

ESTUDIO DE LA VARIACION ANUAL Y SEMIANUAL DEL CAMPO  
GEOMAGNETICO EN ALTAS LATITUDES AUSTRALES

M.A. Van Zele y Otto Schneider

RESUMEN

El objetivo del trabajo es caracterizar las variaciones anuales y semianuales del campo geomagnético registradas en distintas latitudes del hemisferio sur. Para ello se utilizan valores nocturnos de días tranquilos de registros efectuados en Islas Argentinas y Vostok, y de un intervalo que contiene el mediodía geomagnético en Polo Sur. La contribución del campo cuasi-estacionario y secular es representada por un polinomio de tercer grado a lo largo de los 12 años de datos considerados; eliminada ésta, los residuos son ajustados por una serie de Fourier de términos anual y semianual. Los resultados reproducen las características esperadas: las variaciones anual y semianual tienen en un mismo observatorio amplitudes comparables, siendo mayores en altas latitudes, por efecto de la variación de la localización media del electrochorro auroral. Mientras que las fases de la variación anual de Z en la zona polar y de latitudes medias son tales que los máximos se presentan en los mismos meses del año en ambos hemisferios, en la zona auroral la variación es estacional.

ABSTRACT

The characteristic features of the annual and semi-annual variations of the geomagnetic field at different latitudes of the Southern Hemisphere are analysed. To this end quiet-day night-time values are used, as recorded at Argentine Islands and Vostok, as well as values belonging to an interval centered on geomagnetic noon, from South Pole station. The contribution stemming from the quasi-stationary field and from Secular Variation is represented by a third-degree polynomial expression fitted to the full 12-years record here considered; after removal of these parts, the residuals are harmonically analysed for their annual and semi-annual oscillations. The results confirm the expected features: in each of the observatories, the annual and semi-annual ranges are comparable; in high latitudes these ranges are bigger, due to the variations of the mean position of the auroral electrojet. The phases of the annual variation in the auroral zone are such that maxima occur in the same months in both hemispheres; within the polar region, however, and in mid latitudes the variation is seasonal.

## 1.- Introducción

Las variaciones del campo geomagnético registradas en la superficie del planeta son producidas principalmente por variaciones de corrientes que circulan en el interior (núcleo), en el exterior (ionosfera-magnetosfera), y a corrientes inducidas en la corteza y manto superior por las anteriores. Así como las primeras son responsables de cambios lentos (variación secular), las segundas lo son de las de mayor frecuencia (solar, lunar, etc.). Las variaciones anual y semianual son atribuidas a agentes exteriores (Malin y Mete Isikara, 1976).

Este estudio contempla datos registrados durante el periodo [1957,1971] en Islas Argentinas ( $-54,0^\circ$  lat. geom.,  $4,6^\circ$  long. geom.), Polo Sur ( $-78,7^\circ$  lat. geom.,  $0,0^\circ$  long. geom.) y Vostok ( $-89,5^\circ$  lat. geom.,  $116,4^\circ$  long. geom.).

## 2.- Metodología

### 2.1 Criterio de selección

El estudio se basa en registros hechos en días muy tranquilos, considerándose tales los que satisfacen

para el día elegido	$A_p \leq 5$ y $(M < 10 \text{ o } S < 10)$
para el 1er. día precedente	$M \leq 15$
para el 2do. día precedente	$M \leq 20$
para el 3er. día precedente	$M \leq 25$
para el 4to. día precedente	$M \leq 30$

siendo M el promedio semidiario de los índices  $a_a$  y S la amplitud diaria de actividad en un observatorio del hemisferio sur (Mayaud, 1973; Mayaud y Romaña, 1977). Las condiciones impuestas a los días precedentes tienen por finalidad atenuar perturbaciones residuales originadas en la corriente anillo ecuatorial, método ya considerado en otro estudio similar (Vecchi, Curto y Schneider; 1979). El número de días considerado en cada observatorio para las componentes vertical (Z) y horizontal (H) en cada año figura en la tabla 1.

	Vk/Z	Vk/H	PS/Z	PS/H	IA/Z	IA/H
1957					4	4
1958					11	11
1959					6	6
1960	4	4	4	4	4	4
1961	21	21	16	19	22	22
1962			18	19	22	22
1963	14	14	37	37	38	38
1964	48	48	44	44	48	48
1965	70	70	70	70	70	70
1966	51	51	50	50	51	51
1967	34	34	34	35	35	35
1968	9	9	9	9	9	9
1969	24	24	19	17		
1970	29	29	29	29		
1971	18	18	17	17		

Tabla 1: N° de días tranquilos elegidos en los observatorios Polo Sur (PS), Vostok (Vk) e Islas Argentinas (IA) por año, para las componentes Z y H.

