

MAREAS GEOMAGNETICAS PARCIALES DESPEJADAS DE SERIES ANTIGUAS

Otto Schneider

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

Algunas mareas geomagnéticas lunares, otras que las correspondientes al término principal M_2 del potencial de mareas, pueden ser rescatadas de los coeficientes armónicos representativos de la marea principal, que son los que se obtienen con los métodos tradicionales de análisis. De una serie larga ya existente de tales coeficientes, provenientes de 2101 días no perturbados, con registros de la componente Y en una estación ecuatorial (Batavia, hoy Yakarta) fué posible extraer la marea elíptica N_2 , que expresa la influencia de la distancia lunar, como así también otra marea parcial causada en el proceso de interacción del movimiento atmosférico, de período lunar, con la conductividad eléctrica de la alta atmósfera; función de período solar. La marea N_2 , de unos 0.5 a 0.7 nanoteslas de amplitud, acusa respecto de la actividad solar una respuesta débil y apenas significativa.

ABSTRACT

Some geomagnetic partial tides others than those stemming from M_2 , the main term of the tide-generating potential, can be extracted from the harmonic coefficients representing the main tide, as obtained by the classical methods of analysis. From an already existing long series of such coefficients corresponding to 2101 undisturbed days, East component (Y), at an equatorial station (Batavia, now Djakarta), it was possible to isolate the elliptical tide N_2 , which expresses the influence of lunar distance; in addition, another partial tide generated by the interaction of lunar tidal atmospheric motion with the solar periodic variation of the electrical conductivity in the upper atmosphere could also be rescued. The amplitude of the N_2 tide ranges between some 0.5 and 0.7 nanoteslas, showing only a weak and scarcely significant response to solar activity.

En los estudios de las mareas geomagnéticas lunares, L , que se van efectuando con el fin de lograr una cobertura geográfica más completa del fenómeno y posibilitar un análisis más ajustado de su relación con los parámetros ionosféricos y solares suele darse preferencia a aquella parte de L que proviene del término principal, M_2 (semidiaria lunar), del potencial generador de mareas. La transformación de esta línea espectral predominante, en una serie de ondas geomagnéticas parciales de tipo luni-solar fue descubierta hace más de medio siglo (Chapman, 1913); al conjunto de estas ondas parciales se refiere la clásica "Ley de Fases", enunciada por Chapman (Chapman y Bartels, 1940).

Si no se ha prestado tanta atención a otras mareas parciales, integrantes también de la familia de las variaciones geomagnéticas lunares, es porque su pequeñez torna casi prohibitivos los esfuerzos por aislarlas de entre las antes citadas, ya de por sí subliminares al lado de las variaciones geomagnéticas solares, que en la mayor parte de la superficie terrestre enmascaran a las lunares, y al lado también de un considerable ruido estadístico causado principalmente por la actividad solar y la concomitante actividad geomagnética.

Las dificultades señaladas no justifican, sin embargo, que se desista de las tentativas dirigidas a determinar numéricamente los aportes menores, ya que de su análisis (en particular, su distribución planetaria, sus fases y su dependencia solar) pueden surgir elementos de juicio complementarios respecto de la teoría general de las mareas geomagnéticas, (e implícitamente, de las atmosféricas). Es en vista de estas consideraciones que estimamos oportuno no desperdiciar la información respecto de algunas mareas geomagnéticas parciales que se pueden despejar de los términos principales correspondientes a la Ley de Fases, resultado de un antiguo análisis (Schneider, 1936) de la componente Este (Y) registrada en el observatorio de (entonces) Batavia, hoy Yakarta (lat. geogr. $06^{\circ} 11' S$; long. geogr. $106^{\circ} 49' E$). La serie analizada abarca 2101 días no perturbados (carácter magnético ≤ 1.1), cercanos al Solsticio del Sur (11 de noviembre al 20 de febrero)

de los años 1906 a 1929.

