

Modulación de la amplitud de las pulsaciones geomagnéticas tipo Pc 3

ARTURO D' COSTA MÉNDEZ y NORBERTO CONDE DELGADO

RESUMEN. Las heterogeneidades del campo magnético interplanetario han sido estudiadas por satélites y otros medios; los autores proponen un método indirecto basado en el análisis de modulación de las pulsaciones geomagnéticas tipo Pc 3 para la cual ellos definen dos índices: ξ y V . El primero ofrece una medida del tiempo ocupado por heterogeneidades, y el segundo las variaciones que experimenta el régimen de Pc 3. Ambos índices se estudiaron entre las 13:00-20:00 horas (UT). Se estudiaron las distribuciones diferenciales, las variaciones anuales y mensuales, y otros parámetros estadísticos de estos índices. Estos dos índices, ξ y V , dados los resultados satisfactorios que muestran, serán objeto de posteriores estudios.

1. INTRODUCCIÓN

Las pulsaciones geomagnéticas, variaciones del campo magnético terrestre con frecuencias desde 5 hasta 10^{-3} hz, han sido estudiadas por numerosos autores (SAITO, 1969; GUL'EL'MI y TROITSKAYA, 1973; y otros).

En estos estudios se ha establecido una serie de regularidades en el comportamiento de los parámetros que las caracterizan y se han desarrollado diferentes teorías acerca del origen de este tipo de fenómeno magnético aunque en la actualidad no existe certidumbre sobre la génesis de las mismas. En particular, en Cuba se han realizado estudios sobre las principales regularidades por D'Costa *et al.* (1977).

Las pulsaciones geomagnéticas han sido clasificadas en irregulares (P_i) y continuas (P_c), siendo estas últimas las más estudiadas; dentro de éstas las Pc3, con períodos entre 10 y 45 s (frecuencia de 0,1-0,02 hz), son las más frecuentemente registradas en Cuba.

Según la teoría de GUL'EL'MI (1973), que es la que mejor explica los datos experimentales, estas pulsaciones las originan los protones del viento solar que se reflejan en la onda de choque cercana a la Tierra. Co-

Manuscrito aprobado el 15 de septiembre de 1978.

A. D'Costa Méndez y N. Conde Delgado pertenecen al Instituto de Geofísica y Astronomía, de la Academia de Ciencias de Cuba,

mo comprobaciones experimentales de esta teoría tenemos los trabajos de TROITSKAYA *et al.* (1971); los protones hallados por satélites (ASBRIDGE *et al.*, 1968) y la aceleración de los mismos en el proceso de reflexión (SONNERUP, 1969), entre otros trabajos.

Según la teoría de Gul'el'mi, la amplitud de las pulsaciones registradas en tierra es:

$$A = (2 \cos \Psi)^2$$

siendo ψ el ángulo entre los vectores B (intensidad del campo magnético interplanetario) y U (velocidad del viento solar). Este hecho ha sido confirmado experimentalmente por BOLSHAKOVA (1974) y por D'Costa (1976).

Basándose en esta propiedad de las pulsaciones, se ha tratado de definir nuevos parámetros que sirvan para determinar el grado de homogeneidad del C.M.I. Se conocen para ello diferentes métodos: uno de ellos, el directo, utilizando datos de satélites; otro método, la posibilidad de utilización del espectro de la envolvente de la amplitud de las pulsaciones Pc3, ha servido para valorar en qué grado carece de homogeneidad el C.M.I. y para evaluar el coeficiente de difusión de la radiación cósmica solar. Los resultados obtenidos son comparables al método de demora entre el destello cromosférico y el máximo en la llegada de partículas a la Tierra (BOLSHAKOVA, 1974; TROITSKAYA y GUL'EL'MI, 1969) y nos permiten evaluar el coeficiente de difusión de la radiación cósmica solar y motivar un estudio más detallado de la modulación de la amplitud de las pulsaciones Pc3.

En el presente artículo se definen y se establecen las regularidades de los principales parámetros ξ y V . Los autores pretenden ofrecer un método simple de trabajo a los estudiosos de la radiación cósmica solar, que sea orientador en la explicación de la génesis de las pulsaciones tipo Pc3.

2. MÉTODOS

Se emplearon magnetogramas de la estación "Soroa" ($\phi = 34,5^\circ$ $\Lambda = 345^\circ$), con una velocidad de registro de 15 mm/min y un valor de escala de 40 m γ /mm.

