:16-22 keV y B6:22-30 keV.

Las curvas de luz para ambos eventos correspondientes al rango de más alta energía se observan en la Figura 1. Las dos interrupciones en el evento del 6 de Noviembre se deben al pasaje del satélite por la Anomalía Sudamericana como así también al período de eclipse.

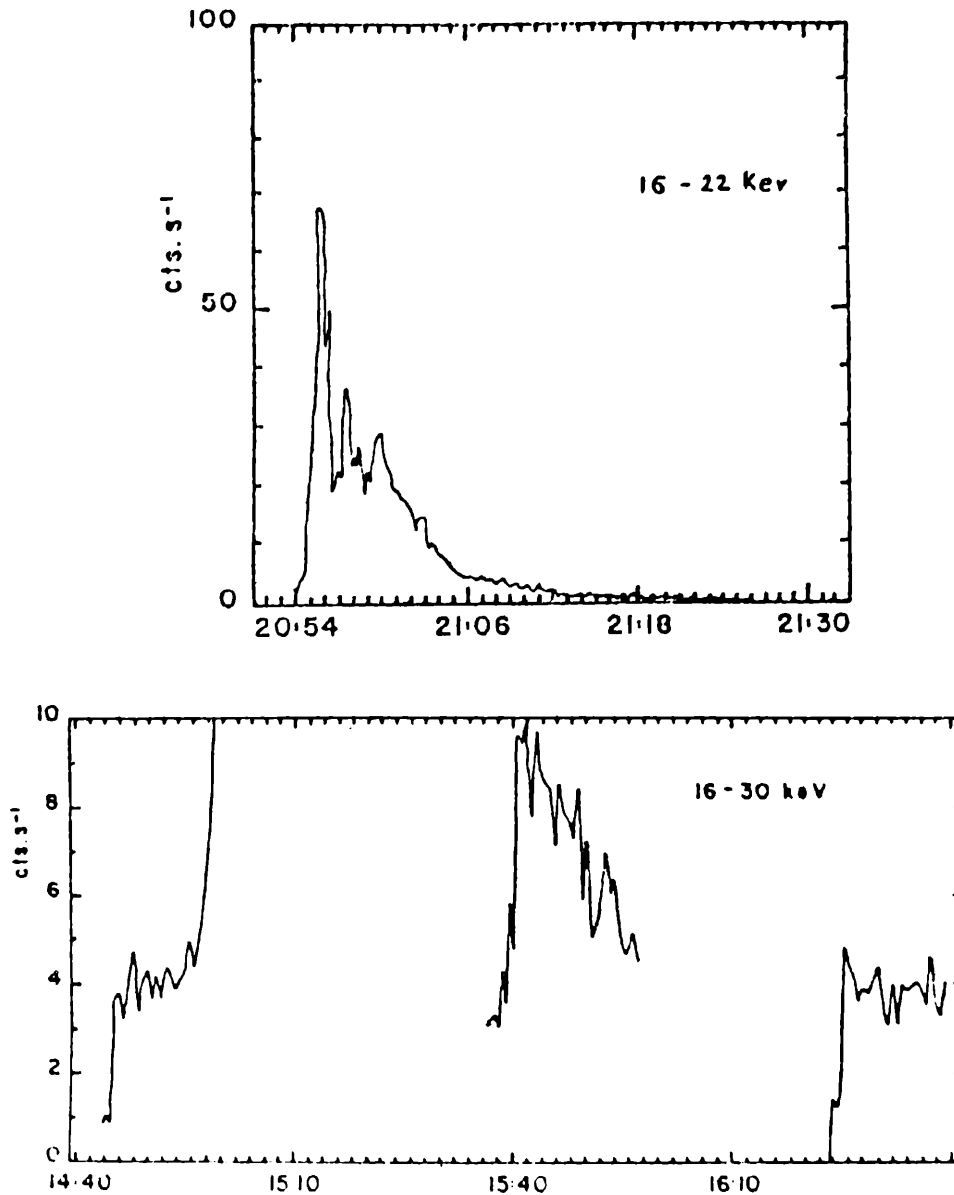


Figura 1: a) Intensidad en función del tiempo para la fulguración del 21 de Mayo.  
 b) Idem a) para la fulguración del 6 de Noviembre.

