

# ESTUDIO DE LAS MICROPULSACIONES DE LA RADIACIÓN CÓSMICA EN EL LABORATORIO DE FISICA CÓSMICA DE CHACALTAYA A 5230 M.S.N.M.

Ergueta V.<sup>1</sup>, Velarde A.<sup>1</sup>, Saavedra O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Investigaciones Físicas  
Universidad Mayor de San Andrés  
La Paz-Bolivia*

<sup>2</sup>*Dipartimento di Fisica Generale  
Universita di Torino - Italia*

## RESUMEN

En un artículo titulado "Short-Period Variations of Cosmic Ray Intensity" [1], el año 1967, M.S.D. Dhanju y V.A. Sarabhai, reportan por primera vez, la observación de micropulsaciones del orden de minutos en los rayos cósmicos. Se repite el estudio con datos actuales del mismo equipo. No se observan las micropulsaciones que Dhanju y Sarabhai reportan. Se concluye que debió haberse tratado un fenómeno esporádico de fluctuación periódica de la radiación y campo magnético interplanetarios.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dhanju y Sarabhai obtuvieron dichos resultados del análisis de los datos registrados por el detector de muones del Observatorio de Chacaltaya entre noviembre de 1965 y marzo de 1966. El detector de muones

es un arreglo consistente en 15 detectores de centelleo de  $2 \times 2m^2$  dispuestos de manera que forman un área total de  $60m^2$ . El arreglo tiene un blindaje de galeña equivalente a  $3m$  de agua, de modo que la componente electrónica es totalmente absorbida. El conteo de muones es del orden de  $10^6 \text{ctas./min.}$ . Utilizaron 487 registros de datos de tres horas de duración cada uno, tomados minuto a minuto. Mediante una transformada de Fourier a cada uno de los registros se obtuvieron sus espectros de potencia, que fueron superpuestos para obtener aquellos picos persistentes en cada uno de ellos.

Los resultados de Dhanju y Sarabhai se muestran en la Figura 1.

Se observan en el espectro dos picos muy bien definidos a 18 y 25 *cph* correspondientes a periodos de 200 y 144 s, respectivamente.

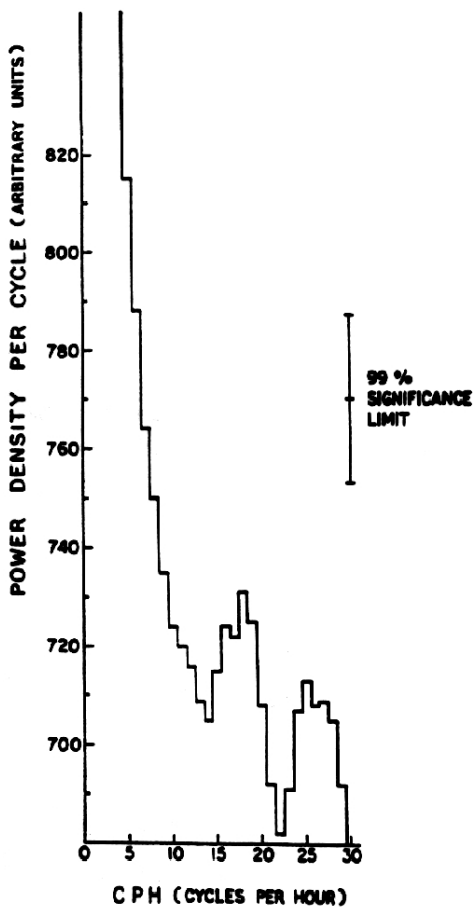


Figura 1.

