

**DICIEMBRE 1976**

# **G E O A C T A**

**VOLUMEN 8**

**NUMERO 1**

*publicado por:*  
**ASOCIACION ARGENTINA DE GEOFISICOS Y GEODESTAS**

*donación*

**DICIEMBRE 1976**

*J. Vihman*

# **G E O A C T A**

**VOLUMEN 8**

**NUMERO 1**

*publicado por:*

**ASOCIACION ARGENTINA DE GEOFISICOS Y GEODESTAS**

**RIVADAVIA 1917**

**BUENOS AIRES**

**Precio del Ejemplar \$ 800.—**

**Número de inscripción en el Registro de la Propiedad Intelectual 1.186.616.**

## **COMISION DIRECTIVA**

### *Presidente*

Ing. Daniel A. Valencio

### *Vicepresidente*

Ing. Alberto Suárez Linch

### *Secretario*

Ing. Fernando Vila

### *Tesorero*

Lic. Horario Ghielmetti

### *Vocales Titulares*

Cnel. Ing. Carlos Quinteros

Ing. Eduardo García

### *Vocales Suplentes*

Ing. Oscar Parachu

Ing. Milton Quiroga

## **SUBCOMISION DE PUBLICACIONES**

Ing. Simón Gershanik

Cnte. José A. Alvarez

Dr. José A. J. Hofmann

Ing. Rodolfo Martin

Dr. Otto Schneider

Ing. Esteban Horvat

### **Editor**

Ing. Juvenal Llordén Ramírez

El presente número se ha financiado parcialmente con un subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, que no se hace responsable del contenido del mismo.

En este número de **GEOACTA** se publican los trabajos relacionados con la 8ª Reunión Científica realizada en Salta, en marzo de 1975.

Los originales entraron en imprenta a mediados de septiembre de 1976 y la impresión termina a mediados de diciembre del mismo año.

## RENDIMIENTO DE UNA RED DE OBSERVACION DE PRECIPITACIONES ORIGINADAS EN TORMENTAS SEVERAS

MARIA ELENA SALUZZI — JOSÉ M. NUÑEZ — RAUL CARDOZO  
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

Se caracteriza la conducta precipitante de dos tormentas severas en la zona norte de Mendoza, a través de la información meteorológica sinóptica, y del relevamiento de caída de precipitación sólida que efectúa el Seguro Agrícola de la provincia, a través de la estimación de daños. Se realiza el mismo trabajo con la información que proporciona la mesored instalada, analizando en detalle las cualidades de la precipitación según sea sólida o líquida.

Se estudia en particular la información provista por los "medidores de impacto", de los que se describe un procedimiento de calibración. Se juzga el comportamiento de la red instalada con respecto a su capacidad para tipificar la conducta de la precipitación asociada a la tormenta severa, sobre un área dada, en condiciones naturales. Se anticipa esta capacidad para el caso presunto de las condiciones artificialmente modificadas.

**The precipitating behavior of two severe storms at north of Mendoza is studied. This is obtained on the basis of synoptic meteorological information and hailstone damage evaluation performed by the Agriculture Insurance Office of Mendoza.**

**The same work is carried out on the basis of the information provided by the installed network, by analyzing the precipitations quality in detail, according to its solid or liquid nature. Information provided by "hailpads" is especially studied; a procedure for calibration of "hailpads" is depicted.**

**The network capability to characterize the behavior of precipitation associated to a severe storm, over a given area in natural conditions, is evaluated. This capability for the hypothetical case of artificially modified conditions, is advanced.**

### INTRODUCCION

Conocida por todos los meteorólogos, la aleatoriedad espacial y temporal del granizo, es una de las características que lo definen y ha sido y es la circunstancia que hace tan difícil la observación de su ocurrencia como asimismo la del conjunto de factores meteorológicos que lo acompañan.

De hecho pretender detectar características de una manga de granizo presupone la realización de observaciones en escala mucho menor que la sinóptica. Esto significa la instalación de redes de observación de malla adecuada o sea capaces de impedir el filtrado del fenómeno a observar.

Según Fujita (1962) para poder configurar el comportamiento meteorológico de una tormenta severa (a través de las precipitaciones especialmente) la malla de la red debe mantener una distancia regular comprendida entre los 2 y 8 km.

Según Mason (1969) los movimientos verticales del aire (asociados con nubes precipitantes) o la velocidad de caída de los hidrometeoros, la velocidad del viento horizontal y la convergencia-divergencia en escalas  $\leq 1$  Km, solo pueden observarse en tiempo real con por lo menos 1 radar Doppler, apuntando verticalmente o desplazándose de la vertical un ángulo conocido, aplicando el método VAD (vertical azimuth display) (Lhermitte y Atlas, 1961) y eso en ausencia de turbulencia; es decir que el método recomendado no promete nada para el caso de nubes convectivas que son precisamente las que nos interesan.

El presente trabajo trata de valorar la información que sobre las características de las tormentas severas que ocurren inmediatamente a sotavento de los Andes, es capaz de brindar la mesored instalada en la zona considerada de estudio para el Plan Nacional de Lucha Antigranizo.

### DESCRIPCION DE LA MESORED INSTALADA EN MENDOZA

Centrada en la ciudad de San Martín, futuro asiento del radar FPS-18, la mesored se extiende cubriendo un círculo de 40 Km. de radio que comprende la zona de estudio y abarca por completo la zona de 18 Km. de radio que será defendida.

En cada puesto de observación se encuentran instalados un pluviogrametrómetro y un medidor de impactos y distribuidos regularmente, los pluviógrafos testigos. El número de puestos es de 124 y los registradores de lluvia son 30.

El **pluviogrametrómetro** (diseño nacional especial para el proyecto) es un receptor de lluvia y granizo, con la particularidad de separar por completo ambas precipitaciones. El receptor está ubicado en el centro del instrumento y posee sobre su tope una malla de diseño y forma especial (es un cono romo) que a la vez que permite el escurrimiento hacia el depósito de toda el agua de lluvia, provoca el deslizamiento hacia los bordes de este depósito de las piedras de granizo ocasionando su caída en el depósito exterior (que en forma de anillo circular rodea al anterior). En este depósito el granizo (separado del fondo por otra malla) se conservará cierto tiempo (que se puede prolongar si se colocó hielo seco) y finalmente derretirá y acumulará en el fondo. Se puede medir así con

una probeta graduada en  $\text{cm}^3$  por separado el agua de lluvia y la que proviene de las piedras. La calibración del instrumento adjudica a una lectura de  $1 \text{ cm}^3$  de agua en la probeta la equivalencia de 100 l. de agua de lluvia por Ha. ó 100 Kg. de piedra.

La probeta está graduada también en mm. y una lectura de 5 mm. de agua equivale a 50.000 ls. ó 50.000 Kg. por Ha., de piedra.

Los **medidores de impacto de granizo** son planchas de poliestireno expandido (Telgopor) de  $0,25 \times 0,50 \text{ m}$ . que representan  $1/8$  de  $\text{m}^2$ . Esta plancha se cubre con una lámina de papel de aluminio que se asegura sobre la misma con los rebordes de la plancha metálica sobre la que se apoya todo el sistema.

El papel de aluminio brinda un registro permanente y fehaciente del impacto de las piedras. Se coloca todo asegurándolo sobre un poste a 1 m. sobre el nivel del suelo y orientándolo con el eje mayor del rectángulo en posición NS.

### **Calibración de los medidores de impacto:**

Los medidores de impacto fueron calibrados, en función del diámetro supuesto de las piedras, para brindar una medida de la **energía** del impacto y del **diámetro** del granizo en una primera aproximación. La experiencia de calibración se hizo dejando caer desde diversas alturas (calculadas en función de la velocidad terminal adjudicada a los granizos) esferas de acero cuyo diámetro se supone coincidente con el de las piedras naturales. Se tuvo en consideración en los cálculos el efecto de la fuerza de arrastre, la densidad adjudicada comúnmente al granizo y el número de Reynolds del aire supuesto para la caída de formas esféricas ligeramente achatadas  $R_e = 0,5$ , con lo cual fue posible calcular las velocidades terminales en función del diámetro. En esta primera experiencia de calibración no se consideró el viento horizontal que podría haber afectado la verticalidad de la caída y por ende la marca que el granizo imprime sobre la lámina de aluminio.

### **La malla de la red:**

Dado que nuestra red se encuentra colocada sobre un área cultivada primordialmente con vid, son los agricultores los que están a su cuidado, pero se la recorre aproximadamente una vez cada 15 días en forma regular, o después de una tormenta, para recoger la información que se hubiere acumulado y verificar su correcto funcionamiento. Los aparatos están colocados cada 6 Km, sobre el área cultivada. En las zonas desérticas aparecen las lagunas inevitables, porque especialmente la ausencia de caminos impide el acceso. Se considera que la densidad obtenida es suficiente para detectar las mangas de granizo y se verá que los impactores brindan un registro fidedigno de la precipitación, superando aún la observación de los mismos agricultores, que en experiencias anteriores, eran los directamente encargados de denunciar la ocurrencia de granizo (solo lo hacen cuando éste les provoca daño apreciable).

#### 4 RENDIMIENTO DE UNA RED . . .

Se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 1**

**VALORES RESULTANTES DE LA ENERGIA DE IMPACTO**

$\varnothing_r$	h	$\varnothing_m$	Ec
cm	m	cm	Joule
0,70	0,77	0,20	0,011
+ 0,78	1,09	0,28	0,022
0,86	0,99	0,36	0,026
0,89	1,02	0,46	0,029
0,94	1,07	0,44	0,037
1,02	1,19	0,49	0,051
1,10	1,29	0,60	0,069
1,18	1,40	0,62	0,092
1,27	1,53	0,66	0,123
1,35	1,62	0,68	0,157
1,58	1,85	0,95	0,296
1,73	2,02	1,21	0,425
1,81	2,13	1,30	0,509
2,05	2,51	1,70	0,838

Siendo:

- $\varnothing_r$  = diámetro de las esferas equivalentes a granizos de igual diámetro.
- h = altura (cota desde donde se arrojaron las esferas).
- $\varnothing_m$  = diámetro del impacto resultante.
- Ec = energía cinética de impacto.
- + El incremento de altura registrado para el diámetro 0,78 fue motivado por la menor densidad de dicha esfera.

**EVALUACION DEL RENDIMIENTO COMPARATIVAMENTE CON LA INFORMACION TRADICIONAL**

Se analizan 2 tormentas acaecidas en Mendoza, durante la última temporada. La información meteorológica tradicional fue utilizada en primera lugar para formular el pronóstico y estudiada en tiempo diferido para caracterizar ambas situaciones.

Tanto en la situación del 10/11/74 (Fig. 1) como el 25/12/74, se observa en el mapa de superficie, la presencia de un anticiclón dinámico que por su situación relativa con respecto a la zona en estudio, (directamente al NE) advecta aire cálido y húmedo sobre ella, proveyendo las condiciones termodinámicas

necesarias para el desarrollo de la convección.

Asimismo se cumple para ambas situaciones la presencia de una vaguada de altura entrante desde el Oeste, con lo que se completa el cuadro de la condición suficiente para el desarrollo, a sotavento, de la convección severa (Saluzzi y Núñez, 1972). Los sondeos de viento, confirman la presunción que brindan los mapas de superficie, en los que se advierte el pobre desarrollo de la depresión del NE argentino (Lichtenstein, 1974), de que el viento en altura es débil. Alcanza 50 nudos, recién en 400 mb. en solo uno de los dos casos.

Esto significa que la principal condición inhibitoria de la convección en la zona norte de Mendoza, inmediatamente al pie de los Andes, **no está** presente.

Todo el cuadro es favorable entonces para el desarrollo de la convección severa y así respondieron al mismo los métodos objetivos de pronóstico aplicados.

Se dispone asimismo de las secuencias horarias y trihorarias de todas las estaciones meteorológicas de la provincia y se advierte que ni en los mapas ni en las secuencias horarias, para ninguna de las dos situaciones, existen registros de precipitación sólida. Sí, en cambio, se acusa la presencia de la nubosidad convectiva. Es decir, la información meteorológica tradicional no revela, para estas situaciones, la ocurrencia de granizo.

## LA EVALUACION DE DAÑOS

Sin embargo, para ambas fechas, ocurrieron en la zona norte de Mendoza varias granizadas.

Para el 10/11/74, el Seguro Agrícola de la Provincia, realizó la estimación de los daños que correspondieron a las denuncias recibidas. Se publica el mapa confeccionado por el Seguro para esta granizada (Fig. 2) y la información recopilada sobre la misma:

### **Información del Seguro – Granizada del 10/11/74.**

Departamento: Luján de Cuyo.

Zona afectada: Ugarteche – Anchoris – Carrizal de Arriba.

Origen de la tormenta: al SO en campo inculto.

Hora de comienzo: 20 horas.

Tiempo de caída del granizo: 20 minutos.

Intensidad: moderada.

Superficie del suelo cubierta por las piedras: 50 al 98 %.

Tamaño: Diámetro preponderante: 0,75 cm.

Diámetro mayor: 1,5 cm.

Forma: esférica.

Precipitación de agua líquida:

Primero seco, luego abundante precipitación.

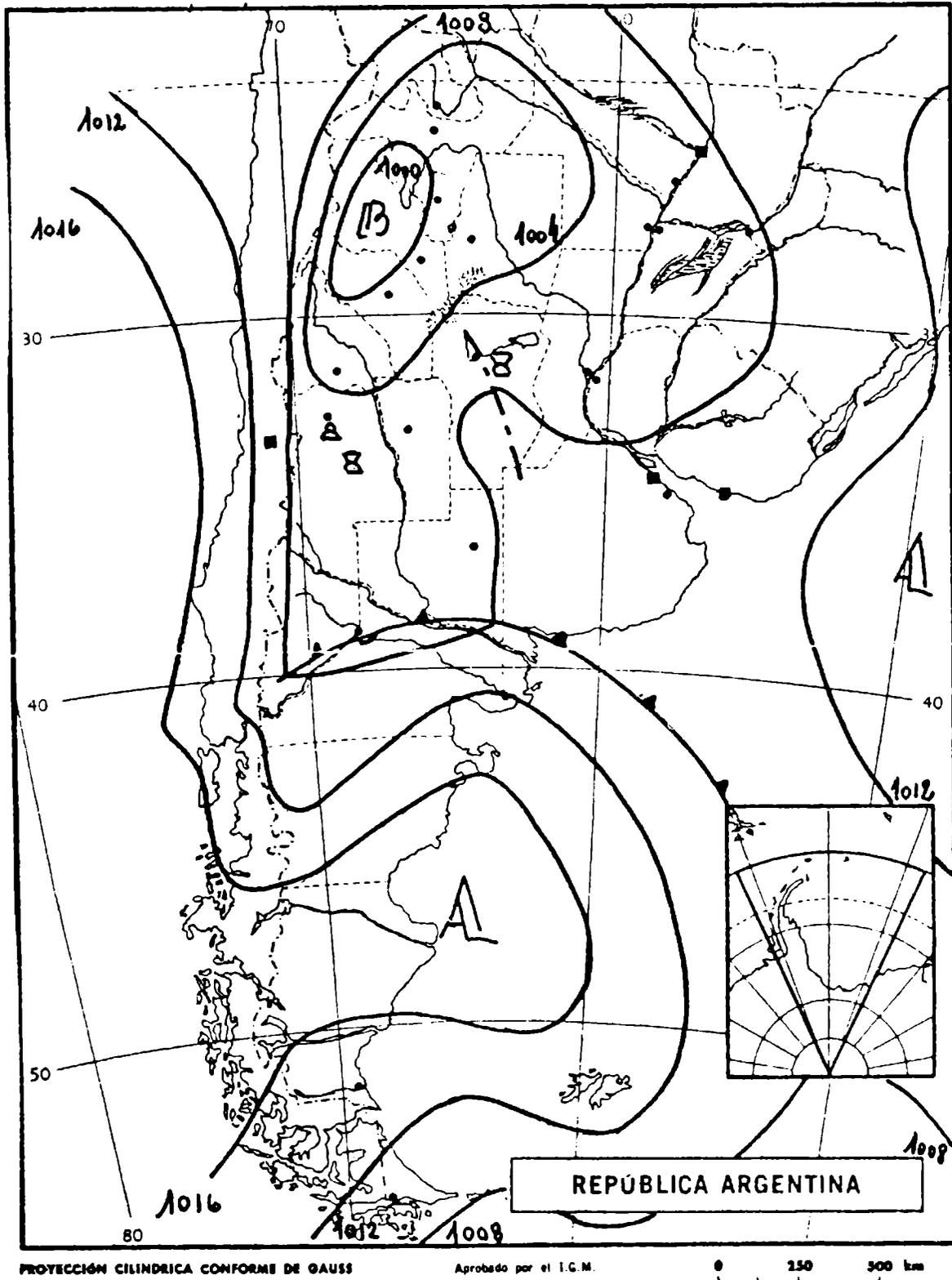
Trayectoria del avance: SO a NE

Superficie afectada: 1.095,02 Há – Daño ponderado: 21,33 %

Para el 25/12/74 el Seguro no acusa ninguna granizada en la zona norte de la Provincia.

6 RENDIMIENTO DE UNA RED

Figura 1 Situación sinóptica de superficie 10/11/1974 18TMG.



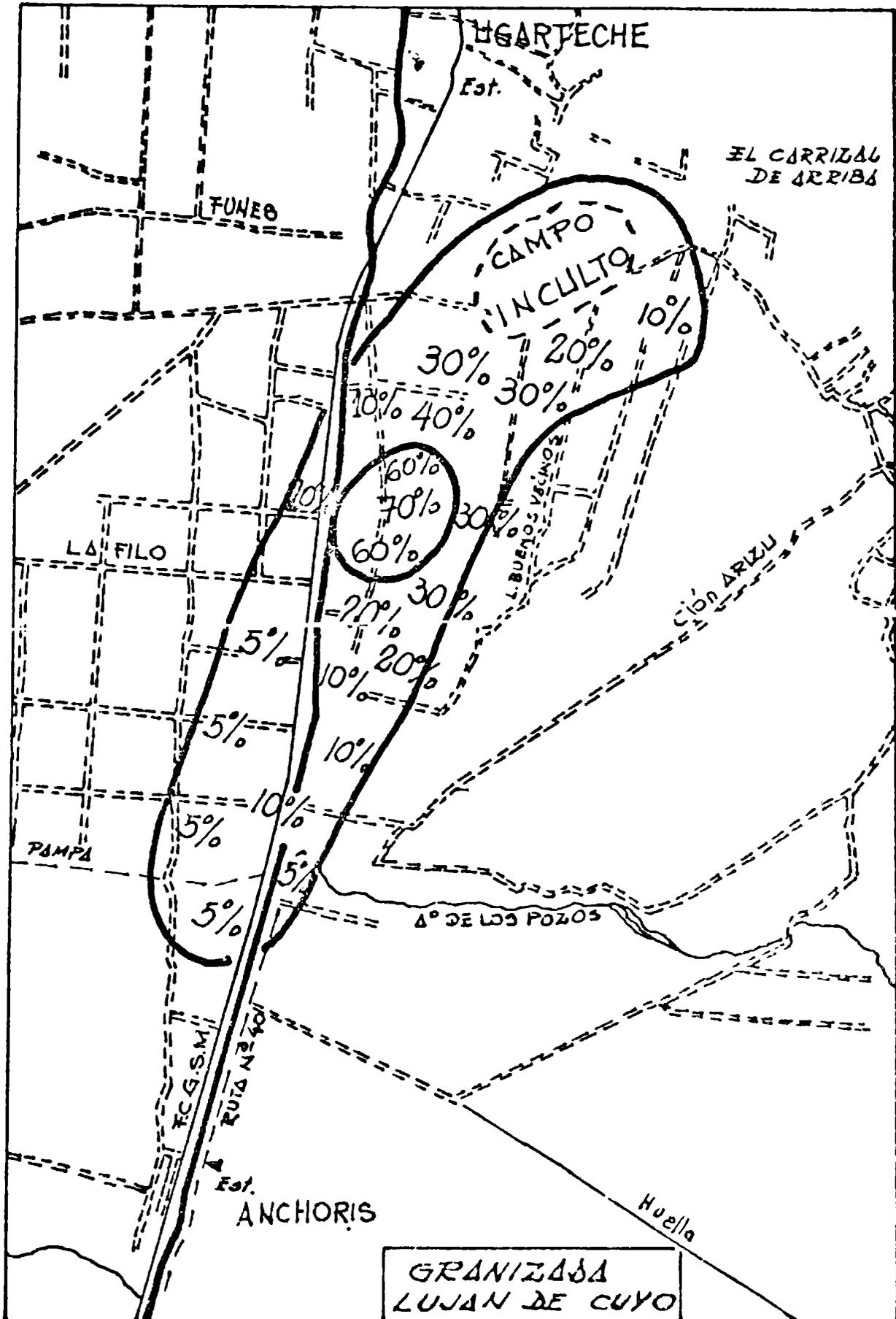


Figura 2



## LA INFORMACION DE LA MESORED

Para la tormenta del 10/11/74, la mesored denuncia la caída de precipitación sólida, con registro en los impactores, en 10 puestos, 3 de los pluviógrafos testigos acusaron precipitación líquida y ésta fue acusada además por 12 pluviogramas.

La tormenta del 25/12/74 fue acusada por los impactores en 8 puestos, 4 pluviógrafos registraron lluvia y 6 pluviogramas completaron el registro.

El vuelco y ordenamiento de la información permitió ubicar varias zonas de precipitación.

En los distintos gráficos se muestra el análisis de la información reunida.

## CONCLUSIONES

Las características generales que pueden detectarse resultaron las siguientes: salvo para la zona de la manga más intensa, que fue la que causó daño y fue detectada por el Seguro de la Provincia, y en la que, según la información de éste el granizo estuvo acompañado de fuerte lluvia después de la caída en seco de las primeras piedras, no hay información de que la lluvia se extendiera más; vemos para todos los demás casos que la zona de lluvia no sólo acompaña la precipitación sólida sino que se extiende más que ésta (a veces la enmarca) especialmente en la dirección de avance de la tormenta.

Asimismo, por la denuncia de los impactores en los puestos 1606 y 2216, puede observarse, que los límites de la caída de piedra se extienden enmarcando la zona dañada, con una orla de piedra de mucho menor diámetro, que no es detectada sino por los impactores.

Esta observación y la graduación de la intensidad del daño hecha por el Seguro confirman que el comportamiento general de una manga presenta un núcleo central donde se concentra la piedra de mayor tamaño orlado por otra zona donde el daño decrece paulatinamente hasta desaparecer, pero aún siguen cayendo piedras más pequeñas que finalmente cesan. Esta observación, ya ha sido mencionada en la literatura (Gaivoronsky et. al., 1973 — Admirat 1973).

Esta característica de la precipitación sólida, observada en el suelo, induce a suponer que en la nube, existe una zona preferida donde las piedras crecen hasta mayores tamaños, mientras en los márgenes de la zona, las condiciones de crecimiento no son tan favorables y por lo tanto las piedras precipitan antes de alcanzar gran tamaño (English, 1973). Este cuadro parece configurar una estructura determinada para la corriente ascendente en la nube, según la cual dibujada en un plano transversal a la dirección de avance de la tormenta, debería ser más intensa en el centro y disminuir hacia sus bordes. La imagen se repite en el sentido longitudinal.

Otra característica que parece repetirse siempre que la precipitación sólida alcanza tamaños significativos, es el hecho de que el comienzo de la precipitación está marcado por la caída en seco de las piedras más grandes, seguida recién después de unos instantes de la caída conjunta de precipitación líquida y sólida.

## 10 RENDIMIENTO DE UNA RED . . .

Esto hace pensar que la debacle de la corriente ascendente, comienza en ese momento y se continúa a medida que sucede la caída de toda la masa de hidrometeoros siguientes; los que son desplazados (en virtud del movimiento de avance de la nube en la dirección de su desplazamiento) hacia la parte posterior de la misma, hecho que a su vez favorece la restitución de la corriente ascendente si la nube en su avance encuentra condiciones favorables para permitir y mantener su desarrollo.

En suma, la presencia de la mesored nos ha permitido un registro de la precipitación acaecida en las dos fechas analizadas, mucho más completo que los habituales. Asimismo el análisis del comportamiento de la precipitación sólida brinda una serie de informaciones vinculadas a la estructura de la tormenta, que no puede obtenerse de ninguno de los medios tradicionales de observación adecuados a la observación de fenómenos meteorológicos de diferente escala.

Con respecto a la red, en sí misma, su malla parece adecuada. Cabría recomendar se tratara de cubrir paulatinamente (y lo será a medida que avance la zona cultivada) los claros que la presencia del desierto impone en la zona en estudio. La posibilidad de poder determinar en forma precisa el tipo de precipitación que cae de una nube dada en un momento determinado de su evolución y obtener su documentación, permite estudiar por separado las características de nubes que dan precipitación líquida, sólida o mixta o que no dan precipitación, sumada a la información de radar y radiosondeo; dichas características permitirán individualizar las nubes graniceras y posibilitará el cálculo del tanto por ciento de probabilidad que tiene una nube dada de evolucionar hasta dar precipitación sólida. Esto configura el primer paso de la investigación emprendida para detectar presuntivamente las nubes capaces de dar granizo, en tiempo real.

Asimismo, y ésta es la conclusión más significativa, desde el punto de vista de la evaluación de la futura experiencia de intervención artificial, la mesored se ha mostrado capaz de detectar la caída de piedra de tamaño muy pequeño. Dado que, como resultado de la acción preventiva sobre las grandes nubes, se espera, si es exitosa, suprimir o disminuir el tamaño de la precipitación sólida para que no cause daño, es muy importante que toda ella sea detectada, si se produce, a los fines de comparación y evaluación de resultados.

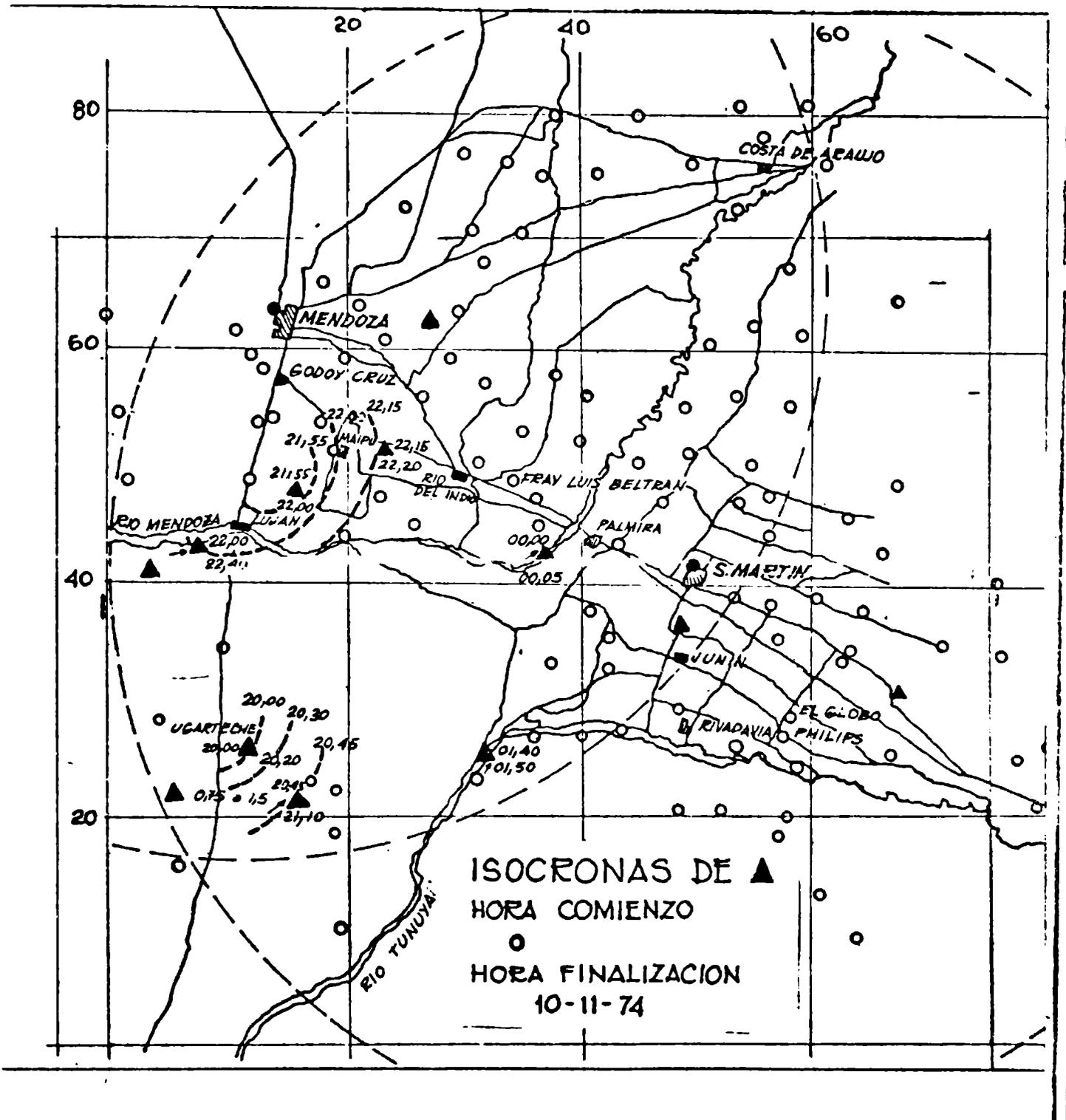


Figura 4

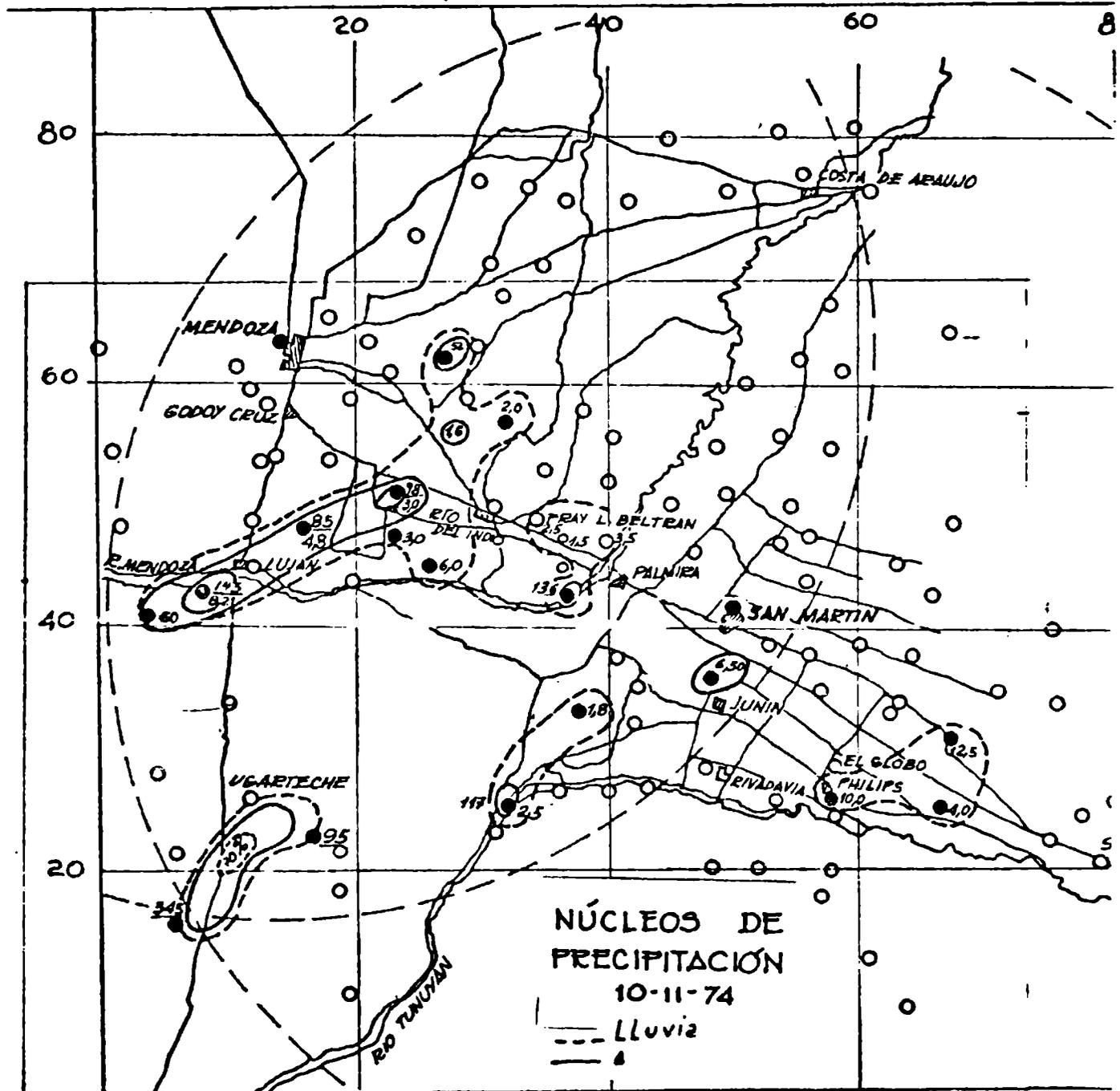


Figura 5

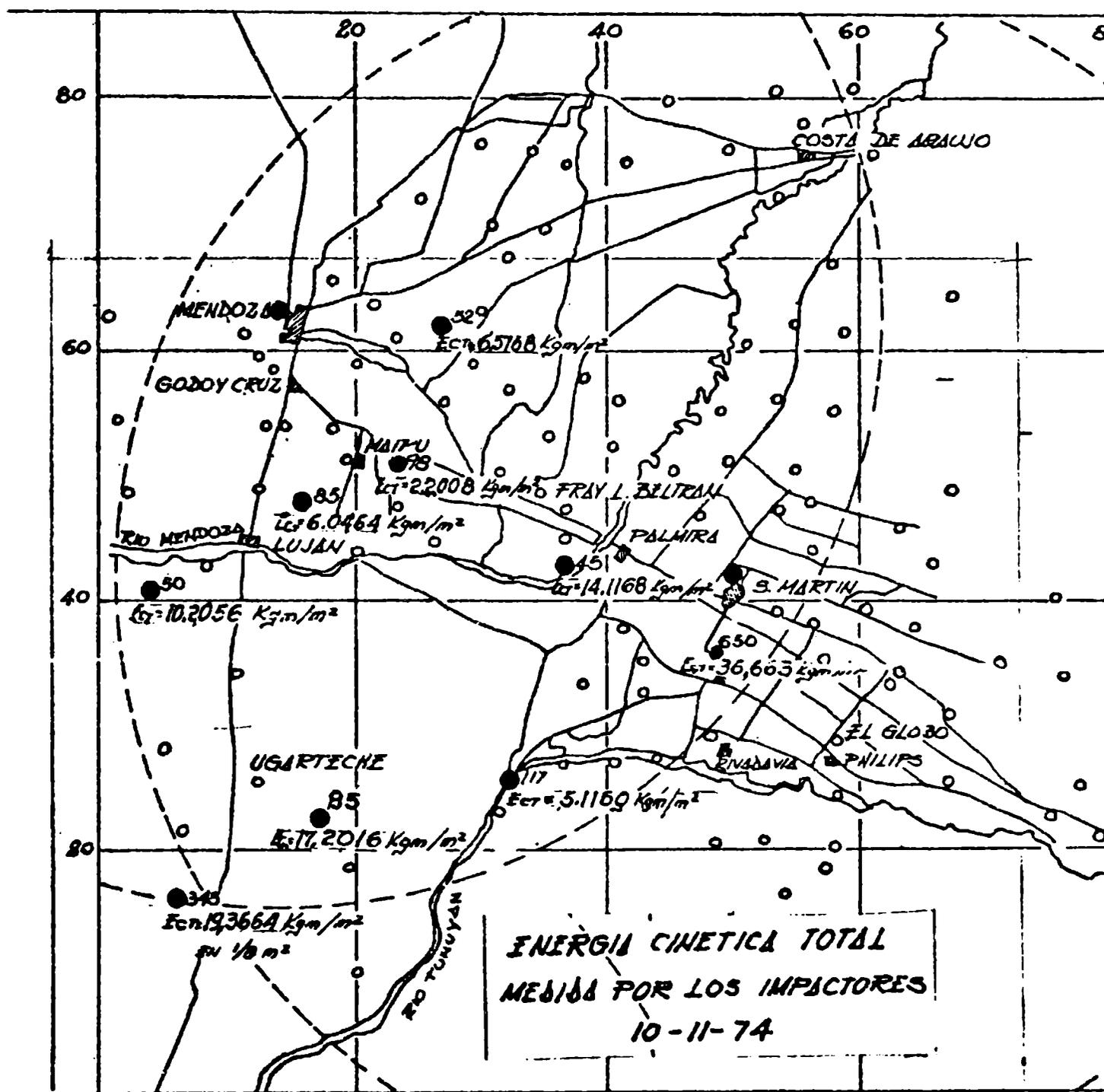


Figura 6

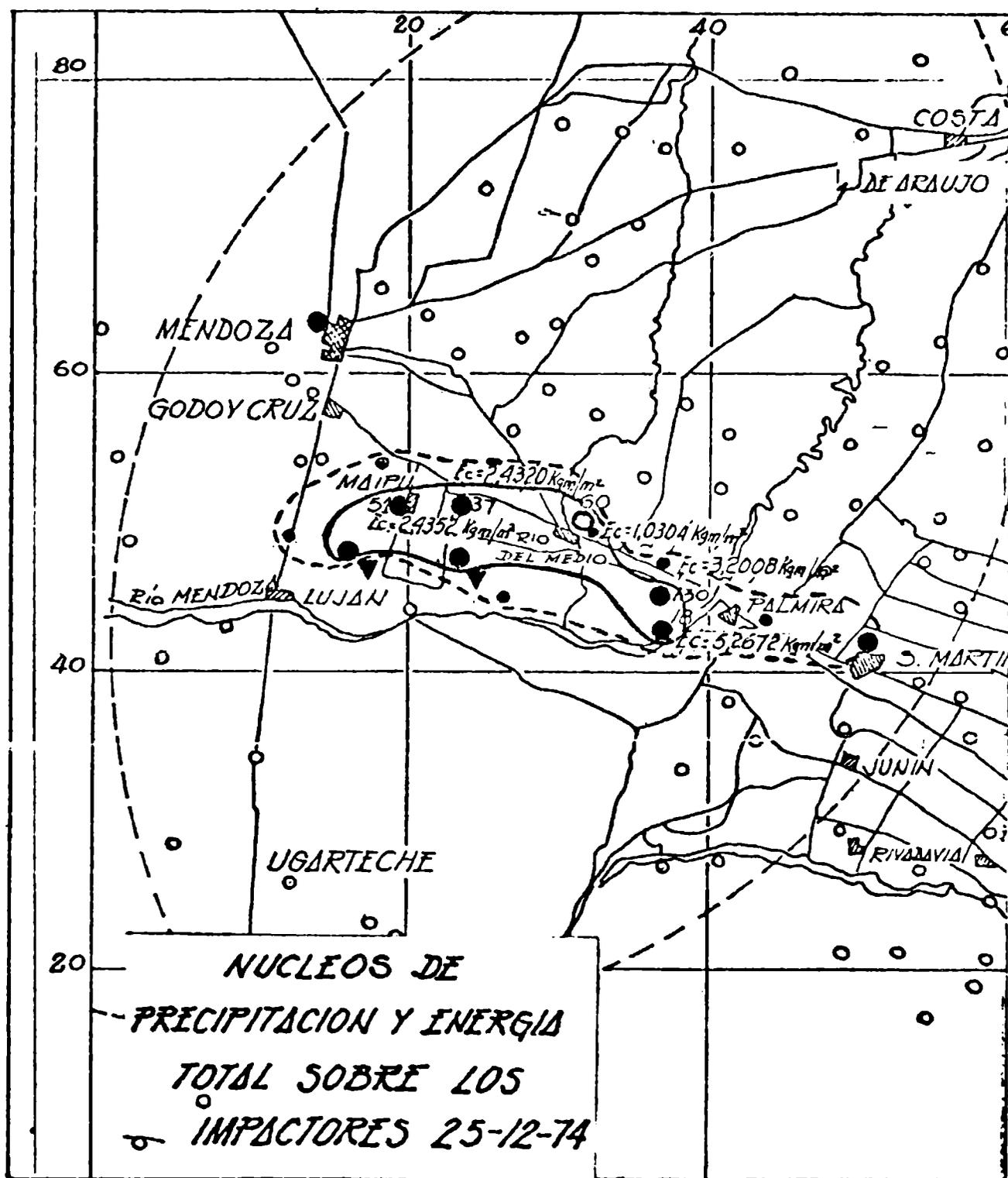


Figura 7

## BIBLIOGRAFIA

- ADMIRAT, P., 1973:** *Natural "hailcores" and their ability to estimate the efficiency of hail prevention systems.*  
WMO/IAMAP International Conference on Weather Modification Tashkent Session 4.
- ENGLISH, MARIANNE, 1973:** *The growth of large hail – Studies derived from Alberta and Montreal hailstorms.* Stormy Weather Group. Scientific Report M – 78.
- FUJITA, TETSUYA, 1962:** *A review of researches on analytical mesometeorology – Researche paper Nº 8 – Dep. of Geophysical Sciences – University of Chicago.*
- GAIVORONSKY, J.J., DINEVITCH, L.A. y ZIMIN B.J., 1973:** *Results of hail process investigations. (comunicación personal de los autores).*
- LHERMITTE, R.M. y ATLAS, D. 1961:** *Precipitation motion by pulse Doppler Radar – Proc. 13 th Radar Met. Conf. Montreal 14-17.*
- LICHTENSTEIN, E. 1974:** *Variabilidad de la presión en el entorno de la depresión del NO Argentino. 1º Congreso Latinoamericano de Meteorología.*
- MASON, B.J. 1969:** *Some outstanding problems in cloud physics the interaction of microphysical and dynamical processes – Quarterly journal of the R. Met. Soc. Vol. 95 – Nº 405 – 449/485.*
- SALUZZI, M.E., NUÑEZ, J.M. 1972:** *Estudio de los resultados de aplicación del método de la capa modificado en el pronóstico de la convección severa. Meteorológica – Vol. 4º – Nos. 1, 2 y 3. Pág. 45.*



## EFFECTOS DE LA PRECIPITACION IMPULSIVA DE ELECTRONES EN LA ZONA AURORAL

HORACIO CAZENEUVE  
Instituto Antártico Argentino

Los procesos impulsivos de absorción ionosférica han sido estudiados en los últimos años, pero el mecanismo que los genera es aún desconocido. En este trabajo analizamos estos procesos típicos de la zona auroral, que han sido registrados en la base General Belgrano.

Las turbulencias de plasma parecen ser la fuente más probable de los procesos impulsivos. Su efecto debe estar limitado a una pequeña área de la zona auroral.

Se consideran varios mecanismos posibles en la explicación de cada una de las fases: inicial, crecimiento y saturación. Con respecto a la extinción de los pulsos, debe considerarse que las inestabilidades en general se autorestringen, pues la difusión de partículas correspondiente produce a su vez la difusión de energía.

**Morphological aspects of impulsive absorption events have been studied, but the physical mechanism that trigger them, is still unknown. In this paper auroral zone typical events recorded at base General Belgrano are analyzed.**

**Among the several mechanisms that can be invoked, plasma turbulence is indicated as the most probable. Their effects should be constrained to a small area of the auroral zone.**

**In order to understand each phase (initial, growth and recovery phases), several processes are considered. Concerning the quenching of the pulses, the following aspects are taken into account: the instabilities in general will be self-restraining, since the concomitant particle diffusion will be such as to produce in turn the energy diffusion.**

**In addition, turbulence can break into sporadic isolated patches that can develop in confined regions.**

## INTRODUCCION

La mayor parte de la energía disipada en las perturbaciones ionosféricas es provista por el sol. Mediante la interacción del viento solar con la magnetósfera, ésta queda con un exceso de energía, del cual debe desprenderse de algún modo para recuperar su estado de equilibrio.

Ese exceso de energía almacenada transitoriamente en la magnetósfera, produce violentas perturbaciones que se propagan hasta lo más profundo del sistema, haciendo llegar sus efectos hasta la superficie terrestre.

La mayor parte de esa energía es disipada en las tormentas polares, las cuales alcanzan su máxima intensidad en la zona auroral.

La dinámica de la magnetósfera está caracterizada por procesos impulsivos de corta duración, y tiempo de relajación relativamente largo.

En este trabajo hemos estudiado algunos procesos impulsivos característicos de la zona auroral, que han sido registrados en la base General Belgrano (latitud geomagnética 67.3 S; longitud geomagnética 15.8 E).

Los eventos impulsivos de absorción ionosférica fueron estudiados inicialmente por Parthasarathy y Hessler (1964), por Parthasarathy y Berkey (1965), y por Akasofu (1968). No obstante, éstos se limitaron a la clasificación estadística, sin buscar los orígenes del fenómeno. En cambio, el autor no tiene referencias de que las variaciones impulsivas de la intensidad auroral hayan sido estudiadas.

## OBSERVACIONES

El Laboratorio Belgrano (LABEL), ubicado en la zona auroral durante la noche local, permite obtener información sobre los fenómenos típicos de esa zona.

Los datos provienen de los siguientes instrumentos: un fotómetro fotoeléctrico de tres canales, de los cuales hemos empleado los registros de la línea verde del oxígeno (5577 Å), un riómetro de 27,6 MHz, que ha permitido medir la absorción ionosférica del ruido cósmico, un receptor de señales de muy baja frecuencia (VLF), en el rango de 500 Hz – 16 KHz.

El fotómetro funcionó en forma continua durante el período oscuro de cada año (15 de abril – 15 de setiembre), excepto durante los períodos lunares.

## LAS FORMAS IMPULSIVAS

Si bien los fenómenos que tratamos son de naturaleza distinta, y son distintos sus tiempos característicos, tienen en común su carácter impulsivo. Sabemos que la dinámica de la magnetósfera está dominada por procesos impulsivos, lo cual aparenta indicar que los mecanismos que los generan deben estar vinculados por una raíz común. Han sido observados en la intensidad de las señales VLF, en la absorción ionosférica, en la luz auroral, y en algunas perturbaciones magnéticas.

El crecimiento de los pulsos aurorales varía entre 1 y 5 segundos y el tiempo de decaimiento llega hasta 60 segundos (figura 1). En los eventos

impulsivos de absorción ionosférica, la fase de crecimiento suele durar de 2 a 5 minutos, y la fase de decaimiento, entre 10 y 40 minutos (figura 2).

En los pulsos VLF (silbidos), el tiempo de crecimiento varía entre 10 y 30 segundos, y el decaimiento, entre 120 y 150 segundos (figura 3).

Durante las fases impulsivas de los cambios magnetosféricos, es decir, en las fases más activas del sistema, compiten rápidos procesos de penetración y pérdida de partículas.

Los procesos impulsivos que nos ocupan, ocurren en la zona auroral. En sus cercanías se los registra esporádicamente, y en latitudes medias o bajas nunca han sido observados.

### **LA PRECIPITACION IMPULSIVA**

Distintos investigadores han publicado resultados sobre la precipitación impulsiva de electrones en altas latitudes. La mayoría de ellos emplea datos de satélites de órbita polar.

Por ejemplo, Frank y Ackerson (1971) mostraron que en las cuencas polares ("polar cleft" o "polar cusp"), se han registrado procesos intermitentes de precipitación de partículas cuya distribución de energías tiene el aspecto de una V invertida, en un espectro energía-tiempo. A medida que el satélite atraviesa la región de precipitación, el promedio de la energía electrónica aumenta hasta un máximo y luego decrece.

Ackerson y Frank (1972) vincularon esos procesos intermitentes de precipitación con arcos aurales, pues ambos fenómenos fueron observados simultáneamente en muchos casos.

Los llamados "picos de precipitación" son otro proceso impulsivo, con un largo decaimiento. Con datos de 2.600 pasos de satélites de órbita polar se detectaron 750 picos de precipitación (Brown y Stone, 1972). En este proceso los electrones se desenganchan de las líneas de campo y precipitan.

Si bien éste es un proceso generalizado en altas latitudes, en nuestro caso la precipitación es intermitente, en forma de haces sucesivos alineados con el campo magnético.

En los tres trabajos recién mencionados, se señala la observación simultánea de los flujos impulsivos, con el comienzo de una intensa actividad auroral.

En rasgos generales, nuestras observaciones de procesos impulsivos tienen buena correlación con la precipitación impulsiva, pero un estudio completo requiere datos de satélites de órbita polar, simultáneos con nuestras observaciones. Las observaciones desde Tierra y las de satélites, deben estar sobre la misma coordenada L. Existe por lo tanto una muy pequeña ventana de latitud y longitud dentro de la cual podemos seleccionar los datos del satélite. Por estas razones, es muy baja la probabilidad de obtener observaciones simultáneas de un mismo evento.

### **LAS REGIONES DE DISCONTINUIDAD**

En regiones bien definidas de la magnetósfera predominan ciertos fenómenos, o combinaciones de los mismos. La transición de un proceso dominante a

otro ocurre en regiones caracterizadas por procesos turbulentos, que son típicamente procesos de transición.

Estas regiones están definidas en gran parte por la configuración del campo magnético terrestre. Nos ocuparemos de las siguientes regiones límite: El límite de las líneas de campo cerradas. En esta región ocurre la transición del campo aproximadamente dipolar, al campo de líneas abiertas. En la primera está contenida la región de corrotación, y la de conservación de los invariantes adiabáticos. De acuerdo con Mc Diarmid y Burrows (1968), la ubicación de este límite varía entre  $70^\circ$  y  $73^\circ$  de latitud invariante. El límite de difusión del ángulo magnético ("pitch angle") delinea las regiones donde predominan el desplazamiento longitudinal de las partículas con difusión radial, y donde predomina la difusión del ángulo magnético. Durante el día su ubicación es  $64^\circ$  de latitud invariante, y entre  $68^\circ$  y  $70^\circ$  durante la noche (Brown y Stone, 1972).

La posición de la plasmapausa, el límite externo de la plasmasfera, varía fuertemente con la actividad magnética, pero durante la mayor parte del tiempo su prolongación hacia la ionósfera llega hasta la zona auroral.

### **LA PRECIPITACION EN LA ZONA AURORAL**

Las regiones de discontinuidad. están caracterizadas por procesos turbulentos producidos por la transición entre diferentes grupos de fenómenos. En virtud de estas turbulencias los electrones se desenganchan fácilmente del campo magnético en su punto de reflexión dando origen a una intensa precipitación hacia las zonas polares. La intensidad máxima de la precipitación tiene lugar en la zona auroral.

El rango de energías y la variación temporal del flujo que precipita es diferente según la zona de transición en que se ha originado el proceso. Dependen además de la actividad, en general de la región límite, y de la hora del día.

Por esa causa, los procesos impulsivos registrados en superficie presentan una diferente morfología y no muestran una correlación definida. Por ejemplo, existen procesos aurorales vinculados con emisiones VLF, y otros sin vinculación.

Hasta el presente no existe un estudio completo sobre la correlación entre los fenómenos registrados desde Tierra y sus probables fuentes en el espacio. Las observaciones de satélites en las regiones de discontinuidad son escasas, y con gran dispersión estadística.

### **DISCREPANCIAS CON LOS ESQUEMAS DE PRECIPITACION**

Los modelos de precipitación aceptados actualmente, fueron formulados por Hartz (1971), Hartz y Brice (1967) y Heikkila (1972). Todos ellos definen dos tipos de precipitación: uno, de precipitación continua de partículas de baja energía, que predomina en el casquete polar. El otro tipo consiste en haces intermitentes de precipitación, que predominan en el óvalo auroral durante la noche local.

Las evidencias experimentales indican que se trata de modelos sumamente

simplificados, en los cuales se superpone una complejidad de procesos de precipitación.

Durante las tormentas y subtormentas polares, los procesos se apartan considerablemente de tal esquema.

En esta primera fase de nuestro estudio, resulta que los procesos impulsivos están vinculados a la precipitación intermitente, que tiene lugar en el lado nocturno de la zona auroral. Es decir que en principio la zona donde se observan los eventos impulsivos concuerda con la posición de las zonas de discontinuidad que hemos mencionado.

En este punto aparece una importante discrepancia: una fracción importante de los eventos impulsivos registrados ocurre durante el día local. En particular, los procesos impulsivos de absorción ionosférica, están igualmente distribuidos entre el día y la noche local.

Esta es una importante desviación de los modelos de precipitación admitidos, lo cual es una evidente indicación de que aún en condiciones poco perturbadas la precipitación de partículas responde a modelos no tan idealizados como aquellos.

## CONCLUSIONES

En nuestro observatorio ubicado en la zona auroral se detectan eventos caracterizados por un brusco crecimiento y una relativamente larga relajación. Estos eventos son de naturaleza distinta pero presentan rasgos morfológicos comunes, lo que induce a considerar que los mecanismos que los generan deben estar sujetos a alguna vinculación en su origen.

En esta primera fase de nuestro estudio no aparecen conclusiones definitivas, debido a las dificultades señaladas en el texto, referentes a las observaciones simultáneas en el mismo valor de la coordenada L.

De esta primera fase resulta que los modelos de precipitación de partículas admitidos, son esquemas sumamente simplificados. La actividad de la zona auroral no responde a esos modelos, que pueden ser tratados como idealizaciones.

Las observaciones requeridas para formular modelos más reales, son extremadamente difíciles en la Antártida. Por otra parte, las mediciones mediante satélites son esporádicas, no llegan a cubrir un área significativa, y obviamente no pueden registrar la evolución de un proceso en un lugar prefijado.

Reconocimiento: El autor agradece al Sr. Sirimarco por su diseño de los equipos para el análisis de las señales VLF.

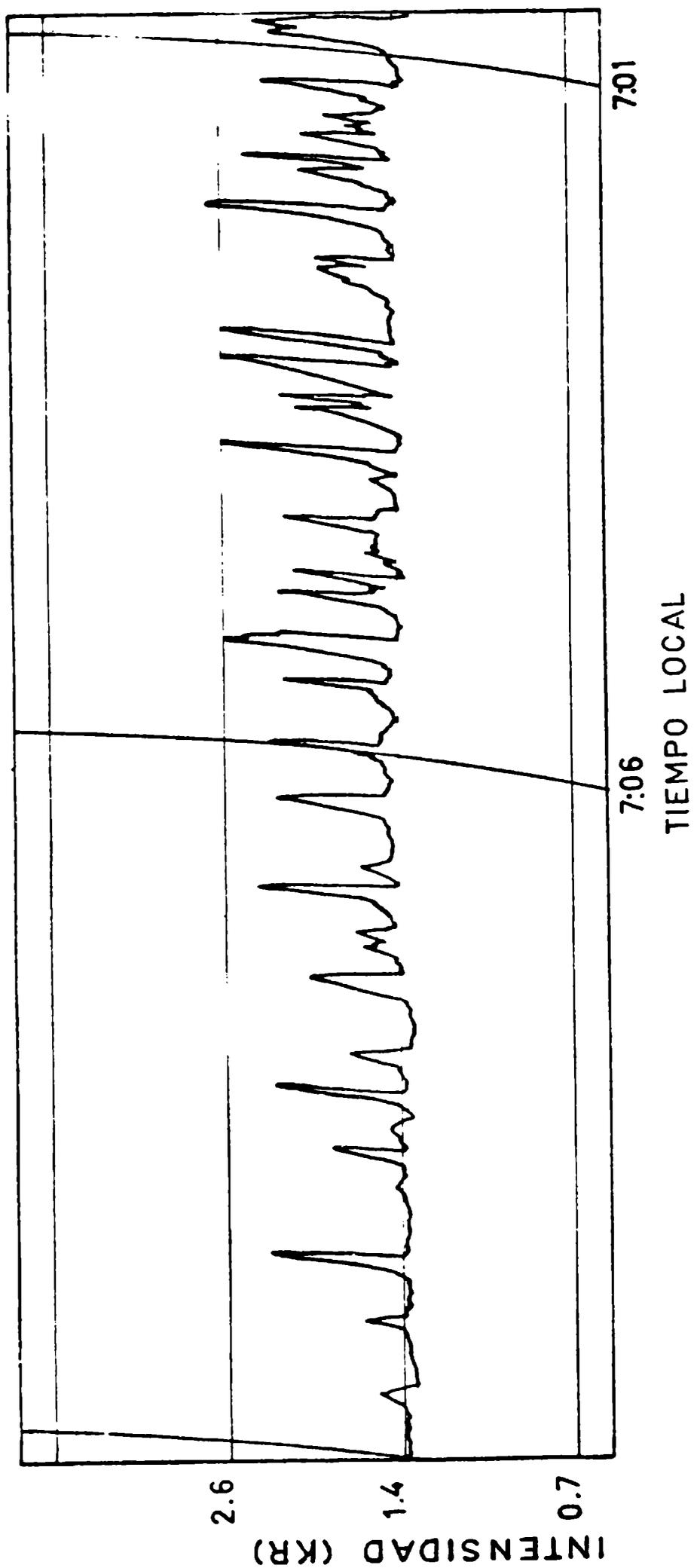


Figura 1 Tren de pulsos de intensidad auroral. Este tipo de pulsaciones agudas es registrado con frecuencia en la base General Belgrano.