Ambas fulguraciones desarrollaron un importante sistema de "loops" creciente durante su fase gradual; en el caso del evento del 6 de Noviembre ubicado cerca del limbo solar Este, los "loops" se ven claramente en altura tanto en rayos X como en H $\alpha$  (Švestka y otros, 1987). En este trabajo nos dedicaremos especialmente al estudio de la evolución espacio-temporal de estas estructuras.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Del cociente del número de cuentas correspondiente a las bandas 1 y 3 del HXIS, se determinan las temperaturas y medidas de emisión de las distintas estructuras del evento usando el CRFP (Mewe y Gronenschild, 1981). En las isotermas calculadas a distintos tiempos posteriores a la fase impulsiva de la fulguración del 6 de Nov. (Figura 2), se nota que las zonas de más alta temperatura se ubican a alturas cada vez mayores en la corona solar y se distingue un enfriamiento gradual de las distintas regiones; siendo el núcleo de emisión en rayos X blandos (B1) el de menor temperatura.

Determinando la distancia entre las bases de los "loops" en H $\alpha$  (Švestka y otros, 1987) y las isotermas de mayor temperatura, se puede estimar la altura en función del tiempo para distintas estructuras magnéticas (Figura 3). En base a estos valores se obtiene una velocidad entre 12 y 20 km s<sup>-1</sup> y de  $\approx$  5 km s<sup>-1</sup>, para los intervalos de tiempo que se paran la primera y la segunda, y la segunda y la tercera isotermas, respectivamente. Estos resultados representarían la velocidad de propagación del fenómeno responsable del calentamiento observado en la parte superior de los "loops".

De las imágenes en rayos X se distinguen cuatro regiones (L1, L2, L3 y L4) cuyos parámetros físicos evolucionan independientemente, por lo que las identificamos como la parte superior de cuatro estructuras magnéticas. Estas zonas se ubican en la dirección SE del campo del HXIS y corresponden a alturas crecientes en la corona solar, siendo L1 la más cercana a la cromósfera. En las Figuras 4 y 5 se representan las temperaturas calculadas a partir de las cuentas en B1 y B3 y en B3 y B4 en función del tiempo para

L1, L2, L3 y L4. Se observa que las regiones más bajas alcanzan el máximo de temperatura y se enfrían antes que las más altas, tanto para B1/B3 como para B3/B4. Es también evidente que, para las cuatro estructuras, las mayores temperaturas corresponden a las más altas energías lo que indica la presencia de regiones localizadas de alta energía media.

