

TORMENTAS MAGNETICAS EN ISLA AÑO NUEVO

María del Carmen Vecchi, María Andrea Van Zele y Otto Schneider  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

En los casi 16 años que funcionó el Observatorio de Isla Año Nuevo se registraron 25 tormentas magnéticas de comienzo brusco o marcado, con información explotable en los tres elementos. Se ha estudiado su morfología en H, componente más sensible a estos disturbios en latitudes no polares despejando sus dos principales aportes, Dst (variación en tiempo de tormenta) y DS (variación diaria de la perturbación en tiempo local), previa eliminación de la variación tranquila Sq subyacente. En el promedio Dst acusa la característica depresión en las primeras 12 horas, del orden de unos 40 nT, con muy lenta recuperación. La semi-amplitud media de  $DS^1$ , la componente armónica fundamental de DS, es de unos 15 nT, amortiguándose rápidamente en los primeros dos días.

ABSTRACT

During the nearly 16 years the Isla Año Nuevo observatory was in operation, 25 magnetic storms with a sudden or clear commencement can be identified, for which complete records in all three elements are available. The storm morphology was analyzed for H, the component most sensitive to these disturbances in non-polar latitudes. After elimination of the underlying quiet (Sq) variation, the main contributions could be separated, viz.: Dst (storm time variation) and DS (disturbance daily variation in local time). The average Dst shows the characteristic depression of H during the first 12 hours, of order 40 nT; it undergoes a very slow recovery. The semi-amplitude of  $DS^1$ , the fundamental harmonic component of DS, is about 15 nT, and shrinks quickly during the first two days.

## GENERALIDADES

Las tormentas geomagnéticas tal como se registran en la superficie terrestre son la manifestación de una superposición de procesos magnetosféricos, ionosféricos e intraterrestres, desencadenados, en última instancia, por esporádicas perturbaciones solares transferidas a la Tierra a través de intensificaciones transitorias del viento solar. De los tres aportes citados, los dos primeros son causantes del tercero por inducción electromagnética. Este efecto, modificado localmente por la distribución de la conductividad eléctrica en el interior, es capaz de modelar la morfología resultante de las tormentas registradas, constituyendo por tanto un factor contaminante cuando se analizan las tormentas en escala global. En el presente estudio, que investiga esta morfología en un solo observatorio, es lícito considerar dicho modelado como prácticamente constante, por lo cual no se intentará analizarlo en detalle.

## DATOS ANALIZADOS

Las tormentas que son el objeto de nuestro análisis forman parte del conjunto de las registradas en el Observatorio Isla Año Nuevo (lat. geog.  $-54,6^{\circ}$  ; long.geog.  $-64,1^{\circ}$  ; lat.geomag.  $-44^{\circ}$ ) entre los años 1902 y 1917. De las tormentas calificables como tales con mayor o menor rigor, y que totalizaron 114 casos, se eligieron por ahora las de características nitidas en lo que se refiere a la brusquedad o definición de su comienzo, sin discriminarlas según su intensidad, (subdivisión aconsejable, ésta última, cuando el volumen de la muestra lo permite). En la selección se incluyeron las tormentas calificadas como siendo "de comienzo brusco" (sc) o "abruptas" (a) en una compilación mundial (observatorio de Greenwich, 1955) y que satisfacen además, determinadas exigencias en lo que respecta al grado de perturbación del campo en escala planetaria durante el día de comienzo y posteriores. Como criterios para ello hemos utilizado en primer lugar los índices planetarios semidiarios M (Mayaud P.N., 1973) y la lista de comienzos bruscos compilada por el

mismo autor, consultando asimismo, como dato de apoyo, los índices horarios de actividad  $k$  del observatorio Potsdam (Bartels J., 1949). Excluidas así las tormentas caracterizadas por un menor grado de perturbación global o una indeterminación de su comienzo, como así mismo aquéllas que en la fase principal o posterior de su desarrollo se enciman con otra posterior, resultaron un total de 25 casos aprovechables. Las menos perturbadas o menos definidas serán objeto de un análisis posterior; podemos anticipar, sin embargo, que en lo referente a los rasgos aquí analizados, su desarrollo no se distingue fundamentalmente de las primeras. Dada la ubicación de Isla Año Nuevo en una latitud media, estimamos suficiente analizar por el momento sólo la componente horizontal  $H$ , particularmente sensible a las tormentas en esta zona.

