

PULSACIONES GEOMAGNETICAS TIPO Pi2 REGISTRADAS SIMULTANEAMENTE EN LA MAGNETOSFERA Y EN TIERRA

A. D'COSTA MENDEZ*
R. TORRES RIVERO**
J. PEREZ HERNANDEZ*
R. V. SCHEPETNOV***

*(Recibido: 17 de nov., 1980)
(Aceptado: 31 de marzo, 1981)*

RESUMEN

Se llevó a cabo un análisis comparativo de las pulsaciones Pi2 registradas en la magnetosfera y en la superficie terrestre, utilizando magnetogramas obtenidos en los satélites GOES-2 y SMS-2 y en dos estaciones terrestres (Río Carpintero y Soroa). Las diferencias morfológicas entre las Pi2 en ambos tipos de magnetogramas, se interpretan asumiendo un modelo teórico, en el cual se propone considerar la acción de la ionosfera sobre estas pulsaciones, como la de un filtro pasa banda. Se muestra que el análisis de fase es un método adecuado para la discriminación de las Pi2 que forman un tren de ondas.

ABSTRACT

A comparative analysis of Pi2 pulsations registered in the magnetosphere and on the Earth's surface, was done using magnetograms from the satellites GOES-2 and SMS-2 and from two observatories at Earth (Río Carpintero and Soroa). Morphological differences between Pi2 in both types of magnetograms, is interpreted assuming a theoretical model in which it is proposed to consider the ionospheric action over these pulsations as that of a pass-band filter. It is shown that phase analysis is a proper method for the discrimination of Pi2 forming a wave train.

* *Instituto de Geof. y Astronomía de la Acad. de Ciencias de Cuba.*

** *Instituto Superior Pedagógico "Juan Marinello" de Matanzas.*

*** *Instituto de Física de la Tierra, Acad. de Ciencias de la URSS.*

1. INTRODUCCION

El creciente desarrollo del uso de naves cósmicas para el estudio del espacio circun-terrestre, especialmente el registro de pulsaciones geomagnéticas por medio de sa-télites geoestacionarios, ha abierto nuevas posibilidades en el conocimiento de es-tas variaciones de corto período del campo magnético terrestre.

Los satélites GOES-2 y SMS-2, colocados a fines de 1977 en órbitas ecuatoria-les sincrónicas con $L \sim 6,6$ y longitudes geográficas de 75° y 115° oeste respectiva-mente, resultaban ideales para un estudio comparativo de las pulsaciones geomag-néticas registradas en ellos y en las estaciones terrestres Soroa y Río Carpintero, con longitudes geográficas de $83^{\circ}00'$ y $75^{\circ}42'$ oeste respectivamente.

El objetivo de este trabajo fue la comparación de los registros de pulsaciones de tipo Pi2, obtenidos simultáneamente en satélite y en Tierra, para determinar sus si-militudes y diferencias.

Se analiza también la influencia de la ionosfera en la forma de paquetes de on-das en que se presentan habitualmente las Pi2, en los magnetogramas de estaciones terrestres.

2. DATOS EXPERIMENTALES

Para este trabajo se utilizaron los registros de variaciones del campo magnético te-rrestre de los satélites geoestacionarios GOES-2 y SMS-2 y los magnetogramas de las estaciones Soroa (SOR) y Río Carpintero (RCC), que emplean bobinas de in-ducción como sensores (Gueller *et al.*, 1977) y cuya velocidad de registro es de 15 mm/min. Los factores de escala de las diferentes componentes registradas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Factores de escala de las estaciones cubanas de registro de pulsaciones geomagnéticas.

