

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS
OBSERVATORIO ASTRONOMICO CENTROAMERICANO DE SUYAPA
MAESTRIA EN ASTRONOMIA Y ASTROFISICA



ANALISIS DE LA RELACION ENTRE LA INTENSIDAD DE FONDO DE CIELO COMO INDICADOR DE EYECCIONES CORONALES Y LOS EFECTOS GEOMAGNETICOS DERIVADOS

MARIBEL SUYAPA GUERRERO VASQUEZ
Master en Astronomía y Astrofísica

MARTA ROVIRA
Tutora

Ciudad Universitaria, Tegucigalpa, M. D. C. Honduras, C. A.

Octubre, 2004

AUTORIDADES UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
HONDURAS

GILLERMO PEREZ - CADALSO ARIAS

RECTOR

FRANCISCO DUBON PAZ
VICE RECTOR

YOVANY DUBON

SECRETARIO GENERAL

MARGARITA OSEGUERA DE OCHOA

DIRECTORA DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MARIA CRISTINA PINEDA DE CARIAS

DIRECTORA

OBSERVATORIO ASTRONOMICO CENTORAMERICANO

MAESTRIA EN ASTRONOMIA Y ASTROFISICA

TRIBUNAL EXAMINADOR

MARTA ROVIRA / PROFESORA VISITANTE OACS/ UNAH

VICENTE PLEITEZ / PROFESOR VISITANTE OACS/ UNAH

MARIA CRISTINA PINEDA DE CARIAS / PROFESORA OACS/ UNAH

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO:

QUE ME HA PERMITIDO CULMINAR CON ÉXITO LOS ESTUDIOS DE
POSTGRADO EN ASTRONOMIA Y ASTROFISICA.

A MIS PADRES QUE SIEMPRE ME DIERON AMOR E INVALUABE APOYO:

GUSTAVO GUERRERO AGUILAR (Q.DDG) Y ANARDA VASQUEZ DE
GUERRERO.

A MIS HIJOS, FUENTE DE MIS PROPOSITOS:

ROSMAL DANNY ESPINAL G. Y KATYA MARIBEL ESPINAL G.

A MI ESPOSO ROSMAL RENE ESPINAL V. , PRINCIPAL MOTIVADOR PARA
ESTA EMPRESA.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco grandemente a las personas e instituciones que contribuyeron en el desarrollo de esta tesis en el campo que me apasiona y me propuse hacerlo: la física solar.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS, nuestra Alma Mater por abrirme sus puertas

Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS/UNAH), por su apoyo humano y técnico especialmente a Carlos Luis Barahona y Jackie Saadeh

Profesora María Cristina Pineda de Carías, por sus consejos y apoyo profesional

Dr. Guillermo Stenborg, por su valiosa asesoría

Dra. Marta Rovira, por su apoyo y asesoría

Dr. Vicente Pleitez, por su apoyo asesoría

Resumen

Dada la importancia del impacto de las perturbaciones de los fenómenos geoeffectivos en la magnetósfera de la Tierra y sus consecuencias sobre ella resulta de mucho interés el estudio de las eyecciones coronales de masa (CME) a través de los datos del coronografo Mica.

Consecuentemente por medio de esta investigación se ha planteado una correlación entre las CME y las mediciones del Sky Tester. También se plantea la correlación entre los halos CME y los disturbios geomagnéticos, por medio del índice geomagnético "K", que indica el tipo de tormentas que provocan los halos sobre la magnetósfera terrestre.

En este estudio ambas correlaciones presentan indicios que pueden confirmarse con otros análisis más exhaustivos.

Palabras claves:

Eyecciones coronales de masa (CME), Halo Eyecciones Coronales de masa, coronografo, índice K, magnetosfera, disturbios geomagnéticos.

Contenidos

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Capítulo 1	
Introducción	1
Capítulo 2	
El Sol	2
2.1 Breve historia de las observaciones solares	3
2.2 Interior solar	5
2.3 Atmósfera solar	8
2.4 Formas de observar la corona	13
2.5 Fenómenos en la corona	14
2.6 Geoefectividad	21
2.7 Consecuencias sobre la Tierra	22
2.8 Planteamiento del problema y justificación de la investigación	25
2.9 Objetivos	26
Capítulo 3	
Equipo Datos y Metodología	
3.1 Equipo	27
3.1.1 El coronógrafo	27
3.1.2 LASCO y SOHO	31
3.1.3 NOAA/ POES Space Environment Monitor	33
3.2 Metodología	34
3.2.1 Ordenamiento de eventos	34

3.2.2	Lectura y organización de datos	35
3.2.3	Generación de datos para cada observación de la lista 2	35
3.2.4	Obtención de rangos de tiempo	35
3.2.5	Curvas de aproximación y estadísticas	36
3.2.6	Análisis de datos e interpretación	37
3.2.7	Indices “K”	37
Capítulo 4		
Resultados y Discusión		
4.1	Resultados	39
4.2	Discusión	43
Bibliografía		
ANEXOS		
Anexo A.1		47
Anexo A.2		50
Anexo A.3		52

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO:

QUE ME HA PERMITIDO CULMINAR CON ÉXITO LOS ESTUDIOS DE POSTGRADO EN ASTRONOMIA Y ASTROFISICA.

A MIS PADRES QUE SIEMPRE ME DIERON AMOR E INVALUABLE APOYO:

GUSTAVO GUERRERO AGUILAR (Q.DDG) Y ANARDA VASQUEZ DE GUERRERO.

A MIS HIJOS, FUENTE DE MIS PROPOSITOS:

ROSMAL DANNY ESPINAL G. Y KATYA MARIBEL ESPINAL G.

A MI ESPOSO ROSMAL RENE ESPINAL V. , PRINCIPAL MOTIVADOR PARA ESTA EMPRESA.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco grandemente a las personas e instituciones que contribuyeron en el desarrollo de esta tesis en el campo que me apasiona y me propuse hacerlo: la física solar.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS, nuestra Alma Mater por abrirme sus puertas

Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS/UNAH), por su apoyo humano y técnico especialmente a Carlos Luis Barahona y Jackie Saadeh

Profesora María Cristina Pineda de Carías, por sus consejos y apoyo profesional

Dr. Guillermo Stenborg, por su valiosa asesoría

Dra. Marta Rovira, por su apoyo y asesoría

Dr. Vicente Pleitez, por su apoyo asesoría

Resumen

Dada la importancia del impacto de las perturbaciones de los fenómenos geoelectivos en la magnetósfera de la Tierra y sus consecuencias sobre ella resulta de mucho interés el estudio de las eyecciones coronales de masa (CME) a través de los datos del coronógrafo Mica.

Consecuentemente por medio de esta investigación se ha planteado una correlación entre las CME y las mediciones del Sky Tester. También se plantea la correlación entre los halos CME y los disturbios geomagnéticos, por medio del índice geomagnético "K", que indica el tipo de tormentas que provocan los halos sobre la magnetósfera terrestre.

En este estudio ambas correlaciones presentan indicios que pueden confirmarse con otros análisis más exhaustivos.

Palabras claves:

Eyecciones coronales de masa (CME), Halo Eyecciones Coronales de masa, coronografo, índice K, magnetosfera, disturbios geomagnéticos.

Resumen

Dada la importancia del impacto de las perturbaciones de los fenómenos geoefectivos en la magnetósfera de la Tierra y sus consecuencias sobre ella resulta de mucho interés el estudio de las eyecciones coronales de masa (CME) a través de los datos del coronografo Mica. Consecuentemente por medio de esta investigación se ha planteado una correlación entre las CME y las mediciones del Sky Tester. También se plantea la correlación entre los halos CME y los disturbios geomagnéticos, por medio del índice geomagnético "K", que indica el tipo de tormentas que provocan los halos sobre la magnetósfera terrestre. En este estudio ambas correlaciones presentan indicios que pueden confirmarse con otros análisis más exhaustivos.

Palabras claves:

Eyecciones coronales de masa (CME), Halo Eyecciones Coronales de masa, coronografo, índice K, magnetosfera, disturbios geomagnéticos.

CAPITULO 1

Introducción

Este proyecto de investigación presenta el análisis de dos correlaciones, una entre las CME y las mediciones que hace el coronógrafo Sky Tester, por medio de la evaluación y análisis estadístico de las curvas de esas mediciones, en las que se sospecha alguna posible detección de una CME y la otra entre las Halo CME y los disturbios en la magnetósfera de la Tierra, con los índices geomagnéticos "K"

El presente trabajo consta de cuatro capítulos cada uno de los cuales está dividido en secciones. La parte introductoria explicativa de los contenidos corresponde al capítulo 1, el capítulo 2 contiene el marco teórico que abarca la información de las observaciones solares, estructura del Sol, actividad solar, fenómenos en la corona, geoelectividad y las consecuencias en la Tierra. La problemática actual de la física solar, el planteamiento del problema y los objetivos de esta investigación complementan este capítulo. Forman parte del capítulo 3 la metodología, donde se describen los datos utilizados en este proyecto y se explica como se procesaron para obtener finalmente los resultados, los instrumentos que realizan las observaciones como el coronógrafo Sky Tester, telescopio MICA y el satélite SOHO. La parte dedicada al análisis de datos, resultados y la discusión se encuentran en el capítulo 4. La última parte de este trabajo consiste en la bibliografía y los anexos. Los anexos proveen la información complementaria de los capítulos con gráficos y tablas de resultados.

CAPITULO 2

El Sol

El Sol tiene un diámetro 109 veces mayor que el diámetro de la Tierra. Se localiza a una distancia media de 150 millones de km. Aunque algunos interrogantes acerca del Sol ya han sido resueltas desde tiempo atrás, con la llegada de nuevos instrumentos como el satélite SOHO, que observa el Sol continuamente, han surgido nuevas preguntas que son motivo de estudios actuales. Con los avances de la ciencia y la tecnología nos hemos percatado de que además de ser vital la luz y el calor del Sol para la vida, existen efectos negativos sobre nuestro planeta Tierra y sobre la humanidad entera. Por esta razón se buscan métodos de predicción de eventos que alcanzan a la Tierra, para prepararnos con el fin de protegernos de ellos.

DATOS DEL SOL

Distancia angular visto desde la Tierra	32.5'
Masa	1.99x10 ³⁰ kg. 332,000 (Tierra =1)
Radio ecuatorial	696,000 km. 109 (Tierra =1)
Densidad media	1410 kg/m ³ 0.255 (Tierra =1)
Gravedad superficial	274m/ s ² 28.09 (Tierra =1)
Velocidad de escape	618km/ s
Periodo de rotación sideral	25.1 días solares (en el ecuador) 30.8 días solares (latitud 60 °) 36 días solares (en los polos) 26.9 días solares (en el interior)
Inclinación axial	7.25 ° respecto a la eclíptica
Temperatura superficial	5780 K (temperatura efectiva)
Luminosidad	3.25x10 ²⁶ W

2.1 Breve Historia de las Observaciones Solares

Desde el año 600 a 400 A.C., en Atenas, se tienen antecedentes de las primeras observaciones solares, que se hicieron a ojo desnudo. Más tarde, en el año 50 A.C., siguieron los chinos con estas prácticas, hasta que Galileo observó las manchas solares con su telescopio en el año 1610. En el año 1630 hubo acontecimientos importantes. Observando manchas, Scheiner encontró la inclinación de 7 grados respecto a la eclíptica y midió la rotación ecuatorial y su decrecimiento hacia los polos.

Cincuenta años después de las observaciones de Galileo, Newton hizo publicaciones acerca de la masa relativa a la Tierra. Siguió creciendo el interés por las observaciones solares, de manera que para el año 1700 ya eran anuales. Cincuenta años después, en 1750, éstas pasaron a ser mensuales hasta llegar a ser un trabajo diario en 1818. Durante unos 400 años la mayor parte de las investigaciones solares fueron sobre manchas. Fraunhofer, en el año 1814, construyó el primer espectroscopio para análisis cuantitativo. Cincuenta años más tarde Kirchhoff descubrió las leyes que gobiernan la emisión y absorción de la luz en cuerpos sólidos y gaseosos. También el desarrollo de la fotografía hizo posible la obtención de mejores observaciones en luz blanca a partir de 1840.

En 1870 se observó la granulación solar. Más tarde, B. Lyot construyó el primer coronógrafo (en el año 1930), en Pic Du Midi, Francia. En 1942 se identificaron emisiones del Sol en frecuencias de radio. Estos resultados no se publicaron hasta el año 1945 por razones militares. Las fulguraciones solares se observaron por primera vez en 1959, por P.C. Carrington y R. Hodgson cuando observaban manchas en luz blanca. En 1958 Parker planteó, desde el punto de vista hidrodinámico, la idea de viento solar. Con la llegada de la era espacial y las observaciones satelitales, al final de la década de los 60, se descubrieron los agujeros coronales.

Nuestro Sol es un fantástico laboratorio, donde se pueden observar condiciones únicas de temperatura, densidad, campos magnéticos y movimiento de fluidos. Esta gigantesca esfera de gas está compuesta principalmente por Hidrógeno (70%) y Helio (28%), los dos elementos químicos más simples y más livianos, y cerca de 2% de elementos pesados. Genera energía a través de procesos de fusión nuclear. Debido a la presión y a la temperatura interior, los átomos se fusionan produciendo energía nuclear que mantiene activo al Sol.

