

ANISOTROPIA SIDERAL EN LOS RAYOS COSMICOS
DE ALTA ENERGIA *

I. Escobar V., N. Nerurkar ** y R. Weil

Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya – La Paz, Bolivia

y

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – Rio de Janeiro, Brasil

(Recibido: 7 febrero 1959)

RESUMEN

Se está llevando a cabo en Chacaltaya (a 5220 mts sobre el nivel del mar, Latitud Geográfica 16° S) un experimento destinado a investigar los chubascos extensos de rayos cósmicos correspondientes a energías primarias del orden

* Este trabajo ha sido posible por virtud de la asistencia recibida de la oficina conjunta O.N.R. y A.E.C. a través del L.N.S.E. del M.I.T. Cambridge, U.S.A.

** En goce de licencia del Laboratorio de Investigaciones Físicas de Almedabad, India, bajo una beca post-doctoral de UNESCO.

10^{14} y 10^{15} ev, con coincidencias entre bandejas de contadores separados entre sí por una distancia de 20 mts. Hay evidencia de una anisotropía sideral del orden de 1.6 % con el máximo aproximadamente a las 14.00 hora sideral local; se estudia igualmente en este artículo el coeficiente barométrico en relación a la curva de absorción para estos chubascos extensos.

INTRODUCCION

La intensidad de la radiación cósmica registrada por instrumentos instalados en un punto fijo de la tierra puede acusar una variación debida a que los instrumentos apuntan a diferentes direcciones en el espacio a medida que la tierra gira sobre su eje. Un estudio hecho durante los últimos años con instrumentos que responden a rayos cósmicos primarios de baja y mediana energía ha demostrado una variación apreciable en la intensidad de la radiación en función del tiempo solar, mientras que la intensidad en función del tiempo sideral era prácticamente constante.

Estos hechos han sido generalmente interpretados suponiendo que las variaciones registradas por los equipos en función del tiempo solar son debidas en parte, a variaciones de la atmósfera terrestre que siguen este ciclo y en parte a las variaciones en la estructura electromagnética del espacio interplanetario. En cuanto a la isotropía en función del tiempo sideral, ésta puede ser debida a una amplia dispersión de la radiación primaria mientras pasa por campos magnéticos en el espacio interplanetario, de manera que pierden completamente toda correlación con su dirección original. Esto sugeriría que si existe anisotropía en la distribución de la radiación cósmica primaria, en nuestra galaxia, sólo puede ser descubierta midiendo rayos cósmicos de alta energía, ya que estos serían muy poco afectados por los campos magnéticos en las proximidades de la tierra. Por lo tanto existe gran interés en el estudio de chubascos extensos que responden a primarios con energías mayores a 10^{14} ev.

En la banda de energía de 10^{14} a 10^{15} ev estudios realizados en el

hemisferio norte por Hodson¹, daban una amplitud de 1.15 ± 0.61 %, con un máximo a las 23.30 hora local sideral, mientras que Daudin y Daudin², cuyas mediciones fueron mas precisas, informaron de anisotropías diversas pero siempre con amplitudes despreciables sugiriendo que sería en todo caso difícil de separar estas anisotropías de los efectos atmosféricos.

Con energías del orden 10^{16} ev Cramshaw y Galbraith³ encontraron primero una amplitud de 4.9 ± 1.5 % con un máximo a las 10.30 hora sideral local; sus resultados posteriores empero, contradicen los primeros, de manera que los datos tomados en conjunto no demuestran ninguna variación apreciable. Ello elimina la discrepancia que aparecía entre los resultados originales de Daudin y Daudin² y los de Crashaw y Galbraith³. Ambas experiencias se han efectuado en la misma latitud aproximadamente.

En el hemisferio sur, Farley y Storey⁴ en un principio informaron de una amplitud de 1.5 ± 0.23 , con un máximo a las 17.00 hora sideral local; sin embargo, sus resultados posteriores tambien dejaron de confirmar los primeros. Por lo tanto, parece existir una fuerte indicación de que la variación sideral es insignificante. Un informe reciente de Chapman y Ryder⁵ indica una variación de 0.88 ± 0.65 % con un máximo a las 17.00 hora sideral local que tampoco puede juzgarse como apreciable.

