

EFEECTO DE LA DISTANCIA LUNAR EN LAS MAREAS GEOMAGNETICAS DE
LA ISLA AÑO NUEVO

María A. Van Zele y Otto Schneider

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.B.A., y Consejo
Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

El presente trabajo se realiza con datos registrados en el Observatorio Isla Año Nuevo ($54^{\circ}39'$ lat.S, $64^{\circ}09'$ long.O) entre marzo de 1902 y diciembre de 1917.

Se determina la principal componente de la variación en la declinación, dependiente de la distancia lunar, variación producida por el movimiento de marea de electrones en la alta atmósfera, debida principalmente al término N_2 del potencial de marea lunar. Para ello se realiza el análisis diario de Fourier de los valores horarios instantáneos de tal variación en días en que es mínima la perturbación proveniente del viento solar. Eliminada la componente solar (registrada conjuntamente a la lunar), agrupando los residuos por el método de la época lunar fija se halla la componente lunar buscada.

Su amplitud, del orden de 0,2 nanoteslas en el semestre en que la radiación solar es más intensa (con 746 días seleccionados) guarda la relación esperada ($1/7$, aproximadamente) con la componente lunar principal (reconocida como M_2 en el potencial de marea lunar), pero dada su pequeñez la dispersión resultante no permite asignarle un significado estadístico concluyente.

ABSTRACT

The present analysis is based on data recorded at the Isla Año

Nuevo Observatory ($54^{\circ}39'S, 64^{\circ}09'W$) between March 1902 and December 1917. We have determined the principal lunar distance effect in declination (D), mainly due to the N_2 term in the lunar gravitational potential causing the tidal movement of electrons in the upper atmosphere. From instantaneous hourly values of D , Fourier coefficients were calculated for individual days selected for minimum disturbance by solar wind effects. Once the solar part of the variations (recorded along with the lunar component) is eliminated, the residuals are grouped according to lunar distance for finding the lunar part by the fixed epoch method.

For a six-monthly interval near southern summer, with 746 days included, a mean amplitude of some 0,2 nanotesla was found, a value which keeps the expected proportion (of 1:7, approximately) with the main lunar component (corresponding to the M_2 term in the tidal potential); its smallness, however, does not warrant a definite statistical significance of the result.

INTRODUCCION

El objetivo del trabajo es determinar en la variación de la declinación D la componente lunar de la onda semidiaria dependiente de la distancia lunar, sobre la base de los coeficientes armónicos A_2 y B_2 calculados en tiempo solar de valores instantáneos $\Delta D(t_j)$, registrados en el Observatorio Isla Año Nuevo ($54^{\circ}39'$ lat. S, $64^{\circ}09'$ long. O), entre marzo de 1902 y diciembre de 1917. Para ello se seleccionan días tranquilos o moderadamente perturbados de ese período.

La componente lunar es combinación de efectos solares y lunares: el movimiento (mecánico) de marea lunar depende principalmente de la edad y la distancia lunar; la ionización, de la distancia zenital del sol, de la estructura vertical de la atmósfera y del nivel de actividad magnética y solar.

METODOLOGIA

La variación temporal del campo \vec{B} registrado consta de componentes periódicas y no periódicas debiendo ser eliminadas tanto las últimas como aquéllas periódicas que no se busca determinar. Los días elegidos son aquéllos considerados quietos, pues en ellos la componente no periódica es pequeña; si ésta es no sistemática (irregularidades en la ionización o en el movimiento de la atmósfera) es minimizada al tomar como representativo el valor promedio de datos individuales (homogéneamente elegidos) agrupados según determinados parámetros. Si la variación temporal no periódica es sistemática (como la variación secular o la perturbación residual después de las tormentas, por efecto de la corriente anillo ecuatorial) puede ser eliminada; un método apropiado es la corrección por marcha lineal. Es necesario además considerar la presencia de variaciones no aleatorias en los datos; de no hacerlo se aumentaría artificialmente el error en las determinaciones; pertenecen a esta clase de efectos la variación estacional y la dependencia de S_q (variación solar en días tranquilos) y L (variación lunar) respecto de la actividad solar. Cuando la amplitud de la componente periódica a determinar es pequeña comparada con otra, y sus períodos similares, la mayor puede eliminarse promediando como se muestra en esta sección más adelante.