Los valores del campo registrados en días tranquilos resultan principalmente del campo cuasiestacionario (o permanente), la variación secular, anual, semianual y diaria solar (Sq) y lunar (L). La variación secular debe ser previamente eliminada dada la posible contaminación que puede introducir en el efecto buscado.

A fin de evitar considerar una contribución de Sq a la variación anual, contemplamos valores nocturnos de registros de observaciones efectuados en Islas Argentinas y Vostok, y un intervalo que contiene el mediodía geomagnético en Polo Sur. En particular, el valor que se asigna a cada día elegido es el promedio de los valores horarios de los intervalos trihorarios [5,8] T.U. en Islas Argentinas, [14,17] T.U. en Polo Sur, [18,21] T.U. en Vostok

## 2.2 Determinación de las variaciones de origen externo

La contribución del campo cuasi-estacionario y la variación secular se calcula ajustando por cuadrados mínimos los promedios

trihorarios señalados, correspondientes a los días elegidos, por un polinomio de 3er. grado en función de un número que representa la fecha del día elegido, contado sucesivamente a partir de un día 1, definido como el 1-1-1960 en Vostok y Polo Sur, y el 1-1-1957 en Islas Argentinas.

La variación secular de la componente Z en Islas Argentinas, Polo Sur y Vostok se representa en la figura 1.

El residuo entre el valor asignado a cada día elegido y la imagen de ese día por el polinomio es considerado el resultado de variaciones de corrientes principalmente externas.

### 2.3 Determinación de parámetros que caracterizan las variaciones anual y semianual.

Debido a la periodicidad de las fluctuaciones que se pretende representar, se ajustan, año por año, los residuos mencionados antes a una función de la forma

$$(1) \quad f(T) = a_1 \cos T + b_1 \sin T + a_2 \cos 2T + b_2 \sin 2T,$$

siendo  $T = 2\pi k / K$

$K = 365$  ó  $366$  según el año considerado

$k$  contado a partir del 1ro. de enero de cada año

$a_1$  y  $b_1$  los coeficientes anuales y

$a_2$  y  $b_2$  los semianuales.

Cuando los datos considerados para determinar en (1) los coeficientes de Fourier por cuadrados mínimos no están equiespaciados, el valor de cada coeficiente depende del total de coeficientes que se haya decidido determinar, por lo que los resultados así encontrados no son estrictamente comparables a los que se obtendrían si sólo se pretendiera hallar la variación anual (o semianual).

Del ajuste de los residuos por una función de la forma (1) se determinan para cada año los 4 coeficientes mencionados, pero sólo se consideran aquellos resultados en que el número de días elegidos en ese año es mayor que 14, es decir, un 4% como mínima cantidad de la muestra, criterio que se adoptó en consideración de la poca satisfactoria convergencia de los coeficientes resultantes cuando éstos se calculan sobre la base de muestras menores.

Los residuos y la curva (1) para el año 1965, para los 3 observatorios se representan en las figuras 2 y 3.