Estación	Componente	Factor de escala
Soroa	NS	0.065 nT/mm
Soroa	EW	0.043 nT/mm
Río Carpintero	NS	0.056 nT/mm
Río Carpintero	EW	0.050 nT/mm

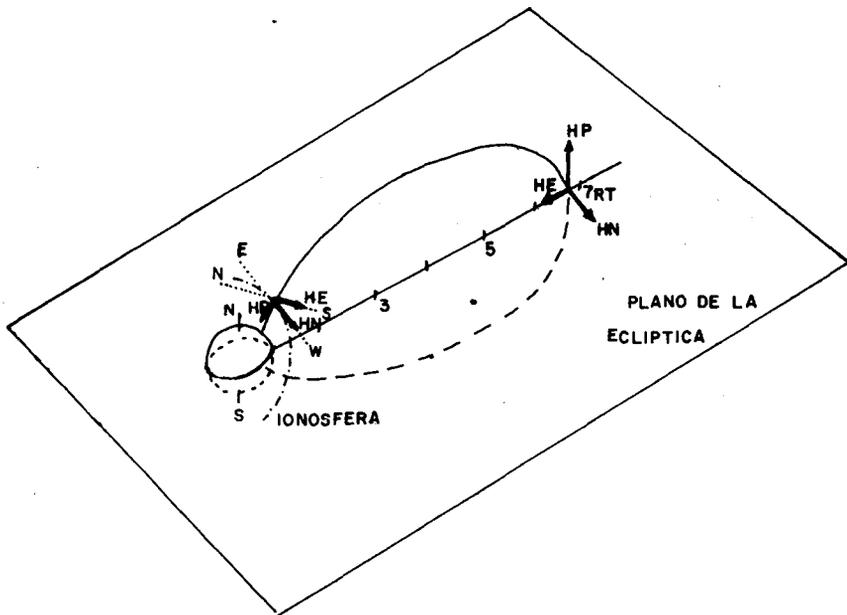


Fig. 1. Esquema de las direcciones en que se registran las variaciones del campo magnético en los satélites GOES-2 y SMS-2.

En cada uno de los satélites mencionados se registraron 3 componentes de las variaciones del campo geomagnético:

HP - dirigida al norte magnético,

HE - radial hacia la Tierra y

HN - perpendicular a las líneas de fuerza (acimutal) hacia el Oeste. En la Fig. 1 se muestran las posiciones relativas de estas componentes.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

La primera característica que se observó al comparar los registros de satélite y de estaciones terrestres fue la diferente forma presentada por las pulsaciones Pi2, en ambos. Los registros de los satélites GOES-2 y SMS-2, correspondientes a intervalos en los cuales en Tierra se habían registrado series de pulsaciones amortiguadas, separadas algunos minutos unas de otras, mostraban, en la casi totalidad de los casos, regímenes continuos cuasisinusoidales, en los cuales era imposible distinguir los destellos, típicos de las Pi2 registradas en Tierra (Fig.2). Esta característica fue observada también por otros autores (Barfield *et al.*, 1977) al hacer el estudio comparativo de pulsaciones registradas simultáneamente en el satélite ATS-6 y en un