Las ondas parciales que trataremos en primer lugar son del tipo:

$$\Xi_{\sigma} = \xi_{\sigma} \text{sen}[\sigma t + 2\nu + \gamma_{\sigma}] = \xi_{\sigma} \text{sen}[\sigma \tau + (\sigma + 2)\nu + \gamma_{\sigma}] \quad (1)$$

$$(\sigma = 1, 2, \dots)$$

donde son: t , el tiempo solar medio; τ , el tiempo lunar medio, y

$$\nu = t - \tau \quad (2)$$

Con estas notaciones, la marea geomagnética principal (la generada por M_2) toma bajo las suposiciones de la clásica Ley de Fases, la forma:

$$L^{(M)} = \sum_{\sigma} L_{\sigma} = \sum_{\sigma} l_{\sigma} \text{sen}[\sigma t - 2\nu + \epsilon_{\sigma}] = \sum_{\sigma} l_{\sigma} \text{sen}[\sigma \tau + (\sigma - 2)\nu + \epsilon_{\sigma}] \quad (3)$$

Para mayores detalles respecto de las mareas Ξ_{σ} , que son de origen híbrido, nos remitimos al trabajo primitivo en el cual fueron definidas y determinadas para la declinación D en Greenwich (Schneider, 1963), y otro, reciente, donde se informa de su determinación para el mismo elemento geomagnético en el observatorio argentino de Isla Año Nuevo (Schneider, 1982).

Consideremos en la (2) el segundo miembro expresado en tiempo solar t . De no existir las mareas parciales referidas (Ξ_{σ}), un desfaseamiento en $+2\nu$, de la σ -ésima onda parcial hallada a la edad lunar ν , arrojaría, salvo residuos estadísticos, una onda idéntica a la que corresponde al novilunio ($\nu=0$), (y esto es, en efecto) el procedimiento de "reducción a luna nueva" usado para hallar l_{σ} y ϵ_{σ} sobre la base de las ondas originariamente discriminadas según ν , y asimiladas de este modo para poder acumular las señales en busca de una mayor nitidez).

De hecho, no se da tal coincidencia de los aportes provenientes de cada edad lunar ν , como se demostrará a la luz de las figuras 1 y 2. Ellas representan relojes armónicos para las ondas diarias y semi-diarias, respectivamente, agrupadas según 4 niveles de la actividad solar (de izquierda a derecha: $R=0$; $0 < R < 30$; $30 \leq R < 60$; $R \geq 60$) prevaleciente en cada uno de los 2101 días. Los

vectores que terminan en el centro de las curvas trazadas en la parte inferior de las figuras expresan las ondas L_1 y L_2 , obtenidas como promedios de los grupos de edades lunares indicados sobre las curvas por los números índices 1 al 6; las equivalencias de éstos últimos con los valores de ν en horas figuran en los pequeños cuadros insertos. (Ha de entenderse que con cada ν se han englobado tácitamente los casos de $(\nu + 12)$, dada su equivalencia con aquellos en virtud del factor 2 en el argumento de las (1) y (3)). Los puntos 1...6 provienen de la reducción a luna nueva mediante desfaseamiento en $+2\nu$, como ya se explicó.

Es evidente a simple vista que la no-coincidencia de los 6 grupos según la edad lunar no responde al azar sino que contiene una pronunciada tendencia sistemática, reveladora de las ondas $\overline{\Sigma}_2$. Estas se pueden despejar hallando para cada edad lunar los residuos vectoriales respecto del L_1 y L_2 medio, desfasándolas luego en -4ν , y promediando. (El desfaseamiento en -4ν se impone para anular el desfaseamiento en $+2\nu$ introducido en la primera reducción a luna nueva, y luego efectuar otro igual, en -2ν , en consideración del signo del sumando 2ν en el argumento de la (1), opuesto al del mismo sumando en la (3)). Los resultados de estas operaciones se hallan graficados vectorialmente en la hilera superior de las figuras 1 y 2.