De las observaciones primitivas (valores horarios, instantáneos en el caso aquí considerado) ordenadas en sucesiones diarias según tiempo solar, son calculados cuatro pares de coeficientes de Fourier A_n , B_n , correspondientes a la variación de la declinación D . Elegidos aquellos días considerados quietos, dichos coeficientes expresan la variación conjunta solar y lunar:

$$S(t) + L(t, \nu, d)$$

siendo t el tiempo solar medio, ν la edad lunar y d la distancia lunar variando, en una medida angular convencional, de 0 a 24

entre dos pasos sucesivos de la luna media por el perigeo.

Hay que eliminar entonces la componente solar $S(t)$ de la marcha compuesta; la variación lunar de cada día $L(t, \nu, d)$ se calcula como

$$L(t, \nu, d) = [S(t) + L(t, \nu, d)] - S'(t) \quad (1)$$

donde $S'(t)$ es la variación solar media de los datos agrupados en un período (el año ha sido dividido en 12 consecutivos, aproximadamente iguales (Schneider, 1982) a fin de tener en cuenta la variación estacional). Como los datos no están discriminados aquí en edad o distancia lunar, el valor medio no depende de ellos. Esto es cierto si el número de datos está uniformemente distribuido en el período, es decir si la muestra es grande y representativa de una distribución uniforme en el tiempo. Es

$$L_2(t, \nu, d) = L_2'(t, \nu) + L_2(t, d)$$

siendo $L_2'(t, \nu)$ la variación reconocida como proveniente principalmente del término semidiario M_2 del potencial de marea lunar,

$L_2(t, d)$ su análogo respecto de N_2 (marea elíptica mayor de primer orden),

y despreciando las demás variaciones lunares. Puede entonces calcularse $L_2(t, d)$ (objeto de este trabajo) agrupando $L_2(t, \nu, d)$ para distintos valores $d = d_i$; el promedio de todas aquellas variaciones $L_2(t, \nu, d_i)$ es la variación lunar dependiente de la distancia lunar para el valor $d = d_i$.

Como
$$L_2(t, d) = l_2 \cos \{ 2t - (s-p) + e_2 \}$$

donde s es la longitud de la luna media,

p la longitud media del perigeo lunar,

se puede: .) mirar a t como parámetro y estudiar $L_2(d)$,

.) mirar a $s-p$ como un parámetro y estudiar $L_2(t)$.

Este último es el método de la época (distancia lunar) fija.

Siendo
$$L_2(t, d) = a_2(d) \cos 2t + b_2(d) \sin 2t = c_2(d) \cos \{ 2t + \xi_2 \} \quad (2)$$

se investiga la amplitud $c_2(d)$ y la fase ξ_2 de la onda semidiaria

lunar que resulta de considerar a $s-p$ como un parámetro fijo, al cual se hace tomar uno de los cuatro valores elegidos:

$$\begin{array}{llll}
 s-p = 0 & \text{si } 21 < d \leq 24 & \text{o } 0 \leq d \leq 3 & \text{grupo P} \\
 s-p = 90^\circ & \text{si } d \in (3,9] & & \text{grupo R} \\
 s-p = 180^\circ & \text{si } d \in (9,15] & & \text{grupo A} \\
 s-p = 270^\circ & \text{si } d \in (15,21] & & \text{grupo N}
 \end{array} \tag{3}$$

El carácter semidiario resulta del sumando $2t$ en el argumento.

Los coeficientes armónicos semidiarios (a_2 y b_2) correspondientes a la onda lunar son reunidos en cuatro grupos caracterizados por similares valores de d como se indica en (3). Los promedios de cada grupo son identificados como los coeficientes a_2 y b_2 de (2).