#### RASGOS PRINCIPALES DE LA MORFOLOGIA

En el desarrollo temporal de una tormenta típica registrada fuera de los casquetes polares se distinguen dos procesos superpuestos que pueden adjudicarse con alguna aproximación, aunque no en forma excluyente, a los aportes magnetosférico e ionosférico antes mencionados, respectivamente, sin perjuicios de rasgos que pueden caracterizar a una tormenta individual, pero se borran si se forman promedios de numerosos casos a fin de hallar la morfología típica. Así lo han revelado diversos estudios previos de las últimas décadas, entre las cuales se destaca como particularmente extenso el de Sugiura y Chapman (1960), el que sin embargo no contempla debidamente la parte austral del continente sudamericano, razón que justifica el presente análisis y otros análogos a efectuarse en los restantes observatorios argentinos.

El primero de los procesos constitutivos se desarrolla en función del "tiempo de tormenta",  $T$ , contado a partir del comienzo de la perturbación a través de tantos días como se haga sentir el efecto residual de la misma. Este aporte recibe el nombre de "disturbio en tiempo tormenta" y se simboliza con la notación  $D_{st}$ ; su desarrollo es simultáneo en toda la Tierra. El segundo proceso es una variación diaria en tiempo local  $t$ ; este

último se relaciona con el tiempo de tormenta  $T$  por  $t=T+t'_i$ , siendo  $t'_i$  el instante de comienzo de la tormenta, expresada en tiempo local. Este segundo aporte, denominado "disturbio en tiempo solar" ( $DS$ ) es formalmente análogo a las otras variaciones en tiempo solar,  $Sq$  y  $SD$ , pero con la importante diferencia de que su intensidad (y en menor grado su fase) experimentan un cambio progresivo en el transcurso de la tormenta, tendiendo a disminuir la intensidad.

La superposición  $Dst+DS$  sólo representa la marcha media del vector perturbación (o de sus componentes), la que prescinde, gracias al proceso de promediar, de otro rasgo constituyen de cada tormenta individual, las subtormentas. También prescinde, -y no por eliminación automática, sino gracias a una depuración "ad hoc"-, de la marcha diaria tranquila  $Sq$  que debe suponerse subyace a la perturbación, aunque generalmente enmascarada por ella. La justificación teórica de la persistencia del  $Sq$  subyacente no se puede sobreentender. En efecto, si bien cabe admitir que las causas de  $Sq$ , la ionización fotónica de la ionosfera y los movimientos cuasi-periódicos diarios de la atmósfera neutra, están también presentes durante los disturbios, quedaría por comprobar que no son modificados por efecto de la precipitación de partículas que produce la perturbación. Este problema está pendiente de solución; por el momento debemos conformarnos con una eliminación previa de un  $Sq$  no modificado, aunque en la definición del  $Sq$  más verosímil nos apartaremos de los antecesores.

#### PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS

Los datos iniciales son valores horarios instantáneos del elemento magnético en cuestión, en nuestro caso  $H$ . De este universo de extraen sucesiones de 73 diferencias inter-horarias consecutivas para cada tormenta, comenzando en la penúltima hora entera anterior al instante  $t'_i$  de tiempo local. El uso de diferencias en lugar de los valores originales obedece sólo a conveniencias operativas; en una etapa posterior del procesado se restituye la marcha de los datos primitivos, referida al

nivel de H previo al comienzo.

Para eliminar el Sq subyacente de cada tormenta individual, Sugiura y Chapman (1960) habían adoptado el criterio de suponerlo dado por la marcha media de los 5 días tranquilos internacionales. Nosotros estimamos más realista obtener esa marcha por interpolación entre los dos días internacionales tranquilos más cercanos al de la tormenta. Con este fin expresamos los Sq de estos días de apoyo en forma de desviaciones de sus niveles nocturnos, asignando luego a cada uno de ellos un peso igual al recíproco de su distancia en tiempo respecto del día inicial de tormenta y hallando el promedio ponderado, hora por hora, entre los dos días de apoyo. La marcha así obtenida fue restada a los valores horarios primitivos, reducidos a su vez al nivel de pre-tormenta.