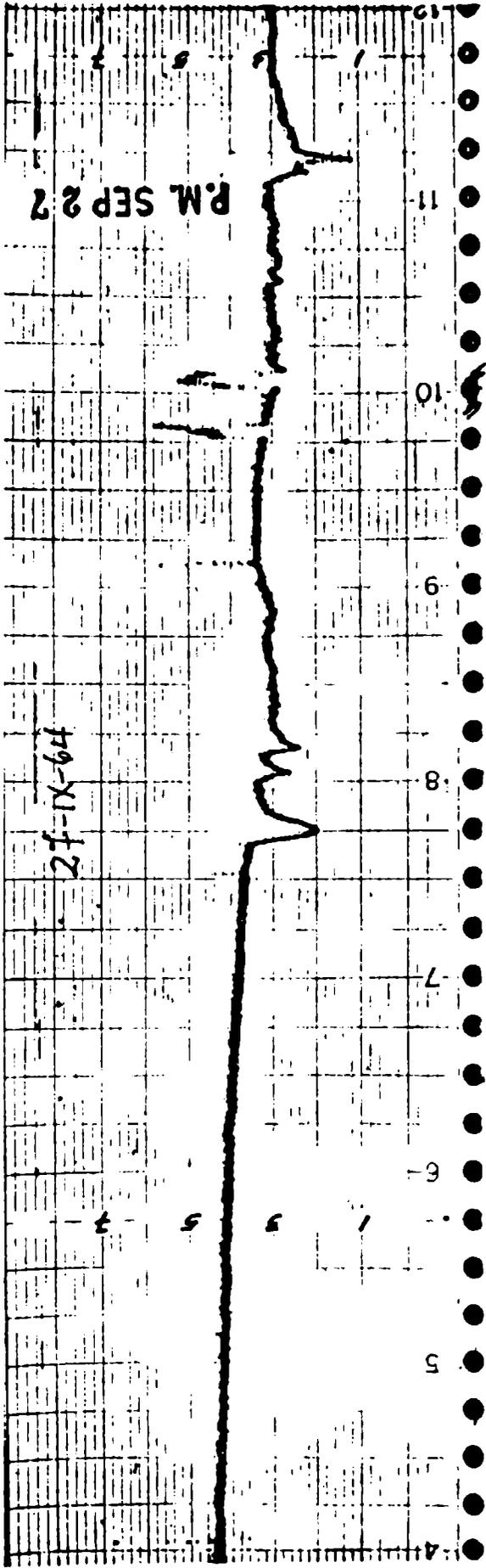


Figura 2: Varios picos de absorción ionosférica de ruido cósmico. Se observa el comienzo abrupto y la lenta recuperación.

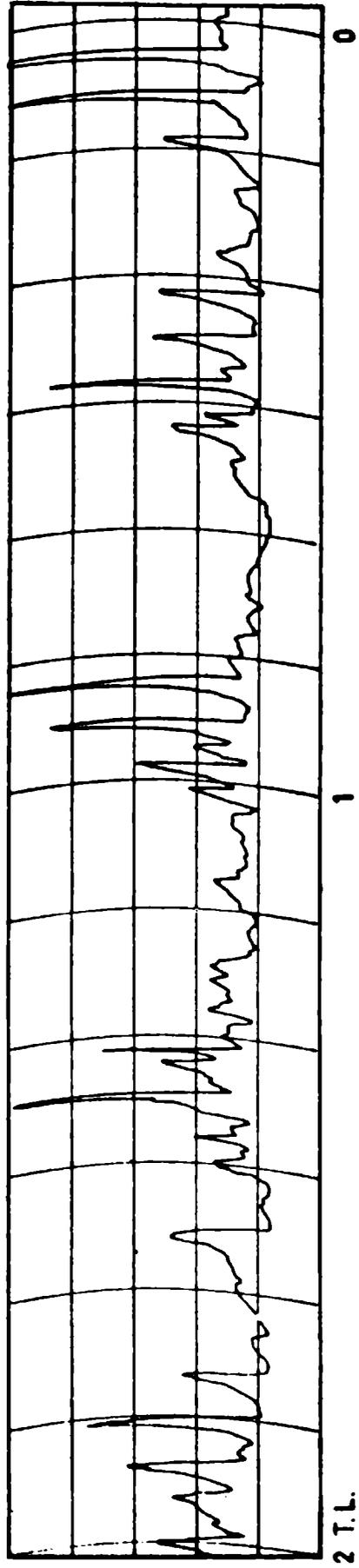


Figura 3: Secuencia de señales de muy baja frecuencia. Se han registrado las amplitudes relativas de los picos que corresponden a la intensidad total de la señal.

## BIBLIOGRAFIA

- ACKERSON K.L. y FRANK L.A., 1972: *Correlated satellite measurements of low-energy electron precipitation. Journal of Geophysical Research, 77, 1128.*
- AKASOFU S.I., 1968: *Polar and magnetospheric substorms. Reidel Publishing Co., Dordrecht.*
- BROWN J.W. y STONE E.C., 1972: *California Institute of Technology. Edición SRL-72-1.*
- FRANK L.A. y ACKERSON, K.L., 1971: *Observation of charged particle precipitation into the auroral zone. Journal of Geophysical Research, 76, 3612.*
- HARTZ T.R., 1971: *Particle precipitation patten. The Radiating Atmosphere. Reidel Publishing Co., Dordrecht.*
- HARTZ T.R. y BRICE N.M., 1967: *The general pattern of auroral particle precipitation. Planetary and Space Science, 15, 301, Belfast.*
- HEIKKILA W.J., 1972: *Proceedings of the IAGA Symposium, Madrid. Penetration of particles into the polar cap and auroral regions.*
- Mc DIARMID I.B. y BURROWS J.R., 1968: *Local time asymmetries in the high latitude boundary of the outer radiation zone. Canadian Journal of Physics, 46, 49, Ottawa.*
- PARTHASARATHY R. y HESSLER V.P., 1964: *Periodic covariation of Radio-wave absorption, earth currents and other associated phenomena in the auroral zone. Journal of Geophysical Research, 69, 13, 2867.*
- PARTHASARATHY R. y BERKEY F.T., 1965: *Auroral zone studies of suddenonset radiowave absorption events using multiple frequency data. Journal of Geophysical Research 70, 89.*

## ESTRUCTURA DE GRANIZOS Y SU VINCULACION CON LAS CONDICIONES AMBIENTALES

L. LEVI, E.M. de ACHAVAL, L. LUBART  
Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas;  
Servicio Meteorológico Nacional.

Se consideran resultados anteriores que permiten vincular el tamaño y la orientación de los cristales que forman una piedra de granizo con las temperaturas del aire  $T_a$  y de la superficie de la acreción  $T_s$ , existentes durante el proceso.

Estos resultados se aplican al análisis de una piedra de granizo natural, formada por un centro y dos zonas I y II.

Los valores obtenidos para las temperaturas en las dos zonas se utilizan para estimar la velocidad ascensional del aire en la nube  $U$ , el contenido de agua líquida en la misma  $w$ , la proyección vertical de la trayectoria del granizo  $\Delta Z$ , y el tiempo de crecimiento correspondiente  $t$ .

El ejemplo muestra que, el análisis de piedras de granizo recogidas en tierra, permite determinar las condiciones de crecimiento y sus relaciones con algunos parámetros de la nube.

**Previous results are considered where the size and the orientation of crystals which form a hailstone are correlated with the temperature of the air  $T_a$  and of the accretion surface  $T_s$ .**

**These results are applied to the analysis of a natural hailstone, formed by a centre and two zones I and II.**

**The values obtained for the temperatures prevailing in both zones are used to estimate the updraught velocity of the cloud  $U$ , the corresponding water content  $w$ , the vertical component of the hailstone trajectory  $\Delta Z$  and the growth time  $t$ .**

**The example shows that the analysis of the hailstones collected on the ground makes it possible to determine the prevailing growth conditions in the cloud and their relations with some of the cloud parameters.**

Uno de los problemas actuales en Física de Nubes, reside en la comprensión del proceso de formación de piedras de granizo.

Consideremos una partícula de hielo en un ambiente a temperatura  $T_a < 0^\circ\text{C}$ ; su temperatura de superficie  $T_s$  será igual a la del ambiente  $T_a$ . Si la partícula comienza a crecer por acreción de gotas sobreenfriadas,  $T_s$  aumenta, debido al calor de fusión hasta alcanzar un valor estacionario. Este último es función de la masa de agua que la partícula captura por unidad de tiempo, y de los valores que tienen los distintos parámetros que determinen el balance calórico, como por ejemplo:  $T_a$ , velocidad del aire, número de Reynolds, etc.

Mientras  $T_s < 0^\circ\text{C}$  el crecimiento se denomina seco, es decir que las gotas congelan antes de la llegada de nuevas gotas. Cuando  $T_s$  alcanza  $0^\circ\text{C}$ , el granizo está constituido por una mezcla de hielo-agua y el crecimiento se llama húmedo.

Estas distintas condiciones determinan distintas características estructurales de las piedras de granizo, tales como orientación y tamaño de cristales, distribución de burbujas, forma y aspecto externo (rugosidad, lóbulos, protuberancias), fracción de agua líquida en el crecimiento húmedo, etc.

### 1) Orientación y tamaño de cristales en granizos artificiales

En trabajos recientes, Levi-Achával-Lubart (1974), estudiaron la orientación y tamaño de cristales, en granizos artificiales obtenidos en túnel de viento, en el rango de temperaturas comprendido entre  $-18^\circ\text{C} > T_a > -27^\circ\text{C}$  y  $-5^\circ\text{C} > T_s > -15^\circ\text{C}$ . La orientación de los cristales se determina midiendo el ángulo  $\bar{\varphi}$  formado por el eje  $\vec{c}$  de cada cristal con la dirección de crecimiento y se caracteriza cada muestra por el valor medio de este ángulo  $\bar{\varphi}$ . El área media de los cristales se expresa por  $\bar{\sigma}$  en  $\text{mm}^2$ . Los resultados obtenidos para  $\bar{\varphi}$  y  $\bar{\sigma}$  pueden verse en las figuras 1 y 2 donde se representa  $\bar{\varphi}$  y  $\log \bar{\sigma}$  en función de  $T_a$ , con  $T_s$  como parámetro ( $T_s \cong -5, -10, -15^\circ\text{C}$ ). Se observa que para  $T_s$  aproximadamente constante,  $\bar{\varphi}$  aumenta y  $\log \bar{\sigma}$  disminuye al disminuir  $T_a$ . Este efecto se hace menos marcado para  $T_a > -18^\circ\text{C}$ , donde pequeñas variaciones de  $T_s$  y de otros parámetros, tales como el tamaño de las gotas, pueden influir sensiblemente sobre el fenómeno. A este efecto se debe probablemente el aparente cambio de pendiente en la primera parte de las curvas para  $T_s \cong -10^\circ\text{C}$ .

Estos resultados se interpretan suponiendo que, en la primera etapa de congelación de cada gota, el hielo crece extendiéndose sobre el sustrato y forma una capa de características similares a las de las dendritas. De esta manera,  $\bar{\varphi}$  puede relacionarse con la orientación de las dendritas y sus variaciones con la temperatura, fenómeno observado por diversos autores en agua sobreenfriada (Pruppacher, (1967), Macklin and Ryan (1965)).

La relación aproximadamente exponencial que se observa entre  $\bar{\sigma}$  y  $T$ , (Fig. 2) puede estar determinada por la relación inversa que habría entre el tamaño de los cristales y la probabilidad de nucleación  $P(T)$  de hielo sobre un sustrato. Siguiendo a Fletcher (1974), puede escribirse:

$$P(T) = a e^{bT} \quad (1)$$

donde en nuestro caso  $T$  es una temperatura intermedia entre  $T_a$  y  $T_s$ , expresada

en grados centígrados y **a** y **b** son constantes que dependen de las características del sustrato.

## 2) Estudio de un granizo natural

Los resultados descriptos anteriormente se han aplicado al estudio de un granizo natural, recogido en Davos (Suiza), que presentaba características de formación a temperaturas bajas y crecimiento seco. La Figura 3 muestra un corte de este granizo, en el cual se observa la estructura policristalina de la acreción.

Se distinguen: Una zona central de 2,5 mm de radio, una zona I de 2,5 a 5 mm de radio y finalmente una zona II de 5 a 8 mm de radio.

Se omite el estudio de la zona central de la cual no se conoce claramente el mecanismo de formación. Las mediciones de  $\bar{\varphi}$  y  $\bar{\sigma}$  en las zonas I y II del granizo y la aplicación de los datos de las Fig. 1 y 2 dan los siguientes resultados:

<b>Zona I</b>	$\bar{\varphi}$	=	34°	$\bar{\sigma}$	=	4,5 · 10 <sup>-1</sup> mm <sup>2</sup>
	T <sub>a</sub>	=	-20°C	T <sub>s</sub>	=	-15°C
ó bien	T <sub>a</sub>	=	-22°C	T <sub>s</sub>	=	-10°C
<b>Zona II</b>	$\bar{\varphi}$	=	40°	$\bar{\sigma}$	=	6,8 · 10 <sup>-2</sup> mm <sup>2</sup>
	T <sub>a</sub>	=	-25°C	T <sub>s</sub>	=	-15°C

Vemos que para la zona I existen dos pares de valores posibles para T<sub>a</sub> y T<sub>s</sub>. Para elegir entre estos valores se consideran algunos aspectos de las condiciones de crecimiento dentro de la nube.

En la Fig. 4 se observa el esquema de un Cúmulonimbus donde se indica la posible trayectoria de un granizo. De acuerdo con modelos previos, cada piedra necesita, para alcanzar un radio del orden del cm, efectuar un ascenso dentro de la nube de alrededor de un km, lo que corresponde, generalmente, a una variación de temperatura de 6°C.

Esto sugiere que el primer par de valores de temperaturas de la Zona I es el más aceptable.

Habiendo establecido T<sub>a</sub> y T<sub>s</sub> para cada zona, se calculan en función de estos valores los siguientes parámetros de la nube: velocidad ascensional del aire, contenido de agua líquida, ascenso  $\Delta Z$  del granizo en la nube y tiempo necesario para el crecimiento de cada zona.

Sean U la velocidad ascensional del aire dentro de la nube, que se admite constante en este caso, y V la velocidad terminal de caída del granizo que depende del radio de la acreción de acuerdo con la expresión:

$$V = \left( \frac{8 R \rho_i g}{3 C_D \rho_a} \right)^{1/2} \quad (2)$$

donde: R      radio del granizo  
 C<sub>D</sub>      coeficiente de arrastre  
 $\rho_i$       densidad del hielo

$\rho_a$       densidad del aire  
 g            aceleración de la gravedad.

Pueden darse las siguientes posibilidades:

$U > V$     el granizo asciende  
 $U = V$     el granizo alcanza su altura máxima  
 $U < V$     el granizo desciende

Para el granizo analizado puede admitirse que la condición  $U = V$  se alcanzó aproximadamente en la mitad de la zona II y que el granizo completó su crecimiento en la primera parte del descenso.

Suponiendo para la densidad del aire  $\rho_a$  un valor correspondiente a una presión  $p = 400$  mb y una temperatura  $T_a \cong -20^\circ\text{C}$ , pueden atribuirse a los parámetros en (2) los siguientes valores:

$\rho_a = 5,6 \cdot 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup>  
 $\rho_i = 0,9$  g/cm<sup>3</sup>  
 $R = 6,5$  mm  
 $C_D = 0,5$

Aplicando (2) se obtiene:

$$U \cong 23 \text{ m/seg.}$$

El contenido de agua líquida en la nube ( $w$ ) depende de  $T_a$  y  $T_s$  de acuerdo a la siguiente expresión, que se obtiene teniendo en cuenta el balance calórico en la formación del granizo:

$$w = \frac{20,6 \text{ Re}^{\frac{1}{2}} \{ L_v D \Delta \rho_v + K (T_s - T_a) \}}{R V E \{ L_f + c_w (T_a - T_o) + c_i (T_o - T_s) \}} \quad (3)$$

donde::

$R_e$     = Número de Reynolds  
 $L_v$     = calor latente de vaporización  
 $L_f$     = calor latente de fusión  
 $c_w$     = calor específico del agua  
 $c_i$     = calor específico del hielo  
 $D$     = coeficiente de difusión del vapor de agua en aire  
 $K$     = conductividad térmica del aire  
 $T_o$     = temperatura de fusión del hielo  
 $E$     = coeficiente de recolección  
 $\Delta \rho_v$  = variación de densidad de vapor de agua entre la superficie del granizo y el ambiente

Atribuyendo a  $R$  y  $V$  sus valores medios en las zonas I y II del granizo analizado se obtiene:

$$w_I = 0,66 \text{ g/m}^3$$

$$w_{II} = 0,73 \text{ g/m}^3$$

Finalmente, el tiempo necesario para la formación de cada zona y la variación de altura del granizo en la nube se calculan a partir de las expresiones:

$$\frac{dR}{dT} = \frac{E w V}{4 \rho_i} \quad (4)$$

$$dZ = (U - V) dt = (U - V) \frac{dt}{dR} dR \quad (5)$$

Integrando se obtiene:

$$t_I = 13 \text{ min.} \quad t_{II} = 14 \text{ min.} \quad \Delta Z = 800 \text{ m}$$

Puede observarse que se han obtenido, para los diferentes parámetros de la nube, valores posibles para una tormenta de mediana energía y contenido de agua líquida relativamente bajo.

Es interesante notar asimismo, que la orientación media de los cristales, alcanza en este caso valores superiores a  $30^\circ$ , hecho no observado hasta ahora en granizos naturales.

En conclusión, el presente ejemplo muestra que, el análisis de piedras de granizo recogidas en tierra, representa un medio adecuado para conocer algunos aspectos de la nube que le dió origen.

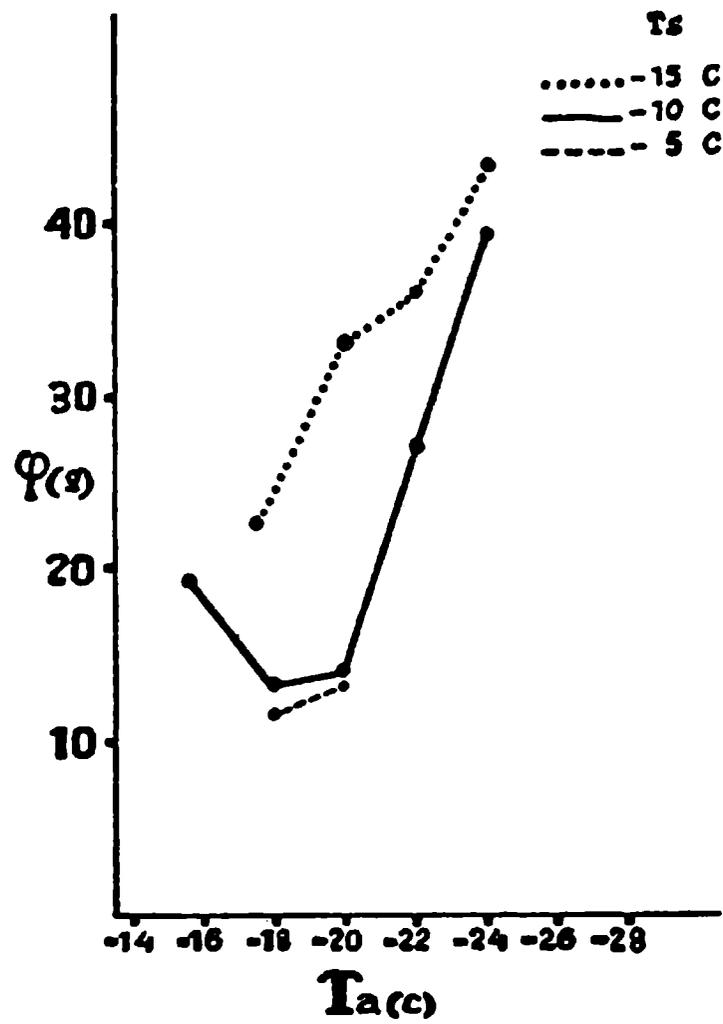


Figura 1: Angulo  $\bar{\varphi}$  en función de  $T_a$  con  $T_s$  como parámetro.

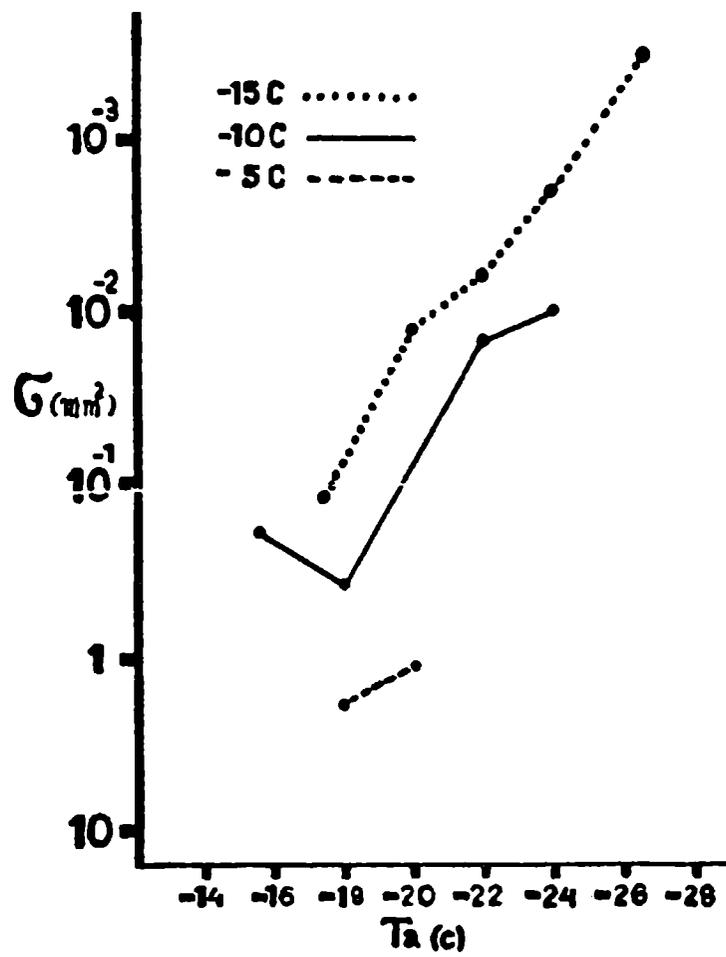


Figura 2: Area media  $\bar{G}$  en función de  $T_a$  con  $T_s$  como parámetro.

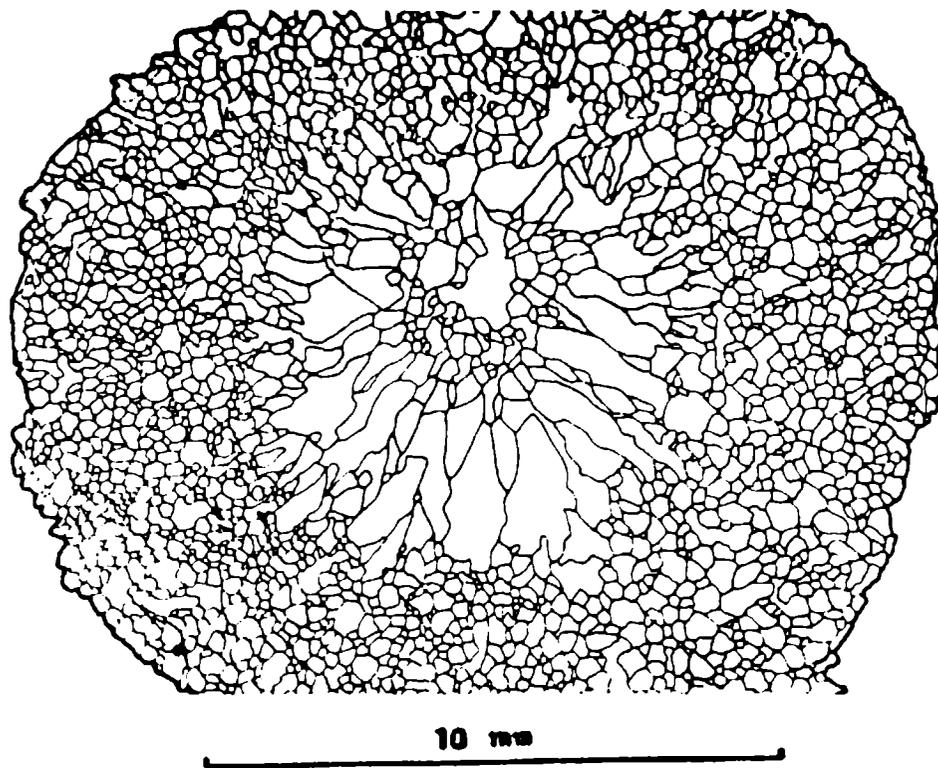
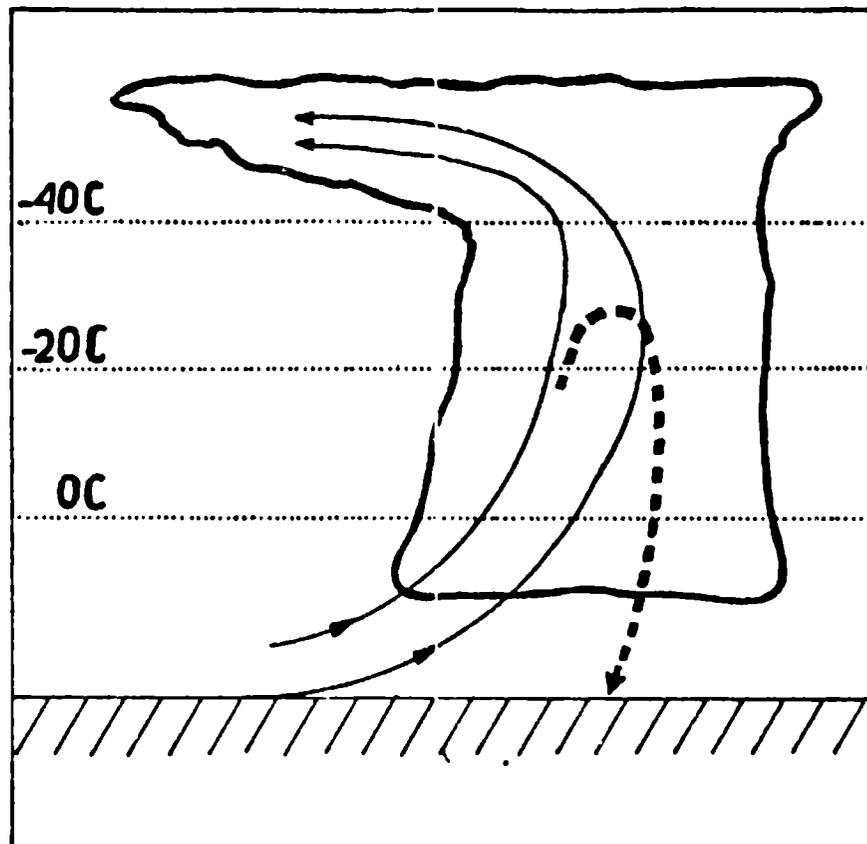


Figura 3: Sección de un granizo natural.



Corriente ascendente →  
Trayectoria - - - - - ↘

Figura 4: Esquema de un Cumulus Nimbus.

### BIBLIOGRAFIA

- FLETCHER, N.H., 1974: Temperature dependence of the active site Concentration of ice nucleants; J. Atmos. Sci., v. 28 p. 1718-1720.*
- LEVI, L., Achával, E.M. de Lubart, L., 1974: Structure of ice grown from droplet accretion and solidification process; J. Crystal Growth, v. 22, p. 303-310.*
- MACKLIN, W.C., RYAN, B.F., 1965: The structure of ice grown in bulk supercooled water; Jour. Atm. Sci., v. 22, p. 452-459.*
- PRUPPACHER, H.R., 1967: Browth modes of ice crystals in supercooled water and aqueous solutions; J. Glaciology, v. 6, p. 651-662.*

## ANALISIS DE LA COMPENSACION ANGULAR DE POLIGONOS

AVERTANO COLINA  
Ferrocarriles Argentinos

El objetivo de este estudio es analizar el efecto, que sobre el cierre perimetral de un polígono de  $n$  lados, produce el método habitual de sumar una corrección constante a cada ángulo poligonal, igual a la  $n$ -ésima parte del error de cierre angular. Se estudia además la posibilidad de minimizar tal efecto.

**The objet of this study is an analysis of the consequences produced by the customary method of closing perimetrically an  $n$ -side traverse by adding to each of it's angles a constant correction, equal to the  $n$ -th part of the angular error of closure, as well as a study of the possibility to reduce to a minimum the effects of this procedure.**

Si a los lados de un polígono cerrado de  $n$  vértices los designamos vectorialmente por  $\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \mathbf{L}_3, \dots, \mathbf{L}_r, \dots, \mathbf{L}_n$ , se debe verificar

$$\sum_1^n \mathbf{L}_r = 0 \quad (1)$$

en donde

$$\mathbf{L}_r = \mathbf{I} L_r \cos a_r + \mathbf{J} L_r \sin a_r \quad (2)$$

siendo  $L_r$  el módulo de  $\mathbf{L}_r$  y  $a_r$  el acimut correspondiente de  $\mathbf{L}_r$ .

Diferenciando  $\mathbf{L}_r$  respecto a  $a_r$  se tiene

$$d\mathbf{L}_r/da_r = \mathbf{N}_r$$

en la cual  $\mathbf{N}_r$  es el vector normal a  $\mathbf{L}_r$  y cuyo módulo es igual al módulo de  $\mathbf{L}_r$ , o sea

$$|\mathbf{N}_r| = |\mathbf{L}_r| \quad \text{o bien } N_r = L_r \quad (3)$$

resulta entonces

$$d\mathbf{L}_r = \mathbf{N}_r da_r = L_r da_r \quad (4)$$

Los acimutes  $a_r$  de los lados se obtienen de

$$a_r = \sum_1^r A_k + \pi \quad (5)$$

siendo  $A_k$  los ángulos internos del polígono.

Diferenciando (5)

$$da_r = \sum_1^r dA_k \quad (6)$$

Si el error de cierre angular es  $e$  y se introduce como corrección el valor

$$c = dA_k = -e/n \quad (7)$$

en cada ángulo medido, se tiene, por reemplazo en (6)

$$da_r = \sum_1^r c = rc$$

e introduciendo en (4)

$$dL_r = rN_r c$$

de donde resulta que la variación total de cierre perimetral  $p$  es

$$p = \sum_1^n dL_r = c \sum_1^n rN_r \quad (8)$$

desarrollando

$$p = c(N_1 + 2N_2 + 3N_3 + \dots + rN_r + \dots + nN_n) \quad (9)$$

Dado que el origen para la designación de los lados es arbitrario, se ve que el valor de  $p$  en general será diferente para cada origen, dependiendo del lugar elegido como origen de la designación.

Por (3) la expresión (9) puede escribirse

$$p = c \left| (L_1 + 2L_2 + 3L_3 + \dots + rL_r + \dots + nL_n) \right| \quad (10)$$

o en forma simbólica

$$p = c \left| (1(\quad) + 2(\quad) + 3(\quad) + \dots + r(\quad) + \dots + n(\quad)) \right| \quad (11)$$

en donde reemplazando cíclicamente los lados del polígono dentro de cada paréntesis, se puede encontrar un valor mínimo de  $p$ . Si además interesa encontrar la orientación real, es suficiente girar  $p$  en  $90^\circ$ . Dado que lo que se busca es un mínimo, el factor  $c$  puede suprimirse.

En la Figura (1) se da un ejemplo del método gráfico para resolver la expresión (11), resultando mínimo el de la Figura (1f).

Para el cálculo por computadora, cuando el número de lados de la poligonal es grande, conviene la expresión que resulta de expresar la (2) como sigue

$$L_r = I \Delta x_r + J \Delta y_r \quad (12)$$

de donde la (10) se transforma en

$$p = c \left| I(1\Delta x_1 + 2\Delta x_2 + \dots + n\Delta x_n) + J(1\Delta y_1 + 2\Delta y_2 + \dots + n\Delta y_n) \right| \quad (13)$$

Prescindiendo de  $c$ , interesa encontrar el valor mínimo de

$$R^2 = (1\Delta x_1 + 2\Delta x_2 + \dots + n\Delta x_n)^2 + (1\Delta y_1 + 2\Delta y_2 + \dots + n\Delta y_n)^2 \quad (14)$$

por reemplazo cíclico de  $\Delta x_r$  y  $\Delta y_r$ .

Al final se muestra un ejemplo de cálculo para el polígono Figura (2), y en la Figura (3) se indica gráficamente la variación de  $R$  para distintos orígenes.

La conclusión que cabe destacar, es el hecho de que es más racional, aunque no más práctico, determinar previamente el valor mínimo de  $R$ , calcular el polígono sin compensación angular, comenzando el cálculo por el lado para el cual resultó  $R$  mínimo; compensar el cierre lineal; finalmente con las proyecciones compensadas calcular los lados y ángulos resultantes.

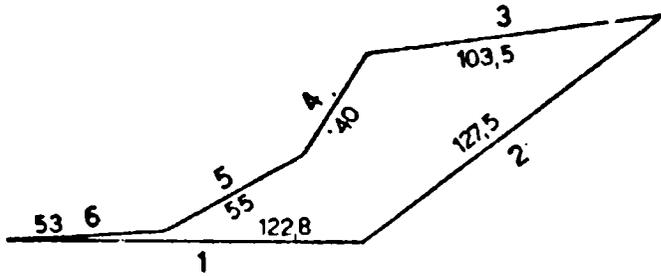


FIG. 1a

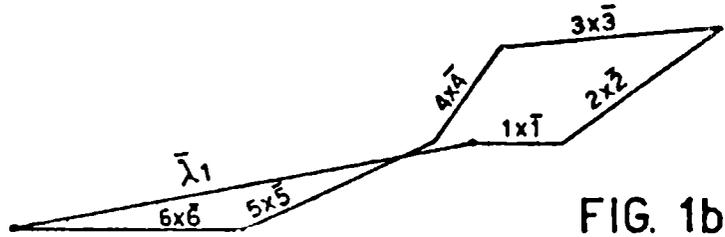


FIG. 1b

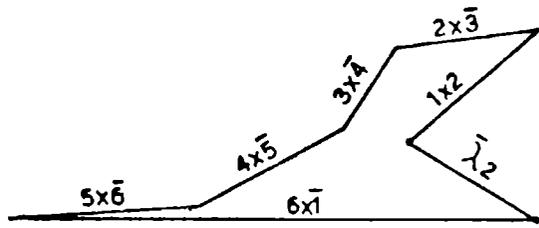


FIG. 1c

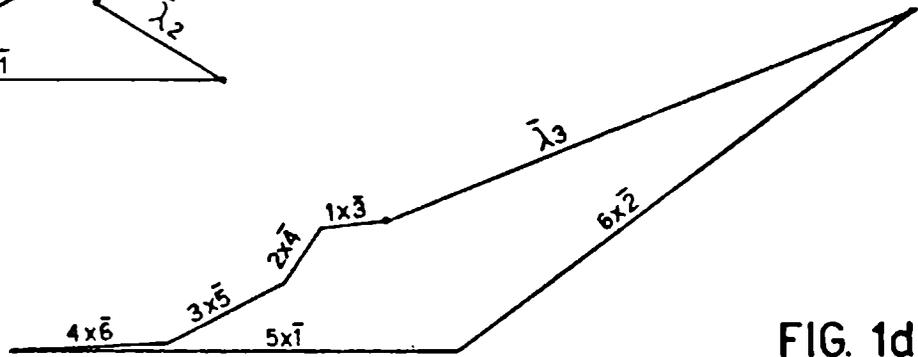


FIG. 1d

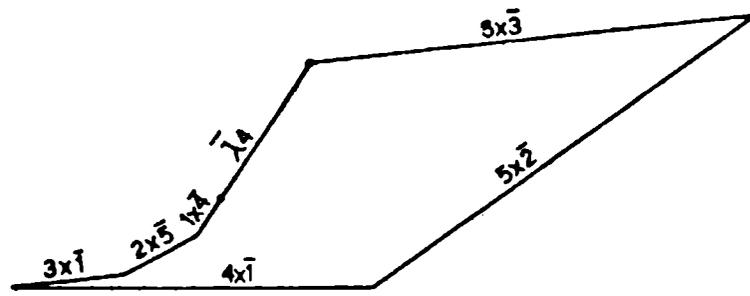


FIG. 1e

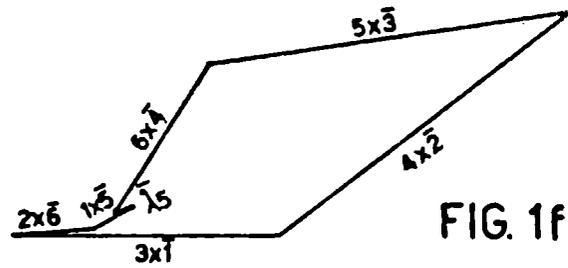


FIG. 1f

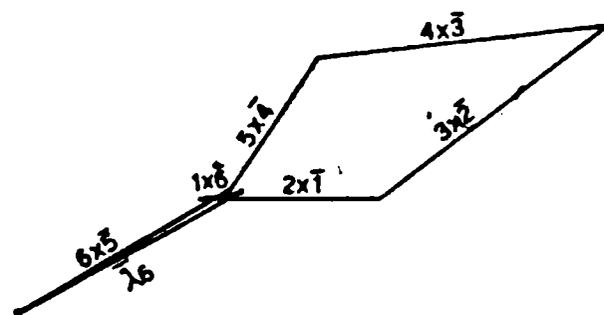


FIG. 1g

# ALISIS DE LA COMPENSACION

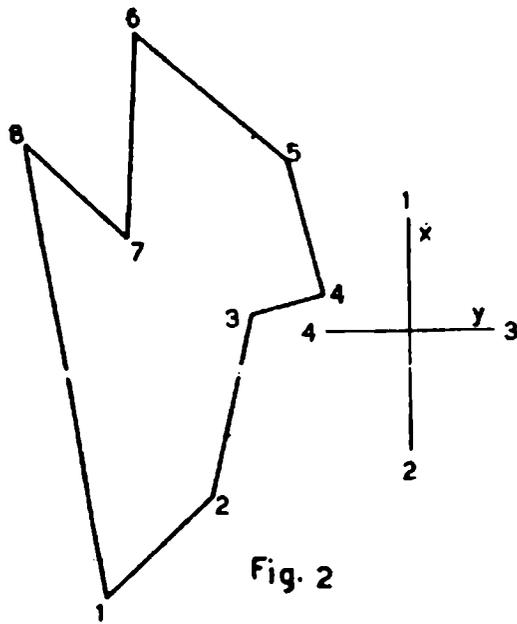


Fig. 2



Fig. 3

## CALCULO DE PROYECCIONES DE Fig. 2

VÉRTICE	LADO L <sub>i</sub>	α <sub>i</sub> o ,	CUADRAN- TE	ΔX		ΔY	
				1	2	3	4
1	206.0	45	1	3	144.8		144.8
2	285.1	16 21	1	3	273.6		80.3
3	101.4	76 39	1	3	23.4		90.7
4	231.7	347 14	1	4	226.0		51.2
5	273.4	310 54	1	4	179.0		206.6
6	306.8	183 31	2	4		306.2	18.8
7	215.3	315 26	1	4	153.4		151.1
8	701.7	171 29	2	3		693.9	104.1
1							

CALCULO DE LOS PARENTESIS DE LA (14) PARA DISTINTOS ORIGENES

Origen	$\Delta X$	$\Delta Y$	2AX	2AY	3AX	3AY	4AX	4AY	5AX	5AY	6AX	6AY	7AX	7AY	8AX	8AY
1	145	145	290	290	434	434	579	579	724	724	869	869	1013	1013	1158	1158
2	273	80	547	161	821	241	1094	321	1368	401	1641	448	1915	562	2189	642
3	23	89	47	177	70	266	94	355	117	443	140	532	164	621	187	709
4	226	51	452	-10	678	-15	904	-20	1130	-26	1356	-31	1582	-36	1808	-41
5	179	-207	358	-414	537	-621	716	-828	895	-1035	1074	-1242	1255	-1449	1432	-1656
6	-306	-19	-612	-38	-918	-57	-1224	-76	-1530	-95	-1836	-114	-2142	-133	-2448	-152
7	153	-151	306	-302	459	-453	612	-604	765	-755	918	-906	1071	-1057	1224	-1208
8	-694	104	1388	208	2082	312	2776	416	3470	520	4164	624	4858	728	5552	832

CALCULO DE R

r	de	a	$\sum r \Delta X$	$\sum r \Delta Y$	$\textcircled{3} = \textcircled{1}^2 + \textcircled{2}^2$	$R = \sqrt{\textcircled{3}}$	Lado origen
1	8	7348	822	$5467 \cdot 10^4$	$74 \times 10^2$	1-2	
2	1	7118	299	5076 "	71 "	2-3	
3	2	7919	908	6353 "	80 "	3-4	
4	3	6719	1534	4750 "	69 "	4-5	
5	4	7139	1470	5313 "	73 "	5-6	
6	5	7183	-189	5163 "	72 "	6-7	
7	6	3347	377	1134 "	35 "	7-8	
8	7	1798	863	398 "	20 "	8-1	



## ANALISIS DE PROCESOS HIDROMAGNETICOS EN LA CAPA E Y SU CONEXION CON LAS CAPAS E-ESPORADICAS

A. E. GIRALDEZ – I. MESTERMAN

Laboratorio Ionosférico de la Armada – Buenos Aires  
República Argentina

Un gradiente de presión a altura de capa E ionosférica en latitudes medias da lugar a movimientos verticales de iones y electrones en la zona de 90-150 km de altura.

Este mecanismo explica la presencia de iones metálicos pesados ( $\text{Fe}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Si}^+$ , etc.) en cantidad suficiente a alturas de capa E, por arrastre de los mismos desde alturas inferiores. Los resultados obtenidos muestran velocidades de subida y tiempos de duración de la misma de acuerdo con las magnitudes observadas experimentalmente. La altura máxima alcanzada es función de la latitud geomagnética y la conductividad del medio.

Con esto se pueden explicar efectos del calentamiento natural del amanecer y otros provocados por calentamiento artificial de la ionósfera observados con la técnica de sondajes verticales.

Se propone que este arrastre vertical de la ionización, juntamente con el sistema de vientos cizallantes, da lugar a la aparición de las denominadas capas E-Esporádicas ( $E_s$ ).

**A pressure gradient at E layer height in mid-latitudes generates vertical movements of ions and electrons in the range 90 – 150 km height. This mechanism explains the heavy metal-ions ( $\text{Fe}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Si}^+$ ) density at E-layer height, by bulk motion from D layer height. The theoretical results show vertical velocities and times of effect which agree with experimental observed parameters. The maximum height reached is a function of geomagnetic latitude and conductivities.**

## INTRODUCCION

Del análisis de las capas E-Esporádicas en estaciones de latitud media durante más de un ciclo solar (1958-1974), utilizando la técnica de sondajes verticales, se observan las características de variación de la altura ( $h'Es$ ); frecuencia de apantallamiento ( $fbEs$ ); frecuencia máxima ( $foEs$ ) y la probabilidad de aparición de capas Es en horas/día.

Estas observaciones se comparan con las efectuadas por otros autores en otras estaciones de latitud media del hemisferio norte y sur. (E.K. Smith, S. Matsushita, 1962), llegándose a concluir que el fenómeno Es en latitudes medias presenta un comportamiento periódico. Esta periodicidad es observada en los valores medios de parámetros analizados, ya que no existe regularidad en el comportamiento de una capa en particular y en la evolución de la misma durante un día determinado. La fig. 1 muestra los resultados del cálculo de la probabilidad de aparición observada durante diferentes años, que refleja una similitud llamativa en el comportamiento.

La aparición de la capa Es en un caso determinado parece estar gobernada por los gradientes verticales de vientos neutros horizontales (Whitehead, 1961) que provocarían la compresión del plasma ambiente en magnitud suficiente como para generar una capa de 2 a 6 km de espesor y de densidad media 3 a 6 veces la densidad ambiente. Este mecanismo de vientos cizallantes (Wind-Shear) parece explicar adecuadamente partes de los efectos observados, aún cuando subsisten algunas contradicciones entre el comportamiento observado experimentalmente y el predicho por la teoría. (Whitehead, 1971).

El punto más crítico de la evolución teórica de las capas Esporádicas es el comportamiento temporal de las mismas en un mismo día; ya que en intervalos de tiempo de minutos puede cambiar su estructura y altura. Las variaciones de estructura no han sido, hasta la fecha, tema de estudios muy profundos, no así el tema de variación en altura de una misma capa (W. Axford, 1963); (J. Chimonas, W. Axford, 1968); (Wright et al., 1967); (J. Whitehead, 1972); (C. Chimonas, 1973). A pesar de los esfuerzos realizados, el punto más conflictivo sigue siendo la explicación de la inversión del mecanismo de bajada (Marea ionosférica) que provoca una subida de los iones que forman capas Es a alturas considerablemente superiores a la correspondiente a su altura de escala. Tampoco están de acuerdo los investigadores de este tema en cuáles son las causas de los bruscos movimientos de altura observados ya que la teoría predice una variación suave de altura que es observada algunas veces, pero no es fácilmente explicable cuáles son las causas de los movimientos bruscos de altura algunas veces acompañados de cambios de temperatura.

Ejemplo de lo señalado se da en la fig. 2 en cuanto las variaciones de altura y cambios de estructura. Se observa que distintos días presentan un comportamiento diferente por lo que se supone que son de considerable importancia las condiciones "meteorológicas" a esa altura.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Del análisis de ionogramas de dos estaciones de latitudes medias; Buenos Aires y Puerto Stanley, Malvinas, en el período 1958-1974 se extractaron los

datos correspondientes a los parámetros medibles de las capas Es: h'Es; fbEs; foEs; y se analizó la cantidad de horas/días en que se detecta la presencia de capas Es (probabilidad de aparición). Teniendo en cuenta que un ciclo solar es de aproximadamente 11 años, el análisis cubre más de un ciclo solar, debido a que los datos son horarios, la masa de datos es de más de 140.000 datos de cada parámetro.

Para el análisis de casos particulares (variación diaria de una capa) se analizaron los parámetros antes citados cada 15 min., con lo que se obtiene una mayor precisión temporal para el análisis dinámico del fenómeno. Dos ejemplos de evolución diaria se muestran en la fig. 2.

El comportamiento de los parámetros analizados tomando medidas horarias mensuales para las dos estaciones se muestra en la fig. 3a y 3b.

Se observa una distribución diferente para las dos estaciones en la probabilidad de aparición, pero esta diferencia es en gran medida debida a diferencias en los equipos de detección ya que el equipo utilizado en Buenos Aires tiene un umbral de frecuencias superior al usado en Malvinas debido a diferencias en la antena receptora y, además, al problema del ruido radioeléctrico en Buenos Aires, que es menor en la otra estación analizada, circunstancia que obliga a desechar los ecos por debajo de 1,5 MHz como dudosos.

Los otros parámetros medidos (altura y frecuencia) muestran un comportamiento semejante en las dos estaciones, de lo que se deduce que el fenómeno en cuestión no obedece a causas locales en forma predominante, sino que depende de condiciones generales de dimensiones superiores a los 2.500 Km. Partiendo de esta evidencia es que se comienza a analizar cuáles son las causas que provocan esta ionización, teniendo en cuenta que el fenómeno debe estar provocado por condiciones de gran escala, que sufren las variaciones diarias encontradas por modulación de efectos locales. La primera correlación que se analiza es con el ángulo cenital solar. De esta correlación se deduce que la densidad electrónica de la capa depende del control solar (fig. 4a, 4b). La correlación que se encuentra con el ángulo cenital solar y la altura es de un aumento brusco de altura cuando el ángulo cenital solar es de  $93^\circ - 95^\circ$  (amanecer). (Giraldez, Mesterman, 1974); este aumento brusco de altura es del orden de 40 - 50 Km (fig. 4a, 4b). La dependencia de dicho aumento de altura con la hora del amanecer (fig. 5) queda demostrada por el corrimiento de la hora local en que se produce con la época del año y la latitud geográfica.

Las correlaciones con el comportamiento solar son solamente las señaladas, de lo que se infiere que la formación de las capas no está regida en forma directa por radiación solar ya que de ser así debiera comportarse como la capa E normal que virtualmente desaparece durante la noche. Esto no sucede e incluso se observa que en verano es opuesto (fig. 1).

Del análisis de las correlaciones entre los distintos parámetros entre sí se observa una correlación entre la altura y la frecuencia de apantallamiento (fbEs) para un tipo particular de capas Es; las llamadas tipo "C" (fig. 6). El tipo Es "C" debe su denominación a que al ser observado en un ionograma, se ve la presencia de retardo de tiempo en la frecuencia crítica de la capa, lo que le da una apariencia de cúspide de donde saca su nombre. Esta correlación encontrada es, a juicio de los autores, de considerable utilidad para llegar a establecer cuál es el mecanismo de acumulación de la ionización para este tipo de capa Es.

Otra relación interesante entre los parámetros medidos es la relación entre la altura de la capa Es durante las horas del amanecer y la probabilidad de aparición de capas Es durante el resto del día. (Giraldez, Mesterman, 1974). (Fig. 7). Las características enunciadas en este párrafo, de correlaciones entre los parámetros de las Es, figuran como contribución de la Argentina al Comité Consultivo Internacional de Radio (C.C.I.R.), aceptadas en la reunión de trabajo de la Comisión VI (Ginebra, 1974).

El trabajo de morfología que constituye todo lo antedicho se amplió con la búsqueda de relaciones de los primeros parámetros característicos de las capas en estudio con perturbaciones solares fuertes, lo que no dio resultado definitivo positivo, con lo que se abandonó la búsqueda de este tipo de relaciones como determinantes de alteraciones del comportamiento de las capas en estudio por repentinas variaciones del nivel de radiación solar incidente.

## DISCUSION

La discusión se divide en dos partes: la primera parte **(a)** se dedica a la presentación de los resultados de la teoría de vientos cizallantes y sus consecuencias, tal como fue presentada con las sucesivas modificaciones efectuadas por otros autores, y el análisis de sus limitaciones. La segunda parte **(b)** es el desarrollo fundamental de este trabajo, y consiste en el análisis de los movimientos magnetohidrodinámicos del plasma de la zona E de la ionósfera con lo cual se intenta mostrar que los movimientos de las E Esporádicas están gobernadas por la dinámica de la región en cuestión, y se presentan los resultados experimentales que confirman este punto de vista. Se incluyen en esta parte resultados experimentales obtenidos por otros autores, en especial los obtenidos de experiencias de calentamiento artificial de la ionósfera.

**(a)** La teoría de vientos cizallantes (Whitehead, 1961), propone que vientos en direcciones opuestas horizontales y separados en 10 km de altura, provocan la aparición de "trampas de plasma", por compresión de la ionización ambiente, que permiten la aparición de capas del tipo de las tratadas en este trabajo. El esquema de la teoría es el siguiente:

La fuerza de Lorentz en un plasma con colisiones puede escribirse como:

$$d v / dt = e(E + V \times B) / m - (U - V) \cdot \nu$$

V = Velocidad de iones y electrones

U = velocidad de part. neutras

E = campo eléctrico

B = campo magnético

e = carga eléctrica

m = masa

$\nu$  = frecuencia de colisiones

Suponiendo que la aceleración promedio es nula, en un sistema de coorde-

nadas cartesiano con z como dirección azimutal, si el campo magnético B está en el plano X, Z y representa al sistema de vientos que se invierten en un intervalo de 10 km de altura como una onda sinusoidal de la forma:

$$V_x = -V_o \cdot \text{sen}(2\pi z/\lambda)$$

$\lambda$  = "longitud de onda vertical" del movimiento.

Con estas condiciones, la expresión para la densidad queda de la siguiente forma:

$$N_{\text{max}}/N_o = (\lambda/2\pi V_o T) \cdot (\exp(2\pi V_o T/\lambda) - 1)$$

T = tiempo que tardan los electrones en moverse desde  $z_o$  a z.

Tomado T: 600 seg;  $\lambda$ : 10 km, los valores de la densidad están relacionados con los de la velocidad de la siguiente manera (Whitehead, 1961)

$V_o$ (m/seg)	$N_{\text{max}}/N_o$
3	1,7
6	3,2
9	7,4
12	13,4
15	29,5

Esto indica que éste puede ser un mecanismo muy poderoso de compresión de la ionización y es generalmente aceptado como el mecanismo real de formación de las capas Es en latitudes medias, ya que en altas latitudes el comportamiento es muy diferente, lo que indica que la formación muy probablemente se deba a otros mecanismos diferentes al descrito. En este trabajo se acepta que el mecanismo descrito es el responsable del adensamiento que da lugar a las capas Es, por lo que queda por tratar el problema no explicable con esta teoría, y que es cuál es la causa de los movimientos verticales observados y las variaciones de densidad iónica de las capas ya formadas; que puede aumentar o disminuir en forma muy rápida, lo que no es explicable a partir de la teoría de vientos cizallantes presentada.

Estas dos últimas incógnitas han sido tratadas como respondiendo a las "mareas solares" y "mareas gravitatorias". Esto significa aceptar que debido al calentamiento solar de la ionósfera y a las fuerzas gravitacionales terrestre, solar y lunar (aunque esta última se desprecia por ser muy pequeña frente a las otras dos), la ionósfera adquiere un movimiento oscilatorio en la dirección vertical que provoca variaciones en altura (A. D. Richmond, 1971); al mismo tiempo la variación de la altura de los componentes ionosféricos provoca en ellos una alteración de su velocidad de reacción con el medio que da lugar a los aumentos o disminuciones de las velocidades de creación y pérdida iónica.

La existencia de mareas y un posible efecto de inversión del proceso de descenso por debajo de 90 km es el mecanismo actualmente en uso y discusión acerca de la dinámica de las Es.

Este mecanismo de inversión no parece muy efectivo (Whitehead

1971-1972) como para ser el responsable principal de las magnitudes observadas.

(b) En este trabajo se demuestra que los movimientos verticales están provocados en gran medida por causas hidromagnéticas, y en el caso particular del amanecer, el gradiente de presión generado provoca un frente de presión Este-Oeste que, se demuestra a continuación, puede ser el mecanismo más importante en la región E.

Se comparan las soluciones teóricas obtenidas con los datos experimentales observados y de los mismos se concluye que, para reproducir las condiciones experimentales, es suficiente que el frente de presión tenga una duración de 100 a 500 seg., a 100 km de altura y una magnitud de 1% en exceso de la presión normal ambiental.

