

# MODELADO DEL CAMPO MAGNÉTICO SOLAR Y SU RELACIÓN CON OBSERVACIONES EN ULTRAVIOLETA Y RAYOS X DURANTE UNA FULGURACIÓN SOLAR

L. G. Bagalá, C. H. Mandrini, M. G. Rovira,

*Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET), Universidad Nacional de Buenos Aires,  
CC 67, Suc. 28, (1428) Buenos Aires.*

P. Démoulin

*Observatoire de Paris, Paris, France*

The longitudinal magnetic field of solar active region, observed on the solar disk during November 1980, is modelled by means of a distribution of subphotospheric discrete sources in the potential and linear force-free approach. The topological structure derived from these models is compared with the location of 4 brightenings due to a solar flare. These kernels are identified in the UV and X-rays images obtained by two instruments that flew aboard the Solar Maximum Mission Satellite. The identified brightenings are located at the intersection of the separatrixes with the photospheric plane and can be connected by field lines passing close to the separator. This indicates that this flare can be the result of the interaction through magnetic field reconnection of two or more structures in the separator region.

## I. INTRODUCCIÓN

Se acepta en general que el campo magnético provee la energía que se libera en las fulguraciones solares. La energía liberada debe provenir de la acumulada en la parte no potencial del campo, la cual está asociada con las corrientes generadas por movimientos fotosféricos. La estructura topológica del campo magnético de una región activa (AR) debe tenerse en cuenta en la construcción de un modelo de fulguración, pues éste dirige y canaliza el flujo de energía, y determina la estructura de la misma.

Sweet<sup>1-2</sup> fue el primero en estudiar la topología de un sistema de flujo cuadrupolar, sugiriendo que la lámina de corriente que se formaría en tal configuración se centraría sobre la línea de intersección de las superficies que separan celdas de flujo magnético independiente (separatrices). Sobre esta línea (la generalización en 3D de un punto X, denominada separador) no es válida la aproximación de plasma congelado, y las corrientes eléctricas pueden fluir y eventualmente las líneas de campo se pueden reconectar<sup>3</sup>. La formación de una lámina de corriente a lo largo del separador puede canalizar la reconexión de las líneas de campo y la liberación de la energía (en forma de calor y aceleración de partículas) acumulada en los tubos de flujo<sup>4</sup>.

Un esquema tridimensional de la topología del campo para un conjunto de 4 fuentes magnéticas puede observarse en la Fig. 1. En general el cálculo de las separatrices y el separador no puede resolverse analíticamente. Démoulin *et al.*,<sup>5</sup> desarrollaron un

método numérico que permite inferir la topología del campo magnético de una AR a partir de un modelo del mismo en base a una distribución de fuentes discretas.

Machado *et al.*,<sup>6</sup> estudiaron la emisión en RX de 23 fulguraciones, encontrando que las mismas involucran a varios arcos magnéticos (loops) sobre toda la región activa, y sugiriendo que estos fenómenos son el resultado de la interacción de estructuras de gran escala. De éste y otros estudios<sup>7-8</sup> se concluye que es esencial para la liberación de energía en fulguraciones la interacción de loops, encontrándose además evidencia observacional de estructuras múltiples asociadas a la liberación de energía. En este trabajo se estudiaron en detalle las manifestaciones radiativas (abrillantamiento) de los arcos en interacción y su relación con la topología del campo magnético de la región activa para un evento particular.

## II. ANÁLISIS DE LAS OBSERVACIONES

La fulguración solar del 12 de noviembre de 1980 que se desarrolló en AR 2779 fue observada por los instrumentos del satélite Solar Maximum Mission (SMM). Se trabajó con los datos del Ultraviolet Spectrometer and Polarimeter (UVSP) y del Hard X-Ray Imaging Spectrometer (HXIS). Se analizaron las observaciones en UV provenientes del primero y en RX duros del segundo. Se alinearon estas observaciones con el magnetograma vectorial

obtenido por el Marshall Space Flight Center, del que se derivó la topología del campo y se comparó a ésta con la ubicación de los abrillantamientos. Esta fulguración fue analizada por de Jager y Boelee<sup>9</sup> y por Cheng *et al.*,<sup>10</sup>, mostrando ciertas discrepancias en la interpretación de las observaciones.