Se aprecian los siguientes rasgos generales:

- . No obstante la extremada pequeñez de la señal (manteniéndose, en general, por debajo de 1 nT), las amplitudes y fases de ambas mareas parciales presentan un cuadro coherente;
- . en particular merece destacarse la buena constancia, a través de los diferentes niveles de actividad solar, de la fase de $\overline{\Sigma}_2$
- . la relación de $\overline{\Sigma}_1$ a L_1 es sorprendente, llegando al valor de 0.7 en el grupo correspondiente a la actividad solar mínima ($R=0$) y casi $\frac{1}{2}$ en el conjunto de los casos; vale decir que la componente diaria (L_1) de la marea geomagnética lunar está contaminada por una onda moduladora que es casi de su misma magnitud;

- . en $\overline{\Xi}_2$, tal relación es bastante menor, (del orden de 1/4 a 1/6), debido principalmente al hecho de que la propia componente L_2 es tan pronunciada;
- . no se alcanza a reconocer una dependencia de $\overline{\Xi}_1$, ni de $\overline{\Xi}_2$, respecto de la actividad solar.

También analizamos, con los mismos datos originales, la marea N_2 , la que a diferencia de las mareas híbridas del tipo (1), es de origen sólo gravitacional, ya que responde a la excentricidad de la órbita lunar (siendo la más importante entre las mareas "elípticas"). Su expresión analítica:

$$N_2 = n_2 \text{sen}[2\tau - (s-p) + \zeta_2] \quad (4)$$

en donde τ , como antes, es el tiempo medio lunar; s = longitud de la luna media y p = longitud del perigeo de la luna media, desde luego se puede escribir también en términos de tiempo solar t , recurriendo a la (2), y simplificar algo mediante el parámetro

$$\pi = s - p \quad (5)$$

que mide la distancia angular de la luna respecto de su perigeo ($\pi=0$). Dicho de otra manera, π , en analogía con ν que expresa la edad de la luna en la lunación sinódica, mide su edad en el mes anomalístico; se encuentra tabulado (Bartels y Fancslau, 1937; véase también Gupta, 1975). Al igual que ν , el parámetro π suele expresarse en unidades de horas lunares (1 hora = 15°). Por lo demás, nos remitimos a un estudio similar realizado para la declinación geomagnética en la estación argentina de Isla Año Nuevo (Van Zele y Schneider, 1982).

En analogía con las figuras anteriores, la figura 3 muestra, en su parte inferior, las ondas semidiarias principales, L_2 , para niveles crecientes de actividad solar (R).

Asimismo, se hallan indicados, mediante circunferencias, los errores probables de los vectores medios. La parte superior de la figura contiene los residuos que, respecto de dichos vectores medios, subsisten en los coeficientes armónicos semidiarios, si se los agrupa según la distancia lunar; las equivalencias de los índices correlativos 1...4 con el parámetro π de la (5) están consignados en el

cuadrado inserto en la parte inferior de la figura. La cruz que, unida al origen figura en cada uno de los diagramas parciales, indica la onda N_2 que resulta de "reducir a perigeo" los vectores parciales, con un procedimiento de desfasaje análogo al usado en las ondas principales para la "reducción a luna nueva". Por último, la traza poligonal del diagrama parcial que se halla en el ángulo superior derecho, resume dichos promedios parciales obtenidos según la actividad solar. Respecto de estos resultados, resumidos en la TABLA I, caben los siguientes comentarios:

- 1) Los vértices de los trazos poligonales en los diagramas parciales, aunque distribuidos en forma un tanto errática, acusan en grandes rasgos el giro de 360° , en el sentido de las agujas del reloj, que exige la teoría. Este comportamiento se aprecia con mayor nitidez en el quinto de los diagramas parciales.
- 2) Las irregularidades se suavizan sensiblemente con la reducción a perigeo; prueba de ello es la similitud, a través de los 4 grupos de actividad solar, de los vectores resultantes en tal reducción, señalados por un trazo de rayas y una cruz en cada uno de los diagramas parciales.
- 3) La amplitud de N_2 se mantiene claramente por debajo de 1 nT en todos los casos.
- 4) La relación de dichas amplitudes a las de la marea semidiaria principal, L_2 , oscilando entre 0,21 y 0,28 supera en algo el valor de 0,19, estipulado por la teoría gravitacional de mareas. Tal discrepancia, aunque no rigurosamente abonada por una estimación de la significación estadística, parece sin embargo representar una característica persistente de las mareas geomagnéticas N_2 , desafiando por el momento las tentativas de explicación; véanse al respecto los resultados de un análisis extenso para Huancayo (Bartels y Johnston, 1940) y otro, de Isla Año Nuevo (Van Zele y Schneider, 1982).
- 5) Las fases, notablemente persistentes de grupo en grupo, también acusan una anomalía similar a la observada en Huancayo: en el perigeo, la onda N_2 culmina por lo general, unas 2 a 3 horas