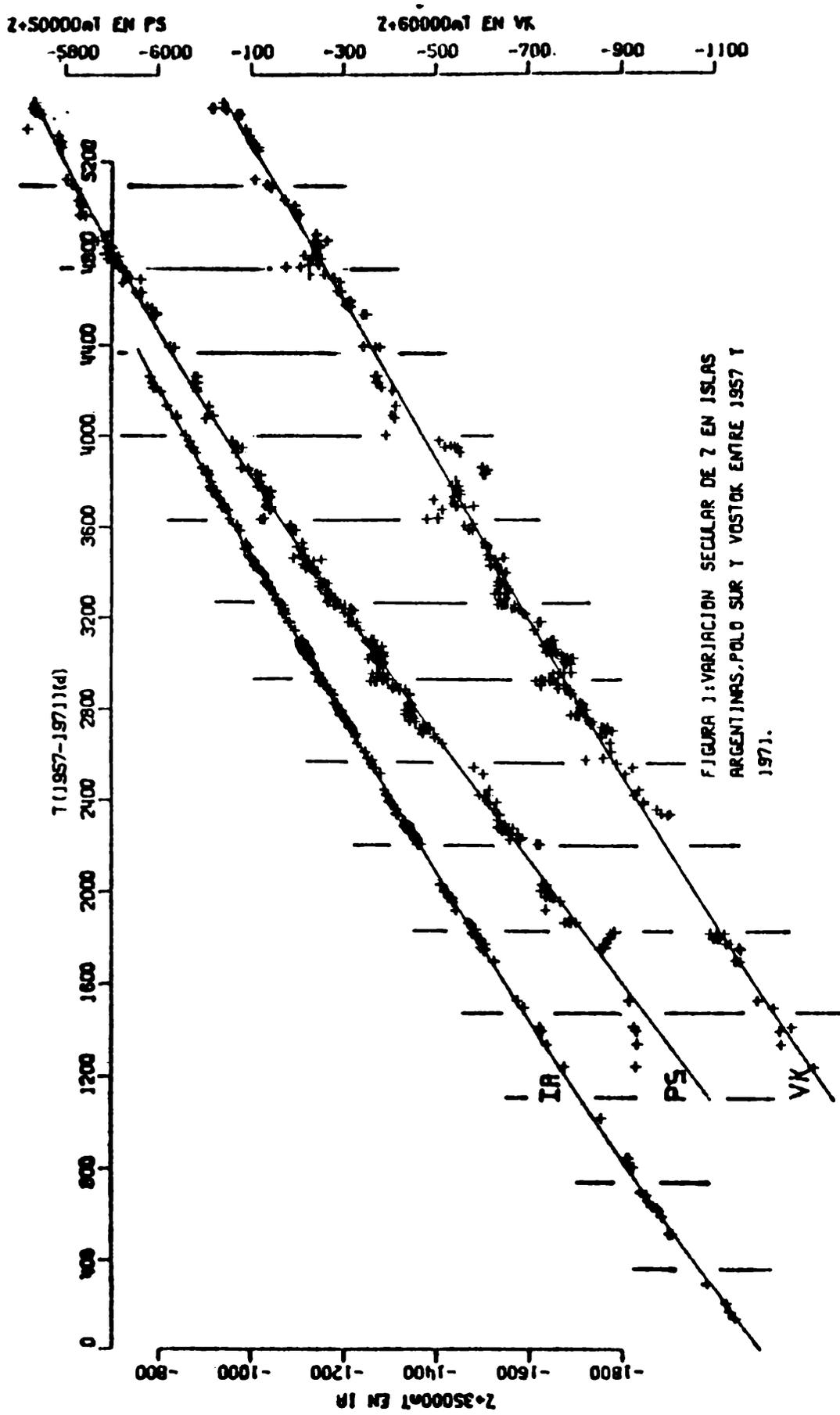


FIGURA 3: VARIACION SECULAR DE Z EN ISLAS ARGENTINAS. POLO SUR Y VOSTOK ENTRE 1957 Y 1971.

