

VARIACION ANUAL Y SEMIANUAL EN EL OBSERVATORIO GEOMAGNETICO DE
PILAR (CORDOBA)

Julio C. Gianibelli, Silvina G. Weisz* y Daniel E. Pecuch

Departamento de Magnetismo Terrestre y Electricidad Atmosférica,
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.
Buenos Aires, República Argentina.

RESUMEN

Se estudian las variaciones anual y semianual de las componentes D, H y Z en el observatorio geomagnético de Pilar, Córdoba en el período correspondiente a los años 1941 a 1950. Se determinan amplitud y fase de las componentes espectrales comprendidas en la banda que abarca de 0,33 a 10 años de los promedios mensuales centrados al mediodía y a la medianoche de tiempo local. Se comprueba además el efecto del ciclo solar sobre las variaciones anual y semianual. Se considera si la teoría equinoccial es la más apropiada para la justificación de estas ondas.

ABSTRACT

The annual and semiannual variations of the geomagnetic field components D, H and Z at Pilar Observatory, Córdoba, were studied during the period between the years 1941 and 1950. The Amplitude and phase of the spectral componentes included in the band of 0,33 to 10 years were determined for monthly means centered at midday and at midnight of local time. We also verified the solar cycle effect over the annual and semiannual variations. We consider if the equinoctial hypothesis for justifying the presence of these waves is the most suitable one

* CONICET.

INTRODUCCION

La variación anual y semianual del campo geomagnético ha sido estudiada por Chapman y Bartels (1940), Vestine et al (1947), Vestine (1954), Currie (1966), Bhargava (1972) entre los más destacados. Para los estudios efectuados con datos de nuestro país se destacan los trabajos realizados por Van Zele y Schneider (1987). Recientemente Rangarajan y Bhargava (1987) han demostrado el cambio de la amplitud de las variaciones anual y semianual en función de la hora local para observatorios de bajas latitudes.

En cuanto a los mecanismos que originan estas variaciones, aparecieron distintas opiniones. Vestine (1954) dió una explicación de la onda anual en términos de un mecanismo de dínamo debido a vientos ionosféricos meridionales que soplan desde el hemisferio estival hacia el hemisferio invernal. Por otra parte Olson (1970) sostuvo que se observarían variaciones anuales y semianuales aún en condiciones constantes del viento solar. Bhargava y Rangarajan (1987) mostraron que la variación anual se debe a una composición de efectos: los vientos ionosféricos meridionales, que también mencionó Vestine, las corrientes Sq que muestran una fuerte dependencia estacional, y las perturbaciones. Bhargava (1972), mostró que en observatorios ubicados en latitudes bajas la variación anual durante el día se debía puramente a corrientes ionosféricas y durante la noche a oscilaciones magnetosféricas como ser cambios estacionales en la corriente anillo.

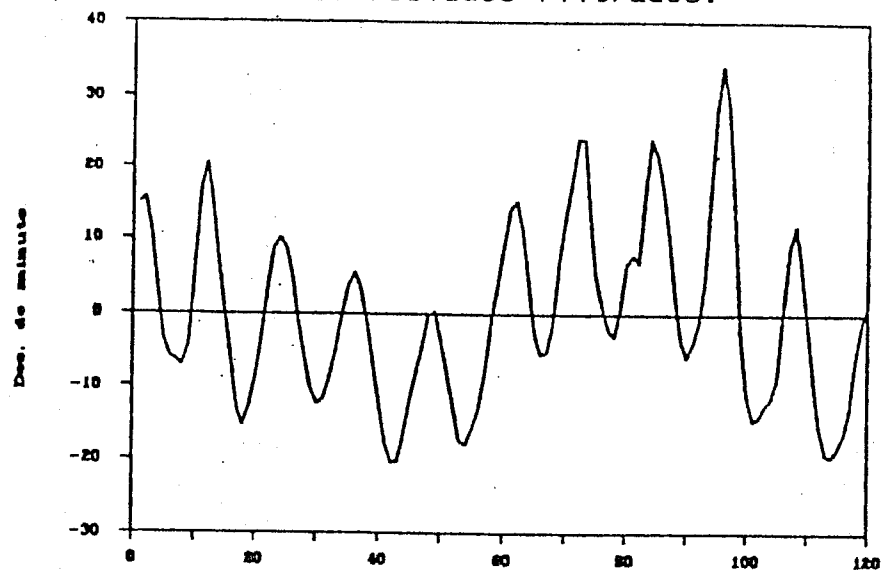
Para la variación semianual aparecen fundamentalmente dos hipótesis que favorecen el incremento de actividad geomagnética en marzo y septiembre, es decir máximos equinocciales, y son las hipótesis axial y equinoccial. La primera postulada por Cortie (1912) considera que el factor más importante interviniente en esta variación es el cambio de la latitud heliográfica de la Tierra. La segunda sostenida por Bartels (1932) y McIntosh (1959) entre otros, la atribuye a la inclinación del eje de rotación terrestre respecto del plano normal a la eclíptica.

En el presente trabajo se determina la variación anual y semianual de los elementos geomagnéticos D, H y Z en alta y baja actividad solar con datos correspondientes a la década 1941-1950 del observatorio geomagnético de Pilar en la provincia de Córdoba (1961), con el fin de estudiar el comportamiento de esas componentes con el ciclo solar y la hora local (TL).