Para realizar este artículo se analizaron sistemáticamente todos los magnetogramas existentes del año 1973, entre las 13:00 y las 20:00 horas (UT), que es el período de tiempo en que se presentan más regularmente los regímenes de Pc en Cuba.

El análisis se realizó de la siguiente forma: tomando los magnetogramas se observaban los intervalos de tiempo donde aparecían pulsaciones moduladas en amplitud, "dibujándose" la onda modulante para facilitar el estudio, y los intervalos donde desaparecía la modulación o disminuía sensiblemente la amplitud de la pulsación.

También se midió el período de cada pulsación modulada, asociándose a cada día un valor del mismo. Cuando se apreciaba una notable diferencia de períodos, no se trataba de obtener un promedio de éstos, sino que se tomaban los datos tal como se medían. Además, se realizó el estudio anual de las horas en que era más frecuente que las pulsaciones estuvieran moduladas y las horas en que la modulación quedaba amortiguada.

La Fig. 1 muestra esquemáticamente cómo se efectuó el análisis, destacándose las variaciones del régimen, o sea, el surgimiento de oscilaciones moduladas y su desaparición.

Los parámetros τ_i , t_i caracterizan el régimen de la modulación:

τ_i : Tiempo que duran las oscilaciones moduladas.

t_i : Duración de las pulsaciones no moduladas, amortiguadas, o la falta de pulsaciones.

T_i : Período en que se estudiaron las pulsaciones. Estos parámetros se relacionan mediante:

$$T_i = \tau_i + t_i$$

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se hizo un análisis detallado del parámetro “t” y para ello se realizó el estudio anual de las horas en las cuales era más probable la “entrada” de heterogeneidades, así como las horas donde no se registraron o éstas fueron mínimas.

La variación anual de los valores mínimos de “t” tiene un período de 4 meses aproximadamente. Durante las 13:00-14:15 horas (U.T.) hay un fondo donde la entrada de heterogeneidades es mínima y que coincide con las primeras horas del día local (Fig. 2).

La variación anual de los valores máximos de “t” también presenta una periodicidad de 3,5 meses aproximadamente, estando estos valores entre las 16:00 y las 19:00 horas (U.T.).

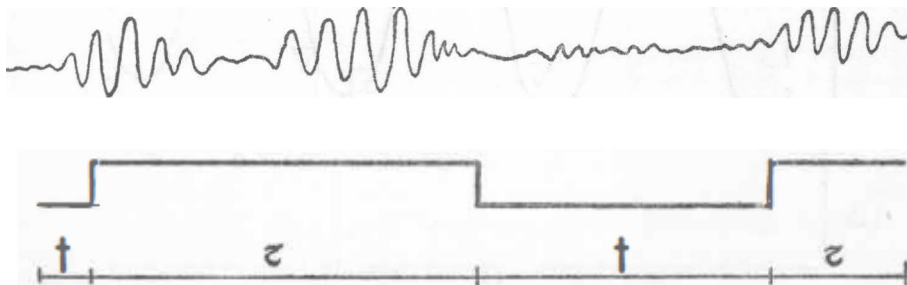


FIG. 1. Forma en que se realizó el análisis.

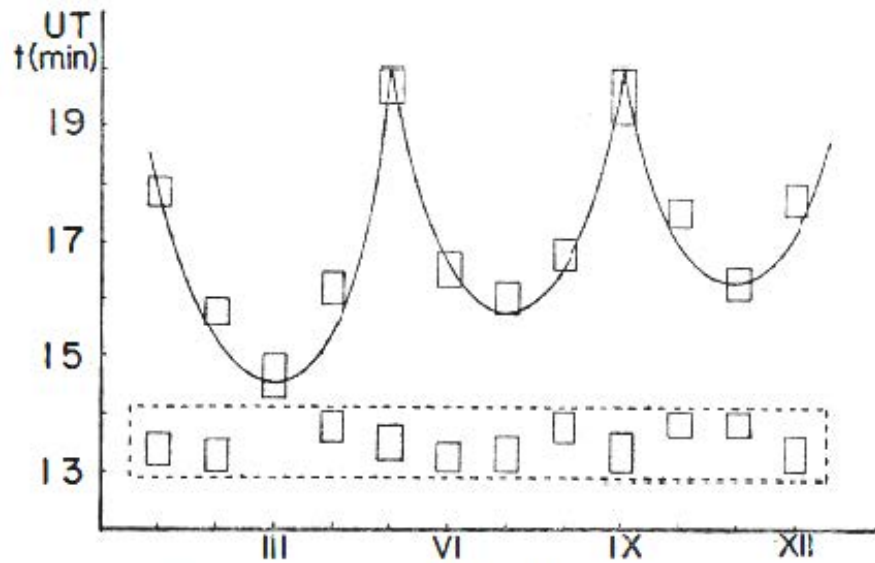


FIG. 2. Variación anual de los valores mínimos de t .