Composición del Sol

Elemento	Abundancia (Porcentaje del número total de átomos)	Abundancia (Porcentaje del total de la masa)
Hidrógeno	91.12	71.0
Helio	8.7	27.1
Oxígeno	0.078	0.97
Carbón	0.043	0.40
Nitrógeno	0.0088	0.096
Silicio	0.0045	0.099
Magnesio	0.0038	0.076
Neón	0.0035	0.058
Hierro	0.0030	0.14
Azufre	0.0015	0.040

El Sol presenta inesperados comportamientos y fenómenos; sin embargo, su estructura está acomodada en una serie de capas, desde el interior hacia el exterior. Son parte del interior: el Núcleo, la Zona Radiativa y la Zona Convectiva. Por otro lado, la fotosfera, la cromósfera y la corona conforman la atmósfera solar.

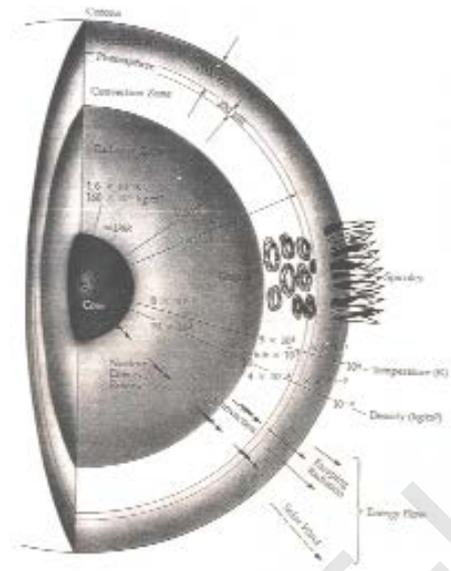


Fig.2.1 Las capas del Sol muestran la temperatura característica de cada una de ellas.

2.2 Interior Solar.

Partiendo desde el centro del Sol, para su estudio se ha dividido (Fig.2.1)en:

Núcleo

Es la planta de energía nuclear del Sol. Allí los núcleos de Hidrógeno (protones) son fusionados, convirtiendo el Hidrógeno en Helio, a temperaturas de 1.7×10^7 K. El núcleo se extiende hasta 0.25 radios solares, contiene cerca del 60% de la masa del Sol y suficiente hidrógeno para mantenerlo activo por unos cinco mil millones de años más. Se necesita un choque rápido donde dos protones interactúan, para comenzar así la fusión llamada reacción en cadena protón-protón.

Reacciones en cadena Protón - Protón.

Estas reacciones son las más importantes de todos los procesos de fusión nuclear (fig. 2.2.) En una reacción protón – protón un total de cuatro protones y dos electrones son convertidos en: dos protones, un Helio de cuatro nucleones y dos neutrinos, siendo los dos protones el combustible disponible para una nueva reacción protón – protón.

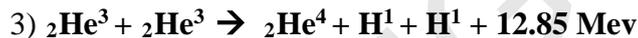
El efecto neto de la reacción protón -protón representa el primer paso en el proceso de fusión.



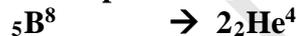
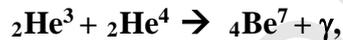
En el siguiente paso un protón interactúa con el deuterón producido en el primer paso.



En el último paso de la reacción protón – protón, a partir de la fusión de 2 Helios de tres núcleos, creados en el segundo paso, se producen: un Helio de 4 núcleos, rayos gamma y dos neutrinos .



La ecuación 2) puede escribirse de forma alterna como sigue:



Estas reacciones no producen mucha energía pero son importantes para mostrar la producción de neutrinos.

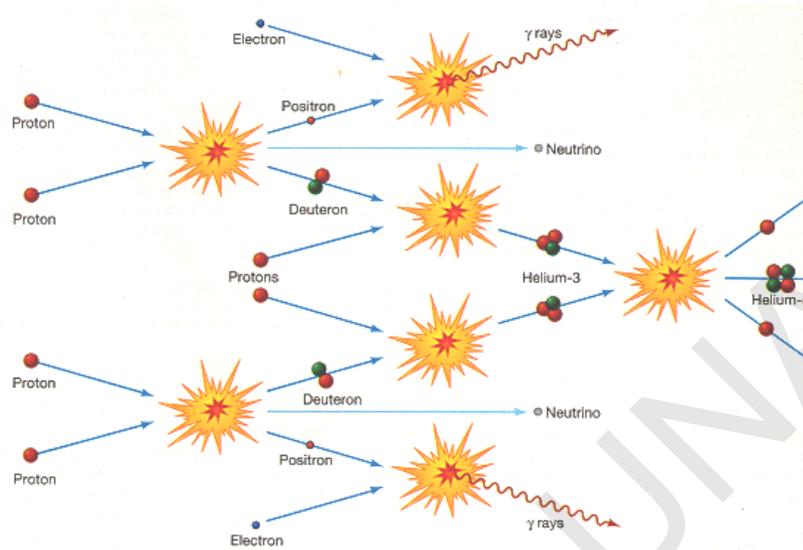


Fig. 2.2 Fusión nuclear: cuatro protones y dos electrones se convierten en dos protones, un helio de cuatro nucleones y dos neutrinos

Zona Radiativa.

Esta zona comprende desde el exterior del núcleo hasta aproximadamente el 80 % del radio solar. Es una región altamente ionizada, con temperaturas de unos 8×10^6 K, donde la energía es transferida por radiación. Por ser éste el principal mecanismo de transporte es que se le llama a esta zona, radiativa. Esta zona tiene gases muy densos, bombardeados por los rayos gamma producidos en el núcleo, los cuales rebotan y se desvían, mientras los rayos X y ultravioleta son absorbidos y reemitidos con menor energía. La radiación liberada viaja hacia la superficie; así, la energía y la temperatura van disminuyendo y debido a esto, la longitud de onda también decrece, de manera que la energía electromagnética requiere de unos 10 millones de años para salir a la superficie en forma de luz visible.

Zona Convectiva.

Debido a la alta densidad y a las temperaturas relativamente bajas (5×10^5 K), el

transporte de energía, se realiza por convección que no es más que el movimiento ascendente y descendente de los gases. La convección es un patrón de circulación que tiende a regular la temperatura; es críticamente importante para transportar y llevar toda la energía solar hacia la superficie.

2.3 Atmósfera Solar

La extensa atmósfera del Sol está compuesta por tres capas; la más interna es:

La Fotosfera

Es donde comienza la extensa y compleja atmósfera solar. Se conoce como la superficie visible del Sol, con temperaturas de 5800 K y se localiza al final de la capa convectiva. De esta fina capa de gas (330 km) fluye gran cantidad de radiación visible. Allí se observan las llamadas líneas de Fraunhofer, que son líneas de absorción en el espectro del Sol. Estas líneas muy prominentes, en longitud de onda visible, significan la presencia de Calcio ionizado, Hidrógeno neutro, Sodio y Magnesio, aunque muchas líneas débiles indican la presencia de Hierro. La intensidad de una línea particular no depende de la cantidad del elemento presente, sino también del grado de ionización y del nivel de excitación de sus átomos. La existencia de las líneas de Fraunhofer es una evidencia directa de que la temperatura en la atmósfera del Sol decrece con la altura sobre la fotosfera.

En la fotosfera se puede observar la **granulación fotosférica**; pequeños transitorios, como burbujas de gas caliente sobre toda la capa, excepto en las manchas. Tienen un tamaño aproximado de 1000 km. También se observan las celdas convectivas llamadas *supergránulos*, que presentan un flujo horizontal de material hacia y desde el centro de las mismas. Tienen áreas aproximadas de 30,000 km². En la parte superior de la fotosfera se localizan parches brillantes conocidos como **fáculas**; poseen temperaturas más altas que su entorno; algunas son regiones con campo magnético bipolar. Ocurren donde hay un aumento del campo magnético vertical. Otro

tipo es la **fácula polar**, la cual consiste en gránulos aislados. Aparecen en altas latitudes heliográficas, alrededor del mínimo del ciclo de manchas solares.

Manchas solares.

Las primeras observaciones de manchas solares reportadas, fueron hechas a ojo desnudo por Teósphrastus de Atenas, en el año 350 A.C. Desde el año 50A.C. hasta la edad Media, los chinos observaron las manchas de manera sistemática. Por otra parte,

Galileo Galilei observó las manchas solares con su telescopio en el año 1610.

Las manchas solares son zonas oscuras sobre la granulación de la fotosfera. Son relativamente frías, con temperaturas menores que su entorno. Las bajas temperaturas sugieren que el flujo de calor es inhibido por los campos magnéticos, convirtiendo unos tres cuartos del flujo en ondas magnetohidrodinámicas que se propagan rápidamente a lo largo de las líneas de campo sin disiparse.

Las manchas solares ponen en evidencia la rotación solar. Observadas en luz blanca, se ven formadas por una parte central oscura, llamada umbra rodeada de un anillo menos oscuro, la penumbra. Son áreas de intenso campo magnético. A menudo forman grupos magnéticamente bipolares que se localizan en latitudes $+35^\circ$ y -35° al comienzo del ciclo solar; después se mueven progresivamente hacia el ecuador hasta $+8^\circ$ y -8° , hacia el mínimo de actividad al final del ciclo. Las manchas en altas latitudes aparecen antes que las manchas de bajas latitudes de un ciclo previo. Se cree que la rotación diferencial contribuye significativamente a la formación de las manchas.

El número de manchas varía con un ciclo aproximado de 11 años. Este ciclo no es muy regular. Esto lo podemos observar fácilmente en un diagrama mariposa, (Fig.2.3) especialmente en la longitud de las alas de mariposa. Y así, un ciclo puede durar de

diez a doce años. El máximo número, o área de manchas desarrolladas, es también irregular.

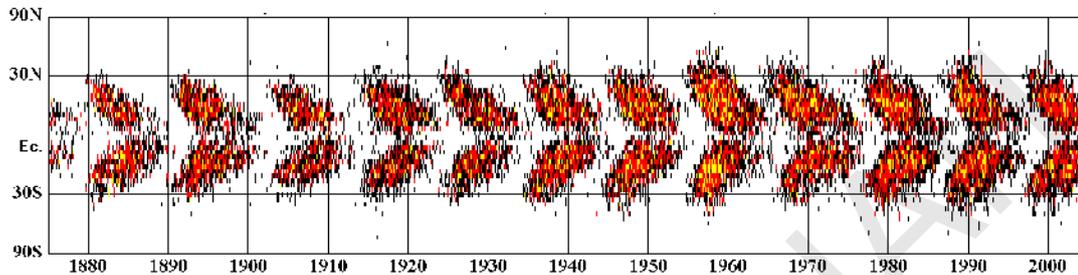


Fig..2.3 Diagrama Mariposa. Número y latitud de las manchas en función del tiempo entre 1874 y 2004.

El número de manchas aumenta y posteriormente disminuye gradualmente, en un ciclo de 11 años. Las manchas son la más obvia, pero no la única, manifestación de actividad solar. Los grupos de manchas presentan mucha diversidad en su estructura, por lo que son clasificadas de acuerdo a la configuración de su campo magnético en unipolares, bipolares ó complejas. Los grupos unipolares y las manchas aisladas tienen la misma polaridad magnética. Los grupos bipolares consisten en dos manchas principales, con polaridad magnética opuesta. Se les llama, de acuerdo a la dirección de rotación del Sol, manchas precedente (p) y siguiente (f). Las polaridades de las manchas p y f son iguales en el mismo hemisferio y opuestas en el otro.

Mínimo de Maunder.

Al período comprendido entre los años 1645 y 1715, de un receso en la actividad solar, se lo conoce como mínimo de Maunder (Fig2..4) Existen evidencias históricas que muestran la ausencia del ciclo de 11 años de actividad solar de las manchas en ese período. Durante este período, se produjeron tres eclipses, los que se describen, de manera muy consistente, con muy baja actividad solar y no se observó ninguna mancha durante esos 70 años. El mínimo de Maunder, destaca muy claramente “una pequeña edad de hielo”. Fue una temporada fría, fuera de lo normal sobre la Tierra, en el hemisferio norte, con una temperatura promedio de 5°C.

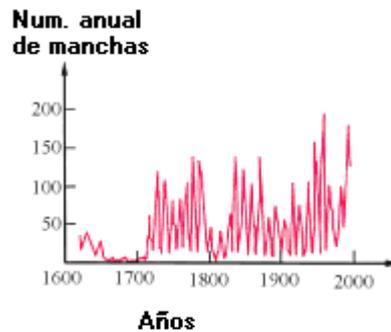


Fig 2.4. Mínimo de Maunder comprende un período de muy baja actividad solar, desde 1645 a 1715.