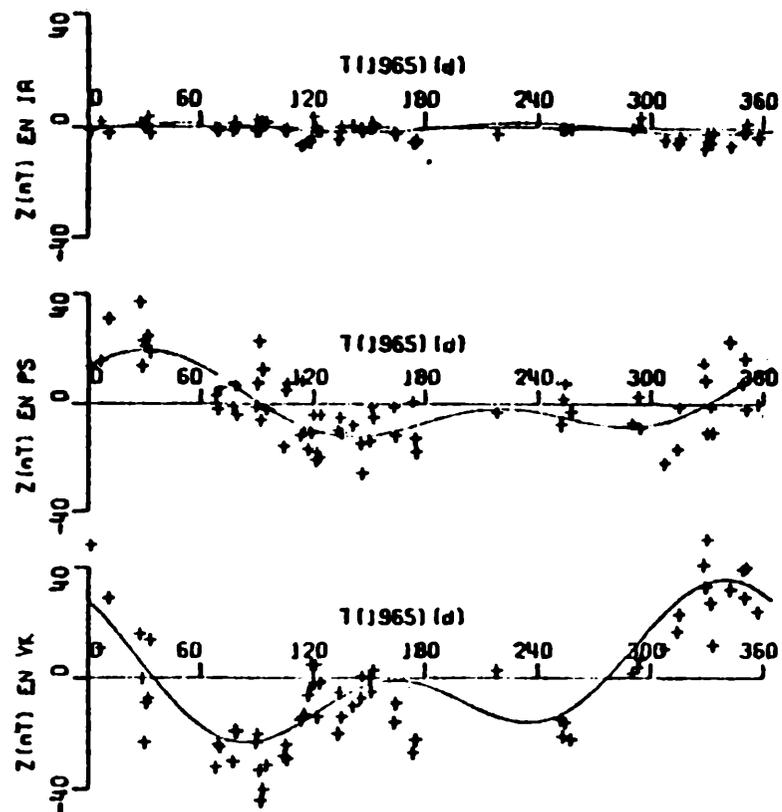


Figura 2: residuos de la componente Z y su ajuste anual y semianual en los observatorios IA, PS y V<sub>k</sub> para el año 1965

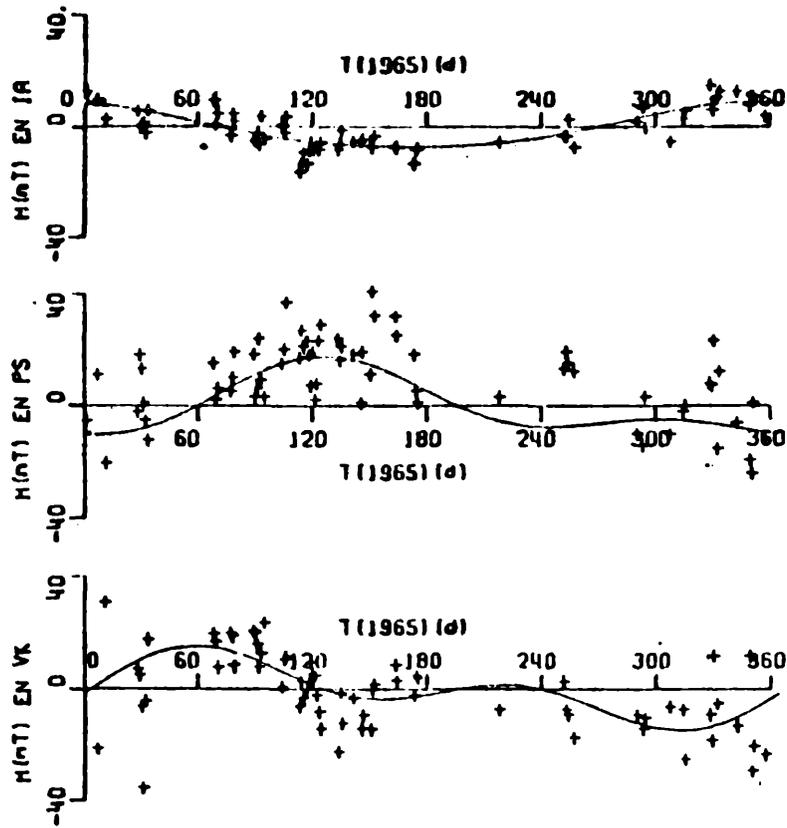


Figura 3: idem 2 para H.

Los coeficientes anuales y semianuales obtenidos para las componentes Z y H en los años indicados están representados en las figuras 4, 5, 6 y 7.