El escaso volumen de la muestra no permitió fraccionarla según la estación del año, la magnitud de las tormentas, el nivel de actividad solar u otros conceptos. En consecuencia sólo se halló en la primera etapa del análisis el desarrollo medio de H en tiempo tormenta, o sea Dst, como representando una tormenta tipo. Para ello se determinó el valor medio, para cada hora en tiempo tormenta, de los desvíos de H antes descriptos. El resultado se muestra en la Figura 1, la que da también las dispersiones medias cuadráticas para cada hora de T.

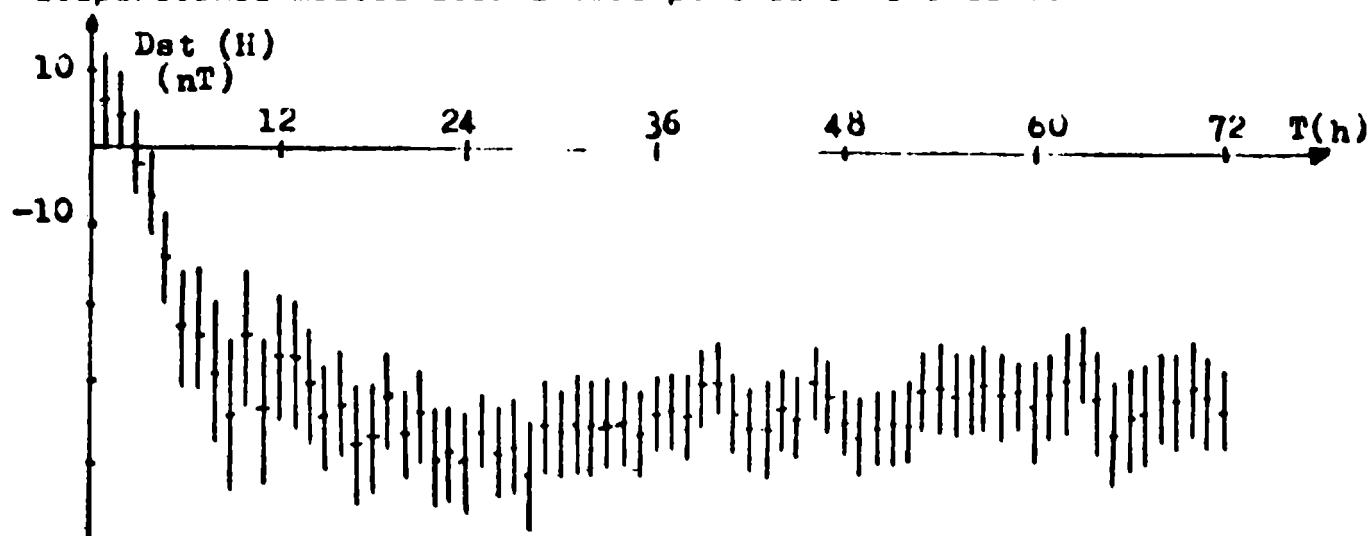


Figura 1: valores horarios y dispersión de perturbaciones producidas en la componente H, promedios de 25 tormentas con comienzo brusco registradas en el observatorio de Isla Año Nuevo entre 1902 y 1917, con inicios en cualquier instante del día local.

En la marcha media Dst así expresada queda virtualmente borrada la influencia de la contribución DS, debido a que ésta, respondiendo a tiempo local, se presenta con diferentes fases en las diferentes tormentas individuales, anulándose con buena aproximación en la superposición de los 25 casos. Para rescatar el aporte DS, es necesario depurar previamente cada tormenta individual en concepto de Dst. Basta para ello restar a cada valor horario, en tiempo de tormenta T, su correspondiente contraparte del Dst medio. El residuo así obtenido debe luego ser sincronizado en tiempo local t, lo cual se logra o bien por agrupamiento de casos similares de valores de  $t_i$ , o mediante una corrección individual de fase en el análisis armónico al que habrá de ser sometida cada tormenta. El primero de estos dos procedimientos, aplicado aquí sólo con un fin ilustrativo, arrojó los resultados graficados en la Figura 2. Cada uno de sus cuatro grupos comprende todas aquellas tormentas cuyo valor  $t_i$  cae en un determinado intervalo prefijado, de 6 horas; estos grupos están escalonados progresivamente, de 6 en 6 horas. Se aprecia, aunque en forma algo borrosa, cómo se insinúan en estos residuos ciertas fluctuaciones de período diario, desfasados de grupo en grupo.