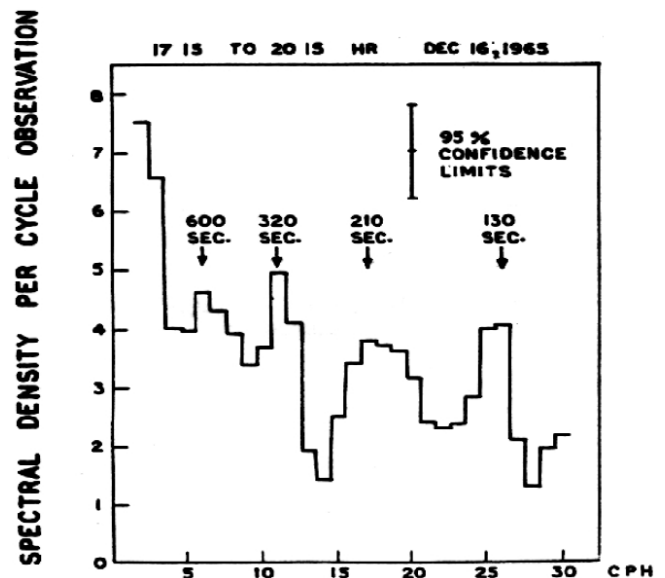


Figura 2.

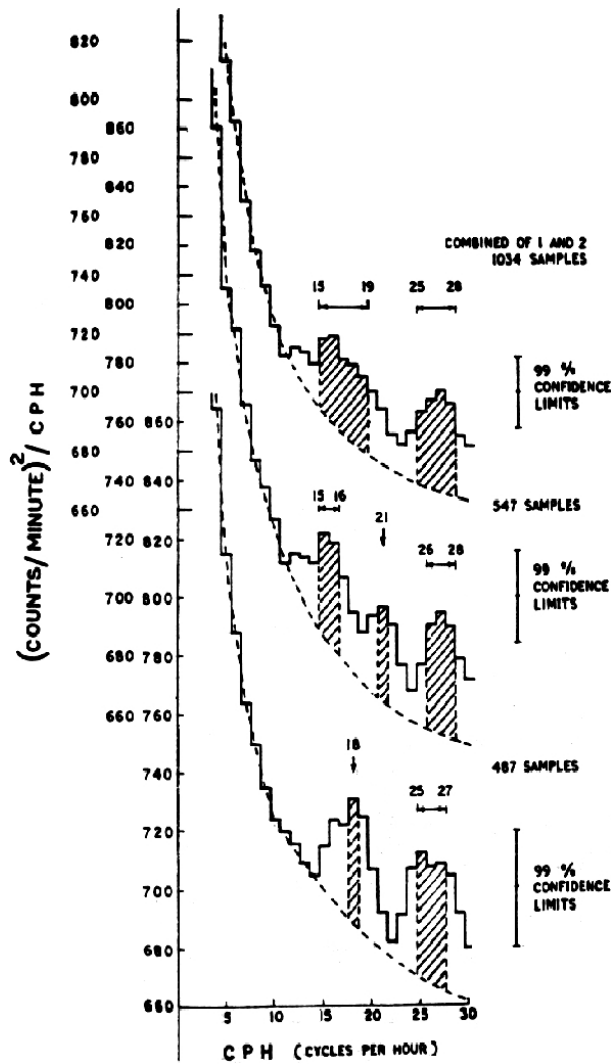


Figura 3.

Estas micropulsaciones en el flujo de los rayos cósmicos pueden entenderse como el reflejo de variaciones periódicas del campo magnético interplanetario que modula a los rayos cósmicos primarios a través de la variación de la rigidez de corte (*cutoff*). Para verificar esto, Dhanju y Sarabhai muestran en la Figura 2 el espectro de potencias de los registros de muones del detector de Chacaltaya correspondientes al intervalo de tres horas del 16 de diciembre de 1965, simultáneo al registro realizado por el Pioneer VI del campo magnético interplanetario. Un análisis espectral de estos datos realizados por Ness, Scarce y Cantarano [3], en ese mismo intervalo de tiempo, dio como resultado la observación de picos correspondientes a 600, 300, 180 y 120 s, observándose una buena correspondencia con la densidad espectral de muones de la Figura 1.