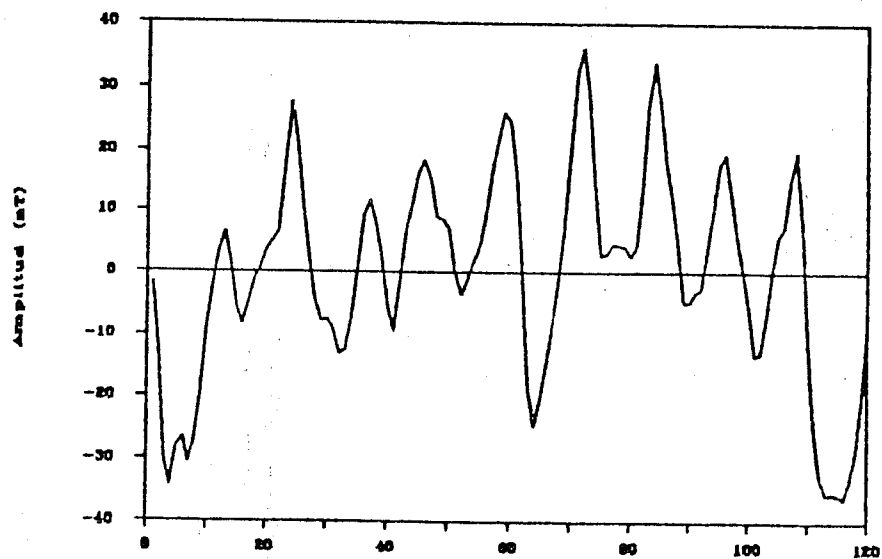
ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se formaron dos series decenales de valores de los elementos geomagnéticos D, H y Z, una diurna y otra nocturna en las que se promediaron mensualmente los valores de dichos elementos en el intervalo que va de 10 hs. a 14 hs. de tiempo local para las series diurnas y de 22 hs. a 02 hs. de tiempo local para las series nocturnas. La variación de muy largo período o variación secular, fue aproximada por un polinomio de primer grado que resultó ser el de mejor ajuste. Se formaron dos series con las diferencias entre la serie original y la expresión lineal correspondiente a la variación secular. Las series resultantes fueron filtradas con un filtro Gaussiano de 7 puntos que permitió atenuar el 85% de las periodicidades menores que 3 meses. Las figuras 1a y 1b muestran

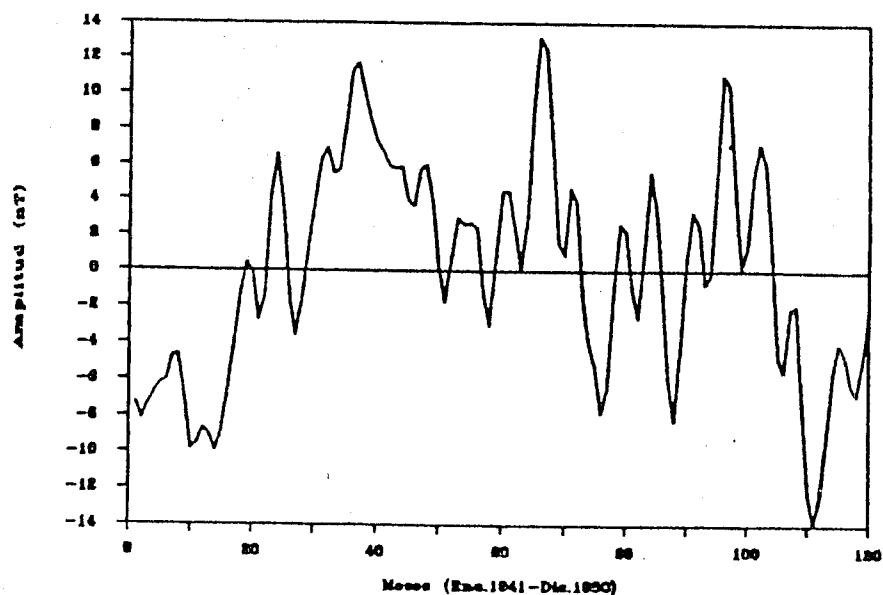
las series diurnas y nocturnas de los elementos D, H y Z correspondientes a los residuos filtrados.



COMPONENTE D



COMPONENTE H



COMPONENTE Z

Figura 1a. Residuos filtrados de las series diurnas.