La cromósfera

Es la capa localizada sobre la fotosfera. Es una capa rojiza, llamada así por la palabra “cromo” (del griego) que significa color. Se extiende sobre la fotosfera unos 10,000 km y la densidad del gas es menor que la de esta. En esta zona se observan estructuras tales como las prominencias o filamentos, las espículas y las explosiones llamadas fulguraciones.

Espículas

Son chorros de gas predominantemente verticales, observables en el visible entre 400-750 nm que surgen desde la baja cromósfera. Tienen una vida promedio de 5-10 minutos y se localizan en las regiones donde aumenta el campo magnético, en el límite de los supergránulos. Poseen temperaturas entre 10,000 y 20,000 K.

La Corona Solar.

Es un fenómeno que se extiende como blancos halos desde el limbo y es observable durante un eclipse total de Sol (Fig2.5). La corona solar, con la llegada de la era espacial, ha presentado algunas sorpresas, como su elevada temperatura de millones

de grados; también se ha visto que es más estructurada y más dinámica de lo que se esperaba. Puede ser representada por un modelo de atmósfera estelar, en la cual predominan los procesos no térmicos, como el transporte de energía por corrientes eléctricas, partículas cargadas, ondas magnetohidrodinámicas e hidrodinámicas.

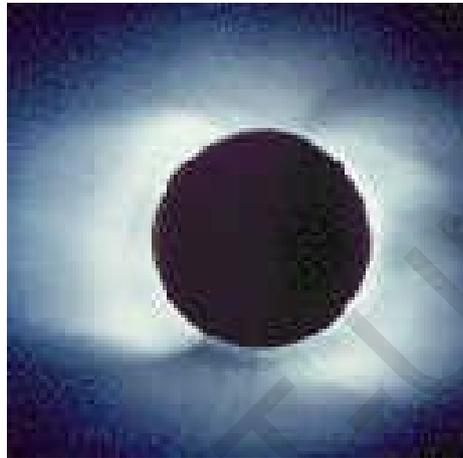


Fig.2.5 Eclipse solar total: durante la totalidad se puede observar la corona solar.

Diferentes Tipos de Corona.

La Corona solar tiene dos componentes en el rango visible: la **corona K** (espectro continuo) o corona interna, se extiende hasta unos 4 radios solares y más. Está parcialmente ionizada y formada por electrones libres que se mueven muy rápidamente, por lo que no se detectan las líneas de absorción de Fraunhofer. La intensidad es proporcional a la densidad electrónica sumada en la línea de visión; es fuertemente polarizada, con el vector eléctrico paralelo al limbo solar.

La corona externa llamada **corona F** (corona de Fraunhofer) está compuesta por partículas de polvo interplanetario que se mueven en forma relativamente lenta. Presenta un espectro de absorción y se extiende millones de kilómetros dentro del medio interplanetario.

La **corona E** (corona de emisión) está compuesta por iones con movimientos relativamente lentos. Presenta un alto grado de ionización; se observan líneas de emisión prohibidas y líneas de emisión permitidas, en el rango UV, del Fe XII, a 19.5nm y en el EUV, del Fe XV, a 28.4nm. Las líneas más fuertes se observan en el rango visible a 530.3nm, del Fe XIV, en la llamada “línea verde”.

La **corona T** (corona térmica) se debe a la radiación térmica que emiten las partículas de polvo caliente; debido a su temperatura, presenta un espectro en el infrarrojo continuo.

Las **componentes F** y **K** de la corona, presentan un espectro continuo, llamado corona en luz blanca. Se observa la presencia de líneas de Fraunhofer, pero de distinta intensidad y ancho: en la corona K, estas líneas se observan ensanchadas fuertemente por el efecto Doppler, que las hace desvanecerse completamente. En la corona F, las líneas presentan una intensidad y ancho ordinarios.

2.4 Formas de Observar la Corona

La corona K se puede observar desde la Tierra durante un eclipse prolongado, cuando el brillo del disco desaparece repentinamente. En la radiación coronal pueden ser observados los iones de Fe altamente ionizados, aunque este es un componente menor del gas coronal, mientras que el H no es observable, porque los átomos de H tienen menos electrones, debido a las altas temperaturas de la corona, y los núcleos no radian notablemente. Sin embargo, los electrones del H, que han sido removidos, dispersan la luz hacia nosotros, lo que hace que podamos ver la corona durante un eclipse en sitios a grandes alturas, con cielos muy limpios, a través de los *coronógrafos*. A la corona F, se le llama Luz Zodiacal; es visible al ojo humano, al amanecer y atardecer, en condiciones meteorológicas favorables. El conocimiento de las características de las componentes de la corona permite la separación de éstas y, por lo tanto, la comprensión de los mecanismos físicos que causan la emisión. Así

la corona K, altamente polarizada, permite su aislamiento mediante el uso de polarizadores. Por otra parte, la corona K puede ser aislada de la F por medio de la medición espectroscópica y de la intensidad de las líneas de absorción. El uso de filtros de banda angosta, centrados en la longitud de onda deseada, aumenta el contraste de las líneas de emisión de la corona con respecto a la emisión de fondo (dispersión de la luz en el instrumento, el cielo y otras componentes de la corona), lo que permite detectar la corona E.

2.5 Fenómenos en la Corona.

Estructuras

En la corona se observan distintos tipos de estructuras; los *agujeros coronales* constituyen una de ellas. Fueron descubiertos en 1973, durante el vuelo de la estación espacial "Skylab". Son regiones de muy baja densidad comparada con su entorno y, por su baja temperatura, se observan como zonas oscuras en la emisión de la corona. Los agujeros coronales se encuentran sobre el disco del Sol, aunque parecen estar predominantemente en los polos, donde la intensidad coronal es mínima, disminuyen hacia el ecuador. (Fig.2.6).

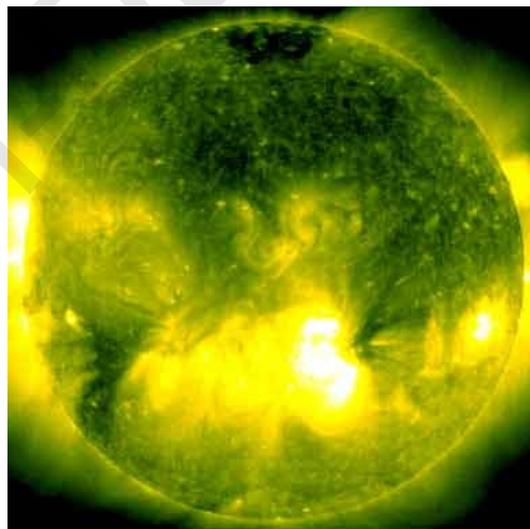


Fig 2.6. Agujeros coronales

Se caracterizan por un campo magnético relativamente divergente, débil y, por lo tanto, primariamente unipolar. Cuando se observan en luz blanca también se ven oscuros, lo que indica baja densidad electrónica en esa zona. Allí se observan los “polar plumas”, que se asocian con líneas abiertas de campo magnético. Al comienzo de un nuevo ciclo solar se presenta un cambio de la estructura de la corona observada en luz blanca. Las estructuras están formadas principalmente por sistemas de “loops brillantes” en el rango visible, de rayos X y UV y en la línea del Fe XIV. Las estructuras más imponentes son las llamadas “Streamers coronales”; pueden llegar a extenderse hasta 3.0 radios solares cuando se observan en emisión. En luz blanca se observa su extensión a grandes distancias heliocéntricas, dando origen a los “Current Sheet”, que es un sistema de arcos, delineados por campos magnéticos, conectados a distintas latitudes; ver (Fig.2.7).



Fig.2. 7 “Streamers” coronales. Eclipse del 7 de marzo de 1970 (High Altitude Observatory)

Otro tipo de estructura son las estructuras verticales, llamadas *prominencias* o *filamentos*, que se extienden hasta distancias de 40,000 km. Cuando se observan en el limbo se les llama *prominencias* mientras que en el disco, se ven como *filamentos*.

Pueden desarrollarse como columnas, arcos o lazos. Vistas como filamentos se observan longitudes de 50,000 a 300, 000 km. Se dividen en quiescentes (o estáticas) porque son relativamente calmadas y pueden vivir desde semanas hasta meses, y eruptivas, que son mucho más violentas y alcanzan velocidades de un millón de millas por hora (Fig.2.8).

En algunos casos se asocian con fulguraciones, por el material en movimiento, aunque se sabe que, originalmente, éste es el plasma de la prominencia. La erupción de una prominencia o filamento consiste en un crecimiento de ésta; tiene lugar cuando la prominencia se rompe o desaparece dentro de la corona, a gran altura; en algunos casos, caen sobre la superficie del Sol y se reconstruyen. Se cree que la erupción del material se produce por una inestabilidad en el campo magnético que soporta la prominencia.

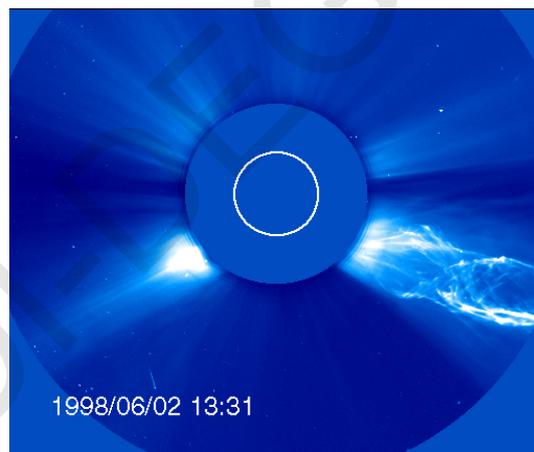


Fig.2.8 Prominencias, observación de LASCO C2

Los agujeros coronales son la fuente de chorros de partículas muy energéticas y de altas velocidades. Cuando estos chorros de material dejan los agujeros coronales se

convierten en *viento solar*. El viento solar es uno de los fenómenos dinámicos que se observan en la corona.

Fenómenos dinámicos

El *viento solar* está presente continuamente en el espacio interplanetario. Consiste en un plasma caliente, eléctricamente neutro, de electrones, iones y, principalmente, protones, con algunos átomos de núcleos pesados. Estudios de centelleo muestran que la velocidad del viento solar se incrementa en altas latitudes del Sol. Un marcado avance sobre esto, fue hecho por la misión Ulysses, en los años 1994 -1995, que extendió sus mediciones a latitudes sobre los polos Norte y Sur del Sol (Fig2.9)

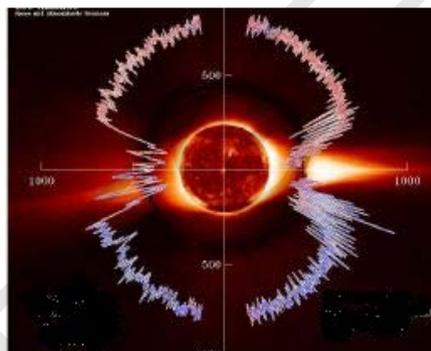


Fig. 2.9. El viento solar.

La imagen tomada por la misión Ulysses muestra que el viento solar escapa hacia el espacio interplanetario, mucho más rápido desde las regiones polares del Sol que desde el ecuador.

El viento solar fluye radialmente por la rotación del Sol, dando la forma aproximada de una espiral “Arquimideana” (Fig.2.10) con la órbita de la Tierra. La espiral forma un ángulo de cerca de 45° con una línea radial desde el Sol, mientras que llega a ser casi perpendicular a la órbita de Saturno a 9.5 U.A y distancias mayores. Viaja a velocidades típicas de 450 km/seg, para distancias de hasta 70 U.A. y probablemente más lejos. Tarda cuatro días en alcanzar la órbita de la Tierra, a 1U.A.

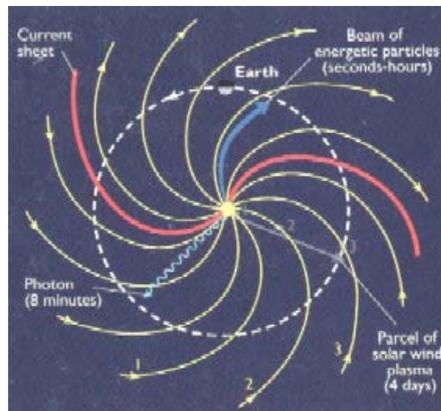


Fig.2.10 Espiral Arquimideana

Fulguraciones (“Flares”).

Son explosiones en la corona solar durante las cuales la energía magnética se convierte en energía cinética de las partículas (partículas no-térmicas, movimiento, calentamiento) y radiación. Causan un calentamiento temporal del medio y pueden acelerar electrones, protones e iones. Son los eventos de aceleración de partículas típicos en la Física Solar.