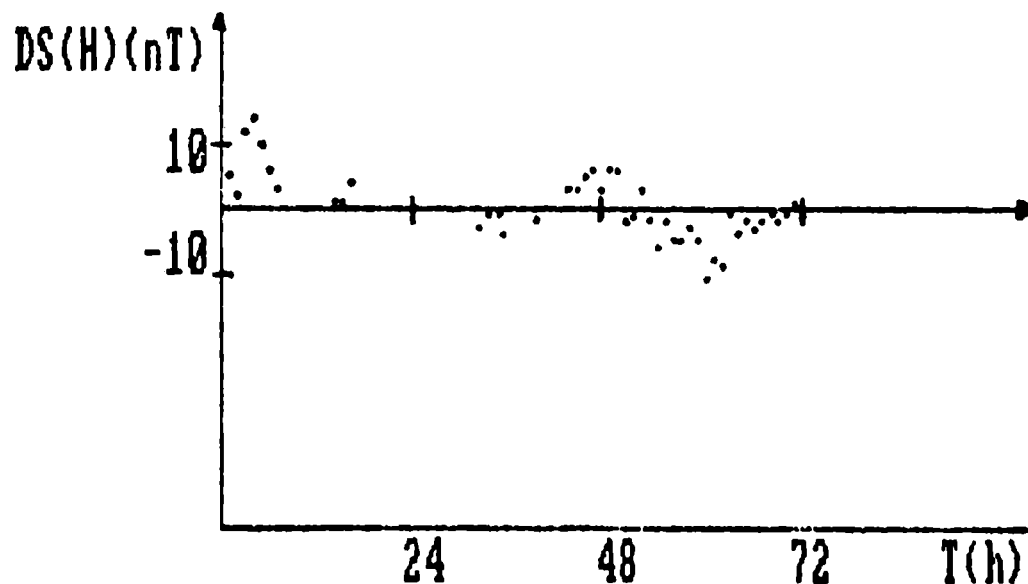


Figura 2a: diferencias entre los valores horarios promedios de aquellas 6 tormentas consideradas en el Dst (H) de la figura 1 con instante de inicio en el intervalo [3,9) T.L., y los valores Dst de la mencionada figura.