- antes que L_2 , o dicho de otra manera, no entra en coincidencia de fase con L_2 sino algunos días después del perigeo.
- 6) El crecimiento relativo de N_2 con la actividad solar es del mismo orden de magnitud, aproximadamente, que el de L_2 , acusando también fluctuaciones irregulares como las manifiestas en esta última onda.
- 7) Existe una llamativa similitud, de grupo en grupo, entre las anomalías residuales de fases de las ondas L_2 y N_2 , como puede apreciarse comparando tales fluctuaciones en el diagrama resumen de N_2 a la derecha, con las fases individuales de L_2 en los relojes armónicos inferiores; obsérvese en particular, la disminución similar de las fases de N_2 y L_2 en el grupo simbolizado por Δ .

El pequeño exceso sistemático de las amplitudes y el desfaseamiento persistente, señalados en los puntos 4 y 7, respectivamente, merecen ser investigados en futuros estudios de las mareas geomagnéticas y atmosféricas.

Reconocimientos. La parte principal de este análisis fué desarrollada cuando el autor se desempeñaba en el Instituto Antártico Argentino, contando para los cálculos numéricos, a menudo onerosos, con la eficaz ayuda de la Señorita Catalina T. Cano. En la etapa final del trabajo el autor gozó de los beneficios de un subsidio otorgado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Leg. 8392/78). Por último, es un grato deber dejar constancia de las facilidades de trabajo brindadas por el Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, como así también por el Servicio Meteorológico Nacional, en su Instituto de Geofísica.

REFERENCIAS

- Bartels, J. y S. Faselau, 1937.- Geophysikalischer Mond-Almanach. Zeitsch. f. Geophysik. 13, 311-328.
- Bartels, J. y H.F. Johnston, 1940.- Geomagnetic tides in horizontal intensity at Huancayo. Terrestrial Magn. and Atmosph. Elect. 45 (3), 269-308, y 45 (4), 485-512.
- Chapman, S., 1913.- On the diurnal variation of the Earth's magnetism produced by the Moon and Sun. Philos. Trans. R. Society London, A 213, 279-321.
- Chapman, S. y J. Bartels, 1940: Geomagnetism, Clarendon Press, Oxford.
- Gupta, J. Ch., 1975: Daily distance numbers D and D'. The Moon 14, 247-253.
- Schneider, O., 1936: Einflüsse der Sonne auf die lunare Variation des Erdmagnetismus. Veröfl. Meteorol. Inst. Univ. Berlin, 1, (3), 32 pág.
- Schneider, O., 1963: A generalization of the phase-law of lunar geomagnetic tides. Nature 199, N° 4893, 546-550.
- Schneider, O., 1982: Estudio de la marea geomagnética en el Observatorio Isla Año Nuevo. Informaciones Científicas N° 223, Año XVIII, 15-28. Dirección General de Investigación y Desarrollo.
- Van Zele, M.A. y O. Schneider, 1982: Efecto de la distancia lunar en las mareas geomagnéticas de la Isla Año Nuevo. Comunic. pres. 12° Reunión Cient. AAGG, Mar del Plata. Sometido a GEOACTA, para su vol. 12.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

Fig. 1: Relojes armónicos de las ondas diarias L_1 y \overline{E}_1 (ecuaciones (1) y (3)) de la marea geomagnética lunar en la componente Y, Batavia, 2101 días no perturbados, cercanos al solsticio del sur, para progresivos estados de actividad solar (definidos en la Figura 3). Fila inferior: ondas medias L_1 , expresadas por el vector central, conjuntamente con la traza de los vectores residuales, numerados correlativamente según la edad lunar γ (ecuación (2)). Fila superior: marea parcial diaria despejada mediante desfases apropiados de los vectores residuales.