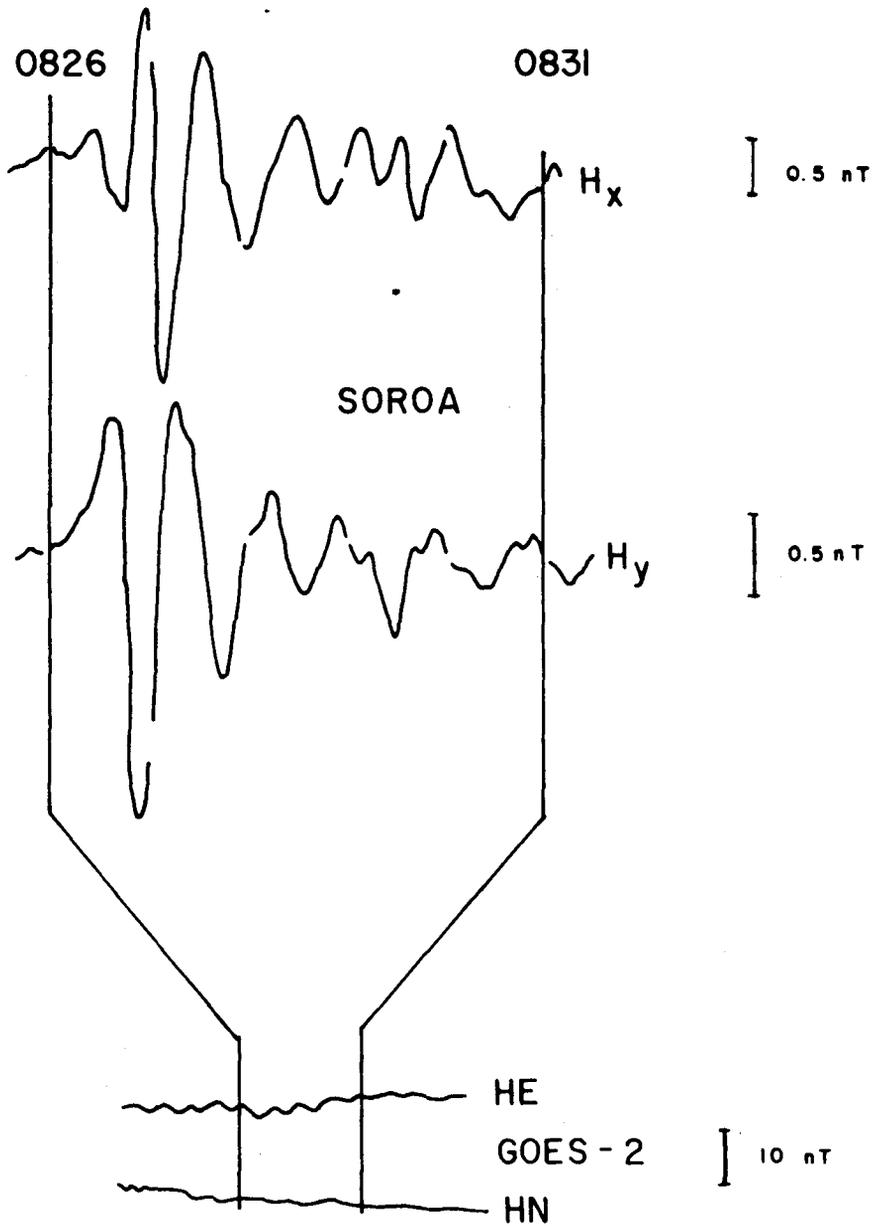


Fig. 2. Registro simultáneo de Pi2 en las componentes H_x y H_y de Soroa y HE y HN del satélite GOES-2, el 5-12-77.

grupo de observatorios terrestres. Podemos agregar que en nuestro estudio encontramos varios casos en los cuales se observaban en los satélites pulsaciones Pi2 con su forma típica de destellos y, en esos momentos, en los registros de observatorios terrestres aparecían variaciones irregulares, no bien definidas (Fig. 3). Todos estos casos se registraron después de la medianoche local, cuando el satélite se encontraba fuera de la plasmasfera (Chappell *et al.*, 1971). Sólo en muy contados casos las Pi2 se presentaron como destellos en los registros simultáneos de satélite y de las estaciones Soroa y Río Carpintero.

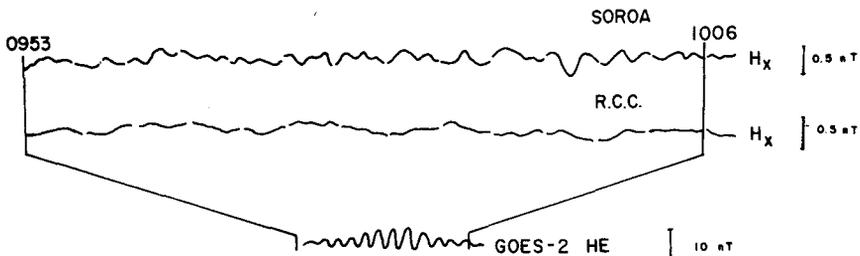


Fig. 3. Registro simultáneo de Pi2 en Soroa, Río Carpintero y el satélite GOES-2, el 12-12-77.