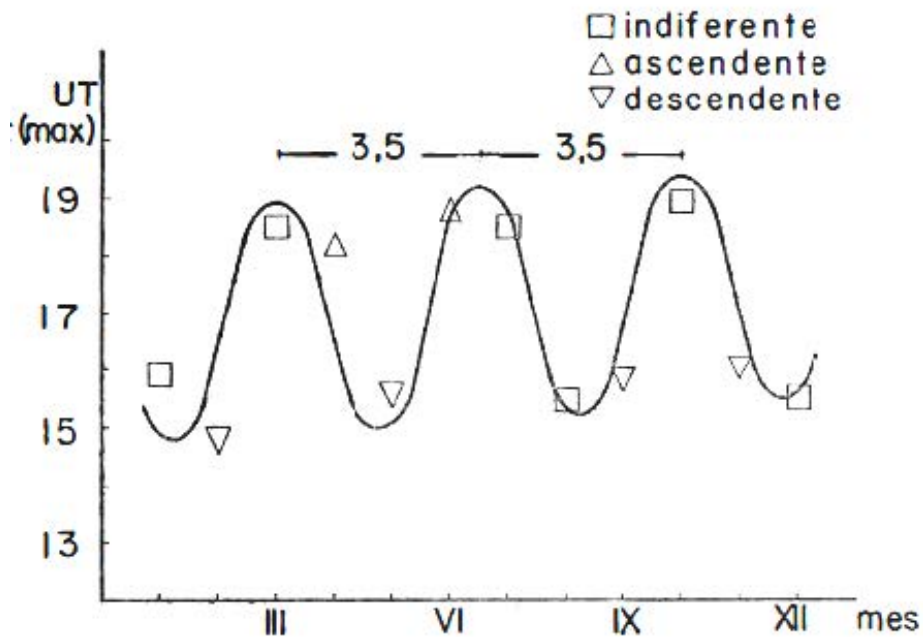


FIG. 3. Variación anual de los valores máximos de t .

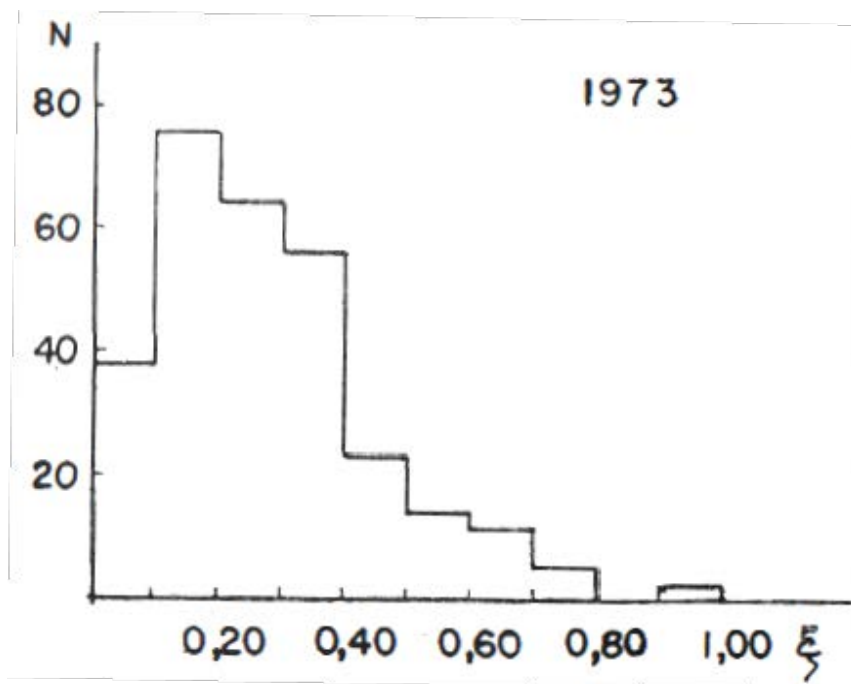


FIG. 4. Histograma diferencial del Índice ξ .

