

Título: OBSERVATIONS OF SMALL-SCALE FLOWS IN SUNSPOT PENUMBRAE

Nombre: Esteban Pozuelo, Sara

Universidad: Universidad de Granada

Departamento: Física teórica y del cosmos

Fecha de lectura: 21/12/2015

Programa de doctorado: Programa de Doctorado en Física y Ciencias del Espacio por la Universidad de Granada

Dirección:

> **Director:** LUIS RAMON BELLOT RUBIO

Tribunal:

> **presidente:** JOSE CARLOS DEL TORO INIESTA

> **secretario:** Inmaculada Foyo Moreno

> **vocal:** ADA ORTIZ CARBONELL

> **vocal:** David Orozco Suárez

> **vocal:** Juan Luis Guerrero Rascado

Descriptores:

> ASTRONOMIA Y ASTROFISICA

> FISICA SOLAR

> EL SOL

El fichero de tesis ya ha sido incorporado al sistema

> <http://0-hera.ugr.es.adrastea.ugr.es/tesisugr/25642121.pdf>

Localización: FACULTAD DE CIENCIAS

Resumen: Esta tesis estudia la evolución temporal y las propiedades físicas de los flujos a pequeña escala en la penumbra de las manchas solares desde un punto de vista observacional.

La penumbra es un medio magnetizado en el que el transporte convectivo debería estar inhibido. Sin embargo, se observa como una región repleta de filamentos brillantes de diferentes tamaños que evolucionan en cuestión de minutos, lo que conduce a la pregunta de cómo se mueve el gas en la penumbra. Desde el descubrimiento del efecto Evershed en 1909, varios modelos teóricos y estudios observacionales han tratado de explicar qué ocurre en la penumbra. Sin embargo, no han podido explicar totalmente las observaciones. Recientemente se han realizado simulaciones magnetohidrodinámicas en tres dimensiones que permiten probar los modelos y compararlos con las observaciones. Los resultados de las últimas simulaciones publicadas sugieren que la convección es el mecanismo responsable del movimiento del flujo penumbral (Scharmer et al. 2008). Sin embargo, la existencia de convección continúa siendo cuestionada porque las únicas pruebas observacionales

que existen se obtuvieron corrigiendo de luz difusa. Otro aspecto de gran interés es la existencia de los flujos descendentes supersónicos en la penumbra. Gracias a las mejoras en instrumentación, se han podido caracterizar con cierto detalle. Sin embargo, van Noort et al. (2013) describe flujos descendentes supersónicos con velocidades del orden de 20 km/s y campos magnéticos de 7 kG, siendo los valores más altos obtenidos en la penumbra y generando ciertas dudas en la comunidad.

Lo novedoso de esta tesis es el uso de secuencias temporales de datos espectropolarimétricos en la línea de Fe I en 6173 Å, con muy alta resolución espacial y temporal ($\sim 0''.15$ y 32 s, respectivamente). Estas series se obtuvieron con el espectropolarímetro CRISP en el Telescopio Solar Sueco (SST) situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Esto nos permite estudiar movimientos de gas a pequeña escala y, además, resolver espacialmente las estructuras de velocidad presentes en la penumbra. Además, la utilización de secuencias temporales permite filtrar las oscilaciones subsónicas que introducen un patrón indeseado en el campo de velocidad, especialmente cuando se buscan movimientos muy lentos.

Mediante el cálculo de velocidades en la línea de visión (LOS) utilizando la técnica de los bisectores y el filtrado de estas, hemos detectado flujos descendentes laterales por toda la penumbra. Esta es la primera vez que se consigue sin utilizar datos corregidos de luz difusa. Los flujos descendentes laterales aparecen cerca o en los bordes de los filamentos penumbrales y se mueven acompañando a los canales de flujo a los que están asociados. Son intermitentes, produciéndose continuamente uniones y fragmentaciones. La velocidad de los flujos descendentes laterales es muy pequeña, del orden de 200 m/s, su tiempo de vida es de 6 minutos y se desplazan hacia el exterior de la mancha. Gracias a la inversión de los perfiles de Stokes observados, hemos podido caracterizar también su campo magnético. La intensidad del campo magnético es de unos 1.5 kG. La inclinación no sugiere la presencia de polaridad opuesta, pero al inspeccionar los perfiles de polarización circular hemos observado la existencia de un lóbulo rojo adicional que indica la presencia de campos de polaridad opuesta. La convección, los rollos convectivos (Danielson 1961) y los tubos de flujo helicoidal (Borrero 2007) son compatibles con los resultados, aunque se prioriza la convección ya que está apoyada también por las simulaciones. Sin embargo, las velocidades que se obtienen en las simulaciones son mayores que en las observaciones lo que genera ciertas dudas. Es importante destacar que en las simulaciones aparece una inversión de polaridad entre las superficies a profundidad óptica 1 y 0.1 y que sería interesante observar para poder relacionar los flujos descendentes laterales con flujos de polaridad opuesta.

A partir de la inversión de dos componentes en píxeles que albergan flujos descendentes supersónicos hemos caracterizado sus propiedades físicas y su evolución temporal. Estos parches aparecen en la penumbra media y externa y se mueven hacia el exterior. Estos coinciden con estructuras brillantes situadas al final de filamentos. Los flujos descendentes supersónicos se caracterizan por tener velocidades fuertes (~ 8 km/s) y campos magnéticos de unos 1.5 kG con polaridad opuesta a la de la mancha (45°). Su tiempo de vida oscila de uno a diez minutos y pueden ser recurrentes. Las estructuras que los albergan pueden unirse o fragmentarse y su velocidad, forma e intensidad varían a lo largo de su vida. Según estos resultados, los flujos descendentes supersónicos podrían ser frenados abruptamente en capas inferiores más densas produciéndose un choque. Como consecuencia, habría un aumento de la temperatura hacia capas superiores, apareciendo estructuras más brillantes.