Dhanju y Sarabhai, completaron posteriormente más registros de datos hasta junio de 1966, llegando hasta 1034 registros de 3 horas. En la Figura 3 se observa que a más registros se van solapando los picos encontrados. Mediante un ajuste polinomial, determinaron el ancho de frecuencias de cada uno de ellos con un porcentaje de

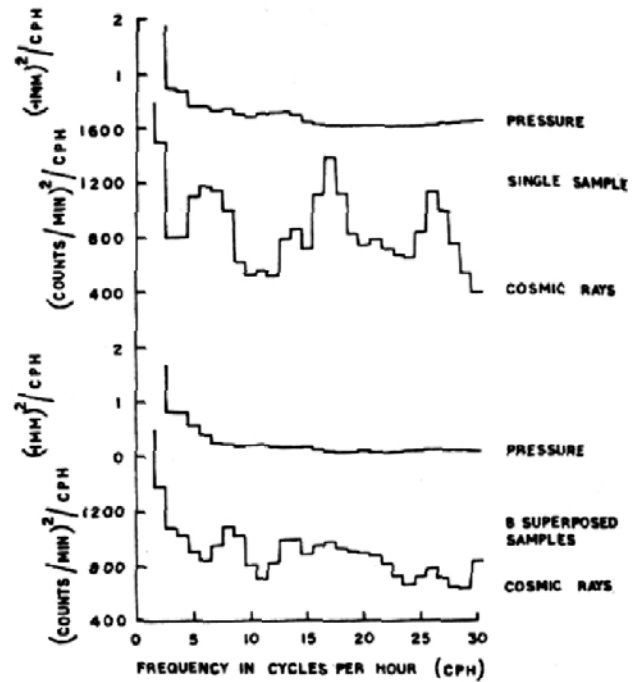


Figura 4.

confiabilidad del 99%.

Realizaron también un análisis de la presión barométrica comparándolo con los resultados obtenidos de la radiación cósmica. De éste se deduce que las variaciones de la presión no están relacionadas con el fenómeno de las micropulsaciones (Figura 4).

Este fenómeno de micropulsaciones de los rayos cósmicos se conoce con el nombre de "centelleo cósmico".

## 2. COMPONENTES MUÓNICA Y ELECTRÓNICA DE LA RADIACIÓN

Volvimos a repetir la experiencia de Dhanju y Sarabhai con datos actuales de los mismos detectores usados aquella vez para el registro de muones en el laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya. Es claro que si el fenómeno del centelleo cósmico se observa en los muones, con mayor razón se verá en los electrones. Por ello, se han analizado, además, los registros de la radiación cósmica secundaria que a la altura de Chacaltaya -5200 m.s.n.m. ( $540\text{gr}/\text{m}^2$ )-, está mayoritariamente conformada por electrones (aproximadamente el 55% son electrones), con el fin de ampliar el estudio del centelleo cósmico.

Los registros para el presente trabajo, tanto de los muones como de los electrones, se han obtenido del experimento INCA, que registra las señales de cada uno de los detectores de muones como también de los detectores L de electrones del experimento BASJE en el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya.

En la Figura 5 se muestra la disposición de estos detectores.

Cada uno de los archivos diarios fue revisado verificando y seleccionando aquellos que no muestren ningún tipo de irregularidades. En la Figura 6 observamos un

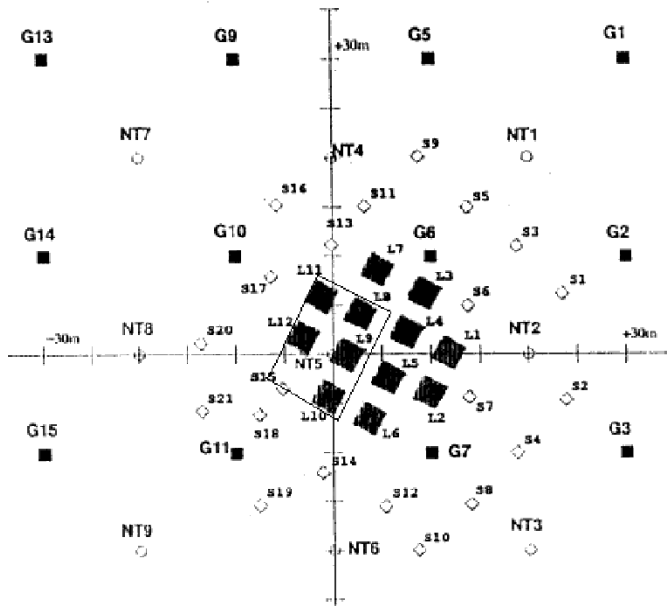


Figura 5. Disposición de los detectores. Los negros son los detectores "L" de electrones. El rectángulo corresponde a los detectores de muones.