Una vez obtenidas las series de residuos filtrados, se realizó

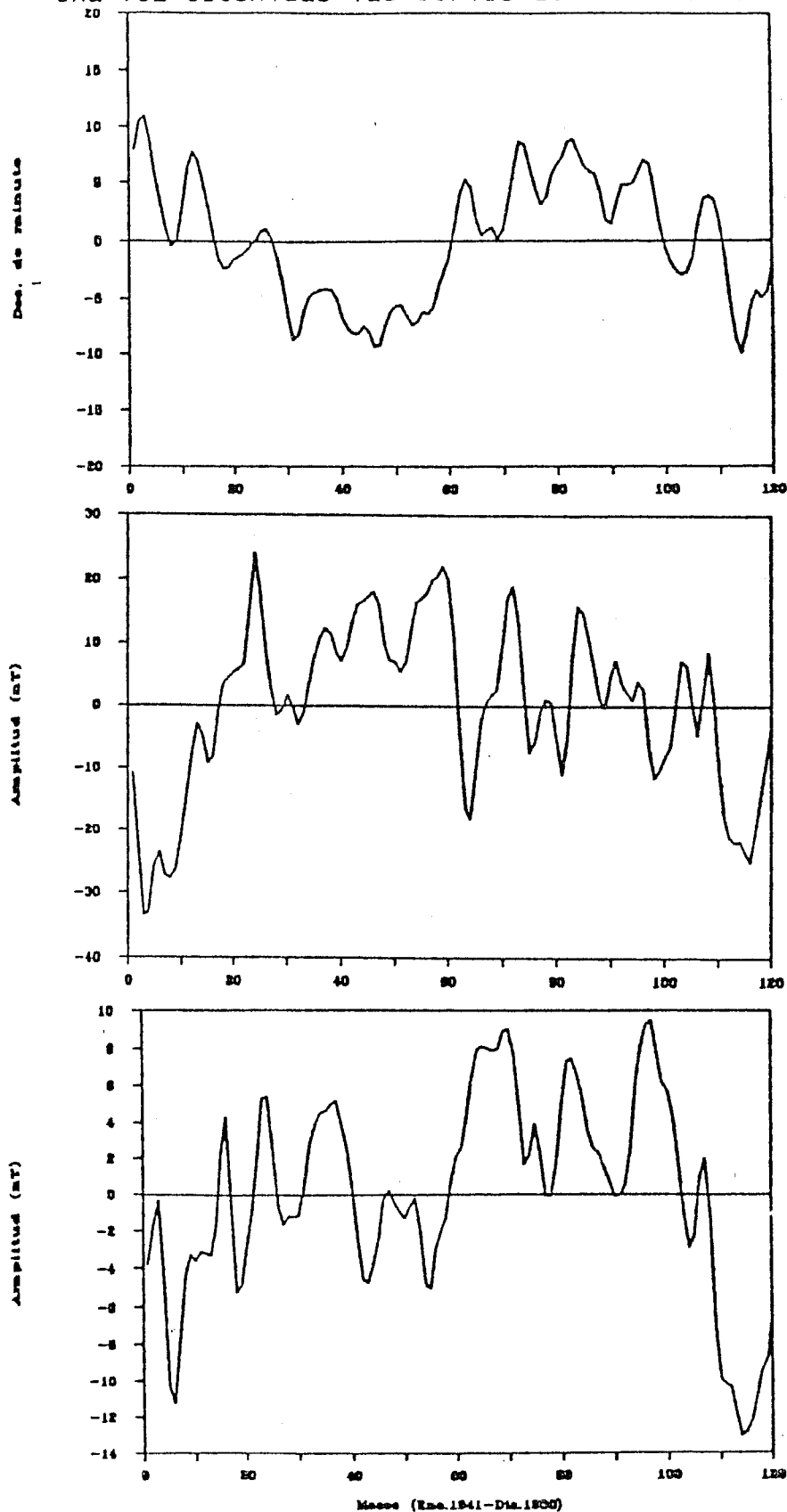


Figura 1b. Residuos filtrados de las series nocturnas.

un análisis espectral de ellas por medio de la expresión discreta de la transformada de Fourier. Este análisis permitió la obtención

de los espectros de amplitud y fase de los elementos en estudio.

Por otro lado se construyeron con promedios mensuales de cada hora, 24 series de tiempo para los años de baja actividad solar (1943-1944) y para los de alta actividad solar (1947-1948). Se determinaron las variaciones anual y semianual para cada hora del día en forma semejante a la seguida para el período completo.

RESULTADOS

1-SERIES DECENALES DIURNAS Y NOCTURNAS

En la tabla I se detallan los periodos más importantes que se obtuvieron por medio del análisis espectral de Fourier.

	COMPONENTE H				COMPONENTE Z				COMPONENTE D			
PERIODOS	Serie diurna		Serie nocturna		Serie diurna		Serie nocturna		Serie diurna		Serie nocturna	
(Años)	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud ²	Fase	Amplitud ²	Fase
10	11.9	191.8	12.0	157.8	4.9	168.3	4.3	204.4	5.7	262.2	4.2	286.9
5	8.5	167.6	7.0	207.8	3.6	219.5	3.6	154.7	6.8	109.7	4.4	96.5
2.5	6.0	212.7	4.4	291.8	2.8	76.7	2.8	93.6	3.7	64.2	1.4	85.3
1.66	-	-	-	-	1.9	26.9	-	-	-	-	1.1	77.5
1.43	4.7	95.9	5.0	75.3	-	-	1.5	331.7	-	-	-	-
1.25	-	-	-	-	1.7	168.9	1.4	136.3	-	-	-	-
1	13.7	350.8	5.8	329.9	1.5	271.9	2.2	7.1	13.0	9.3	26.0	3.3
0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	120.9
0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	110.0	0.9	151.6
0.625	-	-	-	-	-	-	1.0	58.4	-	-	0.8	207.2
0.59	-	-	-	-	-	-	1.0	112.9	-	-	-	-
0.5	3.9	21.6	4.5	15.8	2.9	24.2	0.9	234.6	1.5	35.0	0.6	129.5
0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	85.9
0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

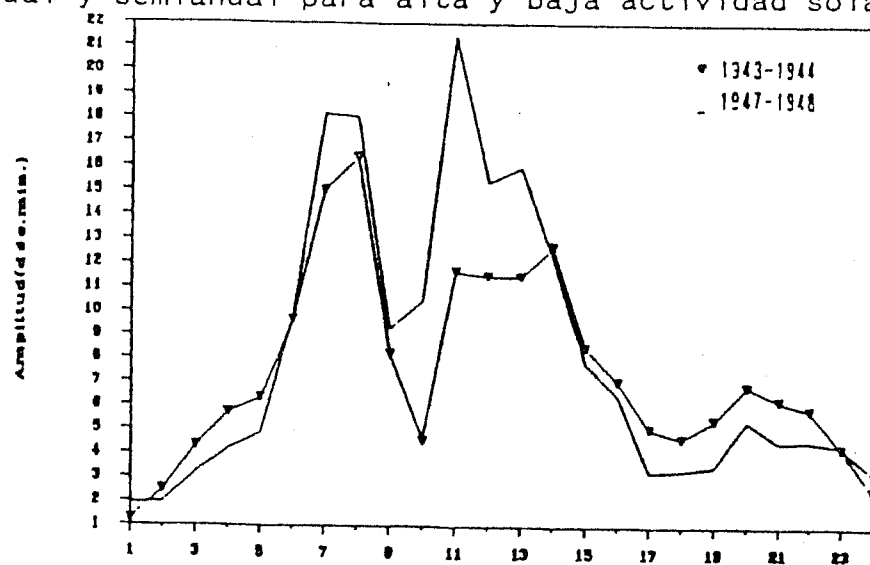
Tabla 1.

* para H y Z las amplitudes están dadas en nT, para D en $(1/10)'$, la fase en todos los casos está dada en grados.

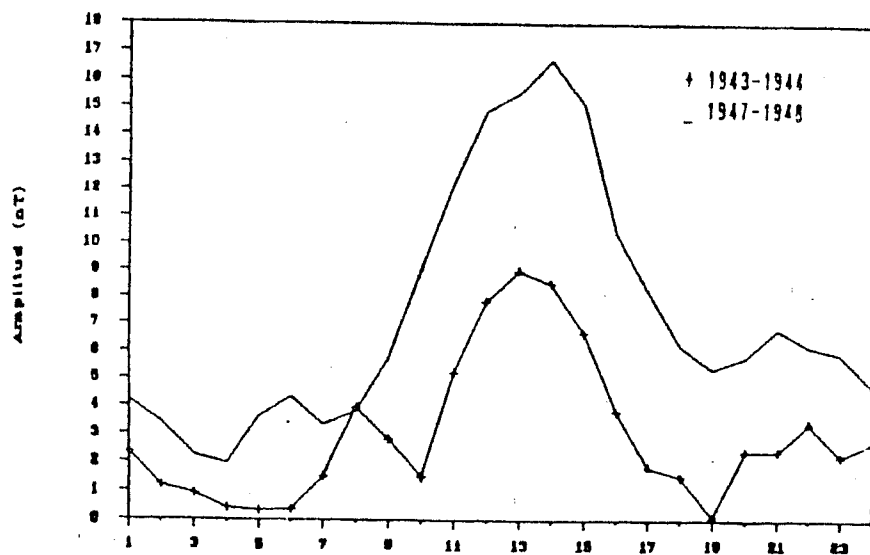
De la tabla se observa que en las componentes D y H, la variación anual es mayor que la semianual. Por otra parte es interesante notar el comportamiento de la variación anual tanto en las series diurnas como nocturnas, en D, por ejemplo la serie nocturna presenta una amplitud casi tres veces mayor que en la diurna, mientras que en H ocurre lo contrario siendo la amplitud de la onda anual en la serie diurna mayor que el doble de la que se obtuvo para la serie nocturna; en Z esta misma onda presenta un comportamiento mucho más atenuado. En cuanto a la onda semianual, en D y en Z se atenúa en serie nocturna, mientras que en la componente H se mantiene igual.