Podemos señalar que se pueden definir tres modelos de variación de “t”. En todos los casos encontramos dos máximos, pero en algunos se aprecia que el gráfico es ascendente en los meses de abril, junio, julio y octubre; descendente en febrero, mayo, setiembre y noviembre, o indiferente en enero, marzo, agosto y diciembre (Fig. 3).

3.1 Índice ξ

El índice ξ se define como la relación entre t_i (tiempo ocupado por heterogeneidades del campo magnético interplanetario) y T (total del tiempo analizado en los magnetogramas).

Los valores de $\xi = 0$ y $\xi = 1$ son poco probables; cuando $\xi = 1$ se denota el caso en que las oscilaciones no están moduladas, siendo $\xi = 0$ cuando están moduladas todo el tiempo.

La Fig. 4 presenta el histograma diferencial de ξ . Se puede observar una frecuencia máxima para los valores de ξ entre 0,10 y 0,20, así como un decrecimiento exponencial de la rama derecha del histograma. Se ha calculado que en un 89%, los casos estudiados tienen valores inferiores a $\xi = 0,50$.

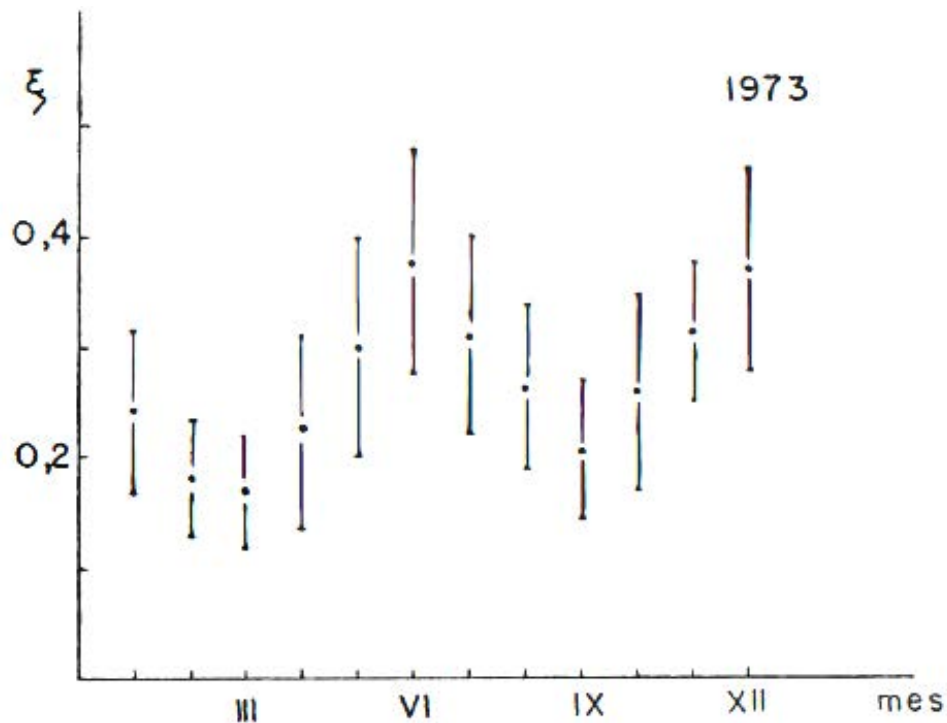


FIG. 5. Variación anual del Índice ξ .

La Fig. 5 muestra la variación anual de ξ . Asombra la gran regularidad que ésta presenta, teniendo máximos bien definidos en los solsticios y mínimos en los equinoccios, lo cual concuerda con los trabajos anteriores realizados en Cuba sobre los regímenes de las pulsaciones continuas. De ello se puede inferir que la influencia de heterogeneidades es mucho más probable en los solsticios; aunque los valores presentan una gran dispersión, se puede observar que todos ellos se encuentran en un ancho de banda sensiblemente constante.

La variación mensual presenta una periodicidad que se mantiene aproximadamente todo el año y que consideramos relacionada con agentes extraterrestres. La Fig. 6 muestra la variación mensual para octubre de 1973.

La relación de ξ con el período característico diario de las pulsaciones geomagnéticas (T_p) indica una tendencia de ambos parámetros a depender directamente entre sí, como se puede apreciar en la Fig. 7, confeccionada con los datos de todo el año, y en la Fig. 8, con los datos de julio del año citado.