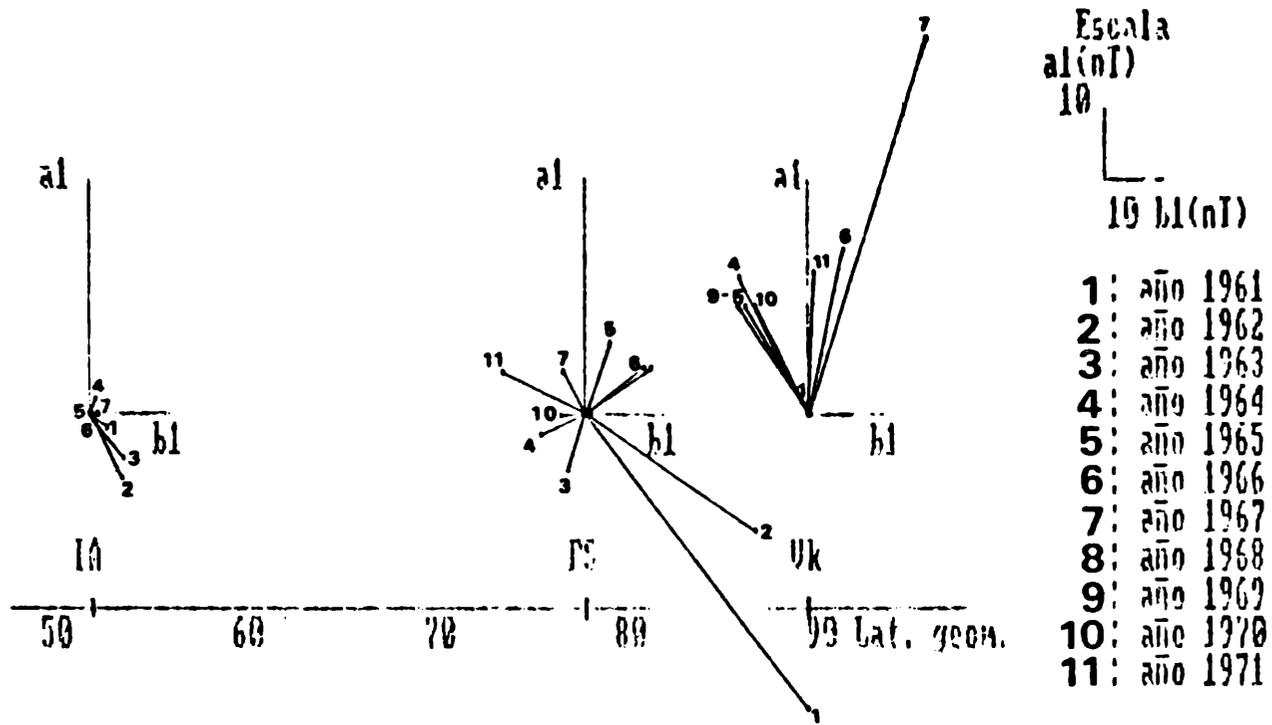


Figura 4: Variación anual de la componente vertical Z en función de la latitud geomagnética según los coeficientes de Fourier calculados para días muy tranquilos