Sólo se toman en cuenta los coeficientes A_2 y B_2 (y a_2 y b_2) porque el término N_2 es semidiario.

Correcciones consideradas en el cálculo de los coeficientes A_2 y B_2

Ellas son:

- 1) por diferente duración entre el día solar y el período básico lunar (Curto y Schneider, 1979);
- 2) por marcha lineal (Bartels, 1935);
- 3) por agrupamiento (Bartels, 1935);
- 4) por utilizar el método de las diferencias (Bartels, 1930) al calcular los coeficientes;
- 5) para expresar las variaciones transitorias de la declinación como componente del campo, normal al vector horizontal medio diario (Van Zele y Schneider, 1981);
- 6) para expresar uniformemente en tiempo local los coeficientes armónicos calculados con diferentes métodos de análisis en algunos períodos parciales de la serie.

Dispersión de los datos.

El carácter tranquilo de los días elegidos y promediados es juzgado a través de la morfología de las variaciones geomagnéticas registradas en la superficie terrestre, sin considerar parámetros físicos específicos que caractericen la condición ionosférica y magnetosférica instantánea, el estado momentáneo del sol y del viento solar. A fin de reducir la dispersión, los datos son analizados según distintos criterios de selección (Van Zele y Schneider, 1981) pero manteniendo el número de datos de modo que el fenómeno pueda ser tratado estadísticamente. Entre los parámetros definitorios se tuvo en cuenta el nivel de actividad solar.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los datos seleccionados son los correspondientes a aquellos días de funcionamiento del observatorio (1902-1917) que satisfacen (Van Zele y Schneider, 1981):

$$C_g \leq 3 \quad ; \quad \bar{R} \leq 40 \quad ; \quad K' \leq 3 \quad \text{y} \\ (A - \bar{A}'_k)^2 + (B - \bar{B}'_k)^2 \leq 1,73 m_k^2 ,$$

donde el subíndice 2 se da por sobreentendido,

C_g es la contracción a escala 10 del índice medio planetario C de actividad magnética,

\bar{R} es el promedio de los números relativos R de manchas solares de 27 días consecutivos adjudicado al día central del intervalo,

K' es el índice trihorario de actividad magnética del Observatorio de Potsdam (único de esas características existente en el período en estudio),

\bar{A}'_k (\bar{B}'_k) es el promedio aritmético de los A (B) que satisfacen las condiciones requeridas por C_g, \bar{R}, K' , correspondientes al k -ésimo período, corregidos por marcha lineal,

$m_k^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2$ es la desviación standard bidimensional de la muestra del k -ésimo período.

La componente solar

Con los 12 valores de \bar{A}_k y \bar{B}_k (promedios aritméticos de los A o B seleccionados) se calcula el desarrollo de Fourier hasta la cuarta armónica de la variación anual de S, y se determinan los valores A'_k y B'_k correspondientes al día central de cada intervalo integrando dicho desarrollo (cuyos coeficientes han sido corregidos por agrupamiento) en cada período y dividiendo por la longitud del mismo.

Los coeficientes solares promedio aritmético \bar{A}_k y \bar{B}_k , la dispersión M_k de la onda semidiaria de Fourier (B_k, A_k) de los días elegidos en el k-ésimo período, el error medio del promedio $\hat{M}_k = M_k / \sqrt{N_k}$, los coeficientes semidiarios definitivos A'_k y B'_k de la variación solar media mensual (expresada como componente normal al vector horizontal medio diario y en tiempo local), así como el número N_k de datos del k-ésimo período figuran en la tabla 1.

La figura 1 representa la variación anual de los coeficientes solares calculados.

La componente lunar

En cada uno de los 12 grupos se calcula la diferencia entre el coeficiente de un día individual y el coeficiente solar correspondiente a ese período A'_k o B'_k . Tal diferencia (ecuación 1)

$$a(L) = A(S+L) - A'_k(S)$$

o

$$b(L) = B(S+L) - B'_k(S)$$

comprende la parte principal de la variación lunar (no la total por haber usado el día solar como intervalo de análisis).