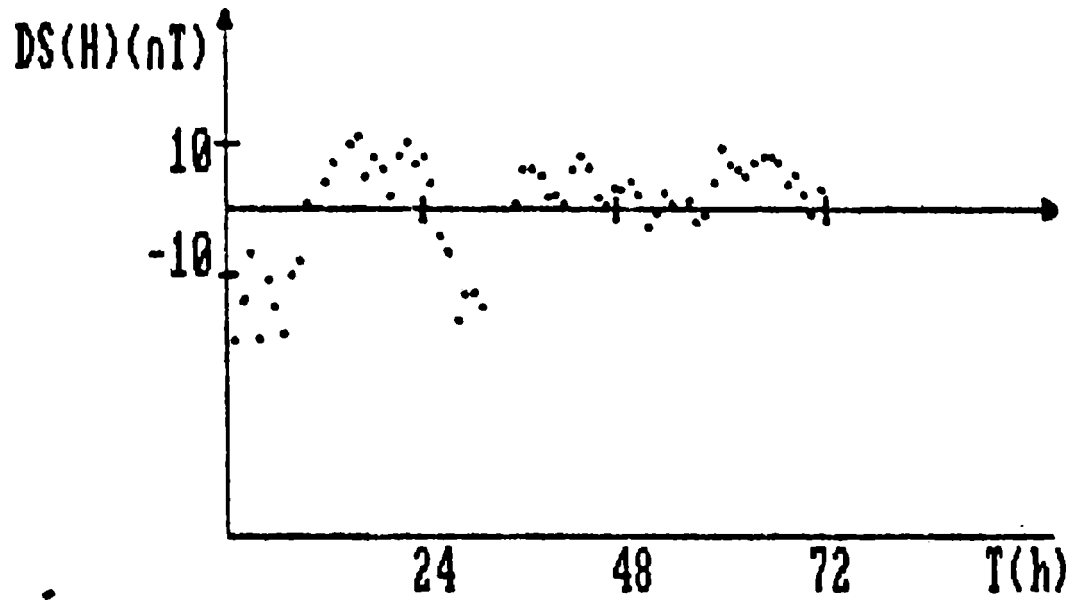


Figura 2b: idem 2a pero para las 8 tormentas con inicio en el intervalo  $[9,15)$  T.L.

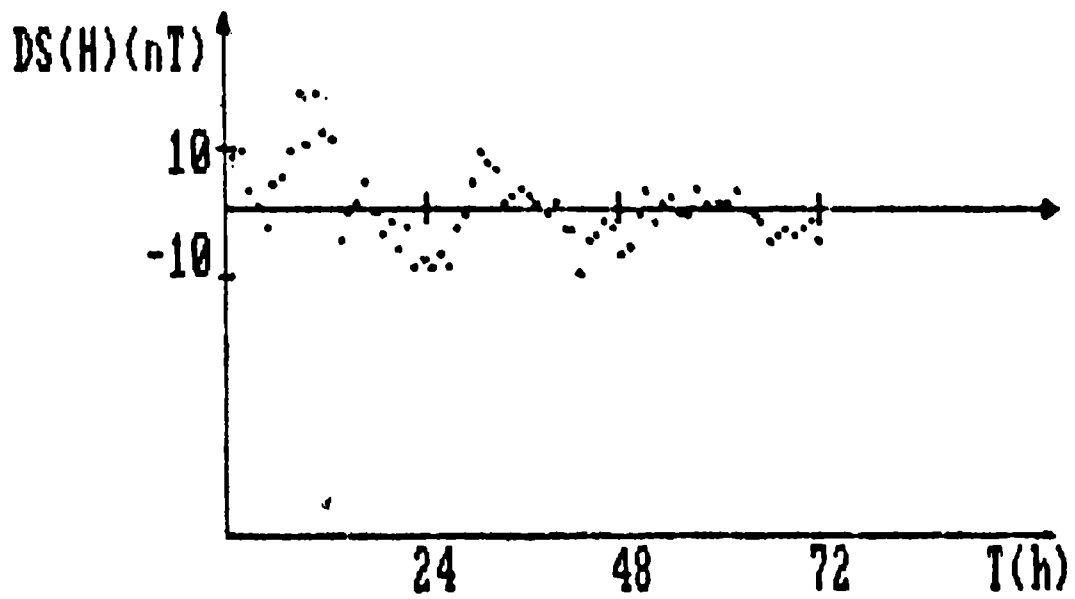


Figura 2c: idem 2a pero para las 8 tormentas con inicio en el intervalo  $[15,21)$  T.L.