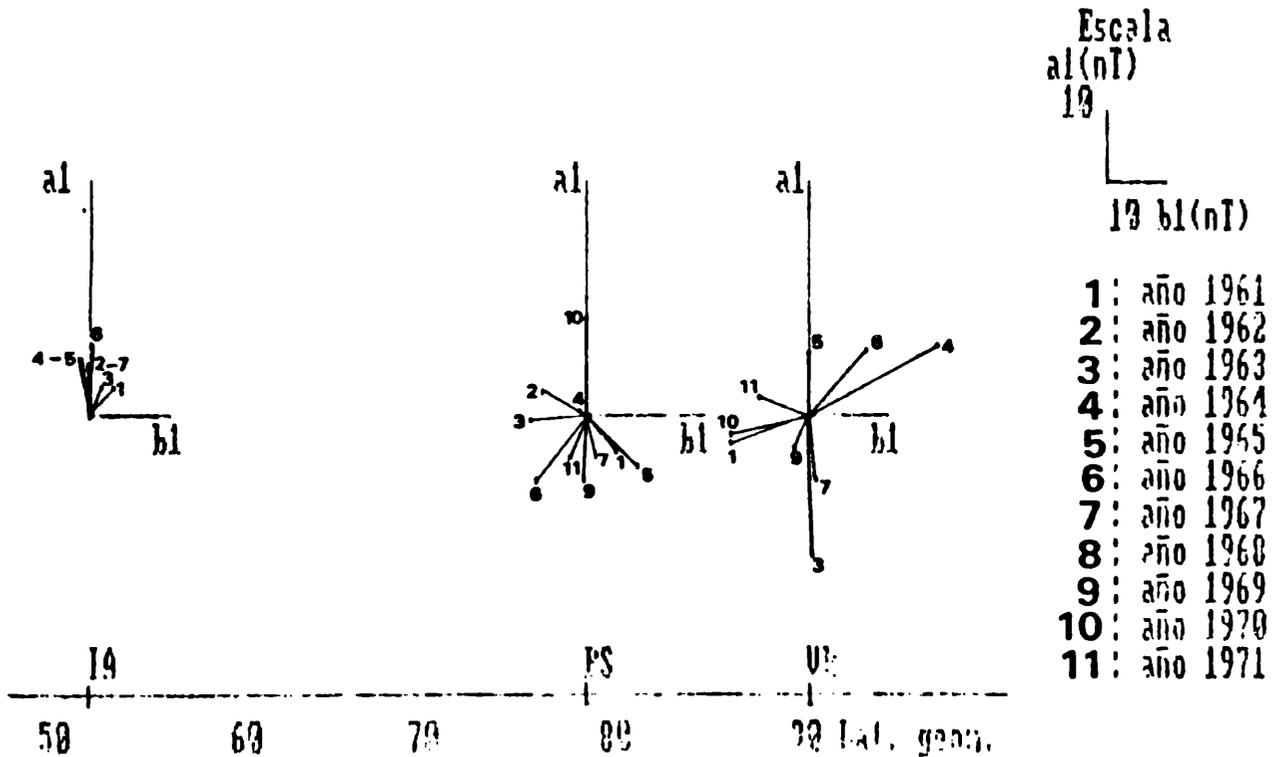


Figura 5: Idem figura 4 para la componente horizontal H.

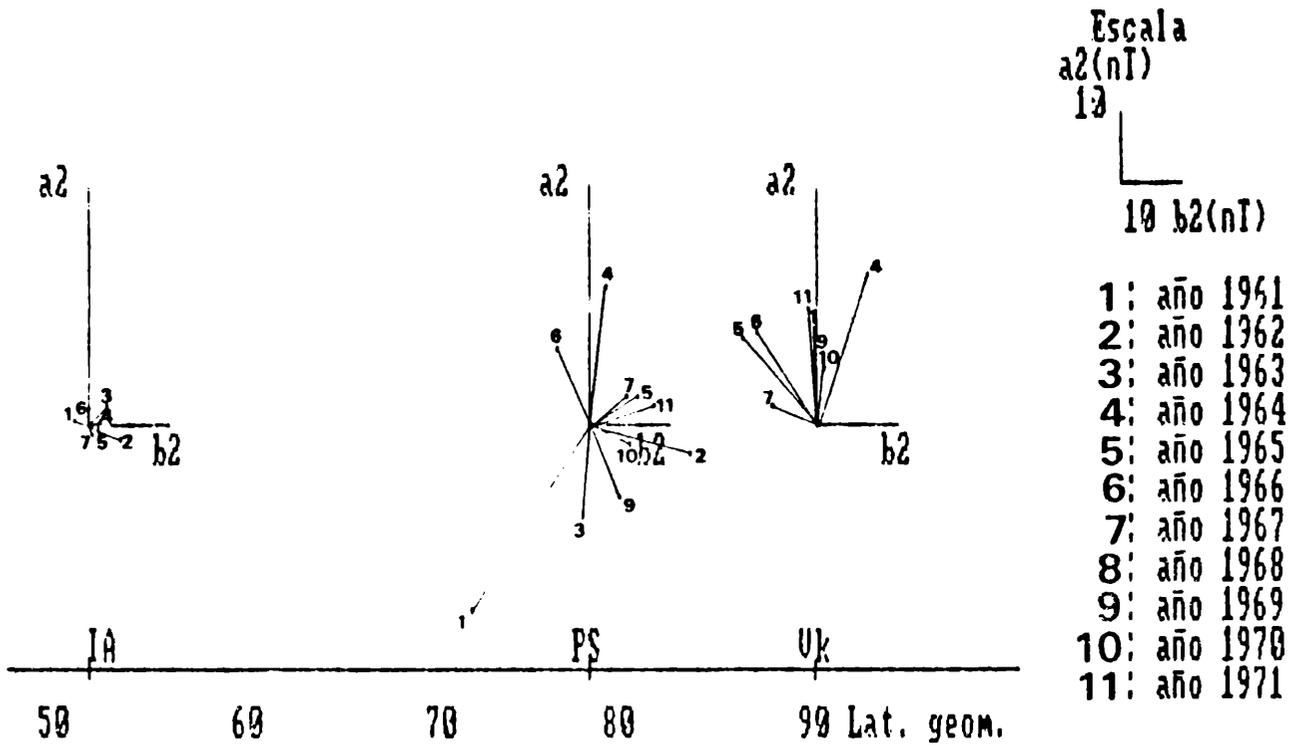


Figura 6: Variación semianual de la componente vertical  $Z$  en función de la latitud geomagnética según los coeficientes de Fourier calculados para días muy tranquilos