De hecho se desprecia el efecto de los campos eléctricos existentes a esta altura como parte importante de la dinámica de la región debido a que su intensidad (del orden de algunos mV como máximo) resultan ser varios órdenes de magnitud menores que las contribuciones electromagnéticas. El sistema de ecuaciones que describe la dinámica de un plasma inmerso en un campo magnético, tomando al plasma como un fluido con frecuencia de colisiones no despreciable es el sistema de ecuaciones Magnetohidro Dinámicas (MHD).

$$\rho \cdot (d\vec{V} / dt) = \vec{F} + \vec{J} \times \vec{B} \quad (2^\circ \text{ ley de Newton}) \quad (1)$$

$$\vec{J} = \sigma_1 \cdot (E + V \times B) + \sigma_2 \cdot (B \times E) / B \quad (\text{Ley de Ohm}) \quad (2)$$

imponiendo la condición  $\vec{E} \cdot \vec{B} = 0$  campos eléctricos normales en la dirección del campo magnético se obtiene la ecuación de movimiento:

$$V = (\vec{E} \times \vec{B}) / B^2 - \sigma_1 / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) B^{-2} \cdot (\vec{E}_1 - dV_1/dt) + \sigma_2 / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \cdot B^{-3} \cdot \vec{B} \times (\vec{F} - d\vec{V}/dt) \quad (3)$$

J = corriente

$\sigma_1$  = conductividad Pedersen

$\sigma_2$  = conductividad Hall

E = campo eléctrico

B = campo magnético

$\rho$  = densidad del medio

V = velocidad macroscópica de partículas cargadas y/o neutras

F = fuerzas no electromagnéticas

$V_1$  y  $F_1$  son normales a  $\vec{B}$

$R_1 = \sigma_1 / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)$

$R_2 = \sigma_2 / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)$

Al descomponer la velocidad en sus tres direcciones y tomando el sistema de ejes coordenados tal que el campo magnético esté en el plano X, Z y forma un ángulo  $\theta$  con el eje X según se muestra en la fig. 8.

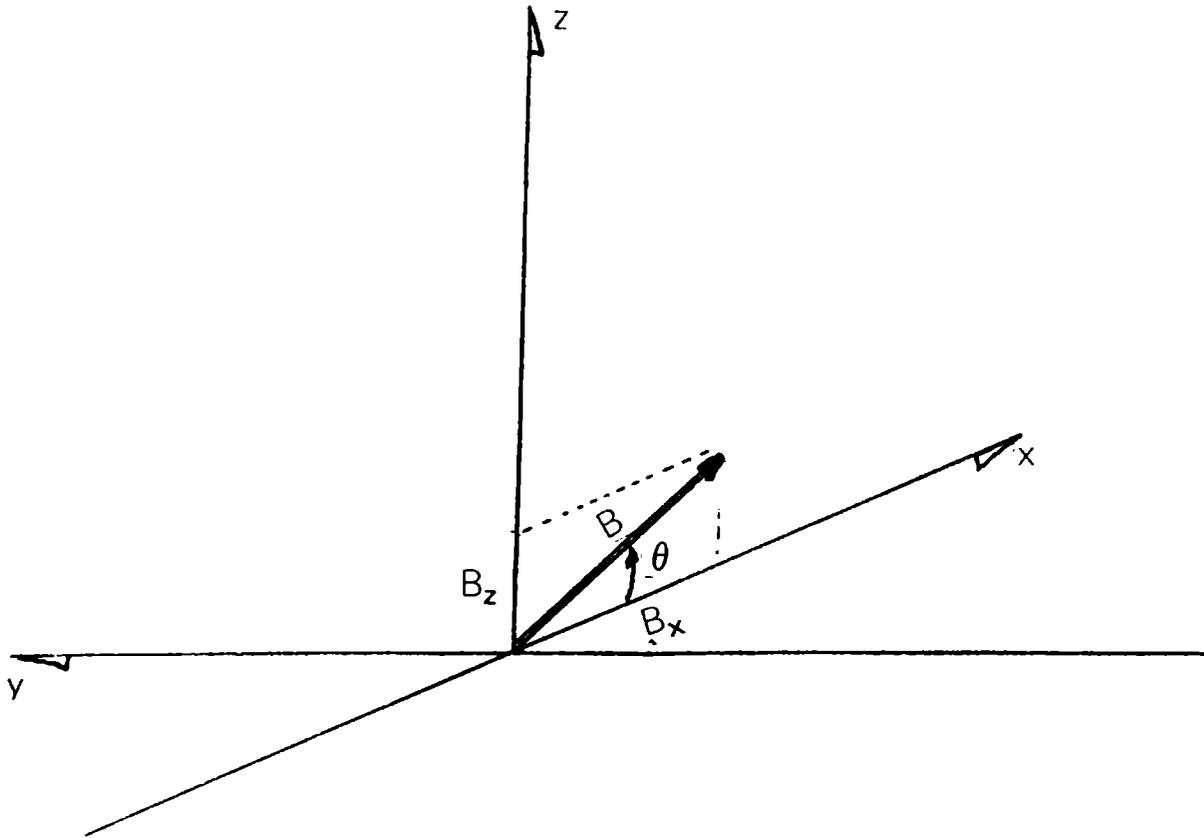


Fig. 8

En estas condiciones las componentes de la velocidad en las tres direcciones son:

$$V_x = \frac{E_y}{B} \cdot \text{sen}\theta + \frac{R_1}{B^2} \cdot (F_z \cdot \text{cos}\theta \cdot \text{sen}^2\theta - \rho \frac{dV_z}{dt} \cdot \text{sen}^2\theta \cdot \text{cos}\theta) - \frac{R_2}{B^2} \cdot \text{sen}\theta \cdot (F_y - \rho \frac{dV_y}{dt}) \quad (4)$$

$$V_y = \frac{E_z}{B} \cdot \text{cos}\theta + \frac{R_1}{B^2} (F_y - \rho \frac{dV_y}{dt}) - \frac{R_2}{B^2} \cdot (\text{cos}\theta \cdot (F_z - \rho \frac{dV_z}{dt}) + \text{sen}\theta \cdot (F_x - \rho \frac{dV_x}{dt})) \quad (5)$$

$$V_z = \frac{E_y}{B} \cdot \text{cos}\theta + \frac{R_1}{B^2} \cdot \text{cos}^3\theta \cdot (F_z - \rho \frac{dV_z}{dt}) - \frac{R_2}{B^2} \cdot \text{cos}\theta \cdot (F_y - \rho \frac{dV_y}{dt}) \quad (6)$$

En este caso particular lo que interesa es calcular el valor de  $V_z$ . debido a que las ecuaciones son acopladas, la expresión de  $V_z$  es una ecuación de tercer grado con la siguiente forma:

$$\rho R_1 \left( \frac{\rho R_2 \text{sen}\theta \text{cos}\theta}{B^3} \right)^2 \cdot (\text{sen}\theta + \text{cos}\theta) \frac{d^3 V_z}{dt^3} + \frac{R_2^2 - R_1^2 \text{cos}^3\theta}{B^4} \cdot \rho^2 \frac{d^2 V_z}{dt^2} -$$

$$- R_1 \rho \cdot \frac{(\text{cos}^3\theta + 1)}{B^2} \cdot \frac{dV_z}{dt} - V_z = \rho^2 \cdot \frac{R_1 R_2^2 \text{sen}^2\theta \text{cos}^2\theta}{B^6} (\text{sen}\theta + \text{cos}\theta) \cdot \frac{d^2 F_z}{dt^2} -$$

$$\begin{aligned}
& -\rho \cdot \cos^2 \theta \left( \frac{R_1^2 \cos \theta - R_2^2}{B^4} \right) \cdot \frac{dF_z}{dt} - \rho \cdot \frac{R_2^2 \cdot \sin \theta \cos \theta}{B^4} \cdot \frac{dF_x}{dt} + \frac{R_2 \cdot \cos \theta \cdot F_y}{B^2} - \\
& - \frac{R_1 \cdot \cos^3 \theta \cdot F_z}{B^2} + \frac{R_2 \cos^2 \theta}{B^3} \cdot \rho \cdot \frac{dE_z}{dt} - \frac{R_1 \cdot \cos \theta}{B^3} \cdot \rho \cdot \frac{dE_y}{dt} - \frac{\cos \theta}{B} E_y \quad (7)
\end{aligned}$$

La resolución de la ecuación homogénea da tres raíces de la ecuación algebraica característica. Llegado a este punto, deben darse valores numéricos a las constantes que figuran en coeficientes de los distintos términos ya que las formas de las soluciones (oscilatorias; exponenciales crecientes o decrecientes) dependen de los valores de los coeficientes.

Adaptando para las distintas constantes los siguientes valores:

$$R_1 = 2.10 \text{ (m/mh0) (Richmond-Venkateswaran 1971)}$$

$$R_2 = 10^3 \text{ (m/mh0) (Richmond-Venkateswaran 1971)}$$

$$\rho = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ (Kg/m}^3\text{) (Smithsonian Tables)}$$

$$B = 4 \cdot 10^{-5} \text{ (Tesla)}$$

$$\theta = 40^\circ$$

Estos valores, excepto el angular (que se toma como valor de prueba de condición de latitud media) son los aceptados de características ionosféricas señaladas a una altura de 100 km (25-60° lat.).

Los valores obtenidos de las raíces de la Es homogénea son:

$$T_1 = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ (1/seg)}$$

$$T_2 = -1,65 \cdot 10^{-5} \text{ (1/seg)}$$

$$T_3 = -1,8 \cdot 10^{-6} \text{ (1/seg)}$$

Las soluciones homogénea son de la forma:

$$V(t) = A_1 \cdot \exp(T_1 \cdot t) + A_2 \exp(T_2 \cdot t) + A_3 \exp(T_3 \cdot t)$$

Estas soluciones solo tienen valor relativo ya que no representan la situación física exacta y solo la solución de la ecuación completa puede dar información útil. La resolución de la ecuación in-homogénea lleva a integrales de los valores de las fuerzas y los campos eléctricos y sus derivadas con las soluciones homogéneas. Para obtener soluciones numéricas deben asignarse valores; constantes o no; a las inhomogeneidades. Como ya se dijo la contribución de los campos eléctricos es despreciable frente a la de las fuerzas no electromagnéticas, por lo que se desprecia la contribución de los primeros en la solución general.

La asignación de valores a los otros términos se hace de la siguiente forma:

$F_x$  = Fuerzas en la dirección X, en este caso particular se tomarán como nulas, pero se hace la salvedad que puede existir y de hecho existen generadas por gradientes de temperatura y densidad en condiciones particulares. Para el caso que se está tratando se las supondrá nulas debido a que el interés de este trabajo está centrado en los efectos

generados por el amanecer, por lo que solo se tomarán en cuenta las fuerzas Este-Oeste. Luego se discutiría la importancia de la presencia de este tipo de perturbaciones. En el caso de existir, se propone que la duración de un frente impulsivo en esta dirección es del orden de los 100 seg.

$F_y$  = El gradiente de temperatura generado por el amanecer da lugar a la aparición de un frente de alta presión que se desplaza de Este a Oeste aproximadamente, variando el ángulo de incidencia a lo largo del año. El tiempo de duración de esta perturbación debiera ser, de acuerdo con los tiempos de relajación de la ionósfera a los 100 km de altura, superior a los 1000 ·seg, pero de las experiencias de calentamiento artificial (W. F. Utlaut 1970) se observan respuestas del orden de segundos en capa F, contra las previsiones efectuadas teóricamente de tiempos mucho mayores. Luego de reconocida la causa de la diferencia se efectuaron predicciones para la zona E (J. Willis J. R. Davis 1973) que estiman el tiempo de respuesta a 100 km en el orden de los 200 seg. Adoptando estos tiempos como los característicos de las perturbaciones se obtienen los resultados presentados.

$F_z$  = Las fuerzas que actúan en la dirección cenital, además de la gravitatoria  $-\rho \cdot g$  se suponen del mismo tipo que para las otras direcciones y con los mismos tiempos característicos.

La expresión de las fuerzas en las tres direcciones queda entonces:

$$\begin{aligned} F_x &= F_x^{\circ} \cdot \exp(-10^{-2} \cdot t) \\ F_y &= F_y^{\circ} \cdot \exp(.10^{-2} \cdot t) \\ F_z &= F_z^{\circ} \cdot \exp(-10^{-2} \cdot t) - \rho g \end{aligned}$$

con este tipo de inhomogeneidades, la solución toma la forma:

$$\begin{aligned} V_1(t) &= \text{constantes 1.} (\exp(T_1 \cdot t) - \exp(-10^{-2} \cdot t)) \\ V_2(t) &= \text{constantes 2.} (\exp(T_2 \cdot t) - \exp(-10^{-2} \cdot t)) \\ V_3 &\quad \text{idem} \end{aligned}$$

Los valores de las constantes 1, 2 y 3 están determinadas por los parámetros conductividad, densidad, campo magnético, ángulo de inclinación magnética  $F_{x,y,z}^{\circ}$  y las constantes que deben ser determinadas por las condiciones de contorno. El problema que se presenta es que no se tiene como dato experimental las derivadas primera y segunda de la velocidad, necesarias para determinar la solución unívocamente. Esta indeterminación se elimina utilizando como condición de contorno el espacio total recorrido (altura).

La expresión general de la velocidad con la condición  $V_0 = 0$  es:

$$\begin{aligned} V_z(t) = N \cdot & \left\{ [1,39A_1 (e^{T_1 t} - e^{-0,01t}) + A_2 (e^{-T_2 t} - e^{-0,01t}) - \right. \\ & \left. - 2,24A_3 (e^{-T_3 t} - e^{-0,01t})] (6,7 \cdot 10^{12} \cdot F_z^{\circ} + \right. \\ & \left. + 2,14 \cdot 10^5 \cdot F_y^{\circ} - 3 \cdot 10^{10} \cdot F_x^{\circ}) + 10^3 \cdot [0,273A_2 (e^{-T_2 t} - 1) - \right. \end{aligned}$$

$$\left. - 0,62A_1(e^{\tau_1 t} - 1) - 5,53A_3 (e^{-\tau_3 t} - 1) \right\} \quad (8)$$

Las constantes  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  se determinan a partir de la condición  $V(0,7,000 \text{ seg}) = 0$  que es el tiempo que dura la subida de la capa E durante las primeras horas del día. resultando:

$$A_1 = -10/1,39$$

$$A_2 = 1,00$$

$$A_3 = -10/2,24$$

El valor de la constante  $N$  se determina con la condición impuesta que el espacio total recorrido en la dirección vertical es de  $130 \text{ km} - 90 \text{ km} = 40 \text{ km}$

$$40 \text{ km} = \int_{t=0}^{t=7000 \text{ seg.}} V_z(t) dt$$

el resultado es  $N = 9 \cdot 10^{-2}$

Con estas condiciones, la velocidad máxima de subida es de  $60 \text{ m/seg}$  y se alcanza este valor a los  $1000 \text{ seg}$  del comienzo del proceso. Este valor de la velocidad se obtiene suponiendo que la única fuerza (además de la gravitatoria) es un aumento de presión del  $1\%$  en la dirección "Y" donde la presión media ambiental es de  $3,53 \text{ dinas/cm}^2$ .

La forma de variación de la velocidad es como muestra la siguiente tabla:

t (seg)	Vz(m/seg)
0	0
10	6,5
100	42,66
1000	66,01
2000	52,21
3000	43,3
4000	34,1
5000	24,8
6000	12,1
7000	2,02

La justificación de haber incluido solamente un gradiente de presión perpendicular al campo magnético y en la dirección Este-Oeste y no en las otras dos direcciones es que la primera es la más importante generada por el calentamiento ionosférico del amanecer, mientras que las otras dos fuerzas en las otras direcciones no son evidentes y en la literatura consultada sobre vientos ionosféricos y movimientos de plasma, no se encontraron evidencias de la presencia de frentes impulsivos de corta duración comparables al producido por calentamiento solar (excepto los casos de calentamiento artificial de la ionósfera ya referenciados, Utlaut (1970), por lo que en este caso, se supone que el único de importancia es el Este-Oeste.

Debe tenerse en cuenta que de acuerdo con la solución encontrada, de existir una perturbación impulsiva en la dirección vertical el efecto que provocaría sería más importante que el actualmente bajo análisis. Esto da lugar a otra fase de la investigación de la dinámica de la región E, que no será desarrollada en este trabajo.

La limitación más importante de las soluciones encontradas en este trabajo es que los cálculos efectuados (con los valores de los parámetros a 100 km de altura) son representativos de una zona muy angosta de la ionósfera, entre 90 y 140 km aproximadamente, ya que se analizó a que altura se produce la transformación de las raíces en complejas y se determinó que la condición aproximada de cambio de comportamiento de la solución está determinada por la relación:

$$R_2 = R_1 \cdot (\cos^3 \theta)$$

donde  $\theta$  es el ángulo de inclinación magnética. Este punto indica que la subida es más prolongada en puntos con ángulo de inclinación magnética más grande, lo que provoca igual cantidad de iones acumulados en total y explicaría entonces por qué se observan más Es en lugares donde la componente horizontal del campo es mayor, ya que significa que en esos lugares, la masa iónica está limitada entre 100 y 130 km por lo que la concentración iónica es mayor.

En este trabajo se analizó el comportamiento del plasma por encima de la altura indicada (140 km) como altura de transición del comportamiento a soluciones oscilatorias.

Otros efectos encontrados experimentalmente y que pueden ser explicados con este mecanismo de la dinámica de la región E son los siguientes:

El primero de ellos es el señalado por S. Basu et al (1973), quienes con la técnica de retrodispersión analizan los ecos de capas Es durante casi un ciclo solar, encontrando que durante las horas del amanecer la probabilidad de aparición de capas Es es muy alta al Este del punto de observación y prácticamente nula al Oeste del mismo. Los autores no dan explicación del fenómeno, que de acuerdo con lo expuesto, puede ser debido a la subida de la ionización en lugares donde está amaneciendo, lo que aumentaría considerablemente la masa iónica, mientras que al Este, todavía no se ha producido el efecto de aumento de la ionización por lo que la probabilidad de existencia de capas Es es muy baja.

El otro efecto interesante de analizar es el provocado por calentamiento artificial de la capa F (300 km). Esta experiencia ya nombrada (Utlaut 1970; Utlaut y Violette 1972) muestra que al cabo de 5 minutos de calentamiento con un transmisor de alta potencia en Hf aparece una capa Es de anormal densidad. En condiciones normales la probabilidad de aparición de una capa con esas características es de 2 a 3 veces en un año, mientras que en este caso aparece en cada experiencia de calentamiento (varias veces en un día). Los autores (Utlaut y Violette 1972) observan el aumento brusco pero señalan: "Debido a la variabilidad inherente a los ecos E esporádicos, es posible que el salto en frecuencia máxima sea debido a causas naturales más que al efecto de calentamiento" Luego indican que incrementos similares en la frecuencia máxima de los ecos Es fueron observados en varias ocasiones luego de haber conectado el transmisor. Aceptando que el calentamiento artificial de la capa F modifica el gradiente VERTICAL de presión, aunque esta modificación fuese muy pequeña, la veloci-

dad vertical puede llegar a ser considerable y provocar un adensamiento anormalmente grande a altura de capa E.

Debido a estas características experimentales observadas, es que se propone que los iones metálicos que forman las capas Es son arrastrados por vientos neutros debidos a calentamiento solar durante las horas del amanecer desde alturas de 90 km hasta los 130 – 150 km de altura dependiendo de las condiciones de ángulo de inclinación magnética y la relación entre las conductividades. Estos iones son atrapados por el sistema de vientos estables de la región E que provocarían la compresión de la ionización y la aparición de capas Es.

La bajada de la ionización se produce a lo largo del día arrastrada por la masa gravitatoria, en el caso de que no aparezcan perturbaciones del tipo de las señaladas como capaces de variar en forma brusca la altura. En general es muy difícil encontrar un día calmo, en que se observe una bajada suave. La generalidad es lo opuesto, una bajada irregular y con acumulaciones a distintas alturas.

### **CONCLUSIONES**

El mecanismo magnetohidrodinámico de movimientos de plasma ionosférico por gradientes de presión y temperatura a altura de capa E parece ser el responsable de los esporádicos observados en latitudes medias; además de dar respuestas a algunos otros fenómenos observados por otros autores relacionados con las capas Es.

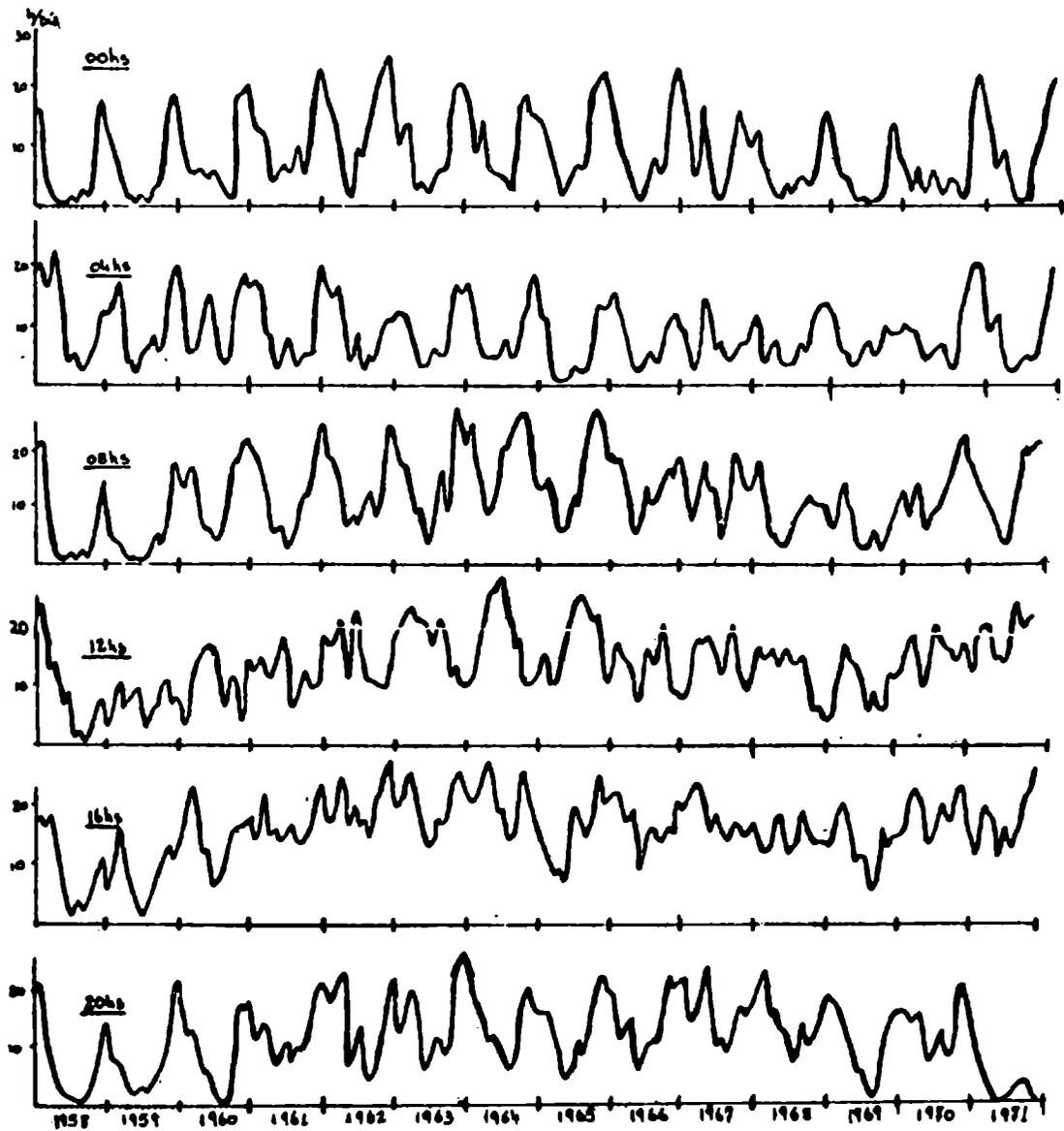


Fig. 1: Probabilidad de aparición de Es en valores mensuales para 6 horas típicas de la estación Buenos Aires desde 1958 hasta 1971.

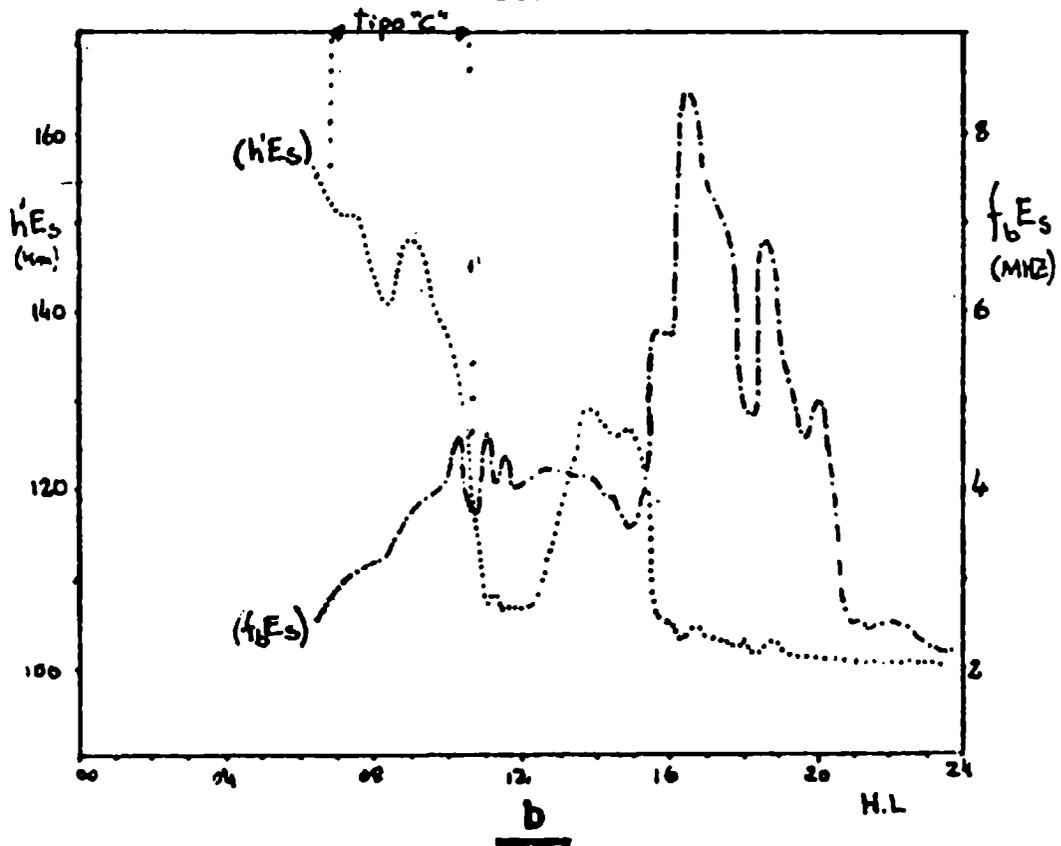
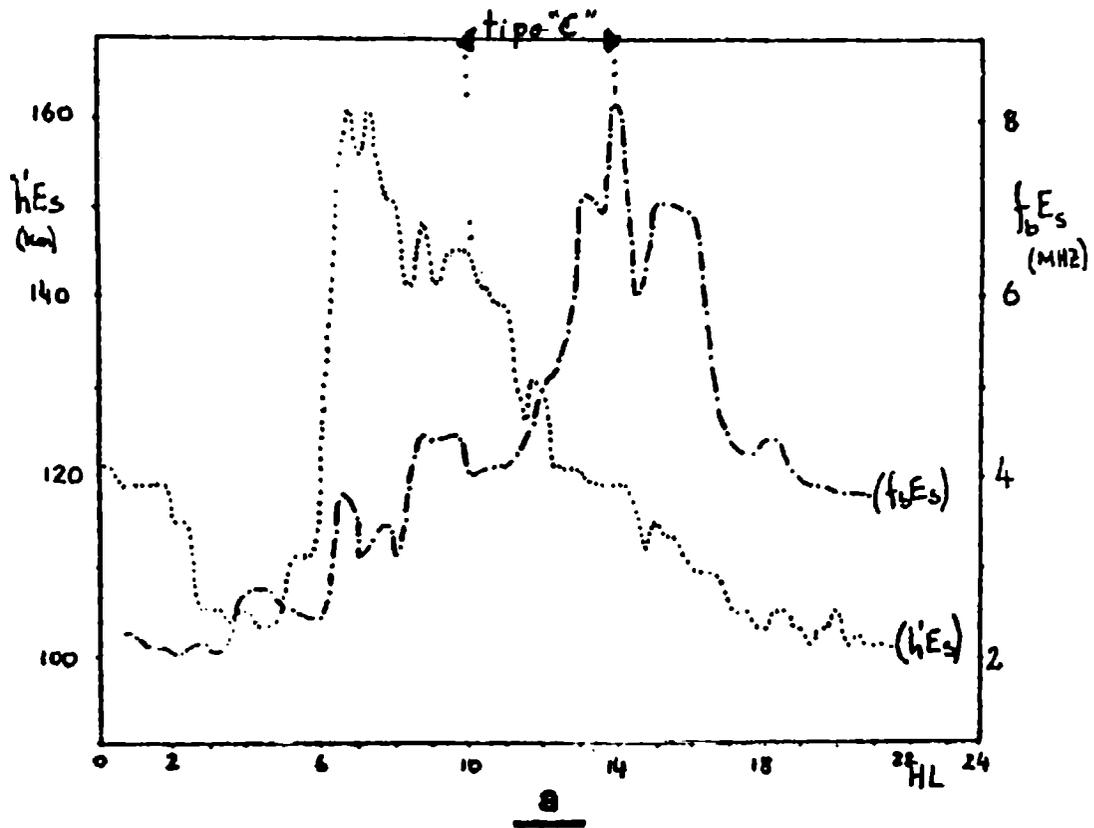


Fig. 2 (a y b): Marcha diaria de altura ( $h'Es$ ) y frecuencia de apantallamiento ( $fbEs$ ) para días completos de aparición con datos cada 15 minutos. 11/3/74 (a) y 3/3/74 (b) de la estación Buenos Aires.

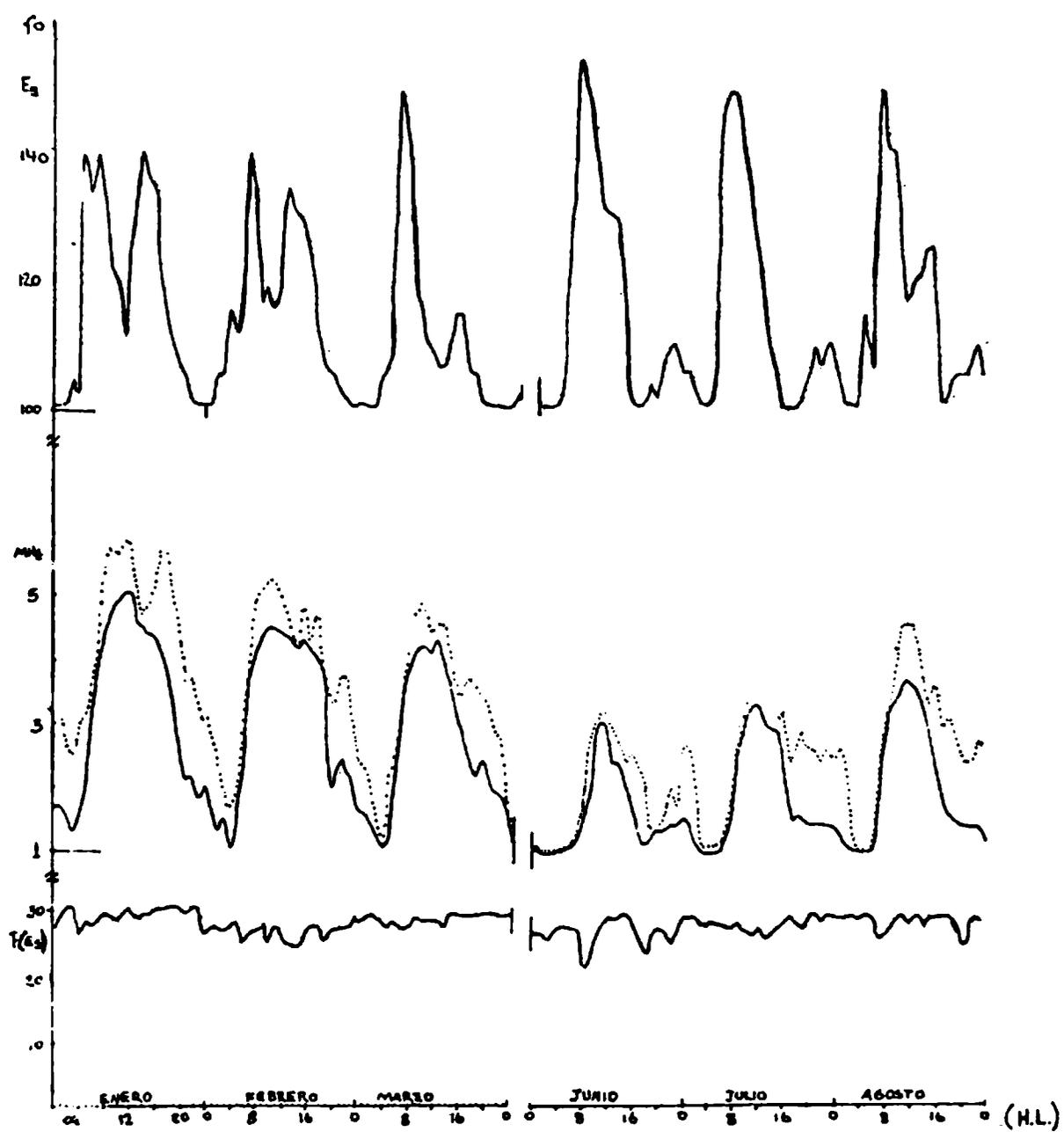


Fig. 3a: Variaciones de:  $h' E_s$ ;  $fb E_s$  (trazo continuo) y  $fo E_s$  (trazo punteado); y Probabilidad de aparición (días mes) en intervalos horarios,  $P_{E_s}$  para la estación Pto. Irigoyen (Is. Malvinas) (1959).

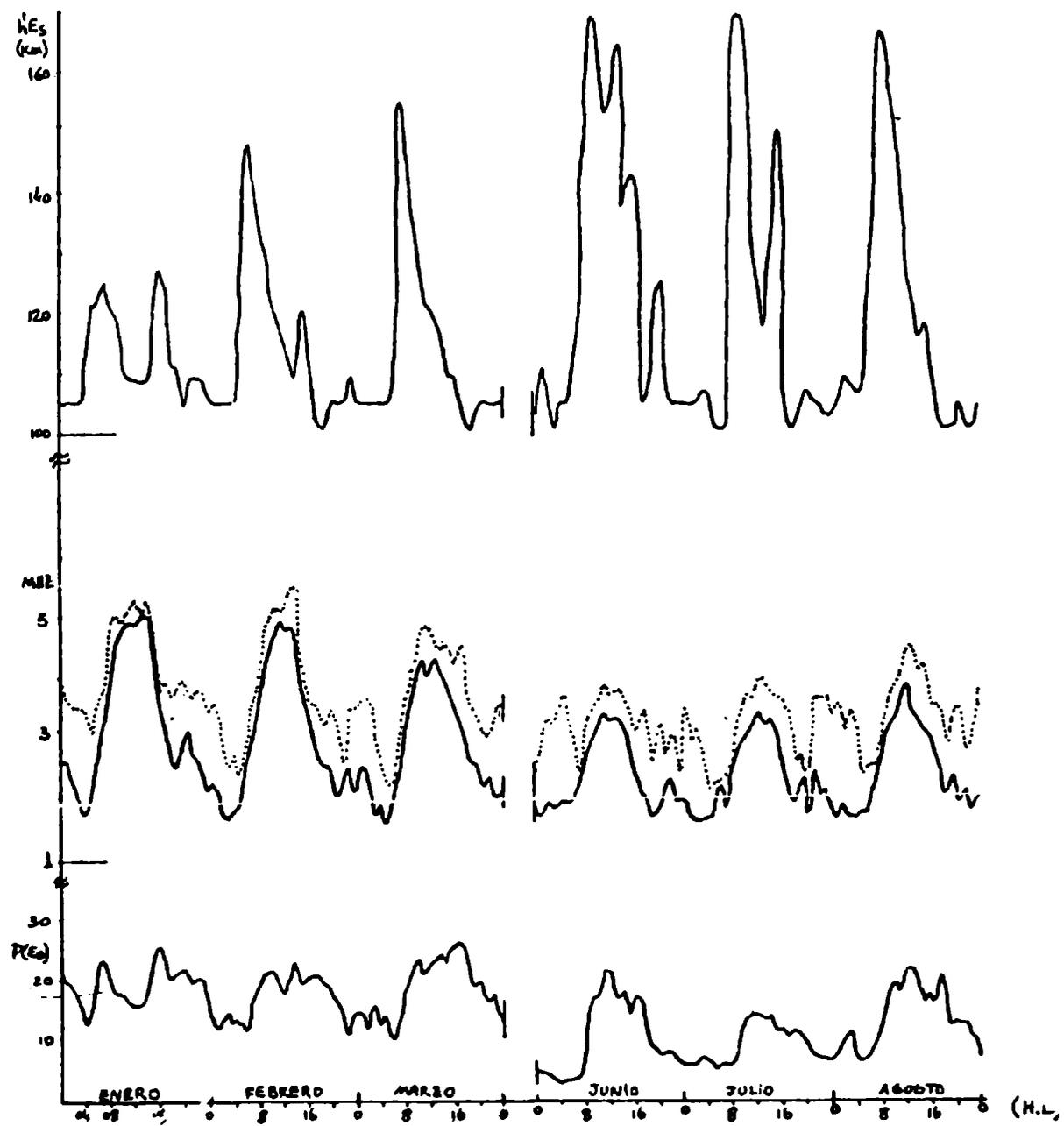


Fig. 3b: Variaciones de  $h'Es$ ;  $fbEs$  (trazo continuo) y  $foEs$  (trazo punteado); y Probabilidad de aparición (días mes) en intervalos horarios,  $PEs$  para la estación Buenos Aires (año 1963).

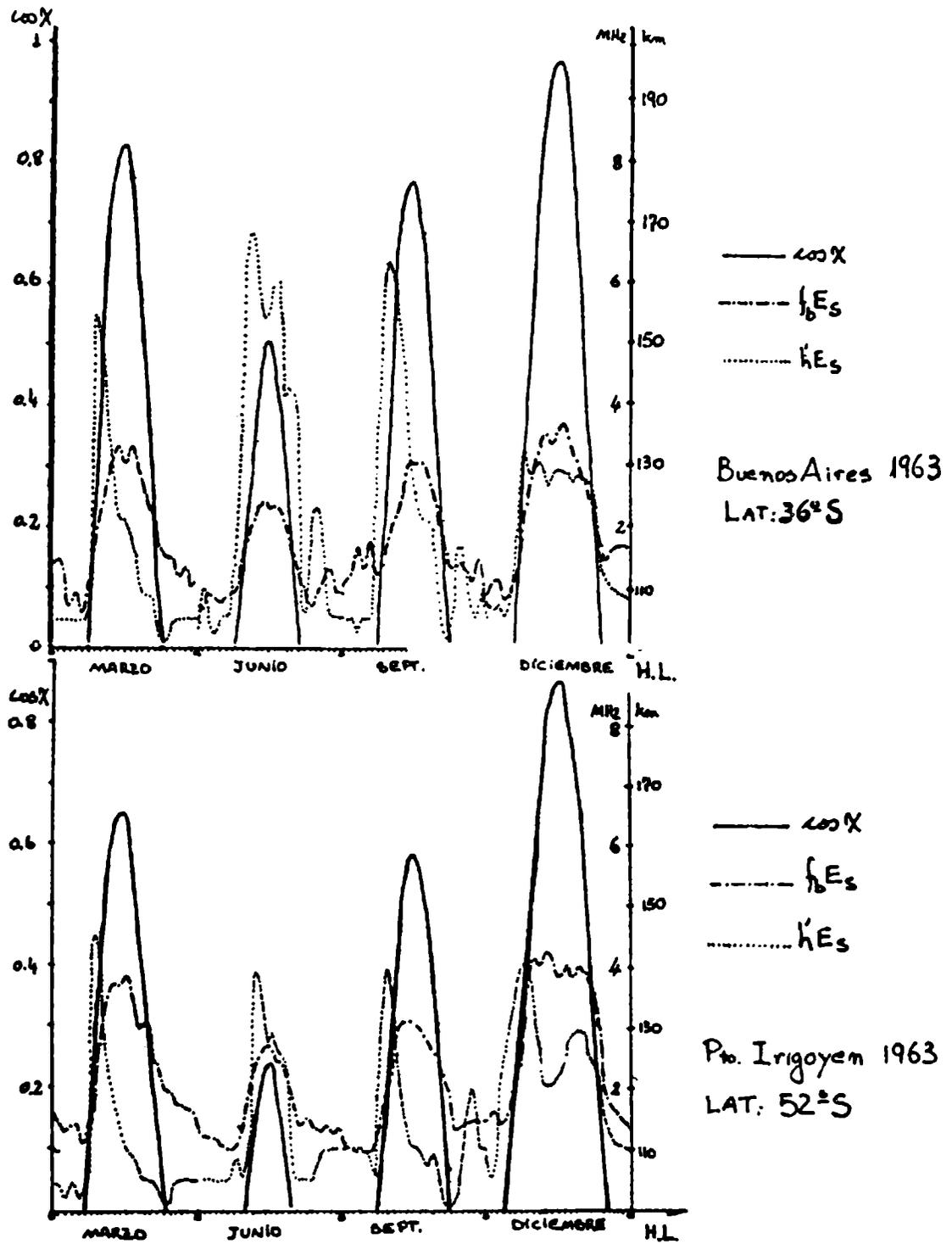


Fig. 4: Correlación del ángulo cenital solar ( $x$ ) con los parámetros  $f_b E_s$  y  $h' E_s$ .

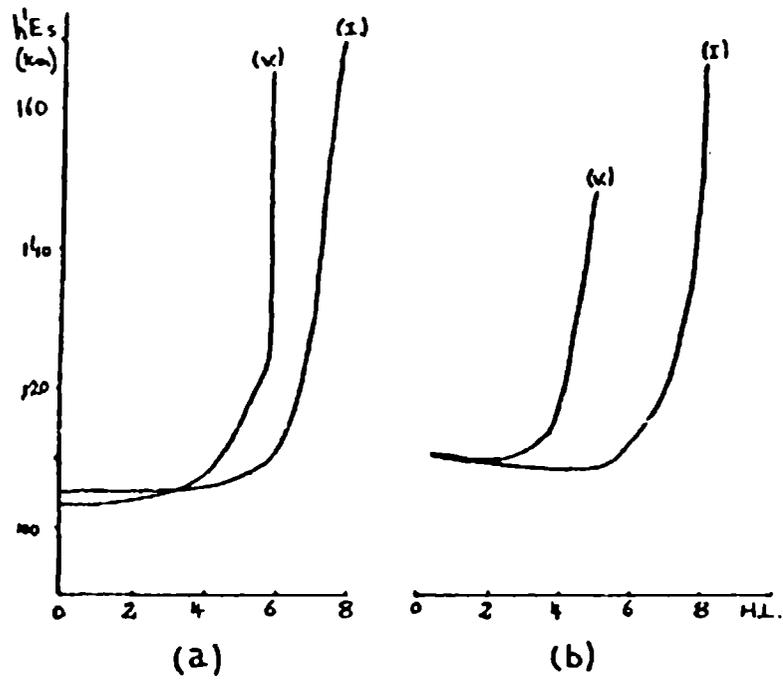


Fig. 5: Variación de la hora de aumento en altura de las capas Es para Invierno (I) y Verano (V) para las estaciones: Buenos Aires (a) y Pto. Irigoyen (b) Is. Malvinas.

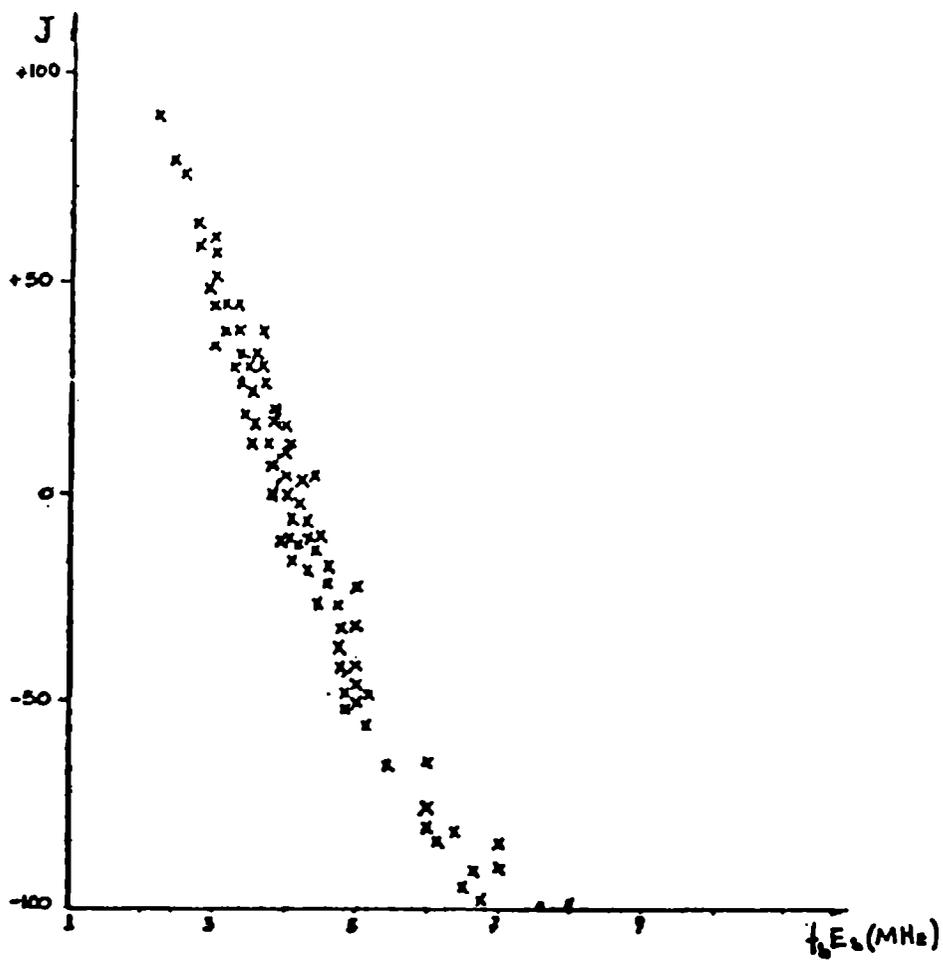


Fig. 6: Correlación entre  $J$  ( $J = h'Es \text{ (km)} - 30 \cdot fbEs \text{ (MHz)}$ ) y la frecuencia de apantallamiento ( $fbEs$ ) para capas Es tipo "C" (Buenos Aires).

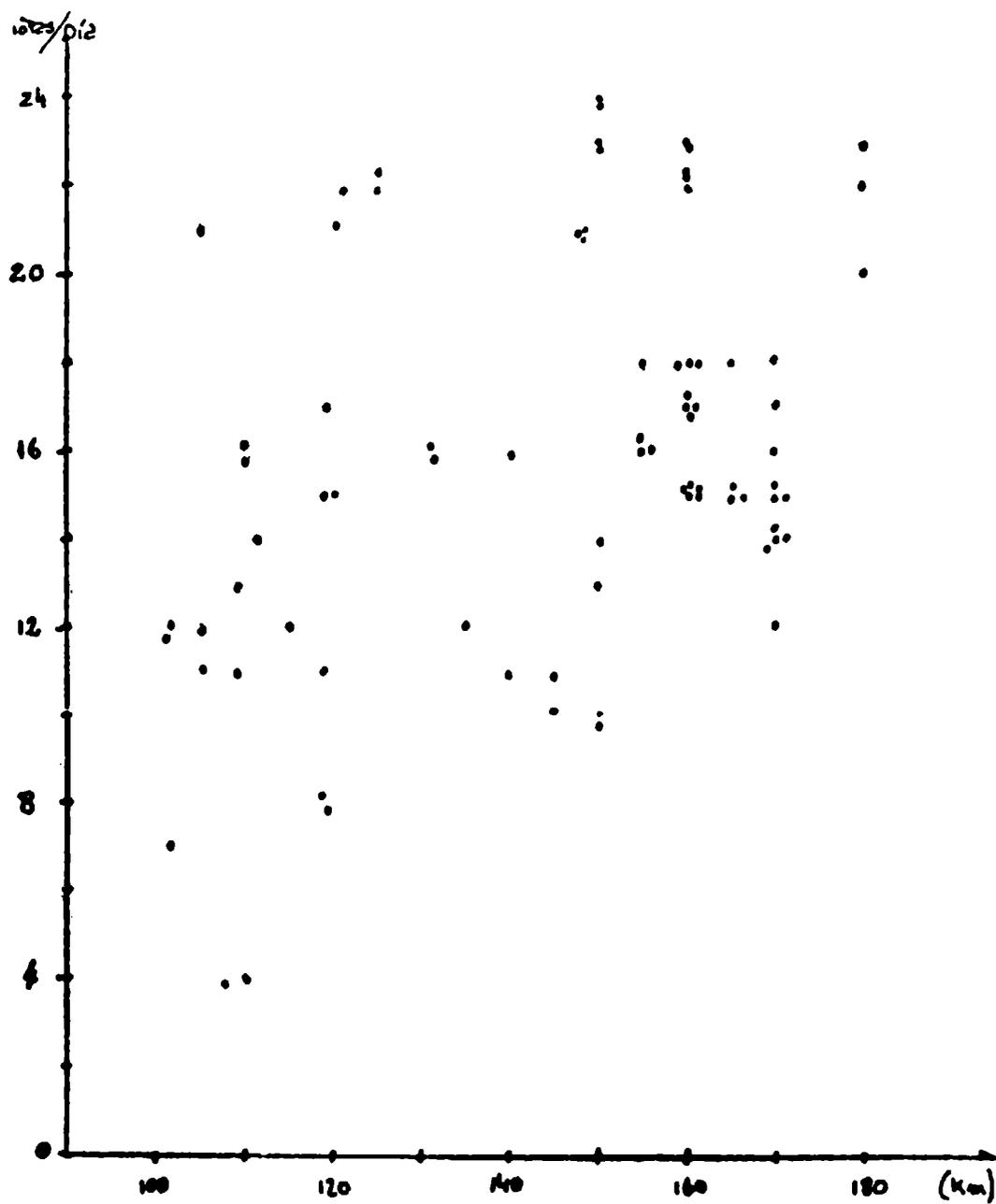


Fig. 7: Correlación entre el tiempo total de presencia de capas Es durante un día (horas) con la altura de las capas Es al amanecer (Bs. As.).

## BIBLIOGRAFIA

- ALFVEN H. y FALTHAMMAR C., 1965: "Cosmical Electrodynamics Oxford Press.
- AXFORD W., 1963: "The Formation and Vertical Movement of Dense Ionized Layers in the Ionosphere due to Neutral Wind Shears" *J. Geophys. Res.* 68, pp. 769 - 779.
- BASU S., VESPRINI y AARONS J., 1973: "Field Aligned Ionospheric E-Region Irregularities and Sporadic-E" *Radio Science* Vol. 8, Nro. 3.
- CHIMONAS G., 1971: "Enhancement of Sporadic-E by Horizontal Transport within the Layer" *J. Geophys. Res.* Vol. 76, pp. 4578 - 4586.
- CHIMONAS G., 1973: "Wind Component Exchange and the Rapid Vertical Movement of a Sporadic-E Layer" *J. Geophys. Res.* Vol. 78, n. 25.
- CHIMONAS G. y AZFORD W., 1968: "Vertical Movements of Temperate-Zone Sporadic-E Layers" *J. Geophys. Res.* Vol. 73, n. 1, pp. 111 - 117.
- GIRALDEZ A. y MESTERMAN L., 1974: "Procesos Físicos y Pautas para la Predicción de la E-Esporádica" LIARA C-21.
- NARCISI R. S., 1968: "Processes Associated with Metal Ion Layers in the E-Region of the Ionosphere" *Space Res.* Vol. 8, pp. 360 - 369.
- RICHMOND A., 1971: "Tidal Winds at Ionospheric Heights" *Radio Science* Vol. 6, n. 2.
- RICHMOND A. y VENKATESWARAN S., 1971: "Geomagnetic Crochets and Associated Ionospheric Current Systems" *Radio Science* Vol. 6, n. 2.
- SMITH E. K. y MATSUSHITA S., 1962: "Ionospheric Sporadic-E" Pergamon Press.
- SPITZER L., 1962: "Physics of Fully Ionized Gases" Intersc. Publishers.
- UTLAUT W., 1970: "Radio Wave Modification of the Ionosphere" *J. Geophys. Res.* Vol. 75, n. 31.
- UTLAUT W. y VIOLETTE E., 1972: "Further Ionosonde Observations of Ionospheric Modifications by a High-Powered HF Transmitter" *J. Geophys. Res.* Vol. 77, n. 34.
- WHITEHEAD J., 1961: "The Formation of the Sporadic-E Layer in the Temperature Zones" *J. Atmos. and Terr. Phys.* Vol. 20, n. 1.
- WHITEHEAD J., 1971: "Difficulty Associated with Wind-Shear Theory of Sporadic-E" *J. Geophys. Res.* Vol. 76, n. 13, pp. 3127 - 3125.
- WHITEHEAD J., 1972: "Some Recent Works on Sporadic-E Theory" *Radio Science* Vol. 7, n. 3.
- WILLIS J. y DAVIS J., 1973: "Radio Frequency Heating Effects on Electron Density in the Lower E-Region" *J. Geophys. Res.* Vol. 78, n. 25.
- WRIGHT J. W., MURPHY C. H. y BULL G. U., 1967: "Sporadic-E and the Wind Structure of the E-Region" *J. Geophys. Res.* Vol. 72, n. 5, pp. 1443.

## DETERMINACION PRELIMINAR DE LA MAREA BAROMETRICA EN LA ZONA DEL RIO DE LA PLATA

GRACIELA FONT DE AFFOLTER y OTTO SCHNEIDER\*  
Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de La Plata

Se calcula la onda lunar semidiurna  $L_2(p)$ , principal componente de la Marea Lunar Barométrica, usando como datos tres valores de presión diarios, facilitados por el Servicio Meteorológico Nacional para las estaciones: Villa Ortúzar, San Miguel y Morón, por un período de aproximadamente 12 años para cada una.

Previo al análisis de los datos se efectúa un estudio de su distribución que definió la cota de perturbación máxima admisible por encima de la cual los días deben ser descartados por quedar contrarrestada la ventaja de una mayor población frente al ruido introducido.

Los resultados del análisis muestran la existencia de una anomalía en todo comparable con el resultado obtenido por Haurwitz y Cowley (1967) para Montevideo, con una amplitud algo mayor que la dada a conocer por Chapman y Austin (1934) para Buenos Aires.

**The lunar semidiurnal wave  $L_2(p)$ , main component of the Barometric Lunar Tide, is calculated on the basis of data coming from three daily pressure values given by the Servicio Meteorológico Nacional for a period of about 12 years for each one of the following stations: Villa Ortúzar, San Miguel and Morón.**

**Before the analysis of data it was made the study of their distribution that defined the maximum admissible of perturbation. Over this top days must be neglected since the noise can not be eliminated in spite of greater data population.**

**The result of the analysis shows the existence of an anomaly wholly comparable to the result obtained by Haurwitz and Cowley (1967) for Montevideo, with an amplitude somewhat greater than the one given by Chapman and Austin (1934) for Buenos Aires.**

\* Profesor titular y Jefe del Departamento de Magnetismo Terrestre y Electricidad Atmosférica del Observatorio Astronómico de La Plata hasta febrero de 1975. Desde abril del mismo año en el Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires; miembro de la Carrera del Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

### INTRODUCCION

El siguiente estudio tiene por finalidad obtener con datos de presión la onda lunar semidiurna  $L_2(p)$ , principal componente de la Marea Lunar Barométrica y comprobar la existencia de la anomalía presente en el Río de la Plata.