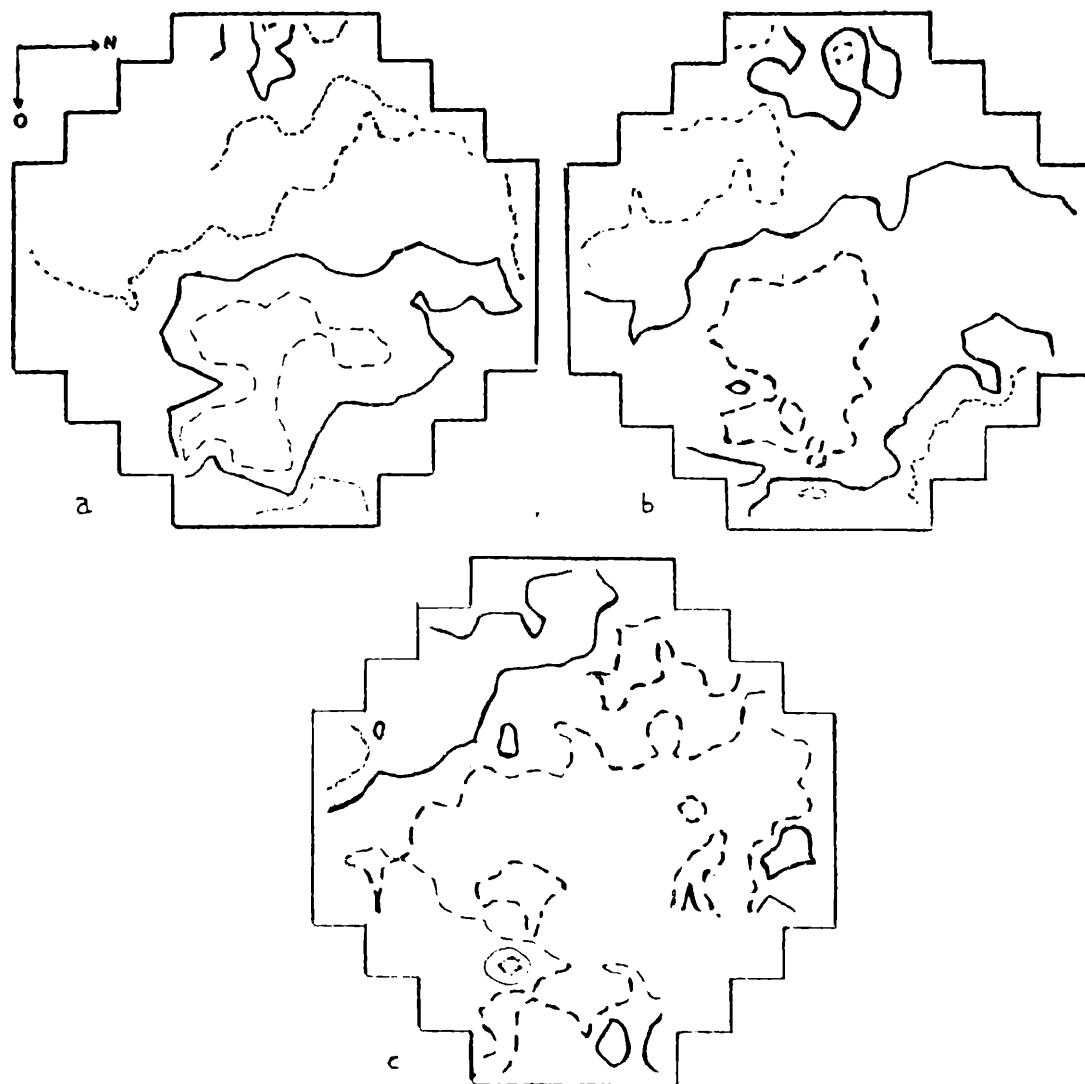


Figura 2: isotermas calculadas para la fulguración del 6 de noviembre a los siguientes tiempos: a) 15:40 T.U., b) 15:52 T.U. y c) 16:28 T.U. Las temperaturas graficadas son: (---)  $20 \cdot 10^6$  K, (- - - - -)  $16 \cdot 10^6$  K y (- - -)  $13 \cdot 10^6$ .