Sin embargo en 1956 los resultados de Hodson, Daudin y Daudin, Farley y Storey indicaban una intensidad máxima que se presentaba dentro de media hora del pasaje Zenital del plano Galáctico. Como el centro Galáctico se encuentra a 23° S, cualquier anisotropía relacionada con él, se mostrara más favorablemente en las observaciones realizadas en el hemisferio sur. Además, la mayor parte de los experimentos mencionados arriba se realizaron al nivel del mar; hay ventaja de llevar a cabo estos experimentos a grandes alturas a fin de tener mayor contaje y aumentar el significado estadístico de los datos.

En vista de lo indicado se proyectó en 1956 un experimento que se instaló en Chacaltaya (Latitud Geomagnética 4° S y Latitud Geográfica 16° , Longitud 68° Oeste) que se encuentra a 5220 mts sobre el nivel de mar con un promedio anual de presión de 397 mm de mercurio. Esta estación tiene la ventaja

adicional de que las variaciones de temperatura son bastante pequeñas comparadas con las que se registran en latitudes intermedias.

El objeto de este artículo es dar una información de la variación sideral en partículas primarias de alta energía, observada en Chacaltaya durante los últimos 18 meses, de los cuales aproximadamente fueron utilizados 230 días.

EQUIPO*

El equipo consiste de cuatro bandejas de contadores GM colocadas en plano horizontal como se muestra en la Fig. 1. Las bandejas I, II y III se componen de 8 contadores cada una, mientras que la bandeja IV tiene solamente 2. Todos los contadores miden 1" de diámetro y 22" de largo contruidos de latón de 0.02" de grosor. Los contadores están llenados con una mezcla de eterpetróleo y argon (a razón de 1: 10) teniendo una presión total de 8.4 cm Hg. Los contadores en cada bandeja están conectados en paralelo, dando un área sensible de 1.136 cm² para cada una de las 3 primeras bandejas y 284 cms² para la cuarta.

Un potencial de 1.000 v. positivos se suministra a los ánodos de cada bandeja a través de una resistencia de un megohmio, mientras que el cátodo de cada contador conectado a un potenciómetro separado que permite variar su potencial de - 150 v. a 0, haciendo posible al observador ajustar separadamente los voltajes de operación de los contadores individuales, sin alterar la operación del equipo

Las bandejas II y III están colocadas en el edificio principal del Laboratorio donde la temperatura varía de 17 a 22°C y donde hay 3 g/mc² de material absorbente encima de las bandejas. Las otras dos se colocaron al exterior, protegidas de la intemperie por cajones aislados térmicamente, cuya temperatura interna se controla por termostatos y prácticamente no tienen absorbente; estas dos últimas bandejas están colocadas sobre la ladera de la montaña que tiene una pendiente de 28°. Todas las bandejas están colocadas en posición horizontal.

* Los detalles del equipo y su operación fueron descritos en el "Resumen de Labores 1956-57" Publicación de UMSA - CBPF.

Los pulsos de los contadores se transmiten al equipo central mediante cables coaxiales y alimentan a un oscilador de bloqueo que a su vez dispara un extintor rápido y éste realimenta las bandejas. La salida del oscilador de bloqueo va también a un circuito de coincidencias que registra coincidencias triples entre las bandejas I, II y III y coincidencias cuádruples separadamente. El tiempo de resolución del circuito de coincidencias es menor de tres microsegundos.

Los contajes individuales de las tres primeras bandejas son del orden de 7.200 pulsos por minuto; el de las coincidencias triples, aproximadamente 340 contajes por hora y el de las cuádruples alrededor de 100 contajes en el mismo intervalo. Las coincidencias fortuitas son del orden de 3 y 0.04 por hora, para las coincidencias triples y cuádruples respectivamente.

Cada impulso salido de las coincidencias es registrado por 2 contadores mecánicos, uno de los cuales vuelve a cero cada hora. Además, los contajes de las bandejas I y II se registran continuamente. Todos los contadores mecánicos se fotografían cada hora junto con dos altímetros, un termómetro indicando la temperatura del cuarto central, y un reloj eléctrico con esfera de 24 horas. Este reloj es accionado por un "standard" de frecuencia que alimenta también un mecanismo sincrónico que dispara la máquina fotográfica, encargada del registro general.