2-SERIES DE LOS PERIODOS DE ALTA Y BAJA ACTIVIDAD SOLAR

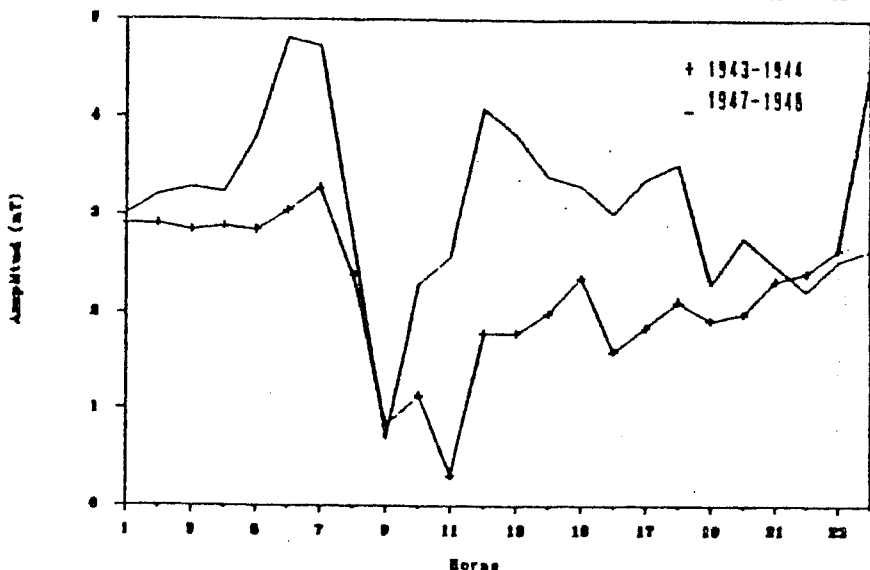
Las figuras 2a y 2b muestran la amplitud de las variaciones anual y semianual para alta y baja actividad solar en función de TL.



COMPONENTE D

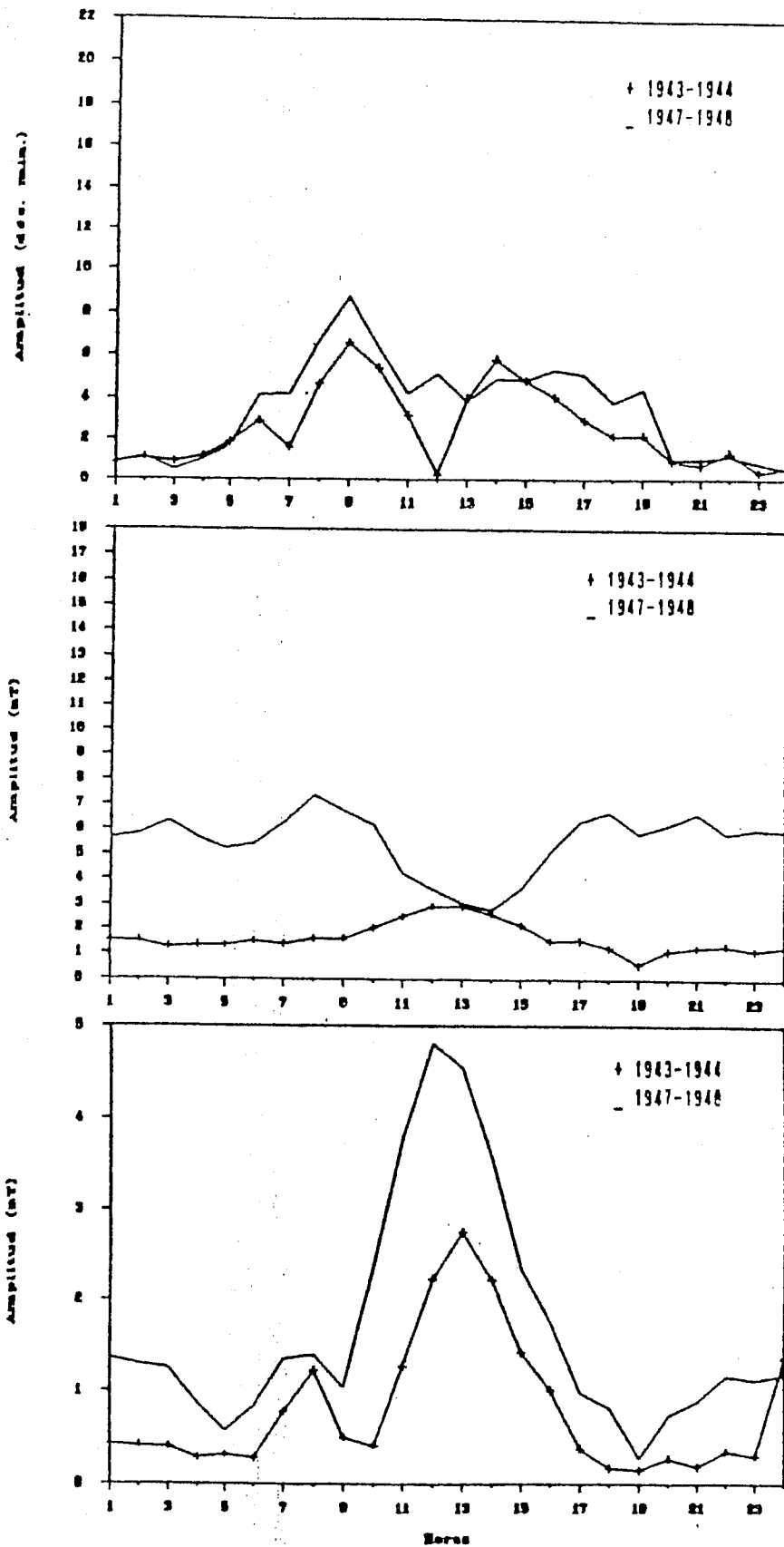


COMPONENTE H



COMPONENTE Z

Figura 2a. Variación anual en función de TL.