Se calcularon los períodos medios de todas las pulsaciones geomagnéticas tipo Pi2, registradas simultáneamente en satélites y en Tierra durante los meses de septiembre y diciembre de 1977. En los casos en que, ya en los registros del GOES-2, ya en los de la estación terrestre, la Pi2 no aparecía en forma de destello, se determinó el período medio para el mismo intervalo de tiempo que duró la pulsación en el otro registro.

Estos valores medios de los períodos, determinados a partir de los datos del satélite GOES-2, T_s , o de la estación Río Carpintero, T_t , fueron comparados, encontrándose que, en la casi totalidad de los casos, $T_t > T_s$. En las pocas excepciones para las cuales esta relación era inversa, las pulsaciones registradas en el satélite tenían períodos superiores a 100 s. Dada la característica de frecuencias de la estación Río Carpintero, una pulsación con período superior a 100 s sólo se registraría si tuviese una gran amplitud.

Se determinó la relación existente entre T_s y T_t , expresadas en segundos, obteniéndose la siguiente expresión:
 niéndose la siguiente expresión;

$$T_s = 0,8 T_t + 3,7 \quad (1)$$

con un coeficiente de correlación de 0,8.

Este resultado difiere algo de lo obtenido por otros autores (Barfield *et al.*, 1977) aun cuando, igual que en los datos estudiados por esos autores, la longitud geográfica de la estación terrestre RCC y del satélite GOES-2 eran prácticamente idénticas.

En todos aquellos casos en que se registraron varios Pi2 en intervalos con igual valor del índice K de actividad magnética local, se determinó el valor medio de los períodos de las pulsaciones registradas en la estación RCC, T_t . También se determinó el ancho del intervalo de períodos registrados en cada uno de los casos seleccionados, ΔT_t . Se analizó la relación existente entre T_t y el índice K, así como la existente entre ΔT_t y K, obteniéndose coeficientes de correlación de 0,63 y 0,57, respectivamente. Estos valores no permiten destacar una posible influencia del estado de actividad local sobre los períodos de las pulsaciones registradas en Tierra. Los parámetros analizados no correlacionan con el índice de actividad magnética planetaria K_p .

De la propia observación de los registros del GOES-2 y de las estaciones terrestres, es evidente la concordancia de la componente HE del satélite con la componente este-oeste en Tierra y de la HN con la norte-sur (Fig. 4), lo cual indica un giro de 90° de la elipse de polarización de las pulsaciones, al atravesar la ionosfera, como fue predicho teóricamente por algunos autores (Nishida, 1964; Inoue, 1973; Hughes, 1974) al estudiar las posibles alteraciones de las pulsaciones geomagnéticas durante su paso a través de la ionosfera. Barfield y colaboradores (1977) confirmaron experimentalmente el fenómeno utilizando datos de satélites.

La frecuente observación de pulsaciones cuasisinusoidales con período casi constante, en los registros de satélite, cuando en Tierra aparecen Pi2 en forma de destellos bien definidos, con período variable, hace suponer que la acción de la ionosfera sobre las pulsaciones no es una simple amortiguación de la amplitud, como consideran algunos autores (Hughes, 1874; Hughes y Southwood, 1976 b; Newton *et al.*, 1978).

La no coincidencia de los períodos de las pulsaciones en satélite y en Tierra, señala un carácter selectivo de la ionosfera durante el paso de las Pi2 a través de las capas ionizadas, similar al de un filtro pasa banda.