Su tiempo de vida es de minutos hasta horas y la mayoría son pequeños, cubriendo

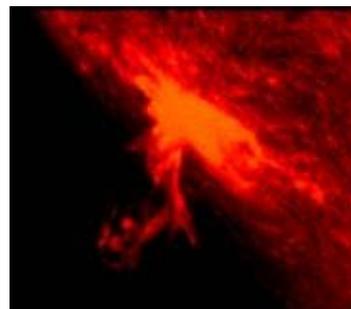


Fig. 2.11 Fulguraciones solares

áreas menores que algunos cientos de millones de km^2 . Liberan grandes cantidades de energía y radian en longitudes de onda desde rayos X y gamma hasta longitudes de onda de radio. Algunas veces están asociadas a CME, de manera que son importantes para la relación Sol -Tierra. (Fig.2.11). Pueden producir fenómenos magnetohidrodinámicos violentos, como “shocks” ó eyecciones rápidas de masa. Se desarrollan muy rápidamente, en escalas de tiempo de 10^2 - 10^3 segundos, pero su tiempo de vida es de varias horas. Una fulguración tiene tres fases observacionales en rayos X:

- 1- “Pre flare”. Esta fase dura desde minutos hasta horas, se detecta en rayos X blandos.
- 2- Fase impulsiva (“Flash”): dura de uno a cinco minutos. Los protones y electrones son acelerados hasta alcanzar energías que superan 1MeV. Durante esta fase se emiten rayos X duros, rayos Gamma, ondas de radio y radiación ultravioleta.
- 3- La fase principal. Esta puede durar desde minutos hasta horas; se observa en rayos X blandos y H alfa.

El ciclo de 11 años del Sol está relacionado con la ocurrencia de las fulguraciones de tal manera que en la época de mínima actividad ocurren pocas fulguraciones, debido a que las regiones activas son escasas y pequeñas. El estudio de las fulguraciones es de mucha importancia, debido a las condiciones extremas de temperatura, densidad y movimiento de plasma.

De acuerdo a la intensidad en rayos X, en el rango de longitudes de onda de 1 a 8 angstrom, las fulguraciones se clasifican en tres categorías:

- 1- Tipo X. Son las más violentas, con intensidades de $10^{-1} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 2- Tipo M. Son de tamaño medio, con intensidades de $10^{-2} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 3- Tipo C. Son pequeñas, con intensidades de $10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Cada una de las categorías antes mencionadas tiene nueve subdivisiones, o sea que cada letra va acompañada de un número que va del 1 al 9, según sea el caso..

Para su clasificación en H α se utiliza una letra y un número. La letra está relacionada con el área cubierta por la fulguración y el número con el brillo alcanzado. Esta clasificación se muestra en la siguiente Tabla:

Area corregida		Evaluación de la intensidad relativa		
En grados cuadrados	Millonésima de hemisferio	Faint (f)	Normal (n)	Brilliant (b)
< 2.6	< 100	Sf	Sn	Sb
2.06 -5.15	100 -250	1f	1n	1b
5.15 -12.4	250 -600	2f	2n	2b
12.4 -24.7	600 - 1200	3f	3n	3b
> 24.7	>1200	4f	4n	4b

Eyecciones Coronales de Masa (CME)

Son grandes erupciones de campos magnéticos coronales solares y plasma (Hundhausen, 1996). Viajan uniformemente, o aumentando su velocidad, hasta distancias de 3 a 5 radios solares. Estas inmensas erupciones de gas, procedentes del interior de la corona solar, alcanzan el medio interplanetario (fig.2.12). Se observaron por primera vez en los años 70, por los satélites Orbiting Solar Observatory (OSO-7) (Tousey, 1973), Skylab (Mac Queen et. al,1974) y otros. Representan eventos discretos a gran escala de campos magnéticos perturbados que eyectan cantidades de plasma de aprox. 10^{15} - 10^{16} g y energía magnética aprox. 10^{31} - 10^{33} ergios (Gosling et al.,1974).

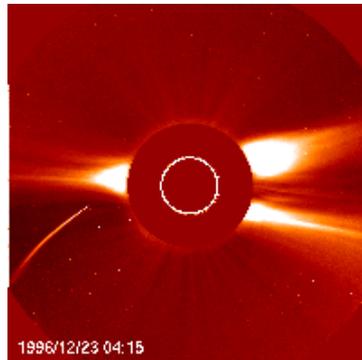


Fig. 2.12 Gigantes burbujas magnetizadas de material solar que escapan al espacio interplanetario. Imagen del LASCO C2.

Generalmente, las CME se asocian con eventos rápidos como las fulguraciones y las eyecciones de prominencias.

Definición observacional de CME:

Son enormes eyecciones de nubes de gas, con masa mayor que 10^{16} g. y energía mayor que 10^{32} erg., que subtienden un ángulo mayor que 60° , tienen un amplio rango de velocidades, desde 50 km/s a 2000 km/s y, a veces, se asocian con shocks interplanetarios (Howard et al., 1985, Hundhausen,1999).

Se le llama Halo CME cuando la extensión angular de la eyección coronal de masa sobrepasa los 180° .

2.6 Geoefectividad.

Son geoefectivos los fenómenos que alcanzan la órbita de la Tierra y producen disturbios en la magnetosfera terrestre. Las grandes erupciones de campos magnéticos coronales y el plasma (CME) (Hundhausen 1996) se cree que son la principal fuente de estos disturbios.= Con los sucesivos experimentos, han surgido nuevas preguntas y,

al mismo tiempo, una mejor comprensión de la actividad solar y las CME. El LASCO, con su perfeccionada sensibilidad y resolución espacial, continúa esta tendencia. Las CME se correlacionaron tempranamente con la ocurrencia de tormentas geomagnéticas (Gosling et al.,1974).

Tormentas Geomagnéticas.

Se han clasificado en distintas categorías, de acuerdo al índice "K", que mide la desviación del disturbio de la componente más horizontal del campo magnético, observado sobre un magnetómetro y comparado con un día "quieto".

Activas, sí el índice "K" = 4

Menores, sí el índice "K" = 5

Mayores o severas, sí "K" >6

El valor de "K" va de 1 a 10

Los datos son tomados desde 45° hacia los polos y 45° hacia el ecuador y se calculan para cada hemisferio. Estas tormentas causan diferentes clases de daños biológicos en seres humanos, animales y vegetales, en sistemas de potencia, en operaciones de naves espaciales, navegación aérea y líneas de conducción de petróleo, entre otros.

Durante las tormentas extremas, se han visto auroras hasta en latitudes de 40°, en Florida y el sur de Texas.

2.7 Consecuencias sobre la Tierra

La propagación de eyecciones a 1U.A y más allá se han deducido a partir de datos de plasma *in situ*, durante encuentros fortuitos con satélites. Mientras la dinámica de las estructuras eruptivas aún no es bien conocida observacionalmente, parece determinante la velocidad inicial de una CME cercana al Sol para que un evento con dirección a la Tierra sea una gran perturbación geomagnética. Nuestro planeta está protegido de los efectos dañinos de la radiación y del plasma caliente por la atmósfera y por una invisible cáscara magnética, que desvía el plasma en el espacio, conocida

como la magnetosfera, que es el resultado del campo magnético de la Tierra. (Ver figura 2.13). Cuando la lluvia de plasma penetra nuestra magnetosfera puede convertirse en tormenta magnética de diferentes magnitudes. =En los polos (Norte y Sur), donde el campo magnético es débil y la magnetosfera está parcialmente abierta al espacio, entran muchas partículas energéticas en forma de nubes, llamadas nubes magnéticas. Estas nubes magnéticas están formadas por electrones, protones e iones de oxígeno, del cinturón de radiación de Van Allen (dos regiones dentro de la magnetosfera terrestre, en la cual las partículas cargadas son atrapadas y oscilan alrededor de las líneas de campo magnético) (Fig.2.13).

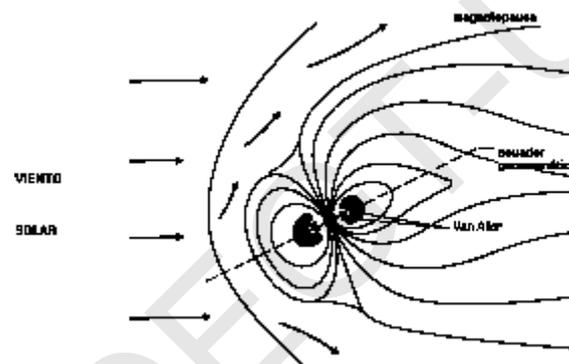


Figura 2.13. Campo magnético de la Tierra y Cinturón de radiación de Van Allen

Los movimientos de esas partículas producen millones de amperios de corriente eléctrica que disminuyen el fuerte campo magnético de la Tierra. Algunas de las corrientes fluyen a lo largo de las líneas de campo magnético y dentro de la atmósfera superior. El paso de la corriente eléctrica a través de la atmósfera superior y la pérdida de electrones y protones en la magnetosfera puede calentar la atmósfera y expandirla, aumentando la densidad en altas latitudes. Las partículas excitadas en el cinturón de radiación, colisionan con el oxígeno y el nitrógeno, a una altura de entre 65 km. y 322 km. sobre la superficie de la Tierra. Estas colisiones excitan eléctricamente al oxígeno y al nitrógeno produciendo en el cielo nocturno emisiones de luz fluorescente, que

pueden ser verde, azul, blanca ó roja, conocidas como auroras. En el polo Norte se les llama auroras boreales y en el polo Sur, auroras australes.

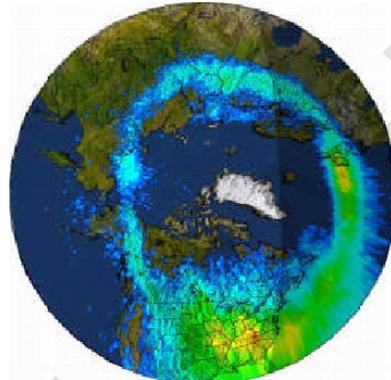


Fig. 2.14. Intensa actividad de Auroras vistas en Estados Unidos por las naves espaciales Images (izquierda) y Polar (derecha)

Su presencia nos dice que algo está sucediendo alrededor de la Tierra (figura 2.14). Algunas veces se observan como cortinas volantes (Fig.2.15) y otras como bandas y otras como bandas difusas. Las consecuencias para la humanidad, van desde las espectaculares auroras hasta los efectos causados no sólo a los sistemas obsoletos, sino también a los modernos sistemas tecnológicos que son de uso creciente y vitales en el diario vivir.



Fig. 2.15. Auroras en Canadá a la izquierda y Estados Unidos al centro y derecha

Los cambios en los campos geomagnéticos afectan negativamente la atmósfera superior y la baja atmósfera, destruyen células vivientes y producen cambios climáticos. También se ven afectadas por partículas muy energéticas las partes electrónicas de los satélites. Así mismo, las grandes tormentas geomagnéticas causan cambios en su órbita, provocando la caída y/o pérdida de éstos. La navegación aérea, principalmente en altas latitudes, también es afectada en sus componentes electrónicos y los seres humanos a bordo pueden sufrir envenenamiento por la radiación cósmica. Por otra parte, los sistemas distribuidores de potencia, como cables de líneas de energía eléctrica, oleoductos y, aún, vías de trenes y equipos que son muy viejos, pueden colapsar a causa de corrientes geomagnéticas inducidas.

2.8 Planteamiento del problema y justificación de la investigación

Las conexiones entre la actividad solar y el clima en la Tierra no están muy claras. Las elevadas temperaturas en la corona del Sol presentan aún muchos interrogantes para la física solar, por lo que es de mucho interés la comprensión de fenómenos solares coronales, particularmente los que nos alcanzan en la Tierra. Estos suelen tener impacto en la sociedad interrumpiendo las radio comunicaciones, la entrega de potencia eléctrica, dañando las partes electrónicas de aviones y naves espaciales y afectando biológicamente a sus tripulantes. Dada la importancia de la conexión Sol – Tierra, más los indicios que se tienen de que con el pequeño dispositivo auxiliar Sky Tester se pueden predecir fenómenos solares, se trata de establecer un método que correlacione las eyecciones coronales de masa (CME) con las mediciones del Sky Tester.

Por otra parte, es importante analizar la posibilidad de una correlación entre Halo eyecciones coronales de masa y disturbios geomagnéticos. En caso de ser positivas las dos correlaciones, estaremos en condiciones de detectar estadísticamente la presencia de fenómenos en el Sol que pueden llegar a ser geoefectivos, usando un pequeño dispositivo auxiliar del telescopio MICA.

2.9 Objetivos

Se busca un método estadístico que nos permita predecir fenómenos que alcanzan la órbita de la Tierra por medio de dos correlaciones: la primera correlación es entre las eyecciones coronales de masa (CME, capítulo 2.5) y la medición de las observaciones del dispositivo auxiliar Sky Tester del telescopio MICA (Capítulo 3.1).

La segunda correlación es entre las Halo eyecciones coronales de masa y los disturbios geomagnéticos.

CAPITULO 3

EQUIPO, DATOS Y METODOLOGIA

3.1 EQUIPO

Para la concreción de los objetivos buscados se utilizaron los datos provistos por los siguientes equipos: Los instrumentos auxiliares denominados Sky Tester y Sun Tester del Coronógrafo de Espejo para Argentina (MICA, por sus siglas en inglés *Mirror Coronagraph for Argentina*). El coronógrafo LASCO-C2 a bordo del Observatorio Solar y Heliosférico (SOHO por sus siglas en inglés *Solar and Heliospheric Observatory*). Instrumentos a bordo del satélite NOAA/POES (National Oceanic and Atmospheric Administration / Polar-Orbiting Operational Enviromental Satellite)

3.1.1 El coronógrafo

El coronógrafo es un instrumento óptico, diseñado por el astrónomo francés Bernard Lyot con el fin de observar en el visible la tenue corona solar, en ausencia de un eclipse solar total. Dentro del coronógrafo la imagen del Sol es eclipsada artificialmente por medio de un disco que según en que parte de la óptica se coloque, determinará el tipo de coronógrafo: *interno* si el disco se coloca detrás del objetivo, y *externo* si se coloca por delante. La clave de un coronógrafo es reducir al mínimo la luz dispersada dentro del instrumento.