En cada bimestre los días seleccionados se reagrupan según su distancia lunar, en uno de los cuatro grupos (P, R, A o N), de acuerdo con la distancia de la luna al perigeo de su órbita (expresada por d), a la hora 12 del día universal y calculada para cada uno de estos días con datos provistos por tablas (Bartels y Fanselau, 1937). Los subgrupos resultantes de caracterizar los coeficientes según el período y la distancia lunar resultan poco poblados ($N_{dk} \approx 35$),

por lo que se resuelve:

·) trabajar con los datos correspondientes a los meses donde la ionización es más intensa, es decir con el semestre comprendido entre el 21-9 y el 21-3,

·) agrupar los coeficientes lunares semidiarios de ese semestre en los cuatro grupos indicados según su distancia lunar, situación que obliga a enunciar su resultado como una respuesta media semestral.

Los promedios semestrales de cada coeficiente armónico, así como su dispersión, para las distintas distancias lunares se muestran en la tabla 2. De ella se infiere que la relación entre la amplitud de la onda y su dispersión, para las distintas distancias lunares es tal que la variación semidiaria sigue indeterminada. El modo de disminuir la dispersión natural de los datos no es ya haciendo más restrictivos los criterios de selección sino aumentando el número de datos, si bien se han considerado todos los seleccionados en el período de funcionamiento del observatorio. Como las ondas correspondientes a los grupos R, A, N están respectivamente rotadas respecto de las P en $\pi/2$, π y $3\pi/2$, girando estos ángulos los coeficientes correspondientes a tales distancias, los datos son atribuidos a la distancia lunar caracterizada por P. Este procedimiento se conoce como "reducción a perigeo".

Los valores \bar{a}_p y \bar{b}_p (promedios ponderados según el número de coeficientes correspondientes a cada distancia lunar) asignados a P para el semestre elegido, y su dispersión son:

$$\begin{array}{lll} \bar{a}_p = -0,01 \text{ nT} & \bar{c}_p = 0,19 \text{ nT} & \hat{m}_p = 0,16 \text{ nT} \\ \bar{b}_p = 0,19 \text{ nT} & \bar{e}_p = -3^\circ & \hat{m}_p / \bar{c}_p = 0,8 \end{array}$$

CONCLUSIONES

La variación solar semidiaria muestra una marcada variación anual (estacional) en su amplitud, aumentando esta última considerablemente en el período estival. Tal onda culmina a lo largo del año entre la 1 y las 3, hora local (como se espera para esa latitud).

La onda semidiaria lunar dependiente de la distancia lunar está encubierta por fluctuaciones naturales que no dependen en su totalidad de los parámetros considerados por los índices de actividad magnética y solar; la dispersión es suficientemente grande como para que el valor obtenido no pueda considerarse representativo, y es depreciable la corrección por la diferente duración entre el día solar y el período básico lunar. No obstante, la razón

$$\frac{\ell_2'}{\ell_2} \approx \frac{1,4}{0,2} = 7$$

es del orden de la obtenida para Greenwich (Chapman, 1925; Leaton y otros, 1962) y Abinger (Leaton y otros, 1962), o la obtenida (para H) con datos de Huancayo (Bartels y Johnston, 1940) y Alibag (Arora y Rao, 1975). En lo anterior $\ell_2 = \bar{c}_p$, y el valor de ℓ_2' (promedio en el mismo semestre) ha sido extraído de un trabajo de Schneider (1982).

Reconocimiento: En el desarrollo de algunas etapas de este estudio se contó con el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Subsidio legajo 8392/78; Resolución 703/78). Los autores agradecen además la colaboración que les prestaron la sra. María del Carmen Vecchi, el sr. Jorge Petraglia y el sr. Horacio N. Curto.