Esta oscilación semidiurna viene expresada por:

$$L_2(p) = I_2 \text{ sen } (2\tau + \lambda_2) \pm r_2 \quad (1)$$

donde  $I_2$  y  $r_2$  representan la amplitud y círculo de error probable respectivamente, ambos medidos en microbares ( $1\mu\text{b} = 1 \text{ dina/cm}^2$ ),  $\lambda_2$  expresa la fase de la oscilación y  $\tau$  es tiempo medio lunar,

Hasta el momento se cuenta con valores de la onda  $L_2(p)$  que provienen de aproximadamente 80 estaciones, distribuidas mundialmente. En este cómputo se involucran en forma indistinta aquellos resultados obtenidos utilizando para el cálculo de dicha onda, ya sean 24 lecturas por día o solamente 3. Del total mencionado aproximadamente un 30% son estaciones del hemisferio sur y un 13% pertenecen a la América del Sur. Esta marcada desproporción en su distribución al norte y al sur del ecuador pone de manifiesto la conveniencia de densificarlas en nuestro hemisferio.

Como se desprende del trabajo efectuado por Chapman y Westfold (1956), las amplitudes de onda  $L_2(p)$  decrecen al aumentar la latitud, resultado esperable pues la fuerza de la Marea Lunar, correspondiente al término  $M_2$ , decrece de ecuador a polo. No obstante, es de destacar que este comportamiento no es del todo regular. La variación en la zona tropical no es simétrica respecto al ecuador. A ello deben agregarse zonas de fuertes anomalías tales como: la parte este de Africa al sur del ecuador y al oeste de Indonesia donde las amplitudes son excesivamente altas; la zona costera del Pacífico en los Estados Unidos y la anomalía del Río de la Plata, causa de este trabajo, donde las amplitudes son marcadamente bajas.

En efecto, Chapman y Austin (1934), utilizando 18 años de observaciones con lecturas horarias obtuvieron para Buenos Aires:

$$\begin{aligned} I_2 &= 12.8\mu\text{b} \pm 4.2\mu\text{b} \\ \lambda_2 &= 87^\circ 0 \end{aligned}$$

resultado anómalo si lo comparamos por ejemplo con el de Carranzo-Tumbes (par de estaciones chilenas, combinadas para este fin), latitud  $36^\circ 1 \text{ S}$ , donde los valores de la onda  $L_2$  son (Haurwitz y Cowley, 1967):

$$\begin{aligned} I_2 &= 24.1\mu\text{b} \\ \lambda_2 &= 89^\circ 5 \end{aligned}$$

o con el conocido para Melbourne, latitud  $37^\circ 6 \text{ S}$  (Chapman, Hardman y Miller, 1936):

$$\begin{aligned} I_2 &= 28.5\mu\text{b} \\ \lambda_2 &= 84^\circ 0 \end{aligned}$$

En nuestro estudio hemos utilizado datos facilitados por el Servicio Meteorológico Nacional, provenientes de 19 estaciones de la provincia de Buenos Aires, el Litoral y Córdoba, concentrándonos en esta primera etapa en las de Villa Ortúzar, San Miguel y Morón, con valores dados en horas exactas del huso cuarto oeste de Greenwich (60° W). En cualquiera de los tres casos el período suministrado no supera los 12 años, con solamente 3 lecturas diarias a las 8, 14 y 20 horas del huso cuarto oeste de Greenwich.

Después de efectuar una minuciosa depuración de los datos y calcular el valor de la edad lunar  $\nu'$  correspondiente a cada día, nuestro archivo grabado en cinta magnética quedó caracterizado por los siguientes parámetros:

- Número que indica si se poseen 24 lecturas por día, o menos.
- Número de la estación.
- Fecha (año, mes, día).
- Datos de presión en milímetros.
- Valor de la edad lunar  $\nu'$  (véase la lista de símbolos).

### Lista de símbolos

$L_2(p)$	oscilación semidiaria lunar de la presión.
$l_2$	amplitud de $L_2$
$\lambda_2$	fase de $L_2$ .
$r_2$	error probable de $L_2$ , definiendo un círculo que expresa la inseguridad en la determinación de $l_2$ y $\lambda_2$ .
$t$	tiempo medio solar, en grados (360° por día medio solar).
$\tau$	tiempo medio lunar, en grados (360° por día medio lunar).
$r$	numeración de los días.
$h$	numeración de las horas = $(t^\circ/15^\circ) \pmod{24}$ .
$M$	número de días en un mes sinódico = 29.5306
$q$	= $1/M$ .
$\nu$	= $t - \tau$ valor instantáneo de la edad lunar, refiriéndose a la luna media.
$\nu_r$	= $\nu - 15^\circ (h-12)/M$ , valor de $\nu$ al mediodía del día $r$ .
$\nu^1$	= número entero más aproximado a $\nu_r$ , expresado en unidades de horas y disminuido en 12 si resulta $\geq 12$ , o sea: $\nu^1 = [\nu_r/15^\circ + \delta] \pmod{12}$ con $-1/2 \leq \delta < 1/2$
$P(\nu^1, h)$	= promedio de valores de presión a la hora $h$ , agrupados según 12 valores de $\nu'$ ( $\nu' = 0$ hasta $\nu' = 11$ ).

### Método de análisis

El método utilizado permite transformar la expresión de la onda  $L_2(p)$  en otra como la siguiente (Chapman y Lindzen, 1970).

$$L_2(r, h) = l_2 \sin ( 2 \nu_r - 30^\circ h g + \beta ) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{donde: } g &= 1 - q = 1 - 0.033865 = 0.966137 \\ y \quad \beta &= 180^\circ ( 1 - 2q ) - \lambda_2 = 167^\circ 8093 - \lambda_2 \end{aligned} \quad (2')$$

En lugar de  $L_2(p)$ , escribimos  $L_2(r,h)$  para indicar la contribución de  $L_2$  a la presión  $p$  a la hora  $h$  del día  $r$ .

Cada día  $r$  tiene una fase lunar entera  $\nu'$  en el rango de 0 a 11. En lugar de trabajar con la expresión (2) es conveniente agrupar los datos según  $\nu'$  y promediarlos; esto elimina la influencia de los cambios de nivel (perturbaciones aperiódicas asociadas con procesos meteorológicos).

Supuesto muchos días en el grupo, en lugar de (2) podemos poner muy aproximadamente, salvo un pequeño efecto de achatamiento, del orden del 1%

$$L_2(\nu',h) = I_2 \text{ sen}(2\nu' - 30^\circ hg + \beta) \quad (3)$$

Si se realiza una observación por cada día medio solar en el instante  $h_i$  y se ordenan los datos de acuerdo con la edad lunar  $\nu'$ , la onda semidiurna lunar se pone en evidencia por medio de una onda semimensual de la forma:

$$\Lambda_2 = R \text{ sen}(2\nu' + \eta) \quad (4)$$

supuesto que el ruido meteorológico se elimina si se toman largas series de observaciones.

La amplitud de la onda semimensual obtenida por medio del análisis es la misma que la de la  $L_2$ , mientras que la constante de fase de (3), es convertida a  $\lambda_2$ , la constante de fase de  $L_2$ , por medio de (2').

Mejor aún, cuando se dispone de tres lecturas por día tomadas en los instantes  $h' < h < h''$  con  $(h-h')$  y  $(h''-h)$  no muy diferente de 6 ó 7 horas (en nuestro caso 6 horas), es conveniente trabajar con grupos promedios:

$$\underbrace{P(\nu', h') - P(\nu', h)}_{D_{12}} + \underbrace{P(\nu', h'') - P(\nu', h)}_{D_{32}} = D$$

Si  $(h-h') = (h''-h)$ , como sucede con el intervalo de nuestras observaciones el procedimiento elimina la variación no cíclica.

Consideremos entonces la diferencia de dos observaciones en los instantes  $h'$  y  $h$  de tiempo medio solar, correspondiente a  $\tau_1$  y  $\tau_2$  horas de tiempo medio lunar. Después de algunas sustituciones, la variación semidiurna lunar quedará expresada así:

$$D_{12} = 2 I_2 [\text{sen} 15^\circ g(h-h') \cos(2\nu' + 167^\circ 8092 - \lambda_2 - 15^\circ g(h + h'))] \quad (5)$$

Otra expresión similar resulta para los instantes  $h$  y  $h''$ :

$$D_{32} = 2 I_2 [\text{sen} 15^\circ g(h-h'') \cos(2\nu' + 167^\circ 8092 - \lambda_2 - 15^\circ g(h + h'))] \quad (6)$$

Con las ecuaciones (5) y (6) obtenemos finalmente la expresión de la

combinación D:

$$D = A l_2 \operatorname{sen} ( 2\nu' - B - \lambda_2 + 347^\circ 8092 ) \quad (7)$$

con  $A = 4 \operatorname{sen}^2 15^\circ g(h-h')$

y  $B = 15^\circ g (h' + 2h + h'')/2,$

valores estos que son fijos y dependen sólo de los intervalos en que fueron realizadas las observaciones. Homologando términos de la (7) con la (4), obtenemos:

$$l_2 = R/A$$

$$y \quad \lambda_2 = 347^\circ 8092 - B - \eta$$

### Cálculo del error

El radio  $r_2$  del círculo de error probable de la determinación de  $L_2$  puede ser encontrado una vez calculado de la manera usual el radio  $r_s$  del círculo de error probable de la onda semimensual  $\Lambda_2$  a partir de la combinación de diferencias de presión.

Se adoptó el criterio de que los radios de los círculos de errores probables de la onda semidiurna y semimensual son proporcionales a sus respectivas amplitudes. De tal modo:

$$r_2 = \frac{l_2}{R} r_s$$

Siguiendo una convención generalizada desechamos aquella determinación en la cual el radio del círculo de error probable  $r_2$  fuera mayor que 1/3 de la amplitud  $l_2$  de la onda  $L_2(p)$

### Distribución de los datos según niveles de diferencias entre lecturas sucesivas de un mismo día

Del total de sucesiones diarias disponibles (74.407) para el conjunto de 19 estaciones realizamos un estudio de la distribución porcentual según distintos niveles de diferencias absolutas (en mm), entre lecturas instantáneas distantes entre sí 6 horas, como medida de la variación intradiurna (Figura 1 y Tabla 1). Lo hicimos primero, como un nuevo control al archivo con miras a eliminar posibles datos fuera de rango; y después para poder fijar por tanteo una cota de perturbación máxima admisible, por encima de la cual los días deben ser descartados por quedar contrarrestada la ventaja de una mayor población frente al aumento del ruido.

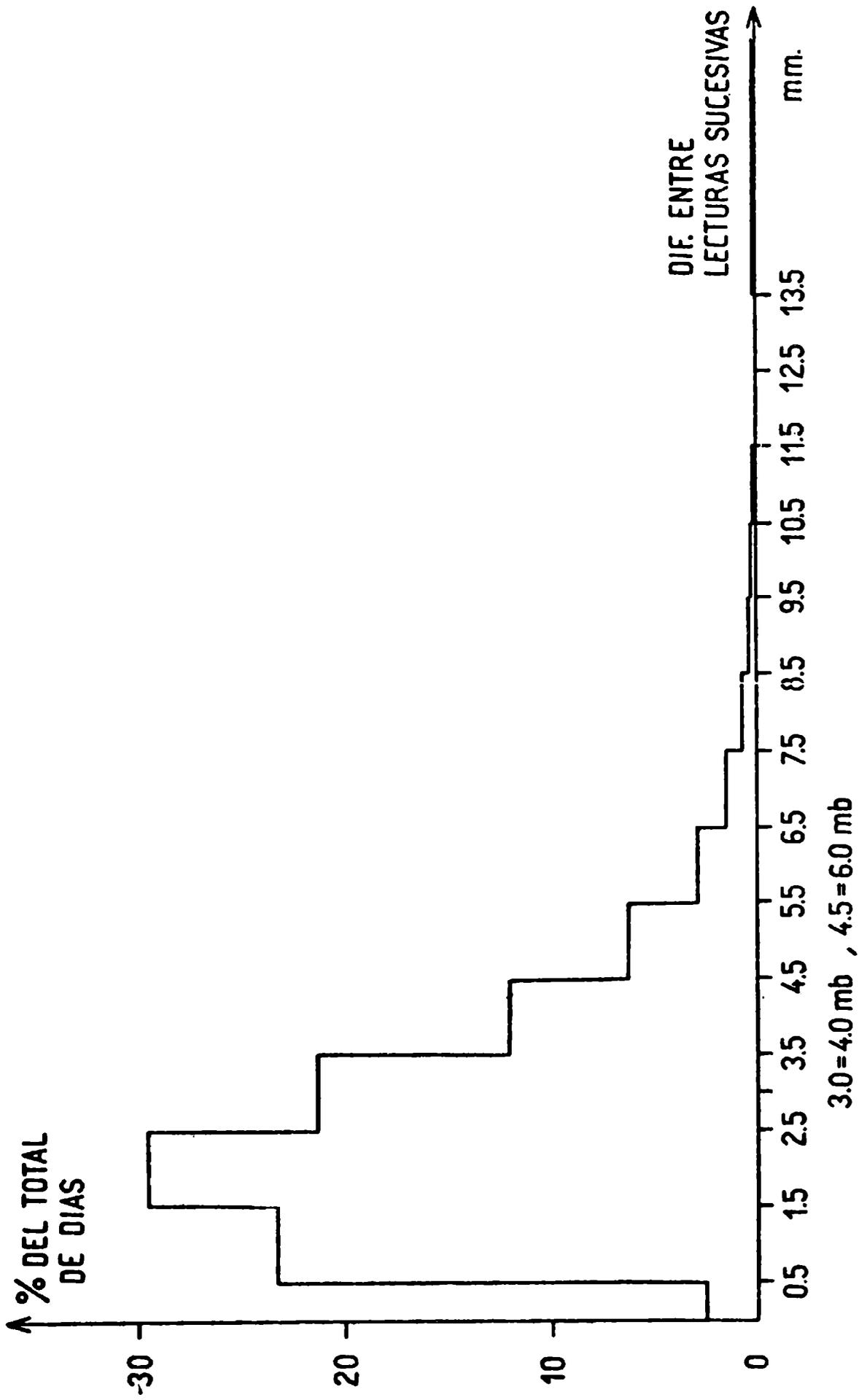


Fig. 1: Distribución de la totalidad de datos según niveles de diferencias entre lecturas sucesivas de un mismo día.

TABLA 1

mm	<0.5	0.5-1.4	1.5-2.4	2.5-3.4	3.5-4.4	4.5-5.4	5.5-6.4	6.5-7.4	7.5-8.4	8.5-9.4	9.5-10.4	10.5-11.4	11.5-12.4	12.5-13.4	13.5
Días	1872	17165	22065	15671	8957	4519	2134	1006	461	256	123	59	24	13	82
%	2.5	23.1	29.6	21.1	12.0	6.1	2.9	1.4	0.6	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1

Distribución de frecuencias del ruido intradiurno de la presión atmosférica en 19 estaciones de la Provincia de Buenos Aires, el Litoral y Córdoba.

Como para cada estación no contábamos con un período superior a los 12 años, el cálculo de  $L_2(p)$  lo repetimos para sendas poblaciones caracterizadas por umbrales de ruido de:

$$\left\{ \begin{array}{l} 4.5 \text{ mm.} \\ 6.0 \text{ mb} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 3.5 \text{ mm.} \\ 4.7 \text{ mb} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 3.3 \text{ mm.} \\ 4.4 \text{ mb} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 3.2 \text{ mm.} \\ 4.3 \text{ mb} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 3.1 \text{ mm.} \\ 4.1 \text{ mb} \end{array} \right. \quad \text{y} \quad \left\{ \begin{array}{l} 3.0 \text{ mm.} \\ 4.0 \text{ mb} \end{array} \right.$$

Con excepción de Morón en que siempre el valor de la amplitud lunar resulta menor que tres veces el error, los resultados obtenidos son aceptables para cualquier rango menor que 4.7 milibares. En todos los casos se han efectuado las correspondientes correcciones de amplitud y fase. Esta última en particular, que reduce las fases a tiempo medio local de cada estación, asciende a 1°96 en Villa Ortúzar, 1°47 en San Miguel y 1°26 en Morón.

**Resultados****Tabla 2: Villa Ortúzar**

Número de estación: 156

Latitud: 34°6 Sud

Longitud: 58°5 Oeste

Número total de días: 4182

Período: 1/I/56 – 31/VIII/67

Niveles descendentes de perturbación	Cantidad de días que intervinieron en el análisis	$l_2$ ( $\mu$ b)	$r_2$ ( $\mu$ b)	$\lambda_2$ ( $^\circ$ )
Con diferencias entre 2 observaciones sucesivas < 6.0 mb	3774	23.8	13.2	94.5
< 4.7 mb	3318	18.2	5.7	89.8
< 4.4 mb	3163	13.9	5.0	77.6
< 4.3 mb	3099	12.5	4.6	77.9
< 4.1 mb	3020	13.7	3.2	58.1
< 4.0 mb	2931	14.7	4.2	56.7

**Tabla 3: San Miguel**

Número de estación: 154

Latitud: 34°6 Sud

Longitud: 58°7 Oeste

Número total de días: 4251

Período: 1/I/56 – 31/VIII/67

Niveles descendentes de perturbación	Cantidad de días que intervinieron en el análisis	$l_2$ ( $\mu$ b)	$r_2$ ( $\mu$ b)	$\lambda_2$ ( $^\circ$ )
Con diferencias entre 2 observaciones sucesivas < 6.0 mb	3878	28.7	8.7	91.4
< 4.7 mb	3453	29.2	6.7	99.3
< 4.4 mb	3305	28.8	5.0	92.3
< 4.3 mb	3196	26.5	5.0	90.9
< 4.1 mb	3132	22.8	5.1	89.9
< 4.0 mb	3000	24.3	5.9	89.9

**Tabla 4: Morón**

Número de estación: 164

Latitud: 34°7 Sud

Longitud: 58°6 Oeste

Número total de días: 3947

Período: 1/X/56 – 31/VIII/67

Niveles descendentes de perturbación	Cantidad de días que intervinieron en el análisis	$l_2$ ( $\mu$ b)	$r_2$ ( $\mu$ b)	$\lambda_2$ ( $^\circ$ )
Con diferencias entre 2 observaciones sucesivas < 6.0 mb	3591	25.3	14.7	94.9
< 4.7 mb	3130	25.5	10.0	83.3
< 4.4 mb	3003	25.3	9.4	83.1
< 4.3 mb	2930	23.3	11.2	81.6
< 4.1 mb	2854	22.7	10.2	87.7
< 4.0 mb	2780	21.9	12.0	87.6

Para estos resultados preliminares hemos trabajado con una serie relativamente corta de observaciones. Dado que la posición geográfica de las tres estaciones consideradas es muy semejante damos a continuación (Tabla 5) los resultados que obtuviéramos al utilizarlas en su conjunto. Los errores probables que consignamos en la Tabla 5 fueron calculados según la ley de las series de  $N$ , considerando a cada sucesión diaria de las tres estaciones involucradas, como un elemento estadísticamente independiente de la población total, criterio que podría tal vez requerir algún ajuste en el sentido de un mayor nivel de exigencia. En efecto, de las fechas incluídas, la mayoría aportaron datos de las tres estaciones agrupadas. Ahora bien, los "errores" de cada dato individual, que son los que constituyen los elementos del ruido estadístico, deben considerarse compuestos de aportes locales (individuales) y regionales. Estos últimos se caracterizan por un elevado grado de coherencia (contagio estadístico), dada la cercanía de las estaciones. Sólo los primeros, incluyendo errores instrumentales y

de lectura, son estadísticamente independientes. En consecuencia los errores probables indicados en la Tabla 5 deben considerarse como una estimación algo favorable.

**Tabla 5: Villa Ortúzar, San Miguel y Morón combinadas.**

Latitud: 34°6 Sud

Longitud: 58°6 Oeste

Número total de sucesiones diarias: 12380.

Niveles descendentes, de perturbación	Cantidad de días que intervinieron en el análisis	$l_2$ ( $\mu$ b)	$r_2$ ( $\mu$ b)	$\lambda_2$ ( $^\circ$ )
Con diferencias entre 2 observaciones sucesivas < 6.0 mb	11243	25.9	3.5	93.5
< 4.7 mb	9901	24.2	3.8	91.9
< 4.4 mb	9471	22.5	4.6	85.9
< 4.3 mb	9225	20.6	5.9	85.1
< 4.1 mb	9006	18.9	4.3	81.6
< 4.0 mb	8711	19.5	4.7	81.4

El valor de la onda  $L_2(p)$  conocido para Montevideo (latitud 34°9 S, longitud 56°0 W), con un total de 5437 días y diferencias de presión bihorarias no mayores de 4 milibares (Haurwitz y Cowley, 1967) es:

$$l_2 = 19.4 \mu b \pm 4.6 \mu b$$

$$\lambda_2 = 76^\circ 1$$

El que obtuvimos para Villa Ortúzar, San Miguel y Morón con un total de 8711 sucesiones diarias (tres lecturas por día y una diferencia no mayor de 4

milibares entre dos observaciones sucesivas) es:

$$I_2 = 19.5 \mu b \pm 4.7 \mu b$$

$$\lambda_2 = 81^\circ 4$$

resultado que corrobora la pequeñez de la marea lunar en las costas del Río de La Plata, aunque en forma menos acentuada que en el resultado de Chapman y Austin (1934) para Buenos Aires.

Deben quedar postergadas dos cuestiones:

1) Si se trata de una verdadera anomalía regional significativa o de un mero efecto estadístico, problema que sólo podrá ser resuelto con una mayor población de datos.

2) El dial armónico muestra un corrimiento en fase y una disminución en el módulo de la amplitud según niveles descendentes de perturbación, efecto que parece ser sistemático, posiblemente de "curvatura" (Schneider y Saluzzi, 1951).

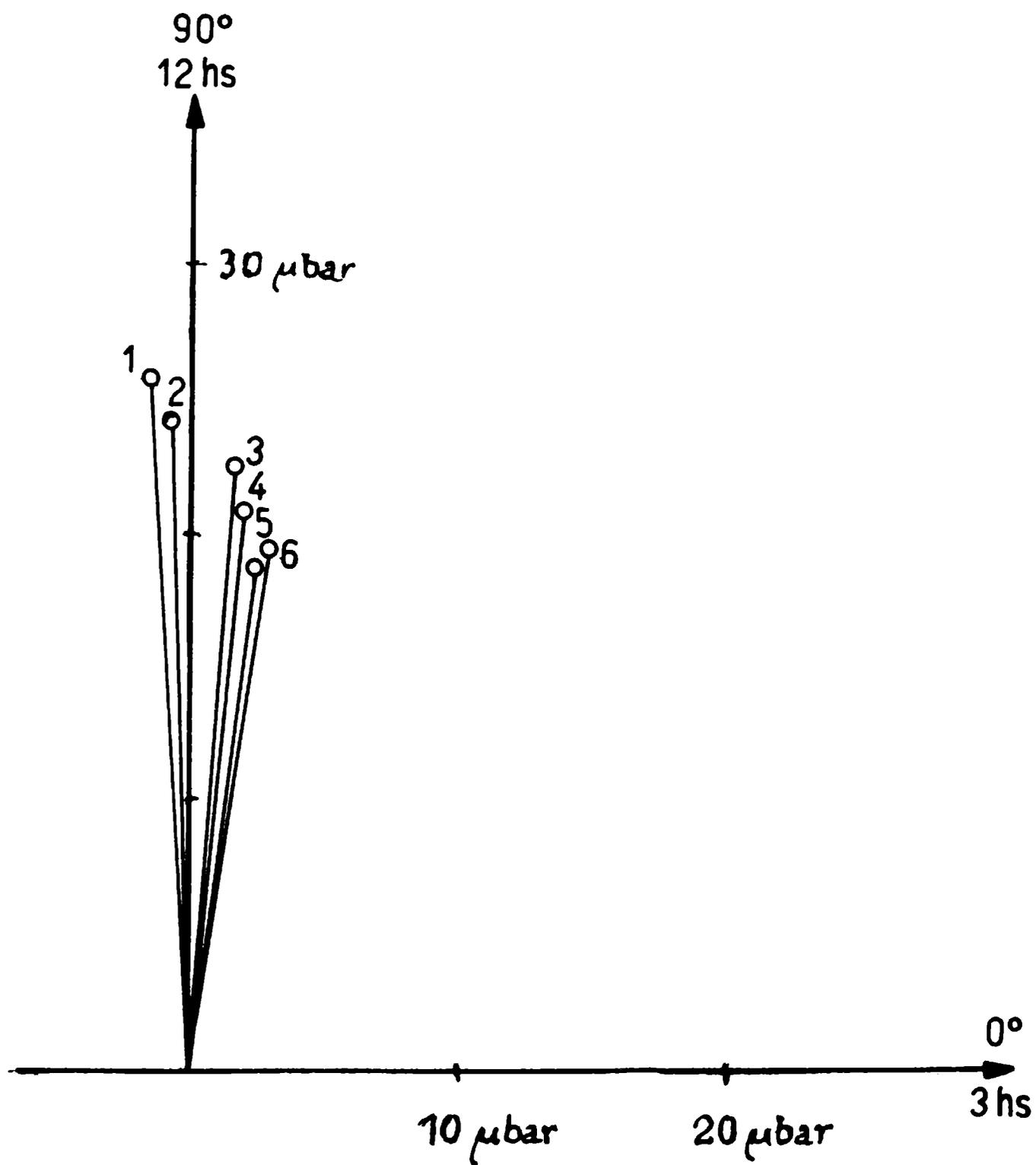


Figura 2. Dial armónico para la onda lunar semidiurna  $L_2(p)$ , según los niveles descendentes de perturbación para Villa Ortúzar, San Miguel y Morón combinadas.

## BIBLIOGRAFIA

- CHAPMAN, S. y AUSTIN, M. 1934: *L (p) at Buenos Aires, 1891-1910. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 60, p. 23-28.
- CHAPMAN, S., HARDMAN, M. y MILLER, J.C.P. 1936: *Lunar Atmospheric tide at Melbourne 1869-1882, 1900-1914, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 62 (267), p. 540-551.
- CHAPMAN, S. y LINDZEN, R. 1970: *Atmospheric Tides, thermal and gravitational*, Dordrecht.
- CHAPMAN, S. y WESTFOLD, K.C. 1956: *A comparison of the annual mean solar and lunar atmospheric tides in barometric pressure as regards their world-wide distribution of amplitude and phase. Journal of atmospheric and terrestrial Physics* 8, p. 1-23.
- GUPTA, J. C., 1968: *Computation of the semidiurnal lunar harmonic term  $L_2$  in meteorological data using only three values on each day. Journal of Geophysical Research, Space Physics* v. 73, n. 15, p. 5.004-5.007.
- HAURWITZ, B. y COWLEY, A.D., 1967: *New determinations of the lunar barometric tide. Beiträge zur Physik der Atmosphäre*, 40, p. 243-261.
- SCHNEIDER, O. y SALUZZI, M.E., 1951: *Efecto de curvatura en la perturbación residual del geomagnetismo. Meteoros, Año 1, n. 2-3, pp. 125-133.*

## VALUACION DE EFECTOS GRAVIMETRICOS Y SUS APLICACIONES A LA INTERPRETACION

ANTONIO INTROCASO – EDUARDO HUERTA  
Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería  
Universidad Nacional de Rosario

Cualquier cuerpo irregular puede ser asimilado a una suma de paralelepípedos rectángulos de dimensiones adecuadas, cuyos efectos gravimétricos individuales se obtienen de acuerdo al presente estudio.

- indirectamente: mediante tablas de coeficientes correspondientes a paralelepípedos rectángulos con 3 aristas coincidentes con  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .
- directamente: mediante tablas obtenidas variando la posición espacial respecto al origen  $P$ , de un paralelepípedo rectángulo de dimensiones prefijadas y constantes.
- mediante computadoras digitales.

Los procedimientos analizados permiten resolver los distintos problemas que plantea la interpretación gravimétrica.

**Any irregular body can be assimilated to a sum of rectangular parallelepipeds of adequate size, whose individual gravimetric effects are obtained, according to the present paper:**

- **indirectly: by means of coefficient tables corresponding to rectangular parallelepipeds with three edges in  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .**
- **directly: by means of tables obtained by varying the spacial position regarding to the origin  $P$ , of a rectangular parallelepiped with predetermined and constant sizes.**
- **by means of digital computers.**

**The analyzed procedure allow to solve the different problems presented by the gravimetric interpretation.**

## INTRODUCCION

En el presente trabajo se analizan distintos procedimientos de cálculo de efectos gravimétricos partiendo de la expresión general correspondiente a la atracción que sobre un punto exterior P ejerce un paralelepípedo rectángulo homogéneo de aristas respectivamente paralelas a x, y, z, (Nagy, 1966).

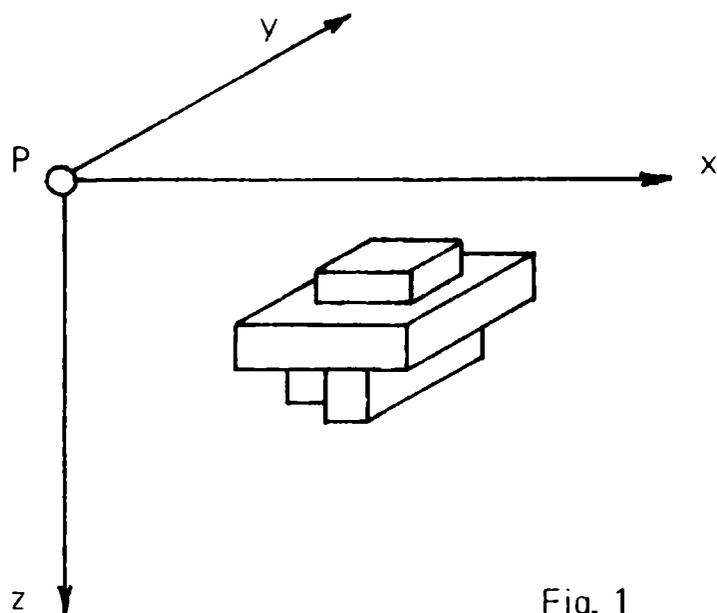


Fig. 1

Así, cualquier estructura puede ser aproximada mediante una adecuada subdivisión de tales paralelepípedos (Fig. 1) La componente vertical total de atracción gravitatoria en P se obtiene simplemente sumando los efectos que origina cada uno de los prismas.

Los siguientes autores, Logman y Leaman, 1971, Salonen, 1932; Shurbet et al, 1956; Lejay, 1947, entre otros, han utilizado paralelepípedos rectángulos en dos dimensiones para calcular efectos gravimétricos correspondientes a estructuras bidimensionales. Estos métodos son, sin duda, más precisos que los procedimientos gráficos basados en plantillas de compartimientos o puntos (Hubbert, 1948; Millet, 1967).

No obstante, por ser el caso bidimensional un caso particular, su utilidad queda restringida a aquellas estructuras suficientemente alargadas en una determinada dirección.

Con el fin de eliminar la restricción mencionada, se generalizó el procedimiento, preparándose tablas generalizadas y bidimensionales de coeficientes gravimétricos y valores acumulados.

Numerosos autores han usado computadoras digitales para calcular efectos gravimétricos (Talwani et al, 1959; Talwani y Ewing, 1960. . .). En este trabajo se analizan los resultados de modelos de corteza en dos dimensiones realizados por computación con un programa Fortran preparado en base a expresiones aquí deducidas.

Finalmente, se analizan las ventajas e inconvenientes de los procedimientos tratados.

## ECUACIONES FUNDAMENTALES

### ATRACCION GRAVITATORIA ORIGINADA SOBRE UN PUNTO CUALQUIERA P POR UN PARALELEPIPEDO RECTANGULO EN EL ESPACIO

De acuerdo a la Fig. 2, la componente vertical de atracción gravitatoria en

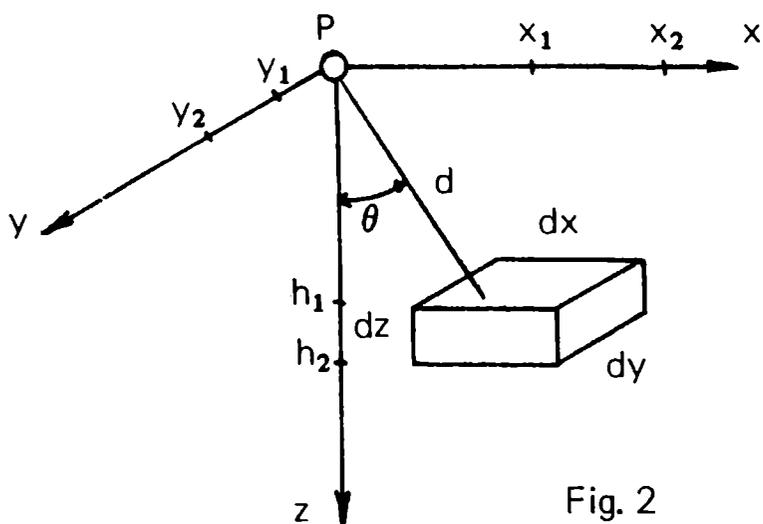


Fig. 2

P, debida a un prisma rectangular de volumen (dx, dy, dz), densidad  $\delta$  y aristas paralelas a los ejes x, y, z será:

$$dg = \frac{G \cdot \delta \cdot z \cdot dx \cdot dy \cdot dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (1)$$

Siendo G la cte. de gravitación universal ( $\frac{20}{3} \cdot 10^{-8}$  . c.g.s.)

Integrando entre  $h_1$  y  $h_2$ ,  $y_1$  e  $y_2$ ,  $x_1$  y  $x_2$  se tiene:

$$g = G \cdot \delta \cdot \int_{x_1}^{x_2} dx \int_{y_1}^{y_2} dy \int_{h_1}^{h_2} \frac{z \cdot dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2)$$

$$\int \frac{z dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} = - \frac{1}{\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}}$$

$$- \int \frac{dy}{\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}} = - \ln(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) - \int \ln(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) dx =$$

$$= - \left[ x \ln(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) - \int x d \ln(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) \right] =$$

$$- \left[ x \ln(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) - \int \frac{x^2 dx}{(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) \cdot \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right] =$$

$$= - \left[ x \ln(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) - I \right] \quad (3)$$

$$I = \int \frac{\sqrt{n^2 - 2ny - z^2}}{n} dn$$

$$n = y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\text{Si } x^2 = n^2 - 2ny - z^2$$

$$x^2 = (n-y)^2 - y^2 - z^2$$

$$I = \int \frac{\sqrt{x}}{n} dn$$

$$dx = \frac{(n-y) dn}{(n-y)^2 - y^2 - z^2}$$

$$\int \frac{\sqrt{x}}{n} dn = \sqrt{x} + \frac{b}{2} \int \frac{dn}{\sqrt{x}} + a \int \frac{dn}{n\sqrt{x}}; x = a + bn + cn^2 = (-z^2) + (-2y)n + n^2$$

$$I = \sqrt{x} + \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{c}} \ln \left( \sqrt{x} + n \sqrt{c} + \frac{b}{2\sqrt{c}} \right) + a \frac{1}{\sqrt{-a}} \text{arc. sen} \frac{bn + 2a}{n\sqrt{b^2 - 4ac}}$$

$$I = \sqrt{n^2 - 2ny - z^2} - \frac{2y}{2} \ln \left( \sqrt{n^2 - 2ny - z^2} + n - y \right) - z \text{arc sen} \left( \frac{yn + z^2}{n\sqrt{4y^2 + 4z^2}} \right)$$

$$I = x - y \ln \left( x + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right) - z \text{arc sen} \frac{z^2 + y^2 + y\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2})\sqrt{y^2 + z^2}} \quad (4)$$

Finalmente de (2), (3) y (4) se tiene:

$$g = G \left\| \left\| \left\| x \left[ 1 - \ln \left( y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right) \right] - y \ln \left( x + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{z \text{arc sen} \frac{z^2 + y^2 + y\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2})\sqrt{y^2 + z^2}} \right| \right| \right|_{h_1 | y_1 | x_1}^{h_2 | y_2 | x_2}$$

reemplazando por los límites y agrupando términos se tiene:

$$g = G \cdot \delta \left\{ \frac{x_1 \ln \left( y_1 + \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + h_1^2} \right) \cdot \left( y_2 + \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + h_2^2} \right) +}{\left( y_1 + \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + h_1^2} \right) \cdot \left( y_2 + \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + h_1^2} \right)} \right\}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{x_2 \ln (y_1 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_2^2}) \cdot (y_2 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_1^2})}{(y_1 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_1^2}) \cdot (y_2 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_2^2})} + \\
& + \frac{y_1 \ln (x_1 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_1^2}) \cdot (x_2 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_2^2})}{(x_1 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_2^2}) \cdot (x_2 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_1^2})} + \\
& + \frac{y_2 \ln (x_1 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_2^2}) \cdot (x_2 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_1^2})}{(x_1 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_1^2}) \cdot (x_2 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_2^2})} + \\
& + h_1 \left[ \text{arc. sen} \frac{h_1^2 + y_2^2 + y_2 \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + h_1^2}}{(y_2 + \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + h_1^2}) \sqrt{y_2^2 + h_1^2}} + \right. \\
& + \text{arc. sen} \frac{h_1^2 + y_1^2 + y_1 \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_1^2}}{(y_1 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_1^2}) \sqrt{y_1^2 + h_1^2}} - \\
& \left. - \text{arc. sen} \frac{h_1^2 + y_1^2 + y_1 \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + h_1^2}}{(y_1 + \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + h_1^2}) \sqrt{y_1^2 + h_1^2}} - \text{arc. sen} \frac{h_1^2 + y_2^2 + y_2 \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_1^2}}{(y_2 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_1^2}) \sqrt{y_2^2 + h_1^2}} \right] + \\
& + h_2 \left[ \text{arc. sen} \frac{h_2^2 + y_2^2 + y_2 \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_2^2}}{(y_2 + \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + h_2^2}) \sqrt{y_2^2 + h_2^2}} + \text{arc. sen} \frac{h_2^2 + y_1^2 + y_1 \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + h_2^2}}{(y_1 + \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + h_2^2}) \sqrt{y_1^2 + h_2^2}} - \right. \\
& \left. - \text{arc. sen} \frac{h_2^2 + y_2^2 + y_2 \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + h_2^2}}{(y_2 + \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + h_2^2}) \sqrt{y_2^2 + h_2^2}} - \right. \\
& \left. - \text{arc. sen} \frac{h_2^2 + y_1^2 + y_1 \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_2^2}}{(y_1 + \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + h_2^2}) \sqrt{y_1^2 + h_2^2}} \right] \} \quad (5)
\end{aligned}$$

II. Caso especial:

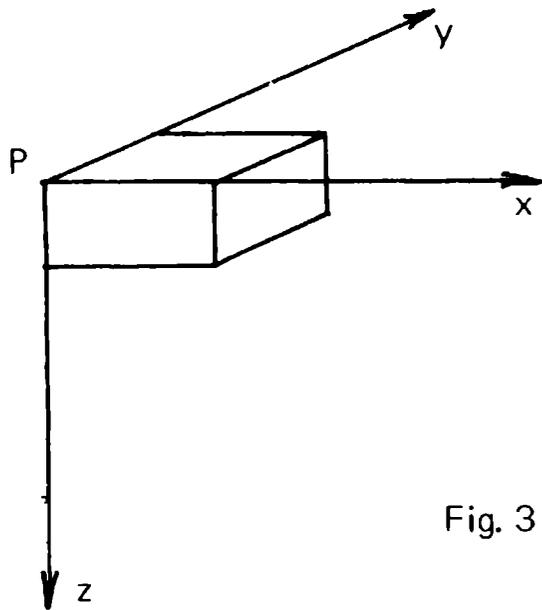


Fig. 3

$$x_1 = y_1 = h_1 = 0$$

Fig. 3

$$x_2 = x, y_2 = y, h_2 = h$$

En este caso, de la expresión (5), sacando h fuera del paréntesis y colocando los términos logarítmicos y en arc seno en función de x/h e y/h se tiene:

$$g = G \cdot \delta \cdot h \left[ \frac{x}{h} L_1 + \frac{y}{h} \cdot L_2 + A_1 - A_2 \right] \quad (6)$$

con:

$$L_1 = \ln \frac{\left\{ \frac{y}{h} + \sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + \left(\frac{y}{h}\right)^2} \right\} \sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + 1}}{\left\{ \frac{y}{h} + \sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + \left(\frac{y}{h}\right)^2 + 1} \right\} \frac{x}{h}} = F \left( \frac{x}{h}, \frac{y}{h} \right)$$

$$L_2 = \ln \frac{\left\{ \frac{x}{h} + \sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + \left(\frac{y}{h}\right)^2} \right\} \sqrt{\left(\frac{y}{h}\right)^2 + 1}}{\left\{ \frac{x}{h} + \sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + \left(\frac{y}{h}\right)^2 + 1} \right\} \frac{y}{h}} = F \left( \frac{x}{h}, \frac{y}{h} \right)$$

$$A_1 = \text{arc sen} \frac{\left(\frac{y}{h}\right)^2 + 1 + \frac{y}{h} \sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + \left(\frac{y}{h}\right)^2 + 1}}{\left\{ \left(\frac{y}{h}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + \left(\frac{y}{h}\right)^2 + 1} \right\} \sqrt{\left(\frac{y}{h}\right)^2 + 1}} = F \left( \frac{x}{h}, \frac{y}{h} \right)$$

$$A_2 = \text{arc sen} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{x}{h}\right)^2 + 1}} = F \left( \frac{x}{h} \right)$$

III. Componente vertical de atracción gravitatoria en un punto cualquiera de un cuerpo bidimensional en y, de sección rectangular (Fig. 4)

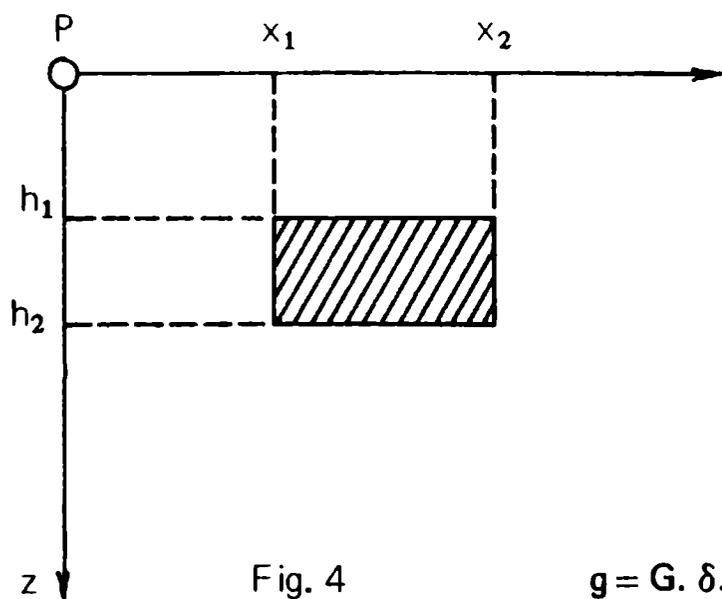


Fig. 4

$$(x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_1)$$

Si consideramos ahora una masa bidimensional en y e integramos (1) de acuerdo a la Fig. 4 se tiene:

$$g = G \cdot \delta \cdot \int_{h_1}^{h_2} z \cdot dz \cdot \int_{x_1}^{x_2} dx \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dy}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$g = G \cdot \delta \cdot \int_{h_1}^{h_2} z \cdot dz \cdot \int_{x_1}^{x_2} dx \left[ \frac{y}{(x^2 + z^2) (x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \right] \Bigg|_{-\infty}^{+\infty}$$

resuelta la integral de la derecha por sustitución y reemplazando por los límites indicados, obtendremos:  $\frac{2}{x^2 + z^2}$  entonces:

$$g = 2 G \delta \int_{h_1}^{h_2} z \cdot dz \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{z^2 + x^2} = 2 G \delta \int_{h_1}^{h_2} z \cdot dz \left[ \frac{1}{z} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x}{z} \right]_{x_1}^{x_2}$$

$$g = 2 G \delta \int_{h_1}^{h_2} \left( \operatorname{arc} \operatorname{ctg} \frac{z}{x_2} - \operatorname{arc} \operatorname{ctg} \frac{z}{x_1} \right) dz$$

resuelta esta integral por partes se tiene:

$$g = 2 G \delta x_2 \left\{ \left[ \frac{z}{x_2} \operatorname{arc} \operatorname{ctg} \frac{z}{x_2} + \frac{1}{2} \ln \left( 1 + \frac{z^2}{x_2^2} \right) \right] \right\}^{h_2} -$$

$$- 2 G \delta x_1 \left\{ \left[ \frac{z}{x_1} \text{arc. ctg. } \frac{z}{x_1} + \frac{1}{2} \ln \left( 1 + \frac{z^2}{x_1^2} \right) \right]_{h_1}^{h_2} \right\}$$

Reemplazando por los límites y agrupando términos se tiene:

$$g = 2 G \delta x_2 \left\{ \frac{h_2}{x_2} \text{arc. ctg. } \frac{h_2}{x_2} - \frac{h_1}{x_2} \text{arc. ctg. } \frac{h_1}{x_2} + \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{1 + \left( \frac{h_2}{x_2} \right)^2}{1 + \left( \frac{h_1}{x_2} \right)^2} \right] \right\} -$$

$$- 2 G \delta x_1 \left\{ \frac{h_2}{x_1} \text{arc. ctg. } \frac{h_2}{x_1} - \frac{h_1}{x_1} \text{arc. ctg. } \frac{h_1}{x_1} + \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{1 + \left( \frac{h_2}{x_1} \right)^2}{1 + \left( \frac{h_1}{x_1} \right)^2} \right] \right\} \quad (7)$$

IV. Caso especial:  $x_1 = h_1 = 0$ ,  $x_2 = x$ ,  $h_2 = h$ ; Fig. 5:

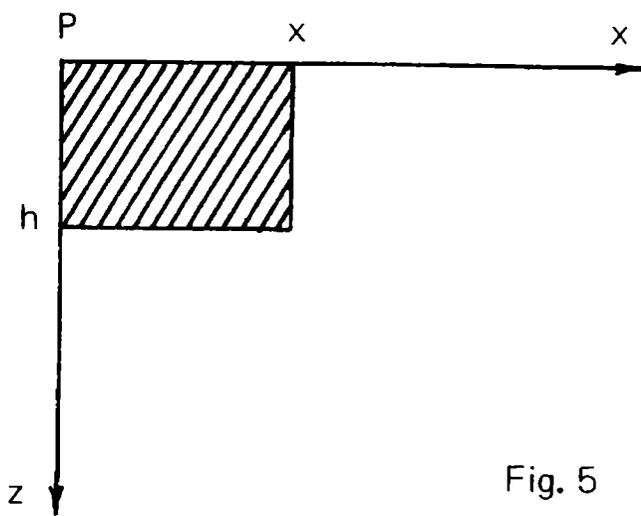


Fig. 5

De la expresión (7) se tiene:

$$g = 2 G \delta x \left( \frac{h}{x} A' + \frac{1}{2} L' \right) \quad (8)$$

con:

$$\left\{ \begin{array}{l} A' = \text{arc. tg. } \frac{x}{h} \\ L' = \ln \left[ 1 + \frac{1}{(x/h)^2} \right] \end{array} \right.$$

### CONSTRUCCION DE TABLAS DE COEFICIENTES

Dividiendo (6) y (8) por la expresión  $\pi G \delta h$  correspondiente al efecto de una semilosa indefinida, se tiene:

$$C_T = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{x}{h} L_1 + \frac{y}{h} L_2 + A_1 - A_2 \right] = F \left( \frac{x}{h}, \frac{y}{h} \right) \quad (9)$$

$$C_B = \frac{2}{\pi} \left[ A' + \frac{1}{2} \cdot \frac{x}{h} L' \right] = F\left(\frac{x}{h}\right) \quad (10)$$

Siendo  $C_T$  y  $C_B$  coeficientes o fracciones de  $\pi G \delta h$  para los casos finito e indefinido respectivamente. En base a estas expresiones se prepararon tablas de valores numéricos.

Mediante (10) se construyó una tabla de coeficientes bidimensionales, variando  $x/h$  entre 0,01 y 5000 en tal forma que permite la interpolación lineal. Resultaron así sólo 216 valores con cuatro cifras decimales (Ver tabla 1).

El caso finito (expresión 9) exige para su utilidad una tabla numerosísima. Sin embargo se sabe que las masas gravitatorias pierden rápidamente influencia con la distancia, de modo que suficientemente alejadas de la estación, sus efectos son prácticamente despreciables.

Una estructura cilíndrica vertical de 1 km. de espesor, densidad 2.67 c.g.s. y sólo 15 km. de radio, proporciona un valor para la componente vertical en un punto central P de su base de 108,3 mgl. Esto se traduce en un error del 3 % respecto al efecto Bouguer.

Habrà, pues, casos en los que estructuras finitas (de un adecuado  $y$ ) tienden a proporcionar, dentro de una precisión prefijada, las mismas respuestas gravitatorias que las bidimensionales de igual sección para una dada estación P. Entonces de (9) y (10), y teniendo en cuenta los límites de integración utilizados, se tiene:

$$2C_T \longrightarrow C_B \quad (11)$$

**TABLA 1**  
**COEFICIENTES BIDIMENSIONALES**

x/h	Coef.	Dif.	x/h	Coef.	Dif.
0.010	0.0357		0.172	0.3028	0.0034
0.013	0.0442	0.0085	0.175	0.3062	0.0034
0.016	0.0523	0.0081	0.178	0.3095	0.0033
0.019	0.0600	0.0077	0.181	0.3128	0.0033
0.022	0.0675	0.0074	0.184	0.3161	0.3333
0.025	0.0746	0.0072	0.187	0.3193	0.0032
0.028	0.0816	0.0069	0.190	0.3226	0.0032
0.031	0.0883	0.0067	0.194	0.3268	0.0043
0.034	0.0948	0.0065	0.198	0.3310	0.0042
0.037	0.1012	0.0064	0.202	0.3352	0.0041
0.040	0.1074	0.0062	0.206	0.3393	0.0041
0.046	0.1195	0.0059	0.214	0.3473	0.0040
0.049	0.1253	0.0058	0.218	0.3513	0.0040
0.052	0.1310	0.0057	0.222	0.3552	0.0039

x/h	Coef.	Dif.	x/h	Coef.	Dif.
0.055	0.1366	0.0056	0.226	0.3591	0.0039
0.058	0.1421	0.0055	0.230	0.3629	0.0038
0.061	0.1475	0.0054	0.234	0.3667	0.0038
0.064	0.1528	0.0053	0.238	0.3704	0.0037
0.067	0.1580	0.0052	0.242	0.3741	0.0037
0.070	0.1631	0.0051	0.246	0.3778	0.0037
0.073	0.1681	0.0050	0.250	0.3814	0.0036
0.076	0.1731	0.0050	0.255	0.3859	0.0045
0.079	0.1780	0.0049	0.260	0.3903	0.0044
0.082	0.1828	0.0048	0.265	0.3947	0.0044
0.085	0.1876	0.0047	0.270	0.3990	0.0043
0.088	0.1923	0.0047	0.275	0.4032	0.0043
0.091	0.1969	0.0046	0.280	0.4074	0.0042
0.094	0.2014	0.0046	0.285	0.4116	0.0041
0.097	0.2059	0.0045	0.290	0.4157	0.0041
0.100	0.2104	0.0044	0.295	0.4197	0.0040
0.103	0.2147	0.0044	0.300	0.4237	0.0040
0.106	0.2191	0.0043	0.305	0.4277	0.0039
0.109	0.2233	0.0043	0.310	0.4316	0.0039
0.112	0.2275	0.0042	0.316	0.4362	0.0046
0.115	0.2317	0.0042	0.322	0.4407	0.0045
0.118	0.2358	0.0041	0.328	0.4452	0.0045
0.121	0.2399	0.0041	0.334	0.4496	0.0044
0.124	0.2439	0.0040	0.340	0.4540	0.0044
0.127	0.2479	0.0040	0.346	0.4583	0.0043
0.130	0.2518	0.0039	0.352	0.4625	0.0042
0.133	0.2557	0.0039	0.358	0.4667	0.0042
0.136	0.2596	0.0038	0.364	0.4708	0.0041
0.139	0.2634	0.0038	0.370	0.4749	0.0041
0.142	0.2572	0.0038	0.376	0.4789	0.0040
0.145	0.2709	0.0037	0.382	0.4829	0.0040
0.148	0.2746	0.0037	0.390	0.4881	0.0052
0.151	0.2782	0.0037	0.400	0.4945	0.0064
0.154	0.2818	0.0036	0.410	0.5007	0.0062
0.157	0.2854	0.0036	0.420	0.5068	0.0061
0.160	0.2890	0.0035	0.430	0.5128	0.0060
0.163	0.2925	0.0035	0.440	0.5186	0.0059
0.169	0.2994	0.0034	0.460	0.5300	0.0056
0.480	0.5409	0.0109	3.600	0.9127	0.0050
0.500	0.5513	0.0105	3.800	0.9172	0.0045
0.520	0.5614	0.0100	4.000	0.9212	0.0041
0.540	0.5710	0.0097	4.200	0.9249	0.0037
0.560	0.5803	0.0093	4.400	0.9283	0.0034
0.580	0.5893	0.0089	4.600	0.9313	0.0031
0.600	0.5979	0.0086	4.800	0.9342	0.0028
0.630	0.6102	0.0124	5.000	0.9368	0.0026

x/h	Coef.	Dif.	x/h	Coef.	Dif.
0.660	0.6219	0.0117	5.200	0.9392	0.0024
0.690	0.6330	0.0111	5.400	0.9414	0.0022
0.720	0.6436	0.0105	5.600	0.9435	0.0021
0.750	0.6536	0.0100	5.800	0.9454	0.0019
0.780	0.6631	0.0095	6.000	0.9472	0.0018
0.810	0.6721	0.0091	6.500	0.9512	0.0040
0.840	0.6808	0.0086	7.000	0.9547	0.0035
0.870	0.6890	0.0082	7.500	0.9577	0.0030
0.900	0.6969	0.0079	8.000	0.9603	0.0026
0.950	0.7092	0.0123	8.500	0.9626	0.0023
1.000	0.7206	0.0114	9.000	0.9647	0.0021
1.050	0.7313	0.0106	9.500	0.9666	0.0019
1.100	0.7412	0.0099	10.000	0.9682	0.0017
1.150	0.7505	0.0093	11.000	0.9711	0.0029
1.200	0.7592	0.0087	12.000	0.9735	0.0024
1.250	0.7673	0.0081	13.000	0.9755	0.0020
1.300	0.7749	0.0076	14.000	0.9773	0.0017
1.350	0.7821	0.0072	15.000	0.9788	0.0015
1.400	0.7888	0.0068	16.000	0.9801	0.0013
1.450	0.7952	0.0064	17.000	0.9813	0.0012
1.500	0.8012	0.0060	18.000	0.9823	0.0010
1.550	0.8069	0.0057	19.000	0.9833	0.0009
1.600	0.8123	0.0054	20.000	0.9841	0.0008
1.650	0.8174	0.0051	22.000	0.9855	0.0014
1.700	0.8223	0.0049	24.000	0.9867	0.0012
1.750	0.8269	0.0046	26.000	0.9878	0.0010
1.800	0.8313	0.0044	28.000	0.9886	0.0009
1.850	0.8355	0.0042	30.000	0.9894	0.0008
1.900	0.8395	0.0040	35.000	0.9909	0.0015
1.950	0.8433	0.0038	40.000	0.9920	0.0011
2.000	0.8469	0.0036	45.000	0.9929	0.0009
2.050	0.8504	0.0035	50.000	0.9936	0.0007
2.100	0.8537	0.0033	55.000	0.9942	0.0006
2.150	0.8569	0.0032	60.000	0.9947	0.0005
2.200	0.8599	0.0031	70.000	0.9954	0.0008
2.250	0.8629	0.0029	80.000	0.9960	0.0006
2.300	0.8657	0.0028	100.000	0.9968	0.0008
2.400	0.8710	0.0053	120.000	0.9973	0.0005
2.500	0.8759	0.0049	150.000	0.9979	0.0005
2.600	0.8804	0.0046	180.000	0.9982	0.0004
2.700	0.8847	0.0042	210.000	0.9985	0.0003
2.800	0.8886	0.0040	250.000	0.9987	0.0002
2.900	0.8923	0.0037	350.000	0.9991	0.0004
3.000	0.8958	0.0035	450.000	0.9993	0.0002
3.200	0.9021	0.0063	1000.000	0.9997	0.0004
3.400	0.9077	0.0056	2000.000	0.9998	0.0002
			5000.000	0.9999	0.0000

**TABLA 2**  
**COEFICIENTES DE ESTRUCTURAS FINITAS**

$x/h = 16.000$			$x/h = 16.000$		
$y/h$	Coef.	Dif.	$y/h$	Coef.	Dif.
0.010	0.0178	-----	1.500	0.4002	-----
0.016	0.0261	0.0083	1.600	0.4057	0.0055
0.022	0.0337	0.0076	1.700	0.4106	0.0050
0.028	0.0408	0.0070	1.800	0.4151	0.0045
0.034	0.0474	0.0066	1.900	0.4191	0.0041
0.040	0.0537	0.0063	2.000	0.4228	0.0037
0.052	0.0655	0.0118	2.200	0.4293	0.0065
0.064	0.0764	0.0109	2.400	0.4347	0.0055
0.076	0.0865	0.0102	2.600	0.4394	0.0047
0.088	0.0961	0.0096	2.800	0.4434	0.0040
0.100	0.1051	0.0090	3.000	0.4470	0.0035
0.112	0.1137	0.0086	3.200	0.4501	0.0031
0.124	0.1219	0.0082	3.400	0.4528	0.0027
0.148	0.1372	0.0153	3.600	0.4552	0.0024
0.172	0.1513	0.0141	3.800	0.4574	0.0022
0.196	0.1644	0.0131	4.000	0.4594	0.0020
0.220	0.1765	0.0122	4.200	0.4612	0.0018
0.244	0.1879	0.0114	4.400	0.4628	0.0016
0.268	0.1986	0.0106	4.600	0.4643	0.0015
0.292	0.2086	0.0100	4.800	0.4656	0.0014
0.316	0.2180	0.0094	5.000	0.4669	0.0012
0.340	0.2269	0.0089	5.200	0.4680	0.0011
0.364	0.2353	0.0084	5.400	0.4691	0.0011
0.388	0.2433	0.0080	5.600	0.4700	0.0010
0.412	0.2508	0.0076	5.800	0.4709	0.0009
0.436	0.2580	0.0072	6.000	0.4718	0.0008
0.460	0.2648	0.0068	6.500	0.4737	0.0019
0.484	0.2713	0.0065	7.000	0.4753	0.0016
0.508	0.2775	0.0062	7.500	0.4766	0.0014
0.532	0.2834	0.0059	8.000	0.4778	0.0012
0.556	0.2891	0.0056	8.500	0.4788	0.0010
0.580	0.2945	0.0054	9.000	0.4798	0.0009
0.634	0.3057	0.0113	9.500	0.4806	0.0008
0.688	0.3159	0.0102	10.000	0.4813	0.0007
0.742	0.3252	0.0093	10.500	0.4819	0.0006
0.796	0.3337	0.0085	11.000	0.4825	0.0006
0.850	0.3415	0.0078	11.500	0.4830	0.0005
0.904	0.3487	0.0071	12.000	0.4834	0.0005
0.958	0.3552	0.0066	12.500	0.4839	0.0004
1.012	0.3613	0.0061	13.000	0.4842	0.0004

x/h = 16.000			x/h = 16.000		
y/h	Coef.	Dif.	y/h	Coef.	Dif.
1.100	0.3703	0.0089	13.500	0.4846	0.0003
1.200	0.3792	0.0089	14.000	0.4849	0.0003
1.300	0.3871	0.0078	14.500	0.4852	0.0003
1.400	0.3940	0.0069	15.000	0.4855	0.0003

Estudiada la convergencia numérica de (11) dentro de un error relativo del 1 % se prepararon tablas de coeficientes de cuatro cifras que permiten la interpolación lineal. Se realizó así un considerable ahorro de valores que resultaron en definitiva sólo 14.000 (Ver Tabla 2).