Los avances logrados en el pulido de espejos hicieron que el uso de espejos como objetivos (coronógrafos reflectivos) disminuyera notablemente la luz dispersada con respecto a cuando se usan lentes (coronógrafos refractivos) (ver Fig 3.1). A fin de optimizar la reducción de luz dispersada dentro del instrumento, también la elección del sitio donde el coronógrafo se instale es de fundamental importancia. Para reducir la dispersión provocada por la atmósfera terrestre se suelen elegir lugares secos y a grandes

alturas. El caso ideal es a bordo de satélites, donde los efectos ocasionados por la atmósfera terrestre desaparecen.

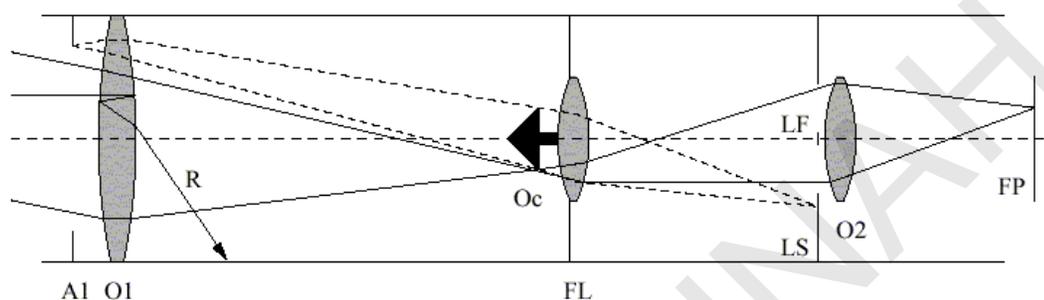


Fig. 3.1 El Coronógrafo Lyot refractivo con ocultador interno. En la Figura: A1: apertura de entrada, O1: lente objetiva, Oc: ocultador interno, FL: lente de campo, LS: Lyot stop, LF: Lyot spot, O2: lente de transferencia, y FP: plano focal.

El Coronógrafo de Espejo para Argentina (MICA) es un telescopio solar con base en tierra, que junto con el Telescopio Solar en H Alfa de Argentina HASTA forman parte de un convenio de cooperación entre Argentina y Alemania. Por Argentina participan el IAFE (Instituto de Astronomía y Física del Espacio) y el Oafa (Observatorio Astronómico Félix Aguilar), por Alemania participan el MPaE (Max Planck Institute fuer Aeronomy) y el MPE (Max Planck Institute fuer Extraterrestrische Physik). Ambos telescopios actualmente se encuentran funcionando en la Estación de Altura Carlos Ulrrico Cesco, en el Complejo Astronómico El Leoncito en San Juan, Argentina, a una altura de 2400 m sobre el nivel del mar, y una localización geográfica de longitud de 69.30°W y latitud de 31.80°S.

MICA es un coronógrafo de espejo con ocultador interno. Es un Instrumento Lyot con un conjunto completo de espejos, lentes y sistemas electrónicos y mecánicos que permiten el funcionamiento automático del mismo. Es un coronógrafo avanzado que complementa las mediciones del LASCO. Está dedicado al estudio de eventos dinámicos

en la corona solar, en la conocida línea verde coronal (Fe XIV a 530.3 nm), con énfasis en observaciones de fenómenos transitorios y estudios de la estructura y evolución de prominencias solares y *streamers* coronales. También posee filtros para observar la corona solar en otros rangos espectrales: 637.4nm (línea roja coronal) y 656.3 nm (H alfa). Su diseño óptico permite la observación entre 1.05 y 2.0 radios solares. La luz coronal es colectada en un CCD de 1024x1024 píxeles, siendo el tamaño de un píxel de $16 \mu\text{m}^2$ lo que hace que cada pixel subtienda aproximadamente 3.7 segundos de arco. Para estudiar las líneas de emisión de la corona E, usualmente se coloca en frente del detector un filtro de interferencia de banda angosta.

Las observaciones de este telescopio se ven muy afectadas por el continuo coronal, la luz dispersada en el cielo y el instrumento, por lo que se usan técnicas que toman imágenes en bandas angostas y logran imágenes confiables de la corona en la línea del Fe XIV. Con esta técnica se usa un filtro de banda relativamente ancha (0.1nm) en el continuo cercano a 526.0nm. Las imágenes tomadas con este filtro se usan para corregir las imágenes obtenidas con el filtro a 530.3nm y conseguir de esta manera la tenue señal buscada.

El telescopio MICA tiene dos dispositivos auxiliares: el Sky Tester (ver Fig. 3.3) y el Sun Tester. El Sky Tester mide el brillo del cielo alrededor del disco solar o aureola. Es muy sensible a las nubes. Cuanto más bajo es el valor registrado por este instrumento, mejor es la calidad del cielo. El Sun Tester mide la intensidad del disco del Sol. Cuanto más alta es la señal medida por este instrumento, más intenso es el brillo del disco del Sol (ver Fig. 3.2).

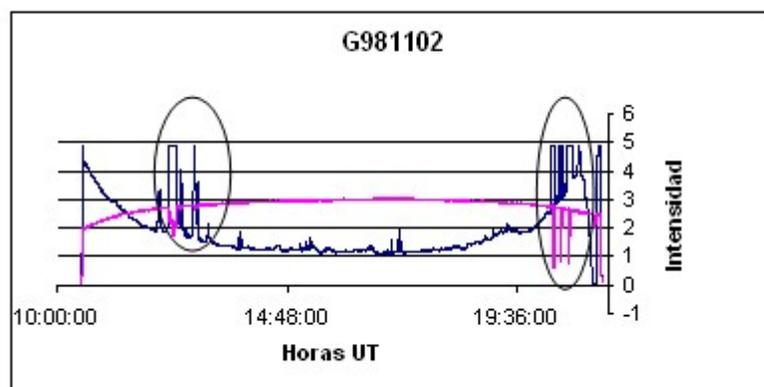


Fig. 3.2 Un día típico de observación del Sun Tester (curva magenta) y el Sky Tester (curva azul).

La presencia de finas nubes (cirrus), hace que el brillo alrededor del cielo aumente y se produzca un decrecimiento del brillo del disco solar.(curvas dentro del círculo)

El nivel de intensidad registrado por ambos instrumentos es función de la masa de aire, de manera que la señal del Sky Tester en el zenit local se espera que sea baja, mientras que la señal máxima del Sun Tester es producida por el cielo libre de nubes, como se muestra en la parte central del gráfico, donde se observan varios "picos" como consecuencia de algún evento transitorio en el Sol.

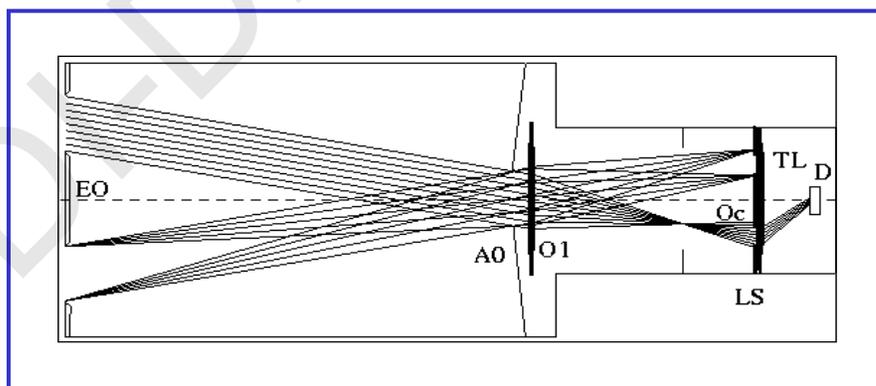


Fig. 3.3 El dispositivo Sky Tester, coronógrafo refractivo con ocultador externo.

En la figura: EO: ocultador externo, AO: Apertura de Entrada, O1: lente objetiva, Oc: ocultador interno, LS: Lyot stop, TL: telelentes y D: deflector, colocado en el plano focal.

Las mediciones se hacen en promedio cada cinco segundos. Estos valores son usados por un software de control del MICA que junto con la medición de la velocidad del viento, obtenida automáticamente por una estación de clima, deciden si las condiciones son buenas para observar la corona, iniciando o parando la rutina de observación según sea el clima. La intensidad medida por los dispositivos auxiliares del telescopio MICA, Sky Tester y Sun Tester se da en milivoltios; estos valores se grafican en el eje de las ordenadas y el tiempo en el eje de las abscisas. Las unidades para el tiempo son horas y minutos del tiempo universal (UT). Los datos numéricos recogidos en un día, en promedio unos cinco mil, se publican en forma gráfica en la página de Internet de LASCO (LASCO MP Ae).

Para efectos de esta tesis el IAFE proporcionó los datos diarios de intensidad del cielo medida por el Sky Tester y de la intensidad del disco solar medida por el Sun Tester, ambos para el período correspondiente a enero 1998 a junio 2001. Este periodo condicionó el periodo del estudio.

3.1.2 LASCO y SOHO

El Coronógrafo Espectrométrico y de Gran Angulo (LASCO: “Large Angle and Spectrometric Coronagraph”), es uno de doce instrumentos a bordo de la sonda espacial SOHO, lanzada por cooperación entre la ESA y la NASA el 2 de diciembre de 1995 desde el Centro Espacial Kennedy, Cabo Cañaveral, Florida. LASCO está formado por un conjunto de tres coronógrafos que registran imágenes de la corona en luz blanca, desde 1.1 hasta 32 radios solares. (Un radio solar es aproximadamente 700,000 km ó 16 minutos de arco).

LASCO fué construido por un Consorcio de cuatro instituciones de cuatro diferentes países: Naval Research Laboratory, Washington, D.C., Estados Unidos. Max Planck-Institute fuer Aeronomy, Lindau, Alemania Department of Physics and Space Research, University of Birmingham, Birmingham, Inglaterra Laboratoire d’Astronomie Spatiale, Marseille, Francia.

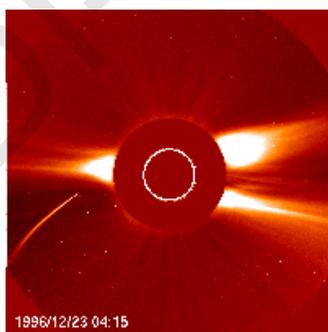
La caja electrónica de LASCO también provee servicios para otro instrumento llamado “Extreme Ultraviolet Imaging Telescope” (EIT), el cual observa el Sol en cuatro longitudes de onda, en la región UV del espectro. LASCO incluye tres coronógrafos: el C1, C2 y C3, con campos de visión circular. C1 es un coronógrafo reflectivo con ocultador interno, mientras que C2 y C3 son coronógrafos con ocultador externo. (Brueckner et al., 1995). LASCO y EIT proveen a SOHO la capacidad de fotografiar la corona solar, desde su base hasta 30 radios solares:

C1: observa de 1.1 a 3 radios solares.

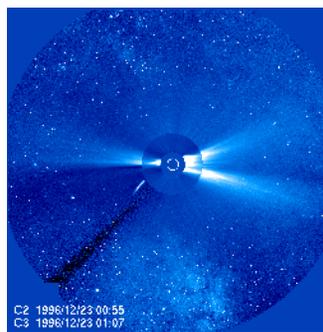
C2: observa de 1.5 a 6 radios solares.

C3: observa de 3.7 a 30 radios solares.

Los objetivos de LASCO son la investigación para el estudio de la dinámica de la corona, incluyendo regiones como los agujeros polares y chorros coronales, la física de las eyecciones coronales de masa (CMEs) y sus efectos geomagnéticos, cometas y polvo en el sistema solar. Para llevar a cabo los objetivos propuestos en esta tesis, y para el periodo de estudio seleccionado (enero 1998 – junio 2001), se obtuvieron listas de las eyecciones coronales de masa (CME List), de la página de LASCO, con la fecha, hora, localización y un comentario describiendo los tipos de eventos. Del Catálogo de CME de LASCO se obtuvieron los datos de velocidades lineales y aceleraciones, para los eventos de CME en estudio.



1



2

Fig. 3.4 Imágenes de la corona solar obtenidas por los coronógrafos C2(1) y C3 (2) de LASCO.

3.1.3 NOAA/ POES Space Environment Monitor

El NOAA's Polar Orbiting Environmental Satellites (POES) (formalmente conocido como TIROS: Satélite para la observación en infrarrojo y Televisión) tiene un conjunto de instrumentos que detectan y monitorean el flujo de iones y electrones energéticos dentro de la atmósfera y las partículas de radiación involucradas en la altura del satélite. Ambos fenómenos, de iones y electrones varían como resultado de la actividad solar.