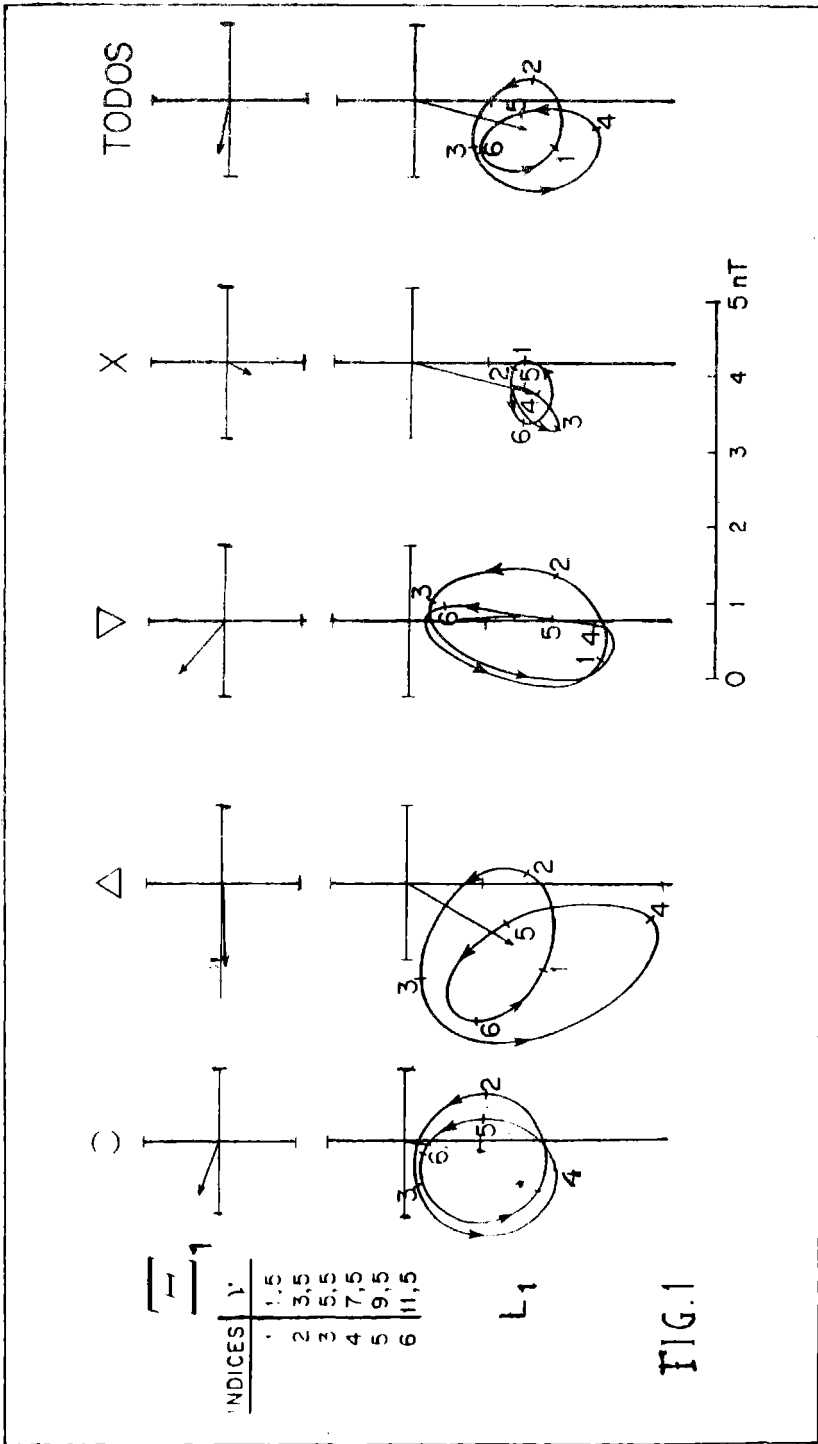
Fig. 2: Análoga a la Figura 1, para las ondas semidiarias.