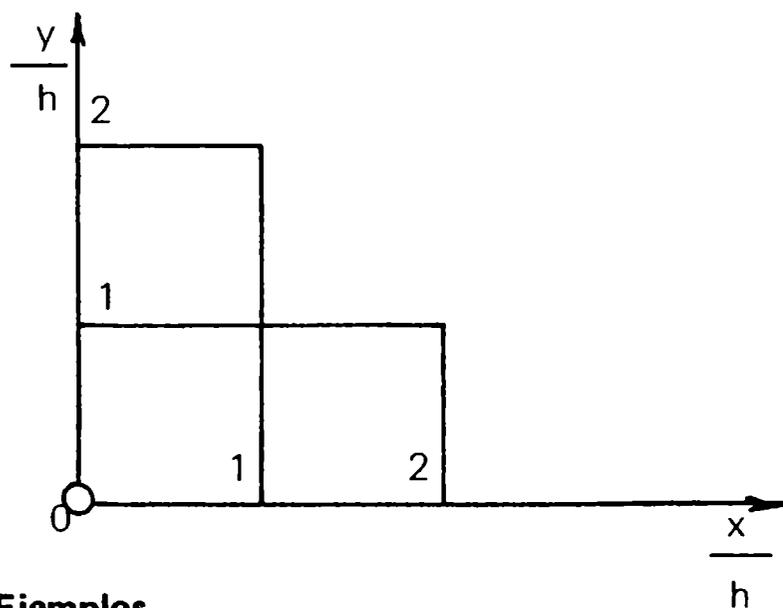
Agotada la tabla finita, se busca el coeficiente correspondiente en la bidimensional, entrando sólo con (x/h), recordando que en estos casos los coeficientes  $C_B$  son dos veces los  $C_T$ .

Conviene señalar también que si en la expresión (9) se intercambian  $\frac{x}{h}$  e  $\frac{y}{h}$

se obtiene el mismo coeficiente.

Así por ejemplo, el coeficiente de  $\frac{x}{h} = 1, \frac{y}{h} = 2$  es el mismo que el de  $\frac{x}{h} = 2, \frac{y}{h} = 1$  (0.3430 en ambos casos).

Esta simetría puede ser utilizada para simplificar la tabla.



**Ejemplos**

- I. Cálculo de la componente gravimétrica vertical que origina sobre una estación exterior P, un cubo de 2 km. de lado y densidad  $\delta = 1$  (Extraer las coordenadas de los vértices del cubo de Fig. 6).

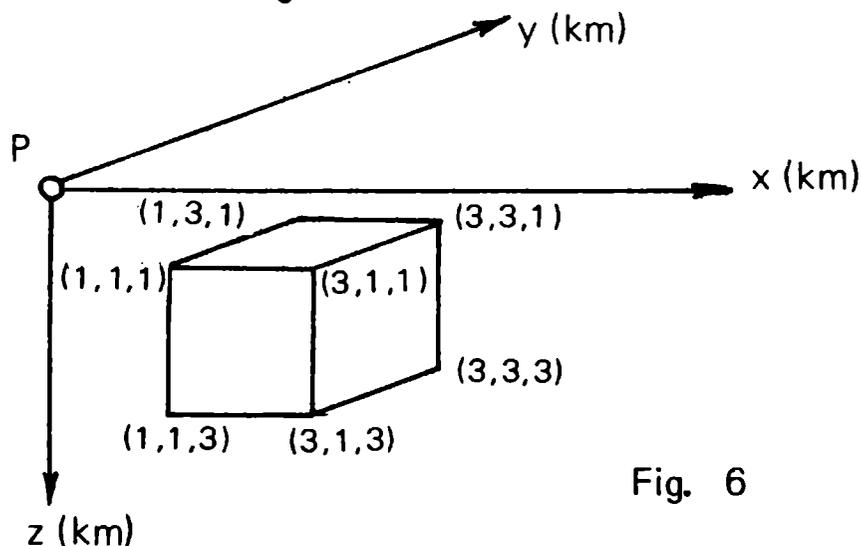


Fig. 6

Dado que las tablas de coeficientes están preparadas con  $h_1 = x_1 = y_1 = 0$  hay que trabajar mediante sumas y diferencias. De las figuras 7 y 8 la componente gravimétrica vertical en P debida al cubo de Fig. 6 será (Exp. 9):

$$G \delta \pi [3 \times (\text{Efectos de: } a - b - c + d) - 1 \times (\text{Efectos de: } a' - b' - c' + d')]$$

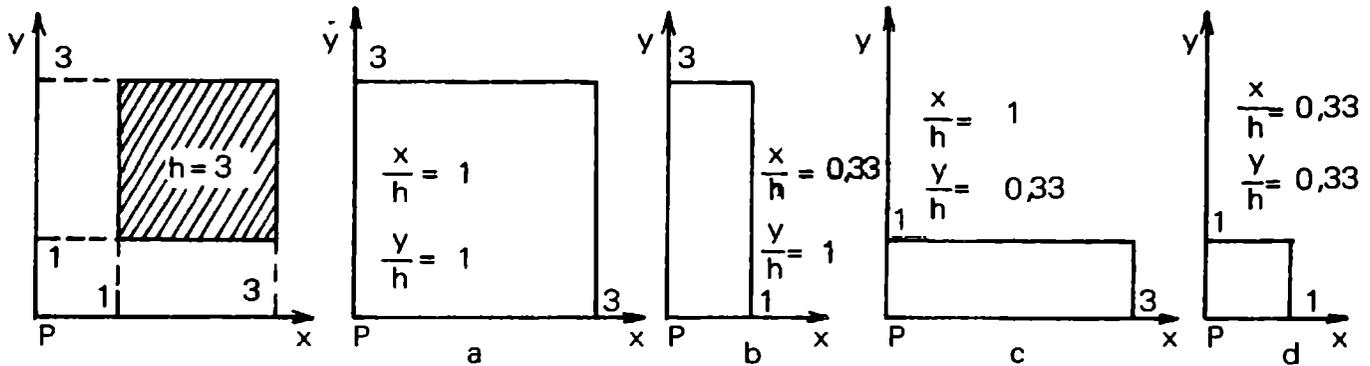


Fig. 7

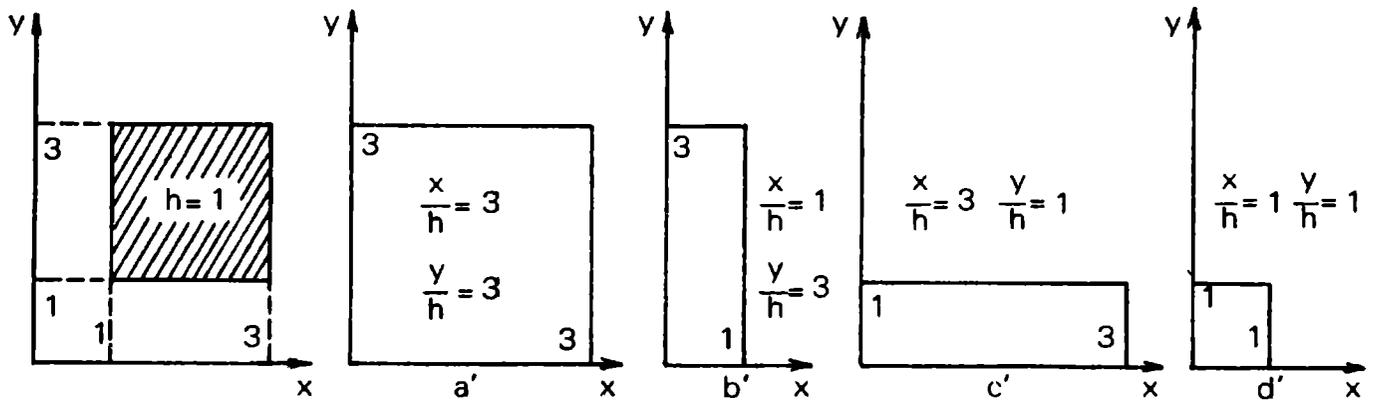


Fig. 8

La siguiente tabla da los coeficientes correspondientes a los efectos de a, b, c, d (Fig. 7) y a', b', c', d' (Fig. 8).

h	x/h	x/h	Coeficientes
3	1	1	+0,3086 (+a)
	0,3333	1	-0,2050 (-b)
	1	0,3333	-0,2050 (-c)
	0,3333	0,3333	+0,1529 (+d)
			$\Sigma : 0,1515$

h	x/h	x/h	Coeficientes	
1	3	3	+0,4267	(+a')
	1	3	-0,3520	(-b')
	3	1	-0,3520	(-c')
	1	1	+0,3086	(+d')
			$\Sigma$ 0,0312	

Finalmente la componente gravimétrica vertical en P será:

$$G_P = G \delta \pi (3 \times 0.0515 - 1 \times 0.0312) = \mathbf{2.58 \text{ mlg.}}$$

$$\text{con: } \pi \cdot G \cdot \delta = 20.944 \times 10^{-8} \text{ c.g.s.}$$

Mediante el método directo (expr. 5), que es sumamente lento por la cantidad de cálculos, obtenemos como verificación:

Suma de términos logarítmicos:	$0.041792 \times 10^5 \text{ c.g.s.}$
Suma de términos en arco seno:	$\underline{0.345478} \times 10^5 \text{ c.g.s.}$
coeficiente:	$0.387270 \times 10^5 \text{ c.g.s.}$

Finalmente:

$$G_P = G \cdot \delta \cdot 0.38727 \times 10^5 \text{ c.g.s.} = \mathbf{2.58 \text{ mlg.}}$$

$$G. = \frac{20}{3} \times 10^{-8} \text{ c.g.s.}$$

II. Cálculo de la componente gravimétrica vertical que origina, sobre una estación exterior P, una estructura bidimensional de sección rectangular (10 x 4.45) km<sup>2</sup>, densidad  $\delta = 0.6 \text{ c.g.s.}$  (Extraer las coordenadas de los vértices de la sección x.h de Fig. 9).

Mediante análogo razonamiento empleado en el ejemplo I y de acuerdo a la Fig. 9, tabla de coeficientes bidimensionales, y expresión (8), se tendrá:

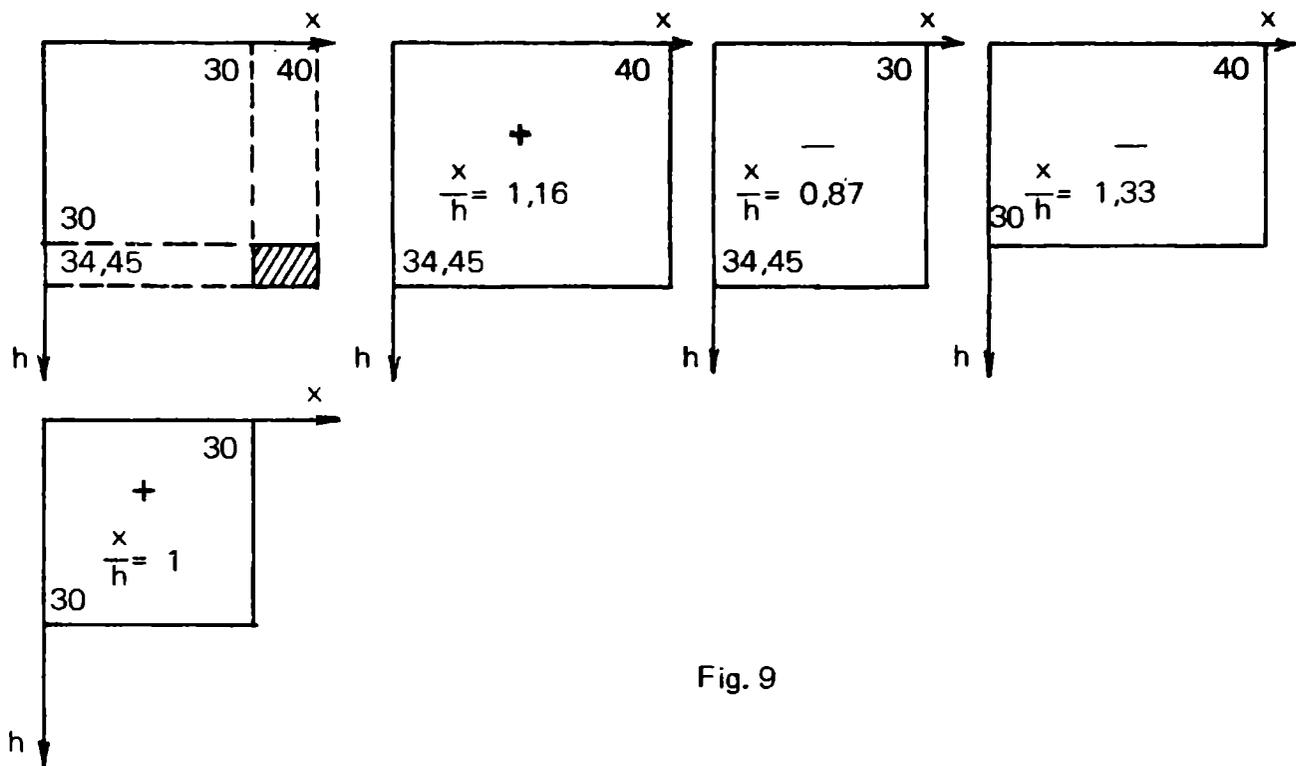


Fig. 9

h	x/h	Coef.	Coef. · h (c.g.s.)
34.45	1.1611	+0.75245	-----
34.45	0.8708	-0.68923	2,17793 x 10 <sup>5</sup>
30	1.3333	-0.77974	-----
30	1	+0.72064	-1.77300 x 10 <sup>5</sup>
			Σ : 0.404939 x 10 <sup>5</sup>

Siendo:

$$\pi G \delta = 12.5664 \times 10^{-8} \text{ c.g.s.}$$

$$G_p = 12.5664 \times 0.404939 = \mathbf{5.09 \text{ mlg.}}$$

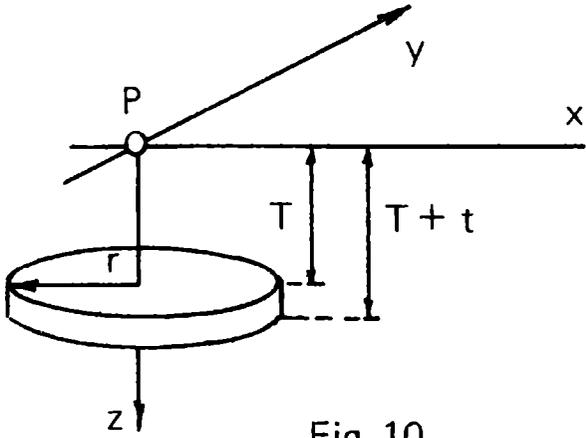
En este caso los coeficientes se reducen a sólo cuatro. El método directo, lento y tedioso, da los siguientes valores en el orden dado por la exp. (7)

$$= 2 G \delta \cdot [40 \cdot (0.740511 - 0.695472 + 0.054302) - 30 \cdot (0.822739 - 0.78540 + 0.073923)] =$$

$$= 2 G \delta \cdot 0.635780 = \mathbf{5.09 \text{ mlg.}} \quad \text{con. } 2 G \delta = 8 \cdot 10^{-8} \text{ c.g.s.}$$

III. Dada una estructura cilíndrica vertical como la de Fig. 10, calcular la componente gravitacional vertical en un punto P del eje para las siguientes

dimensiones:



$$(*) \begin{cases} r = 166.7 \text{ km.} \\ T = 40 \text{ km.} \\ T + t = 44.45 \text{ km.} \\ \delta = 0,6 \text{ gr. x cm}^{-3} \end{cases}$$

Fig. 10

El cálculo exacto se hará con la conocida expresión:

$$g = 2\pi G \delta \cdot [t + \sqrt{r^2 + T^2} - \sqrt{r^2 + (T + t)^2}]$$

Con los datos (\*):

$$g = 84.3 \text{ mlg.}$$

Aproximando la estructura cilíndrica mediante 4 prismas adyacentes de bases cuadradas, lados de 150 km. y altura 4.45 km. Fig. 11, se tiene:

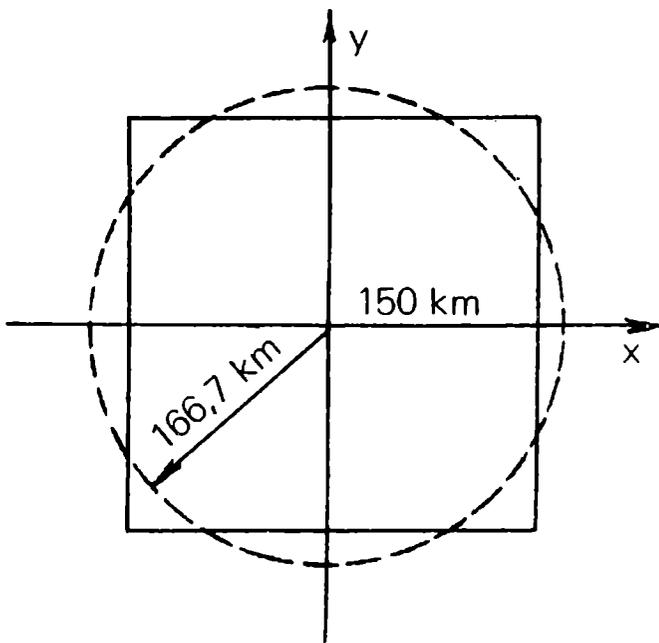


Fig. 11

Con  $T = 40$  y  $T + t = 44.45$

$$\text{Para: } \frac{x}{h} = \frac{y}{h} = \frac{150}{44.45} = 3.374; \text{ coef..}$$

0.4347 (con doble interpol.).

$$\frac{x}{h} = \frac{y}{h} = \frac{150}{40} = 3.750; \text{ coef.. } \mathbf{0.4408}$$

$$g = 4[\pi \cdot G \cdot \delta (44.45 \cdot 0.4347 - 40 \cdot 0.4408)]$$

$$\qquad \qquad \qquad 19.322 \qquad \qquad 17.632$$

$$g = 84.9^5 \text{ mgl. contra } 84.3 \text{ mgl (valor exacto).}$$

Esta primera aproximación proporciona un error inferior al 1%.

Se comprende que con una mayor aproximación gráfica el resultado puede mejorarse.

### **VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL METODO DE LOS COEFICIENTES**

El método de coeficientes descripto evita el uso de calculadoras, tablas de logaritmos y valores naturales; las operaciones que exige son muy sencillas y tiene un amplio rango de operabilidad. Normalmente se necesitan 4 u 8 coeficientes para casos de masas bi y tridimensionales respectivamente, que se obtienen por interpolación lineal desde los valores tabulados. Luego, mediante los coeficientes obtenidos, se calculan los correspondientes efectos gravimétricos de los bloques que entran en el cálculo haciendo intervenir la densidad elegida. Finalmente, por sumas y restas se calcula el efecto gravitatorio del paralelepípedo en estudio. El método, si bien sencillo, resulta lento para el cálculo de efectos gravimétricos de masas fijas, (por ejemplo, topográficas) y más lento aún, en el caso de trabajar por el procedimiento de ensayo y error en interpretación, donde colocar o sacar una masa sin conocer simultáneamente su efecto gravimétrico retarda considerablemente los cálculos.

### **TABLA DE EFECTOS GRAVIMETRICOS ACUMULADOS**

Se pensó por ello que tablas de efectos gravimétricos acumulados (en columnas), de bloques de densidad unitaria y dimensiones constantes y prefijadas podría acelerar en gran medida los cálculos, dado que se necesitan sólo simples operaciones de sumas y restas (exp. 5).

Así, para el caso finito, y fijadas las secciones (x.z.) se varían  $x$  y  $z$  hasta valores prefijados, e  $y$  desde 0 hasta un valor suficientemente grande\* (donde los efectos gravimétricos coinciden prácticamente con los correspondientes a estructuras bidimensionales).

Se mantiene el paso constante o se aumenta una o dos veces con la distancia. Obviamente, se necesitan tantas tablas como valores de  $y$  se hayan elegido.

Utilizando la expresión (7) se calcularon tablas bidimensionales con los siguientes valores: (Ver Tabla 3).

- 1.— Ancho del bloque: 5 km.  
Desde 0 — 6 km. en  $z$ . Desde 0 — 70 km. en  $x$ .  
Espesor del bloque: 0.1 km. Densidad: 1 c.g.s.
- 2.— Ancho del bloque: 5 km.  
Desde 6 — 28 km. en  $z$ . Desde 0 — 140 km. en  $x$ .  
Espesor del bloque: 0.5 km. Densidad: 1 c.g.s.
- 3.— Ancho del bloque: 5 km.  
Desde 28 — 75 km. en  $z$ . Desde 0 — 350 km. en  $x$ .  
Espesor del bloque: 1 km. Densidad: 1 c.g.s.

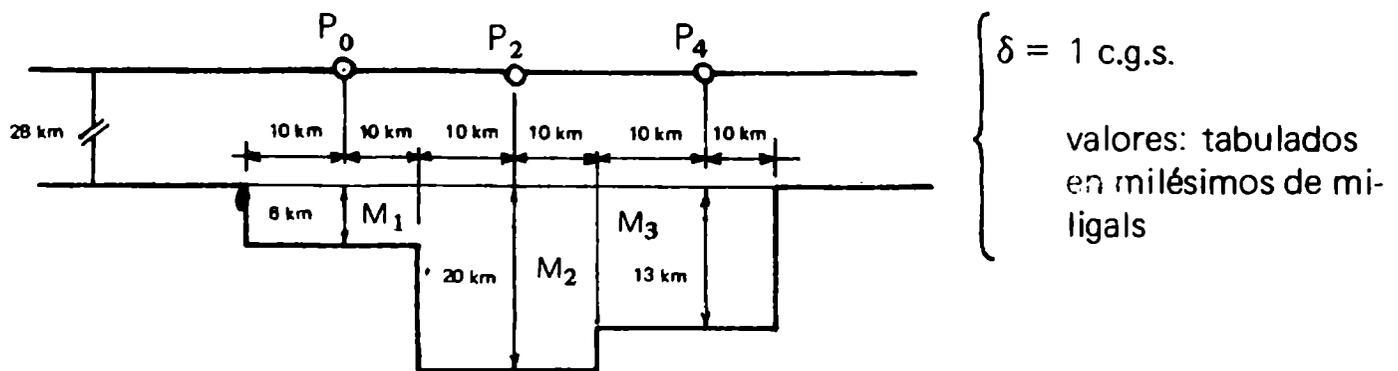
\* Puede también fijarse la sección (x.y.) y variar  $z$ .



Estas tablas permiten calcular:

- Efectos topográficos
- Modelos de corteza subsuperficial, intermedia y profunda.

IV Cálculo de efectos gravimétricos producido por la masa de la figura sobre los puntos  $P_0$ ,  $P_2$ ;  $P_4$  con la tabla de efectos acumulados en columnas a partir de los 28 km.



1) Punto  $P_0$

$$G^{P_0} = G_{M_1}^{P_0} + G_{M_2}^{P_0} + G_{M_3}^{P_0}$$

$$G_{M_1}^{P_0} = 12832 + 12832 + 12198 + 12198 = 50060$$

$$G_{M_2}^{P_0} = 32033 + 29094 + 25955 + 22896 = 109978$$

$$G_{M_3}^{P_0} = 13243 + 11453 + 9922 + 8627 = 43245$$

$$G^{P_0} = 203,283 \text{ mlg.}$$

2) Punto  $P_2$

$$G^{P_2} = G_{M_1}^{P_2} + G_{M_2}^{P_2} + G_{M_3}^{P_2}$$

$$G_{M_1}^{P_2} = 11103 + 9785 + 8452 + 7215 = 36555$$

$$G_{M_2}^{P_2} = 35702 + 35702 + 34387 + 34387 = 140178$$

$$G_{M_3}^{P_2} = 22311 + 20008 + 17602 + 15308 = 75229$$

$$G^{P_2} = 251,962 \text{ mlg.}$$

### 3) Punto P<sub>4</sub>

$$G_{M_1}^{P_4} = G_{M_1}^{P_4} + G_{M_2}^{P_4} + G_{M_3}^{P_4}$$

$$G_{M_1}^{P_4} = 6144 + 5235 + 4479 + 3852 = 19710$$

$$G_{M_2}^{P_4} = 32033 + 29094 + 25955 + 22896 = 109978$$

$$G_{M_3}^{P_4} = 25238 + 25238 + 24177 + 24177 = 98830$$

$$G^{P_4} = 228,518 \text{ mlg.}$$

Para resolver problemas semejantes al ejemplo anterior por medio del uso de computadoras, se generalizó la expresión (7) para el cálculo de efecto gravimétrico de  $n$  bloques de espesor constante  $2M$  sobre  $n$  puntos, obteniendo:

$$G^{PN} = 2 \left[ \left( 1, \frac{h_{N+1}}{2} \right) \cdot D + \sum_{i=1}^n \left| \left| 2i - 1 - N \right| \cdot D \cdot \left[ ( | 2i - 1 - N |, h_i ) - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \left[ 2i - 3 - N \right] \cdot D \cdot \left[ ( | 2i - 3 - N |, h_i ) \right] \right] \right. \right. \quad (12)$$

donde:

$$D = 2 G \delta M$$

$$\left[ (a, hx) = \frac{hx}{a.M} \text{ arc. ctg. } \frac{hx}{a.M} - \frac{H_1}{a.M} \text{ arc. ctg. } \frac{H_1}{a.M} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{1 + \left( \frac{hx}{a.M} \right)^2}{1 + \left( \frac{H_1}{a.M} \right)^2} \right] \right.$$

siendo:

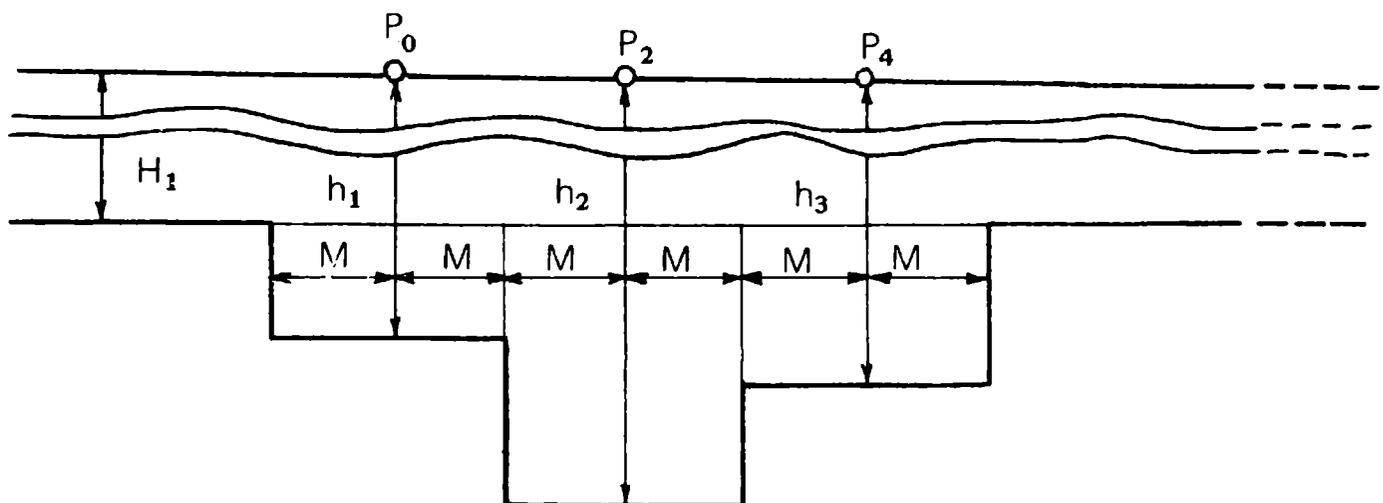
$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$N = 2(j - 1) \text{ para } j = 1, 2, \dots, 2(n - 1)$$

Si bien la computadora permite, mediante la expresión (12), la valuación rápida de efectos gravimétricos correspondientes a cuerpos de dimensiones predefinidas (tales como los del ejemplo IV), es más frecuente operar por el procedimiento inverso. En efecto, la interpretación gravimétrica exige encontrar modelos de corteza o parte de corteza que, sujetos a ciertas condiciones, reproduzcan las anomalías, dentro de una precisión prefijada.

Por ejemplo, hemos acelerado notablemente los estudios de corteza profunda preparando un programa Fortran basado en las siguientes consideraciones:

- La masa anómala  $M_c$  se compone de bloques bidimensionales de sección rectangular y ancho constante  $2M$ .
- Las estaciones  $P_0, P_2, P_4$  se ubican en la intersección de la superficie topográfica y las verticales que pasan por el centro de la sección de cada bloque.
- La masa  $M_c$  se ubica a partir de una profundidad prefijada  $H_1$
- Se adopta un determinado contraste de densidad para la masa anómala.



Todo el problema consiste entonces en encontrar los espesores  $h_1, h_2, h_3$  que dimensionen a los bloques que componen la masa anómala. Para ello se parte de un modelo general cuyos espesores se obtienen en función de relaciones mundiales (Wollard, 1959) entre anomalías de Bouguer y profundidad de corteza. A partir de una expresión generalizada se calculan:

- los efectos gravimétricos que produce el modelo inicial en las distintas relaciones  $P_0, P_2, P_4$  obteniéndose:

$$GG^{P_0}; GG^{P_2}; GG^{P_4}; \quad \text{utilizando la expresión generalizada} \quad (12)$$

$$\text{- y los residuos } \Delta_1 = GG^{P_0} - A_B^0; \Delta_2 = GG^{P_2} - A_B^2, \Delta_3 = GG^{P_4} - A_B^4$$

Si  $\sum \Delta_i$  es mayor que la tolerancia prefijada, a los espesores iniciales se les aplican términos correctivos en función de los residuos.

Se repite el procedimiento hasta que la suma de los residuos quede por debajo de la tolerancia prefijada. En los modelos de corteza obtenidos para la Sierra de Córdoba se obtuvieron (para 6 estaciones) los siguientes residuos:

- Máx. Residuos por estación: 0,5 mlg.
- Sumatoria de residuos: 1,7 mlg.

Siendo el tiempo de convergencia promedio para cada modelo propuesto de 40 seg.

## CONCLUSIONES

Los tres procedimientos planteados (tablas de coeficientes, tablas de valores gravimétricos acumulados y computación) son igualmente rigurosos.

Sin embargo, como ya se señalara, la lentitud del método indirecto basado en tablas de coeficientes, lo hace prácticamente desaconsejable frente a los dos restantes.

La utilización de tablas de valores acumulados presenta, respecto al método anterior (siempre que se elijan prismas de dimensiones adecuadas), una mejor visualización de los efectos gravimétricos y una mayor rapidez de cálculo.

Por último, el método de computación es indudablemente el más rápido de todos. No obstante hay que señalar que las computadoras digitales no siempre están al alcance del gravimetrista, por lo cual, y a costa de una mayor lentitud operativa, puede utilizarse, por ejemplo, cualquiera de los otros dos métodos aquí planteados.

## RECONOCIMIENTO

La preparación de tablas y el programa de computación fueron realizados en el Centro de Computación y Procesamientos de Datos de la Universidad Nacional de Rosario:

Se agradece al Sr. Walter Ruffinengo la dedicación puesta en el análisis y programación del problema.

## BIBLIOGRAFIA

- HUBBERT M.K. 1948: *A line-integral method of computing the gravimetric effects of two-dimensional masses. Geophysics. Vol 13 pp. 215-225.*
- LEJAY P. 1947: *Developpements Modernes de la Gravimetrie. Paris. Gauthier-Villars, pág. 205.*
- LOGMAN M.J. y LEAMAN D.E. 1971: *Rapid numerical evaluation of two-dimensional gravity profiles. Geophysical Prospecting. Vol 19 Nº 2 pp. 265-273.*
- MILLET F.B. 1967: *A dot chart for the calculation of gravitational and magnetic attraction of two-dimensional bodies. Mining Geophysics. Vol 2 pp. 642-657.*
- NAGY, D. 1966: *The gravitational attraction of right rectangular prism. Geophysics. Vol XXXI Nº 2 pp. 362-371.*
- SALONEN E. 1932: *Über die Erdrustendiche and die isostatische Kompensation in den Schweizer Alpen. Annales Acad. Sci. Fennical Ser a. Vol 37 Nº 3 pp. 1-27.*
- SHURBERT L., WORZEL L. y EWING M. 1956: *Gravity measurement in The Virgin Island. Bull of the Geolog. Society of Am. Vol 67 pp. 1529-1536.*
- TALWANI M., WORZEL J.L. y LANDISMAN M. 1959: *Rapid Gravity computation of two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. Jour of Geoph. Res. Vol. 64 Nº 1 pp. 49-58.*
- TALWANI M. y EWING M. 1960: *Rapid Computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape. Geophysics. Vol. XXV Nº 1 pp. 203-225.*

## RESULTADOS GRAVIMETRICOS OBTENIDOS EN UNA ZONA DE LA CAÑADA SAN ANTONIO

EDUARDO HUERTA  
Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería  
Universidad Nacional de Rosario

Se realizó una distribución uniforme de estaciones de gravedad (1 punto c/10 km<sup>2</sup>), en la zona comprendida entre los paralelos 32°24'S y 32°48'S y los meridianos 61°45' W y 62°08' W.

Los resultados gravimétricos obtenidos, interpretados cuantitativamente se atribuyen a una anomalía de basamento cristalino, siendo el modelo tentativo propuesto concordante con el total de información geológica y geofísica disponible.

**Gravity was measured in a uniform grid of stations (1 every 10 km<sup>2</sup>), in the area between parallels 32°24'S and meridians 61°45'W and 62°08'W.**

**The gravimetric results, quantitatively interpreted, were attributed to an anomaly of the crystalline basement; the proposed model was in armony with available geological and geophysical information.**

## INTRODUCCION

El área abarcada por la medición está comprendida entre los paralelos 32°24' y 32°48'S y los meridianos 61°45' W y 62°08' W siendo atravesada de norte a sur por el arroyo Tortuga; límite entre las provincias de Santa Fe y Córdoba (Figs. 1 y 2).

La zona está ubicada en la fosa de San Antonio la cual pertenece a su vez a la llanura chaco-pampeana.

La llanura chaco-pampeana es una dilatada cuenca sedimentaria cuyo zócalo cristalino soporta potentes mantos que en varias partes alcanzan miles de metros.

En toda la cuenca sedimentaria y en la chaco-pampeana en particular, las manifestaciones de los accidentes tectónicos en superficie son de alcance tan insignificante que muchos de ellos pasan inadvertidos.

La fosa de San Antonio está limitada en el W por la falla de San José del Salteño y más netamente en el E por la de Tostado-Selva, la que se manifiesta por un talud de pendiente constante. Al llegar, por el norte, a las proximidades de General Roca surge un escalón de génesis tectónico que reduce a la mitad la profundidad de la fosa.

El límite septentrional de dicho escalón es una falla que corre casi de W a E, la que tiene el nombre de falla de General Roca. El presente estudio gravimétrico pretende aportar una respuesta geofísica a los estudios realizados sobre consideraciones geomorfológicas.

## ANOMALIAS GRAVIMETRICAS

Sobre los 1200 km<sup>2</sup> que abarca la región en estudio se planificó una distribución uniforme de estaciones gravimétricas con una densidad mínima de una estación cada 12 km<sup>2</sup>. La ubicación planimétrica de los puntos de medición se realizó sobre planchetas del Instituto Geográfico Militar Argentino (I.G.M.A.) a escala 1:50.000 indicando además el itinerario más conveniente a seguir de acuerdo a los caminos existentes en la zona.

Las observaciones en estas estaciones se apoyan en valores del I.G.M.A. vinculadas a su vez a la estación fundamental de Miguelete.

La accesibilidad a los puntos ubicados en la plancheta fue en general inmediata. Cuando no, se ubicaron nuevas estaciones, siendo en estos casos excepcionales la densidad de los puntos de medición nunca inferior a una estación cada 16 km<sup>2</sup>. Finalmente resultaron medidas 119 estaciones gravimétricas, lo que hace una densidad, para la región abarcada, de 1 estación cada 10 km<sup>2</sup>.

Las 119 estaciones mencionadas tienen cotas determinadas por medio de nivelación barométrica realizada con un altímetro Paulin estimándose que el error en la determinación de altitudes es siempre menor a 2 metros, lo que se traduce en una incertidumbre en la anomalía de Bouguer de más o menos 0,4 mgl, despreciable, ya que se buscan efectos regionales. Las determinaciones de gravedad se realizaron mediante el clásico sistema de control de ida y vuelta en intervalos de tiempo siempre inferior a 4 horas, verificando una deriva instrumental máxima de 0,03 mgl por hora.

Se utilizó el gravímetro Wörden 776 de nuestra Facultad; antes y después de salir de campaña, y como operación de rutina, el gravímetro recorre la base corta de control de Santa Fe.

Previamente al barrido areal se habían realizado en la zona, como parte del trabajo práctico final de un grupo de alumnos de la carrera de Ingeniería Geógrafa de nuestra Facultad, determinaciones de gravedad sobre mojones acotados por nivelación, midiéndose cuatro perfiles.

Estas determinaciones sirvieron para verificar la confiabilidad de las altitudes obtenidas por nivelación barométrica en toda la zona.

La altura media de las 119 estaciones fue de 96 metros, entre 73 metros la más baja y 120 metros las más elevada.

La determinación de la anomalía de Bouguer responde a la expresión

$$A_B = G_{ob} + C_{AL,B} - \gamma_{1930}$$

siendo:  $A_B$  anomalía simple de Bouguer

$C_{AL,B}$  Corrección de aire libre-Bouguer (0,197 h;  
con  $\delta \approx 2,67$  c.g.s.)

$\gamma_{1930}$  gravedad teórica correspondiente a la expresión internacional de 1930.

$$\gamma_{1930} = 978,049 (1 + 0,0052884 \text{ sen}^2 \varphi - 0,0000059 \text{ sen}^2 2\varphi)$$

En toda la zona y con el fin de mantener el modelo standard se utilizó la densidad  $\delta = 2,67$  c.g.s.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Trazadas las curvas isoanómalas, se observa en dirección E-W un gradiente regional 0,7 mgI/km., continuamente descendente hacia el E, teniendo para la zona en estudio, en esa dirección, una variación total de aproximadamente 20 mgI. Se observa además que hacia el este la topografía no guarda correlación con las isoanómalas. (Fig. 3)

Más hacia el S entre las latitudes 32°30'S y 32°42'S se observa el sector que presenta el mínimo topográfico de la zona, donde se encuentran los siguientes rasgos fundamentales:

**a)** Mientras que al N de la zona en estudio el arroyo Tortugas surca la cañada adosado a su margen oriental, al llegar al paralelo 32°30'S inicia un trazado a grandes rasgos ortogonales. En esa modificación de su trazado el arroyo llega por el oeste a la falla de San José del Salteño, contra la que se adosa y sigue hasta encontrar el escalón de General Roca, al que bordea hasta encontrar otro obstáculo, la falla de Tostado - Selva, que lo hace retomar su rumbo general.

**b)** Una tendencia de las isoanómalas de Bouguer de NW-SE que se corresponde con el rasgo indicado en **a**).

- c) Un mínimo magnético centrado sobre el codo mayor del arroyo Tortugas, obtenido por Y.P.F. en un relevamiento aeromagnético. (Fig. 4)
- d) Isóbatas de basamento aproximadamente en dirección NW-SE, que indican para la zona profundidades de basamento entre 1000 y 1500 m. (Fig. 5)

Teniendo en cuenta que los contrastes de susceptibilidad magnética en una estratificación sedimentaria como la estudiada son generalmente débiles, resulta que el mínimo magnético tendría estrecha relación con las rocas cristalinas de basamento.

La comparación de la carta de Bouguer con la carta magnética permite aclarar la interpretación de la primera ya que al existir un mínimo magnético se descartaría la influencia del paquete sedimentario superior y se puede suponer que las anomalías gravimétricas observadas se deben a una influencia de fondo.

Se puede pensar por lo tanto que el arroyo se ha adaptado a un sistema de lineamientos (fallas y fracturas) a nivel de basamento.

A favor de esta hipótesis es preciso decir que "en nuestra llanura pampeana, dado el bajo valor de las pendientes, cualquier dislocación ha repercutido de modo notable sobre el escurrimiento de las aguas, resultando así la hidrografía muy valiosa para el estudio de la tectónica"

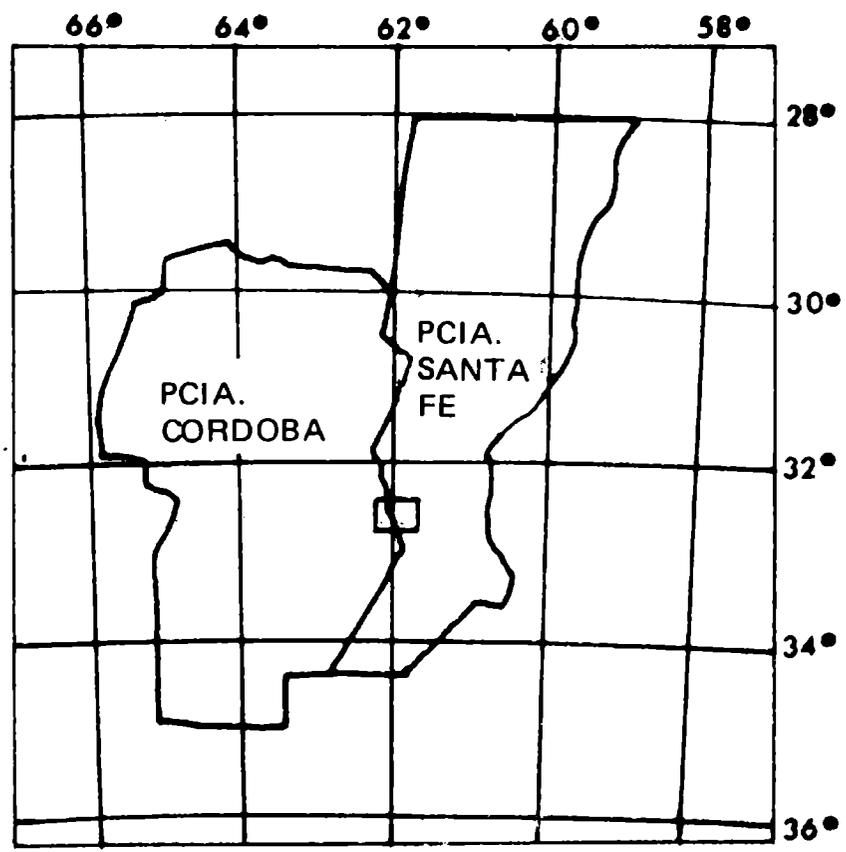
Con los elementos y las conclusiones obtenidos en base a las isoanómalas de Bouguer se puede intentar la cuantificación de modelos gravimétricos.

Así por ejemplo se traza el perfil gravimétrico AA' a través de la tendencia gravimétrica mencionada, obteniéndose el perfil de la figura 6. Esta revela un gradiente horizontal positivo en dirección S-W de unos 0,3 mgl/km. Estudiada cuantitativamente la zona de la anomalía en base a la residual, descontando la regional mencionada, y en relación a un descenso de bloque se obtiene el modelo de la figura 6. En el modelo hipotético propuesto, que de ninguna manera puede considerarse definitivo, dadas las ambigüedades propias del campo potencial estudiado, se considera un contraste de densidad  $\Delta\delta = 0,5 \text{ gr cm}^3$ .

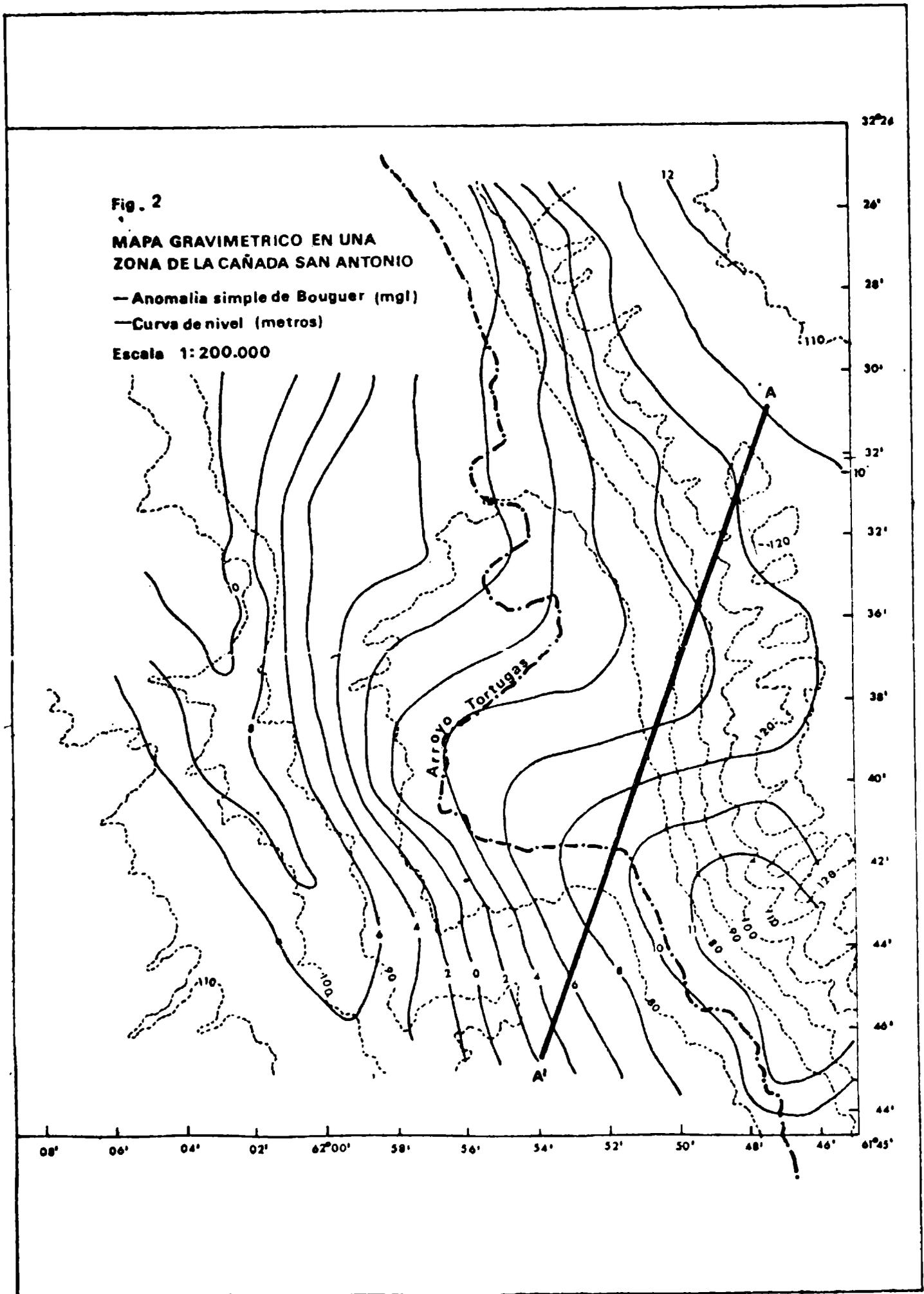
### AGRADECIMIENTO

Se agradece especialmente la intervención del Ing. Antonio Introcaso en el asesoramiento y conducción general del trabajo realizado.

Se agradece a la Dra. Pierina Pasotti las importantes opiniones sobre aspectos geomorfológicos de la zona estudiada.



**Fig. 1**  
**Croquis de orientación del sector estudiado**



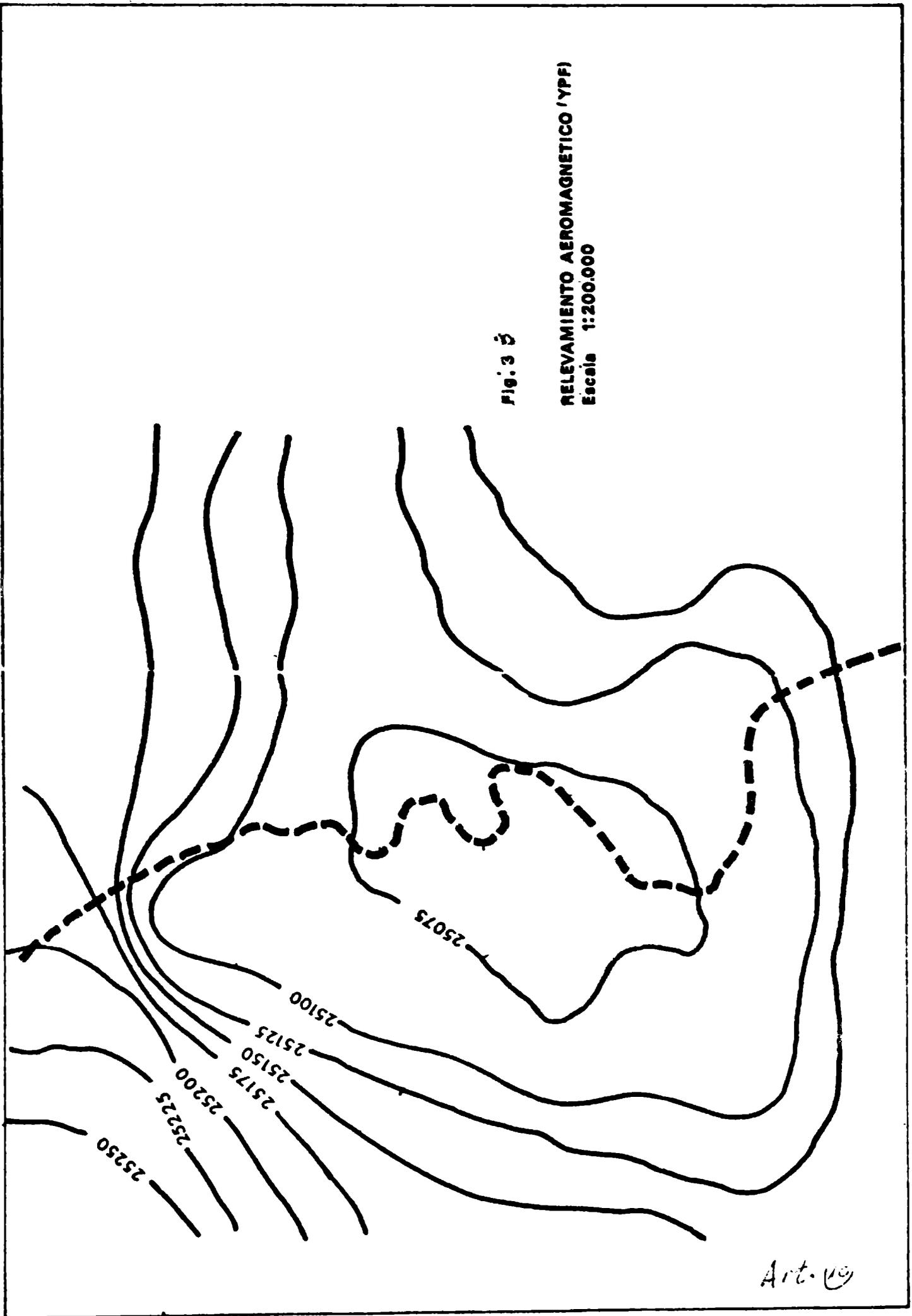


Fig. 3 5

RELEVAMIENTO AEROMAGNETICO (YPF)  
Escala 1:200.000

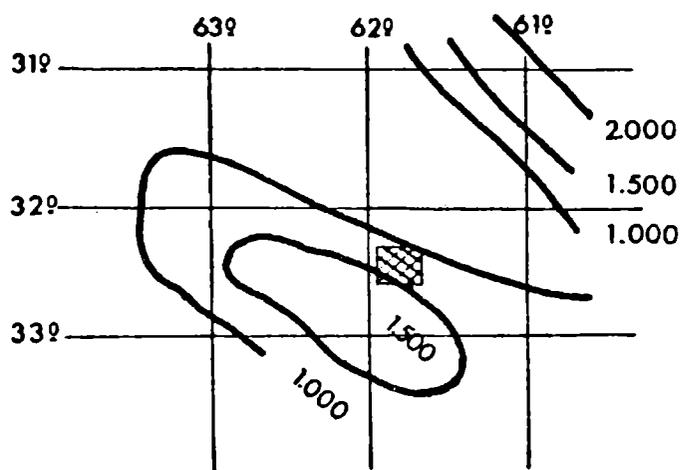


Fig. 4

ISOBATAS DE  
BASAMENTO (YPF)

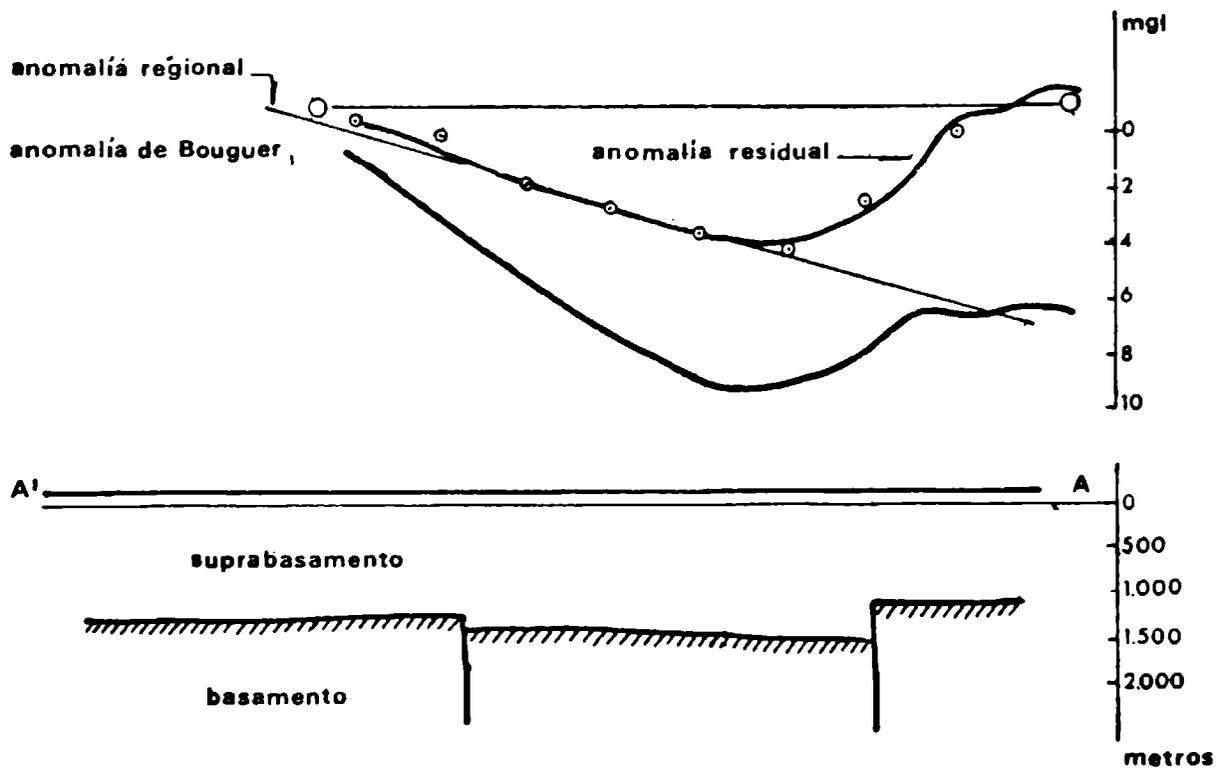


Fig. 5

## MODELO GRAVIMETRICO PROVISORIO DE CORTEZA ANDINA EN EL PARALELO 36°S

ANTONIO INTROCASO  
Fac. de Ciencias Exactas e Ingeniería  
Universidad Nacional de Rosario

Adoptando como densidades de corteza y manto superior 2,9 y 3,3 gr · cm<sup>-3</sup> respectivamente y un espesor normal de 32 km., se interpretaron los resultados gravimétricos en el paralelo 36°S a través de la cordillera andina obteniéndose un máximo espesor de corteza de unos 50 km.