Teniendo en cuenta que a la salida de un filtro pasa banda se obtiene una distribución gaussiana de frecuencias y, asumiendo para las ondas una variación de la forma $\exp[-2\pi i(kx - wt)]$, podemos escribir para la Pi2 emergente de la ionosfera, la siguiente distribución de amplitudes alrededor de una frecuencia ω_0 :

$$a(\omega) = A \exp[-\sigma(\omega - \omega_0)^2] \quad (2)$$

donde σ , que es el parámetro que caracteriza el ancho de la distribución, dependerá

del estado de actividad de la ionosfera. En este caso la perturbación completa tendrá la forma:

$$\Phi(x, t) = \int_0^{\infty} a(\omega) \exp[-2\pi i(kx - \omega t)] d\omega \quad (3)$$

Sustituyendo (2) en (3) se obtiene la expresión general de la Pi2 que emerge de la ionosfera:

$$\Phi(x, t) = A \int_0^{\infty} \exp[-\sigma(\omega - \omega_0)^2 - 2\pi i(kx - \omega t)] d\omega \quad (4)$$

Haciendo $x = 0$ (para estudiar las variaciones temporales registradas en un punto dado) e integrando, obtenemos:

$$\Phi(0, t) = A \sqrt{\frac{\pi}{\sigma}} e^{-\frac{\pi^2}{\sigma} t^2} e^{2\pi i \omega_0 t} \quad (5)$$

La expresión para la envolvente a una Pi2, registrada en Tierra, sería:

$$Y(t) = A \sqrt{\frac{\pi}{\sigma}} e^{-\frac{\pi^2}{\sigma} t^2} \quad (6)$$

Para un grupo de Pi2 registradas en las estaciones terrestres cubanas, se ajustaron curvas de la forma dada por (6) a las envolventes de estas pulsaciones con respecto de ondas.

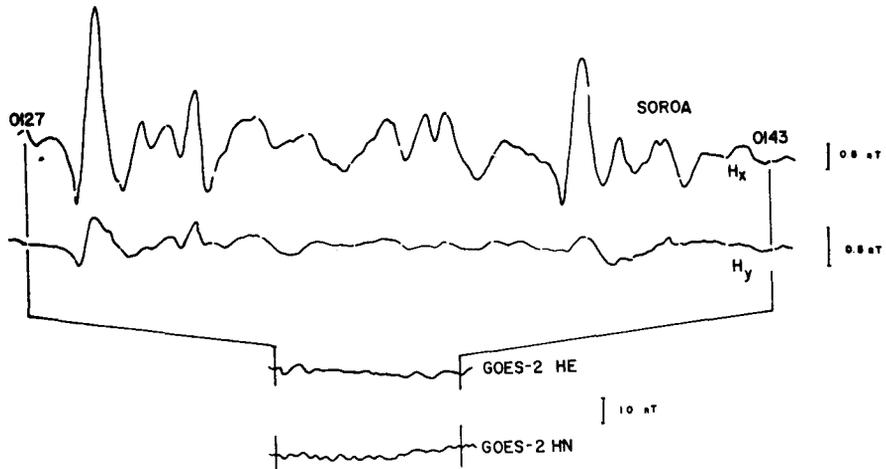


Fig. 4. Registro simultáneo de Pi2 en las componentes Hx y Hy de Soroa y HE y HN del satélite GOES-2, el 6-12-77.

En la Fig. 5 se muestra una comparación de la pulsación tipo Pi2 registrada el 7-9-77, a las 03:06 UT, en la componente Hx (norte-sur) en la estación Soroa y el registro correspondiente de la componente HE del GOES-2. Se puede ver que en el registro del satélite la pulsación no tiene tipo de paquete de ondas (ver Fig. 3); sin embargo, la Pi2 en Tierra se observa bien definida y se le pudo ajustar una envolvente de la forma dada por (6), con un coeficiente de correlación de 0,96.