En el conjunto de instrumentos tenemos: El (SEM-2) Space Environment Monitor que comenzó operaciones con el lanzamiento del NOAA -15 y es normalmente la primer fuente de observaciones. El segundo instrumento dentro del SEM-2 es el Medium Energy Proton and Electron Detector (MEPED) el cual provee las mediciones para crear los gráficos en SEC's '[***POES Energetic Particles***](#)' sitio web.

El Total Energy Detector (TED) diseñado para medir el flujo de energía de las partículas aurorales, genera los mapas estadísticos presentados por SEC's '[POES Auroral Activity](#)' sitio web.

El Space Environment Center (SEC) prepara los datos diarios de índices geomagnéticos K a través del departamento de comercio del U.S. NOAA SEC; desarrolla los datos de fenómenos geomagnéticos en tiempo real, basado principalmente en el magnetómetro Boulder – NOAA, el cual se usa como un “proxy” para latitudes medias y como un indicador general de índices K que no están disponibles en tiempo real en el USAF Planetary. Con la obtención de estos datos se trabajó la segunda correlación entre halo eyecciones coronales de masa y los efectos geomagnéticos derivados, haciendo uso de los índices geomagnéticos K como indicadores del tipo de tormenta geomagnética que pueda ser geoefectiva.

3.2 METODOLOGÍA

Introducción

Con el propósito de comprobar que los aumentos y caídas repentinas en la intensidad del cielo ("picos") medidos por el Sky Tester reflejan la ocurrencia de una CME, se utilizaron los datos de los instrumentos auxiliares del MICA correspondientes a un período de cuatro años (de enero/1998 a junio/2001), proporcionados por el IAFE en un CD-Rom.

3.2.1 Ordenamiento de eventos

A partir de los datos proporcionados por IAFE, y de las listas anuales de eyecciones coronales de masa que libremente se publican en la Página de Internet de LASCO "CME List" (<http://lasco-www.nrl.navy.mil/cmelist.html>), para el período de estudio, primero se seleccionaron los eventos con dirección a la Tierra. Como resultado de esta selección se obtuvieron: 10 eventos para el año 1998, 10 para 1999, 38 para el 2000 y 21 para el 2001, haciendo un total de 79 eventos. Para listar todos estos eventos se elaboró un archivo de datos llamado "Lista1" (ver Anexo A.1 LISTA 1: Identificación Preliminar de Picos, columnas 1 a 4).

De estos casos se descartaron los casos donde: no había gráfico para la fecha del evento, no había gráfico para la hora del evento, los gráficos presentaban mucho ruido (distorsionados), los gráficos que no presentaban picos y los gráficos con picos muy separados de la hora del evento (> 1 hora). Al final se dejaron solamente aquellos casos que mostraban picos cercanos a la hora antes y a la hora después del evento. En resumen, de los 79 casos, se descartaron 51, seleccionando solamente: 3 para 1998, 0 para 1999, 16 para el 2000 y 6 para el 2001, para hacer un total de 25 eventos seleccionados preliminarmente. (Ver Anexo A.1, columna 4).

3.2.2 Lectura y organización de datos

Para la lectura y organización de los datos, se comenzó con un despliegue y lectura de los datos del CD-Rom. Esta parte del trabajo se hizo en Microsoft Excel. Los datos venían agrupados por años, meses y días.

El siguiente paso fue organizar los datos de cada día preparados en tres columnas: originalmente la primera columna es la intensidad del cielo alrededor del disco del Sol medida por el Sky Tester, la segunda columna es la intensidad del disco del Sol medida por el Sun Tester y la tercera es la correspondiente a la hora de las mediciones, que venía en horas, minutos y segundos separadas por dos puntos, teniendo que modificarse este dato a un formato con fracción decimal. Se construyó, entonces, una tabla en cuya primera columna se colocaron las horas de las mediciones, en la segunda las mediciones del Sky Tester y en la tercera las mediciones del Sun Tester.

3.2.3 Generación de datos para cada observación de la lista 2

A partir de la lista 1 se genera una segunda lista (Lista2, ver anexoA.2) conteniendo solamente 25 casos de 36 iniciales donde se descartaron 11 eventos por la presencia de exceso de ruido en sus gráficos. Para los que preliminarmente se identificaron picos cercanos a la hora del evento de CME dirigidos hacia la Tierra, en este anexo se presenta una Lista de CME con la hora inicial del evento reportada por el C2 de LASCO, la hora inicial del evento medida por el Sky Tester y la diferencia entre ambos tiempos ΔT

3.2.4 Obtención de rangos de tiempo

Los rangos de tiempo de ocurrencia de los fenómenos observados por el telescopio MICA, desde enero 1998 a junio 2001, se obtuvieron de la siguiente forma: El *tiempo inicial*, es la hora y minutos en que el coronógrafo C2 de LASCO mira por primera vez la CME. Así es que los tiempos iniciales se tomaron de “Coronal Mass Ejection List”, la cual reporta una lista de observaciones en luz blanca, dividida por años de los eventos más grandes de LASCO. (publicada en la página de MP Ae,. (Ver Ej. en Anexos A.3).

Mientras que el *tiempo final* de cada CME se obtuvo observando el vídeo que corresponde a la fecha de cada evento. Colocando el cursor en el vídeo a partir de la hora de inicio del evento hasta llegar al momento en que la CME sale del campo de visión del coronógrafo C2 de LASCO, podemos determinar el tiempo en horas y minutos que corresponde al tiempo final de la CME que nos ocupa. Estos datos se buscaron para hallar “picos” cercanos a la hora de ocurrencia de cada CME, tratando de mantener todos los eventos posibles dentro del estudio. Las primeras estadísticas se tomaron de los datos crudos de los 36 casos preliminares de las intensidades del Sky y Sun Tester, para ser comparadas con las estadísticas finales de aproximación, finalmente se tomaron 25 casos (Ver Anexos A.4).

3.2.5 Curvas de aproximación y estadísticas

Las curvas de aproximación se elaboraron para definir los picos analíticamente. Partiendo de la colección de datos arriba mencionada, se ordenaron en tres archivos CSV delimitados por comas, uno con los pares ordenados X e Y, en un sistema de coordenadas rectangulares, que corresponden a *Tiempo e Intensidad* medida por el dispositivo Sky Tester.

De este formato se desprenden otros dos archivos; el de *tiempo* usado por el Sky Tester, que es de horas y minutos (h:m), para crear las curvas de los datos reducidas en el rango de tiempo como también las curvas de aproximación. Y el otro archivo es el correspondiente a la intensidad del cielo, alrededor del disco del Sol. Obtenidos los rangos de tiempo (tiempo inicial – tiempo final) y las intensidades reales (Y real), medidas por el Sky Tester, se hallaron ecuaciones matemáticas de primer y segundo grado, (con el uso del programa “El Matemática”) que expresan la relación entre estas dos variables. Sustituyendo en x, el valor del tiempo, obtenemos las “Y ideales”, o sea las intensidades aproximadas y sus curvas respectivas, por el método de mínimos cuadrados que se utiliza para evitar juicios individuales en la construcción de cualquier curva de aproximación para ajustarse a colecciones de datos como en este caso.

Primero se calcularon las curvas para ecuaciones lineales y para ecuaciones de segundo grado, para ver la diferencia de cada una con la curva real al hacer las estadísticas, comprobando que la diferencia existente entre las curvas lineales con las de segundo grado es despreciable, Ej.: En el caso que corresponde al 98/04/11 se tiene para la ecuación lineal el promedio = 0.02650, la desviación estándar = 0.69110 y para la ecuación de segundo grado el promedio = 0.02626, la desviación estándar = 0.66603. Se continuó el análisis de datos para comparar los datos reales con las tendencias ideales de las curvas de aproximación encontrando lo esperado: una tendencia parabólica gaussiana. En este análisis se usan ecuaciones de primer grado para aplanar este tramo de la curva de los datos reales, a los cuales se les ha calculado su promedio, mediana y desviación estándar. Se hicieron las curvas reducidas para los 25 eventos, quedando en este paso solo 4 CME para hacer aun más reducido el rango de tiempo y observar la variación en la intensidad que muestran los saltos sospechosos de ser “picos”, con el "aplanamiento" de ese rango de la curva.

3.2.6 Análisis de datos e interpretación

Después del análisis estadístico y la interpretación de las curvas, se estudiaron los valores estadísticamente significativos: los casos que tienen promedio menor que 1.5 y mayor que su mediana y, lo más concluyente, que el promedio más tres veces la desviación estándar sea mayor que el valor de la intensidad que corresponde al pico, para asegurarnos que los saltos repentinos observados son los picos buscados. Luego sigue una valuación gráfica de cada caso, en la cual se observan otros factores que pueden producir “picos”, como por ejemplo los efectos de la atmósfera de la Tierra o algún evento observado en la corona solar tema de este trabajo, resultando cuatro los casos más representativos.

3.2.7 Índices “K”

Con el objetivo de encontrar la segunda correlación, halos CME y sus efectos sobre la Magnetosfera, se buscó en el Space Environment Center (SEC), para una duración de tres

días, los índices magnéticos "K"; sabiendo que a partir de estos se puede conocer el tipo de tormenta geomagnética que generan las CME sobre la Tierra. Existen 22 sitios que proveen esta información; en este caso se obtuvieron del magnetómetro Boulder -NOAA. A partir de esos datos se construyó una tabla donde podemos observar, que los 15 casos tomados al azar, incluyendo los 4 casos sobresalientes en este estudio (tabla III), todos son halos parciales que produjeron tres categorías de tormentas: fuertes, severas y extremas, con índices "K" = 7, 8, 9 y 10 respectivamente. En ninguno de los casos estudiados se observaron tormentas menores con índice "K"=5, ni tormentas moderadas con índice "K"=6, ambas de menor impacto en la magnetosfera de la Tierra. Así que estos primeros indicios se pueden confirmar igual que la primera correlación con una investigación mas detallada.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Resultados

Eventos con "Picos" más representativos

#	FECHA	Intensidad del cielo (Sky Tester)	Promedio	Mediana	Desv. Estand	P+3DesvEst
1	25 / 01/ 1998	2.10	0.0238347	0.00955706	0.0309828	0.32
2	06 / 11 / 1998	1.945	0.0056411	0.00421517	0.00537397	0.021
3	05 / 09/ 2000	1.66	0.0717459	0.0589738	0.0583165	0.0246
4	05/02/ 2001	2.60	0.000239305	0.000145813	0.000313882	0.000676

RESULTADOS

CANTIDAD DE EVENTOS ENERO 98- JUNIO 01	COMENTARIOS
109	CON DIRECCION A LA TIERRA, DENTRO DEL HORARIO DE MICA
36 (100 %) 25 casos para estudio (69.4 %)	<ul style="list-style-type: none"> • CON EXCESO DE DISTORSION • AUSENCIA DE PICOS • CASOS NO MUY DEFINIDOS
4 (11.1 %)	COINCIDEN CON LA HORA DE LA CME

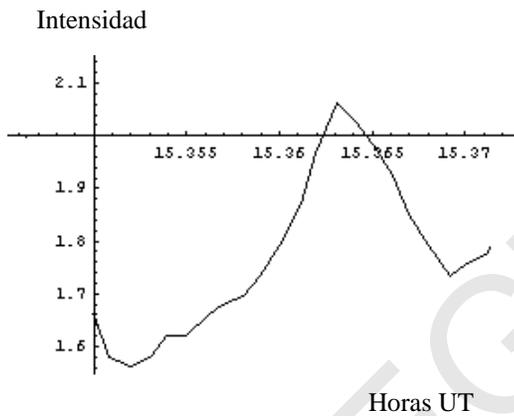
De la tabla. Eventos con "Picos" más representativos se puede concluir que las intensidades medidas por el Sky Tester para los cuatro casos de eyecciones coronales de masa considerados, son mucho mayores que el promedio más 3 veces la desviación estandar ($I > P_i + 3DS_i$). Estos datos estadísticos nos dicen que los PICOS gráficos son verdaderamente observaciones del Sky Tester de CME's; confirman esta propuesta la coincidencia de las horas de ocurrencia de las eyecciones coronales de masa, reportadas por el C2 los PICOS gráficos siguientes:

Donde en la columna izquierda los gráficos representan los datos reales del Sky Tester que coinciden con los eventos ocurridos a esa fecha y hora. Los gráficos de la columna

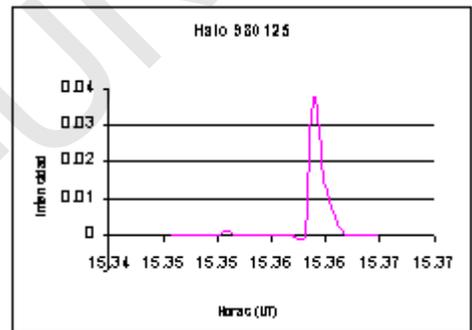
derecha muestran la aproximación lineal aplicada a los datos reales de las partes laterales del pico.

