

Movimientos circulatorios en el grupo de manchas solares SD 284

Jorge Pérez Doval ⁽¹⁾, Ernesto R. Rodríguez Flores ⁽¹⁾

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

Recibido: enero-octubre, 2002	Aceptado: noviembre, 2002
-------------------------------	---------------------------

Resumen

Se desarrolló un método para determinar los movimientos propios relativos de las manchas solares, tomando como referencia la umbra principal de un grupo de éstas y utilizando pequeñas escalas temporales.

La rapidez media en una hora de las umbras de corta vida fue de 158,6 m/s y de 46,4 m/s para las que persistieron más de un día. Durante tres días, se observó un movimiento circulatorio que no parece estar relacionado con la fuerza de Coriolis. Este movimiento dio lugar a una compactación y crecimiento del grupo con un posterior incremento en la actividad de destellos (flares).

Palabras clave: Astronomía, física solar

Abstract

A new method for measure the sunspot proper motion relative to the position of principal umbra was developed. The mean speed of short lived umbras was 158.6 m/s and 46.4 m/s for long lived. A circulatory movement of the umbras was observed during 3 days followed by an increase in area and flare activity.

Key words: Astronomy, solar physics

Introducción

La aplicación de la técnica del análisis digital a las observaciones solares con alta resolución, ha contribuido de manera decisiva al estudio e incluso al descubrimiento de estructuras finas en la fotosfera y en las zonas de manchas. Entre esos detalles podemos citar: los gránulos y puntos brillantes, los filamentos penumbrales, los gránulos umbrales y las inhomogeneidades en la brillantez de la fotosfera. Todos estos aspectos fueron estudiados con amplitud por E. R. Rodríguez (1995).

La digitalización también se está utilizando en los observatorios que poseen valiosos registros históricos de fotos solares, aunque estas sean de baja resolución (Gyori L., 2000). El observatorio heliofísico de Debrecen en Hungría, con un archivo de 100 000 placas tomadas durante las últimas 4 décadas, está realizando esta labor con el fin de facilitar el empleo de toda esa valiosa data con las modernas técnicas computacionales.

Los propósitos de este trabajo se enfocan en el análisis de una serie de foteheliogramas de alta resolución, digitalizados con el objetivo de determinar los movimientos propios en un grupo de manchas con una pequeña escala temporal (aproximadamente 1 hora), para lo cual se desarrolló un método empírico que permitió realizar el estudio que presentamos.

Se entiende por movimiento propio de las manchas solares, el desplazamiento de los tubos magnéticos fuertes, cuyo acercamiento y reconexión en el caso de las polaridades opuestas, son asociados en varios modelos teóricos, a la liberación de energía que da lugar a los destellos solares. El estudio de los movimientos de las manchas también ha permitido examinar fenómenos de carácter global como la rotación del Sol y los desplazamientos subfotosféricos hacia los polos y el ecuador (Howard R. F., 1991).

Durante varios años, especialistas de nuestra institución han llevado a cabo numerosos trabajos sobre el movimiento propio de las manchas (Doval J. P., 1983); (Doval J. P., 1987); (Doval J. P., 1987); (Rodríguez R.E., et al, 2002). Sin embargo, puede ocurrir como es el caso que se analiza, que una secuencia interesante de fotos carezca del eje de orientación. El método desarrollado permite determinar los movimientos relativos de las umbras con respecto a la posición de la mancha principal.

El tratamiento gráfico y estadístico de las imágenes sin procesar, tiene el antecedente de un trabajo anterior realizado por E. R. Rodríguez et al. (1998), aunque orientado hacia otros fines.

Materiales

Se utilizó una serie de foteheliogramas de alta resolución (0,3"), obtenidos en la Estación de Montaña del Pamir (4300m), perteneciente al Observatorio Astronómico Principal de Púlkovo, en San Petersburgo, Rusia. Estos foteheliogramas corresponden al grupo de manchas 284 (según la numeración de Solniechnie Dannie), observado en septiembre - octubre de 1978.

