

ALGUNAS TENTATIVAS DE OPTIMIZACION DE DATOS PARA EL ESTUDIO
DE MAREAS GEOMAGNETICAS

María A. Van Zele y Otto Schneider

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.N.B.A., y Consejo
Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

En el estudio de mareas geomagnéticas lunares es necesario separar la componente solar S de la lunar L, registradas conjuntamente en el magnetograma. Aquí se trata el error que se comete en el método estadístico para la determinación de L, analizando la dispersión y la influencia del número de datos disponibles, así como distintos criterios para la selección de los días; el tratamiento se realiza con días de baja actividad magnética. Los datos utilizados fueron los de la declinación registrados en el Observatorio de Isla Año Nuevo entre 1902 y 1917.

ABSTRACT

For studying lunar geomagnetic tides it is necessary to separate the solar part S from the lunar part L appearing jointly in the records. In this paper an attempt is made at optimizing the criteria for selecting the days suitable for such a statistical determination of L, considering the level of solar and magnetic activity as well as the size of the resulting sample. Quiet-day record of magnetic declination between 1902 and 1917 were used from Isla Año Nuevo (New Year's Island).

JUSTIFICACION DEL PROCEDIMIENTO

El estudio de mareas geomagnéticas lunares a partir de la variación diaria del campo magnético terrestre involucra separar por métodos estadísticos la componente solar S y la componente lunar L, registradas conjuntamente (S+L) en un magnetograma, en forma nítida en días tranquilos, pudiendo quedar tal información encubierta por campos adicionales causados por perturbaciones de origen solar.

La variación lunar L tiene su origen en el movimiento de mareas de partículas cargadas presentes en la alta atmósfera, producidas por ionización por la radiación electromagnética solar. El fenómeno mecánico, es decir, de mareas, depende entre otros parámetros de la edad lunar (ángulo determinado por las posiciones sol-tierra-luna) y de la distancia lunar, ya que la distancia tierra-luna es variable por ser la órbita del satélite elíptica.

Tanto la consideración de los respectivos términos en el potencial generador de mareas (Doodson, 1922), como los hallazgos empíricos en las mareas geomagnéticas observadas (Bartels y Johnston, 1940) demuestran que la variación en cualquiera de las componentes del campo magnético terrestre debida a la marea por edad lunar, cuya principal componente es la semidiaria M_2 , tiene mayor amplitud que la componente N_2 , originada por el cambio de la distancia lunar. Es especialmente importante entonces, en el estudio de esta última marea parcial (N_2) seleccionar días tranquilos de modo que las fluctuaciones estadísticas propias del fenómeno no la dejen encubierta.

La ionización que da origen a las partículas atmosféricas cargadas responsables de las corrientes ionosféricas, y cuya intensidad depende fundamentalmente de la distancia zenital del sol (Chapman y Bartels, 1940a), es mayor durante el verano correspondiente al hemisferio del observatorio que otorga los datos, por lo que la amplitud de S+L es mayor en esa época.

Para que la curva de la variación diaria registrada represente un fenómeno afectado lo menos posible por la incidencia de radiación particulada, es decir, el día en cuestión pueda considerarse tranquilo, se imponen ciertas condiciones al nivel de actividad magnética del día, y al nivel de actividad solar, medida esta última convencionalmente por el número relativo de manchas solares (R).

PROCEDIMIENTO

Con los cuatro primeros pares de coeficientes armónicos determinados diariamente a partir de valores horarios instantáneos de la declinación registrados en el Observatorio de Isla Año Nuevo (lat. $54^{\circ}39'S$, long. $64^{\circ}09'W$) entre los años 1902-1917, interesa determinar la marea geomagnética parcial N_2 .

Dado que el término N_2 es semidiario (sin perjuicio de que genere mareas parciales secundarias menores en otras frecuencias (Chapman y Bartels, 1940b)), sólo se toman en cuenta aquí los coeficientes A_2 y B_2 (componentes semidiarias del desarrollo de Fourier).