GRAFICOS DE LOS PICOS MAS REPRESENTATIVOS

PICOS GRAFICOS REALES
GRAFICO 980125

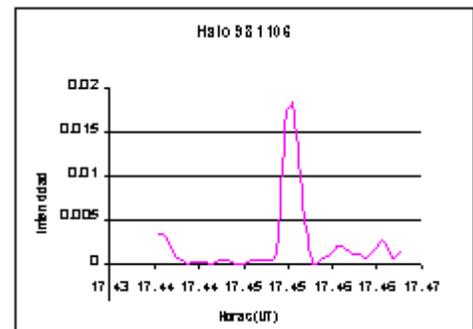
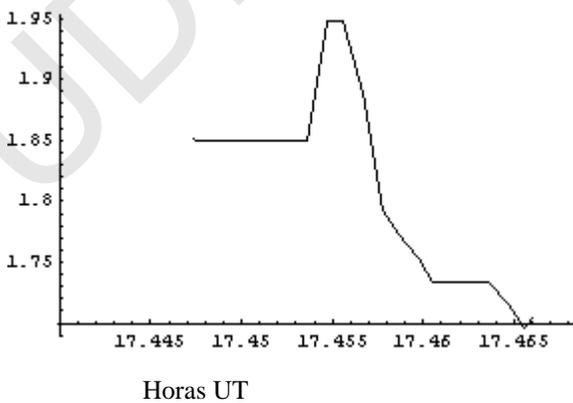


Pico y Aplanamientos laterales de la curva



Halo CME / Pico: (15.36, 2.10)

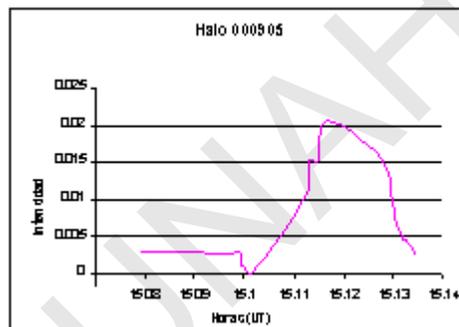
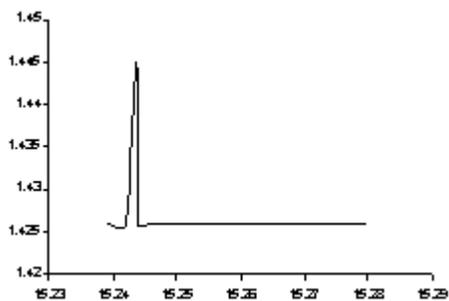
GRAFICO 981106
Intensidad



CME/ Pico (17.45, 1.945)

GRAFICO 000905

Intensidad

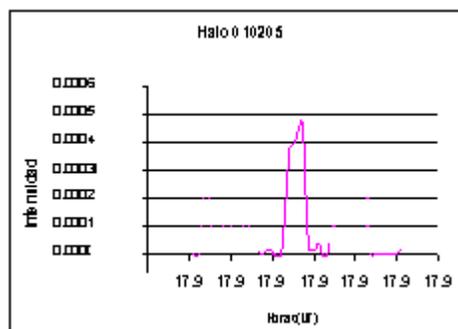
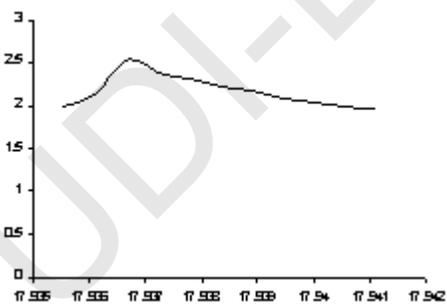


I Horas UT

CME/ Pico (15.13 ,1.66)

GRAFICO 010205

Intensidad



Horas UT

CME / Pico (17.935, 2.60)

De los gráficos 980125, 981106, 000905 y 010205 se concluye que el Sky Tester ha detectado las CME, cuando no hay perturbaciones atmosféricas importantes en el sitio de observación.

Con la primera investigación de los datos antes mencionados se asume una posible correlación entre las observaciones del Sky Tester y los Halo CME, la cual podría ser confirmada con un estudio más detallado, porque son muy pocos los casos para poder concluir de manera definitiva y estadísticamente no dan una buena respuesta.

Indices "K"

#	FECHA	OCURRENCIA	(d/ h/min),Indice "K"
1	25 / 01/ 1998	HALO PARCIAL	28/20:30, K=7, tormenta fuerte
2	11 / 05 / 1998	HALO PARCIAL	314 /05:24, K=8, tormenta severa
3	02 / 11/ 1998	HALO PARCIAL	307 /10:27, K=7, tormenta fuerte
4	06 / 11 / 1998	HALO PARCIAL	314 /05:24, K=9, tormenta extrema
5	11 / 03 / 1999	HALO PARCIAL	74/ 03:58, K= 10, tormenta extrema
6	18 / 02 /2000	FULL HALO	52/ 17:30, K =10, tormenta extrema
7	06/ 04 / 2000	HALO PARCIAL	96/ 02:45, K= 9, tormenta extrema
8	16/ 06/ 2000	HALO PARCIAL	171/ 02:05, K= 7, tormenta fuerte
9	05 / 09/ 2000	HALO PARCIAL	251/ 10:27, K=9, tormenta extrema
10	25 / 10/ 2000	FULL HALO	302/ 12:22, K=10, tormenta extrema
11	02/11/2000	HALO	307/14:49, K=7, tormenta fuerte
12	09/02/2000	HALO	43/17:04, K= 10, tormenta extrema
13	10/02/2000	HALO	44/16:37, K= 10, tormenta extrema
14	14/02/2000	FULL HALO	90/20:00, K= 10 tormenta fuerte
15	14/04/ 2000	HALO PARCIAL	44/16:37, K= 10, tormenta extrema

En esta tabla se presentan 15 casos tomados al azar para estudiar la posible correlación entre los halo CME y disturbios geomagnéticos, en cada uno de ellos se indica el día (d), hora (h) y minutos en que se tomó el valor del índice geomagnético K capaz de producir diferentes tipos de tormentas geoeffectivas

Por otra parte la segunda correlación entre Halos CME y disturbios geomagnéticos, se ha encontrado a partir del índice "K", que indica la máxima desviación del disturbio, en la componente más horizontal del campo magnético de la Tierra.

En la tabla Indices "K" podemos observar que los casos sobresalientes en este estudio, son todos halos parciales que produjeron tres categorías de tormentas: fuertes, severas y extremas, con índices "K" = 7, 9, 10.

En ninguno de los casos estudiados se observaron tormentas menores con índice "K"=5, ni tormentas moderadas con índice "K"=6, ambas de menor impacto en la magnetosfera de la Tierra.

En resumen, dentro de esta etapa de la investigación, lo antes mencionado nos da los primeros indicios de que los HALO - CME y los disturbios geomagnéticos están correlacionados. Esto podría confirmarse, igual que la primera correlación, con una investigación mas detallada.

4.2 Discusión

Con esta investigación, por un lado se han establecido los indicios de una posible correlación de eyecciones coronales de masa y las observaciones del Sky Tester. De los casos estudiados se hallaron cuatro eventos representativos de la posible correlación; que arrojan los datos estadísticos necesarios individuales pero globalmente insuficientes para confirmar la correlación de los 109 CME con dirección a la Tierra.(tabla Resultados)

En los resultados obtenidos en la correlación entre halos CME y disturbios geomagnéticos se observa por medio del índice geomagnético K de alerta, que todos estos eventos produjeron tormentas magnéticas fuertes, severas y extremas sobre la magnetosfera de la Tierra lo que consecuentemente produce perturbaciones en las comunicaciones técnicas y biológicas.

4.3 Conclusiones

La importancia de los efectos de la actividad solar sobre la Tierra mantiene abiertas amplias expectativas en la investigación de ese campo. Con los resultados encontrados en esta tesis no se han llegado a establecer conclusiones específicas en cuanto a las

correlaciones buscadas, por lo que se sugiere continuar la investigación utilizando un número más importante de observaciones del telescopio MICA.

UDI-DEGT-UNAH

Bibliografía

- 1- Brueckner et al 1995 Journal Solar Physics, v. 162, p. 357-402.
- 2- Chen James, 1997, Coronal Mass Ejections, causes and consequences, Geophysical Monograph, 99, p.66
- 3- Donat G. Wentzel, The Restless Sun, 1989, p 8
- 4- Gosling, J.T et al, 1974, Solar Wind three; proceedings of the Third Conference, Pacific Grove, Calif., March 25-29, 1974. (A75-28001 12-92) Los Angeles, University of California, 1974, p. 140-143.
- 5- Gosling, J.T. , 1999, Journal of Geophysical Research, Volume 104, Issue A6, p. 12515-12524
- 6- Howard, R. A et al, 1985, Journal of Geophysical Research (ISSN 0148-0227), Vol 90, Sept. 1, p. 8173-8191
- 7- Hundhausen, A. J, coronal mass ejections, in cosmic winds and the heliosphere, eds. J.R. Jokipii et al., Arizona, Tucson, in press, 1996
- 8- Hundhausen, A. 1999. The many faces of the sun: summary of the results from NASA's Solar Maximum Mission. Edited by Keith T. Strong, Julia L.R. Saba, Bernard M. Haisch, and Joan T. Schmelz. New York : Springer, 1999., p.143
- 9- [http:// www.Space Weather.com/glossary/flareclasses.html](http://www.SpaceWeather.com/glossary/flareclasses.html)
- 10- http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/list/hpi/power_1999.txt
- 11- <http://Star.mpae.gwdg.de/mica/theinstrument/MICA-A.pdf>
- 12- http://star.mpae.gwdg.de/mica/mica_home.htm
- 13- <http://sohowww.nascom.nasa.gov/descriptions/mission/english/>
- 14- <http://lasco-www.nrl.navy.mil/cmelist.html>
- 15- http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/indices/old_indices/1998_DGD.txt
- 16- http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/
- 17- Koomen, M.J. et al. 1978, Applied Optics, Volume 17, Issue 15, August 1, 1978, pp.2263-2264
- 18- MacQueen, R.M . 1974 Journal of Geophysical Research, vol. 79, Nov. 1, 1974, p. 4581-4587.

- 19- MacQueen, R.M and Fisher, R.R.1983, Solar Physics 89,89
- 20- Peter V. Foukal, Solar Astrophysics, p.398
- 21- Sheeley, N. R. et Al, 1997, American Astronomical Society, SPD meeting #28,
#03.01: Bulletin of the American Astronomical Society, Vol.29p.907
- 22- Srivastava , N. et Al ,1999

- 23- Tousey, R. The solar corona,adv. Space Res., 13 713, 1973

- 24- Ulysses a Voyage to the Sun. (NASA JPL), p 8

ANEXO A.1

Lista1

En este Anexo se presentan una Lista (Lista1) de CME por tipo de eventos dirigidos hacia la Tierra, separadas por año, y un análisis preliminar de los resultados gráficos obtenidos de la pagina de Internet de LASCO que muestran la intensidad en función del tiempo medida por los Instrumentos Sun y Sky Tester, para encontrar los “picos” más cercanos dentro de la hora antes o la hora después del evento.