Se prepararon también modelos gravimétricos (algunos reinterpretados) con las mismas densidades y espesor normal con el fin de comparar resultados.

**Adopting as densities of crust and upper mantle 2,9 and 3,3 gr · cm<sup>-3</sup> respectively, and a normal thickness of 32 km., the gravimetric results in the parallel 36°S through the Andes mountains were interpreted, obtaining a maximum crust thickness of about 50 km.**

**Other gravimetric models were prepared (some of them re-interpreted) with the same densities and normal thicknesses in order to compare results.**

**Sección 36°S** (Fig. 1)

Se utilizaron los siguientes valores:

Sector Argentino: (I.G.M. Argentino, 1970)

Sector Chileno: (Draguicevic, et al. 1961)

**Anomalías Gravimétricas:**

$$A_{AL} \quad G_o - (\gamma_o = C_{AL})$$

$$A_B \quad G_o - (\gamma_o = C_{AL} + C_B)$$

Siendo:

$A_A$	Anomalías de aire libre
$G_o$	Valor de gravedad observado
$\gamma_o$	Valor teórico correspondiente a la expresión internacional
$C_{AL}$	Corrección de aire libre (0,3086 h)*
$A_B$	Anomalía de Bouguer
$C_B$	Corrección de Bouguer (0,1118 h con densidad 2,67 gr . cm <sup>-3</sup> )

El perfil muestra:

Altitudes que llegando a la Frontera Argentino-Chilena superan los 2200 m y anomalías de Bouguer concordantes que alcanzan -175 mg.

\* Para estaciones de fuerte cota este valor debería ser modificado en función de la latitud y elevación.

**Modelos de corteza**

En el presente estudio se considera a la corteza terrestre como la porción exterior del planeta sólido que termina en la discontinuidad de Mohorovicic.

Se adoptaron las densidades 2,9 y 3,3 gr cm<sup>-3</sup> para corteza y manto superior (Baglietto, E., y Cerrato, A., 1968; Introcaso, A. y Huerta, E., 1972) y un espesor normal de 32 kms.

La Fig. 2 muestra el modelo obtenido para la sección 36°S. Además las Figs. 3 y 4 contienen los modelos gravimétricos tentativos para las secciones 32°S y 33°S, preparados en base a datos obtenidos de Wollard, G.P., (1969), con las densidades y espesor normal ya mencionados.

Finalmente la Fig. 5 contiene, para su comparación los 2 perfiles extremos de este estudio. El modelo de corteza en el altiplano, en base a los valores gravimétricos dados en Draguicevic, M. (1970), y recalculado sólo a los efectos de mantener las densidades y espesor normal adoptados, y el modelo correspondiente a la sección 36°S. La máxima potencia cortical del modelo gravimétrico del altiplano es consistente con el modelo sísmico dado por James, D.E. (1971), para una sección bastante cercana. No obstante ésta no es una prueba concluyente sobre la correcta elección de los parámetros de gravedad.

Los cálculos se hicieron desde la superficie del suelo utilizándose coeficien-

tes y tablas de valores gravimétricos acumulados correspondientes a paralelepípedos rectángulos de acuerdo a Introcaso, A. y Huerta, E. (1975).

Mencionaremos finalmente sólo unos pocos puntos con el fin de destacar que los resultados obtenidos deben ser considerados como provisorios:

- Se utilizaron anomalías simples de Bouguer
- Se adoptó el valor  $2,67 \text{ gr cm}^{-3}$  para la corrección de masa. No obstante para cálculos de raíces de corteza parece ser indicada una corrección basada sobre la elevación media regional del área utilizando la densidad cortical media.

Así para un cambio desde  $2,67$  a  $2,9 \text{ gr cm}^{-3}$  habría una variación de  $-9,6$  mlg. por cada  $100 \text{ m}$  de elevación. Si a título de ejemplo suponemos una relación lineal entre incremento de "raíz" ( $\Delta R$ ) y anomalía gravimétrica ( $\Delta g$ )

$$\Delta R = 0.08 (-\Delta g)$$

el incremento de raíz sería de  $768$  metros para  $1000$  metros de elevación.

- La elección de espesor cortical normal y densidad medias de corteza y manto superior ha sido hipotética, dado que no se dispone de suficientes resultados sísmicos.
- Se supuso homogeneidad en corteza y manto superior en todos los cálculos realizados
- Existe una pérdida de sensibilidad con la profundidad. Así para una profundidad de  $49 \text{ km.}$ , aumentar o disminuir la raíz en  $1 \text{ km}$  (suponiendo estructura bidimensional de sección rectangular de  $20 \text{ km}$  de ancho) significa variar la respuesta gravimétrica superficial en sólo  $\pm 2$  mlg.

## CONCLUSIONES

Estos resultados provisorios están de acuerdo con las apreciaciones de Lomnitz (1962), quien destacó en un análisis cualitativo que la estructura longitudinal de los Andes no parece ofrecer mayores discontinuidades decreciendo gradualmente hacia el sur tal como lo muestran la anomalías de Bouguer, y de acuerdo en general al principio de isostasia.

Las diferencias de espesores de corteza de los distintos modelos (menos críticas que los análisis individuales), muestran una pérdida de potencia hacia el sur, que entre las secciones extremas aquí consideradas es de unos  $20 \text{ km}$ .

## RECONOCIMIENTO

Colaboró con destacable dedicación a lo largo de todo el trabajo el alumno adscripto Carlos González. Intervino también durante la primera parte el Ing. Héctor Palma (por entonces alumno).

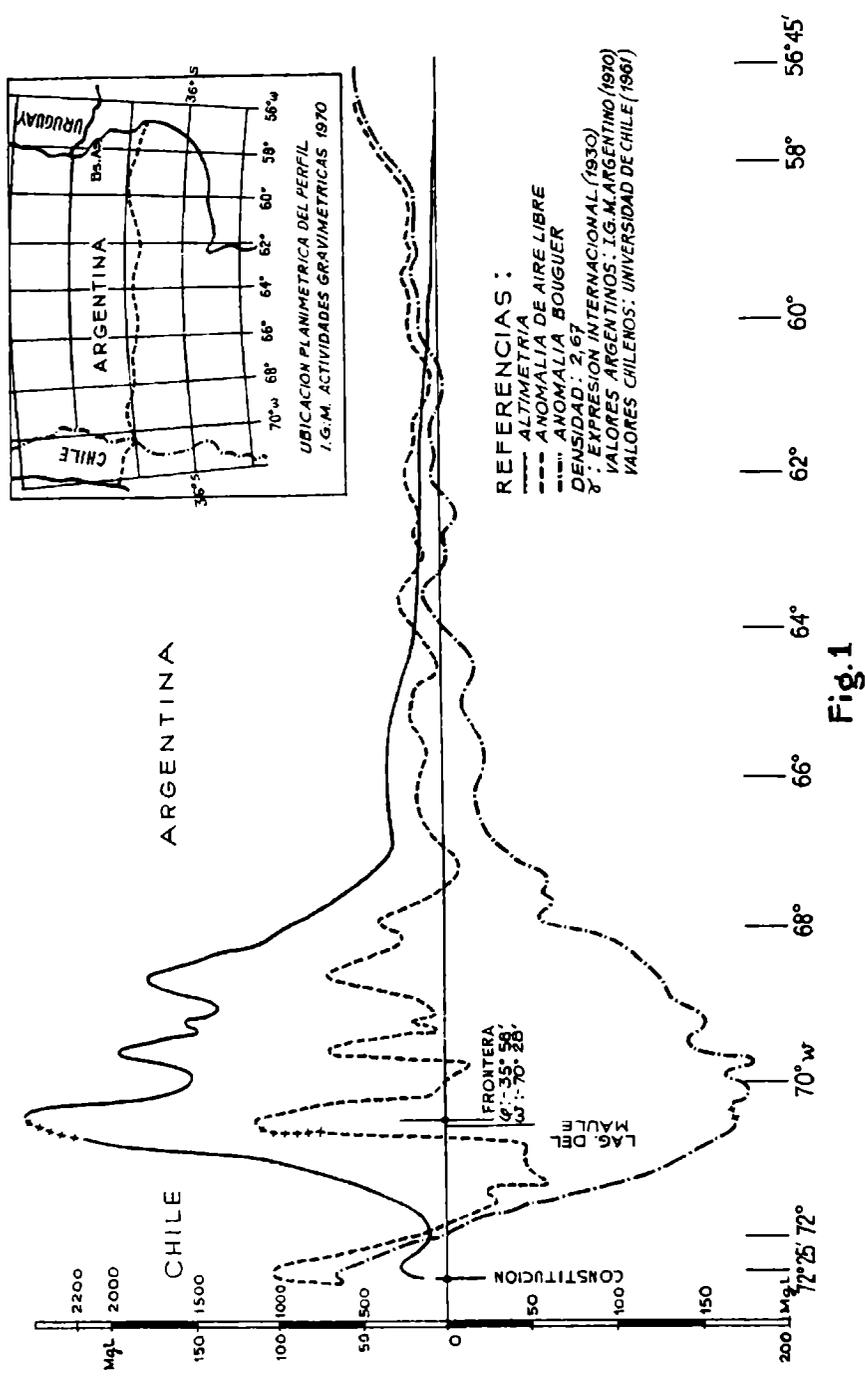
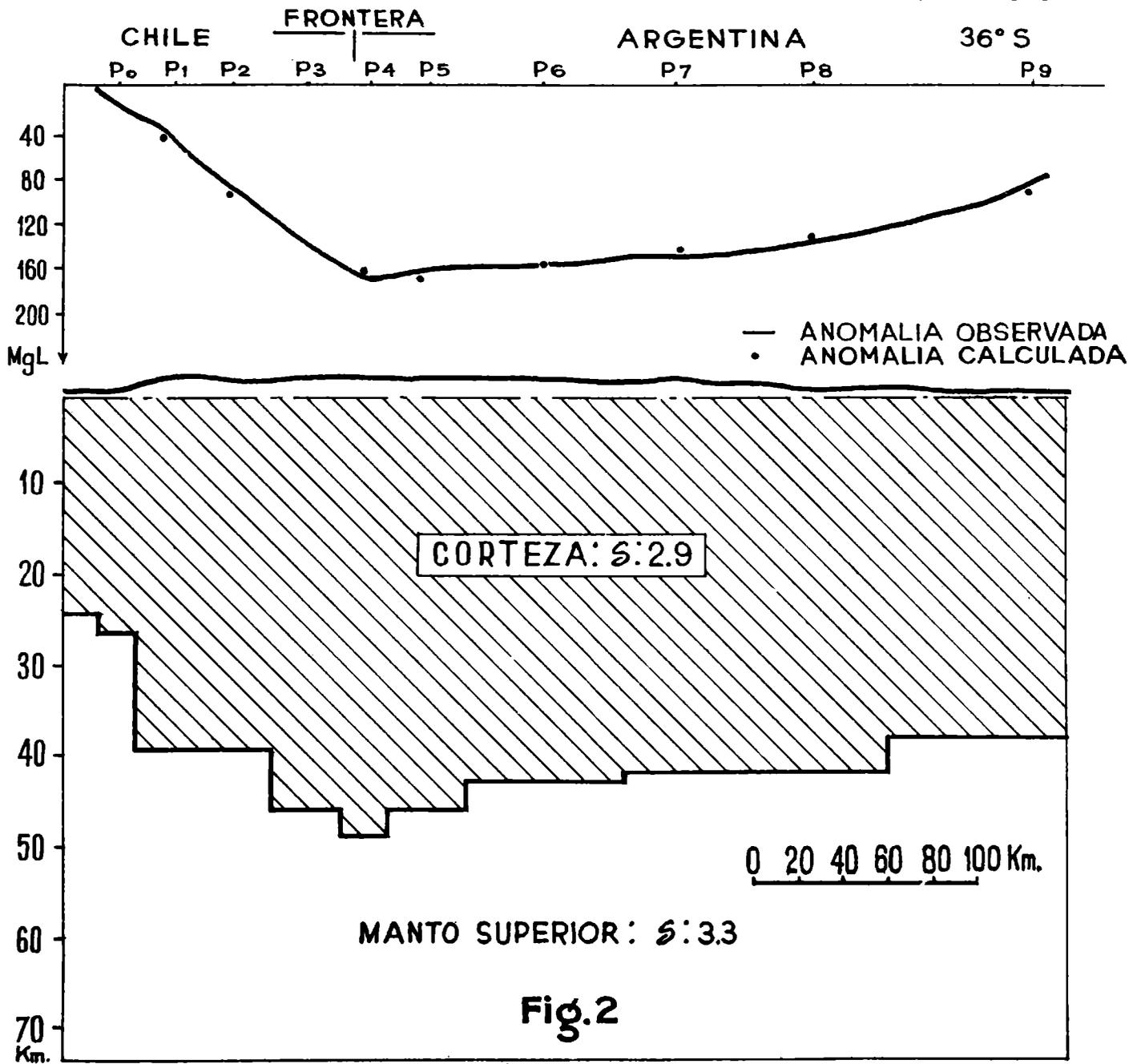
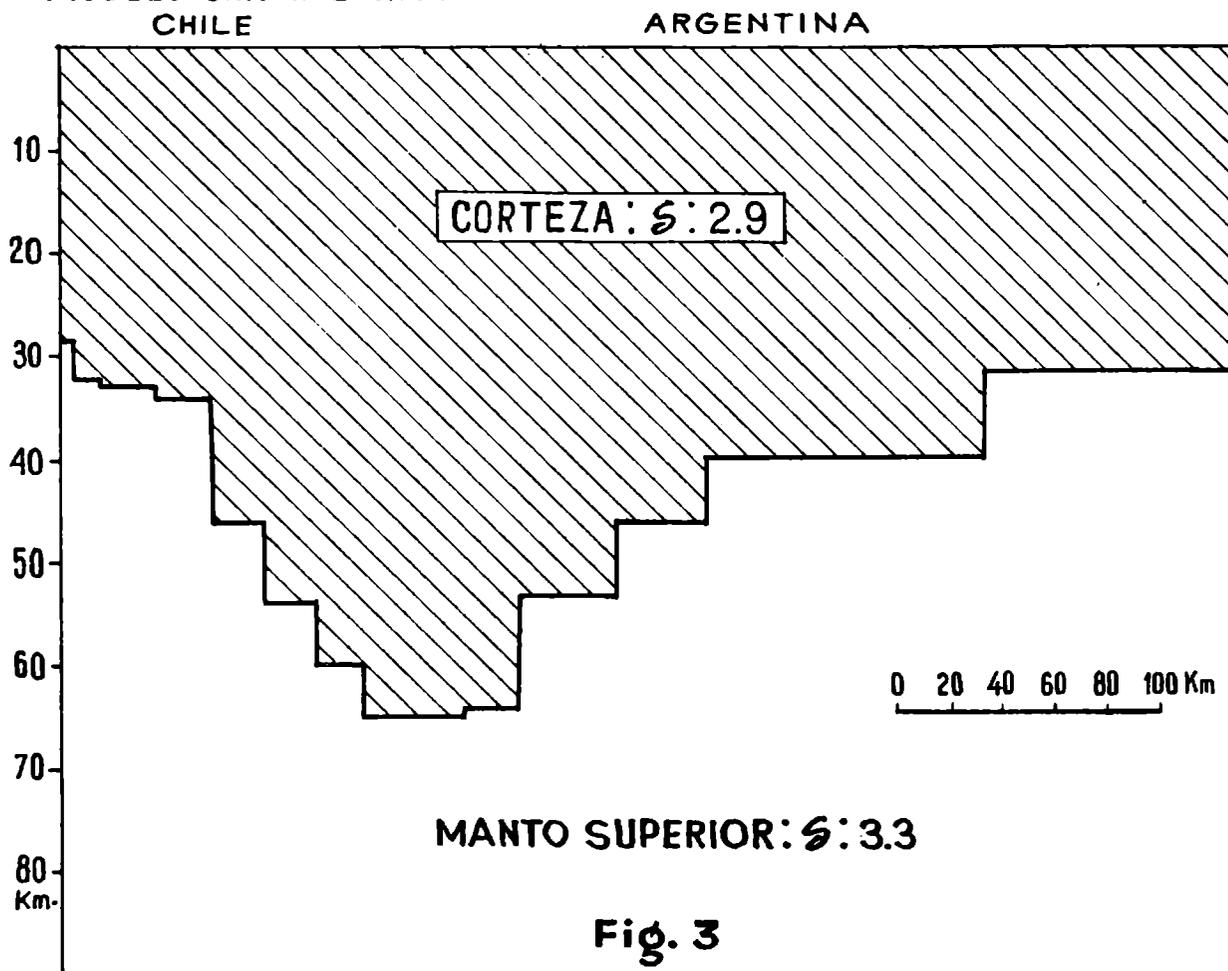


Fig.1

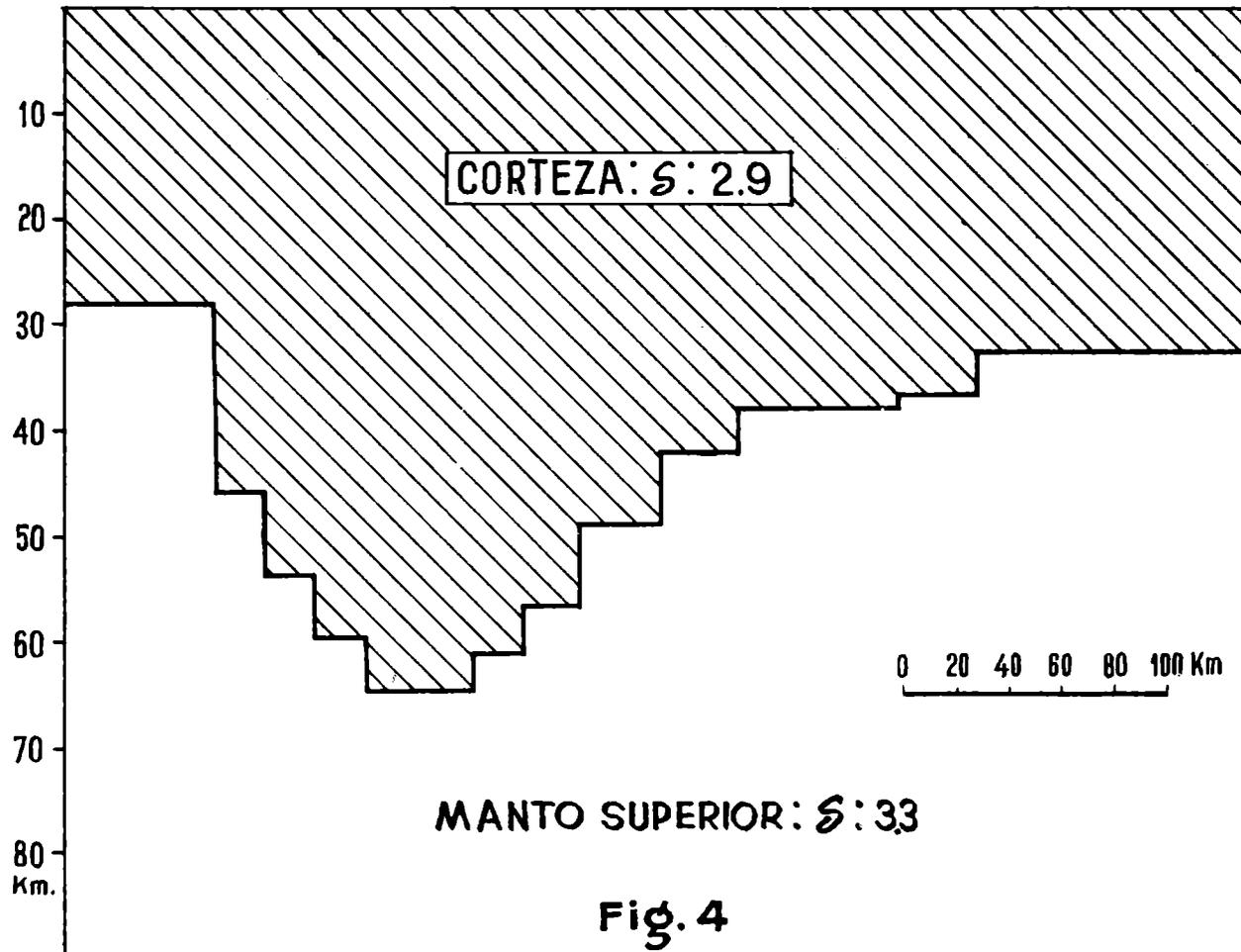
MODELO GRAVIMETRICO DE CORTEZA ANDINA EN EL PARALELO 36°S.



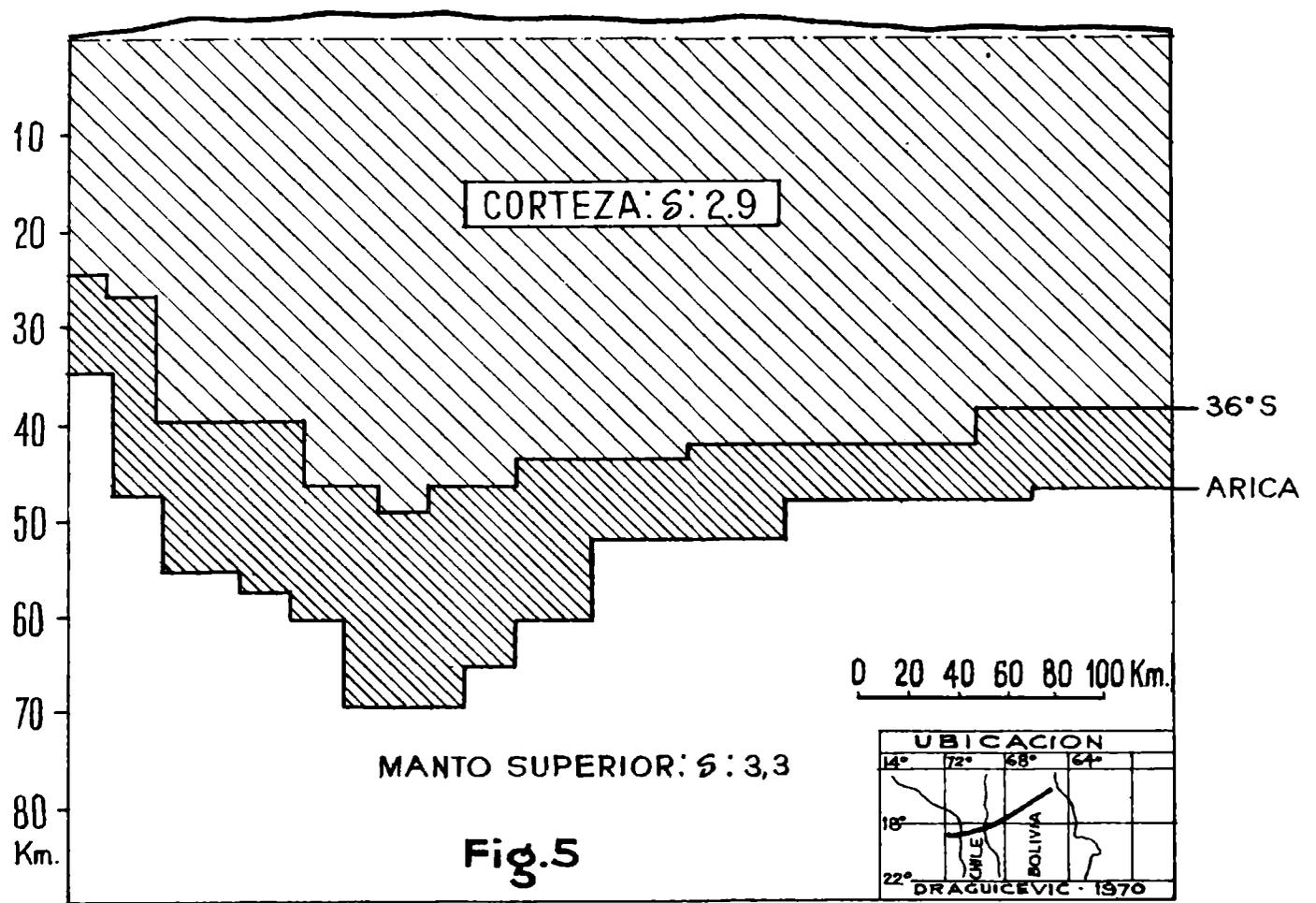
### MODELO GRAVIMETRICO DE CORTEZA ANDINA EN EL PARALELO 32°S.



### MODELO GRAVIMETRICO DE CORTEZA ANDINA EN EL PARALELO 33°S. CHILE | ARGENTINA



- MODELOS GRAVIMETRICOS -  
 CORTEZA ANDINA EN ARICA Y PARALELO 36°S  
 ( CENTRADA EN LOS MAXIMOS PARA SU COMPARACION )



## BIBLIOGRAFIA

- BAGLIETTO E., CERRATO A. 1968. *Contribuciones a la Geodesia aplicada*. U.N. B.A. Fac. de Ing. — Pág. 78-91.
- DRAGUICEVIC M. 1970. *Carta gravimétrica de los Andes meridionales e interpretación de las anomalías de Chile Central*. Universidad de Chile. Publicación Nº 93 (Fig. Nº 3)
- DRAGUICEVIC M., KAUSEL E., C. LOMMITZ, MEINHARDUS H. y SILVA L. 1961. *Levantamiento gravimétrico de Chile*. Universidad de Chile. Inst. de Geofísica y Sismología (Perfil Nº 4 pág. 227 y Figs. 1, 2, 3).
- JAMES D.E. 1971. *Andean Crustal and upper mantle structure*. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 76, n. 14, p.p. 3246-3271.
- LOMMITZ C. 1962. *On Andean Structure*. *Journal of Geophysical Research*. Vol 67, n. 7 p. 351-363.
- INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR ARG. 1970. *Actividades Gravimétricas (en el período septiembre 1965-septiembre 1970)*. Figs. 6 y 8.
- INTROCASO A. HUERTA E. 1972. *Perfil gravimétrico transcontinental sudamericano. 32°S — U.N.R. — Fac. de Cs. Exactas e Ingeniería, Rosario, Argentina*.
- INTROCASO A., HUERTA E. 1975. *Valuación de efectos gravimétricos y sus aplicaciones a la interpretación*. *Geoacta* Vol. 8, n. 1 págs. 75 a 98.
- WOOLLARD G.P. 1969. *Regional variations in gravity. The earth's crust and upper mantle* p.p. 320-341 Ed. P. Hart.



## RADIACION GAMA ATMOSFERICA DE ALTA ENERGIA, A BAJAS LATITUDES

I.N. AZCARATE, J.C. DURO\*, H.S. GHIELMETTI\*\* y V.J. MUGHERLI  
Instituto de Astronomía y Física del Espacio  
Buenos Aires, Argentina

Se describe un experimento que midió el espectro de la radiación gama atmosférica a gran altura, con instrumental transportado por un globo estratosférico. El sistema detector utiliza, como componente principal, un centelleador plástico de gran volumen. Usando su función respuesta, que se ha calculado por separado (Azcárate y otros, 1975), se deduce que el espectro de pérdidas de energía observado a  $5 \text{ g. cm}^{-2}$ , es justificado por un flujo isotrópico, dado por la ley  $0.34 E^{-1.1}$  fotones/cm<sup>2</sup>seg MeV. Esta expresión parece válida para rayos gama desde unos pocos MeV hasta, por lo menos, algunas decenas de MeV. El globo fue lanzado desde Paraná, Argentina, y su vuelo cubrió una región de baja latitud geomagnética.

**An experiment is described that measured the atmospheric gamma ray spectrum at balloon altitudes. The detector uses a large volume plastic scintillator as main component. By utilizing its response function, as computed separately (Azcárate et al, 1975), the observed energy losses distribution is accounted by an incident isotropic flux, at  $5 \text{ g. cm}^{-2}$  atmospheric depth, given by  $0.34 E^{-1.1}$  photons/cm<sup>2</sup>seg MeV. This expression appears valid for gamma rays from few MeV up, at least, some tens of MeV. The balloon was launched from Paraná, Argentina, and the measurement covers a region of low geomagnetic latitude.**

\* Falleció el 23 de octubre de 1973.

\*\* Comisión Nacional de Energía Atómica.

## INTRODUCCION

En su objetivo final, las observaciones de la radiación X y gama efectuadas con instrumental transportado por globos estratosféricos están relacionadas con la detección de esa radiación proveniente del Sol o de otras fuentes. Sin embargo, el estudio del fondo puramente atmosférico, originado por las interacciones de los rayos cósmicos con los núcleos de aire, es aún problema de interés (Peterson et al, 1973). No existen aún determinaciones que puedan considerarse definitivas del verdadero espectro de esa radiación fotónica de origen secundario, ya que esa deducción depende de un adecuado conocimiento de la función respuesta del detector empleado en la medición. Esta observación es obviamente válida también, para la deducción de los espectros de las fuentes extraterrestres.

Los detectores comunmente utilizados para la observación, en el rango de energía que comprende desde los rayos X duros hasta la radiación gama de algunas decenas de MeV, están contruídos por centelleadores inorgánicos, de NaI (TI) por ejemplo. Con estos detectores y por encima del MeV, la mayoría de los resultados presentados en la literatura son los espectros de pérdidas de energía directamente observados, que dependen fuertemente de su composición, forma y dimensiones, por lo que no son fácilmente comparables entre sí. Sólo recientemente se ha comenzado a utilizar el cálculo de Monte Carlo para deducir la función respuesta.

En el experimento que aquí se presenta se ha empleado, a diferencia de la mayoría de sus similares anteriores, un centelleador plástico, con el que, por sus dimensiones y la naturaleza de las interacciones que dan lugar a los eventos observados, es posible obtener con aproximaciones suficientemente cercanas a la realidad, el verdadero espectro incidente, sin recurrir al cálculo de Monte Carlo.

## EL SISTEMA DETECTOR

El conjunto detector utilizado fue ya descrito, en lo que hace a su diseño y ensayos de laboratorio, en la 7a. reunión de la AAGG en Bariloche (Azcárate y otros, 1973). Por ello sólo se repite aquí lo esencial de su constitución. En primer lugar, incluye un centelleador plástico de gran volumen ( $16 \times 16 \times 24 \text{ cm}^3$ ), acoplado, mediante una guía de luz, a un fototubo de 13 cm de diámetro. Este centelleador, que se denominará **central**, está rodeado por una caja de centelleador plástico, de aproximadamente  $20 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$  y 1 cm de pared, cuyo objeto es disminuir el contaje de fondo del central, eliminando electrónicamente los eventos generados por partículas cargadas que atraviesan simultáneamente ambos detectores. Los pulsos luminosos generados en este detector exterior, denominado "de veto" son captados por cuatro fototubos de 5.1 cm de diámetro.

Sin entrar en detalle sobre los circuitos electrónicos <sup>(1)</sup> se describe brevemente la información principal procesada y transmitida por el instrumental transportado en vuelo:

(1) Desarrollados en el Departamento Técnico del IAFE, bajo la dirección del Ing. A. M. Godel.

**a)** Se analiza la amplitud de los pulsos generados en el cristal central, con una energía equivalente  $T$  superior a 4.5 MeV (para electrones). Para ello se utiliza un convertidor de "amplitud a tiempo" que transforma los pulsos de entrada, de amplitud proporcional a la energía depositada en el cristal, en pulsos de amplitud constante y duración proporcional a la amplitud del pulso original. Estos pulsos, transmitidos por uno de los canales de subportadora, son grabados en cinta magnética, junto con el resto de la información. Posteriormente, el canal que contiene la información espectral es reproducido utilizando un circuito que reconvierte los pulsos de duración variable en los pulsos de amplitud variable que le dieron origen, los que son introducidos en un analizador multicanal. Se obtiene así, como es común en los trabajos de física nuclear, el espectro de pérdidas de energía detectado en distintas porciones del vuelo.

**b)** Del detector central se transmite también el conteo integrado ( $C_4$ ) equivalente a la suma de los pulsos dados en el canal anterior ( $T > 4,5$  MeV)

**c)** El cristal externo provee los pulsos de veto que inhiben el análisis espectral de las partículas cargadas. Su conteo es también transmitido ( $C_5$ ). Del sistema principal se transmitían en total 7 canales de información, utilizando un transmisor que operaba en 252 MHz.

La carga útil incluyó además otros sistemas auxiliares:

**d)** Un receptor de órdenes transmitidas por control remoto, destinadas a:

- 1) terminar el vuelo, separando la carga del globo, por intermedio de dispositivos explosivos;
- 2) controlar el desprendimiento parcial del lastre, constituido por unos 45 kg de municiones, cuando el globo disminuía sensiblemente la altura de flotación.

**e)** Un sistema de cápsulas aneroides de gran sensibilidad que daba la altura del globo, transmitiéndola en código mediante un segundo transmisor de 5 W, que servía al mismo tiempo como radio-baliza para permitir su ubicación por el avión de seguimiento y recuperación.

**f)** Un transmisor de radiosonda (1680 MHz, 300 mW), cuya emisión es recibida por una antena parabólica de seguimiento automático, proporciona los ángulos de elevación y azimut del globo.

El globo utilizado en esta oportunidad, de 85.000 m<sup>3</sup> de volumen y 290 kg de peso, transportó una carga total de 180 kg, de los cuales unos 50 kg correspondieron al detector principal.

El lanzamiento fue efectuado por el personal de la National Scientific Balloon Facility (NSBF), división del National Center for Atmospheric Research (NCAR) de los EE.UU., transitoriamente en Paraná, Pcia. de Entre Ríos, participando del denominado Operativo Galaxia/73 patrocinado por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE).

## RESULTADOS GENERALES

El vuelo fue efectuado el día 25 de noviembre de 1973. El globo, lanzado a las 06 30 alcanzó una profundidad atmosférica de 5 g. cm<sup>-2</sup> a las 08 02,

manteniéndose en flotación hasta la orden de terminación dada a las 15 07 hs. Durante todo este intervalo la recepción fue correcta, lo que permitió acumular información suficiente para deducir los espectros con buena estadística.

La Figura 1 muestra el contaje del centelleador externo ( $C_5$ ) durante el ascenso. Este llegó a unas 1700 cuentas/seg en el máximo de transición y alrededor de 650 c/seg en flotación. Comparando este contaje con el de los contadores Geiger-Müller utilizados en otros vuelos en regiones del país de latitud equivalente, se puede concluir que  $C_5$  se debe, en partes casi iguales, a partículas cargadas y rayos X de baja energía (mayor que algunas decenas de keV).

En la Figura 2 se representan en función del tiempo los contajes  $C_4$  y  $C_5$  junto con la profundidad atmosférica  $x$ , a lo largo de todo el vuelo. La constancia de ambos contajes durante las casi ocho horas de flotación indica que la electrónica no sufrió alteraciones importantes por efecto de las condiciones ambientales. Los cambios de contaje de corta duración se deben a fluctuaciones de altura, ya que ambos canales tienen un alto coeficiente de variación (casi 7 y 15% por cada  $\text{gr. cm}^{-2}$ , respectivamente), con la profundidad atmosférica.

El comportamiento correcto de  $C_4$  y  $C_5$  y de los otros canales no ejemplificados, indica que se puede utilizar con confianza la información del canal principal, esto es, el que proporciona el espectro de amplitud de los pulsos detectados por el centelleador central. El contaje  $C_4$ , de más de 40 cuentas/seg en altura de flotación, permitió obtener buenas muestras de ese espectro en intervalos de una hora de duración.

### RESPUESTA DEL DETECTOR CENTRAL

El sistema aquí descrito fue diseñado con el objetivo principal de observar la emisión, en algunas fulguraciones solares, de los neutrones rápidos que nacen en las interacciones nucleares que se producen en la atmósfera del Sol. (Lingenfelter et al, 1967; Lingenfelter, 1969; Švestka, 1971).

En el centelleador plástico, los neutrones rápidos son detectados principalmente por los protones de retroceso que producen al chocar con los átomos de hidrógeno. La radiación gama de alta energía es también detectada, aunque por medio de interacciones de naturaleza distinta. Por lo tanto, ambos tipos de radiación han de contribuir a los eventos producidos en el detector central. Sin embargo, es sabido por observaciones anteriores (Klumpar et al, 1973), hechas a otras latitudes, que el flujo de neutrones rápidos en la atmósfera terrestre es muy inferior al de la radiación gama en el mismo medio. Por ello, se puede aceptar que en el vuelo aquí considerado, durante el cual el Sol se mantuvo inactivo, la forma del espectro de pulsos observado está determinada exclusivamente por la radiación gama incidente, por lo que el estudio de sus interacciones en el detector permitirá interpretar la medición.

El centelleador central tiene como componente principal, casi en un 100% poliestireno, con el agregado de cantidades menores de sustancias fluorescentes, por lo que se puede considerar que está compuesto exclusivamente por átomos de hidrógeno y carbono con igual densidad numérica. Por ello, la radiación gama es detectada, casi exclusivamente, a través de sus interacciones Compton y de creación de pares. En ambos casos los electrones resultantes son los que generan

los centelleos luminosos que excitan al fototubo.

En un trabajo aparte (Azcarate y otros, 1975) se ha calculado bajo distintas aproximaciones la eficiencia y función respuesta del centelleador plástico, suponiéndolo en forma de placa plana, de espesor  $L$ .

En el cálculo de ambos parámetros se utilizan las secciones eficaces totales y diferenciales de los dos procesos mencionados para distintas energías del fotón incidente.

A pesar de que por la composición y baja densidad la eficiencia es comparativamente pequeña en relación con espesores iguales de un centelleador inorgánico, en nuestro caso, para las dimensiones principales del sistema, se logran valores considerables. En efecto, en la región intermedia del rango total de energía (5 – 100 MeV) alcanza valores entre un 20 y 30% y se mantiene superior al 1% hasta los 60 y 100 MeV para  $L = 16$  y 24 cm, respectivamente.

El conocimiento de la función respuesta es esencial para la interpretación final del experimento. Esta función liga el espectro observado —dado por ejemplo, en cuentas por unidad de energía depositada en el centelleador— con el espectro incidente, es decir, el número de fotones por unidad de energía del rayo gama. Llamando  $T$  a la energía cinética depositada, se ha calculado la contribución al contaje diferencial  $\frac{dN(T)}{dT} \cdot dT$  de todos los fotones con energía  $E \geq T$ , que al interactuar producen un electrón (o un par electrón-positrón) con energía cinética total entre  $T$  y  $T+dT$ .

En general, si  $J(E)$  es el espectro diferencial incidente y  $R(E,T)$  es la función respuesta, se tendrá

$$\frac{dN}{dT} = \int_{E=T}^{\infty} R(E,T) J(E) dE \quad (1)$$

Aceptando que  $J(E)$  es de la forma  $A E^{-\alpha}$  se pueden calcular los espectros resultantes para distintos valores del exponente  $\alpha$ . En forma genérica, el espectro calculado resulta

$$\begin{aligned} \frac{dN(T)}{dT} = & \int_{E_0}^{\infty} \frac{\frac{d\sigma_c(E,T)}{dT}}{\sigma_c(E)} \cdot \frac{\sigma_c(E)}{\sigma_t(E)} \cdot \left\{ 1 - e^{-n\sigma_t(E)[L-R(T)]} \right\} \cdot A E^{-\alpha} dE + \\ & + A(T + 1,02)^{-\alpha} \cdot \frac{\sigma_p(E)}{\sigma_t(E)} \left[ \left( \frac{2T_2}{T} - 1 \right) - \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T_2} e^{-n\sigma_t(E)[L-R(T')] } \cdot dT' \right] \end{aligned} \quad (2)$$

donde:  $E_0 = \frac{T}{2} (1 + \sqrt{1 + 1.02/T})$ ;  $T_2 = T$  si  $T \leq T^*$  ó  $T_2 = T^*$  si  $T > T^*$  para  $R(T^*) = L$ ,  $\frac{d\sigma_c}{dT}$  y  $\sigma_c$  son las secciones eficaces diferencial y total para las interacciones Compton,  $\sigma_p$  la sección eficaz para la creación

de pares y  $\sigma_t = \sigma_c + \sigma_p$ .

Ambos términos del segundo miembro representan la contribución al "canal"  $T, T + dT$  de las interacciones Compton y creación de pares, y tienen en cuenta la distribución diferencial de la energía de los electrones resultantes de ambos procesos (Heitler, 1954).

Aunque (2) aparece extensa es en realidad un cálculo simple, comparado por ejemplo, con el cálculo estadístico requerido para centelleadores inorgánicos (Martin, 1974). Esta simplificación es posible, en el caso de los centelleadores plásticos, pues la longitud de interacción de los fotones de alta energía es considerablemente mayor que las dimensiones del sistema y por lo tanto es válida la suposición de considerar que el pulso detectado resulta de una única interacción. En los centelleadores inorgánicos, en cambio, predominan las interacciones múltiples, lo que hace necesaria la simulación de los procesos físicos por el método de Monte Carlo.

Los resultados de los cálculos se dan en la Figura 3, tomada de Azcárate y otros (1975), para  $A = 1$  y  $\alpha$  comprendido entre 1.0 y 2.0. Se ve que en todos los casos, el primer tramo del espectro calculado es también de forma potencial  $T^{-\beta}$  con  $\beta = \beta(\alpha)$ . Por lo tanto, si  $\beta$  se obtiene de un espectro medido con buena resolución, es posible determinar el exponente del verdadero espectro incidente.

### ESPECTRO OBSERVADO

En la figura 4, se dan dos muestras de los espectros observados a dos alturas diferentes. El primero ha sido tomado alrededor del máximo de Pfozter ( $x \approx 100 \text{ g cm}^{-2}$ ) sobre 30 minutos, y el segundo, durante algo más de una hora a unos  $5 \text{ g cm}^{-2}$ , al comienzo de la flotación. Estos espectros, reproducidos con un ancho de canal de  $1 \text{ MeV/canal}$ , tienen la forma general predicha por los cálculos de la respuesta. Además se puede concluir que la forma del espectro observado no varía sensiblemente desde por lo menos una profundidad de  $250 \text{ g cm}^{-2}$  hasta cerca del tope. El valor de  $\beta$ , comprendido entre 1,8 y 1,9 lleva a un  $\alpha$  para el espectro incidente igual a  $1,1 \pm 0,1$ . Suponiendo que el flujo es isotrópico, y teniendo en cuenta el área proyectada media del detector central ( $512 \text{ cm}^2$ ), resulta finalmente para el espectro de la radiación  $\gamma$  atmosférica en regiones de baja latitud geomagnética y a una profundidad de  $5 \text{ g cm}^{-2}$   $J(E) = 0.34 E^{-1,1} \text{ fot cm}^{-2} \text{ seg}^{-1} \text{ MeV}^{-1}$ .

Esta determinación está en muy buen acuerdo con una medida efectuada a una latitud similar (Martin, 1974), en la que se utiliza un centelleador de NaI (TI) de aproximadamente  $10 \text{ cm}$  de diámetro y  $10 \text{ cm}$  de altura. Este tipo de detector, como se ha mencionado, exige un cálculo de su respuesta por caminos totalmente distintos al utilizado en este trabajo. El espectro deducido por Martin, en el rango  $8-18 \text{ MeV}$  es  $0,3 E^{-1,0} \text{ fot cm}^{-2} \text{ seg}^{-1} \text{ MeV}^{-1}$ .

El vuelo aquí descrito ha proporcionado otros resultados de interés que por falta de tiempo no se consideran en esta comunicación. Se mencionará, sí, que el comportamiento observado en la curva de crecimiento de la intensidad de la radiación  $\gamma$  en función de la profundidad atmosférica apoya la hipótesis de que su origen es puramente atmosférico. Esto implica que la componente difusa de

origen extraterrestre no es detectable, en el rango de energías aquí consideradas, frente al fondo ambiente a altura de globos estratosféricos.

En conclusión, se destaca que en esta comunicación se ha puesto énfasis especialmente en mostrar la utilidad de los centelleadores plásticos de grandes dimensiones para la medición de la intensidad y forma espectral de la radiación gama de alta energía. El buen acuerdo entre el espectro calculado y observado, indica la validez de la hipótesis principal empleada en la estimación de la función respuesta.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos sinceramente a la CNIE su invitación a participar en el Operativo Galaxia/73 y su apoyo durante la Campaña; y a las autoridades y personal de la 2a. Brigada Aérea de Paraná, por su hospitalidad durante la Campaña de Lanzamiento.

Por la provisión del globo y su lanzamiento, al personal de la NSBF participante en el Operativo. Su habilidad y experiencia permitió un vuelo exitoso y la recuperación en excelente estado de la carga útil.

Numeroso personal técnico del IAFE participó en distintas etapas de este experimento. En el Ing. A. M. Godel, responsable de la electrónica de detección y telemetría, agradecemos la cooperación de todos.

Julio C. Duro, fallecido el 23 de octubre de 1973, ha sido incluido entre los autores por su contribución principal en el desarrollo y ensayos del detector.

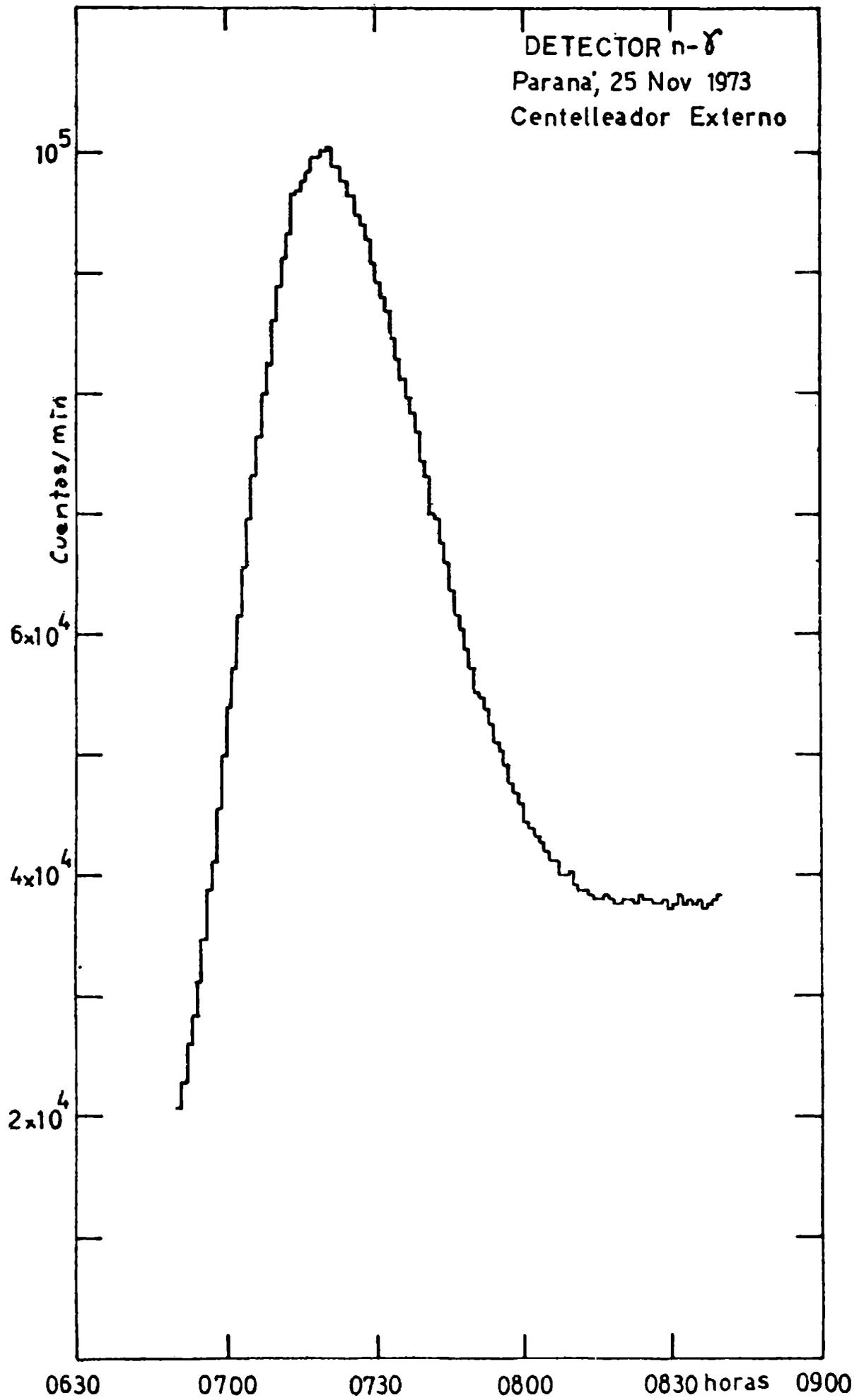


Figura 1 — Contaje del centelleador externo (C<sub>5</sub>) durante el ascenso.

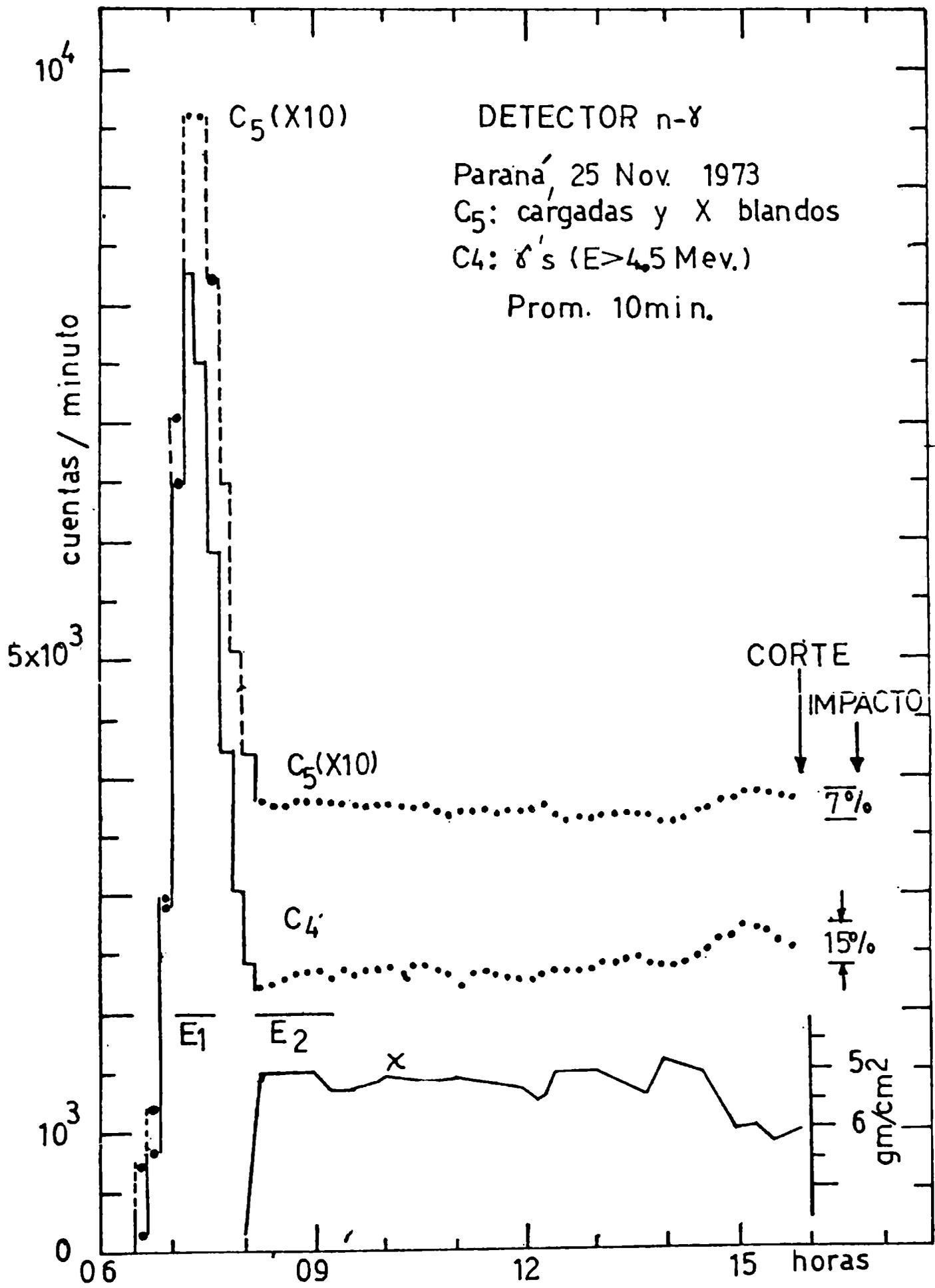


Figura 2 — Contajes de C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub> y profundidad atmosférica x en función del tiempo, a lo largo de todo el vuelo.