Los contajes de todas las bandejas son verificados 5 veces por semana, mientras que una verificación rápida de todo el equipo se hace por el cálculo de los contajes horarios de las coincidencias triples y cuádruples y de las bandejas individuales. El punto de operación de cada contador se verifica día por medio y se ajusta si es necesario. Aproximadamente una vez por mes se realiza una verificación general de las condiciones de operación del equipo. Al principio las fallas en la fuente del suministro de energías al Laboratorio ocasionaba paros del equipo, requiriendo que se ponga nuevamente en marcha manualmente. Mas tarde se conectó un mecanismo automático de puesta en marcha que reconecta los circuitos.

SELECCION DE DATOS

Los datos fueron seleccionados rigurosamente y cuando cualquiera de los registros acusaba fluctuaciones mayores que los errores estadísticos toda la información de la hora en cuestión fue eliminada. Los días en que se ajustaba la altura del impulso en los contadores GM han sido igualmente eliminados.

A pesar de que los datos se leían cada hora, solamente se empleó la intensidad total de dos horas registradas, para facilitar los cálculos estadísticos. Esto también permitió el uso de las lecturas de presión instantánea, en las horas en las cuales la intensidad estaba centrada.

En forma general los datos utilizados en los cálculos corresponden a los que consideramos períodos de operación normal del equipo.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

La Fig. 2 muestra la variación, sin ninguna corrección, de las coincidencias triples y cuádruples, así como la presión correspondiente, en función del tiempo solar local. La presión está expresada en pies de altura, dada por la media de dos altímetros y estos valores pueden ser convertidos a centímetros de mercurio mediante el factor: 608 pies de altura = 1 cm de mercurio. Este factor se obtuvo de la pendiente en el punto de 5220 mts de la curva de altura en función de presión (Atmósfera Patrón Internacional). Se puede igualmente observar en la Fig. 2 que existe una correlación muy buena entre la variación de rayos cósmicos y la variación de la presión.

Los componentes armónicos de estas variaciones están expresados en los cuadrantes armónicos de la Fig. 3 y en la tabla No. 1. Las fases de estos componentes de rayos cósmicos y presión están bien correlacionadas, pero no existe un factor único entre ambos armónicos tomados separadamente. Si el segundo armónico de rayos cósmicos se debe al de la presión solamente, el primer armónico en la presión es demasiado pequeño para explicar el vector de rayos cósmicos.

Por otro lado, si el primer armónico de rayos cósmicos se supone originado en su totalidad por el de presión, habrá un segundo armónico residual cuya causa sería difícil de establecer. Como no existe ninguna causa conocida, excepto la oscilación semidiurna de la presión, se puede producir una componente de amplitud importante semidiurna en rayos cósmicos y por otro lado el primer armónico puede ser causado por un efecto de temperatura, hemos supuesto que el segundo armónico en la variación de las coincidencias triples y cuádruples se debe al de la presión, siendo la correlación entre estos vectores mayor que 0.96, Se empleó la expresión siguiente para el cálculo:

$$B = CR_2 \cdot 100/P_2 \cdot \cos \theta$$

donde:

B = coeficiente de presión

CR_2 = amplitud del vector del segundo armónico de la intensidad de rayos cósmicos.

P_2 = amplitud del vector del segundo armónico de la presión (cm Hg)

θ = Angulo entre CR_2 y $-P_2$

Los coeficientes así obtenidos son los siguientes:

Para las coincidencias triples: $(- 11.05 \pm 2.38)$ % por cm Hg.

Para las coincidencias cuádruples: $(- 7.08 \pm 3.96)$ % por cm Hg.

Una verificación de estos coeficientes se obtuvo mediante el método de los cuadrados mínimos aplicado a las curvas totales de intensidad y presión. Por este método se obtuvieron los resultados que siguen:

Para coincidencias triples: $(- 10.75 \pm 2.85)$ % por cm Hg.

Para coincidencias cuádruples: $(- 7.95 \pm 3.70)$ % por cm Hg.

Se puede constatar que, considerando los errores estadísticos, ambos resultados concuerdan. En vista de que consideramos que las suposiciones en que

está basado el primer método son más válidas para nuestro caso, los primeros coeficientes encontrados fueron utilizados en los cálculos subsiguientes.