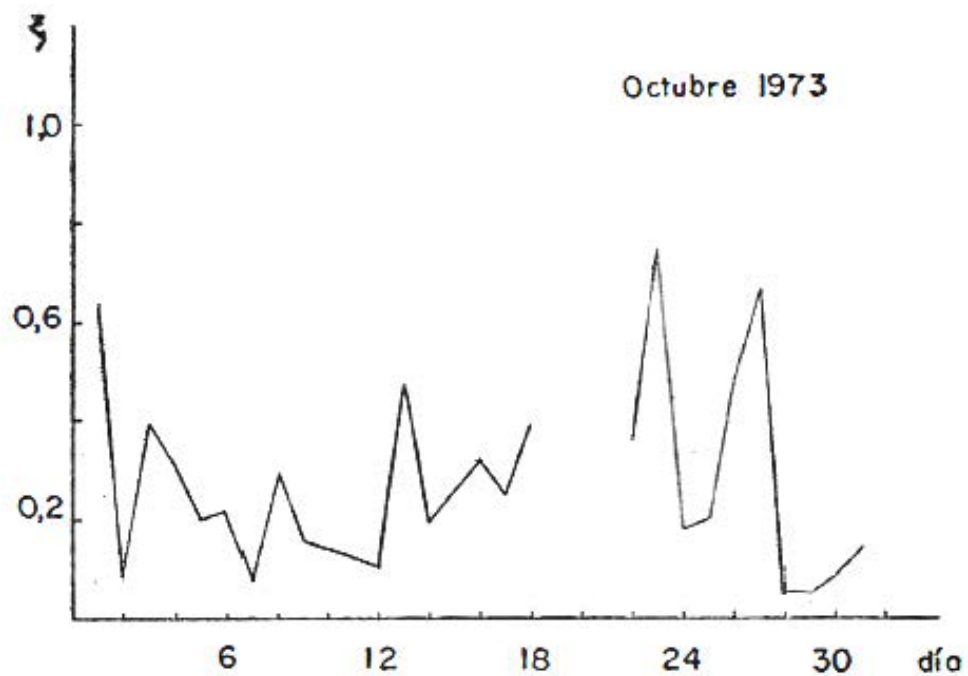


FIG. 6. Variación mensual del Índice ξ .

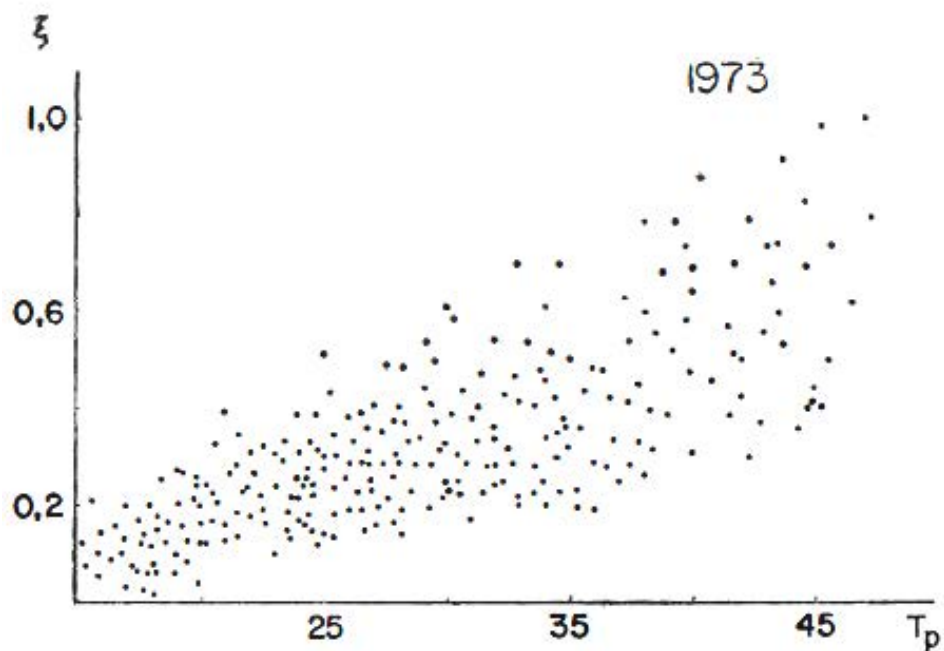


FIG. 7. Relación del Índice ξ con el período característico diario de las pulsaciones geomagnéticas Pc_3 (T_p) para todo el año.