HALO CME AÑO 1998

#	FECHA / HORA	OCURRENCIA	COMENTARIO
1	25 / 01 / 1998 - 15:26	HALO PARCIAL	Gráfico parcialmente distorsionado con un pico (15:41) cercano a la hora del evento.
2	02 / 05 / 1998 - 14:06	HALO	No hay datos del MICA ese día
3	05 / 05 / 1998 - 12:02	HALO	No hay datos del MICA ese día
4	11 / 05 / 1998 - 14:27	HALO PARCIAL	Los picos (14:11, 14:52) cercanos a la hora del evento
5	20 / 05 / 1998 - 18:20	HALO	Gráfico distorsionado
6	08 / 06 / 1998 - 16:27	HALO PARCIAL	No hay dato del MICA a esa hora
7	20 / 06 / 1998 - 18:20	HALO	Pico (19:06) cercano a la hora del evento
	24 / 06 / 1998 – 15 / 10 / 1998	Interrupción de la Misión SOHO	
8	02 / 11 / 1998 - 16:18	HALO PARCIAL	Picos (17:09, 16:35, 15:15) cercanos a la hora del evento
9	06 / 11 / 1998 - 17:30	HALO PARCIAL	El gráfico no presenta picos
10	18 / 12 / 1998 - 18:34	HALO	No hay dato del MICA a esa hora
		No hay mas información 1998 de SOHO	

HALO CME AÑO 1999

#	FECHA / HORA	OCURRENCIA	COMENTARIO
		No hay información SOHO antes del 5 /02	
1	11 / 03 / 1999 - 19:32	HALO PARCIAL	Gráfico distorsionado
2	12 / 03 / 1999 - 19:30	HALO PARCIAL	No hay dato del MICA a esa hora
3	21 / 05 / 1999 - 17:50	HALO PARCIAL	Gráfico distorsionado
4	01 / 06 / 1999 - 19:37	HALO	No hay datos del MICA ese día
5	22 / 06 / 1999 - 18:54	HALO	No hay datos del MICA ese día
6	29 / 06 / 1999 - 18:54	HALO	No hay dato del Mica eses día
7	30 / 06 / 1999 - 11:54	HALO	No hay datos del MICA ese día
8	06 / 07 / 1999 - 17:06	HALO	No hay dato de MICA a esa hora
9	25 / 07 / 1999 - 13:31	HALO	El gráfico no presenta picos
	26/ 09 / 1999 – 04 /10/1999 08 / 11 / 1999 – 11/ 11/ 1999	Interrupción de la misión LASCO	
10	22 / 12 / 1999 - 19:31	FULL HALO	No hay dato del MICA a esa hora
		No hay más información de SOHO después de 21/12/1999	

HALO CME RESUMEN AÑO 2000

#	FECHA / HORA	OCURRENCIA	COMENTARIO
1	09 / 02 / 2000 / 17:04	HALO	Gráfico distorsionado
2	10 / 02 / 2000 / 16: 37	HALO	No hay datos del Mica ese día
3	14 / 02 / 2000 / 16: 17	HALO PARCIAL	No hay datos del MICA ese día
4	14 / 02 / 2000 / 17: 24	FULL HALO	No hay datos del MICA ese día
5	18 / 02 / 2000 / 19: 16	FULL HALO	Gráfico parcialmente distorsionado
6	28 / 03 / 2000 / 20: 00	HALO PARCIAL	Gráfico distorsionado
7	06 / 04 / 2000 / 19: 01	HALO PARCIAL	El pico (19:52) cercano a la hora del evento
8	14 / 04 / 2000 / 19: 31	HALO PARCIAL	No hay datos del MICA ese día
9	17 / 04 / 2000 / 15: 28	HALO PARCIAL	No hay datos del MICA ese día
10	06 / 05 / 2000 / 13: 45	FULL HALO	Pico (15:40) cercano a la hora del evento
11	08 / 05 / 2000 / 18: 38	HALO PARCIAL	El gráfico no presenta picos
12	11 / 05 / 2000 / 15: 43	HALO PARCIAL	Pico (15:28) cercano a la hora del evento
13	31 / 05 / 2000 / 16: 02	HALO PARCIAL	Gráfico distorsionado
14	06 / 06 / 2000 / 19: 40	HALO	Gráfico distorsionado
15	06 / 06 / 2000 / 19: 51	HALO	Gráfico distorsionado
16	07 / 06 / 2000 / 20: 24	HALO	pico (16:30) cercano a la hora del evento
17	08 / 06 / 2000 / 15: 35	HALO	No hay dato del MICA a esa hora
18	12 / 06 / 2000 / 17: 20	HALO	No hay datos del MICA ese día
19	16 / 06 / 2000 / 18: 26	HALO PARCIAL	Pico (18:28) cercano a la hora del evento
20	26 / 06 / 2000 / 15: 04	HALO PARCIAL	Gráfico parcialmente distorsionado, sin picos
21	30 / 06 / 2000 / 20: 19	HALO PARCIAL	No hay dato a esa hora
22	07 / 07 / 2000 / 18: 21	HALO	No hay dato a esa hora
23	10 / 07 / 2000 / 15: 57	HALO PARCIAL	no hay datos de MICA ese día
24	14 / 07 / 2000 / 19: 20	HALO	gráfico distorsionado
25	24 / 07 / 2000 / 15: 17	HALO PARCIAL	el gráfico no presenta picos
26	25 / 07 / 2000 / 15: 29	HALO PARCIAL	el gráfico no presenta picos
27	10 / 08 / 2000 / 15:19	HALO PARCIAL	no hay datos del MICA ese día
28	05 / 09 / 2000 / 15:26	HALO PARCIAL	el gráfico presenta una curva muy inestable
29	08 / 09 / 2000 / 20 :24	HALO PARCIAL	gráfico distorsionado
30	11 / 09 / 2000 / 15 :02	HALO PARCIAL	no hay datos del MICA ese día
31	12 / 09 / 2000 / 15 : 07	HALO	gráfico distorsionado
32	18 / 09 / 2000 / 20: 22	HALO	no hay dato a esa hora
33	10 / 10 / 2000 / 14:36	HALO	el gráfico no presenta picos
34	16 / 10 / 2000 / 15:36	HALO	gráfico distorsionado
35	25 / 10 / 2000 / 16:00	FULL HALO	gráfico parcialmente distorsionado
36	02 / 11 / 2000 / 17:07	HALO	gráfico distorsionado
37	09 / 11 / 2000 / 20:36	HALO	gráfico distorsionado
38	18 / 12 / 2000 / 17:35	FULL HALO	gráfico distorsionado

HALO CME HALO CME AÑO 2001

#	FECHA / HORA	OCURRENCIA	COMENTARIO
1	22 / 01 / 2001 / 16: 25	FULL HALO	El gráfico no presenta picos
2	29 / 01 / 2001 / 13:37	FULL HALO	Picos (15:54, 17:30) cercanos a la hora del evento
3	05 / 02 / 2001 / 17:34	FULL HALO	El gráfico no presenta picos
4	05 / 02 / 2001 / 17:56	HALO PARCIAL	Gráfico distorsionado
5	12 / 02 / 2001 / 15:01	FULL HALO	Gráfico distorsionado
6	16 / 02 / 2001 / 12:42	FULL HALO	Gráfico distorsionado
7	28 / 02 / 2001/ 17:08	FULL HALO	Los picos (14:50, 16: 42)no coinciden
8	16 / 03 / 2001 / 16:09	HALO PARCIAL	Gráfico distorsionado
9	19 / 03 / 2001 / 12:44	FULL HALO	Gráfico distorsionado
10	20 / 03 / 2001 / 12:25	HALO PARCIAL	Gráfico parcialmente distorsionado
11	28 / 03 / 2001 / 16: 56	FULL HALO	El gráfico no presenta picos
12	28 / 03 / 2001 / 18:02	FULL HALO	El gráfico no presenta picos
13	29 / 03 / 2001 / 13:13	FULL HALO	Gráfico interrumpido alrededor de las 13:00
14	06 / 04 / 2001 / 12:13	FULL HALO	Gráfico distorsionado
15	06 / 04 / 2001 / 18: 06	FULL HALO	Gráfico distorsionado
16	09 / 04 / 2001 / 15:04	FULL HALO	El gráfico no presenta picos
17	10 / 04 / 2001 / 17:32	FULL HALO	Pico(19: 45)
18	12 / 04 / 2001 / 11: 15	FULL HALO	Gráfico distorsionado
19	12 / 04 / 2001 / 13: 03 /	FULL HALO	Gráfico distorsionado
20	26 / 04 / 2001 / 16:02 /	FULL HALO	El gráfico no presenta picos
21	25 / 05 / 2001 / 15: 49	HALO PARCIAL	Gráfico distorsionado
	Hasta aquí hay gráficos en la pagina del MICA		

ANEXO A.2

Lista 2

En este Anexo se presenta una Lista (Lista2) de CME con la hora inicial del evento reportada por el C2 de LASCO, la hora inicial del evento medida por el Sky Tester.y la diferencia entre ambos tiempos ΔT de gráficos que presentan picos cercanos a la hora del evento con mejor resolución.

HALO CME RESUMEN AÑO 1998

#	FECHA	OCURRENCIA	T ₀ / C2	T ₀ / SkyTester	ΔT
1	25 / 01 / 1998	HALO PARCIAL	15:26	15:27	01 Minuto
2	11 / 05 / 1998	HALO PARCIAL	14:27	14:15	12 Minutos
3	06 / 11 / 1998	HALO PARCIAL	17:30	17:27	03 Minutos

HALO CME RESUMEN AÑO 1999

Los gráficos de este año revisados en la lista 1 presentan demasiado ruido para obtener cualquier información

HALO CME RESUMEN AÑO 2000

#	FECHA	OCURRENCIA	T ₀ / C2	T ₀ / SkyTester	ΔT
1	18 / 02 / 2000	FULL HALO	19: 16	19:02	14 Minutos
2	28 / 03 / 2000	HALO PARCIAL	20: 00	20:25	25 Minutos
3	06 / 04 / 2000	HALO PARCIAL	19: 01	No hay información	
4	06 / 05 / 2000	FULL HALO	13: 45	No hay información	
5	11 / 05 / 2000	HALO PARCIAL	15: 43	No hay información	
6	31/05/2000	Halo Parcial	19:00	No hay información	
7	06 / 06 / 2000	HALO	19: 40	No hay información	
8	06/06/2000	Halo	19:51	No hay información	
9	07 / 06 / 2000	HALO	20: 24	No hay información	
10	08 / 06 / 2000	HALO	15: 35	No hay información	
11	16 / 06 / 2000	HALO PARCIAL	18: 26	No hay información	

HALO CME RESUMEN AÑO 2000

#	FECHA	OCURRENCIA	T ₀	T ₁	ΔT
12	24 / 07 / 2000	HALO PARCIAL	15: 17	15:54	37 Minutos
13	25 / 07 / 2000	HALO PARCIAL	15: 29	No hay información	
14	05 / 09 / 2000	HALOPARCIAL	15:26	15:25	1 Minuto
15	08 / 09 / 2000	HALO PARCIAL	20 :24	No hay información	
16	12 / 09 / 2000	HALO	15 : 07	No hay información	
19	25 / 10 / 2000	FULL HALO	16:00	16:00	0 Minutos
20	02 / 11 / 2000	HALO	17:07	17:09	2 minutos

HALO CME RESUMEN AÑO 2001

#	FECHA	OCURRENCIA	T ₀	T ₁	ΔT
1	22 / 01 / 2001	DOS FULL HALO	16: 25	No hay información	
2	05 / 02 / 2001	HALO PARCIAL	17:56	18:05	9 Minutos
3	28 / 02 / 2001	FULL HALO	17:08	No hay información	
4	16 / 03 / 2001	HALO PARCIAL	16:09	No hay información	
5	20 / 03 / 2001	HALO PARCIAL	12:25	No hay información	
6	10 / 04 / 2001	FULL HALO	17:32	No hay información	

ANEXO A.3**Lista de eyecciones coronales de masa de LASCO MPAe.
Coronal Mass Ejection List Ejemplo.**

Preliminary 1998 SOHO LASCO Coronal Mass Ejection List
(Revised 14-Sep-1999 -- SPP)

N.B. This is a working version of a catalogue of probable coronal mass ejections detected in white light observations of the LASCO coronagraphs. This list is maintained at the SOHO Experimenters' Operations Facility, and it is based on an examination of only quick-look data, which represents a subset of the final LASCO dataset. Questions about this list should be directed to Russ Howard at NRL (howard@cronus.nrl.navy.mil) or to Simon Plunkett of USRA/NRL (plunkett@kreutz.nascom.nasa.gov).

Date(s)	UT	Location	Comment
01-Jan-1998	06:05	E	New material appears. Part of event from previous two days?
02-Jan-1998	04:37	NW	Jet appears, expands toward equator.
02-Jan-1998	23:28	NW+	Full(?) halo beginning in NW. EIT 195 prominence eruptions. Extremely bright C2 prominence at 09:42.
04-Jan-1998	02:29	N+	Faint crossing loops w/remainder of polar crown filament channel in 195.
05-Jan-1998	21:28	NE	Material ejected.
06-Jan-1998	~03:30	W	Very faint front; SW streamer cleared out. Concave-outward in SW trails.
06-Jan-1998	19:27	NE	More material ejected.
06-Jan-1998	20:56	W	Another faint front w/concave-outward trailing continues to empty corona.
08-Jan-1998	01:57	W	Another small packet of material.

Coronal Mass Ejection List (Ejemplo)

08-Jan-1998	08:36	E	Structured loop w/concave-outward trailing moves non-radially. Nice EIT 195 data.
09-Jan-1998	04:09	W	More small packets of material.
10-Jan-1998	09:05	SE	Several spits of material over many hours.
10-Jan-1998	19:11	NW	Structured 80 degree loop w/EIT 195 & 304 EPL behind limb. Faint extension to PA~187 degrees?
12-Jan-1998	04:00	N+	Partial halo from AR 8131/32 in SE. Fainter partial halo later in day?
12-Jan-1998	20:58	NE	Several jets? at different PAs. Becomes loops w/concave-out trailing.
13-Jan-1998	01:27	NW	Very structured material.
15-Jan-1998	01:40	NE	Non-radial jet.
15-Jan-1998	~06:00	NW	Faint front within fainter cloud?
16-Jan-1998	01:40	NE	Non-radial wave, wider than previous day.
16-Jan-1998	09:11	NW	Faint narrow loop?
17-Jan-1998	04:09	NE+	Halo, followed by bright non-radial blob in SE.
17-Jan-1998	23:54	SW	Non-radial wave of material.
18-Jan-1998	19:58	NE	No clear front.
19-Jan-1998	03:59	SE	Slowly rising loops ejected.
19-Jan-1998	07:33	W	Structured loop w/concave out trailing.
20-Jan-1998	19:58	E	Non-radial ejection.
20-Jan-1998	22:03	W	Large loop w/concave-out trailing.