Las imágenes fueron obtenidas con un telescopio reflector con objetivo de 50 cm de diámetro y 120 m de distancia focal, correspondientes a los días 30-9-1978 a 7-10-1978. La banda espectral utilizada tenía 40 mm de ancho centrada en los 460 nm. La sensibilidad de la película era de 2 ASA y el tiempo de exposición fue de 1,5 milisegundos (Parfinenko, L., 1999). Se obtuvieron copias positivas por contacto y éstas últimas fueron digitalizadas a 150 puntos por pulgada, equivalente a 0,291 segundos de arco por pixel en el Sol.

Los datos de los destellos asociados al grupo de manchas se obtuvieron del Quaterly Bulletin on Solar Activity (1978).

Métodos

Para la determinación de los movimientos propios de las manchas no era posible aplicar alguno de los métodos utilizados con anterioridad; o sea el método que pudiéramos denominar clásico con las pequeñas modificaciones introducidas en Cuba (Doval, J. P., 1983) o el de las componentes regulares introducido por el especialista soviético Y. Nagavitzin (Rodríguez, R. E., et al, 2002). Esto se debía a que las fotos de alta resolución utilizadas no poseían línea o eje de referencia pues fueron obtenidas para fines no astrométricos.

Por esta razón se desarrolló un nuevo método cuyo objetivo fue determinar los movimientos relativos del mayor número de umbras posibles con respecto a las manchas principales del grupo de estudio (conductora y seguidora).

Las posiciones de las umbras fueron medidas en la matriz digital de cada foto con la resolución de un pixel y después se efectuó un traslado del origen del sistema de coordenadas rectangulares al centro de la umbra principal, aplicando una inversión y una rotación de coordenadas.

Los resultados fueron graficados en una amplia escala de 2 mm por pixel, lo que era equivalente a 0,145" en el Sol por milímetro. Se tenía el dato de que 1 mm en las fotos originales correspondía a 1,72" de arco en la región central del Sol. Esto permitió establecer las correspondientes relaciones, considerando un radio solar de 692265 km. Por cuanto un segundo de arco en el Sol equivale a 724,3 km, se halló que 1 mm en el gráfico equivalía a 105,28 km y por tanto una traslación de una mancha de 1 mm en el gráfico en 1 hora de tiempo corresponde a una rapidez de 29,24 metros por segundo en el Sol.

Se consideró innecesario hacer correcciones en las posiciones por el efecto de perspectiva y por la rotación diferencial del Sol debido a que el grupo de manchas estudiado se hallaba suficientemente cerca del centro del Sol.

Resultados y discusión

El grupo de manchas que fue objeto de estudio para la determinación de los movimientos propios, surgió ya con gran desarrollo por el limbo Este del disco solar el 29 de septiembre de 1978. El día 30 se nos presenta en la primera foto que disponemos como un grupo bipolar constituido por 3 umbras de apreciable tamaño y dentro de un gran campo facular. En los días siguientes, el grupo se caracterizó por sus notables transformaciones con el surgimiento y rápida desaparición de un gran número de pequeños poros, mientras la umbra principal permanecería relativamente estable.

Este comportamiento dificultó seriamente la identificación de las manchas de un día a otro y por ejemplo, las variaciones del día 6 al 7 de octubre son tales, que es prácticamente imposible seguirles el rastro a las pequeñas umbras en ese intervalo. Sólo 21 de las 155 umbras cuyos movimientos se midieron (14%), sobrevivieron 1 ó más días lo que evidencia la interesante dinámica de este grupo. Además, se observó el comportamiento típico de las manchas seguidoras de alejarse de la conductora o umbra principal.