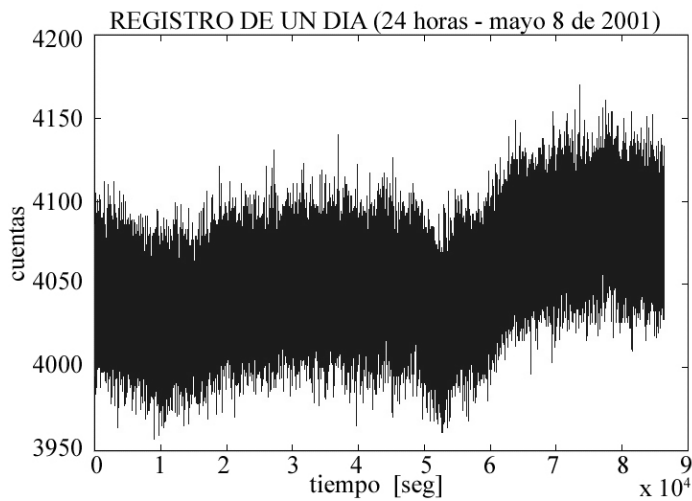


Figura 6.

ejemplo de un archivo diario correspondiente a datos de electrones. Luego, estos archivos son divididos en 8 sub-archivos de tres horas cada uno, los cuales constan de 10800 datos correspondientes a la cantidad de segundos en tres horas.

El conteo promedio de los 12 detectores L es de aproximadamente  $5 \times 10^5$  partículas/s, es decir, del orden de  $10^7$  partículas/min. El conteo promedio de los 15 detectores de muones es  $10^5$  muones/s, esto es, del orden de  $10^6$  muones/min, que coinciden con el orden de los registrados en 1966 y 1967. De manera que la eficiencia de los detectores es la misma en ambos casos.

Tal como procedieron en 1967, para determinar si existe algún tipo de periodicidad en estos datos,

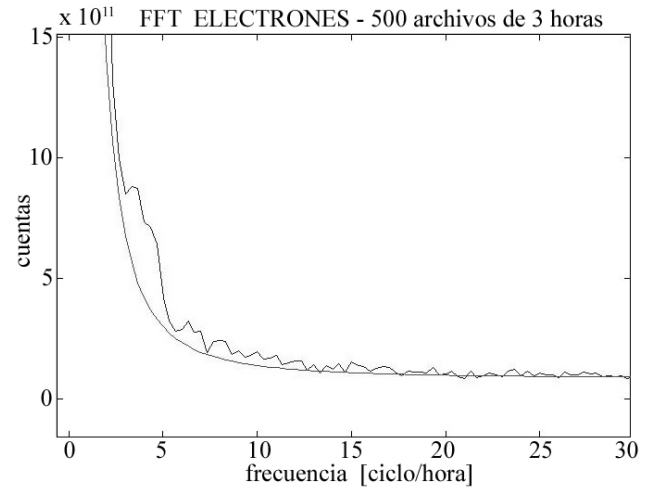


Figura 7. Resultado de aplicar la Transformada Rápida de Fourier a 500 archivos de 3 horas para registros de electrones dentro del rango de frecuencias en estudio, 0 a 30 *cph*. También se muestra la línea base obtenida mediante un ajuste de la forma  $A/w^2$  que es la que mejor ajusta a los datos.  $w$  es la frecuencia.