COMPONENTE D

COMPONENTE H

COMPONENTE Z

Figura 2b. Variación semianual en función de TL.

I-COMPONENTE D: Verifica en horas del mediodía, un aumento en la amplitud en la variación anual (VA) y también en la variación semianual (VSA) con notables cambios de fase en ambas. La VA tiene

dos picos, uno a las 9 hs. y otro a las 11 hs. de tiempo local (TL) mientras que la VSA presenta los máximos a las 9 y a las 14. En baja actividad aparece un mínimo de amplitud a las 12 hs. En cuanto a la fase, la VSA tiene un comportamiento más claro que la VA respecto a la hora local y los cambios se producen entre las 8 y las 11 hs.

II-COMPONENTE H: Para el periodo de baja actividad solar, la amplitud de la VA tiene un pico a las 12 hs. de TL y valores menores entre las horas que van de 00 a 10 y de 17 a 24. Este comportamiento corresponde al aporte del sistema de corrientes ionosféricas sobre el sistema de corrientes de la magnetopausa y corriente anillo. Estimativamente se puede indicar que para baja actividad, un campo medio de 3 nT es el aporte del sistema de corrientes magnetosférico y de 7 nT el aporte del sistema ionosférico. En alta actividad, en cambio, para la VA se encuentra intensificado el sistema de corrientes de la magnetopausa tanto en la faz nocturna como diurna. De la figura 2 se estima que el campo medio de las corrientes magnetosféricas es de 6 nT (faz nocturna), en cambio el aporte de 12 nT para el gran pico del mediodía, respecto al nivel anterior, estaría compartido por el incremento de la corriente de la magnetopausa y de las corrientes ionosféricas que siempre tienden a aumentar el valor de H. Para la VSA no se tiene una expresión tan clara como la anterior ya que al crecer la actividad solar se tiene una disminución de la amplitud en horas del mediodía local.

III-COMPONENTE Z: En este caso se tiene que la VA posee un comportamiento similar en cuanto a su forma al de la componente D, en cambio la VSA aparece con una característica muy similar a la componente H tanto en forma como en amplitud, respondiendo con un aumento de esta última, con el aumento de la actividad solar. Ambas variaciones tienen amplitudes del orden de los 5 nT para los picos más importantes.

3-SINTESIS ARMONICAS PARA LAS SERIES DECENALES

Se realizaron las síntesis armónicas de cada una de las componentes, tanto para las series completas como para las series correspondientes a los periodos de baja y alta actividad solar. Uno de los objetivos de estas síntesis fue la correlación de las mismas con el ciclo solar y el comportamiento del índice geomagnético Ap. Los resultados de las síntesis armónicas nocturnas y diurnas, muestran que la componente D representó mejor su relación con el ciclo solar en forma de alta correlación, mientras que las componentes H y Z, se correlacionaron en forma inversa mostrando una onda desfasada 180° respecto de la mostrada en la figura 3 correspondiente al número de manchas solares.

La síntesis utilizando las armónicas undecenal, anual y semianual, permite observar que en la serie nocturna de la componente H y en las series diurna y nocturna de la componente Z están presentes estas tres ondas, mientras que en las series diurna y nocturna de la componente D y la diurna de H la onda semianual está totalmente enmascarada.

También se efectuaron síntesis con 5 armónicas correspondientes a los periodos de 10, 5, 2,5, 1 y 0,5 años observándose comportamientos semejantes.

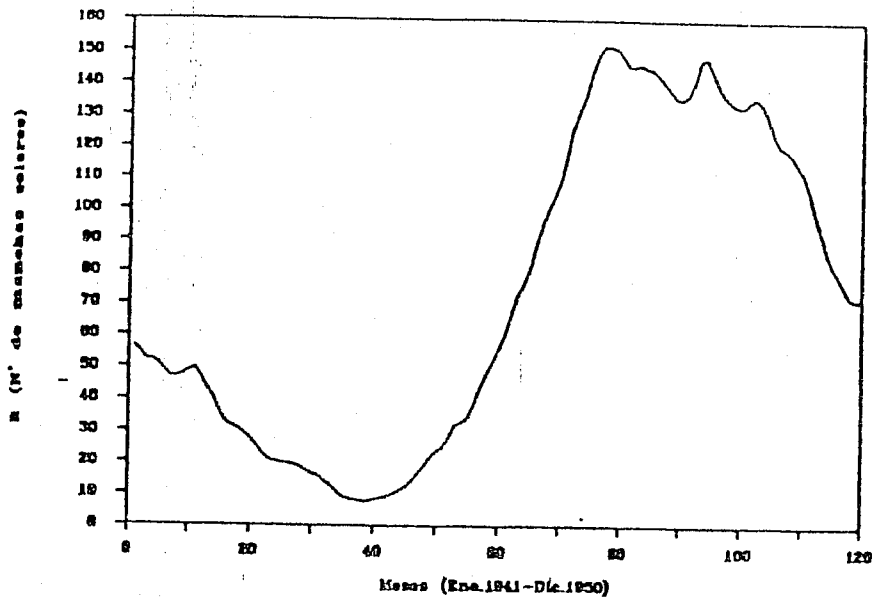


Figura 3. N° de manchas solares.

4-SINTESIS ARMONICAS DE LOS PERIODOS DE ALTA Y BAJA ACTIVIDAD SOLAR

Los resultados obtenidos por el análisis discreto de Fourier fueron sintetizados componiendo la VA y la VSA en los periodos de baja actividad solar (1943-1944) y alta actividad solar (1947-1948), el resultado obtenido se muestra en las figuras 4a, 4b y 4c correspondientes a representaciones tridimensionales de las síntesis para las componentes D, H y Z respectivamente.