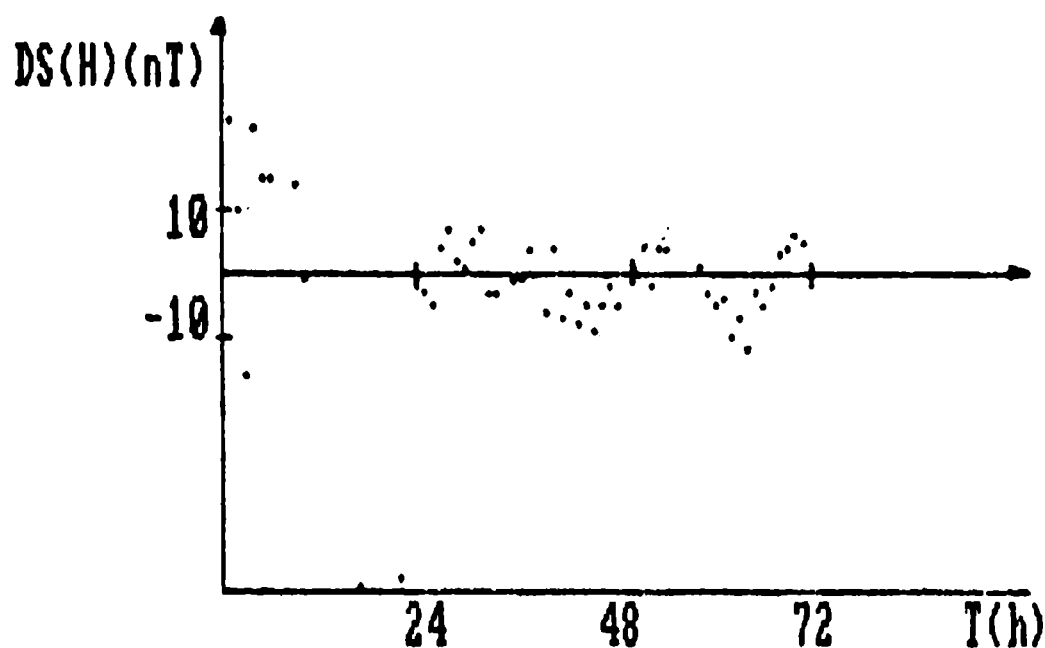


Figura 2d: idem 2a pero para las 3 tormentas con inicio en el intervalo  $[21,3)$  T.L.

El segundo procedimiento posible, aquí adoptado, es el de un análisis armónico, tormenta por tormenta, en busca de una determinación cuantitativa de la intensidad de DS y su modulación en tiempo tormenta  $T$ . Nos hemos limitado a contemplar sólo la componente diaria. Para obtener su comportamiento a través de la tormenta, este análisis armónico, con período fundamental de 24 horas, se ha repetido en forma escalonada cada 6 horas, abarcando sucesivamente las horas  $T=1...24$  el primero de ellos,  $T=7...30$  el segundo, etc., hasta terminar en  $T=49...72$ . Estos 9 pasos quedaron simbolizados mediante los números arábigos 1 a 9, respectivamente. En la Figura 3, que es un reloj armónico, está representado el resultado de este análisis escalonado, ya promediado con la totalidad de las 25 tormentas; también está indicado, para el primero y último grupo de la sucesión, la dispersión cuadrática media de estos promedios.



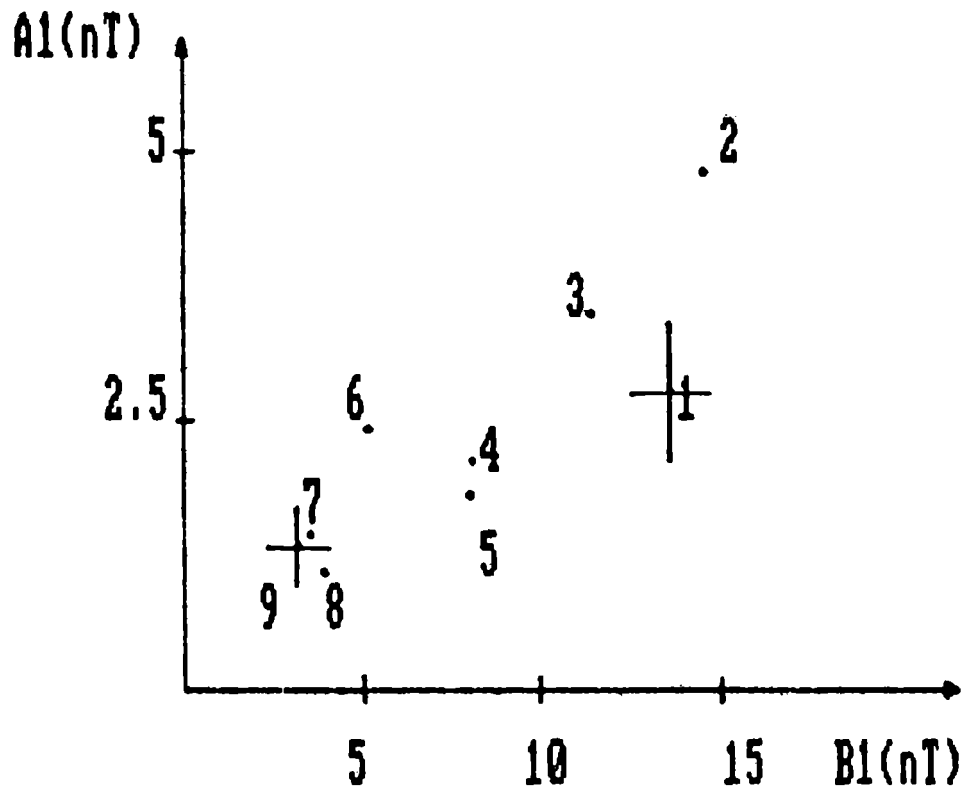


Figura 3: promedio de las componentes armónicas del DS de las 25 tormentas, con periodo de 24 horas, escalonado cada 6 horas en 3 días.