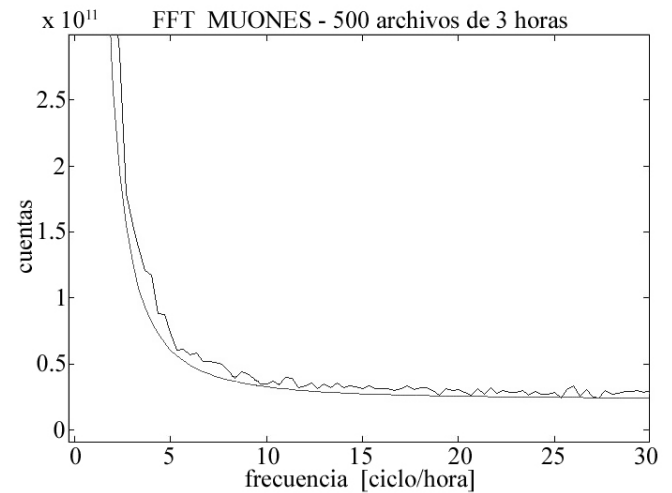
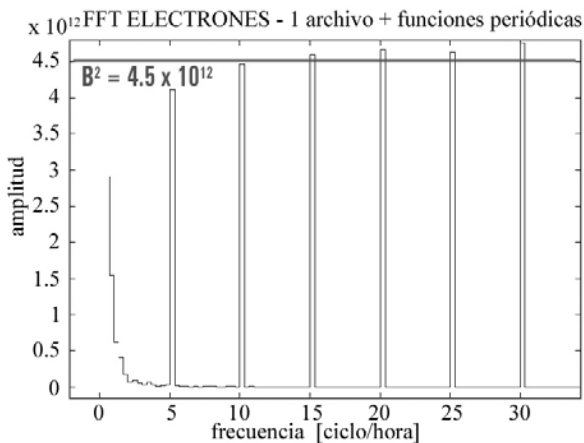


Figura 8. Resultado de aplicar la Transformada Rápida de Fourier a 500 archivos de 3 horas para registros de muones dentro del rango de frecuencias en estudio, 0 a 30 *cph*. También se muestra la línea base ajustada a la función  $A/w^2$ .

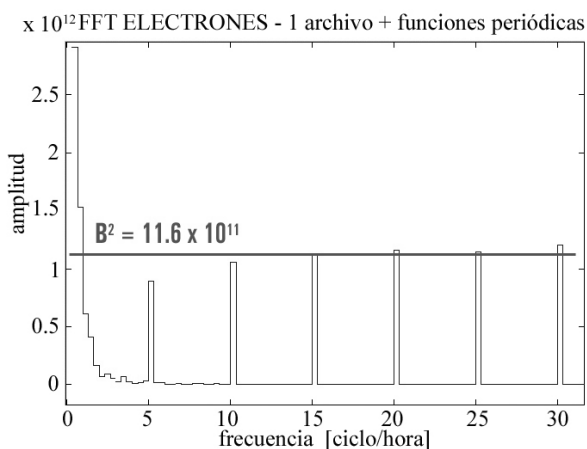
tomamos la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y la aplicamos individualmente a cada registro.

Usando la FFT del MATLAB a nuestros datos de electrones y muones, obtuvimos sus respectivos espectros de potencias, los cuales se van superponiendo, registro tras registro, consiguiendo los resultados que se muestran en las figuras para 500 archivos de 3 horas. Las figuras 7 y 8 muestran el resultado en el rango de 0 a 30 ciclos/hora.

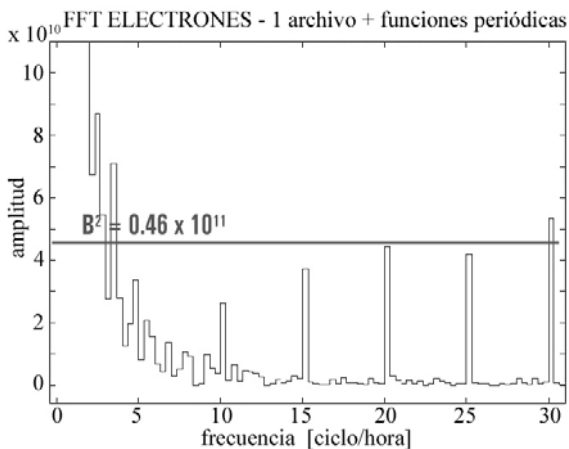
El tamaño  $B$  del pulso que se espera en la Transfor-



(a)



(b)



(c)

Figura 9. Transformada para un archivo de electrones + funciones periódicas. (a) Para una amplitud  $A = 1\sigma$ . Se distinguen con toda claridad las frecuencias características para una amplitud dada de una desviación estándar  $\sigma$ . (b) Con las mismas características de (a) pero con un peso  $A = 0.5\sigma$ . (c) Con las mismas características de (a) pero con un peso  $B = 0.1\sigma$ .