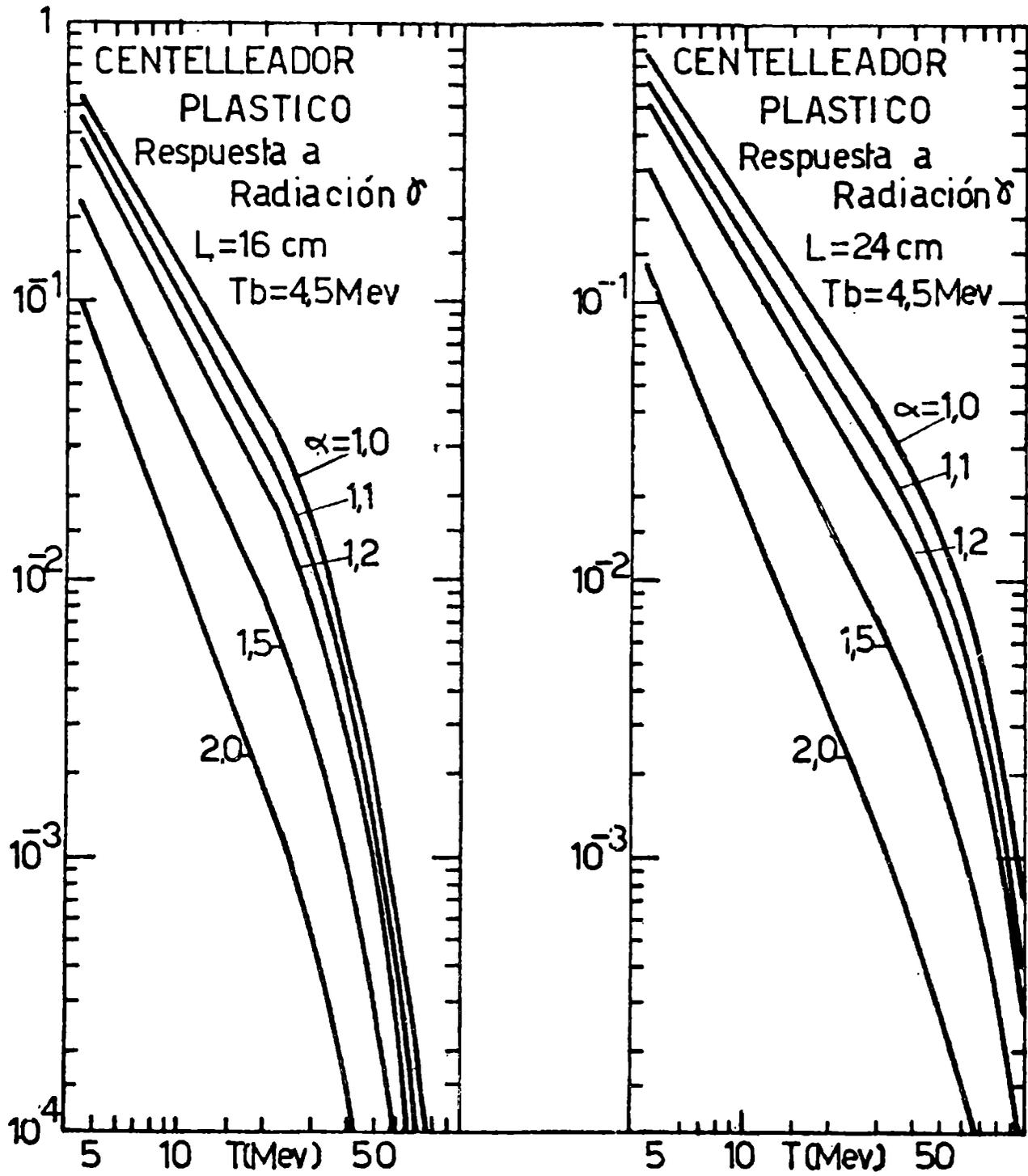


Figura 3 — Resultados del cálculo de la función respuesta  $\frac{dN}{dT} \cdot \left(\frac{\text{cuentas}}{\text{MeV}}\right)$ , utilizando  $A = 1$  y distintos valores de  $\alpha$ .

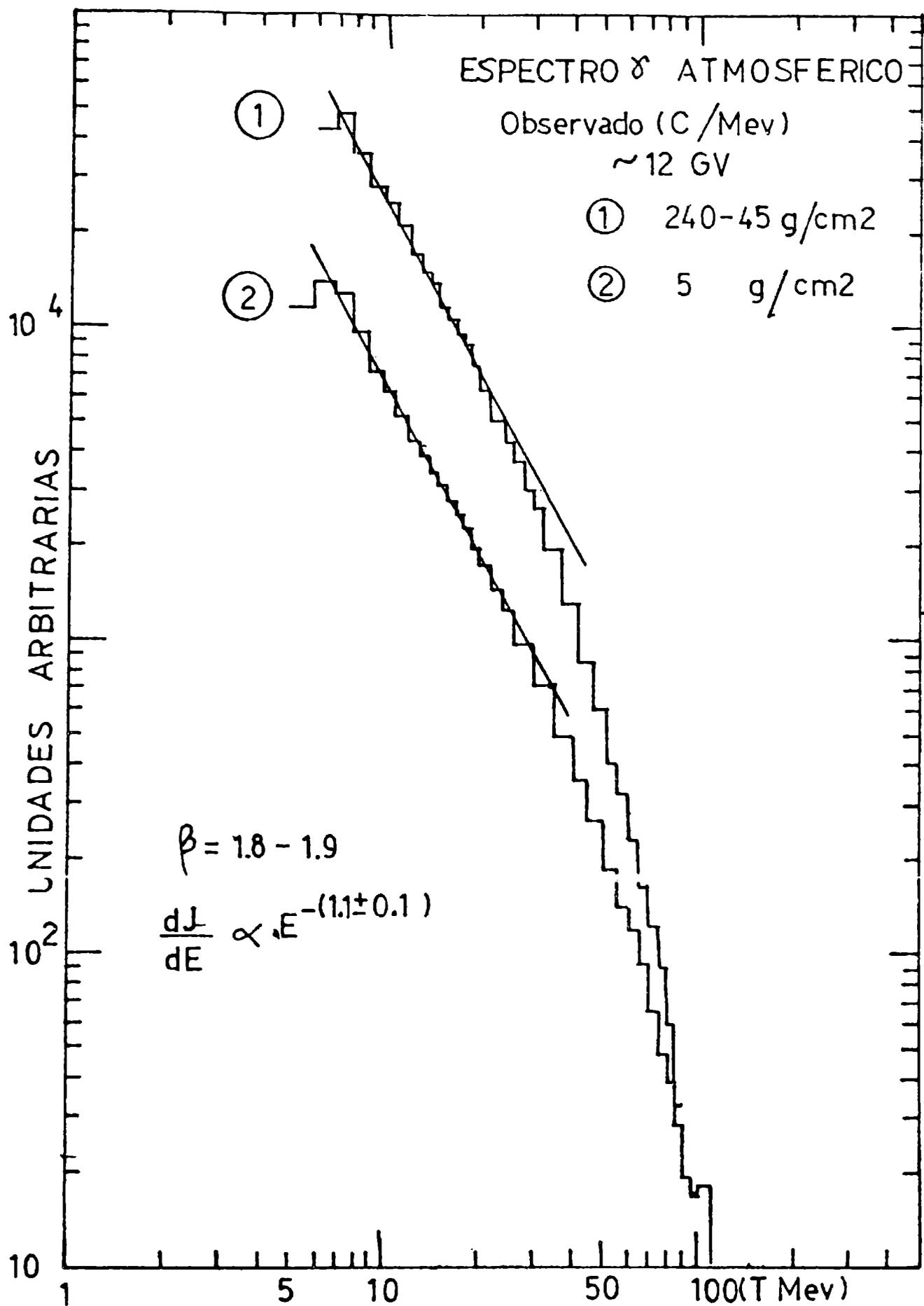


Figura 4: Espectros observados a dos alturas diferentes, tomados sobre los períodos  $E_1$  y  $E_2$  en la figura 2.

## BIBLIOGRAFIA

- AZCARATE, I.N., GHIELMETTI, H.S., MUGHERLI, V.J. 1975. *Eficiencia y Respuesta de un Centelleador Plástico*, IAFE, PI-1-75.
- AZCARATE, I.N., DURO, J.C., GHIELMETTI, H.S. 1973. *Optimización de un Detector de Neutrones Rápidos de Gran Volumen. Presentado en la 7a. Reunión de la AAGG, San Carlos de Bariloche, abril 16-19.*
- HEITLER, W. 1954. *The Quantum Theory of Radiation*, At the Clarendon Press, Oxford, 3a. Ed.
- KLUMPAR, D.M., LOCKWOOD, J.A., St. ONGE, E.N., FRILING, L.A. 1973. *Energy Spectrum and Flux of 3- to 20- MeV Neutrons and 1- to 40- MeV Gamma Rays in the Atmosphere*, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 78, n. 34, p. 7959-7967.
- LINGELFELTER, R.E., RAMATY, R. 1967. *High Energy Nuclear Reactions in Solar Flares; High Energy Nuclear Reactions in Astrophysics* (ed: B.S.P. Shen) W.A. Benjamin Press, New York, p. 99.
- LINGELFELTER, R.E., 1969. *Solar Flare Optical, Neutron and Gamma Ray Emission*, *Solar Physics*, Vol. 8, p. 341-347.
- MARTIN – MALMONGE, I. 1974. *Determination des Flux de Photons Gamma de Base Energie dans l'Atmosphere; These présentée a l'Université Paul Sabatier de Toulouse (Sciences).*
- PETERSON, L.E., SCHWARTZ, D.A., LING, I.C. 1973. *Spectrum of Atmospheric Gamma Rays to 10 MeV at  $\lambda = 40^\circ$*  *Journal of Geophysical Research*, Vol. 78, n. 34, p. 7942-7958.
- ŠVESTKA, Z. 1971. *On the Flux of Neutrons from Solar Flares; Solar Physics*, Vol. 19, p. 202-206.

## TRANSMISION DE UN COLIMADOR DE PLOMO PARA RADIACION GAMA DE ALTA ENERGIA

VICENTE J. MUGHERLI, ISMAEL N. AZCARATE  
y HORACIO S. GHIELMETTI\*

Instituto de Astronomía y Física del Espacio  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
Comisión Nacional de Estudios Geoheliofísicos  
Universidad de Buenos Aires

Aplicando el método de Monte Carlo se estudian las características de la radiación transmitida por un colimador de plomo de 3 cm de espesor irradiado por rayos gama en el rango de energía 1-100 MeV. El método proporciona el espectro continuo y la intensidad de la línea de 511 keV emergente del plomo como resultado de las interacciones electromagnéticas múltiples que ocurren en su seno.

Se discute también el fondo producido por el decaimiento de los productos radioactivos generados en el plomo por las interacciones nucleares de los rayos cósmicos de alta energía y la captura de neutrones.

En conjunto los resultados indican: 1) se genera un pico, relativamente intenso, en 511 keV debido al aniquilamiento de los positrones, 2) la contribución debida a las interacciones nucleares y captura de neutrones afecta al espectro solamente debajo de los 2 MeV, y 3) la componente continua originada por las interacciones Compton decae rápidamente con la energía del fotón primario incidente. Sin embargo, esta producción adicional no disminuye apreciablemente la sensibilidad del detector comparada con la esperada de un colimador ideal.

Este análisis se efectúa para evaluar la contribución instrumental al espectro de los rayos gama atmosféricos medido con un detector de NaI (TI) colimado. Los resultados se confirman con una muestra del espectro observado a unos 36 km de altura en un vuelo con globo estratosférico.

**The Monte Carlo method is applied to study the energy distribution of the radiation transmitted by a lead collimator, 3 cm thick, irradiated by high energy gamma rays in the 1-100 MeV range. The computation gives the continuous spectrum and the 511 keV line intensity emerging from the lead wall as the result of the electromagnetic interactions occurring inside it.**

**We also discuss the background resulting from the decay of the radioactive nuclei generated by the nuclear interactions (spallation) of cosmic rays, and neutron capture in lead.**

**The overall results show, 1) a relatively intense peak appears at 511 keV due to positron annihilation, 2) spallation and neutron capture products affect the spectrum only below 2 MeV, and 3) the average differential contribution due to Compton interactions decays rapidly with primary photon energy. The total additional production, however, does not reduce greatly the detector sensitivity compared with that expected of an ideally "clean" collimator.**

**This analysis is made to evaluate the instrumental background influence on the spectrum of the atmospheric gamma rays measured with a collimated NaI (TI) crystal. The results agree with a sample spectrum observed at about 36 km in a balloon flight.**

\* Comisión Nacional de Energía Atómica.

## INTRODUCCION

Las observaciones de la intensidad y espectro de la radiación X y gama de fuentes astronómicas discretas o extensas, exigen la utilización de detectores de alta sensibilidad. En particular, en las mediciones que se efectúan dentro de la atmósfera, y aún cerca de su tope cuando el instrumento es transportado por un globo estratosférico, el fondo atmosférico es considerable y limita la sensibilidad con que se puede realizar la observación. Una colimación adecuada, al disminuir la abertura de aceptación del sistema detector reduce sin duda el fondo ambiental, pero a su vez puede, en principio, anular su efectividad, pues estando sometido al bombardeo de las distintas componentes de la radiación cósmica secundaria, es una fuente de radiación X y gama dentro del rango de energía de interés. Es lo que constituye el denominado fondo instrumental.

## SISTEMA DE DETECTOR

En el Instituto se diseñó y construyó un detector destinado a la observación espectral de radiación gama de origen solar para energías entre aproximadamente 0,5 y 10 MeV.

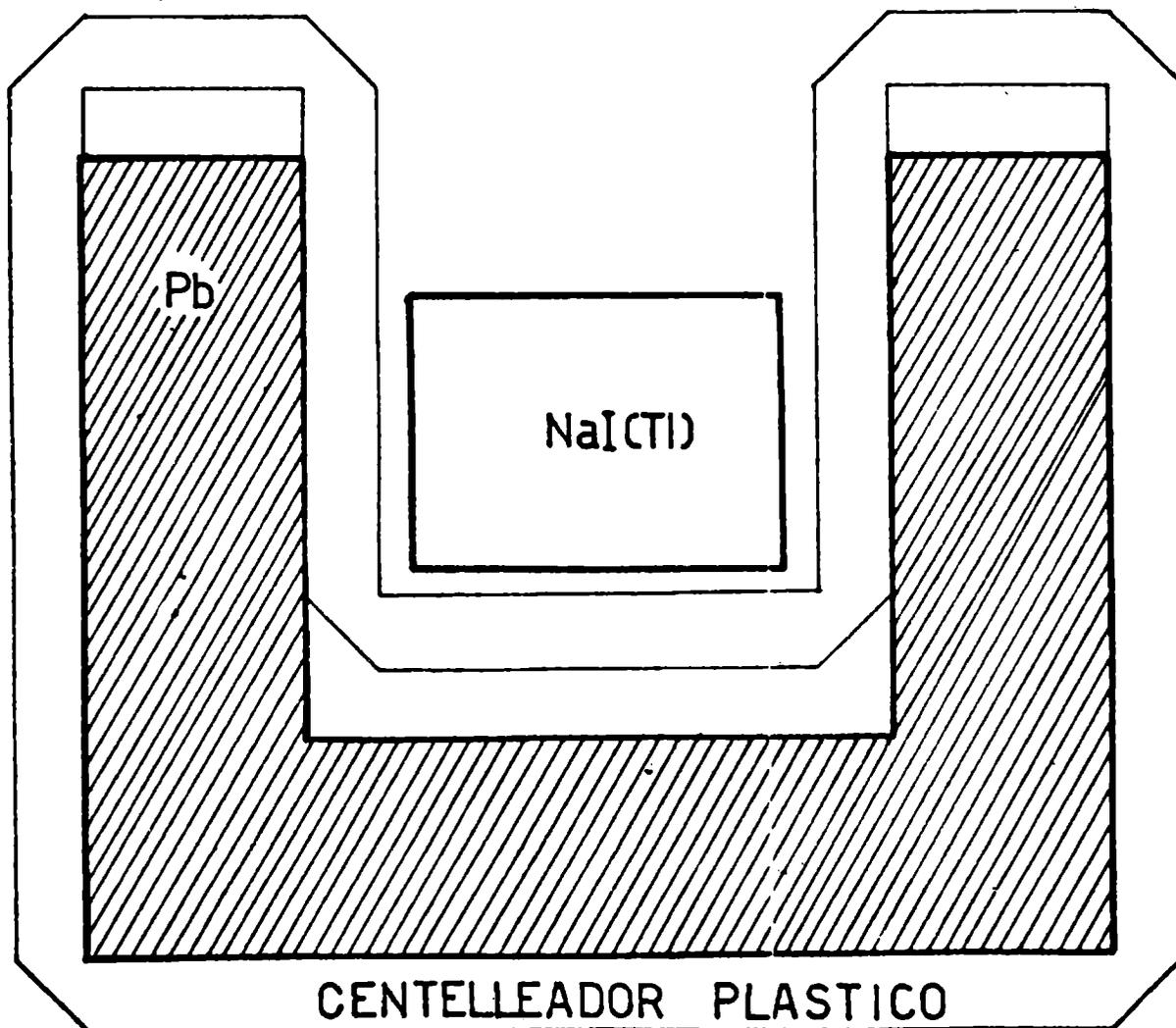


Figura 1: Esquema del detector. Consta de un centelleador central NaI(Tl), un centelleador plástico para vetar partículas cargadas y un colimador de plomo para reducir el fondo atmosférico. Se han omitido los dos fotomultiplicadores.

El detector principal es un centelleador de NaI (TI) de 5,1 cm. de diámetro y 3,8 cm. de altura, rodeado parcialmente por un colimador de plomo de 3 cm de pared. Además, para eliminar del análisis espectral los eventos producidos por la incidencia sobre el sistema de partículas cargadas, el detector principal está rodeado por un centelleador plástico que encierra totalmente al colimador, y cuyos pulsos de salida son puestos en anticoincidencia con los del cristal principal (Figura 1).

El espesor del plomo atenúa casi totalmente la radiación gama de hasta algunos centenares de keV, siendo su máxima transmisión directa, entre 3 y 4 MeV, del 25 % para incidencia normal.

En lo que sigue se hace estimación de las características espectrales de la radiación generada en el colimador y que emerge por su cara interior. De esta radiación, una parte incidirá sobre el centelleador central agregándose, y por lo tanto deformando, al espectro de la radiación gama externa incidente por la abertura del colimador. Aunque algunas de las estimaciones han sido puramente cualitativas, permiten conocer la región afectada del espectro. La observación directa en un experimento, al que se hará referencia muy brevemente, proporciona la magnitud de ese efecto.

## **RADIACION CREADA EN EL PLOMO**

### **Interacciones de la Radiación Incidente**

En su ascenso a través de la atmósfera y durante el tiempo de flotación, sobre el colimador inciden rayos X, gama, partículas cargadas y neutras, componentes de la radiación cósmica secundaria.

De la radiación gama incidente de energía  $E$ , la fracción  $e^{-\mu(E)x}$  atraviesa el plomo sin interactuar. Esa fracción, que determina la transmisión directa del colimador, depende de su coeficiente de atenuación total  $\mu(E)$  y del espesor  $x$  atravesado en la dirección de incidencia. Los fotones que interactúan lo hacen por efecto fotoeléctrico, Compton o creación de pares.

Los protones y neutrones de altas energías pueden producir interacciones nucleares, dando lugar a la formación de isótopos radioactivos (Dyer y Morfill, 1971) los cuales al decaer emiten radiación gama monocromática, electrones positivos y negativos y partículas alfa. Si bien cuando la interacción es provocada por un protón, el centelleador plástico elimina del análisis ese evento, la emisión a la que se hace referencia nace con posteridad, ya que se produce con el tiempo de decaimiento característico del isótopo, y por lo tanto no es eliminada.

Por último, los neutrones térmicos incidentes sobre el colimador, al ser capturados por los distintos isótopos del plomo, pueden producir la emisión de rayos gama y electrones, que también se agregan al fondo instrumental.

Se analizarán sucesivamente los tres casos mencionados. No se ha tenido en cuenta, sin embargo, la emisión continua por frenado de los electrones que se producen en el colimador, considerando que su contribución se reducirá esencialmente a la región de más baja energía.

### Interacciones de la Radiación Gama

Debido al gran espesor del colimador empleado, los fotones emergentes por su cara interior, salvo los que se transmiten directamente, serán el resultado de una sucesión de interacciones y por lo tanto tendrán energías inferiores a la de los fotones incidentes que les dieron origen.

En una interacción fotoeléctrica el fotón desaparece del haz. En las interacciones Compton, las energías de los fotones resultantes tienen una distribución continua dada por la ley de Klein-Nishina (Heitler, 1954), mientras que en la creación de pares, la aniquilación del positrón genera dos fotones de 511 keV. Cada uno de los fotones resultantes de una interacción puede a su vez volver a interactuar y así sucesivamente. Esto hace prácticamente imposible realizar un tratamiento analítico del problema y obliga a recurrir al cálculo estadístico. Por ello, para atacar este aspecto parcial de nuestro problema, se ha recurrido al método de Monte Carlo, utilizado con éxito en situaciones similares (Alder y otros, 1963; Stanton, 1971; Martin y otros, 1971).

En este tipo de cálculo, lo que se hace fundamentalmente es muestrear las funciones distribución (normalizadas) que en forma probabilística describen los distintos procesos físicos que intervienen en el evento, mediante la elección al azar de números distribuidos uniformemente entre 0 y 1.

Los procedimientos por medio de los cuales ésto es logrado, se basan en los principios generales que fundamentan el cálculo (Cashwell y Everett, 1959). En el caso en consideración se aplica el método para decidir: **a)** dirección del fotón incidente; **b)** distancia que recorre hasta producir una interacción; **c)** tipo de interacción que produce y **d)** energía y dirección del fotón resultante.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo simplificado del cálculo de Monte Carlo, realizado para el caso particular de radiación monocromática con dirección de incidencia fija.

Se dan como datos: una tabla con los valores de las secciones eficaces  $\sigma_f(E)$ ,  $\sigma_c(E)$  y  $\sigma_p(E)$  para cada una de las posibles interacciones; forma, dimensiones y densidad del colimador; energía  $E_i$ , dirección  $C^\circ(I)$  y punto de incidencia  $X^\circ(I)$  del fotón incidente y el número de historias  $N$  que se va a analizar.

Durante el cálculo se eligen números aleatorios  $R$  entre 0 y 1, los cuales relacionados adecuadamente con las funciones de distribución correspondientes permiten determinar: con  $R_D$  la distancia  $D$  a la próxima interacción y con  $D$  su posición  $X(I)$ ; con  $R_\sigma$  el tipo de interacción que se producen en  $X(I)$ ; con  $R_E$  la energía  $E$  del fotón resultante y con  $R_\theta$  y  $R_\varphi$  los ángulos  $\theta$  y  $\varphi$  que permiten fijar su dirección.

El juego de llaves  $S1$  y  $S2$  permite determinar si al reiniciar un ciclo (punto A) se toma una historia nueva ( $S1=0$ ;  $S2=0$ ), si sigue analizando el fotón producido en una interacción Compton o uno de los fotones resultantes en la creación de pares ( $S1=1$ ) o si sigue analizando el segundo de esos fotones ( $S1=0$ ;  $S2=1$ ).

El programa utilizado para el cálculo fue preparado para entregar el espectro de los fotones emergentes por la cara interna del colimador en canales de ancho  $\Delta E = 10$  keV, para  $E_i \leq 10$  MeV y de ancho  $\Delta E = 100$  keV para  $E_i$  mayores. Además el número total de interacciones Compton, fotoeléctricas y

creaciones de pares, el número de fotones reemergentes por la cara externa (reflejados) y otros resultados secundarios.

Se estudiaron, mediante este método, tres casos de complejidad creciente: a) Lámina plana infinita de 3 cm. de espesor. Radiación incidente monocromática. Dirección de incidencia normal; b) Cilindro hueco infinito con pared de 3 cm. Radiación incidente monocromática. Dirección de incidencia normal al eje del cilindro; y c) Cilindro hueco infinito con pared de 3 cm. Radiación incidente monocromática. Dirección de incidencia elegida al azar siguiendo una distribución isotrópica.

En los tres casos se analizaron ocho valores distintos de energía de la radiación incidente, tomados entre 1,25 y 95 MeV y para cada una de ellas se consideraron 20.000 historias.

Los resultados obtenidos para el caso c), que es el que más se aproxima a las condiciones reales de las observaciones, se resumen en la Tabla 1. De ella se hace evidente entre otras cosas, que el número promedio de interacciones que realiza cada fotón incidente es aproximadamente tres y que, de la gran cantidad de fotones de 511 keV que se producen debido a creaciones de pares, sólo una pequeña fracción logra emerger por la cara interna del colimador.

En la Figura 3, se muestran dos ejemplos de los espectros emergentes de la cara interna para los casos a) y c) para fotones incidentes con energías de 3,5 y 10 MeV. Se observa que además de la producción de un fondo continuo debido a los productos de las interacciones Compton, aparece un pico en  $E = 511$  keV y naturalmente otro en  $E = E_i$  debido a la transmisión directa.

### **Función producción.**

Con los resultados del cálculo anterior, se puede estimar la contribución al conteo del detector principal debido al fondo instrumental generado en el colimador. Para ello se define una función  $P(E_i, E) \frac{\text{fot./cm}^2 \text{ keV}}{\text{fot. incid./cm}^2}$  llamada comúnmente función producción, que da el número de fotones con energía  $E$  por  $\text{cm}^2$  y keV que emergen de la superficie interior debido a cada fotón de energía  $E_i$  incidente por  $\text{cm}^2$  de superficie exterior. Esta función se relaciona simplemente con los valores del cálculo mediante:

$$P(E_i, E) = \frac{A_e}{A_i} \cdot \frac{n(E_i, E)}{N(E_i)} \quad (1)$$

donde  $A_e$  y  $A_i$  son el área externa e interna del colimador, respectivamente,  $n(E_i, E)$  en (fot./keV) es el número de fotones de energía  $E$  por unidad de energía, que emergen debido a la incidencia de  $N(E_i)$  fotones de energía  $E_i$ ;  $N(E_i)$  es el número de historias seguidas en la simulación.

De la misma manera, la función producción para la línea de 511 keV viene dada por

$$P(E_i, 511) = \frac{A_e}{A_i} \cdot \frac{n(E_i, 511)}{N(E_i)} \cdot \frac{\text{fot./cm}^2}{\text{fot. incid./cm}^2} \quad (2)$$

En la Figura 4 se muestra la relación  $n/N$  en función de  $E_i$ , para: 1) la producción de la línea de 511 keV, y 2) el fondo continuo. En este último caso se ha representado el valor medio de la producción de fotones por unidad de energía  $[(1/E_i) \cdot (\sum_E n(E_i, E) \cdot \Delta E / N(E_i))]$ . Se observa que, mientras la producción de fotones de 511 keV es aproximadamente constante para  $E_i \geq 3$  MeV, la contribución media al fondo continuo cae rápidamente con  $E_i$  creciente.

Con la función producción se puede calcular la relación entre el número de fotones que inciden sobre el detector a través de la abertura del colimador y los del fondo creados en él. Esta relación debe ser superior a la unidad para afirmar que el fondo instrumental debido a la presencia del colimador no afecta mayormente la sensibilidad del detector. El cálculo exacto para la configuración del detector considerado es extenso e innecesario para el objetivo presente. Estimaciones efectuadas para un colimador de geometría esférica asimilable al real, muestran que esa relación es cercana a 10 alrededor de  $E = 1$  MeV y mucho mayor para energías superiores, cuando se considera un espectro incidente proporcional a  $E_i^{-1.1}$ . La relación de contajes para la línea de 511 keV resulta algo mayor que la unidad.

### Interacción de Protones y Neutrones Energéticos

El detector flotando en la atmósfera es bombardeado por protones primarios con energías, a baja latitud, superiores a los 10 GeV y nucleones secundarios de por lo menos algunos centenares de MeV. El cálculo de la producción en el plomo por este efecto, combina el espectro incidente con la sección eficaz de producción de cada isótopo radioactivo. En lo que sigue, no se ha pretendido obtener valores cuantitativos, sino analizar cualitativamente los distintos isótopos que pueden generarse en el plomo bombardeado por los rayos cósmicos y los productos de su decaimiento. Entre éstos, interesa la emisión de radiación gamma y los positrones que al aniquilarse contribuyen al pico de 511 keV.

El alto número de masa del plomo hace posible la generación de una larga serie de productos de número de masa menor. La sección eficaz de producción de cada uno de ellos se puede calcular con razonable aproximación con la fórmula dada por Rudstam (1966) que, escrita en forma simplificada, resulta:

$$\sigma(A, Z) = f_1(A_t) \cdot f_2(E) \cdot \frac{P \cdot e^{-P(A_t - A)}}{1 - 0,3(P \cdot A_t)} \cdot e^{-R \cdot |Z - Z_p|^{3/2}} \quad (3)$$

donde  $A_t$  es el número de masa del núcleo blanco,  $E$  la energía de la partícula incidente y  $A$  y  $Z$  el número de masa y el número atómico del núcleo producto respectivamente. Tanto el parámetro  $P$ , que depende del rango de energía considerado como las funciones  $f_1$  y  $f_2$ , son conocidos, lo mismo que el parámetro  $R$  que varía lentamente con  $A$ . Además  $Z_p = SA - TA^2$  es el número atómico más probable de los productos con un mismo valor de  $A$ , siendo  $T$  y  $S$  parámetros constantes.

La expresión (3) muestra por una parte que, la sección eficaz de produc-

ción decae exponencialmente a medida que  $A$  se aparta de  $A_t$  y por otra parte que, para un producto de  $A$  dado, decae exponencialmente a medida que  $Z$  se aparta de  $Z_p$ .

De la Tabla de Isótopos (Lederer y otros, 1967), se han extraído los productos radioactivos, calculando con (3) sus secciones eficaces relativas a la del  $Po^{207}$  que es de aproximadamente 3200 mb.

En la Tabla 2 se dan los isótopos más importantes ordenados según sus secciones eficaces relativas decrecientes y con la condición adicional de que su vida media sea inferior a 9 hs. En las dos columnas de la derecha figuran las emisiones  $\gamma$  y  $\beta^+$ . De la primera de ellas se deduce que salvo casos aislados, la energía de los rayos gama se mantiene por debajo de 1 MeV.

### Interacción de Neutrones Térmicos

La captura radioactiva de neutrones térmicos por los núcleos de plomo (Siegbahn, 1968), da como resultado preponderante la emisión de fotones monoenergéticos. En la Tabla 3 se muestran para cada uno de los isótopos que componen el plomo natural, la sección eficaz de captura, la vida media de los productos y las radiaciones emitidas en su decaimiento (Lederer y otros, 1967). Del análisis de estos valores, es evidente que en principio, sólo la captura por el isótopo  $Pb^{206}$  puede ser relativamente importante como aporte al fondo instrumental, contribuyendo con fotones de energía no mucho mayor que un MeV.

También en la Tabla 3 se dan los valores correspondientes al mismo proceso en el  $Na^{23}$  y  $I^{127}$  que son los elementos componentes del centelleador principal. Además se agrega el número total de átomos de cada especie que aproximadamente contiene ese centelleador y el colimador. Se puede apreciar que la sección eficaz de captura del  $I^{127}$  es más de 200 veces mayor que la del  $Pb^{206}$  mientras que el número de átomos del  $Pb^{206}$  es solamente unas 10 veces mayor que la del  $I^{127}$ . Esto indica una mayor producción en el centelleador central que en el colimador, con el agregado que en el primer caso la probabilidad de detección es mayor. Por lo tanto el fondo instrumental no se verá sensiblemente incrementado por la presencia del colimador debido a este proceso.

### Comprobación experimental

El detector aquí analizado fue probado en un vuelo realizado el 18 de noviembre de 1973 desde Paraná, provincia de Entre Ríos. El globo se mantuvo en nivel de flotación (alrededor de 36 km.) durante unas 8 horas. De ese vuelo, cuyo análisis detallado presentaremos oportunamente, se ha tomado una muestra del espectro observado (Figura 5) cubriendo un rango de energías entre 300 keV y alrededor de 8 MeV.

Los fotones detectados corresponden, en parte, al fondo atmosférico que penetra directamente por la abertura del colimador, o atravesándolo sin interactuar. A éstos se agregan, como se ha visto, los fotones degradados en energía que emergen de las paredes internas del plomo. Si bien la obtención del espectro

incidente verdadero exige el conocimiento de la función respuesta del centelleador central, aún así se pueden deducir algunos resultados sobre el comportamiento del colimador.

En la región comprendida aproximadamente entre 2 y 5 MeV, el espectro observado está de acuerdo con el fondo puramente atmosférico esperable en la región de medición (Azcárate y otros, 1975). Sin embargo, por debajo de los 2 MeV aparece una componente adicional respecto a la extrapolación de esa porción del espectro observado, cuando éste se corrige en una primera aproximación considerando el factor geométrico efectivo del sistema en función de la energía de los fotones incidentes. Este exceso, que por la corrección considerada es en realidad un límite superior, representaría por la zona en que aparece, la contribución del fondo instrumental generado esencialmente por las interacciones nucleares en el plomo y también en el propio centelleador de NaI (TI). Debe notarse que, aunque la radiación gama emitida por los productos radioactivos es monocromática, las interacciones sucesivas que éstos sufren en el plomo la transforman en un fondo continuo.

Se observa además claramente la presencia de una línea en 511 keV. Esta radiación monocromática forma parte del fondo puramente atmosférico (Peterson y otros, 1973) al que se agrega la originada en el propio detector y fundamentalmente en el colimador. Sin embargo, comparando la intensidad total observada en el pico con la contribución esperada en la radiación atmosférica, conocida aproximadamente para nuestra latitud, se deduce que la fracción generada en el plomo está por debajo del 50 % de la intensidad medida. Se puede concluir entonces que aún en este hecho particular del espectro, la presencia del colimador no altera fundamentalmente la sensibilidad del detector.

## CONCLUSIONES

El sistema fue diseñado con el objetivo central de detectar la emisión de radiación gama monocromática originada en la atmósfera solar. Esta presenta un espectro de líneas entre las que predominan las de 0,51, 2,23, 4,43 y 6,13 MeV (Lingenfelter y Ramaty, 1967; Chupp y otros, 1973) sobrepuestas a la región de muy alta energía de la emisión continua, siendo ambas componentes generadas durante algunas explosiones solares. La baja intensidad esperada exige de los detectores una alta sensibilidad, de ahí el intento de mejorarla con el agregado del colimador. La bondad de éste surge de la comparación entre el conteo de fondo del detector central colimado y no colimado. Así, en la región de 500 keV la opacidad del colimador reduce a un quinto el factor geométrico ante un fondo atmosférico isotrópico, mientras que por lo observado la intensidad de la línea generada en el plomo es casi igual a la de origen atmosférico.

Para la observación de las otras líneas ( $E > 2$  MeV) tanto el cálculo como la observación indican que el fondo instrumental es despreciable mientras que la opacidad del colimador reduce el factor geométrico a un tercio, por lo que también la situación es favorable.

Por ello, se puede concluir que la utilidad de un colimador pasivo de plomo con el espesor y el rango de energías aquí considerados, es por lo menos comparable a la de los colimadores activos de NaI (TI) o CsI (TI), con la ventaja

adicional de la facilidad de su construcción y la no menos despreciable, de una enorme diferencia de costo.

### **RECONOCIMIENTOS**

A la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales que patrocinó el operativo Galaxia/73 durante el cual se efectuó el vuelo mencionado en el trabajo.

Al Lic. Carlos Falcón por su apoyo en la elaboración del programa de cálculo.

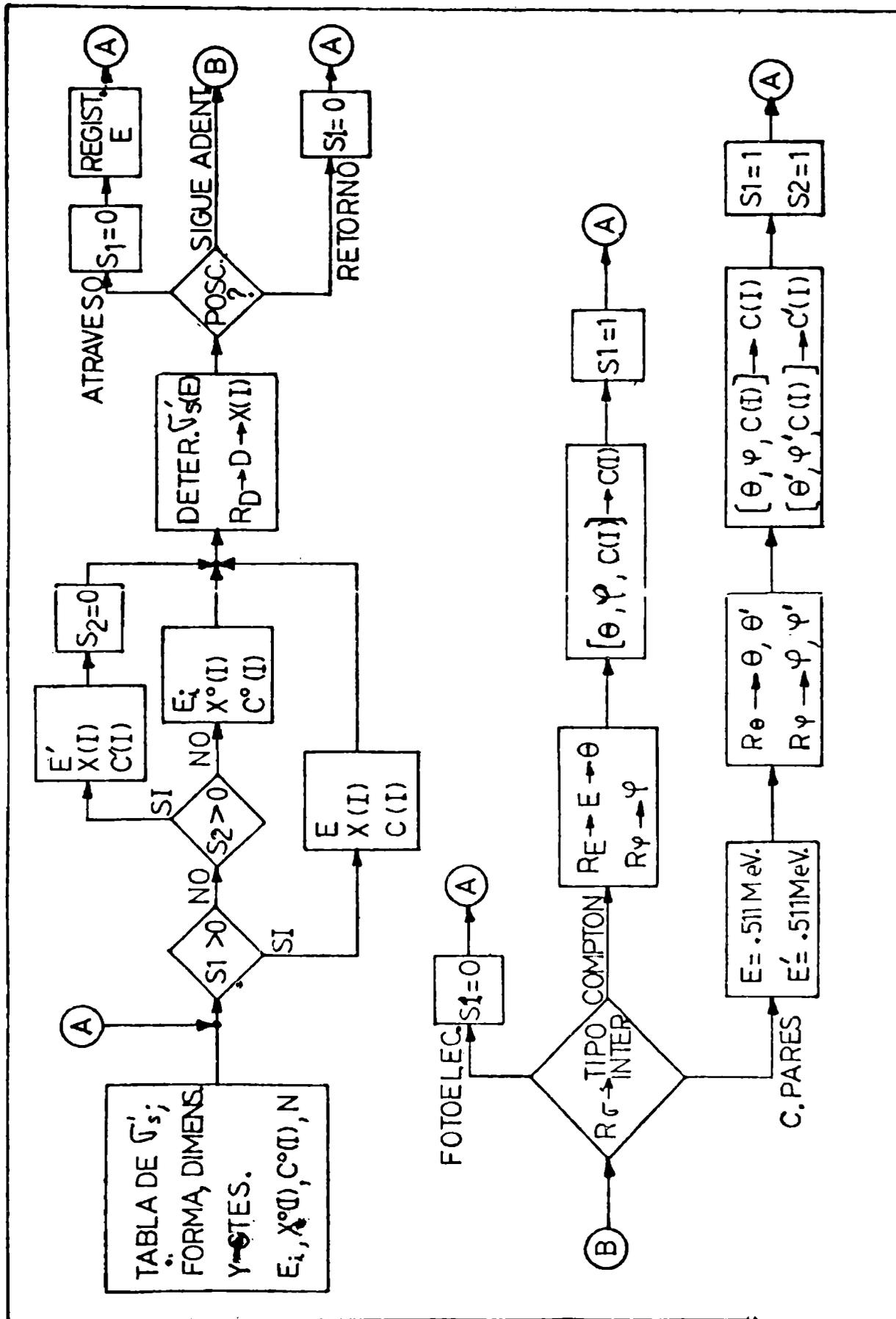


Figura 2: Diagrama de flujo simplificado del cálculo de Monte Carlo utilizado para obtener la transmisión del colimador en el caso de dirección de incidencia fija y radiación incidente monocromática.

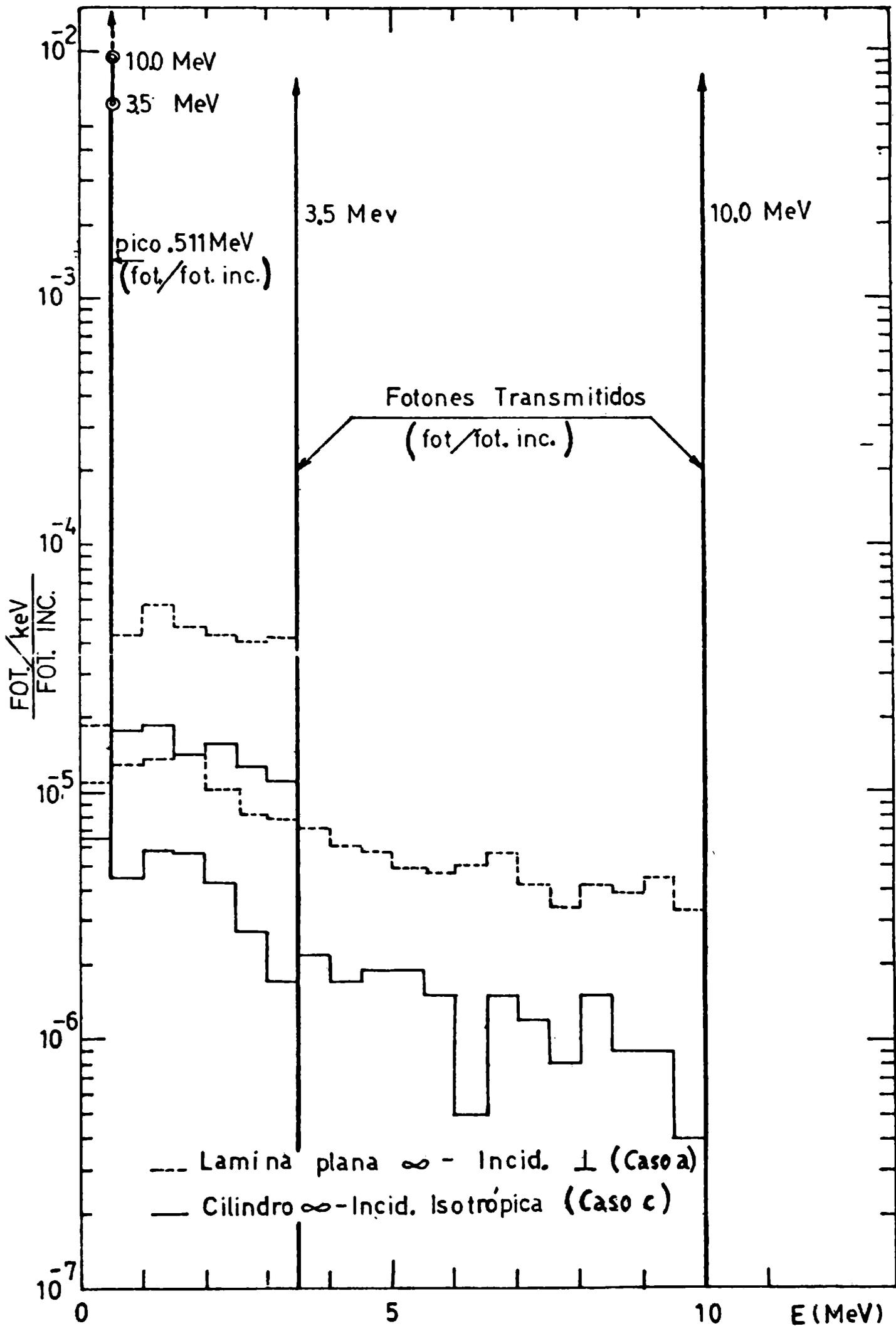


Figura 3: Espectros emergentes de la cara interna del colimador para fotones incidentes de 3.5 y 10 MeV obtenidos por Monte Carlo, correspondientes a los casos a) y c).

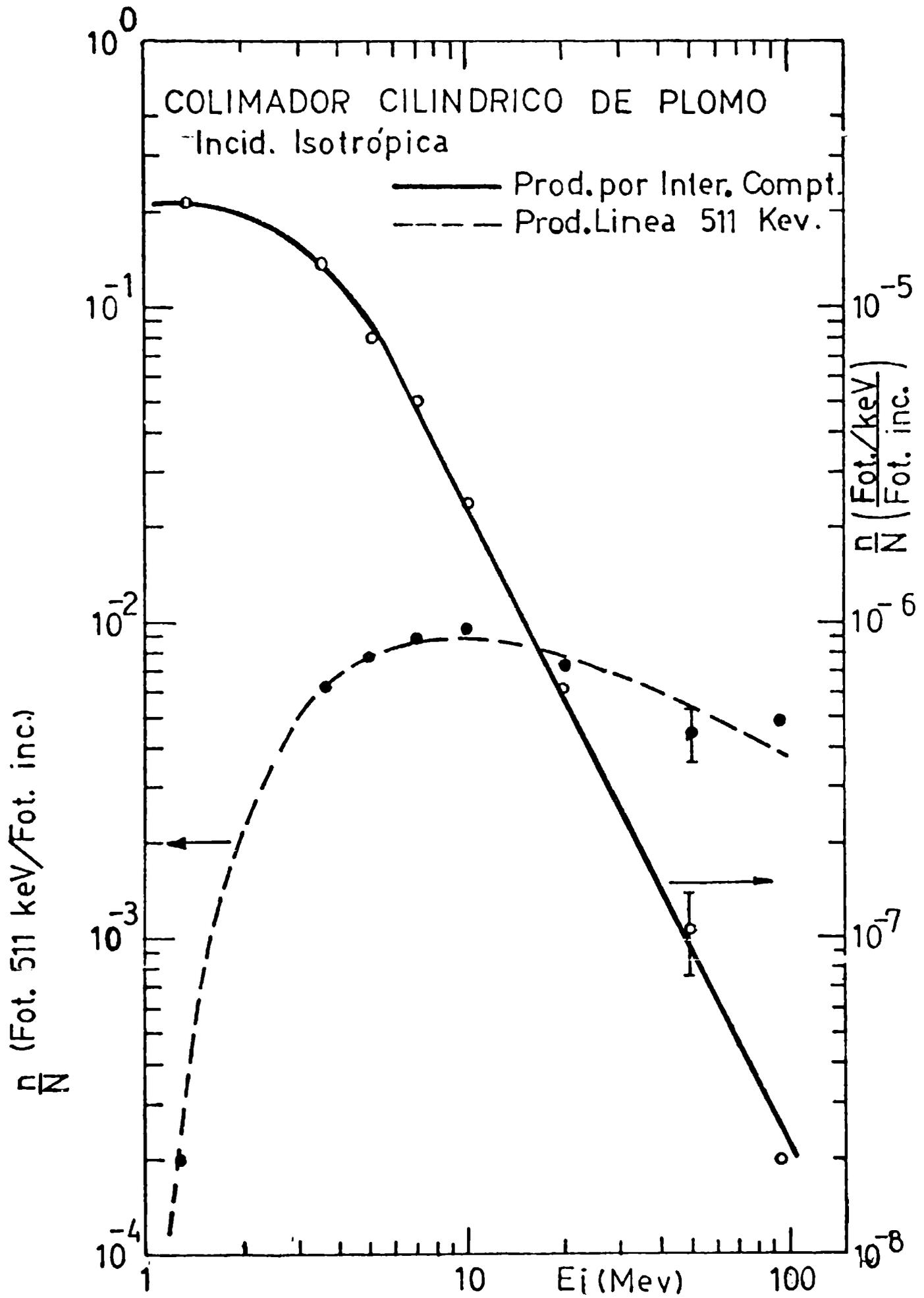


Figura 4: Curvas proporcionales a las funciones producción para el continuo y la línea de 511 keV, obtenidas mediante el cálculo de Monte Carlo, aplicado al caso c).

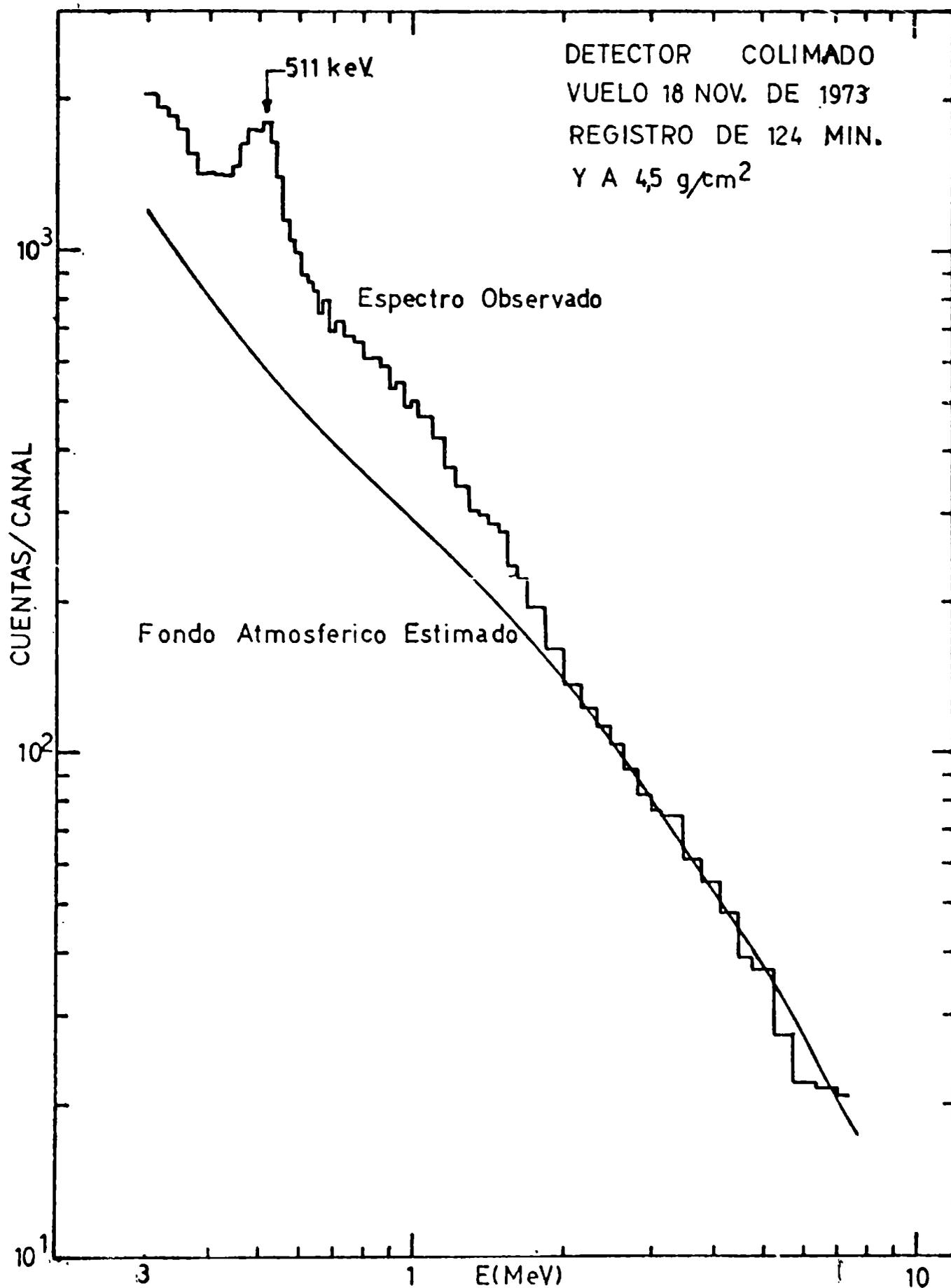


Figura 5: Espectro de pulsos observado en el centelleador central durante 124 minutos y a una profundidad atmosférica de  $4.5 \text{ g.cm}^{-2}$ . La línea continúa representa la estimación del fondo continuo de origen atmosférico.

ENERGIA FOTONES INCIDENTES E <sub>i</sub> (MeV)	1.25	3.5	5.0	7.0	10.0	20.0	50.0	95.0
Nro. FOT. EMERGENTES CARA INTERNA COLIMADOR	1060	2122	1920	1746	1426	850	415	254
Nro. FOT. ATRAVESARON PARED COLIMADOR SIN INTERACTUAR	532	1046	960	866	760	460	217	118
Nro. FOT. REEMERGENTES CARA EXTERNA COLIMADOR	3304	6142	7004	7538	8392	9592	10934	11738
Nro. FOT. EMERGENTES CARA INTERNA COLIMADOR DE 511 keV	4	122	156	176	188	144	90	98
Nro. INTERACCIONES COMPTON	22740	24644	23090	22018	20656	18930	17905	16872
Nro. INTERACCIONES FOTOELECT.	15900	18366	21050	22716	24386	26344	27166	26926
Nro. INTERAC. CREAC. PARES	264	6632	9974	12000	14204	16784	18515	18918

PARA CADA ENERGIA E<sub>i</sub> SE ANALIZARON 20000 HISTORIAS

Tabla 1

Resultados globales obtenidos por el método de Monte Carlo para el caso de un cilindro hueco infinito e incidencia isotrópica. Para cada energía incidente E<sub>i</sub> se analizaron 20.000 historias.

A	Z	ISOT.	$\sqrt{\frac{v_{relat}}{\left(\frac{v_i}{v_{p_0}}\right)}}$	VIDA MEDIA	$E_\gamma$ ( MeV )	$E_{\beta^+}$ ( MeV )
207	84	Po <sup>m</sup>	1	2.8 s	0.26; 0.31 ; 0.82	-
207	84	Po	1	6 h	----- 2.06	-
202	83	Bi	0.75	95 m	0.42 ; 0.96	-
201	82	Pb	0.71	61 s	0.63	-
199	82	Pb <sup>m</sup>	0.64	12.2 m	0.42	-
199	82	Pb	0.64	85 m	0.35 ; 0.37 ; 0.72	2.8 Máx.
198	81	Tl <sup>m</sup>	0.60	1.9 h	0.28 ----- 0.64	-
198	81	Tl	0.60	5.3 h	----- 2.78	2.4 Máx.
197	81	Tl <sup>m</sup>	0.57	0.54 s	0.38	-
197	81	Tl	0.57	2.84 h	----- 0.426	-
196	81	Tl <sup>'''</sup>	0.53	1.41 h	----- 0.43	-
196	81	Tl	0.53	1.84 h	0.426	-
193	80	Hg	0.45	5 h	----- 1.08	-
192	79	Au	0.42	4.1 h	----- 1.2	2.2 Máx.
191	79	Au	0.40	3.2 h	----- 0.60	-
184	77	Ir	0.27	3.2 h	----- 4.3	-
203	82	Pb	0.27	6.1 s	0.82	-
202	82	Pb	0.25	3.62 h	----- 0.96	-
180	75	Re	0.22	2.4 m	0.511 ; 0.88	1.1 Máx.

Tabla 2

Principales isótopos producidos en el Pb debido a interacciones nucleares con protones y neutrones de altas energías, con vidas medias menores que 9 horas. En las dos columnas de la derecha figuran los principales productos de sus decaimientos.

ISOTOPO	%	$\sigma_{\text{captura}}$ ( Barns )	VIDA media	$E_{\gamma}$ ( MeV )	$E_{\text{electrones}}$ ( MeV )	Núcleos en el detector
Pb <sup>204</sup>	1.5	0.7	$3 \cdot 10^7$ a	Rayos X	-	$6.4 \cdot 10^{23}$
Pb <sup>206</sup>	25.0	0.03	0.8 s	0.57 ; 1.06	0.48 ; 0.98 ; 1.05	$1.07 \cdot 10^{25}$
Pb <sup>207</sup>	21.5	0.72	-	-	-	$9.2 \cdot 10^{24}$
Pb <sup>208</sup>	52.0	$5 \cdot 10^{-4}$	3.3 h	No $\gamma$	0.64 Máx.	$2.2 \cdot 10^{25}$
Na <sup>23</sup>	100	$\frac{0.53}{0.40}$	$\frac{15 \text{ h}}{0.02 \text{ s}}$	$\frac{1.37 ; 2.75}{0.472}$	$\frac{4.17 \text{ Máx.}}{6.0 \text{ Máx.}}$	$1.15 \cdot 10^{24}$
I <sup>127</sup>	100	6.4	25 m	Rayos X 0.44 ----- 0.97	2.2 Máx.	$1.15 \cdot 10^{24}$

Tabla 3

Secciones eficaces de captura, vidas medias y radiaciones emitidas por el plomo, iodo y sodio debido a la captura de neutrones térmicos. Además se agrega el número aproximado de átomos de esos elementos que contiene el detector.