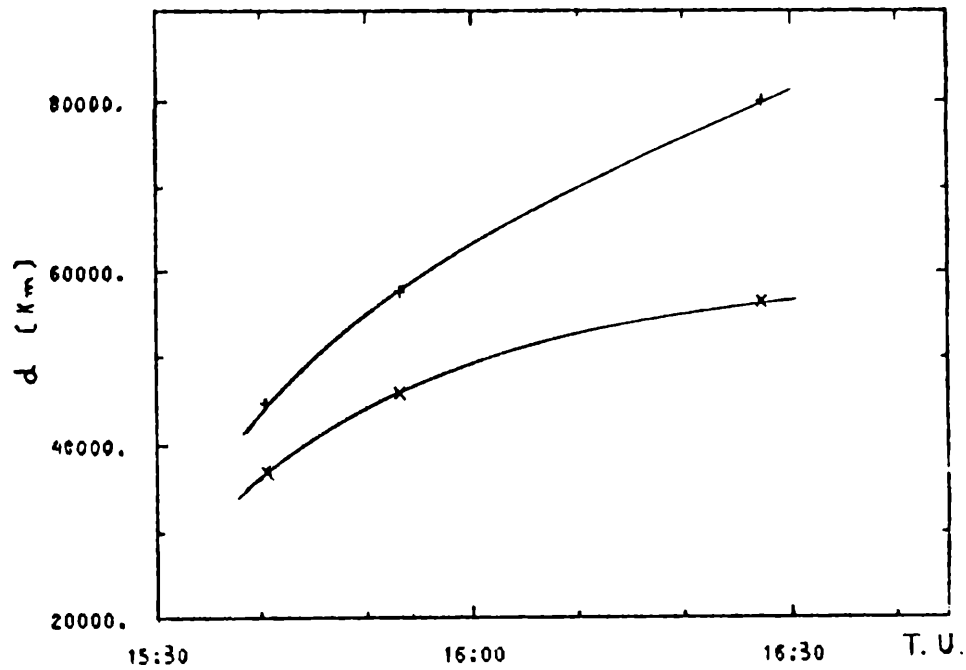


Figura 3: Altura en función del tiempo correspondiente a las isotermas de (x)  $16 \cdot 10^6$  K y (+)  $20 \cdot 10^6$  K para la fulguración del 6 de noviembre.