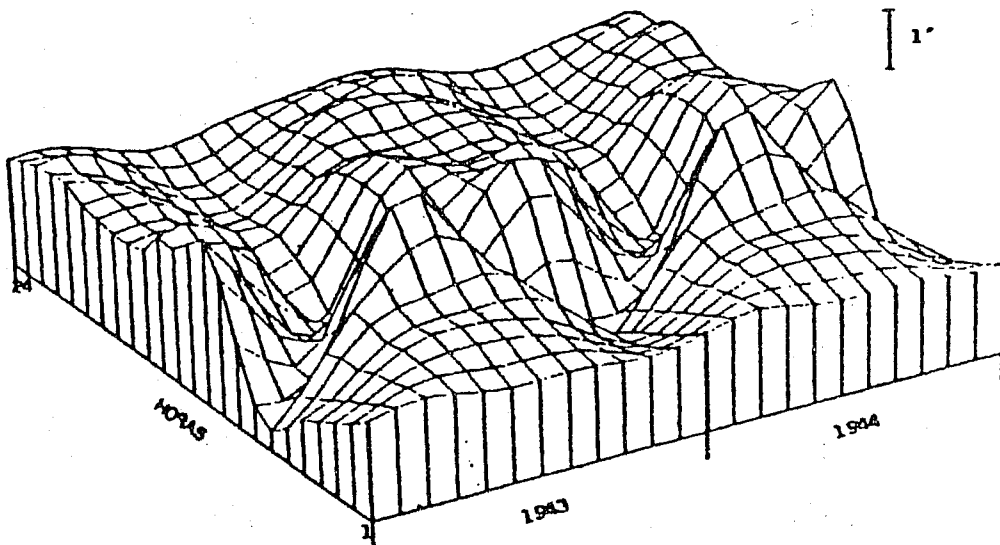


Figura 4a. Síntesis armónica de la componente D.

I-COMPONENTE D: En esta componente las 7 hs. de TL determinan un instante de cambio en el comportamiento de los sistemas de corrientes. En el periodo de baja actividad solar (1943-1944) se observa que el desarrollo más importante corresponde a la componente anual produciendo sólo algunos cambios en su forma de comportamiento, la onda semianual. El desarrollo de la onda anual tiene su máximo para el mes de julio durante las horas de la mañana (1-8 hs.), produciéndose luego un desfase de aproximadamente

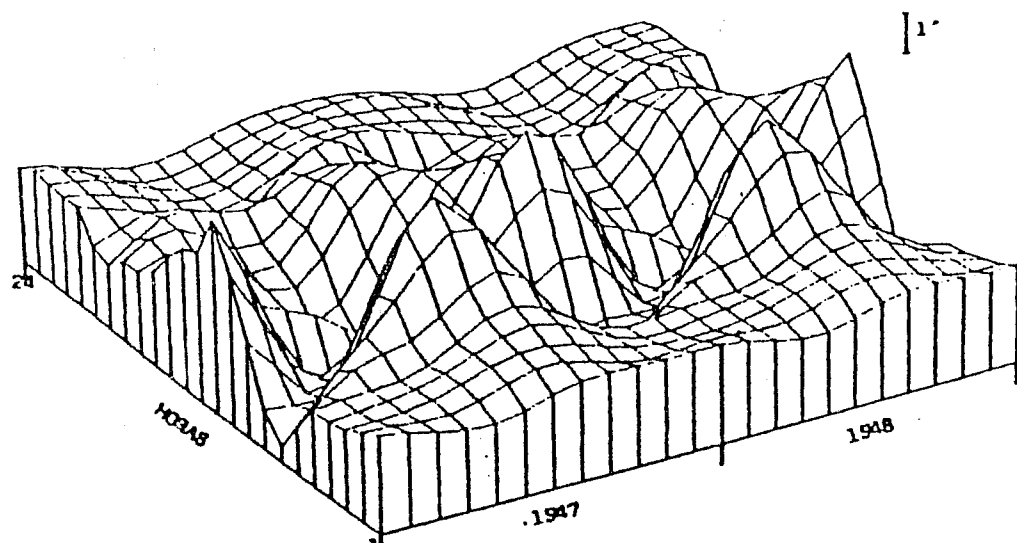


Figura 4a (continuación).