La rapidez media en 24 horas, registrada en estas manchas, que persistieron por dos ó más días se refleja en la tabla I. Los valores elevados de desviación media cuadrática (σ), son típicos de trabajos de movimiento propio, por ejemplo en J. P. Doval (1987), se hallan valores de 75 ± 57 en una muestra de 304 manchas conductoras y 60 ± 41 en 256 manchas seguidoras.

Tabla I

DÍAS	INTERVALO	NÚMERO DE UMBRAS	RAPIDEZ MEDIA	SIGMA
2 - 3	4:34 a 4:02 U.T.	10	62,9 m/s	52,9
3 - 4	4:02 a 3:24 U.T.	9	36,7 m/s	22,4
4 - 5	3:24 a 4:37 U.T.	3	68,3 m/s	30,9
5 - 6	4:37 a 3:55 U.T.	10	31,9 m/s	15,1
		32	46,4 m/s	36,1

Media General: $46,4 \pm 36,1$

Un objetivo principal de esta parte del trabajo era la determinación de los movimientos en escalas temporales pequeñas, (del orden de 1 hora), tarea que no se había abordado antes en los numerosos trabajos realizados referidos anteriormente.

Para ello se disponía de varias fotos correspondientes a los días 2,3,4,5 y 6. Después de un detallado análisis se seleccionaron los intervalos óptimos normalizados a 1 hora y la rapidez de las umbras se calculó en metros por segundo en la fotosfera. Los resultados obtenidos para las umbras de corta vida (menos de 1 día), se muestran en la tabla II.

Tabla II

OCT. /78	INTERVALO	NÚMERO DE UMBRAS	RAPIDEZ MEDIA	SIGMA
Día 2	3:30 a 4:34 U.T.	17	282,6 m/s	177,5
Día 3	2:58 a 4:02 U.T.	22	110,2 m/s	55,0
Día 3	4:02 a 5:23 U.T.	17	143,6 m/s	50,1
Día 4	2:22 a 3:24 U.T.	24	181,2 m/s	97,3
Día 4	3:24 a 5:10 U.T.	24	117,5 m/s	66,2
Día 5	2:56 a 4:37 U.T.	30	147,1 m/s	81,6

El día 6 las 2 fotos tomadas están separadas por un intervalo de sólo 12 minutos 42 segundos, lo cual no permite dar confiabilidad a los valores de rapidez hallados, pero sí posibilita apreciar la dirección de los vectores, aspecto que se tratará más adelante. La rapidez media de las manchas duraderas del grupo (46,4), m/s es menor que la media de 68,1 m/s hallada con anterioridad en una amplia muestra de 1100 umbras duraderas (Doval J. P., 1987), pero el histograma de distribución de velocidades (figura 1), muestra un comportamiento similar. (Distribución de Rayleigh).

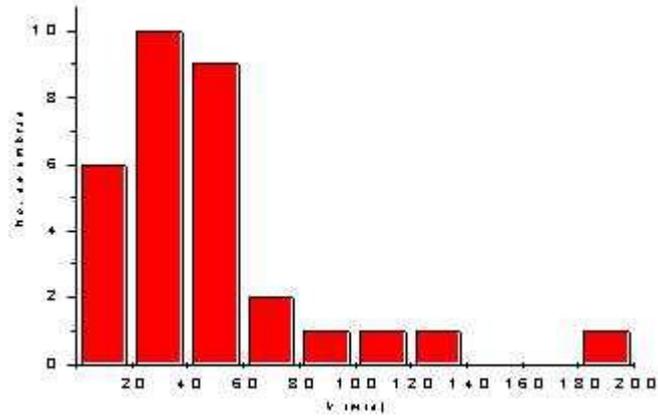


Fig. 1.- Movimientos en intervalos de 24 horas (umbras duraderas)