Metodología

i) Dado que la componente solar S debe ser eliminada para hallar la lunar L , y la primera se ve fuertemente afectada por la distancia zenital del sol, se determina la variación anual de S :
 a) en el presente trabajo se divide el año calendario en 12 períodos de igual número de días aproximadamente; cada uno de tales períodos es la mitad de un intervalo conocido como número estacional de Bartels. Se agrupan los coeficientes diarios A_2 y B_2 de días seleccionados (ver sección Optimización de datos) correspondientes a cada uno de ellos, y se calcula el promedio (\bar{A} o \bar{B}), adjudicándolo al día central de cada período. Tal promedio representa la armónica solar S correspondiente al período, ya que el aporte lunar ha quedado prácticamente eliminado en virtud del corrimiento progresivo de su edad lunar, y por ende, de su fase. Esto presupone disponer de una muestra suficientemente numerosa y uniformemente distribuida en tiempo.

b) con los 12 valores de \bar{A} y \bar{B} se calcula el desarrollo de Fourier hasta la cuarta armónica de la variación anual de S , y se determinan los valores A' y B' correspondientes a cada día central del intervalo integrando dicho desarrollo en cada período y dividiendo por la longitud del mismo. Si bien los 12 valores de \bar{A} y \bar{B} permiten obtener seis pares de coeficientes del desarrollo, lo que se busca no es reproducirlos en la síntesis, sino determinar una función con características generales análogas a su variación, sin crear modulaciones artificiales.

ii) Así definida la variación anual de S se obtienen los coeficientes correspondientes a la variación lunar $A(L)$, $B(L)$:

$$\text{dado que } A_2 = A_2(S+L) \quad \text{y} \quad A' = A'(S)$$

resulta $A(L) = A_2 - A'$
interpretándosela como el valor diario del coeficiente A_2 debido a la marca lunar.

Análogamente se procede para $B(L)$.

Indeterminación en el valor de $A(L)$ o $B(L)$.

Si bien el procesamiento de los datos es causa de indeterminación en L , el mayor aporte está dado por la dispersión estadística intrínseca.

La dispersión de los datos por procesado es debida a :

- i) el uso de un nivel de referencia único en un período prolongado (ver sección Expresión de los coeficientes armónicos).
- ii) el cálculo de los coeficientes armónicos diarios por el método de las diferencias bihorarias (método aquí utilizado para el cálculo de los coeficientes del período 1-5-1907, 30-4-1913).
- iii) el agrupamiento de coeficientes correspondientes a distintos días, adjudicándose los al día central de un intervalo.
- iv) el agrupamiento de coeficientes correspondientes a días de similar (pero no idéntica) distancia lunar cuando se trata de la marea M_2 , o de similar edad lunar cuando se estudia la M_2 .

La dispersión de los datos debida a fluctuaciones naturales no susceptibles de ser tabuladas es causada por:

- i) la variabilidad de la temperatura de las capas ionosféricas, y por ende de la estructura vertical de la atmósfera.
- ii) la variación de su conductividad eléctrica por pequeñas alteraciones en la composición química atmosférica, turbulencia en el aire o distinto grado de absorción y transferencia de la radiación solar, como así también por las fluctuaciones en la intensidad de la radiación ionizante, aún en períodos supuestamente tranquilos.

Puede considerarse entonces que :

- a) la dispersión de $A(L)$ es esencialmente la de $A_2(S+L)$.
- b) dado que A' es un valor promedio sujeto a fluctuaciones estadísticas, el valor de $A(L)$ se ve afectado por la indeterminación del primero :

$$\sigma_{A(L)} = \sigma_{A_2} + \sigma_{A'} \quad \text{donde} \quad \sigma_{A'} = \sigma_{\bar{A}}$$

$$\text{y} \quad A' \approx \bar{A}$$

EXPRESIÓN DE LOS COEFICIENTES ARMÓNICOS

Los valores horarios considerados en el cálculo de los coeficientes armónicos A_n y B_n son en este caso los de la variación de la declinación (ΔD) expresada en décimos de minuto de grado sexagesimal y medida a partir de un cero arbitrario.