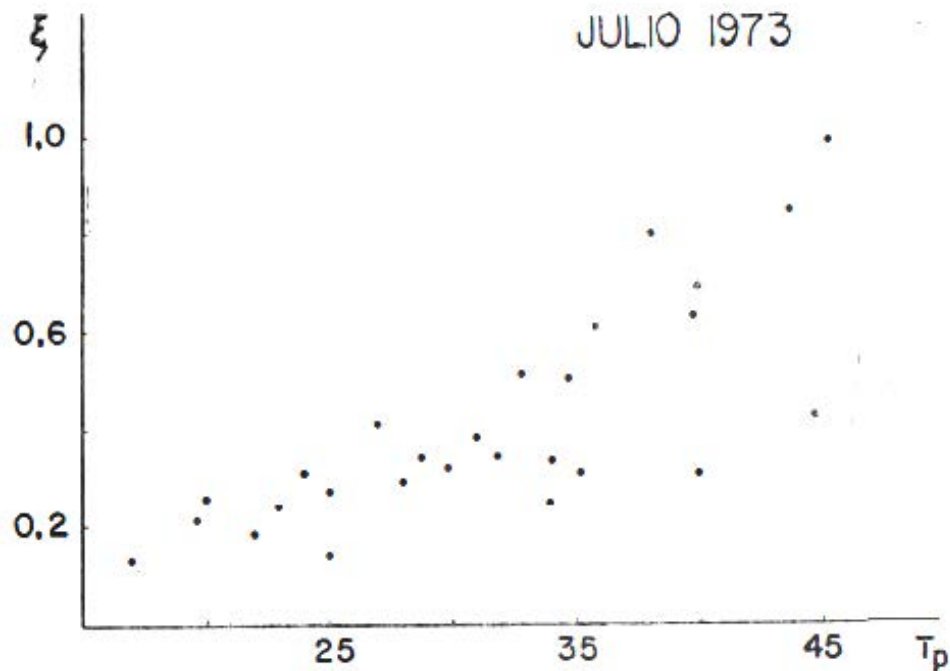


FIG. 8. Relación del Índice ξ con el período característico diario de las pulsaciones geomagnéticas Pc_3 (T_p), para un mes.

3.2 Índice V

El índice V brinda el número de variaciones que experimenta el régimen de Pc_3 y caracteriza el grado de heterogeneidad del medio interplanetario, es decir, sirve como índice del diagnóstico cualitativo del mismo.

El índice $V = 0$ caracteriza la situación en la cual no se observa cambio en el régimen de modulación durante el período de tiempo analizado diariamente. Altos valores del índice V se encuentran muy raramente.

La Fig. 9 muestra el histograma diferencial de V . Se tomaron para realizarlo 284 casos (cuando hubo interferencia o desaparición de parte del registro, no se calculó el índice V), y tiene una desviación estándar $s = 2,34$, un valor medio de 5 y una moda de 4; la distribución normal aparece en la rama izquierda del gráfico.

La Fig. 10 brinda la variación anual del índice V , que tiene valores oscilantes, con dos máximos: uno en mayo y otro en noviembre, poseyendo por tanto una periodicidad de 5 meses. La variación mensual de V se muestra en la Fig. 11.

Los dos parámetros definidos en este artículo, ξ y V , no presentan una relación directa clara (Fig. 12), estando esto sujeto a estudios posteriores.