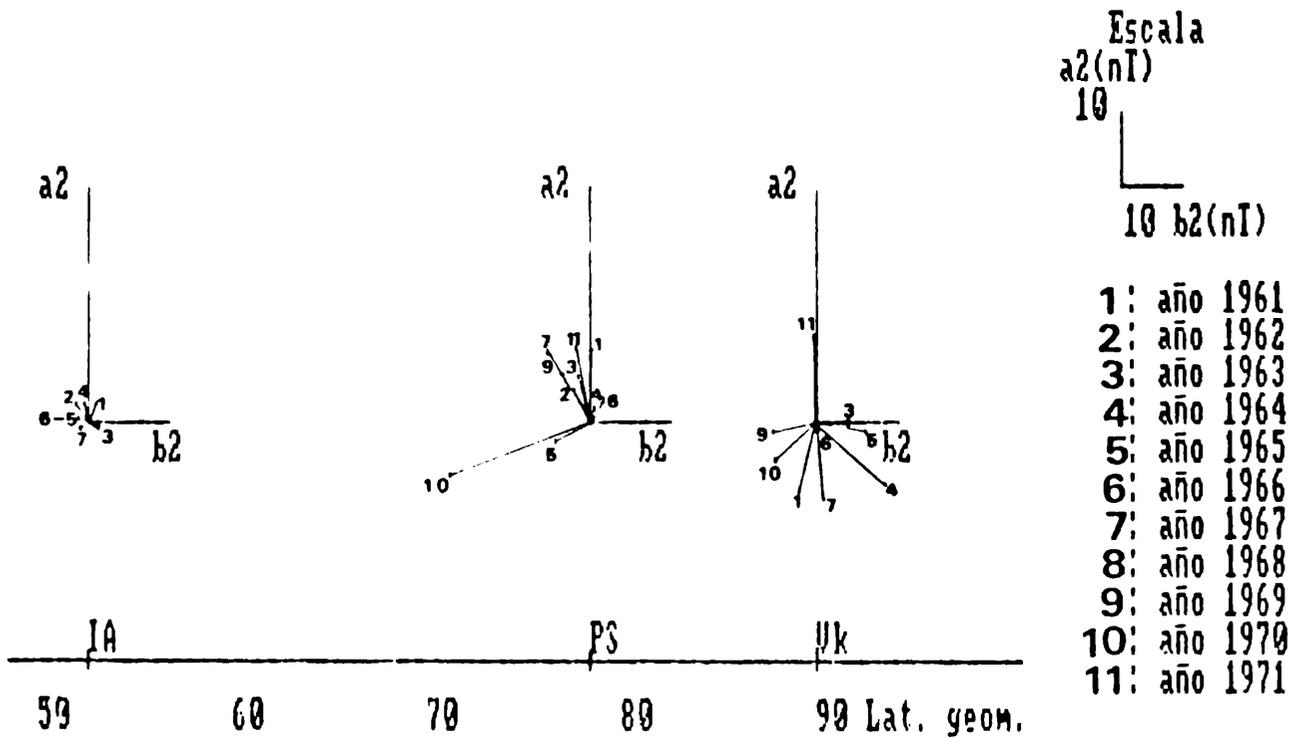


Figura 7: Idem figura 6 para la componente horizontal  $H$ .

## 3.- Resultados obtenidos.

De las figuras 4, 5 6 y 7 puede inferirse:

- ) la amplitud de la onda anual es del mismo orden que la semianual en cada observatorio.
- ) la variación anual de la componente Z
  - i) en Vostok es pronunciada, alcanzando su máximo durante el semestre estival austral;
  - ii) en Polo Sur alcanza el máximo en distintas épocas del año: hasta 1964 en el semestre invernal austral y a partir de 1965 en el estival austral;
  - iii) en Islas Argentinas muestra una amplitud mucho menor que la de los observatorios antes mencionados, y su valor es el característico en latitudes medias; su máximo se ubica en el primer semestre del año;
- ) la variación anual de la componente H
  - i) en Vostok culmina en distintas épocas del año.
  - ii) en Polo Sur alcanza su máximo en el semestre invernal austral;
  - iii) en Islas Argentinas culmina en el verano austral; en ambos casos la amplitud de H es comparable a la de la variación anual de Z en el mismo observatorio.

## 4.- Conclusiones

Las variaciones anuales, interpretadas primitivamente como el resultado de una acción dinamo en la ionosfera (Vestine, 1954), Currie, 1966), han sido relacionados con la variación de la posición media de la corriente anillo en la magnetosfera y de la latitud del electrochorro auroral en la ionosfera, todo lo cual depende del ángulo de incidencia entre el viento solar y el eje geomagnético (Malin, y Mete Isikara, 1976)

Pueden definirse entonces tres tipos de variaciones anuales según que el observatorio esté ubicado en una latitud media o baja, en la zona auroral, o en el interior del casquete polar.