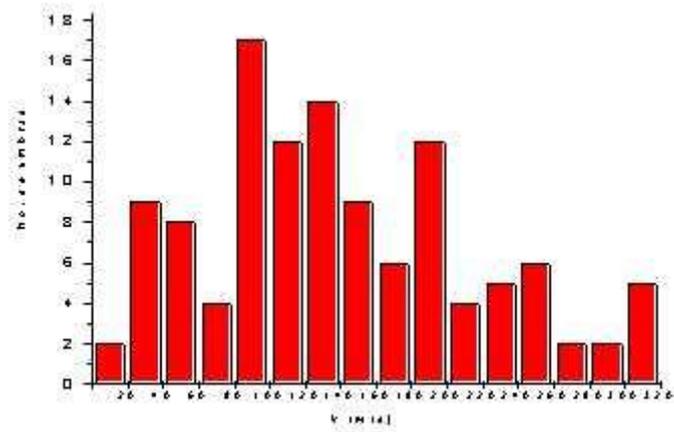


Fig. 2.- Movimientos en lapsos de una hora (intervalos de 20 m/s).

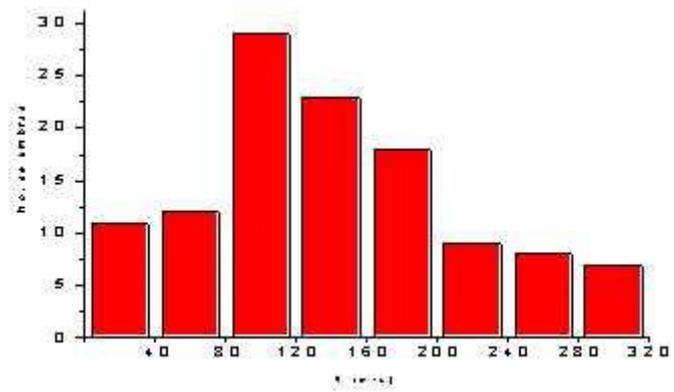


Fig. 3.- Movimientos en una hora (intervalos de 40 m/s).

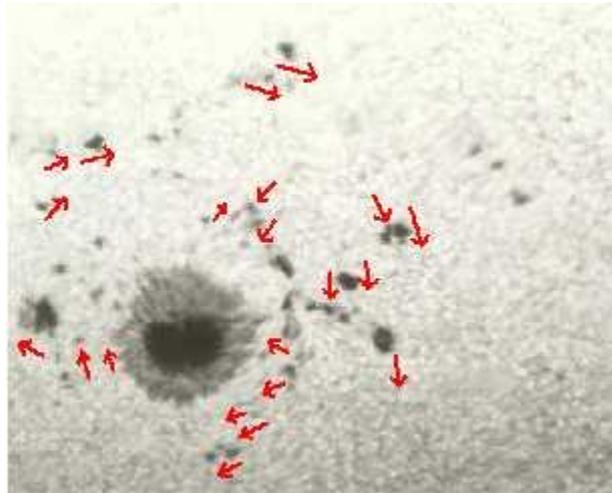


Fig. 4.- Movimientos de las umbras durante el día 5 de octubre de 1978 (2h56m01s-4h37m08s T.U.)

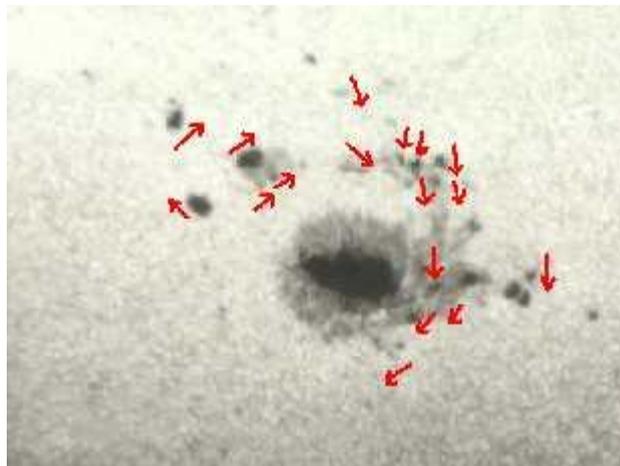


Fig. 5.- Movimientos de las umbras durante el 6 de octubre de 1978 (3h42m23s-3h55m05s T.U.)