Fig. 3: Similar a las Figuras 1 y 2, para la marea elíptica semidiaria N_2 , que responde a la variable distancia lunar. Fila inferior: L_2 con sus errores probables vectoriales. Fila superior: Marea parcial N_2 , con los residuos vectoriales respecto de L_2 para cuatro grupos de días correlativamente numerados según la distancia angular π de la Luna al perigeo (ecuación (5)).

Tabla 1: Marea geomagnética parcial N_2 (elíptica), Batavia Y, solsticio del sur, días no perturbados. Relación de N_2 con la marea semidiaria principal, L_2 y dependencia respecto de la actividad solar.

Símbolo	○	△	▽	×	Todos
Actividad solar	R=0	$0 < R < 30$	$30 \leq R < 60$	$60 \leq R$	
Número de días	448	579	482	592	2101
Marea elíptica N_2 Amplitud (nT) Fase (°)	0.51 123	0.72 115	0.64 133	0.81 137	0.69 127
N_2 / L_2	0.22	0.25	0.21	0.28	0.24
$N_2 / N_2 (0)$	1.00	1.40	1.25	1.58	1.35

Tabla I



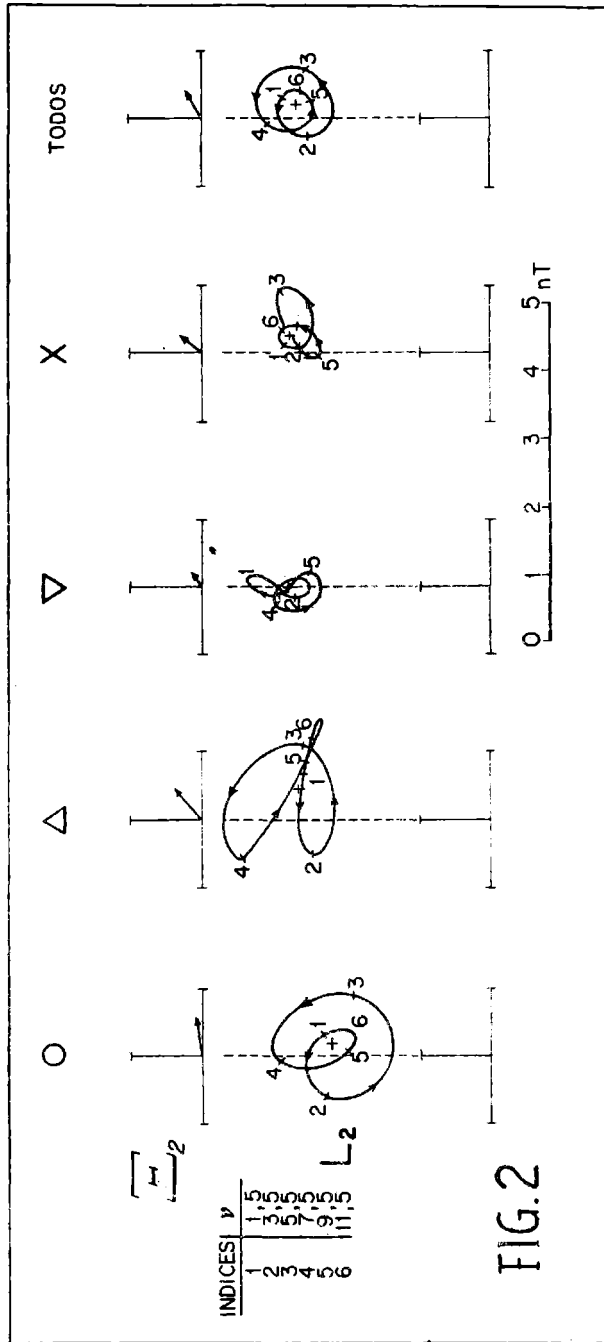


FIG.2