BIBLIOGRAFIA

- Arora, B.R, y Rao, D.R.K., 1975; Modulation of geomagnetic lunar daily variations in H at Alibag with lunar distance; Geophysical Journal, Royal Astronomical Society; 43, 627-633.
- Bartels, J., 1930; Bemerkungen zur praktischen harmonischen Analyse; Gerlands Beiträge zur Geophysik; 28, 1-10.
- Bartels, J., 1935; Random fluctuations, persistence and quasi-persistence in geophysical and cosmical periodicities; Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity; 40, 1-60.
- Bartels, J. y Fanselau, G., 1937; Geophysikalischer Mondalmanach; Zeitschrift für Geophysik; 13, 311-328.
- Bartels, J. y Johnston, H.F., 1940; Geomagnetic tides in horizontal intensity at Huancayo; Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity; 45, 269-308 y 485-512.
- Curto, H.N. y Schneider, O., 1979; Análisis de mareas lunares en tiempo solar; GEOACTA; X, 31-39.
- Chapman, S., 1925; The lunar diurnal magnetic variations, and its change with lunar distance; Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres; A 225, 49-91.
- Leaton, B.R., Malin, S.R. y Finch, H.F., 1962; The solar and luni-solar daily variation of the geomagnetic field at Greenwich and Abinger, 1916-1957; Royal Observatory, Bulletins; 63, 273-318.
- Schneider, O., 1982; Estudio de la marea geomagnética en el Observatorio Isla Año Nuevo; Informaciones Científicas, DIGID; XVII (223), 15-28.
- Van Zele, M.A. y Schneider, O., 1981; Algunas tentativas de optimización de datos para el estudio de mareas geomagnéticas; GEOACTA; XI, 79-88.

período k	N_k	\bar{A}_k	\bar{B}_k	A'_k	B'_k	m_k	\hat{m}_k
22/12-20/1	133	9,096	5,231	9,96	5,37	4,90	0,42
21/1 -19/2	146	6,989	7,866	7,01	7,77	5,86	0,48
20/2 -21/3	127	4,081	9,053	4,05	9,11	3,54	0,31
22/3 -21/4	141	3,816	7,583	3,81	7,55	2,84	0,24
22/4 -21/5	113	2,559	3,741	2,64	3,76	1,95	0,18
22/5 -20/6	123	1,498	1,508	1,30	1,49	1,86	0,17
21/6 -20/7	119	1,317	1,199	1,62	1,24	1,50	0,14
21/7 -20/8	112	0,928	2,698	0,56	2,62	1,93	0,18
21/8 -20/9	94	0,230	6,660	0,63	6,78	2,63	0,27
21/9 -21/10	85	4,413	9,747	4,05	9,59	3,16	0,34
22/10-20/11	116	5,995	6,973	6,27	7,14	4,20	0,39
21/11-21/12	140	7,791	4,546	7,62	4,39	4,04	0,34

Tabla 1: coeficientes semidiarios de la variación solar, promedios aritméticos (\bar{A}_k y \bar{B}_k) y definitivos (A'_k y B'_k), dispersión de los datos (m_k), de los promedios (\hat{m}_k), y número N_k de datos seleccionados en el k-ésimo período. En \bar{A}_k y \bar{B}_k son algebraicamente significativas las dos primeras cifras decimales.

$$[\bar{A}_k].[\bar{B}_k].[A'_k].[B'_k].[m_k].[\hat{m}_k].n\tau$$

d	N	\bar{a}	\bar{b}	\hat{m}	\bar{c}
P	198	-0,28	0,11	0,3	0,30
R	154	-0,23	0,32	0,4	0,39
A	210	0,05	0,00	0,3	0,05
N	184	0,47	-0,04	0,3	0,47

Tabla 2: coeficientes armónicos medios, durante el semestre estival, de la componente semidiaria de la onda lunar correspondiente a distintas distancias lunares.