En el histograma correspondiente a los movimientos en lapsos de 1 hora se nota una mayor irregularidad. Esto es reflejo de los movimientos caóticos de las umbras o poros pequeños (figura 2). Si agrupamos los valores en intervalos de 40 m/s (figura 3), se aprecia una mayor regularidad con una distribución que tampoco se ajusta bien a la normal. Se observa una rapidez media general de 158,6 m/s y de 140,6 m/s, si excluimos el día 2.

El hecho más significativo que muestran los desplazamientos de las umbras en este grupo de manchas, es un movimiento claramente circulatorio alrededor de la mancha principal, con sentido a favor de las manecillas del reloj (horario) en el hemisferio Sur del Sol, que comienza a manifestarse el día 5 y persiste el día 6 (figuras 4 y 5, respectivamente). Este movimiento y el desarrollo de la penumbra provocan una compactación del grupo, que aparece el día 7 como una gran mancha con escasos poros aislados y un aumento significativo de su área.

Aunque en este grupo que estudiamos su movimiento es horario en el hemisferio Sur, se puede descartar la Fuerza de Coriolis como causa de este movimiento, ya que en trabajos anteriores se han determinados movimientos circulatorios en ambos sentidos y en un mismo hemisferio (Doval, J. P. y Cid, M., 1987).

Una posible demostración de esta afirmación la podemos basar en una analogía con lo que ocurre en la Tierra. En ésta la referida fuerza actúa de forma significativa en su atmósfera a partir de los ± 10 grados de latitud, ejerciendo un papel decisivo en la formación de los huracanes tropicales. La fuerza desviadora de Coriolis (D) es igual a:

$$D = \rho V^2 \Omega \text{ sen } \varphi$$

Si asumimos una V igual para la masa que se mueve en ambos astros (p. Ej. 20 m/s), ρ del aire seco en la Tierra = 0,0013 g/cm³ y el "parámetro de Coriolis" ($2W \text{ sen } 10^\circ$) igual a 0,0000126 radianes/seg. para la Tierra y 0,00000286 radianes/seg, para 14° en el Sol, (latitud a que se ubicó el grupo estudiado), se halla que una fuerza desviadora igual o superior en el Sol se observaría en un punto con una densidad del plasma de 0,06 gr/cm³. Esto último, según un modelo (Bakulin P. I., et al., 1987), se registra en el interior del astro a unos 140 000 km de la fotosfera, profundidad no alcanzada por las manchas. Estudios recientes indican que la profundidad de las manchas no rebasa los $3 \cdot 10^3$ ó $4 \cdot 10^3$ km en el Sol.

Es interesante destacar el hecho de que del 30 de septiembre al 5 de octubre el grupo se mantiene con pequeñas oscilaciones de área, mientras el número de poros aumenta rápidamente hasta el día 5. Entonces se inicia el movimiento circulatorio que da lugar a la compactación del grupo con un desarrollo explosivo de su área del día 6 al 8.

La actividad de destellos aumenta entonces significativamente, aunque es llamativo que no se produjera ningún gran destello, pese a que el grupo presentaba características consideradas altamente asociadas a la producción de éstos. Estas características son: rápidos cambios estructurales, altas velocidades, desarrollo explosivo del área en 48 horas duplicando la misma del 7 al 8 y umbras de polaridades opuestas en una penumbra común, hecho que se manifiesta después del 8.

Por su parte un destello 1B que se reporta a las 17:55 U.T. del día 3 (un observatorio lo clasifica 2B), pudiera estar asociado a un cambio sustancial en la topología del campo magnético que se produce del 3 al 4, con un giro de la línea neutral, según las observaciones de Kislovodsk (Boletines de Campos Magnéticos, 1978).