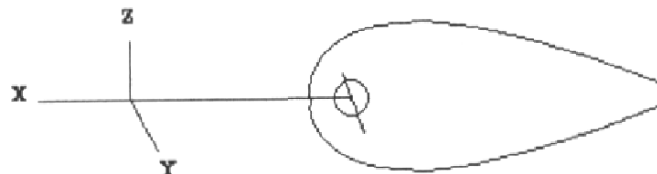


Figura 10.

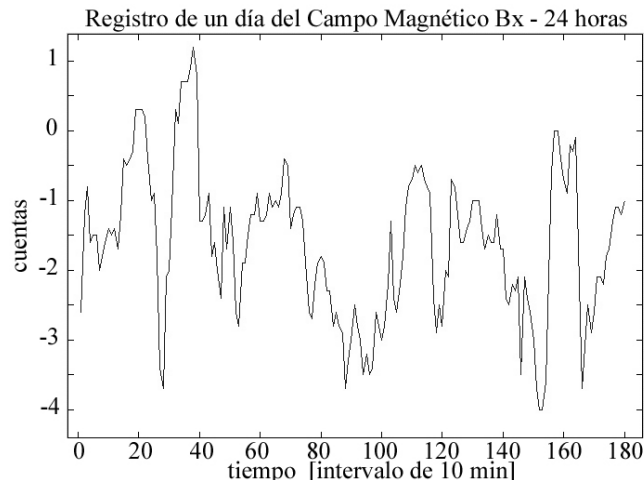


Figura 11. Registro de un día para la componente  $x$  del campo magnético.

mada de Fourier de una función periódica de amplitud  $A$ , tamaño  $T_0$  (número de datos de la muestra), discretos en intervalos de  $T$ , es [4]:

$$B = \frac{AT_0}{2T}$$

En nuestro caso,  $T_0 = 10800s$  (archivos de tres horas cada uno),  $T = 1s$ ; de donde:

$$B = 5400A$$

El tamaño de la señal que se observa en el Espectro de Potencias es entonces:

$$B^2 = 2.9 \times 10^7 A^2$$

Es decir, un pulso muy grande.

Para verificar la respuesta del MATLAB a posibles periodicidades en un grupo de datos, añadimos funciones periódicas con frecuencias en 5, 10, 15, 20, 25 y 30 ciclos/hora.

Tomamos como ejemplo nuestros datos de electrones. Sumamos una función periódica del tipo  $Bsen(\omega t)$  al archivo de electrones y volvemos a calcular la FFT.

En la Figura 9 mostramos los resultados para  $sen(\omega t)$  con distintos pesos  $A$ , donde  $A$  serán submúltiplos de la desviación estándar de los datos para un archivo de electrones ( $\sigma \approx 7 \times 10^2 \text{ electrones/s}$ ). Podemos ver que en caso de existir periodicidad en los datos, la FFT del MATLAB los resalta notoriamente, tratándose aún de pesos muy pequeños, por lo que nuestro paquete informático pasa la prueba y nuestros datos no presentan ninguna periodicidad esperada.