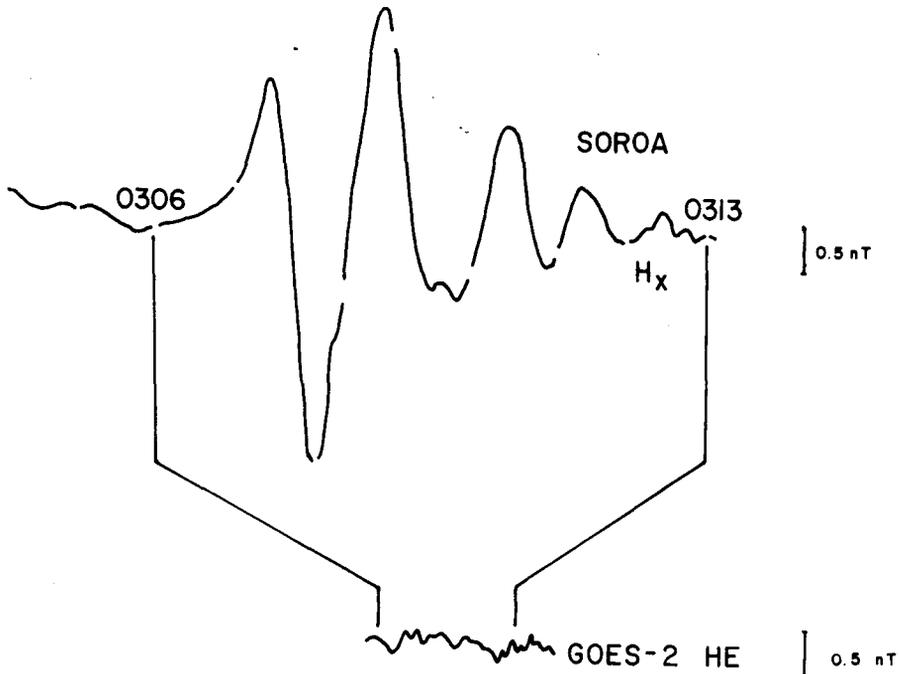


Fig. 5. Registro simultáneo de Pi2 en las componentes Hx de Soroa y HE del GOES-2, el 7-9-77.

Fueron analizados más de 30 casos de Pi2 siguiendo el método antes expuesto y en la mayoría de ellos el coeficiente de correlación fue superior a 0,9; es decir, su envolvente se ajustó bien a la forma predicha teóricamente para un grupo de ondas emergente de un medio que actuase como un filtro pasa banda. Los pocos casos con correlación inferior a 0,9 fueron analizados detenidamente y estudiada su variación de fase por el método propuesto para el estudio de las Pc3 por Herron (1966) y aplicado posteriormente a las Pi2 (Strestik, 1969).

En la Fig. 6 se muestra el registro de la componente Hx de Soroa del 13-9-77, desde las 07:13 a las 07:21 UT. En este caso, al tratar de ajustar a la envolvente de la curva una ecuación de la forma (6), se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,46. Las variaciones de fase de las pulsaciones en este intervalo (Fig. 7) muestran, a partir del mínimo señalado en la Fig. 6 por un triángulo, un claro cambio de fase que separa dos zonas con períodos medios diferentes, 51 y 56 s respectivamente. El ajuste de la curva (6) por separado a las dos secciones de la pulsación arrojó para ambas, coeficientes de correlación de 0,9.

Resultados similares se obtuvieron para todas las Pi2 cuya correlación con la curva (6) era menor de 0,9, al considerarlas como un todo. En estos casos la correlación aumentaba hasta 0,9 al tomarlas por secciones de período constante, seleccionadas por el método de análisis de la fase.

En la Fig. 8 se muestran los registros simultáneos del 11-9-77, de 04:54 a 05:00 UT, en ambas estaciones cubanas; a estas Pi2 fue posible ajustar curvas del tipo (6) con coeficientes de correlación de 0,96 y 0,95, respectivamente; pero el parámetro π^2/σ arrojó valores diferentes en ambos casos, $5,7 \cdot 10^{-4}$ para Soroa y $9,2 \cdot 10^{-4}$ para Río Carpintero.

En todos los eventos analizados el parámetro π^2/σ tomó valores entre 10^{-3} y 10^{-5} . Estas variaciones señalan la influencia del medio que actúa como filtro (ionosfera) sobre la forma de las Pi2 en Tierra.