Se estudiaron las observaciones del UVSP en las líneas del OV 1371 Å y del Fe XXI 1354 Å. Como se buscaba la posición de las bases ("patas") de los loops, se hizo hincapié en los datos del OV, ya que esta línea se forma a  $10^5$  K, es decir, es una línea de región de transición o alta cromósfera; mientras que el Fe XXI que se forma a  $10^7$  K pertenece a la zona coronal. El pixel de rastreo de imágenes en estas líneas es de  $10'' \times 10''$  de arco ( $1'' = 725$  Km), en un campo de visión de 18 pixels cuadrados. De acuerdo a estos datos se trazaron curvas de luz e isofotas encontrándose 4 abrillantamientos impulsivos bien diferenciados. Se hizo lo propio con los datos del HXIS: este instrumento tiene un campo cuadrado de  $20 \times 20$  pixels de  $8''$  de arco de resolución. El espectro cubre un rango entre 16 y 30 keV (suma de los canales 5 y 6 del espectrómetro) y los datos se integraron cada 15 seg. Los campos del UVSP y del HXIS se superponen con un error de  $\pm 5''$  de arco, y los abrillantamientos encontrados coinciden espacialmente dentro de este error experimental. Como la AR está ubicada en las coordenadas S13 W06 (próxima al centro del disco), el magnetograma longitudinal de la misma corresponde al campo  $B_z$  perpendicular a la superficie. AR 2779 presenta cuatro zonas bien diferenciadas de polaridades opuestas, llegando a

los 2500 gauss en las regiones más intensas. La superposición del magnetograma con los abrillantamientos se observa en la Fig. 2, donde se ve que éstos están ubicados en zonas de campo positivo (los numerados 1 y 3) y negativo (2 y 4).

### III. MODELADO DEL CAMPO Y CÁLCULO DE SU TOPOLOGÍA

Usando como base el código numérico descrito por Démoulin *et al.*,<sup>5</sup> se modeló el campo observado. Se utilizó como fuentes una distribución de cargas magnéticas simples ubicadas por debajo de la fotosfera ( $z < 0$ ). Los parámetros físicos correspondientes a cada carga se obtienen del magnetograma longitudinal, relacionándose la profundidad de la misma con la distancia, medida en el plano  $x$ - $y$  de la fotosfera a la línea neutra ( $B_z = 0$ ) más cercana y la intensidad del campo observado con el flujo de la carga utilizada por el modelo en ese punto. El cálculo se realizó en la aproximación potencial ( $\nabla \times \mathbf{B} = 0$ ) y libre de fuerza lineales ( $\nabla \times \mathbf{B} = \alpha \mathbf{B}$ , con  $\alpha$  constante). Las ecuaciones que gobiernan esta aproximación pueden verse en Ref. (11).

De acuerdo a las observaciones del campo magnético transversal de la región se tomó  $\alpha = -0.3$ , ya que éste es el que mejor representa la dirección del mismo. Los parámetros se ajustan minimizando la diferencia entre el campo longitudinal medido en la posición de cada carga y el calculado. Las fuentes se separan en 4 grupos (G) asociados a las zonas

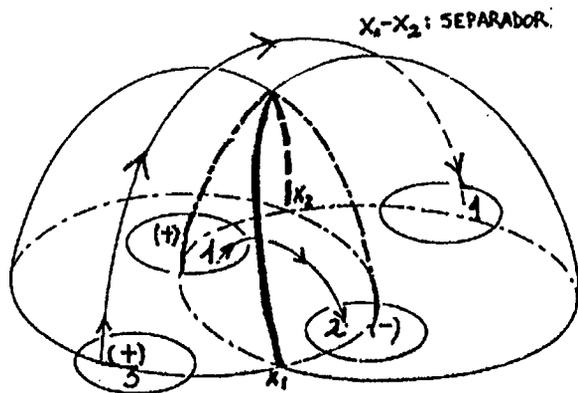


Fig. 1: Topología para una configuración de 4 fuentes simples, donde se observan las separatrices y el separador.

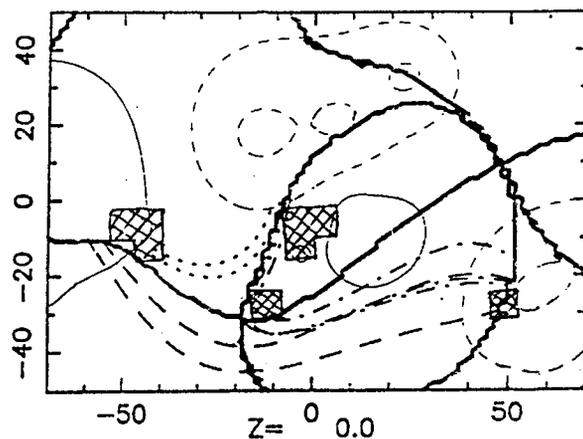


Fig. 2: Campo magnético longitudinal en  $z = 0$ . Se superponen los abrillantamientos a nivel fotosférico. Las curvas son isogaussianas, y la escala está en megametros.