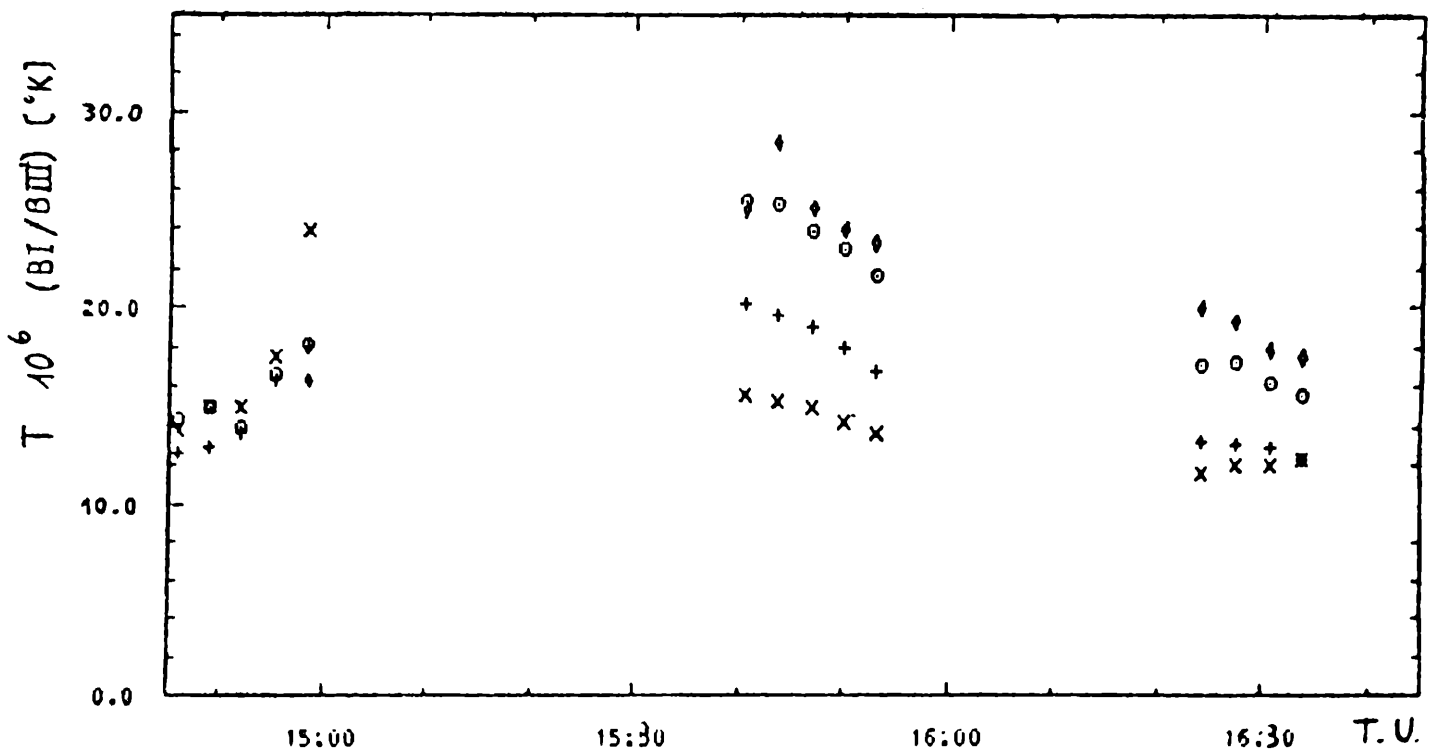


Figura 4: Temperaturas en función del tiempo calculadas del cociente B1/B3 para: (x) L1, (+) L2, (O) L3 y (o) L4 (evento del 6 de Noviembre).