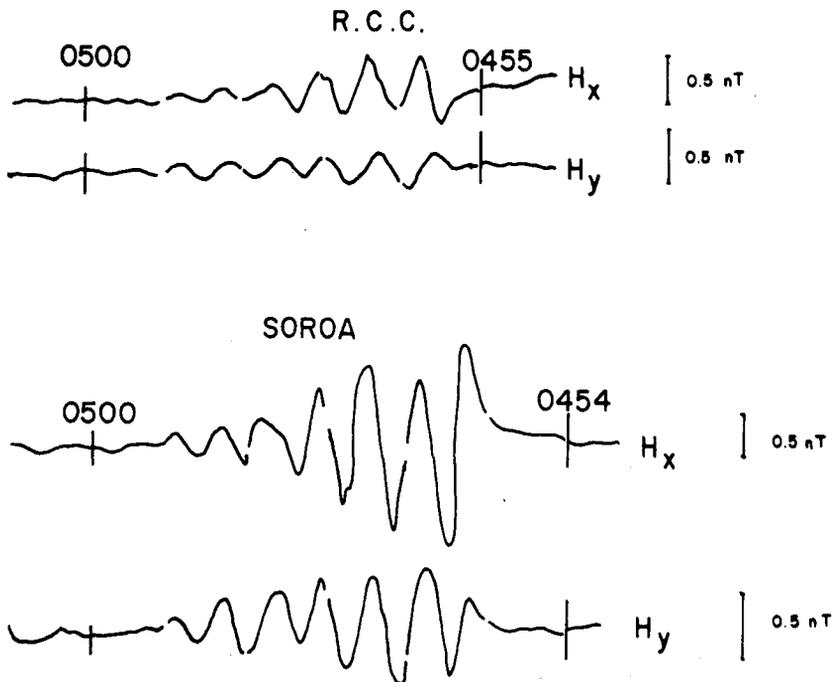


Fig. 8. Registro simultáneo de Pi2 en Soroa y Río Carpintero el 11-9-77.

4. CONCLUSIONES

La diferencia entre los períodos de las Pi2 registradas simultáneamente en Tierra y en satélite, atestiguan que la acción de la ionosfera sobre las pulsaciones que la atraviesan tiene un carácter selectivo, es decir, que actúa como un filtro. Este resultado no presenta una contradicción con lo obtenido por otros autores (Barfield *et al.*, 1977) ya que la relación entre T_s y T_t obtenida por nosotros (ver fórmula 1) es similar a la señalada por ellos. En ambos casos hay una dispersión notable de los valores, lo cual es de esperar, pues esta relación debe depender del estado de actividad de la ionosfera local; además, nuestro estudio se realizó con datos de estaciones a las cuales corresponde una $L \sim 1, 5$, o sea, mucho más alejada de la plasma-pausa, la cual pudiera también intervenir en el proceso.

Creemos que es necesario realizar estudios más completos y utilizando datos de estaciones terrestres adecuadamente distribuidas sobre el planeta.

En apoyo de la influencia de la ionosfera en la forma de las Pi2 registradas en Tierra, tenemos el giro de la elipse de polarización, sustentado por la coincidencia de las componentes HE (satélite) con Hy (Tierra) y de las componentes HN (satélite) con Hx (Tierra). Basándonos en la buena concordancia entre la forma de la envolvente de la Pi2 en Tierra y la predicha por el análisis teórico, podemos asumir que la acción de la ionosfera sobre estas pulsaciones es similar a la de un filtro pasa banda y, como resultado de la cual, las Pi2 toman su forma característica de paquetes de ondas. Esto precisaría un poco lo propuesto por otros autores (Hughes y Southwood, 1976a; Newton *et al.*, 1978) que plantearon que la forma de las Pi2 era debida a la mayor amortiguación de las pulsaciones al atravesar la ionosfera nocturna, debido a la baja conductividad de ésta.