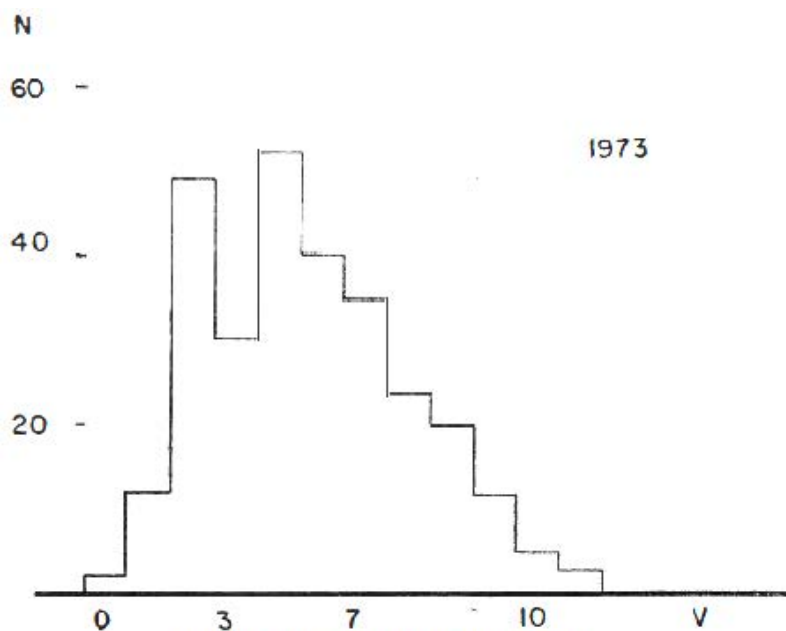


FIG. 9. Histograma diferencial del Índice V.

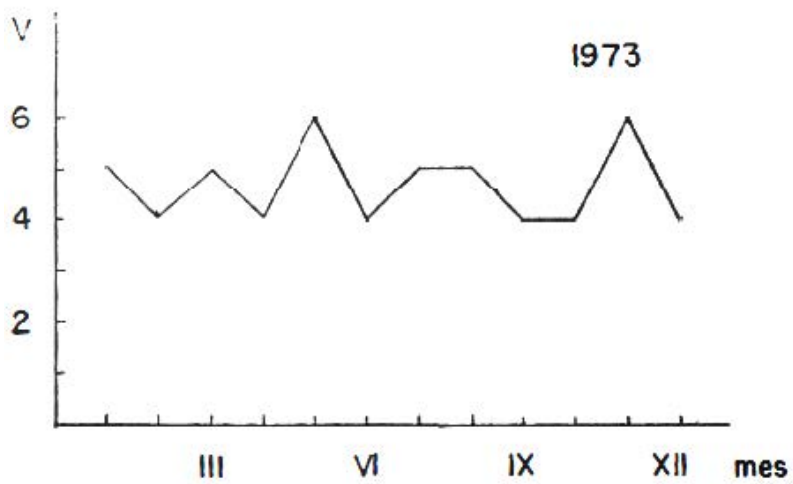


FIG. 10. Variación anual del Índice V.

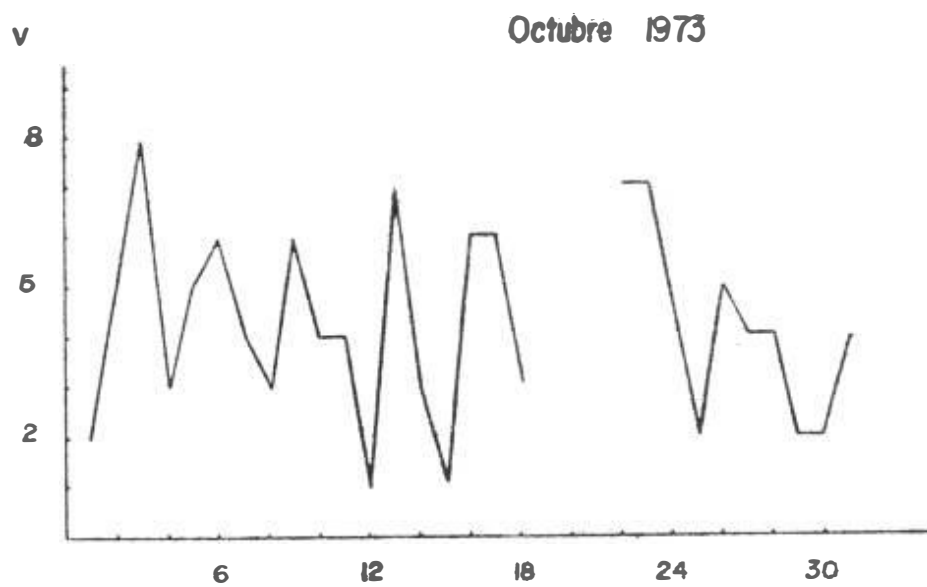


FIG. 11. Variación mensual del Índice V.