$$[\bar{a}].[\bar{b}].[\hat{m}].[\bar{c}].n\tau$$

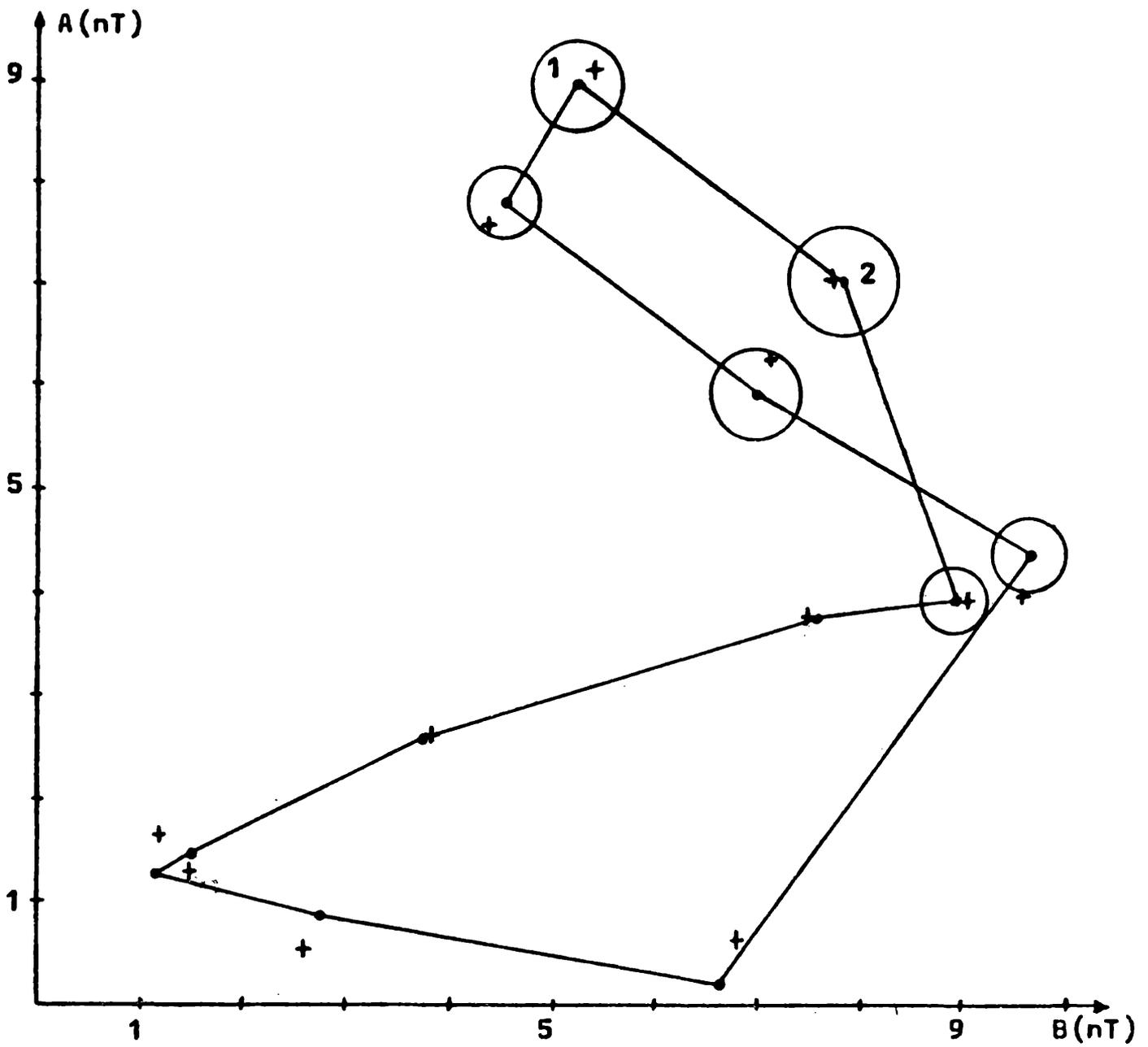


Figura 1: variación anual de la variación solar semidiaria de D en Isla Año Nuevo.

(\bar{B}_k, \bar{A}_k) : promedios aritméticos; (B'_k, A'_k) : promedios definitivos.

El radio del k -ésimo círculo ($k = 1, 2, \dots$) con centro en (\bar{B}_k, \bar{A}_k) es el error medio del promedio \hat{m}_k .