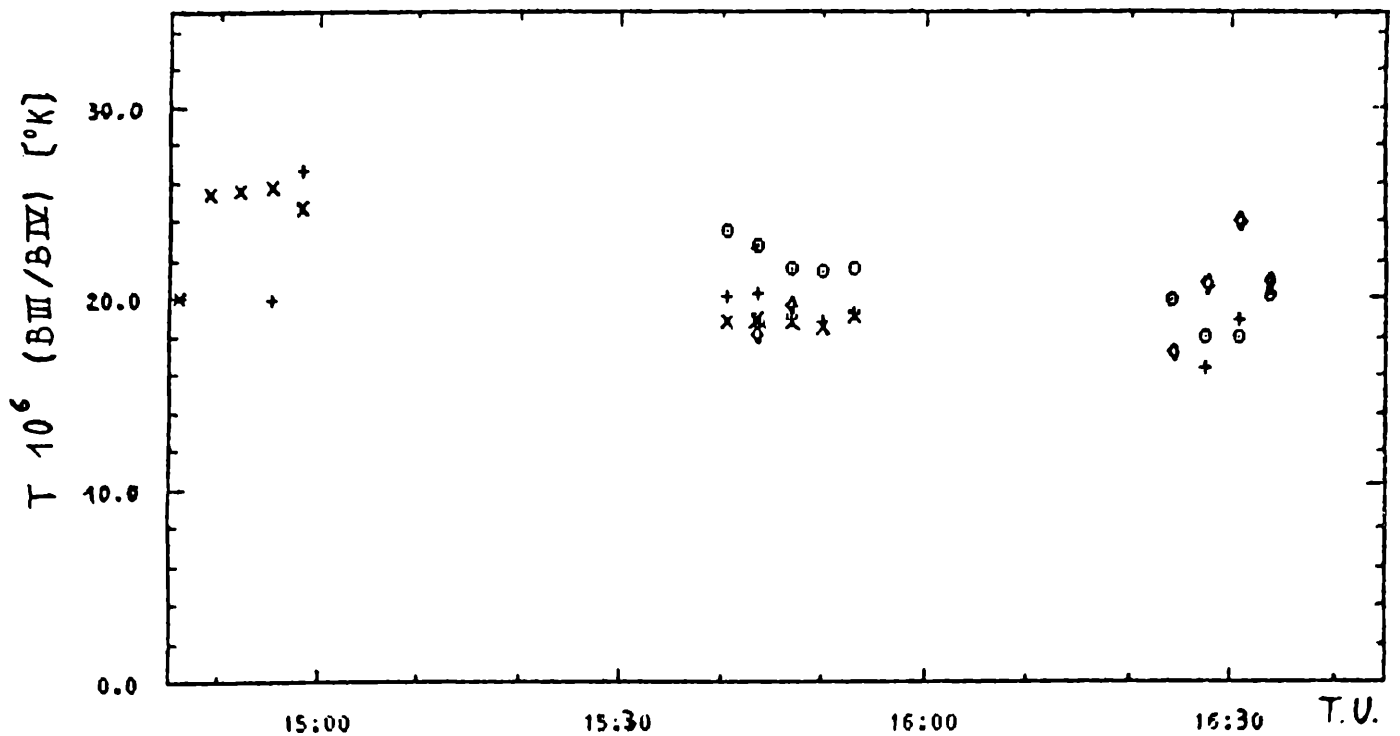


Figura 5: Idea 4 para el cociente B3/B4.

La Figura 6 muestra que el contenido de energía térmica es mayor en las estructuras más bajas, aún cuando su temperatura es menor, debido al aumento de densidad que podría deberse a la evaporación cromosférica (Tabla I).

Los resultados anteriores son consistentes con los modelos para fulguraciones de dos bandas propuestos en la literatura que predicen la formación de regiones de alta temperatura en la parte superior de los "loops", ya que allí se libera la energía magnética proveniente de la reconexión de las líneas de campo abiertas durante la eyección del filamento (ver por ej. Martens y Kuin, 1986).