$$\text{Entonces} \quad \Delta D = A_0 + \sum (A_n \cos nt + B_n \operatorname{sen} nt).$$

$$\text{Cuando} \quad \Delta D = \sum (A_n \cos nt + B_n \operatorname{sen} nt)$$

la variación es medida a partir del vector horizontal medio diario \vec{H}_m . Es usual expresar ΔD (observada en medida angular) como la componente del campo normal a \vec{H}_m :

$$\begin{aligned} (\Delta \vec{H})_D &= H_m \cdot \Delta D = H_m \cdot \sum (A_n \cos nt + B_n \operatorname{sen} nt) \\ &= \sum (A_n H_m) \cos nt + \sum (B_n H_m) \operatorname{sen} nt. \end{aligned}$$

En lugar de tal valor H_m , promedio típico de cada día, es lícito usar, para mayor conveniencia de las operaciones numéricas, un valor de referencia $H = 27050$ nT, único en el período estudiado; la pequeñez de la variación secular en el intervalo contemplado asegura que el error en $(A_n H)$ o $(B_n H)$ debido a esta aproximación no excede el 1%.

INTERPRETACION GEOMAGNETICA Y PROBABILISTICA DE LOS DATOS

1) Dado que la onda semidiaria se expresa como

$$A_2 \cos 2t + B_2 \operatorname{sen} 2t = (A_2^2 + B_2^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(2t + \operatorname{arc} \operatorname{tg} A_2/B_2)$$

su máximo se obtiene cuando

$$2t + \operatorname{arc} \operatorname{tg} A_2/B_2 = \pi/2$$

siendo entonces la razón entre sus componentes la que define el instante de culminación de la onda, y su amplitud máxima

$$(A_2^2 + B_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

Representando en un reloj armónico (Chapman y Bartels, 1940c) las componentes (B_2, A_2) , $\operatorname{arc} \operatorname{tg} A_2/B_2$ indica el instante de máxima amplitud (con la equivalencia $30^\circ \approx 1h$).

Es un dato empírico que el máximo en la declinación se produce a las 13, hora local, aproximadamente ($\operatorname{arc} \operatorname{tg} A_2/B_2 = 60^\circ$), en el hemisferio sur, durante el verano; a él contribuye tanto la onda diaria como la semidiaria (ver tablas 1, 2 y 3).

II) La función densidad de probabilidad conjunta de A_2 y B_2 corresponde con buena aproximación a la de una distribución normal bidimensional. La condición

$$P(|A_2 - \bar{A}| \leq \alpha ; |B_2 - \bar{B}| \leq \beta) = C ; \quad C \leq 1 ; \quad \alpha, \beta \geq 0 \quad (1)$$

corresponde a elipses centradas en los valores medios \bar{A} y \bar{B} . Admitiendo que dichas variables aleatorias son independientes los semiejes resultan proporcionales a σ_{A_2} y σ_{B_2} y tiene sentido entonces definir por simplicidad una familia de círculos a los que se adjudica idéntica probabilidad C (Bartels, 1932), y cuyo radio está definido por r , siendo

$$r^2 + r^2 = \ln(1-C)^{-2} \cdot \sigma_2^2 \quad (2)$$

$$y \quad \sigma_2^2 = \sigma_{A_2}^2 + \sigma_{B_2}^2$$

resultando entonces

$$\sigma_{\bar{A}} = \sigma_{\bar{B}} = \sigma_2 / \sqrt{N} \quad , \text{ siendo } N \text{ el número de datos}$$

OPTIMIZACION DE LOS DATOS

De datos diarios registrados entre el 1-5-1907 y el 30-4-1913, se calculan por el método de las diferencia bihorarias, los coeficientes armónicos en tiempo universal y se comparan los semidiarios A_2 y B_2 obtenidos con diferentes criterios de admisión en lo referente a la actividad solar y al grado de perturbación geomagnética, comparándose la dispersión σ_2 resultante en cada caso. A modo de ejemplo se elige el intervalo comprendido entre el 22-12 y el 20-1 de cada uno de los años analizados. Los resultados se hallan compilados en la tabla 1.