En latitudes medias o bajas la variación anual presenta un comportamiento global (planetario); H alcanza su máximo en el semestre estival del hemisferio respectivo, como se ve para Islas Argentinas, mientras que en Victoria (observatorio del hemisferio norte de latitud geomagnética comparable) se alcanza en el semestre estival boreal (Naqai y Fukushima, 1979). Ello sería causado (Malin, y Mete Isikara, 1976) por el movimiento hacia el

norte (durante el verano austral) y sur (durante el verano boreal) de la posición media de la corriente anillo por la compresión del campo magnético terrestre por el viento solar. La componente  $Z$  tiene el coeficiente  $a_1$  preferentemente negativo o nulo en esas latitudes (Figura 3 del trabajo de Malin and Mete Isikara (1976)).

Las amplitudes medias anuales de  $H$  y  $Z$  son comparables y del orden que Currie (1966) da para latitudes medias. Las amplitudes semianuales de ambas componentes resultan menores que las anuales, lo que ese autor encuentra para  $Z$ , no así para  $H$ , la que debería resultar algo mayor que la anual.

La morfología de la variación anual se modifica a medida que aumenta la latitud; la del Polo Sur es comparable a la de Baker Lake en el hemisferio norte (figura 4 de Naqai y Fukushima, 1979): la componente  $H$  tiene preferentemente su máximo en los meses entre mayo y agosto en ambos hemisferios, mientras que  $Z$  presenta una variación estacional: hasta 1964 el máximo se alcanza en los semestres invernales, y a partir de 1965 en los estivales, en ambos hemisferios. Ello indicaría que la "zona auroral para  $Z$ " (si se quiere adoptar este concepto "ad hoc") está desplazada hacia mayores latitudes que la de  $H$  como proponen Naqai y Fukushima (1979). Sería interesante dilucidar si la "zona auroral para  $Z$ " varía con el ciclo undecenal solar (o el de 22 años del campo magnético solar), pues la variación anual de  $Z$  en polo Sur parecería indicar un comportamiento polar hasta 1964 y auroral a partir de 1965, el que respondería a la variación de la posición media del electrochorro. (El bienio 1964-1965 es de mínima actividad solar).

La culminación de  $Z$  en el semestre estival observada en Vostok es lo esperado para un observatorio del casquete polar: el electrochorro hacia el oeste en el lado nocturno en diciembre está desplazado hacia el norte. El efecto polar es similar en fase al global, pero su amplitud es mucho mayor, lo que indicaría que la sede de corrientes no es tan lejana como la corriente anillo ecuatorial, sino ionosférica. La componente  $H$  no responde al comportamiento polar, el cual predice su culminación en el semestre estival.

#### Reconocimientos:

Este trabajo ha sido realizado en dependencias de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires y es parte del estudio del régimen geomagnético de la República Argentina que apoya el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por medio del proyecto PID-0952, habiéndose

beneficiado también, en parte, por el Subsidio BB38a/80. Los valores medios horarios de la componente Z del Observatorio de Vostok han sido cedidos por el World Data Center C2 de Kynto (Japón) y el World Data Center B2 de Moscú (URSS).

**Referencias:**

- Currie, R.G., 1966; The geomagnetic spectrum, 40 days to 5,5 years; J. Geophys. Res., 71, 4579.
- Malin, S.R.C y Mete Isikara, A., 1976; Annual variation of the geomagnetic field. Geophys. J.R. astr. Soc., 47, 445-457.
- Mayaud, P.N. (1973); A hundred years series of geomagnetic data 868-1967, IAGA Bulletin N°33.
- Mayaud, P.N. y Romaña, A. (1977); Supplementary geomagnetic data 1957-1975, IAGA Bulletin N°39.
- Nagai, T. y Fukushima, N., 1979. Annual variation of the geomagnetic field in polar regions. Antarctic Record N° 63. Nat. Inst. of Polar Research, Tokyo, 298-310.
- Verchi, M. del C., Curto, H. y Schneider, U. (1979). Expresión del campo geomagnético cuasi-estable mediante los niveles nocturnos de sus elementos. Geoacta, vol 10.
- Vestine, E.H., 1954; J. Geophys. Res., 59,93.