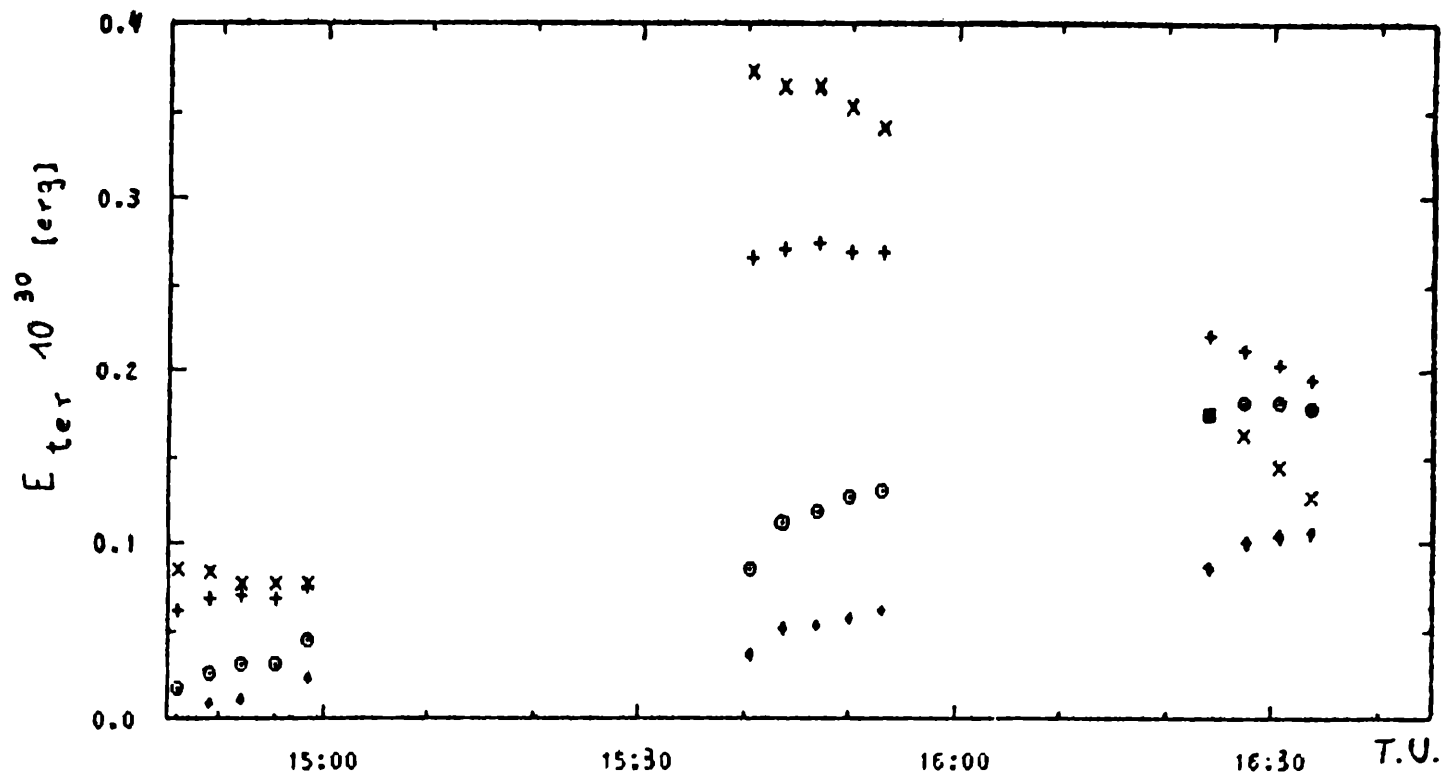


Figura 6: Energías térmicas en función del tiempo para: (x) L1, (+) L2, (o) L3 y (◊) L4 (evento del 6 de noviembre).

TABLA I

Densidades para distintos tiempos ( $10^{10} \text{ cm}^{-3}$ )

T.U.	L1	L2	L3	L4
14:45:30	1.67	1.31	----	----
49:01	1.50	1.44	----	----
52:08	1.39	1.39	0.59	----
55:15	1.19	1.13	0.52	----
58:22	0.90	1.13	0.66	0.51
15:40:32	6.47	3.59	0.91	0.57
43:40	6.47	3.77	1.20	0.80
46:47	6.63	3.93	1.34	0.89
49:53	6.71	4.09	1.51	1.00
53:05	6.80	4.35	1.65	1.02
16:24:03	4.07	4.55	2.79	1.74
27:17	3.66	4.43	2.86	2.08
30:29	3.26	4.28	3.06	2.27
33:36	2.80	4.28	3.13	2.33