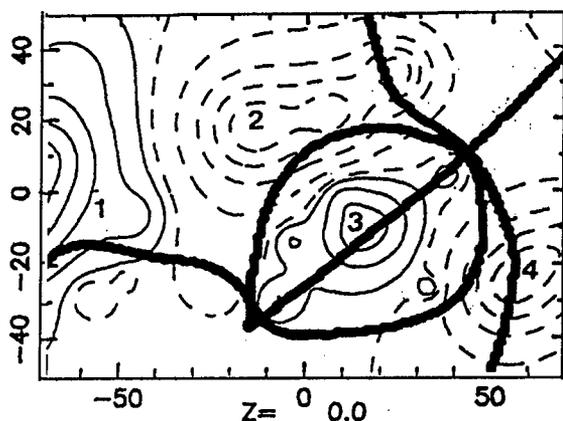


Fig. 3. Campo modelado para  $\alpha = -0.3$ , y corte de las separatrices a nivel fotosférico, con los mismos isocontornos.

principales de distinta polaridad. Con esta distribución de fuentes se calculan las estructuras topológicas de la región activa: las separatrices y el separador. En la Fig. 3 se ve el campo modelado para  $\alpha = -0.3$  y un corte de las separatrices a nivel fotosférico, numerándose las regiones de distinta conectividad.

Los abrillantamientos observados por el UVSP y el HXIS se superponen sobre este modelo y se calculan las líneas de campo que parten de esas zonas, comenzando la integración numérica en la región de intersección de las separatrices con la fotosfera. Se encontró que estas líneas unen todos los abrillantamientos ubicados en zonas de campo positivo con aquellos que están en zonas negativas. Las líneas se extienden a lo largo de las separatrices pasando por la región del separador. Ejemplos de estas conexiones se encuentran en la Fig. 4.

#### IV. CONCLUSIONES

De Jager y Boelee<sup>9</sup> estudiaron la emisión en RX blandos y en luz blanca de esta fulguración identificando abrillantamientos que supusieron estaban unidos por 2 loops. Cheng<sup>10</sup> estudio el UV, infiriendo la existencia de 3 arcos de conexión. Del estudio comparativo de los datos del UVSP y el HXIS realizado en este trabajo se identificaron 4 abrillantamientos. El denominado S3 se observa tanto en los datos de UV como en rayos X, estos últimos fueron utilizados en <sup>9</sup> pero dicho núcleo no fue identificado en ese trabajo. El abrillantamiento S4, que es un orden de magnitud más débil que el principal

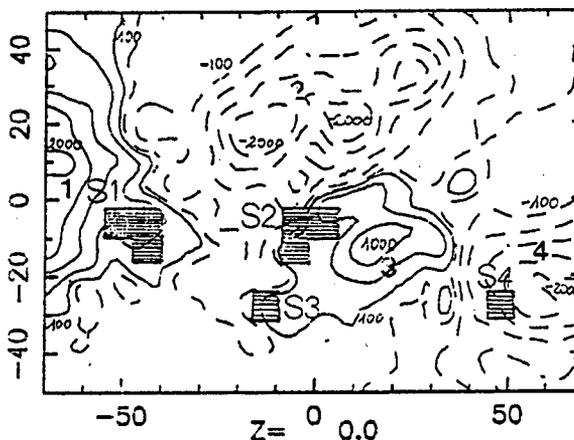


Fig. 4. Líneas magnéticas que bordean las separatrices y unen abrillantamientos (S1 con S2 y S4; S3 con S2 y S4).

(S3) y se encuentra en la zona Este, fuera del campo de visión del HXIS, no fue identificado en los estudios previos<sup>9-10</sup>.

El análisis anterior muestra que la fulguración del 12 de noviembre de 1980 es el resultado de la interacción de estructuras magnéticas. Esta interacción probablemente ocurre en la región del separador, dado que los abrillantamientos identificados pueden ser conectados por líneas de campo que a nivel fotosférico se encuentran muy próximas a las separatrices y se extienden a lo largo de las mismas. La presencia de S4 está un todo de acuerdo con el modelo de fulguración propuesto, ya que este núcleo representaría la base del arco cuyo extremo opuesto yace en S1 o S3.

#### REFERENCIAS

1. Sweet P. A. Nuovo Cimento Suppl., 8, Ser. X, 188 (1958).
2. Sweet P. A. ARA&A, 7, 149 (1969).
3. Syrovatskii S. Inst. Lebedeva, Akad. Nauk. SSSR 110, 5 (1979).
4. Hénoux J-C. Somov B.A&A 185, 306 (1987).
5. Démoulin P., Hénoux J-C., Mandrini C. Solar Phys., 139, 105(1992).
6. Machado M. E., et al., Ap. J., 326, 425 (1988a).
7. Schmieder B., et al., A&A, 244, 533 (1991).
8. Gaizauskas V., Harvey, K. L. Proc. Chantilly M. of Solar Flares, ed. E. Priest & B. Schmieder (1991).
9. de Jager C., Boelee, A. Ap. J., 115, 238 (1984).
10. Cheng C. et al. Ap. J., 298, 887 (1985).
11. Démoulin P., Mandrini C., Rovira M. et al. Solar Phys., en prensa (1993).