Señalamos que nuestras energías para las coincidencias cuádruples corresponden aproximadamente a las de la experiencia de Greisen⁶. Por la curva de absorción dada por este investigador se podría esperar una reducción del 15% en el coeficiente de presión para estas coincidencias. A pesar de que los errores experimentales nuestros, no permiten confirmar categóricamente este hecho, la forma de las curvas, dadas en la Fig. 2, que muestran una muy buena correlación entre presión e intensidad de rayos cósmicos, dan una fuerte indicación de que el coeficiente bajo, observado en las coincidencias cuádruples, tiene un significado verdadero.

VARIACION SIDERAL

En vista de que las intensidades se promediaron sobre intervalos de dos horas era imposible reconvertir los datos en tiempo sidereal cada día. Consecuentemente los promedios mensuales, corregidos para presión fueron recorridos en dos horas cada mes, principiando desde septiembre, de manera de que se obtenían para cada mes datos en función del tiempo standard local sidereal. Este procedimiento reduce la amplitud de la variación sidereal obtenida. El efecto pudo corregirse mediante el método sugerido por Chapman y Bartels⁷.

La Fig. 4, con rayado lleno, muestra la variación sidereal de las coincidencias triples cuádruples obtenidas después de la corrección de presión únicamente. Las curvas punteadas dan los resultados obtenidos después de otras correcciones que señalamos en lo que sigue.

En vista de que las coincidencias cuádruples son registradas también como coincidencias triples, existe la contribución de la curva de la Fig. 4 b, en la Fig. 4 a. Esta contribución puede calcularse multiplicando la curva de la Fig. 4 b, por 0.33 (que corresponde al factor entre los contajes horarios de coincidencias cuádruples o triples). La curva punteada en la Fig. 4 a muestra la variación residual que queda después de haberse restado la contribución de las

cuádruples. Es evidente que la variación sideral en los chubascos dando solamente coincidencias triples es muy pequeña y puede considerarse como isotrópica dentro de nuestros errores. Por consiguiente, en las posteriores investigaciones en función del tiempo sideral, hemos concentrado nuestra atención en la variación de las coincidencias cuádruples.

La componente solar puede además tener una modulación estacional. Este factor, así como la corrección incompleta por factores meteorológicos puede dar lugar a una variación sideral aparente. Después de efectuar las correcciones sugeridas por Farley y Storey⁴ para estos elementos se ha obtenido la curva que aparece en la Fig. 4 b.

Como se ve en la curva antes señalada (4 b) la variación diurna sideral tiene una amplitud de 1.6% con un máximo, a las 14:30 tiempo sideral standard local o 14:00 tiempo local sideral*.

Los coeficientes armónicos de esta curva son:

Armónico	Amplitud	Hora de máximo tiempo sideral standard local	Hora de máximo tiempo sideral local
1°	1.10% ± 0.20%	17.37 ± 0.69 h.	16.84 ± 0.69 h.
2°	0.71% ± 0.20%	2.17 ± 0.52 h.	1.10 ± 0.52 h.

El hecho de que la hora en que se produce el máximo del primer armónico es aproximadamente a las 17:00 tiempo sideral local y el de que existe un segundo armónico bastante importante podría explicarse con la interpretación de Davis⁸ la cual sugiere que la anisotropía sideral se debe, tanto a la aceleración de los rayos cósmicos por el mecanismo de Fermi cuanto a la falta de homogeneidad en la densidad de los rayos cósmicos perpendicularmente a las líneas del campo magnético interestelar. Sin embargo el haber encontrado una anisotropía en el intervalo de energías entre 5×10^{14} ev y 2×10^{15} ev implica que la anisotropía registrada existe solamente en las energías superiores a 2×10^{15} ev, lo cual es

*Tiempo Standard Local = UT - 4.000 horas; tiempo local = UT - 4.533 hora. Esta diferencia se debe a que Chacaltaya está desplazado 8° del meridiano horario de 60 W.

difícil de explicar a la luz de las actuales teorías.

CONCLUSIONES

En la banda de energías por encima de los 10^{15} ev hay aparentemente una variación sidereal de aproximadamente 1.6 con un máximo a las 14:00 tiempo local sidereal.