Los buenos resultados del método de análisis de la fase de una pulsación en la determinación de los paquetes de onda, permiten aconsejar este método para la selección de grupos en los estudios de propagación de este tipo de pulsaciones y en los paquetes, así discriminados, analizar la relación entre los valores del parámetro π^2/σ y el estado de actividad de la ionosfera, lo cual pudiera ser útil para el diagnóstico de este medio magneto-iónico.

La formación de los paquetes de ondas, típicos de las Pi2, a consecuencia de su paso a través de la ionosfera, no excluye la posibilidad de la existencia de paquetes de onda en forma de solitones magnetohidrodinámicos en la cola de la magnetosfera (Gulelmi y Repin, 1978) que pueden formarse por efectos no lineales, como plantean los autores, y propagarse sin desintegrarse hasta tanto no encuentren una discontinuidad, i.e. la plasmapausa. El registro de paquetes bien formados en los satélites GOES-2 y SMS-2 parece confirmar esta hipótesis. Queremos señalar que

nunca encontramos paquetes registrados por el satélite en horas en que éste se encontraba en la plasmasfera; todos los casos son posteriores a la medianoche local, cuando estaba fuera de la plasmapausa.

Los resultados obtenidos indican la necesidad de una investigación sistemática de las Pi2, estudiando los paquetes de onda en satélites que pasen por la cola de la magnetosfera, utilizando datos de varias naves cósmicas convenientemente distribuidas y en redes de estaciones terrestres ubicadas a lo largo de paralelos y meridianos para precisar los mecanismos de su propagación.

BIBLIOGRAFIA

- BARFIELD, J. N., N. M. BONDARENKO, A. M. BULOSHNIKOV, M. B. GOHKBERG, A. L. KALISHER, R. L. MACPHERON y V. A. TROITSKAYA, 1977. Observación simultánea de pulsaciones de largo período en el satélite ATS-6 y en la superficie terrestre. *Geom. y Aeronom.*, 17(5), 900-906.
- CHAPPELL, C. R., K. K. HARRIS y G. W. SHARP, 1971. The dayside of the plasmasphere, *J. Geophys. Res.*, 76(31), 7632-7647.
- GUELLER, L. A., V. A. GORBIN, A. D' COSTA y E. GUASCH, 1977. Variaciones rápidas del campo electromagnético de la Tierra en Cuba. *Inf. Cient. Tecn.*, 18, 3-9, Acad. Cien. Cuba.
- GULELMI, A. V. y V. N. REPIN, 1978. Solitones MHD en la "cola" de la magnetosfera. *Geom. y Aeron.*, 18(6), 1089-1092.
- HERRON, T. J., 1966. Phase characteristics of geomagnetic micropulsations. *J. Geophys. Res.*, 71(3), 871-890.
- HUGHES, W. J., 1974. The effect of the atmosphere and ionosphere on long period magnetospheric micropulsations. *Planet. Space Sci.*, 22, 1157-1172.
- HUGHES, W. J. y D. J. SOUTHWOOD, 1976a. The screening of micropulsation signals by the atmosphere and ionosphere. *J. Geophys. Res.*, 81(19), 3234-3240.
- HUGHES, W. J. y D. J. SOUTHWOOD, 1976b. An illustration of modification of geomagnetic pulsation structure by the ionosphere. *J. Geophys. Res.*, 81 (19), 3241-3247.
- INOUE, Y., 1973. Wave polarization of geomagnetic pulsations observed in high latitudes on the Earth's surface. *J. Geophys. Res.*, 78 (16), 2959-2976.
- NEWTON, R. S., D. J. SOUTHWOOD y W. J. HUGHES, 1978. Damping of geomagnetic pulsations by the ionosphere. *Planet Space Sci.* 26, 201-209.
- NISHIDA, A., 1964. Ionospheric screening effect and storm sudden commencement, *J. Geophys. Res.*, 69, 1861.
- STRESTIK, J., 1969. Properties of spectra of geomagnetic Pi2 pulsations recorded at the Budkov observatory. *Studia Geoph. et geod.*, 13(1), 42-59.