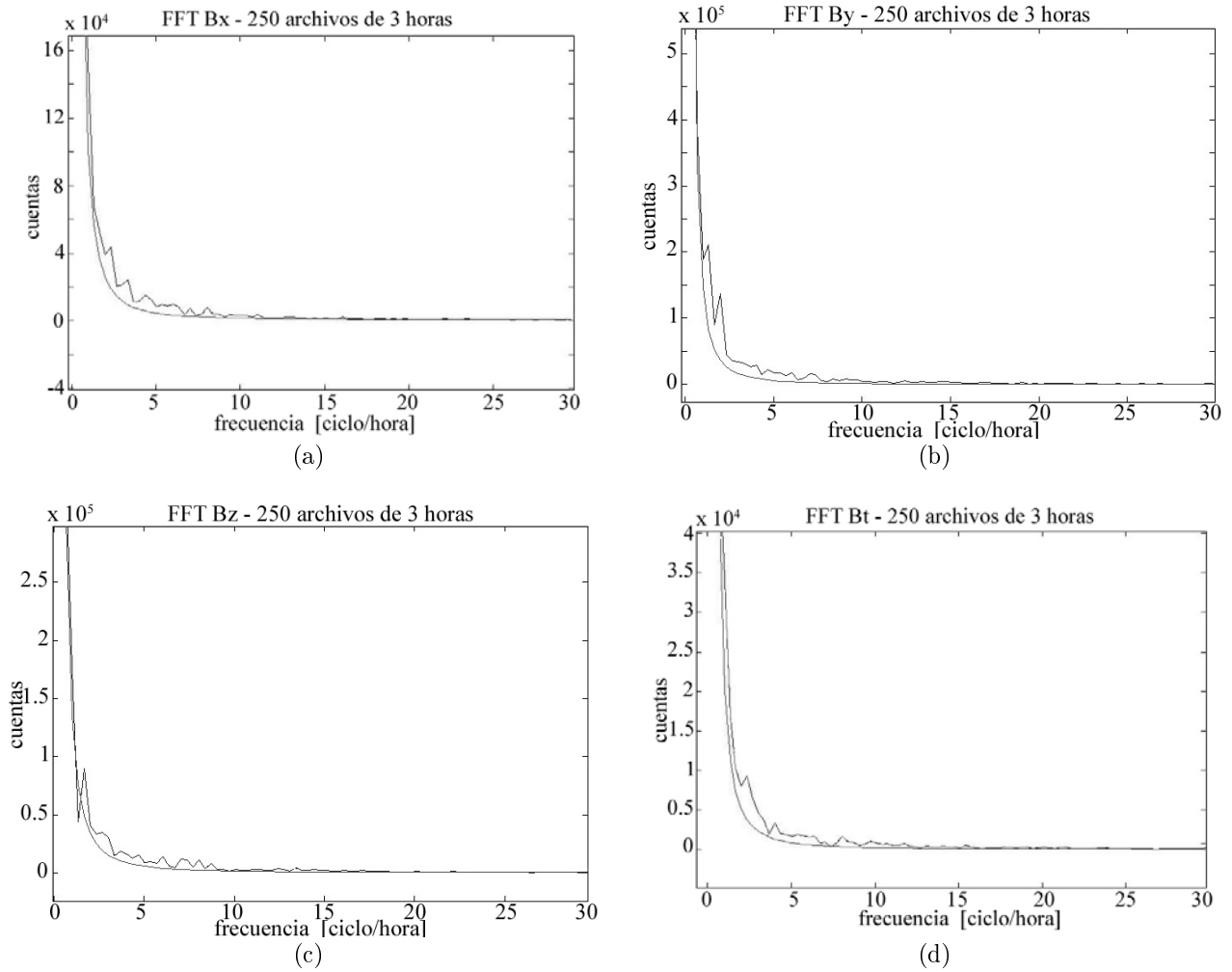


Figura 12. Espectro de potencias acumulado sobre 250 archivos de 3 horas para registros de las componentes  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  y  $B_t$  del campo magnético interplanetario. En estos gráficos se muestra un ajuste a una función base de la forma  $A/w^2$  donde  $w$  es la frecuencia. (a) Componente  $B_x$ . (b) Componente  $B_y$ . (c) Componente  $B_z$ . (d) Campo magnético total  $B_t$ .

Si continuásemos disminuyendo la amplitud lograríamos aún ver periodicidades claramente marcadas hasta valores de  $0.05\sigma$ .