El coeficiente barométrico para chubascos extensos registrados a una altura de 5220 mts , cerca del ecuador resultó ser de $- 11.05 \pm 2.38\%$ por cm Hg y $- 7.08 \pm 3.96\%$ por cm Hg para dos geometrías diferentes, respondiendo a energías de 5×10^{14} ev y 2×10^{15} ev respectivamente. El último de estos coeficientes es indicativo de la existencia de un valor menor que el encontrado para esas energías en latitudes intermedias y al nivel del mar.

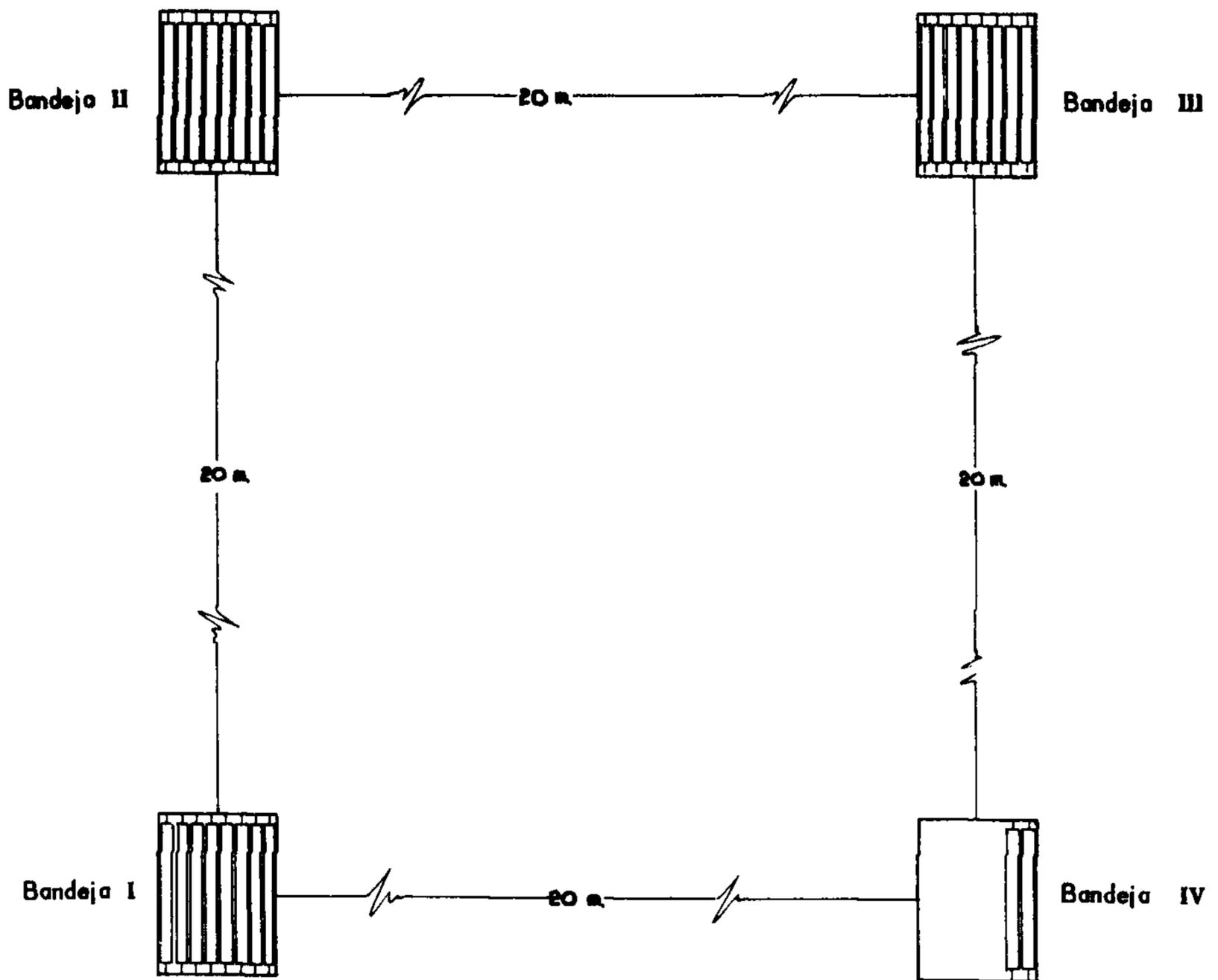
AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. R.W. Williams por sus valiosos consejos. Al Sr. R. Palmeira por su ayuda en la instalación del equipo y al Prof. J. Hersil y Srs. A. Lazo y J. Saavedra por su cooperación en la operación. Damos las gracias igualmente a la Srita. I. Argandoña por su ayuda en los cálculos.