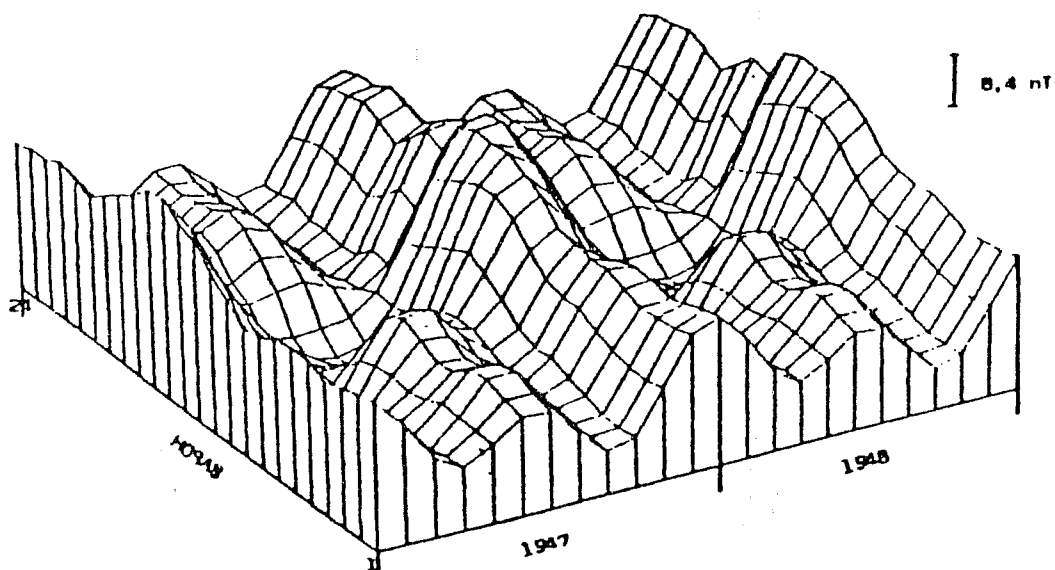
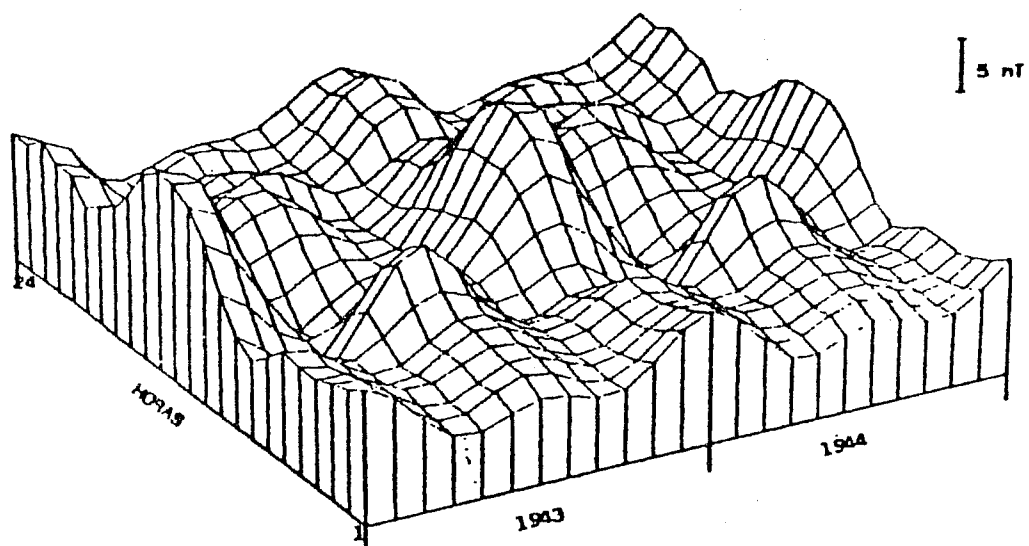


Figura 4b. Síntesis armónica de la componente H.

180° para tener un máximo alrededor del mediodía (11 hs. de TL). La VSA comienza a interferir alrededor de las 15 hs. y hasta las 19. Debido a la poca amplitud de la VSA, en baja actividad queda enmascarada por la VA. En el periodo de alta actividad solar (1947-1948) se clarifica aún más lo dicho anteriormente y aparece en forma más remarcada la onda semianual entre las 18 y 19 hs. La actividad solar amplifica las componentes anuales y semianuales, pero no en forma clara como era de esperar.

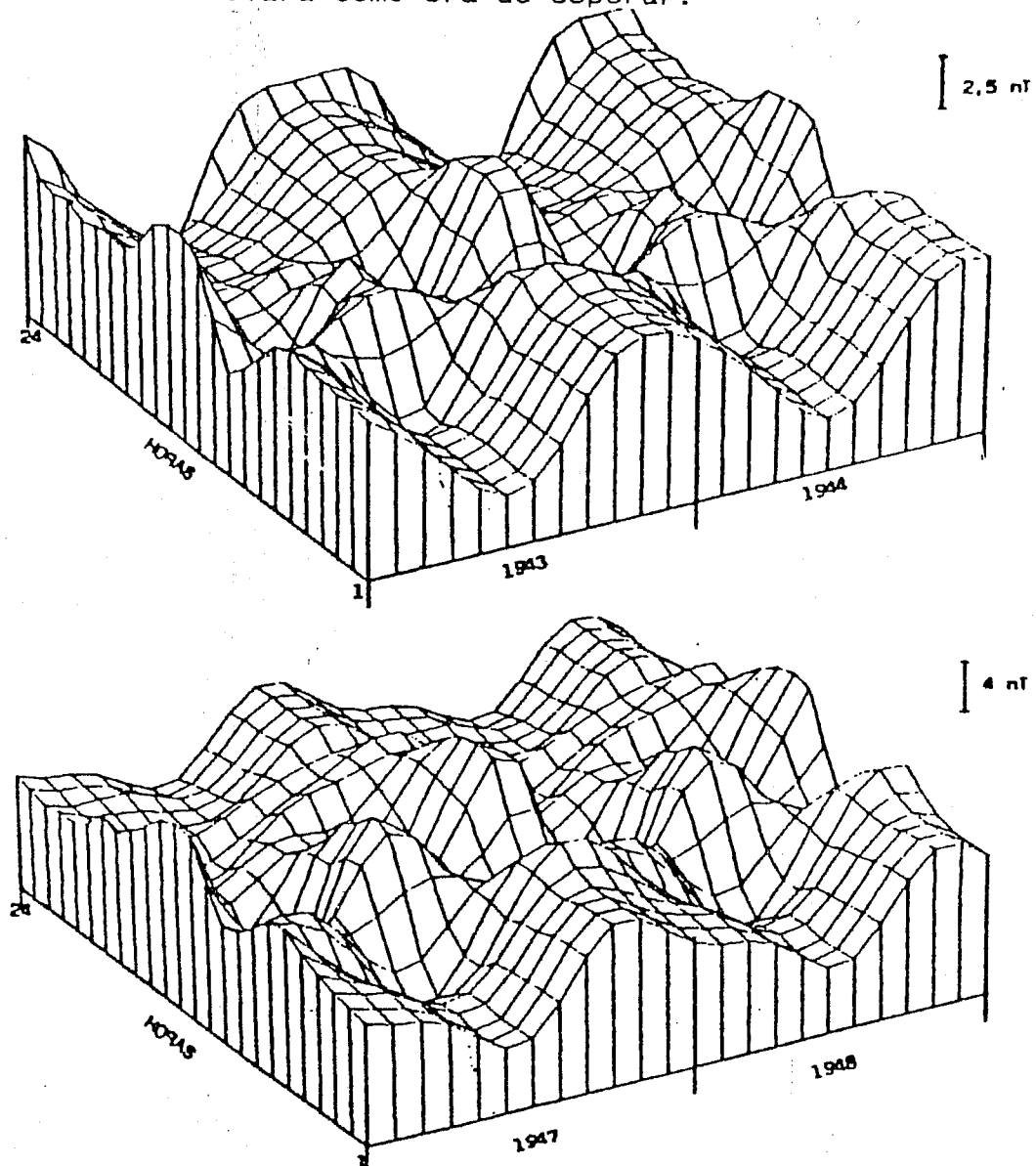


Figura 4c. Síntesis armónica de la componente Z.

