

HOYOS CORONALES Y CORRIENTES DE ALTA VELOCIDAD DEL VIENTO SOLAR

René Espinoza*

El Sol pierde masa a razón de 10^{-14} masas solares por año vía el Viento Solar. Se denomina Viento Solar a la expansión continua de la Corona hacia el medio interplanetario. Un aumento en la presión en la base de la Corona y un gradiente favorable con la presión del espacio exterior causa una aceleración del plasma coronal a velocidades supersónicas.

El Viento Solar consiste principalmente de protones, electrones y partículas alfa. A la altura de la órbita de la Tierra la densidad promedio de partículas en el viento es de 8.7 cm^{-3} , su temperatura de unos $100\,000 \text{ }^\circ\text{K}$ y tiene una velocidad media de alrededor de 400 km/s con algunas variaciones de hasta 800 km/s . Los flujos de energía y momento de la radiación solar son muchos órdenes de magnitud mayor que la pérdida del gas coronal. Aunque el flujo de energía del viento es muy pequeño, su estudio es de gran importancia para entender las condiciones del medio interplanetario y por supuesto los mecanismos de producción y aceleración de partículas en la atmósfera solar. Desde hace unos quince años los estudios solares han sugerido que el Viento Solar se genera no de toda la atmósfera sino que proviene de regiones bien localizadas que actualmente se identifican como Hoyos Coronales. Es necesario comprender ampliamente estas regiones así como el flujo proveniente de ellas, el cual presenta una alta velocidad.

A los flujos con velocidades mayores de 650 km/s se les denominan corrientes de alta velocidad y aparecen en forma discreta y esporádicamente a lo largo del ciclo solar. Sin embargo parece haber un mayor número de estas corrientes durante los períodos de baja actividad. La presencia de los flujos rápidos es un fenómeno recurrente con períodos de 27 días. Las observaciones de las corrientes de alta velocidad en el vien-

to indican que el cambio en la velocidad toma alrededor de 24 horas, permaneciendo en el medio de uno a tres días; posteriormente hay una disminución gradual de la velocidad, la cual toma varios días, hasta alcanzar el valor medio del viento. Acompañan a estas observaciones un pequeño crecimiento inicial de la densidad, la cual disminuye después por debajo de la densidad media, permaneciendo baja por espacio de tres días para alcanzar después su densidad media.

La expansión continua de la Corona en el espacio interplanetario esta distorsionada por la interacción de los flujos rápidos. En la actualidad se tiene información de las condiciones físicas del viento solar desde distancias de 0.3 UA hasta 25 UA . Se espera obtener información de más allá de 25 UA por medio de las naves Pionero 10 y 11 y Voyager 1 y 2.

HOYOS CORONALES

Los hoyos coronales son amplias regiones en la Corona que presentan una disminución anormal de la densidad electrónica y una menor temperatura respecto a la Corona normal, y poseen campos magnéticos débiles y unipolares que divergen rápidamente con la altura.

En el año de 1934, Bartels había denominado regiones M a amplias áreas en la superficie solar para establecer su relación con las perturbaciones geomagnéticas recurrentes, pero no fue sino hasta 1957 cuando se reconoció su existencia al observarse mapas sinópticos de líneas de emisión coronal. Dichas regiones presentan una fuente diferente de los fenómenos de emisión de partículas solares, denominadas ráfagas responsables de tormentas geomagnéticas esporádicas. Actualmente las regiones M se identifican con los hoyos coronales.

* Estudiante, Instituto de Geofísica, UNAM.
Profesor del Dpto. de Física de la UTA.

Actualmente existe una gran información que establece a los hoyos coronales como las fuentes de las corrientes de alta velocidad, las cuales están en estrecha relación con las variaciones geomagnéticas recurrentes. Grandes índices de actividad geomagnética se han registrado entre dos y tres días después del paso por el meridiano central de un hoyo coronal ecuatorial.

Los hoyos presentan además una notable emisión reducida en todas las longitudes de onda: Rayos X, 40-100 Å; Extremo Ultravioleta EUV, 100-1500 Å; Luz blanca y Ondas de radio, respecto a la Corona Solar. La emisión radiativa es proporcional al cuadrado de la densidad electrónica la cual es baja en regiones de hoyos. La temperatura en un hoyo es inferior aproximadamente unos 600 000 °K respecto a la Corona circundante. Esta disminución de la temperatura sugiere que el mecanismo de calentamiento de un hoyo es menos eficiente en relación con la Corona. Algunos modelos suponen que la deficiencia de la radiación emitida se transforma en energía cinética de partículas. Otros modelos sostienen sin embargo que en regiones coronales quietas y activas el coeficiente de conductividad térmica es reducido por una componente transversal del campo magnético, incrementando la temperatura coronal, mientras que en regiones de hoyos la conductividad no se reduce pues el campo magnético es radial.

Una de las características más importantes de los hoyos es la de poseer campos magnéticos unipolares que se abren hacia el espacio interplanetario. Esta geometría divergente del campo magnético proporciona una clase de tobera en la cual escapa el viento solar. Cabe mencionar que la acción del campo magnético es crucial en la formación de hoyos y en la expansión de la Corona. Generalmente los hoyos rotan rígidamente en todas las latitudes, es decir, desde hoyos polares hasta ecuatoriales, con el mismo período sinódico del ecuador solar. Durante los nueve meses de la misión del Skylab (1973-1974), los hoyos observados tuvieron una vida media de dos a diez rotaciones solares y sólo el 75% de ellos estuvieron asociados con corrientes de alta velocidad. El área de los hoyos fluctúa sistemáticamente con el ciclo de la actividad solar, las fotografías tomadas desde satélites indican una disminución durante los años de máxima actividad, mientras que

las áreas se incrementan durante el tiempo de declinación. Durante un mínimo de actividad comprendido durante los años 1973-1974, fué notable la aparición de flujos discretos de alta velocidad. El interés por explicar el origen de los hoyos coronales ha llamado la atención de algunos teóricos interesados en la teoría del dínamo solar, intentando explicar el nacimiento de hoyos y su rotación rígida.

A partir del análisis de las observaciones se han propuesto varios modelos para describir y entender adecuadamente la relación entre hoyos coronales y la expansión coronal. Kopp y Holzer (1976) proponen un modelo en el cual el campo magnético en un hoyo tiene una sección transversal que diverge más rápido que una divergencia de la forma r^{-2} hasta una distancia de al menos un radio solar, más allá el flujo se expandirá en forma radial.

Este modelo sugiere que los hoyos coronales están asociados con campos magnéticos abiertos, pero no todas las regiones abiertas pueden originar hoyos, solamente aquellos flujos cuya sección transversal, que se incrementa hacia afuera con suficiente rapidez, puede soportar una expansión supersónica de baja densidad a través de la Corona, es decir la densidad observada en un hoyo es compatible con la densidad y velocidad de partículas medidas en la órbita de la tierra.

Actualmente los modelos de flujos en hoyos coronales analizan el papel del plasma coronal suponiendo un flujo radial que depende únicamente de la distancia. Es conveniente tomar en cuenta una componente latitudinal de la velocidad considerando un gradiente transversal, suponiendo que el flujo o líneas de flujo adyacentes divergen diferentemente que las de un flujo radial. Otros modelos propuestos son obstruidos por la complejidad matemática. Sin embargo no se conoce aún el fenómeno de hoyos coronales y su asociación con campos magnéticos.

* * * *