REFERENCIAS

- 1.- Hodson A.L., Proc. Phys.Soc. A 6h, 1061 (1951).
- 2.- Daudin A. y Daudin J., J. Atmos. Terr. Phys. 3,245 (1953)
- 3.- Cranshaw T.E. y Galbraith W., Phil.Mag. 45, 1109 (1954) series 7
Phil.Mag. 2 804 (1957) series 8
- 4.- Farley F.J.M. y Storey J.R. Proc.Phys.Soc. A67.996 (1954).
Proc.Phys.Soc. B70.843 (1957).
- 5.- Chapman N.G. y Ryser N.V. J. Atmos. Terr.Phys. II 291 (1957).
- 6.- Greisen K., Progress in cosmic rays Vol. III North Holland Publishing.
- 7.- Chapman S. y Bartels J., Geomagnetism. Vol. II Oxford Press (1940)
- 8.- Davis L., Phys.Rev. 96, 743 (1954).

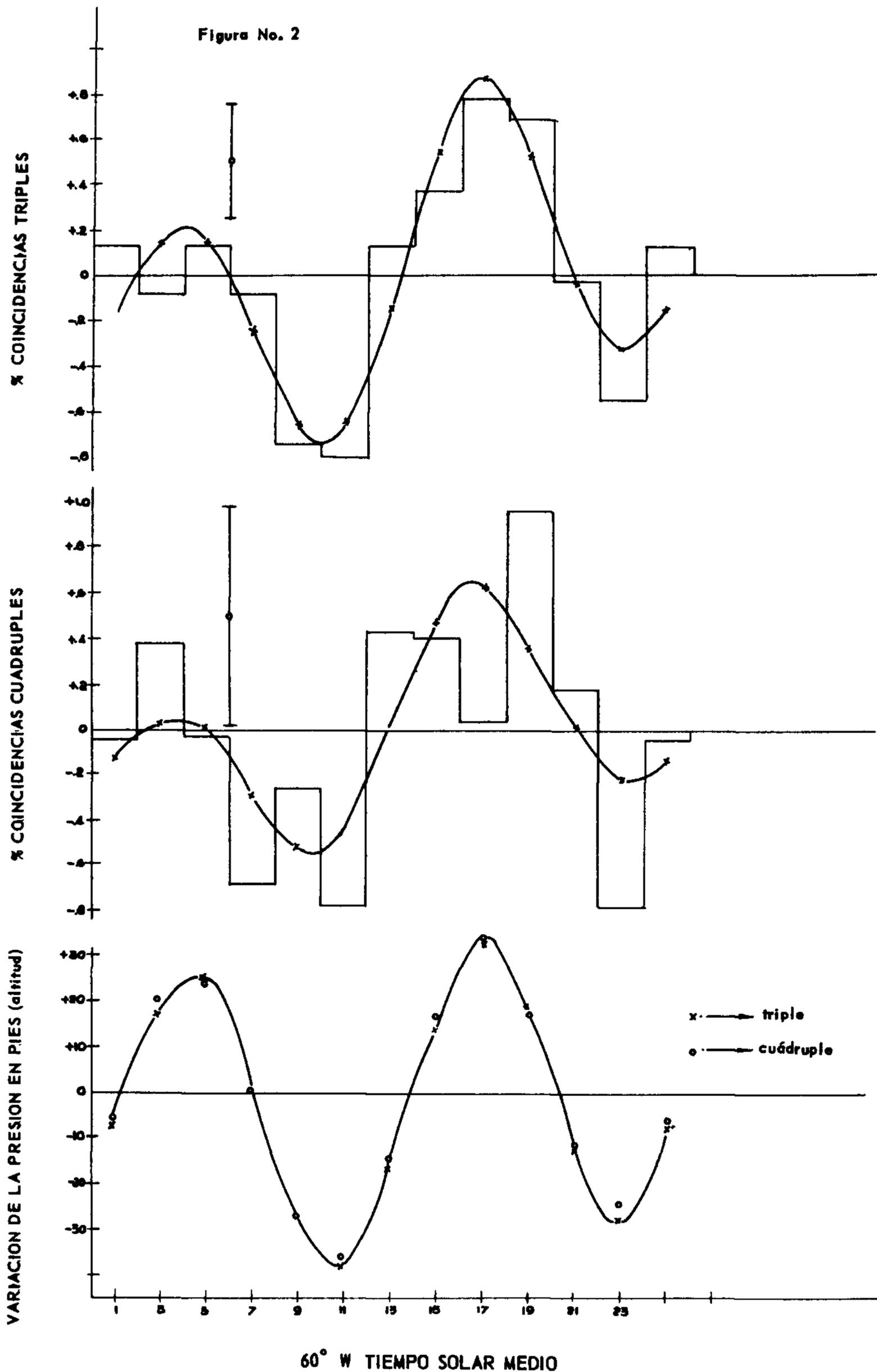
FIGURA No. 1



DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

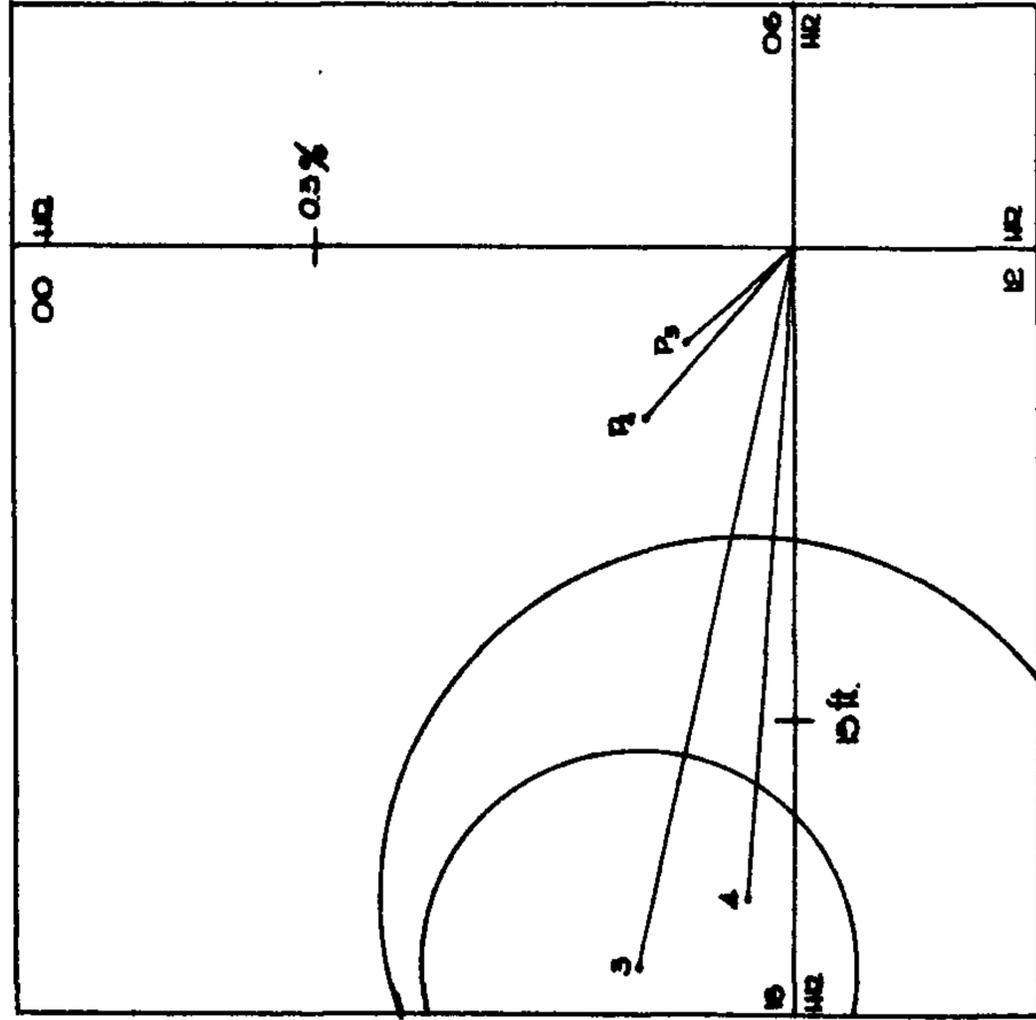