II-COMPONENTE H: Esta componente es la que mejor expresa su relación con la actividad solar donde tanto la VA como la VSA se encuentran presentes. En baja actividad solar entre la 1 y 7 hs. de TL, las componentes anual y semianual se comportan produciendo máximos en julio y diciembre, siendo este último más importante. Entre las 7 y las 9 hs., con máximo a las 8, se tiene sólo VA con un máximo en el mes de julio para luego producirse un desfase de 180° y observarse un máximo en el mes de diciembre a las 13 hs. La VSA comienza a ser importante a partir de las 16 hs. y a hacerse presente al disminuir la amplitud de la VA, reforzando a esta última en el mes de diciembre por encontrarse las dos en fase. En

alta actividad solar se observa fundamentalmente que tanto la amplitud de la VA como la de la VSA, se encuentran en fase, amplificándose la VA que tiene su máximo en diciembre, mientras que los máximos de la VSA se encuentran en los meses de julio y diciembre. Puede observarse claramente que la amplitud de la VSA a las 12 hs. de TL es mínima, y solamente está presente la gran VA con su máximo en el mes de diciembre, a partir de este momento y hasta la medianoche comienza a verse la VSA.

III-COMPONENTE Z: En el período de baja actividad solar el desarrollo de la componente anual se presenta en forma muy nítida con un máximo en los meses de diciembre y enero para los intervalos de tiempo comprendidos entre la 1 y 8 hs. y entre las 20 y 24 hs. Entre las 9 y 11 hs. existe un desfase de 180° en la onda anual produciendo un máximo en el mes de julio. Entre las 12 y 19 hs. la VSA se interfiere con la VA produciendo en el año máximos principales en verano y secundarios en invierno (julio); estos máximos van disminuyendo entre las 12 y las 19 hs. En alta actividad solar el comportamiento es prácticamente similar al anterior pero con amplitudes de la VSA que amplifican a las de la anual; además el máximo se adelanta en una hora. Mientras que la VSA crece con la actividad solar, la VA disminuye; esto hace que para los años de alta actividad solar se compruebe en forma apreciable el efecto solar pero que se evidencia su acción por la presencia de un campo medio mayor.

En general observando cada una de las componentes, se ve que tanto Z como D tienen un comportamiento semejante a H, en cuanto a la VA para las horas centradas al mediodía de tiempo local.

CONCLUSIONES

El primer hecho que debemos notar es que tanto la VA como la VSA en cada uno de los elementos geomagnéticos analizados, se encuentra modulada por el ciclo solar.

Para horas de observación comprendidas entre las 20 y las 8 de tiempo local tanto en alta como en baja actividad solar, la VSA (obtenida para D y Z) obedece a la teoría equinoccial, no sucede lo mismo en horas del mediodía. Se concluye entonces que el sistema de corrientes de la cola de la magnetosfera tiene un comportamiento tal que los máximos se producen en marzo y septiembre para la componente semianual mientras que los sistemas de corrientes de la faz diurna de la magnetosfera desfasan el máximo a los meses de enero y julio.

La componente H tiene en fase tanto la VA como la VSA en alta y baja actividad por lo que podemos concluir que la deformación de la cavidad magnetosférica producida por el cambio posicional de los hemisferios con relación a la incidencia del viento solar, produce transformaciones en los sistemas de corrientes que para este caso están en fase y amplificados según el ciclo solar.

Observando las síntesis armónicas para cada período, podríamos decir que el comportamiento de la VA y la VSA tanto en Z como en D es de interferencia.

BIBLIOGRAFIA

- Bartels, J., 1932; Terrestrial-Magnetic activity and its relation to solar phenomena; *Terr. Mag.*, 37,1.
- Bhargava, B.N., 1972; Semiannual and annual modulation of the magnetic field; *Planet. Space Sci.*, 20, 423-427.
- Cortie, S.J., 1912; Sun-spots and terrestrial magnetic phenomena 1898-1911, the cause of the annual variation in magnetic disturbances; *Montly notices of the Royal Ast.Soc.*, 73, 52-60.
- Currie, R.G., 1966; The geomagnetic spectrum 40 days to 5,5 years; *J. Geophys. Res.*, 71, 4579.
- Chapman, S., and Bartels, J., 1940; The variability of the harmonic coefficients for the solar and lunar daily variations; *Geomagnetism*, Vol. II, Clarendon Press, Oxford.
- Harwood, J.M. and Malin, S.R.C., 1977; Sunspot cycle influence on the geomagnetic field; *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 50, 605-619.
- Kane, R.P., 1976; Geomagnetic field variations; *Space Science Reviews*, Vol 18, N° 4, 445-449.
- Malin, S.C.R. and Mete Isikara, A., 1976; Annual variation of the geomagnetic field; *Geophys. J. R. ast. Soc.*, 47, 445-457.
- Mc Intosh, D.H., 1959; On the annual variation of magnetic disturbance; *Phyi. Trans. Roy. Soc (London)*, 251 A, 525.
- Olson, W.P., 1970; Variations in the Earth's surface magnetic field from the magnetopause current system; *Planet. Space Sci.*, 18, 1471.
- Rangarajan, G.K., Bhargava, B.N., 1987; Long term changes in the amplitude and phase of the semiannual and annual variation in low latitude geomagnetic field; *J.Geomag. Geoelectr.*, 39, 437-446.
- Servicio Meteorológico Nacional, (1961); *Anales Geomagnéticos. Observatorio Pilar (1941-1950). Publicación B N° 4.* Buenos Aires.
- Van Zele, M.A. y Schneider O., 1987; Estudio de la variación anual y semianual del campo geomagnético en altas latitudes australes; *GEOACTA*, Vol. 14 N°1, 175-186.
- Vestine, E.H., Lange, I., Lapore, L., and Scott, W.E., 1947; The geomagnetic field, its description and analysis, Carnegie Institution of Washington Publication, N° 580.
- Vestine, E.H., 1954; Winds in the upper atmpsphere deduced from the dynamo theory of geomagnetic disturbance; *J. Geophys. Res.*, 59, 93.