En cada caso se indica el criterio de selección, siendo:

C_9 : índice planetario de actividad magnética diaria (Bartels, 1951) que resulta de condensar en escala de 1 a 10 el índice clásico C .

R : número relativo de manchas solares, diario

K : índice trihorario de actividad magnética del Observatorio de Postdam (Bartels, 1949).

Se lo introduce a fin de disponer de un índice de actividad magnética de mayor resolución temporal. Si bien no corresponde al hemisferio sur, es el único de estas características existente en el período indicado.

S : índice diario de actividad magnética para el hemisferio sur, de Mayaud (Mayaud, 1973).

Se lo considera por ser el único existente para el hemisferio austral, si bien ha sido determinado teniendo en cuenta los datos de un único observatorio.

N : número de datos

Nota: En todos los casos considerados con $R \leq 40$ han sido excluidos aquellos días adyacentes a otros con $R > 40$ como una forma de tener en cuenta la tendencia de la actividad solar.

Al realizar los cálculos indicados en la sección Procedimiento y los conducentes a la determinación de los valores medios típicos de \bar{A}_L y \bar{B}_L para distintas distancias lunares, se infiere que la gran variabilidad, día a día, de las corrientes ionosféricas asociadas con los movimientos de mareas subsiste también en condiciones tranquilas, por lo que se requerirían muestras de gran volumen para extraer la señal de marea. Al introducir criterios de selección cada vez más rigurosos, este volumen queda reducido en forma prohibitiva, de manera que la marea continúa estando encubierta por el ruido.

Se decide entonces (criterio I):

- a) ampliar el tamaño de la muestra agregando del período de funcionamiento del observatorio todos los datos aptos en cuanto a actividad solar y grado de perturbación magnética.
- b) cambiar el criterio de selección, considerando aquellos días
 - i) con $C_0 \leq 3$, disminuyendo así la influencia de posibles efectos residuales de tormentas magnéticas;
 - ii) con $\bar{R} \leq 40$, siendo \bar{R} el promedio de los R de 27 días consecutivos, adjudicado al día central del intervalo. Se procede de tal modo dado que \bar{R} es una medida de la tendencia a mediano plazo de la actividad solar, la que resulta más significativa para la selección de los días que el valor diario R (Wilkes, 1962)
 - iii) con $K' \leq 3$.

Dado que puede establecerse una curva media que relaciona la suma diaria de los K' con el índice diario S, se considera poco determinante para la elección de los días tener en consideración, además, a este último.

Los resultados se exponen en la tabla 2.

Se decide además eliminar (criterio II) aquellos días tales que:

$$(A_2 - \bar{A})^2 + (B_2 - \bar{B})^2 \geq r \quad (r \text{ definido por (2)})$$

asignándole al parámetro C de (2) el valor 0,95, como una manera de eliminar datos considerados no representativos de la muestra.

Los resultados de esta última selección se describen en la tabla 3.