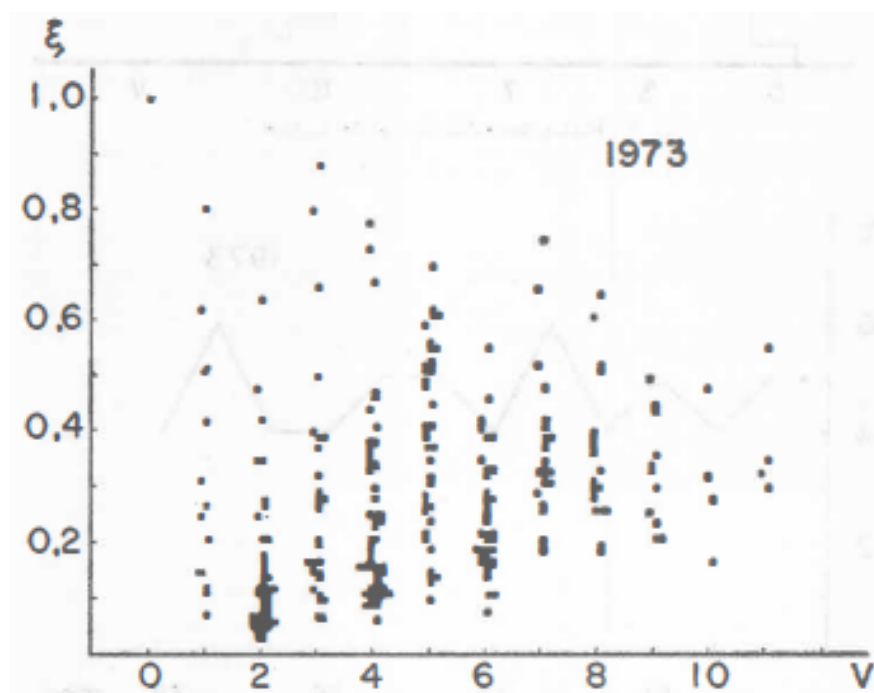


FIG. 12. Variación entre los índices ξ y V.

RECONOCIMIENTO

Los autores desean agradecer al compañero Jorge Rubio Sauvalle, alumno insertado de la Universidad de La Habana, toda la preocupación y laboriosidad que mantuvo durante el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- ASBRIDGE, J. R., BARME, S. J., y STRONG, I. B. (1968): Outward flow of protons from the Earth's Bow Shock. *J. Geophys. Res.*, 73(17): 5777-7582.
- BOLSHAKOVA, O. V., ed. (1974): *Informe sobre el proyecto "Giroscopio"*. Ed. Inst. Física de la Tierra, Moscú, 120 pp.
- D' COSTA MENDEZ, A. (1976): *Tesis de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas*. I. G. A., Academia de Ciencias de Cuba.
- D' COSTA MENDEZ, A., HENRIQUEZ, B., VEGA, A., y ALVAREZ TRUJILLO, R. (1977): Pulsaciones continuas (Pc) del campo geomagnético en Cuba. *Inf. Cien. Téc.*, 18:1-17.
- GUL'EL'MI, A. V., ed. (1973): *Informe al Simposio sobre Física de la Magnetosfera Perturbada*. Nauka, Moscú, 18 pp.
- GUL'EL'MI, A. V., y TROITSKAYA, V. A., eds. (1973): *Pulsaciones geomagnéticas y diagnóstico de la magnetosfera*. Nauka, Moscú, 208 pp.
- SAITO, T. (1969): Geomagnetic pulsations. *Space Sci. Rev.*, 10(3):319.
- SONNERUP, B. U. O. (1969): Acceleration of particles reflected at a shockfront. *J. Geophys. Res.*, 74(5):1 301-1 304.
- TROITSKAYA, V. A., PLIASOVA-BAKUNINA, T. A., y GUL'EL'MI, A. V. (1971): Relación de las pulsaciones Pc 2-4 con el campo magnético interplanetario. *Doklad Akademii Nauk*, 197(6):1 312-1 314.
- TROITSKAYA, V. A., y GUL'EL'MI, A. V. (1969): Geomagnetic pulsations and the diagnostics of the magnetosphere. *Uzpeji Fiz. Nauk*, 97(3):453-494.

ABSTRACT. The heterogeneities of the interplanetary magnetic field have been studied by satellites and other means. The authors propose a new indirect method based on the analysis of the modulation of the Pc3 geomagnetic pulsations for which they define indexes ξ and V . Index ξ gives a measure of the time occupied by heterogeneities. Index V represents the variation suffered by the Pc3 regime. Both indexes were studied during the time interval (13:00-20:00) U.T. Differential distributions, annual and monthly variations and other statistical parameters of these indexes were studied. Favorable results so far obtained validate the realization of further studies.

CDU 550.385