VARIACION DIURNA EN EL TIEMPO SOLAR SIN NINGUNA CORRECCION

Figura No. 2



60° W DIAGRAMAS ARMONICOS EN TIEMPO SOLAR MEDIO

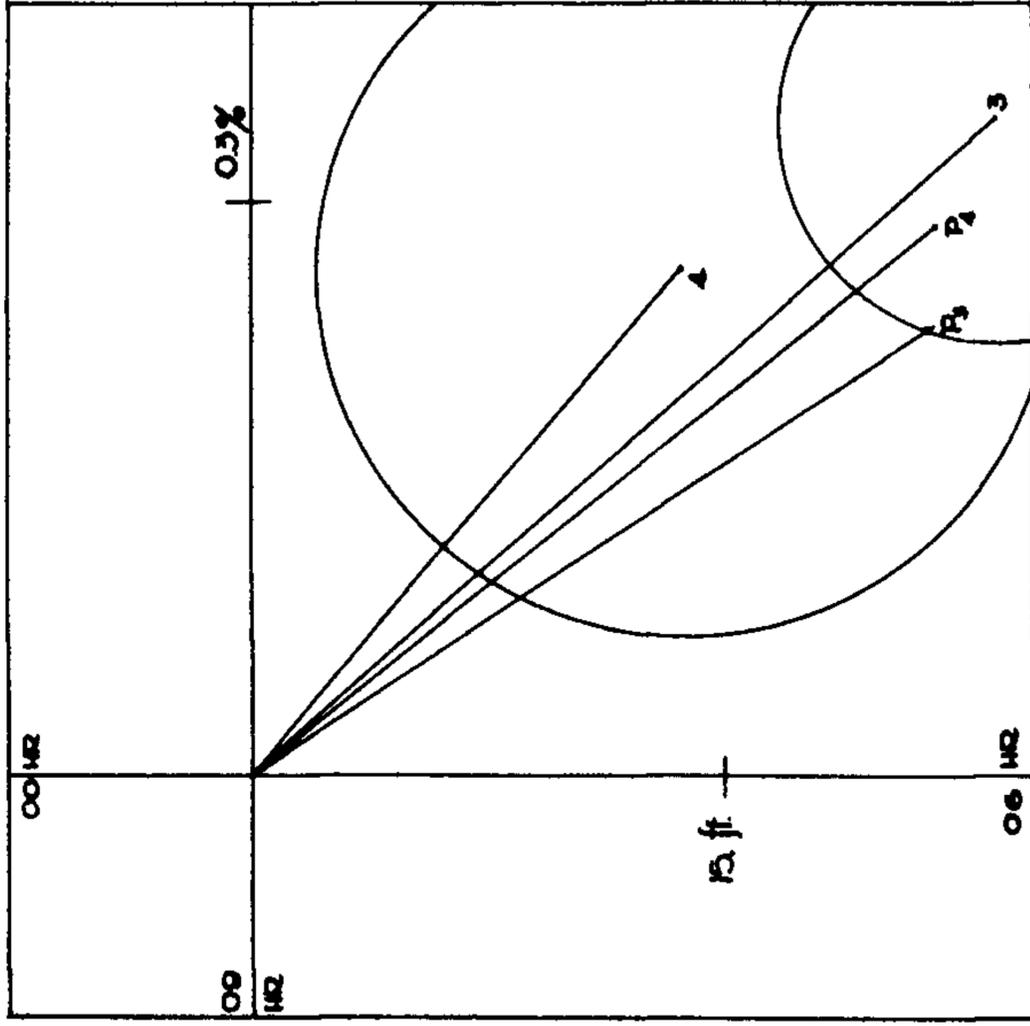
Figura No. 3



Primeros - VECTORES ARMONICOS

P_3, P_4 - VECTORES DE PRESION

5.4. - VECTORES DE COINCIDENCIA



Segundos - VECTORES ARMONICOS

VARIACIONES DIURNAS EN TIEMPO SIDERAL