### 3. MODULACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETARIO

Veremos ahora cómo se comporta el campo magnético interplanetario.

Para las mismas fechas de la recolección de datos de muones y electrones, de *internet* hemos bajado los registros del campo magnético interplanetario de NOAA, medidos por el magnetómetro del satélite ACE [5]. El sistema de coordenadas de estos datos es el sistema GSM (*Geocentric Solar Magnetic Field*), como se muestra en la Figura 10.

Trabajamos con datos de las componentes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y total del campo magnético interplanetario. Utilizamos 250 archivos de 3 horas tomados minuto a minuto.

Procedimos de igual forma que el análisis anterior. Se escogen aquellos archivos que no registren ningún tipo

de irregularidades (Figura 11), se aplica la Transformada Rápida de Fourier (FFT) superponiendo los espectros de todos de archivos (Figura 12).

### 4. DENSIDAD PROTÓNICA INTERPLANETARIA

También, a través de *internet* se obtuvieron los registros minuto a minuto de la densidad de protones medidos por el magnetómetro del satélite ACE [5].

Los resultados obtenidos del análisis aplicado a éstos datos (ver Figura 13), igual que en los anteriores casos, no presentan ninguna periodicidad en el rango de frecuencias que analizamos.

### 5. CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos, tanto para las componentes muónica y electrónica de la radiación cósmica, como para los registros de campo magnético y densidad protónica interplanetarias, se verifica que no se observa el fenómeno del centelleo cósmico en el rango de frecuencias de 5 a 30 ciclos por hora. Por lo que las pulsaciones

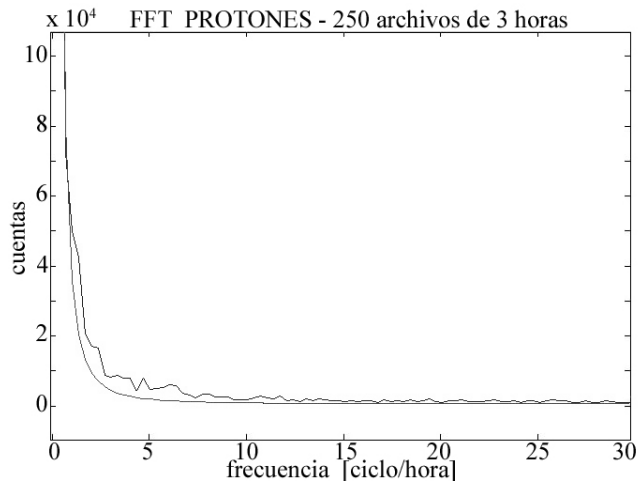


Figura 13. Registro de protones del satélite SAE.

de Rayos Cósmicos de alta frecuencia observadas y reportadas por Dhanju y Sarabhai en 1967 concomitantes con una similar oscilación en el campo magnético

interplanetario, han debido ser un suceso esporádico. En todo caso, se demuestra que no constituye un fenómeno permanente.

#### REFERENCIAS

- [1] "SHORT PERIOD VARIATIONS OF COSMIC-RAY INTENSITY", M. S. Dhanju y V.A. Sarabhai, PHYSICAL REVIEW LETTERS, Vol. 19, Número 5, 31 de Julio de 1967, pág. 252.
- [2] "SHORT-PERIOD FLUCTUATIONS OF COSMIC RAY INTENSITY AT THE GEOMAGNETIC EQUATOR AND THEIR SOLAR AND TERRESTRIAL RELATIONSHIP", M. S. Dhanju y Sarabhai, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Space Physics, Vol. 75, No. 10, Abril 1, 1970.
- [3] "PRELIMINARY RESULTS FROM PIONEER VI MAGNETIC FIELD EXPERIMENTS", Ness N. F., C. S. Cearce y S. Cantarano, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, 71, 3305, 1966.
- [4] The Fast Fourier Transform, E. Oran Brigham, Prentice Hall Inc. Englewood, New Jersey, pp 100 - 104, 1974
- [5] <http://www.sel.noaa.gov/Data/geomag.html> U. S. Department of Commerce, NOAA, Space Environment Center.