Conclusiones

Se propone un método empírico que permite determinar, cuando no se cuenta con eje de referencia, los movimientos propios relativos a la umbra principal de un grupo de manchas solares y a pequeñas escalas temporales. El grupo se caracterizó por grandes cambios estructurales al no persistir más de 24 horas el 86% de sus umbras.

El estudio realizado permitió determinar una rapidez media de 46,4 m/s para las umbras duraderas (más de 24 horas) y de 158,6 m/s para la rapidez media en 1 hora de las umbras de corta vida. Estas velocidades muestran curvas de distribución no normales, semejantes a las de trabajos anteriores realizados con diferentes metodologías y para escalas temporales superiores a 24 horas.

Lo más destacado fue un movimiento claramente circulatorio entre los días 5 y 7 de octubre, que se propone no está relacionado con la fuerza de Coriolis y que da lugar a una compactación y crecimiento rápido del grupo.

El hecho de que con posterioridad se produce un aumento en la actividad de destellos, al acercarse y unirse en una penumbra común, umbras con polaridades opuestas (según se observa en los mapas de campos magnéticos de la fecha), se halla en concordancia con los modelos teóricos de reconexión magnética. Además evidencia la importancia que tiene el estudio de los movimientos propios para el pronóstico de los destellos solares.

Referencias

- Bakulin P. I., Kononóvich, E. V. y Moroz, V. I. (1987): Curso de Astronomía General, Editorial Mir, URSS, 567 p.
- Doval, J. P. (1983): Movimientos propios en los grupos de manchas solares según observaciones realizadas en Cuba, *Solniechnie Dannie (Datos Solares)*, No. 12, p. 81- 88.
- Doval J.P. (1987): Correlación entre los movimientos propios, el área de las manchas solares y los destellos, *Solniechnie Dannie*, URSS, No. 12, p. 68-74.
- Doval J. P. y Cid M. A. (1987): Algunas características cinemáticas del movimiento propio de las manchas solares, *Solniechnie Dannie*, No. 4, p. 94.
- Doval, J. P., Rodríguez, E. R., Rodríguez, R. E. (1999): Fluctuaciones de brillantez en la fotosfera solar observadas con técnicas de alta resolución, *Revista de Geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, No. 50, p 55-64.
- Gyori L., Baranyi, T., Csepura, G., Gerlei, O. y Ludmány, A. (2000): "The Journal of Astronomical Data 1995-1999", Bruselas, Bélgica, vol. 1-5, p 119-123.
- Howard, R. F. (1991): Cycle Latitude Effects for Sunspot Groups, *Solar Physics*, Vol. 135, p. 327 - 337.
- Parfinenko, L. (1999): Comunicación Personal.
- Rodríguez, R. E., Doval, J. P., Gil, G. (2002): Sunspots motions in a recurrent region as a sub-photospheric circulation tracer, *Geofísica Internacional*, Vol. 41, No. 1, p. 57 - 61.
- Rodríguez, E. R. (1995): "Análisis Digital de imágenes con alta resolución de la fotosfera solar", Universidad de La Habana - IGA, La Habana, 100 p. (Trabajo de Diploma).
- Rodríguez, E. R., Doval, J. P., Rodríguez, R. E. (1998): Métodos para la identificación y medición de formaciones solares mediante el tratamiento de imágenes en formato ASCII, *Memorias III Congreso Cubano de Geología y Minería*, II parte, p. 194-197.
- _____ (1978): Boletines de Campos Magnéticos, *Solniechnie Dannie*, octubre, parte 1.
- _____ (1978): Quaterlly Bulletin on Solar Activity, Tokyo Astronomical Observatory, III y IV.
- _____ (2000): *Solar Geophysical Data*, No. 665, Parte II, p. 63.