#### COMENTARIOS

1) En la Figura 1 se destacan con claridad las 3 fases que suelen distinguirse en la morfología de las tormentas, a saber la fase inicial, la principal y la de recuperación, correspondientes respectivamente al impacto del flujo solar intensificado sobre la magnetopausa, la formación (o la realimentación) de la corriente anillo ecuatorial y el paulatino decaimiento de esta corriente.

2) En la interpretación de la magnitud relativamente modesta de la fase inicial, que es sólo de unos 5 a 10 nT, y su duración, de unas 3 horas, debe tenerse presente el efecto de achatamiento producido por el hecho de haberse utilizado valores individuales pertenecientes a horas enteras, y a la diferente duración de las fases iniciales de las tormentas individuales.

3) La característica depresión de H en la fase principal alcanza un valor medio de 35 a 40 nT, dejando entrever que en tormentas individuales puede ser considerablemente mayor,

gracias no sólo a la fluctuación estadística de las intensidades sino también la de los momentos de máxima depresión.

4) La recuperación durante el proceso de perturbación residual es extremadamente lenta.

5) La variación media DS (Figura 3), con semiamplitudes de unos 15 nT al comienzo de las tormentas, se amortigua muy rápidamente en el transcurso de las mismas, decayendo en el tercer día hasta cerca de 1/3 de su valor inicial.

6) El cambio de fase de DS en el primer tramo de la sucesión se puede considerar como real, aunque desfigurado en parte por los inevitables efectos del procedimiento, tales como una eliminación imperfecta de Dst en cada tormenta individual, y por la duración variable de la fase inicial; como real se lo supone vinculado a la transición de la fase inicial a la principal. No se puede emitir juicio por otra parte, respecto de la aparente constancia de fase en el resto de la evolución de DS en función de T. Este rasgo debe ser objeto de un estudio ulterior.

7) La Figura 2 pone de manifiesto que la perturbación DS culmina a las 6 de la mañana aproximadamente, cualquiera sea la hora de inicio de la tormenta, manifestando una asimetría respecto del eje sol-tierra.

Reconocimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento al Instituto Antártico Argentino por las facilidades brindadas para la compilación de los datos y las primeras etapas de su laborioso procesamiento, tareas que estuvieron a cargo de la Srta. Catalina T. Cano. En las etapas posteriores concurren, con diversos grados de participación, el Sr. Horacio Curto, el Sr. Jorge Petraglia, la Srta. Sofía Orué Núñez y la Srta. Miriam G. Nieto. Por último, es un grato deber dejar constancia del apoyo recibido por parte del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, en forma de los subsidios 8392/78 (Res. N° 703/78) y 8838d/83 (Res. N° 761) y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, por las facilidades otorgadas en el ámbito de su Departamento de Ciencias Geológicas.

## BIBLIOGRAFIA

- Bartels, J., 1949; Three-hour-range indices,  $\bar{k}$ , for Potsdam-Seddin-Niemegk, 1900-1936; Geomagnetic Indices,  $k$  and  $C$ , 1948; [International] Association of Terrestrial Magnetism and Electricity, 12b, 82.
- Observatorio Real de Greenwich, 1955; Sunspot and geomagnetic storm data, derived from Greenwich observations, 1874-1954.
- Mayaud, P.N., 1973; A Hundred Year Series Of Geomagnetic Data 1868-1967; IAGA, 33.
- Sugiura, M. y Chapman, S., 1960; The average morphology of geomagnetic storms with sudden commencement; Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, Sonderheft Nr. 4. (Reproducido también en : 1961; University of Alaska, Geophysical Institute, 8\_50).