BIBLIOGRAFIA

- Bartels, J., 1932; Statistical methods for research on diurnal variations; *Terrestrial magnetism and atmospheric electricity*, 37, 291-302.
- Bartels, J., 1949; Three-hour-range indices, K, for Potsdam-Seddin-Niemegk, 1900-36; en Howe, H.H. y Weisman, E.K., 1949; *Geomagnetic indices K and C*, 1948; IAGA, bulletin 12b, 82-95.
- Bartels, J., 1951; Tägliche erdmagnetische Charakterzahlen 1884-1950 und planetarische dreistündliche erdmagnetische Kennziffern Kp 1932-33 und 1940-1950; *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse; Sonderheft*.
- Bartels, J. and Johnston, H.F., 1940; Geomagnetic tides in horizontal intensity at Huancayo; *Terrestrial magnetism and atmospheric electricity*; 45, 269-308 y 485-512.
- Chapman, S. and Bartels, J., 1940a; *Geomagnetism*; Oxford at the Clarendon Press; 504-512.
- Chapman, S. and Bartels, J., 1940b; 756-757.
- Chapman, S. and Bartels, J., 1940c; 563-566.
- Doodson, A.T., 1922; The harmonic development of the tide generating potential. *Proceedings of the Royal Society of London*; A100, 305.
- Mayaud, P.N., 1973; A hundred years series of geomagnetic data, 1868-1967; IAGA, bulletin 33, 1-4 y 11.
- Wilkes, M.V., 1962; The solar and luni-solar harmonic components of geomagnetic variations at San Fernando; *Journal of atmospheric and terrestrial physics*, 24, 73-92.

Tabla 1 : comparativa de los coeficientes armónicos semidiarios medios y de su dispersión, obtenidos en base a distintos criterios de selección de días comprendidos entre el 22-12 y el 20-1 de los años 1908 a 1913, corregidos a tiempo local.

$$[\bar{A}], [\bar{B}], [\sigma_2] = nT$$

$$[\text{arc tg } \bar{A}/\bar{B}] = \theta$$

Criterio	N	\bar{A}	\bar{B}	σ_2	σ_2/\sqrt{N}	arc tg \bar{A}/\bar{B}	$(\bar{A}^2 + \bar{B}^2)^{\frac{1}{2}}$
$C_g \leq 5$ $R \leq 30$	103	8,67	4,48	5,94	0,59	62,67	9,76
$C_g \leq 4$ $R \leq 40$ $K' \leq 3$	82	8,52	4,84	5,46	0,60	60,40	9,80
$C_g \leq 4$ $R \leq 40$ $K' \leq 3$ $S \leq 15$	77	8,60	4,98	5,50	0,63	59,93	9,94
$C_g \leq 4$ $R \leq 40$ $K' \leq 3$ $S \leq 12$	63	8,65	5,03	5,71	0,72	59,82	10,00
$C_g \leq 4$ $R \leq 40$ $K' \leq 3$ $S \leq 10$	55	8,60	5,38	5,68	0,77	57,97	10,14
$C_g \leq 4$ $R \leq 40$ $K' \leq 3$ $S \leq 8$	43	7,96	5,49	5,21	0,80	55,41	9,67

Tabla 2 : coeficientes armónicos semidiarios y su dispersión obtenidos en base al criterio I , para días comprendidos entre el 22-12 y el 20-1 de los años de funcionamiento del Observatorio de Isla Año Nuevo, expresados en tiempo local (valores promedios).

$$[\bar{A}] \cdot [\bar{B}] = [\sigma_2] \cdot nT$$

$$[\text{arc tg } \bar{A}/\bar{B}] \cdot v$$

Criterio	N	\bar{A}	\bar{B}	σ_2	σ_2/\sqrt{N}	arc tg \bar{A}/\bar{B}	$(\bar{A}^2 + \bar{B}^2)^{\frac{1}{2}}$
$C_g \leq 3$ $\bar{R} \leq 40$ $K' \leq 3$	144	9,11	5,17	5,52	0,46	60,42	10,47

Tabla 3 : coeficientes armónicos semidiarios medios y su dispersión obtenidos de los datos resultantes de la eliminación de días no representativos (criterio II), en condiciones análogas a la Tabla 2.

Criterio	N	\bar{A}	\bar{B}	σ_2	σ_2/\sqrt{N}	arc tg \bar{A}/\bar{B}	$(\bar{A}^2 + \bar{B}^2)^{\frac{1}{2}}$
$C_g \leq 3$ $\bar{R} \leq 40$ $K' \leq 3$ $4A^2 + 4B^2 < r^2$	133	9,10	5,23	4,90	0,42	60,11	10,49