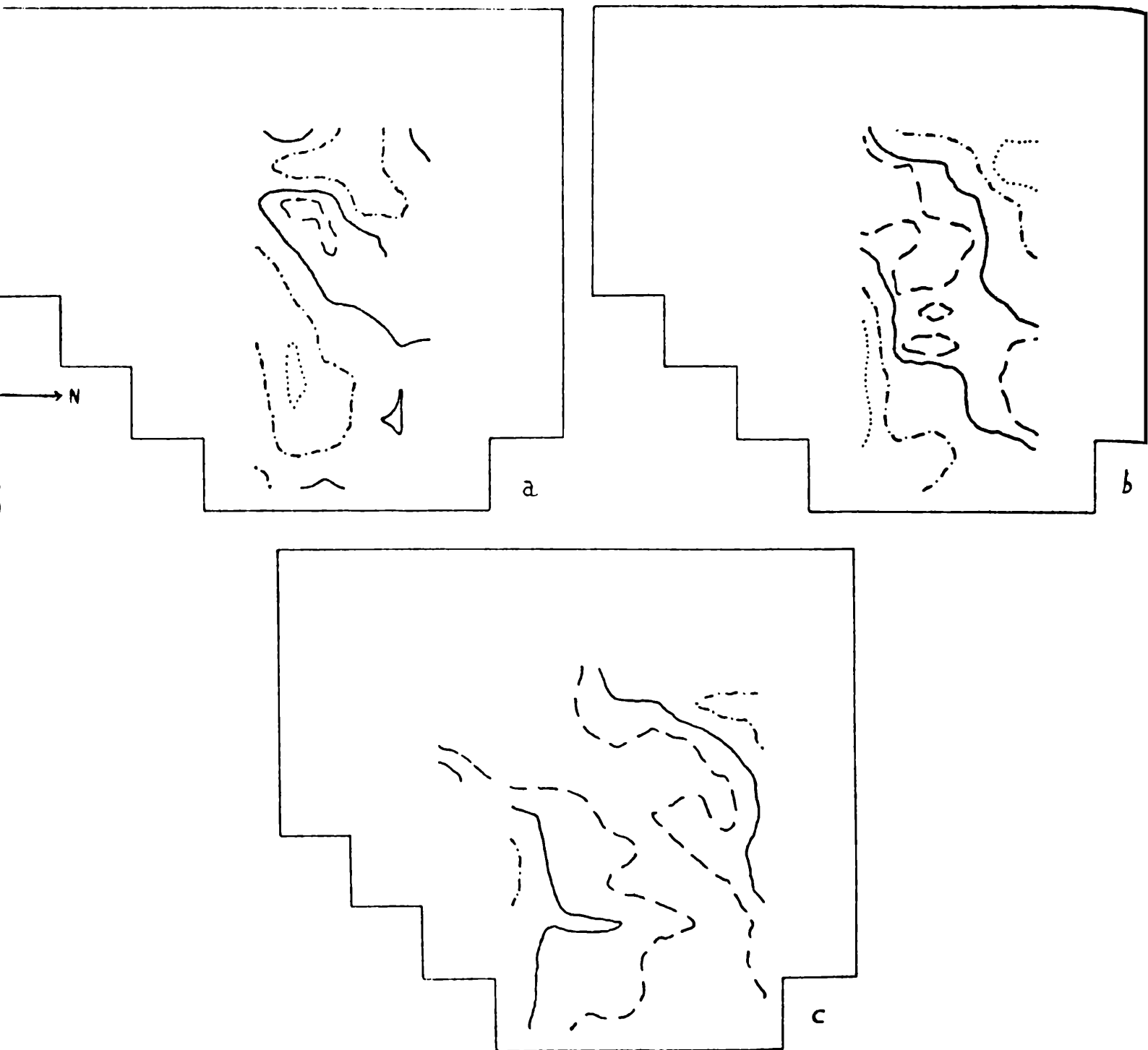


Figura 7: Isothermas calculadas para la fulguración del 21 de mayo a los siguientes tiempos: a) 20:56:55 T.U., b) 21:05:50 T.U. y c) 21:15:42 T.U. Las temperaturas graficadas son: (....)  $>24 \times 10^6$  K, (-.-.-)  $24 \times 10^6$  K, (---)  $20 \times 10^6$  K y (- - -)  $17 \times 10^6$  K.

De la expresión para la velocidad de crecimiento de los "loops" propuesta por Sturrock (1968), en base al mecanismo de Petschek (1964), se pueden derivar valores para la intensidad del campo magnético que muestran que éste disminuye con la altura. Esto también indica que la energía magnética transformada en energía térmica durante el proceso de reconexión es mayor a menores alturas, lo que está de acuerdo con las observaciones (Figura 6).

Para confirmar estos resultados mostramos en la Figura 7 las isotermas (equivalentes a la Figura 3) correspondientes a la fulguración del 21 de mayo en las que se observa un comportamiento similar al ya descrito.

## REFERENCIAS

- Martens, P.C.H. y Kuin, N.P.M. 1986, enviado a *Astrophys. J.*
- Mewe, R. y Gronenschild, E.H. 1981, *Astron. Astrophys. Suppl.* 45, 11.
- Petschek, H.E. 1964, *AAS-NASA Symposium on the Physics of Solar Flares*, NASA SP-50.
- Sturrock, P.A. 1968, *IAU Symposium 35, The structure and development of solar active region*, 471.
- Svestka, Z.F.; Fontenla, J.M.; Machado, M.E.; Martin, S.F.; Neidig, D.F. y Poletto, G. 1987, *Solar Phys.* 108, 237.
- van Beek, H.F.; Hoyng, P.; Lafleur, B. y Simnett, B.M. 1980, *Solar Phys.* 65, 39.