## BIBLIOGRAFIA

- ALDER, B., FERNBACH, S., ROTENBERG, M. (Editores), 1963: *Methods in Computational Physics*, Vol. 1, Academic Press, New York.
- AZCARATE I.N., DURO J.C., GHIEMMETTI H.S. y MUGHERLI V.J., 1975: *Radiación Gama Atmosférica de Alta Energía a Bajas Latitudes*. GEOACTA, Vol. 8 n. 1 págs. 117 a 128.
- CASHWELL E.D. y EVERETT C.J., 1959: *A Manual of the Monte Carlo Method for Random Walk Problems*, Pergamon Press, New York.
- CHUPP, E.L., FORREST, D.J., HIGBIE, P.R., SURI, A.N., TSAI, C. y DUNPHY, P.P., 1973: *Solar Gamma Ray Lines observed during the Solar Activity of August 2 to August 11, 1972*. *Nature*, Vol. 241, p.333.
- DYER, C.S. y MORFILL, G.E., 1971: *Contribution to the Background Rate of a Satellite X-ray Detector by Spallation Products in a Caesium Iodide Crystal*, *Astrophysical and Space Science*, Vol. 14, n. 1, p. 243-258.
- EBEOGH, D.B., WAINIO, K.M., MORE, K. y TIFFANY, O.L., 1966: *Monte Carlo Calculations of Radionuclide Production in Iron Targets Bombarded with 400 MeV Protons*, *Journal of Geophys. Research*, Vol. 71, n. 5, p. 1445-1451.
- HEITLER, W., 1954: *The Quantum Theory of Radiation*; (3a. Ed.) Clarendon Press, Oxford.
- LEDERER, C.M., HOLLANDER, J.M. y PERLMAN, I., 1967: *Table of Isotopes* (6a. Ed.) John Willey and Sons Inc., New York.
- LINGENFELTER, R.E. y RAMATY, R., 1967: *High Energy Nuclear Reactions in Astrophysics*, W.A. Benjamin, New York, p. 99.
- MARTIN, I.M., BUI VAN, A. y VEDRENNE, G., 1971: *Monte Carlo Simulation of a organic Scintillator Response of Gamma-Ray Spectra*, *Nuclear Instruments and Methods*, Vol. 95, p. 545-550.
- PETERSON, L.E., SCHWARTZ, D. y LING, J.C., 1973: *Spectrum of Atmospheric Gamma Rays to 10 MeV at  $\lambda = 40^\circ$* , *Journal of Geophys. Research*, Vol. 78, n. 34, p. 7942.
- RUDSTAM, G., 1966: *Systematics of Spallation Yields*, *Z. Naturforschg.*, 21a., p. 1027-1041.

*SIEGBAHN, K., 1968: Alpha, Beta and Gamma-ray Spectroscopy, Vol. 1, p. 769, North-Holland Publishing Co., Amsterdam.*

*STANTON, N.R., 1971: A Monte Carlo Program for Calculating Neutron Detection Efficiencies in Plastic Scintillator, C00-1545-72, The Ohio State University.*

## TRABAJOS GEOFISICOS PARA EL ESTUDIO DE TERRAPLENES Y FUNDACIONES DE PUENTES

BENITO B. CASCARINO  
Dirección Nacional de Vialidad

El propósito del presente trabajo es el de dar idea clara, ordenada y actualizada de los aspectos concernientes a la aplicabilidad de los métodos indirectos de investigación. Para ello, se analizan algunos trabajos específicos realizados por la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina, en la zona Noroeste del país; y precisamente en la Quebrada de Humahuaca, en la provincia de Jujuy. Región ésta delimitada geográficamente por los 23°38' y los 24°00' de latitud sur y los 65°24' y los 65°36' de longitud oeste. Estos estudios planialtimétricos, geológicos, geofísicos, geomecánicos, etcétera, han servido, por un lado para definir las ubicaciones de las obras de arte y por el otro, han permitido conocer las condiciones físico-estructurales de los materiales del subsuelo que han de soportar las cargas de las estructuras viales proyectadas, como así también todos los problemas concernientes a los terrenos susceptibles de asentamientos de las zonas anegadas, donde han de emplazarse los terraplenes previstos.

**The purpose of this work is to give a clear, methodical and up-to-date idea about the aspects connected with the applicability of indirect methods of investigation. For that, some specific works performed by the "Dirección Nacional de Vialidad" of the República Argentina, in the north-west zone of the country, precisely at the "Quebrada de Humahuaca", in Jujuy, are analyzed. This region is geographically delimited by 23°38' and 24°00' south latitude and 65°24' and 65°36' west longitude. These planialtimetric, geological, geophysical, geomechanical, etc. studies have served, in a way, to define the situation of the works of art and in the other, to make it possible to know the physic-structural conditions of the subsoil materials which will have to support the loads of the designed highway structures and all the problems connected with soils liable to be settled down in floody zones, where foreseen embankments will be setted.**

## INTRODUCCION

La ejecución de una obra vial, sea ella una obra de arte, terraplén, etcétera, implica conocer ante todo las características físico-estructurales de los materiales del subsuelo afectado; puesto que, por sus particulares condiciones de equilibrio, algunos suelos no permiten cargas excesivas sin peligro de determinar insanables asentamientos. El conocimiento, pues, de las condiciones naturales del terreno que constituye el asiento de las futuras estructuras, especialmente en lo que atañe a la resistencia a la compresión, ya sea del sustrato de fundación como la de sostén de los terraplenes, posibilita indudablemente adecuar el proyecto de las obras a construir a las distintas circunstancias. Para ello, en toda etapa previa al proyecto de una obra caminera, deberá procederse a fijar, de acuerdo a la fisiografía zonal, no sólo las distintas unidades geológicas a atravesar (sobre todo, el tipo de elemento, su extensión y geometría, y posiblemente sales, etcétera), establecer las características generales del drenaje superficial y subterráneo; conocer el régimen hidrológico de los cursos de agua que han de cruzarse, para prever posibles construcciones de obras hidráulicas complementarias y poder dimensionar la correspondiente sección de la obra de arte; ubicar los lugares donde se requieren obras de estabilización, etcétera. A estos interrogantes ha de responder, en primera instancia, la geología superficial y la geofísica aplicada; procedimientos éstos que, en la mayoría de las veces, son esenciales tanto en el proyecto como en la ejecución y control de las obras. En segundo lugar, ha de intervenir la mecánica de suelos, con sus convencionales ensayos "in situ" y en laboratorio, a los efectos de clarificar, juntamente con los primeros, las incógnitas que se plantean en el quehacer ingenieril vial.

## ASPECTOS GEOLOGICOS ZONALES

El tramo en estudio abarca un sector comprendido entre los 23°38' y 24°00' de latitud sur y los 65°24' y 65°36' de longitud oeste de la Quebrada de Humahuaca, donde se distinguen dos zonas geológicamente bien definidas: una occidental donde predominan rocas cuarcíticas, areniscas y conglomerados; y otra oriental, con rocas calcáreas. Entre Volcán y la Quebrada de Coiruro y al norte de ésta, hay aluviones suministrados por los numerosos riachos torrenciales que conducen agua en ocasión de grandes lluvias. Estos cursos de agua son alimentados, por materiales provenientes de los desmoronamientos y deslizamientos, cuyas características litográficas van desde material grueso hasta elementos finos como limo y arcilla. Algunos de ellos, transportan agua y barro y/o barro mezclado con piedra, por lo general de forma angulosa, constituyendo los denominados volcanes, por su similitud con la lava verdaderamente volcánica que presentan las avalanchas descendentes de aquellos aluviones. Este barro o lodo, de viscosidad variable y por lo general de característica pastosa, casi invariablemente es de origen morénico; el mismo se derrama expandido desde lo alto del cono de deyección hacia los costados de la zona de las Quebradas La Sala y Coiruro, con una secuencia de sedimentación despareja, dado que existe aquí una estatificación muy variable y heterogénea. La cobertura superficial está compuesta por suelos prevalentemente arcillosos algo cálcicos, lo cual los caracteriza por poseer un

drenaje muy pobre. Existen, además, una serie de morenas laterales, distribuidas sobre los flancos del valle. Las mismas contienen, muchas veces, agua, gracias a la estructura porosa de los materiales de los depósitos glaciares y fluvio-glaciares; su presencia es revelada, en la mayoría de los casos, por surgentes que afloran a lo largo del contacto entre el terreno portante y el material morénico suprayacente.

## **ESTUDIOS REALIZADOS**

En las tentativas de trazados preliminares del tramo en cuestión se trató de elegir una traza que a igualdad de otras condiciones, presentara aspectos geológicos más favorables, evitando cruzar, en lo posible, algunas zonas de terreno poco consistente o compresible y buscando la ubicación óptima de los distintos cruces de cursos de agua. Para ello, hubo que efectuar observaciones sobre la fisiografía y climatología zonal, y realizar relevamientos planialtimétricos de detalle para el reconocimiento de las cuencas de derrame. Complementariamente se ha hecho una investigación directa del subsuelo mediante sondeos mecánicos (ensayos penetrométricos, según el método Terzaghi; y pozos a cielo abierto). Por último, apoyado en todos los antecedentes, se procedió a realizar una investigación geofísica complementaria, mediante la ejecución de sondeos eléctricos verticales según dos criterios distintos, ya sea se tratara de los sitios de emplazamiento de obras de arte, ya sea de zonas anegadas presumiblemente compresibles, a fin de esclarecer datos que no podían ser dilucidados por otros métodos. El número, tipo y ubicación, más apropiados, de estos sondeos eléctricos, que debieron ser ejecutados en este programa de exploración del subsuelo, dependió fundamentalmente del tipo de material subyacente y de la importancia de cada una de las obras a estudiar. Se han extraído también muestras y se han realizado varios ensayos tendientes a determinar algunos parámetros físicos definitorios sobre la consistencia de aquellos materiales. El análisis de los resultados y la correlación de datos surgidos de estos trabajos de campo, cuyas conclusiones están reflejadas en los correspondientes gráficos, han posibilitado al proyectista hacer, con menos imprevistos, las consideraciones del caso, señalándose aquellos terrenos donde existen dificultades y aquellos que son más favorables para la ubicación de las obras de arte y para terraplenes.

## **ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

Los trabajos realizados por los distintos procedimientos han arrojado resultados concordantes, aportando una inestimable contribución práctica para la solución de los problemas inherentes a las obras de arte y terraplenes a proyectar. De ello se desprende que los materiales del subsuelo son, en su mayoría, heterogéneos y finos, posiblemente compresibles o poco consistentes, por sus intercalaciones de capas o bolsones de suelo turboso, que a veces se presentan en forma de manchones; razón por la cual se llega a la conclusión que el mismo no reviste, en líneas generales, las características ni geológicas ni físicas apropiadas para fundar un puente, pero sí se justificaría una obra de arte del tipo alcantarillado. De igual modo, la construcción de los terraplenes previstos deberá estar

condicionada a las críticas condiciones, de esos terrenos, señaladas precedentemente. Igualmente habría que prever la ejecución de una serie de obras hidráulicas reguladoras o de control de crecidas, a los efectos de adecuar estas futuras obras al problema de posibles y reiteradas contingencias climáticas. Se requiere diseñar obras de drenaje apropiadas, ya que existe una cobertura de suelos superficial eminentemente gredosa y la construcción del nuevo terraplén dificultaría aún más el desagote del agua pluvial acumulada en los costados del mismo. Dichas alcantarillas han de ubicarse en concordancia con las ya existentes del Ferrocarril General Belgrano, para alcanzar un perfecto desagote de esa masa líquida hacia zonas más bajas o de influencia del Río Grande, sin perjudicar, por supuesto, a las obras camineras y ferroviarias. En definitiva, los ensayos hechos en el terreno si bien han ofrecido resultados básicos y precisos, para poder llegar a las conclusiones definitivas, la última palabra la tiene la Mecánica de Suelos y el Laboratorio con sus análisis de consolidación, coeficiente de resistencia y sus dispositivos triaxiales, etcétera.

## BIBLIOGRAFIA

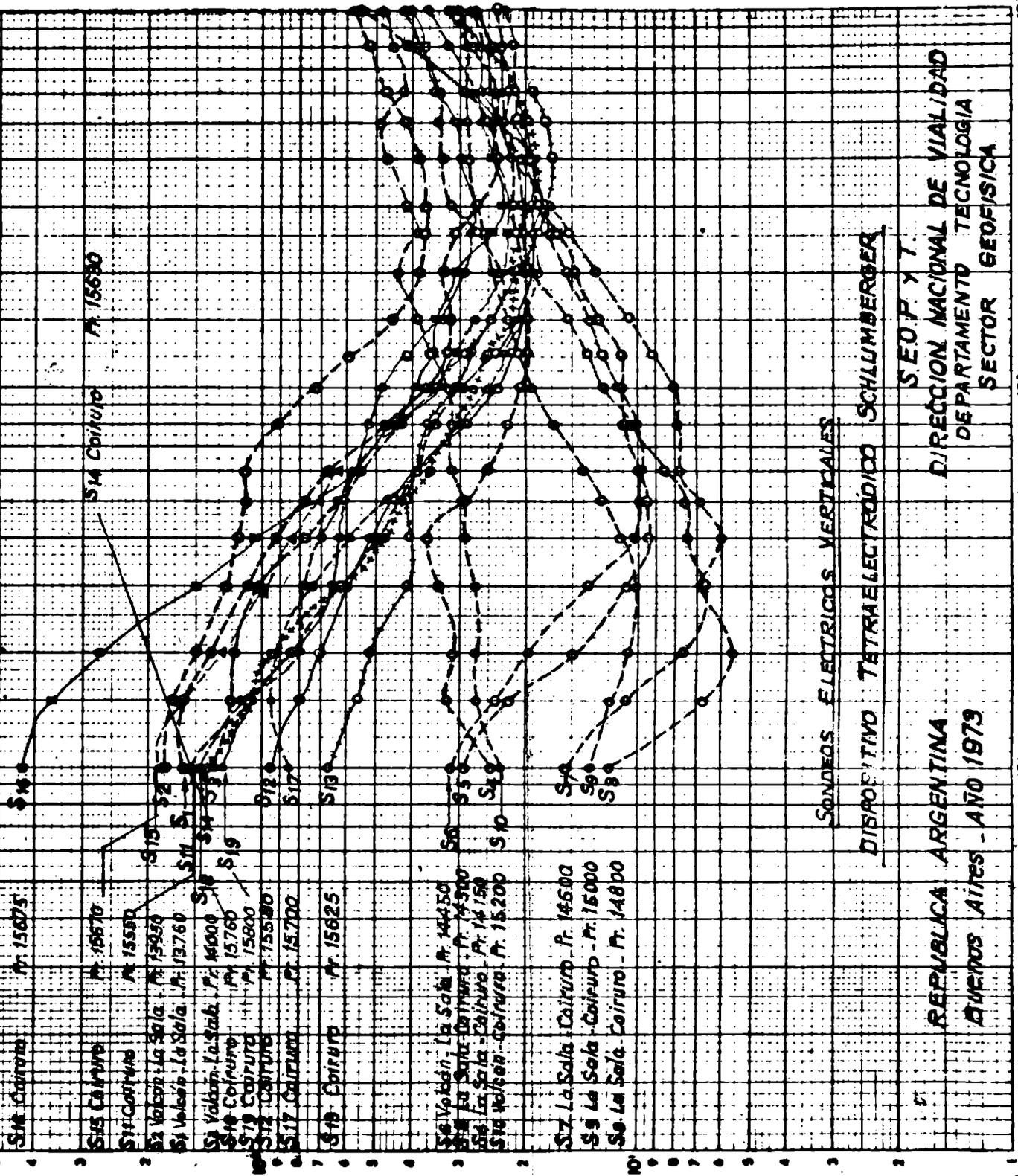
- MONTEVERDE, A. A. y KITTL, E.:** *Torrente El Volcán, características geológicas, efectos destructivos y posibilidades geotécnicas, en relación con las vías de comunicación por Humahuaca. 1º Congreso Vial Regional del Norte Argentino; publicado por la Universidad Nacional de Tucumán, Trabajo n. 46; reproducido en la Revista La Ingeniería, Nº 888-889, Buenos Aires 1949.*
- PASTORE, F. y Groeber, P.:** *Reconocimiento Geológico del Torrente de barro llamado "Volcán" (valle de Humahuaca, Jujuy). Anales del Museo Nacional de Historia Natural Bernardino Rivadavia, Buenos Aires 1931.*

# B R G G M. — Prospección:

Sondaje Electrico n° Azimut:  
 y: z:

RUTA N°9 - PROVINCIA DE JUJUY

TRAMO: LEON - MOLLE PUNCO



SONDAJES ELECTRICOS VERTICALES

DISPOSITIVO TETRAELECTRODICO SCHLUMBERGER

S.E.O.P. Y T.

REPUBLICA ARGENTINA  
 BUENOS AIRES - AÑO 1979

DIRECCION NACIONAL DE VIALIDAD  
 DEPARTAMENTO TECNOLOGIA  
 SECTOR GEOFISICA



DIRECCION NACIONAL DE VIALIDAD  
DEPARTAMENTO TECNOLOGIA

**S.E.O.P.T.** REPUBLICA ARGENTINA

HOJA N°

ESTUDIOS GEOFISICOS Y GEOTECNICOS EN: RUTA N° 9 - PROVINCIA DE JUJUY - TRAMO: LEON - MOLLE PUNCO

ARROYO DE LA QUEBRADA DE LA SALA		ARROYO DE LA QUEBRADA DE COIRURO							
Perforación N° 1	ENSAYOS DE PENETRACION (PARA 0.30 m DE PENETRACION)	Perforación N° 1	ENSAYOS DE PENETRACION (PARA 0.30 m DE PENETRACION)	Perforación N° 2	ENSAYOS DE PENETRACION (PARA 0.30 m DE PENETRACION)	Perforación N° 3	ENSAYOS DE PENETRACION (PARA 0.30 m DE PENETRACION)	Perforación N° 4	ENSAYOS DE PENETRACION (PARA 0.30 m DE PENETRACION)
Progresiva 13.956 Cota Boca Pozo: (731,10) Cota Napa Freat: (728,95)		Progresiva: 15.479 Cota Boca Pozo: (735,-) Cota Napa Freat: (733,-)		Progresiva: 15.625 Cota Boca Pozo (735,50) Cota Napa Freat: (732,40)		Progresiva: 15.800 Cota Boca Pozo: (736,10) Cota Napa Freat: (731,50)		Progresiva: 15.870 Cota Boca Pozo: (736,-) Cota Napa Freat: (733,30)	
<b>CARACTERIST. DEL SUELO</b>	<b>N° GOLPES</b>	<b>CARACT. DEL SUELO</b>	<b>N° GOLPES</b>	<b>CARACTERIST. DEL SUELO</b>	<b>N° GOLPES</b>	<b>CARACTERIST. DEL SUELO</b>	<b>N° GOLPES</b>	<b>CARACTERIST. DEL SUELO</b>	<b>N° GOLPES</b>
Arena arcillo limosa, c/15% de grava y piedras chicas		Areno Arcillo Limoso		Arena limosa Grava arenosa Arcilla marrón Arena Arcilla marrón Arcilla Marrón con Arena e inclusion de ripio fino Arcilla marrón Arena limosa con inc. de ripio fino.		Limo arenoso con incrustaciones de ripio. Limo arenoso Arcilla limosa marrón con restos vegetales Limo arenoso Arcilla limosa marrón con restos vegetales.		Limo arenoso Limo arenoso arcilloso con incrustaciones de ripio Limo arcilloso húmedo Limo arenoso Arcilla arenosa con inclusion de ripio fino. Arcilla marrón con ripio fino. Arcilla marrón con restos vegetales. Arcilla arenosa con restos vegetales. Arena limosa	
Arcilla arenosa - marrón - con part. de materias vegetales		Arena gruesa		Arcilla marrón		Arcilla limosa marrón con restos vegetales		Limo arcilloso húmedo	
Arcilla muy plástica - marrón - con part. de materias vegetales.		Arcilla muy plástica marrón.		Arcilla Marrón con Arena e inclusion de ripio fino		Limo arenoso		Limo arenoso	
Arcilla muy plástica - marrón - con part. de materias vegetales.		Arena gruesa		Arcilla marrón		Arcilla limosa marrón con restos vegetales.		Arcilla arenosa con inclusion de ripio fino.	
Arena arcillo limosa con partículas de mat. vegetales.		Arcilla muy plástica marrón.		Arcilla marrón		Arcilla limosa marrón con restos vegetales.		Arcilla marrón con ripio fino.	
Arena muy fina c/arcilla y limo, - marrón - y part. de materias vegetales.		Arena fina limosa		Arcilla limosa con inc. de ripio fino.		Arcilla limosa marrón con restos vegetales.		Arcilla arenosa con restos vegetales.	
		Arena fina				Arcilla arenosa con restos vegetales.		Arcilla marrón con restos vegetales.	
								Arcilla arenosa con restos vegetales.	
								Arcilla limosa	



## BALANCE ENERGETICO SOLAR Y SU INFLUENCIA GEO-BIO-FISICA

JORGE R. SEIBOLD

Departamento de Física Solar  
Observatorio Nacional de Física Cósmica  
San Miguel, Argentina

Dentro del horizonte evolutivo del sol se presenta una estimación actual de los diversos almacenamientos de energías térmica y no térmicas, como así también sus correspondientes flujos de energía radiante y de masa, que determinan la estructura de la atmósfera solar como una zona de transición entre el interior del sol en equilibrio quasi-estable y el espacio interplanetario o inter-estelar fuera de equilibrio termodinámico. Se determinan los factores que contribuyen al establecimiento de las Regiones Tranquilas y las Regiones Activas del sol. Se estiman los valores de la energía radiante y de masa del sol tranquilo que afectan y determinan la ionósfera y magnetósfera terrestre como así también los diversos fenómenos vitales de nuestro planeta. Asimismo se estiman los valores de la energía radiante y de masa del sol activo que afectan temporariamente los diversos estratos de nuestra atmósfera terrestre como son las tormentas geomagnéticas, las tormentas ionosféricas, las auroras, SID, etc. Se hacen finalmente algunas consideraciones sobre el aprovechamiento de la energía solar a nivel de la superficie terrestre.

**A present estimation of the different thermal and non-thermal energy storages is presented, within the evolute horizon of the Sun, as well as their corresponding radiant energy and mass fluxes that determine the structure of the solar atmosphere as a transition region between the inner part of the Sun in quasi-stable equilibrium and the interplanetary or interstellar space out of thermodynamic equilibrium. The factors that help towards the establishment of the Sun's Active and Quiet Regions are determined. The values of radiant energy and quiet sun mass that effect and determine the Earth's ionosphere and magnetosphere are estimated, as well as the different biological phenomena in our planet. Values of radiant energy and active sun mass that affect temporarily the different layers of our terrestrial atmosphere are estimated (geomagnetic and ionospheric storms, auroras, SID, etc.) Some comments about the use of solar energy at the Earth's surface are finally made.**

La interacción Sol-Tierra puede considerarse desde múltiples perspectivas. Es indudable que la información acumulada en los últimos años sobre esta interacción es tan abrumadora que muchas veces oculta lo que debiera aclarar. Es nuestra intención presentar de un modo sintético desde una perspectiva energética la naturaleza cualitativa y cuantitativa de esta interacción dentro de un horizonte evolutivo. Asumimos este horizonte evolutivo como el horizonte de comprensión de dicha interacción, pues no es lo mismo apreciar el balance energético de la proto-estrella, en presencia del sistema de los proto-planetes, que el balance energético del sol como es actualmente con nuestros planetas o que el balance energético del sol cuando pase a la fase de super-gigante con lo que quede del sistema planetario. En la figura 1 presentamos un cuadro de la evolución energética del sol de acuerdo a las teorías clásicas de la evolución estelar. Allí puede observarse las diversas etapas de la evolución, su consiguiente duración y los órdenes de magnitud de las energías entregadas por el sol al espacio inter-estelar o interplanetario. No vamos a describir en detalle estas fases evolutivas, que, por otra parte, pueden encontrarse en la amplia bibliografía actual sobre el tema. Lo que nos interesa recalcar es la necesidad de especificar en cada caso, cuando se habla de balance energético, en qué etapa nos estamos moviendo. El análisis que presentamos en esta comunicación supone que nos encontramos en la etapa actual de nuestro sol. Es decir hacia la mitad de la segunda etapa de la quema del hidrógeno por los procesos de fusión en el centro del astro. Sin embargo, es necesario tener una comprensión de todo el proceso evolutivo del sol para dar razón de los diversos tipos de energías actualmente existentes y de sus correspondientes magnitudes. Hay una inter-relación muy marcada entre Procesos y Tipos de Energía. Así, si consideramos que el sol es producto de un primer proceso de contracción gravitacional producido en nubes de altas densidades y bajas temperaturas, ese mismo proceso producirá energías térmicas y no-térmicas. En general puede decirse que todo proceso produce energía térmica que es función del número de partículas termalizadas por dichos procesos y de la temperatura. La expresión de la energía térmica es  $E_T = \int NkT dV$  donde  $N$  es la densidad de partículas y  $dV$  un elemento de volumen. Las energías no térmicas son producidas por determinados procesos. No todo produce cualquier tipo de energía no térmica. Así, el proceso de contracción está ligado a la energía gravitacional que es la energía adquirida por la masa de la proto-estrella en su concentración desde el infinito  $E_G \approx G \cdot \frac{M^2}{R}$ . Del mismo modo el proceso de fusión que se produce en el núcleo de la proto-estrella cuando los gases han alcanzado altas temperaturas está ligado a la aparición de otro tipo de energía como es la nuclear totalmente diferente a la gravitacional. El "nacimiento" de esta energía nuclear dada por la "quema" del hidrógeno, no solamente inicia otra etapa evolutiva sino que también marca distintamente la estructura misma del sol. Recién ahora se puede hablar de un "interior" que por naturaleza es opaco y "quasi estable", de una atmósfera como "zona de transición" por naturaleza menos opaca y transparente y de una "exterior" mucho más tenue dada por el espacio inter-estelar o interplanetario fuera de equilibrio termodinámico. Es evidente que desde la aparición de la energía nuclear se inicia una etapa "divergente" del flujo de energía. El flujo de energía se crea ahora preponderantemente en el núcleo del sol y tiende a propagarse hacia el "exterior" donde hay condiciones completamente alejadas de equilibrio. El interior

solar está en equilibrio "quasi-estable" Si estuviera en completo equilibrio termodinámico no habría flujo divergente de energía. La existencia de este flujo hace que se deban postular en función de bases teóricas ciertas zonas del "interior" opaco del sol. Es así como se distinguen la zona nuclear donde se produce fundamentalmente la "querna" del hidrógeno, la zona radiativa donde el flujo de energía producida en el núcleo del sol se hace efectivo por radiación y finalmente la zona convectiva donde las condiciones físicas del interior solar son tales que sólo es permitido al flujo de energía ser transportado por convección. La convección resulta así otro almacenamiento de energía no térmica y está íntimamente ligado, en este caso, al origen nuclear de la energía en el centro del sol y a las condiciones físicas de los gases en la periferia del interior solar. Es evidente que en esta etapa nos estamos moviendo ya en un régimen estable. No entramos para nada en la etapa previa del "transitorio" que lleva a establecer esta energía convectiva a partir de la energía nuclear. No siempre es fácil decidir en cada caso en qué etapa del proceso de la formación de la estrella aparecen las diversas energías no térmicas. Se cree que la energía rotacional está ligada a la primera etapa contraccional del sol e íntimamente ligada a la formación dinámica de los planetas a través de la conservación del impulso angular del sistema (Reeves, H. 1972; Metz, 1974). La energía magnética puede estar ligada a flujos ordenados de plasma en esas mismas etapas primordiales de la formación del proto-sol. Una evaluación de estos diversos almacenamientos de energía y de sus respectivos flujos puede encontrarse en de Jager (1972).

Figura 1

### EVOLUCION ENERGETICA SOLAR

Etapas	Duración (años)	Rango de energía emitida ( $2 \cdot 10^{33}$ erg s <sup>-1</sup> )
1. Contracción gravitacional	143 millones	Inicialmente 600 Decreciendo rápidamente a .7
2. Quema de Hidrógeno	10.3 billones	Inicialmente .7 Aumentando lentamente a 3
3. Reanudación de la contracción gravitacional del núcleo	500 millones	3 - 10
4. Quema de Helio y Carbono	500 millones	10 - 1000 Con fluctuaciones complicadas
5. Contracción gravitacional final	13 millones	1000 - .01
6. Fase enana blanca	Infinito	.01 enfriándose lentamente hasta 0

De lo dicho anteriormente puede desprenderse la conclusión global de que existe una estrecha correlación entre procesos, diversos tipos de almacenamiento de energías, flujos de energía y estructura del sol. A partir de ciertos estudios recientes (Praderie, 1973; Pecker, Praderie y Thomas, 1973), algunas de estas relaciones han comenzado a clarificarse conceptual y cuantitativamente. Según estos autores, la atmósfera estelar (en nuestro caso la solar) es una zona de transición entre el interior en quasi-equilibrio y el medio inter-estelar fuera de equilibrio termodinámico. En esta zona de transición la energía evoluciona de una configuración de almacenaje de energía térmica y no térmica a una configuración de propagación radiativa y de masa. Es decir que el sol principalmente a través de su atmósfera pierde energía (no se tiene en cuenta en este caso la pérdida de neutrinos en el núcleo del sol). Esta pérdida de energía, medida en ergios por segundo, es lo que denominamos flujo de energía. Este flujo de energía tiene dos expresiones. Uno es el flujo de radiación y otro el flujo de masa. El flujo de radiación está ligado al almacenamiento térmico de la energía. El flujo de masa a los almacenamientos no térmicos de la energía. Desde este punto de vista pueden definirse las diversas zonas de la atmósfera solar en función de los flujos de radiación y de masa respecto a los diversos almacenamientos térmicos y no térmicos. La fotosfera sería la región donde el flujo de radiación evoluciona desde una configuración de almacenamiento térmico a una configuración de propagación. La hilósfera, que comprende a la cromósfera y a la corona, es la región donde el flujo de masa evoluciona desde una configuración de almacenamiento de energías no térmicas a una configuración de propagación. Puede observarse que hablamos de hilósfera (cfr. Pecker, Praderie y Thomas, 1973) o sea la esfera de materia para designar lo que tradicionalmente se denominaba cromósfera y corona. Nótese que etimológicamente esto es más consecuente pues la hilósfera está ligada al flujo de masa, mientras la misma etimología de cromósfera se refiere a color y la de corona a la de forma, conceptos fenomenológicos inhomogéneos y sin sentido físico riguroso. Puede probarse (Praderie, 1973) que las condiciones para la existencia de la cromósfera son la existencia de un flujo de masa (condición necesaria) y la de producirse allí una disipación de energía mecánica (condición suficiente) En este sentido la cromósfera es la zona donde la disipación de energía mecánica comienza a actuar. En la fotosfera existe transporte de energía mecánica (turbulencia, ondas, convección, etc.) pero no propiamente disipación. Puede decirse que la cromósfera es "opaca" al flujo de masa. Predomina en ella la disipación al transporte. Por el contrario, la corona es la parte de la atmósfera donde el término convectivo producido por el flujo de masa es una parte importante del balance energético. De este modo la corona es "transparente" al flujo de masa, que como "viento solar" es expelido normalmente al espacio interplanetario. Sin embargo, la corona no puede disipar toda la energía que le es entregada por las capas inferiores del sol. Su capacidad radiativa es limitada al rango de las emisiones X y ultravioletas de elementos altamente ionizados y que energéticamente son del orden de lo transportado por el viento solar. Debe, por consiguiente, devolver por conducción a la cromósfera ese excedente de energía acumulada a fin de que la cromósfera la disipe radiativamente (Hundhausen, 1973). Pero dentro del balance energético solar y su influencia geo-bio-física no nos podemos circunscribir al sol tranquilo. Es preciso también incluir al sol activo. Este también marca una cierta estructura

que está relacionada a las diversas etapas evolutivas, a los diversos almacenajes de energía, a sus flujos de masa y radiación. Presentamos en la figura 2 un diagrama donde tratamos de sintetizar los principales rasgos del balance energético solar atendiendo significativamente a los **procesos** evolutivos del sol hasta el momento presente, a los **diversos almacenamientos** de energías, a los **flujos de masa y radiación** emergentes, a la **estructura** de la atmósfera solar constituida por la **fotósfera**, la **cromósfera** y la **corona** y los dos modos de ser del sol denominados habitualmente **sol activo** y **sol tranquilo**. Todo ello expresará una interacción específica con el medio interplanetario y en especial con la tierra que será expresada por los diversos efectos que consignan al pie del cuadro.

Siguiendo el diagrama de la Figura N<sup>o</sup> 2 podemos sintetizar lo expresado anteriormente tanto cualitativa como cuantitativamente. En el triángulo superior está simplificado el proceso de formación del sol. Este proceso a través de sus diversas etapas, produce dos tipos de almacenamientos de energía. La térmica a la izquierda y las no térmicas a la derecha. La energía "madre" de estas últimas es la gravitacional que es del orden de la energía térmica aunque algo mayor. Ligada a la energía gravitacional que queda para esta etapa del sol como almacenamiento potencial, están las energías nuclear, rotacional y magnética que son las energías realmente actuantes en esta etapa evolutiva del sol. De todas ellas la más importante por la fuente de energía que representa es la nuclear, aunque las otras dos, la rotacional y la magnética, junto con la energía convectiva intervienen efectivamente en la constitución del sol activo como puede observarse en la parte derecha del diagrama a través de la constitución de la rotación diferencial y de las regiones activas. La energía convectiva también interviene en la constitución del sol tranquilo sea a través de la granulación y supergranulación ligados a la fotósfera, sea a través del flujo de energía mecánica que se origina como pérdida del almacenamiento de energía convectiva en las capas sub-fotosféricas, y que como tal proporciona la energía suficiente para el calentamiento de la cromósfera y la corona. Comparando los flujos de energía emitidos por la fotósfera, la cromósfera y la corona puede observarse que el flujo emitido por la fotósfera es varios órdenes superior al flujo de la cromósfera y corona integrados. Este flujo fotosférico ( $4.6 \cdot 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$ ) es el que va a determinar decisivamente el balance energético terrestre a través de los efectos meteorológicos y los fenómenos vitales de la biósfera, tal como lo detallaremos más adelante en la Figura n. 3. La mayor parte del flujo de energía mecánica es absorbido por la cromósfera ( $32 \cdot 10^{28} \text{ erg s}^{-1}$ ). La corona absorbe solo una pequeña parte ( $3 \cdot 10^{28} \text{ erg s}^{-1}$ ). Pero aunque es una pequeña parte del flujo de energía mecánica no lo puede radiar al espacio debido a que sus condiciones físicas no se lo permiten. Sólo emite radiación y partículas (viento solar) por el orden de  $10^{28} \text{ erg s}^{-1}$ . El resto, al no poderlo disipar lo "devuelve" por el mecanismo de conducción a la cromósfera, que sí lo puede disipar radiativamente. Este flujo de radiación y de partículas emitidas por la cromósfera y la corona a pesar de ser inferiores al de la fotósfera, es, sin embargo, no sólo de gran importancia en los efectos antes mencionados sino que también determinan la existencia de la ionósfera y magnetósfera terrestre. En grandes líneas estos son los efectos del sol tranquilo. En la parte derecha de la Figura n. 2 se sitúan los principales fenómenos que caracterizan al sol activo y sus efectos correspondientes. Hemos indicado las regiones activas con los correspondientes órdenes de energía de las manchas, las

fáculas y las fulguraciones. Para estas últimas hemos elegido (Kiepenheuer, 1964; Bruzek, 1967) una energía del orden de  $10^{32}$  erg disipada en  $10^3$  seg., lo que da un flujo de  $10^{29}$  erg  $s^{-1}$ . Si asumimos una superficie emisora de  $10^{19}$   $cm^2$ , tendremos un flujo por unidad de área de  $10^{10}$  erg  $cm^{-2}$   $s^{-1}$ . El cual es mucho menor que el flujo fotosférico ( $6,4 \cdot 10^{10}$  erg  $cm^{-2}$   $s^{-1}$ ), que el de las fáculas ( $2 \cdot 10^{10}$  erg  $cm^{-2}$   $s^{-1}$ ) (Wilson, 1971), que el déficit energético de las manchas ( $5 \cdot 10^{10}$  erg  $cm^{-2}$   $s^{-1}$ ) (Kiepenheuer, 1966) y casi del mismo orden del flujo de las manchas ( $10^{10}$  erg  $cm^{-2}$   $s^{-1}$ ). Esto muestra el porqué las fulguraciones son raramente visibles en luz blanca. Si suponemos ahora un volumen emisor de la fulguración del orden de  $10^{28}$   $cm^3$ , tendremos una densidad de energía emitida de  $10^4$  erg  $cm^{-3}$ . Esta cantidad es varios órdenes mayor que la densidad de energía térmica acumulada en la cromósfera ( $5$  erg  $cm^{-3}$ ) y en la corona ( $1$  erg  $cm^{-3}$ ). Incluso es mayor que la energía mecánica acumulada en la cromósfera que es el del orden de  $3$  erg  $cm^{-3}$  (Bruzek, 1967). De aquí que tanto la energía térmica como la energía mecánica sean completamente inadecuadas para dar razón de la aparición repentina de una densidad de energía tan grande como la de la fulguración. El problema del origen de la energía de las fulguraciones todavía está abierto. Algunos han argüido haciendo referencia a la energía contenida en los campos magnéticos ligados a las regiones activas y a su posterior aniquilación (Parker, 1963) o al aprovechamiento del déficit radiactivo de las manchas solares y su almacenamiento en las regiones activas (de Jager, 1969). Volviendo al diagrama de la Figura n. 2 vemos que las fulguraciones emiten tanto radiación como partículas. La mayor parte de la energía de las fulguraciones es llevada por las partículas no relativistas como nube de plasma eyectada de las fulguraciones y que llegan a la tierra entre 20 y 40 horas después de haber partido. La energía llevada por estas partículas no relativistas es del mismo orden de magnitud que la energía implicada en la fulguración tipo, o sea  $10^{32}$  erg. Es interesante comprobar que el flujo de energía de las fulguraciones ( $10^{29}$  erg  $s^{-1}$ ) es muchos órdenes de magnitud menor que el flujo de radiación fotosférico ( $4 \cdot 10^{33}$  erg  $s^{-1}$ ) con lo que se comprueba que las fulguraciones no significan gran cosa desde el punto de vista de su contribución energética a la emisión total del sol. El sol no puede llamarse una estrella "flare" ya que su luminosidad no varía apreciablemente por la incidencia de las fulguraciones en su atmósfera. Sin embargo, las fulguraciones conservan su importancia, no sólo por los intrincados problemas físicos que presentan, sino también por los variados efectos geo-físicos que producen. Son bien conocidos los efectos que la radiación de las fulguraciones en sus frecuencias UV y X produce, como son las perturbaciones repentinas en la ionósfera (SID), o los efectos de base registrados por monitores de neutrones debido a la incidencia de partículas relativistas que llegan a la tierra en menos de una hora, o las tormentas geomagnéticas, las tormentas ionosféricas y las auroras producidas por la llegada de las partículas no relativistas mencionadas arriba.

Para terminar, presentamos en la Figura 3 un diagrama en el que expresamos el balance energético de la Tierra (King Hubbert, 1971). En dicho diagrama puede verse con claridad que son tres los contribuyentes al balance energético terrestre: la energía solar, la energía tidal y la energía nuclear, termal y gravitacional terrestre. Según las estimaciones de King Hubbert (1971) el 99,98 % corresponde a la radiación solar o en otros números la contribución de la

radiación solar a la provisión energética del planeta es 5000 veces lo proporcionado por las otras dos fuentes juntas. Es interesante notar en el diagrama en qué porcentajes se distribuye la radiación solar incidente. Un pequeño, aunque importantísimo, porcentaje está destinado a la fotosíntesis que se desarrolla en la biósfera. Casi todo el resto de la radiación se invierte en lo que nosotros hemos llamado "efectos meteorológicos" en la Figura 2, ya que hay procesos ligados a la reflexión directa, a la conversión en calor y a la posterior emisión en el infrarrojo, a la evaporación del vapor de agua, a la precipitación y a los procesos dinámicos de vientos, ondas, convección y corrientes. Es interesante señalar que la radiación solar captada fuera de nuestra atmósfera es casi constante a lo largo del año. La constante solar, es decir el flujo total de radiación recibida fuera de la atmósfera terrestre por unidad de área a la distancia media sol-tierra, es  $1,39 \cdot 10^6$  erg  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Allen, 1964), con una variación de aproximadamente 2 % debida a la ligera elipticidad de la órbita terrestre (Robinson, 1966). La medida de radiación solar expresada como 100 % en la Figura 3 es la registrada a partir de la constante solar teniendo en cuenta que la Tierra, como un disco, presenta una superficie interceptora del orden del  $1,275 \cdot 10^{18}$   $\text{cm}^2$ . Sin embargo, es bien sabido que la radiación que alcanza la superficie de la tierra está limitada por factores astronómicos, geográficos, geométricos, físicos y meteorológicos (Robinson, 1966; Kondratyev, 1969). Estos aspectos inciden en la cantidad de energía solar disponible para su aprovechamiento energético por el hombre. Pero éste ya es un tema específico de gran interés actual con la crisis energética y por lo que nos remitimos también a la abundante bibliografía existente.



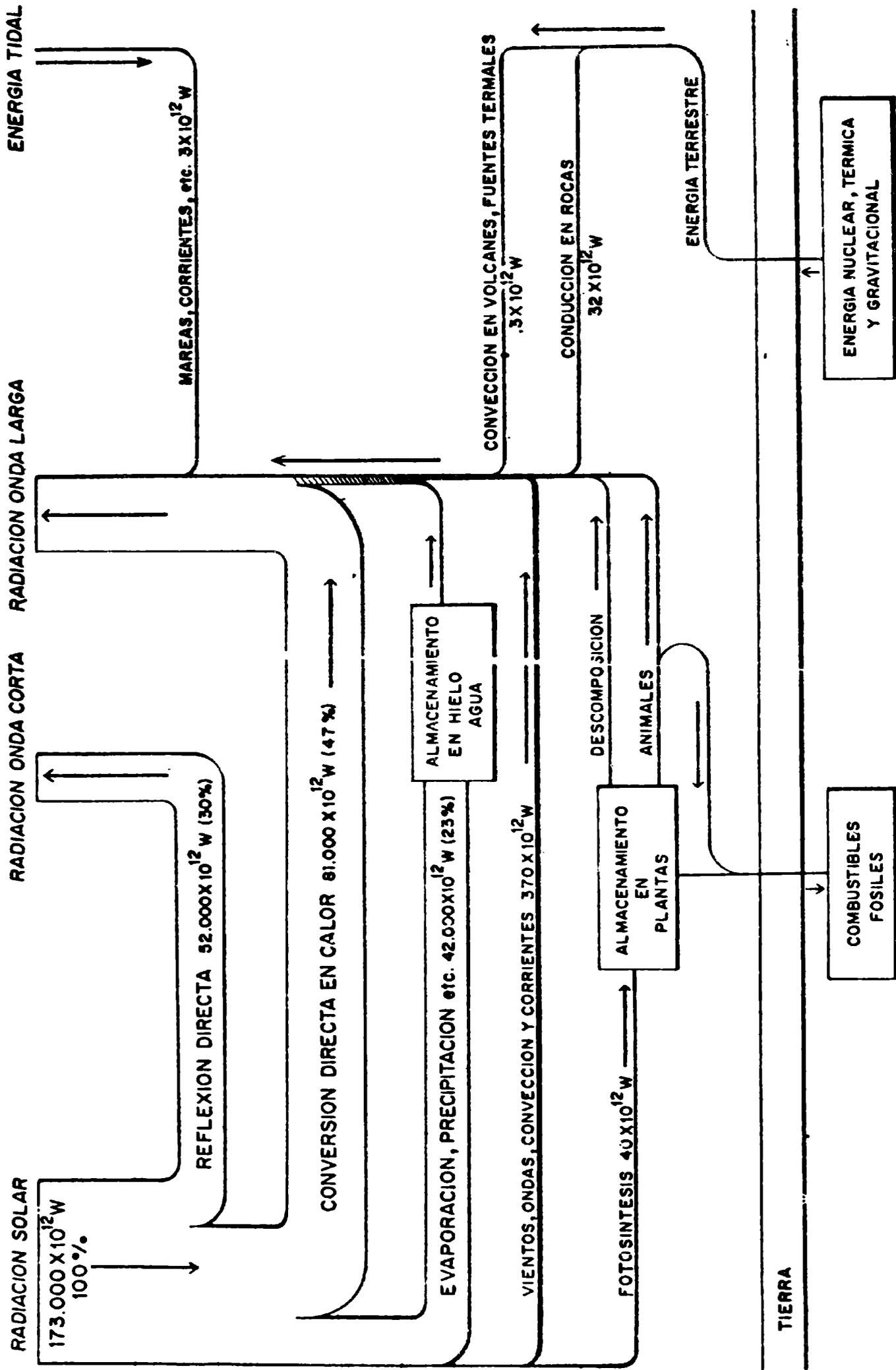


Figura 3

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, C.V., 1964. *Astrophysical Quantities; The Athlone Press, Univ. of London, London.*
- BRUZEK, A., 1967. *Physics of Solar Flares: The Energy and Mass Problem; in Solar Physics, Ed. J.H. Xanthakis, Wiley-Interscience, N. York, pp. 399-421.*
- DE JAGER, C., 1969. *Solar Flares; Properties and Problems; in Solar Flares and Space Research, Eds. C. de Jager y Z. Svestka, North Holland, Amsterdam, p. 1-15.*
- DE JAGER, C., 1972. *Solar Energy Sources; in Solar-Terrestrial Physics/1970, Ed. E.R. Dyer, Part I "The Sun", Ed. C. de Jager, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holanda, pp. 1-8.*
- HUNDHAUSEN, A.J. 1973. *Coronal Expansion and Solar Wind; Springer-Verlag, Berlin, Heildelberg, New York.*
- KIEPENHEUER, K.O., 1974. *An Assembly of Flare Observations as Related to Theory; AAS-NASA Symposium on The Physics of Solar Flares, Ed. W.N. Hess, NASA, SP-50, pp. 323-329.*
- KIEPENHEUER, K.O., 1966. *Proceedings of Sunspot Symposium; Ed. G. Barbera, Florence, p. 26.*
- KING HUBBERT, M., 1971: *The Energy Resources of the Earth; Scient. Amer., V. 224, n. 3, pp. 61-70.*
- KONDRATYEV, K. Ya., 1969: *Radiation in the Atmosphere; Academic Press, N.Y.*
- METZ, W.D., 1974: *Exploring the Solar System (II): Models of the Origin, Science, V. 186, pp. 814-818.*
- PARKER, E.N., 1963: *Astrophys. J. Suppl. 8, p. 177.*
- PECKER, J.C., PRADERIE, F. and THOMAS, R.N., 1973: *A Scheme of Stellar Atmospheric Regions; Astron. and Astrophys., V. 29, pp. 289-296.*
- PRADERIE, F., 1973: *Evidence for Stellar Chromospheres Presented by Ground-Based Spectra of the Sun and Stars; in IAU Colloquium n. 19, Stellar Chromospheres, Ed. E.H. Avrett, S.R. Jordan, NASA SP-317, p. 79-97.*
- REEVES, H., 1972: *Symposium of the Origen of the Solar System. Edition of the Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.*
- ROBINSON, N., 1966: *Solar Radiation; Elsevier Publ. Co., Amsterdam, Holland.*
- WILSON, P.R., 1971: *Facular Models and the Sunspot Energy Deficit; Solar Phys., V. 21, pp. 101-112.*

## UNA OBSERVACION DE RAYOS X EN LA ATMOSFERA DURANTE LA ERUPCION SOLAR DEL 7 DE AGOSTO DE 1972

H.S. GHIELMETTI\*, V.J. MUGHERLI e I.N. AZCARATE  
Instituto de Astronomía y Física del Espacio  
Buenos Aires, Argentina

Se describe una observación efectuada con un detector transportado por un globo estratosférico de un flujo adicional de rayos X secundarios ( $E \cong 30$  keV) que alcanzaron una gran profundidad atmosférica. Este exceso de radiación es atribuido a la emisión de rayos X de muy alta energía durante la erupción solar del 7 de agosto de 1972. Utilizando el método de Monte Carlo se calcula la propagación en la atmósfera de los fotones secundarios que resultan de sus interacciones electromagnéticas en el aire. Los cálculos muestran un buen acuerdo con la observación si se supone un espectro de los rayos X solares muy rico en la alta energía.

**It is described an observation with a balloon-borne detector of an additional flux of secondary X-rays. ( $E \cong 30$  keV) at great depths in the atmosphere. This radiation excess is attributed to the emission of very hard X-rays during the solar flare of August 7, 1972. Utilizing the Monte Carlo method the propagation in the atmosphere of the secondary photons resulting from their electromagnetic interactions in the air is computed. The computations agree with the observed flux if a very hard solar X-rays spectrum is assumed.**

\* De la Comisión Nacional de Energía Atómica.

## INTRODUCCION

Desde el descubrimiento de la emisión de rayos X duros en las erupciones solares (Peterson y Winckler, 1959) ha sido relativamente frecuente su observación, particularmente desde satélites artificiales (Arnóldy et al., 1968; Kane y Anderson, 1970; Frost y Denis, 1971) y con menor frecuencia con instrumental transportado por globos estratosféricos. Esta producción de rayos X es sólo uno de los aspectos del fenómeno y acompaña en distintas fases de su desarrollo, la emisión en la región visible y en ondas de radio. En particular, los perfiles temporales de la emisión en rayos X duros y la de microondas se superponen nítidamente y la producción de ambas radiaciones está íntimamente relacionada con los procesos de aceleración de electrones en el plasma de alta energía en la región de la erupción. En todos los casos detectados hasta ahora desde globos, el instrumental flotaba a profundidades atmosféricas de pocos  $g.cm^{-2}$  y la duración de los eventos al nivel de la observación no superó algunas decenas de segundos. Desde satélites, en cambio, existen algunos ejemplos en los que la emisión en energías de algunos centenares de keV duró varios minutos (Frost y Denis, 1971).

El evento que será considerado, ocurrido el 7 de agosto de 1972, tiene la particularidad de ser el primer caso en que rayos X secundarios resultantes de la emisión de rayos X solares se han observado hasta gran profundidad atmosférica, alcanzando los efectos una duración de varias decenas de minutos.

Durante la primera semana de agosto, la región solar McMath 11976 se mostró extraordinariamente activa siendo fuente de numerosas erupciones solares de distinta importancia, correlacionadas con efectos de gran intensidad observados en el espacio interplanetario y otros poco comunes que afectaron la atmósfera y la superficie terrestre en regiones de alta latitud geomagnética (McKinnon, 1972).

El 7 de agosto se produjo una de las erupciones más importantes de la serie, clasificada 3b. Según la observación clásica en  $H\alpha$  el fenómeno comenzó alrededor de las 15.00 T.U. y tuvo su máximo alrededor de las 15.30 T.U., siendo visible en luz blanca (Rust, 1972). En esta comunicación se presenta una observación efectuada con un instrumento muy simple transportado por un globo estratosférico que casualmente iniciaba su ascenso cuando comenzó esa erupción. Los satélites equipados con detectores de rayos X duros (OSO-7 y ESRO TD-1) cubrieron sólo parcialmente el fenómeno por hallarse eclipsados por la Tierra durante parte de su desarrollo.

## LA OBSERVACION

El globo estratosférico fue lanzado a las 14.35 T.U. del 7 de agosto desde El Chamical, La Rioja, transportando como parte secundaria de su carga, un detector simple. Este detector ha sido utilizado con anterioridad en numerosos vuelos (Ghielmetti et al, 1964; IAFE, 1972) por lo que su comportamiento a lo largo de la atmósfera, en condiciones normales de la actividad solar, es conocido con gran seguridad. El sistema está constituido por un telescopio de dos contadores Geiger-Müller de características distintas (Ghielmetti et al, 1964). Uno de

los contadores (G-M, Al) tiene una delgada pared de aluminio mientras que en el segundo (G-M, Bi) se agrega internamente un recubrimiento de bismuto. Del sistema se transmiten separadamente los contajes de cada contador y su doble coincidencia (telescopio).

En este vuelo particular, las curvas de crecimiento del contaje de uno de los contadores (Bi) y del telescopio, durante todo el ascenso, fueron normales comparadas con las de vuelos anteriores desde el mismo lugar. El contador de paredes de aluminio, en cambio, contó en exceso durante parte del ascenso. Este exceso de contaje se muestra en la Figura 1, promediado sobre intervalos de 5 minutos de duración. El exceso comienza a ser notable (estadísticamente) en el intervalo 15:10-15:15 T.U. y alcanza su máximo entre las 15.25 y 15.30 T.U. Un análisis temporal más fino indica que el flujo adicional desaparece bruscamente a las 15.59 T.U. cuando el contaje recupera valores próximos, aunque sistemáticamente menores en alrededor de un 2%, a los valores normales para alturas correspondientes. La característica más notable de la observación es que el exceso comienza a ser registrado cuando el detector se encontraba a una profundidad atmosférica de unos  $250 \text{ g.cm}^{-2}$ , equivalente a unos 10 km. de altura.

La erupción, observada en  $H_{\alpha}$  comienza alrededor de las 15.00 T.U. y alcanza su máximo aproximadamente a las 15.30 T.U. junto con el máximo de la emisión en radio, lo que muestra una significativa correlación temporal con la observación del detector transportado por el globo. Además, desde satélites, los detectores de rayos X, tanto blandos (SOLRAD 9 y 10) como duros (OSO-7 y ESRO TD-1) registraron sobre el mismo intervalo y aún posteriormente una intensa emisión de rayos X solares. Otros detectores de partículas cargadas (protones y electrones) mostraron también un intenso flujo de origen solar que alcanzó para los protones energías de algunos centenares de MeV lo que produjo un incremento en los registros de los monitores de neutrones ubicados a alta latitud geomagnética.

Los contadores del sistema utilizado en el vuelo tienen una eficiencia de casi el 100 % para la detección de partículas cargadas y no más del 1% para la radiación electromagnética (X y  $\gamma$ ). Sin embargo el fenómeno en consideración no puede atribuirse al primer tipo de radiación pues las partículas solares cargadas sólo alcanzaron regiones próximas a los polos, mientras que esta observación se realizó en un lugar cuyo corte geomagnético implica partículas primarias de energía superior a los 10 GeV

El hecho de que el exceso fuera observado sólo por el contador de aluminio, permite inferir la naturaleza de la radiación detectada. En efecto, aunque la eficiencia para la radiación X y  $\gamma$  es baja, este contador tiene una sensibilidad mayor que el de Bi para rayos X de energía inferior a unos 40 keV (Keppler, 1965). La atenuación en la atmósfera de rayos X solares de esas energías incidentes en su tope es tan alta a la profundidad considerada ( $> 100 \text{ g.cm}^{-2}$ ) que esta posibilidad debe descartarse. En lo que sigue se examinará la hipótesis de que los rayos X observados ( $E < 40 \text{ keV}$ ) son producto de la degradación, por sus interacciones en la atmósfera, de rayos X con energías de centenares de keV originados en la erupción solar. Para ello ha sido necesario considerar su propagación en la atmósfera con el objeto de deducir la intensidad de la fuente de esos fotones secundarios creados a distintas alturas y su contribución en el punto de observación.

### Cálculo de Monte Carlo

Los fotones X de baja energía que se observarían dentro de la atmósfera como consecuencia de la incidencia de un flujo adicional de origen solar, resultan de una multitud de interacciones sucesivas y su distribución espectral, y con la altura, son imposibles de obtener en forma analítica, por lo que se debe recurrir a una simulación estadística de los procesos físicos. Por la composición del aire: átomos de bajo número atómico, los rayos X de energía superior a unos 100 keV experimentan casi exclusivamente interacciones tipo Compton. Cuando su energía es degradada por debajo de unos 50 keV, los fotones pueden desaparecer por efecto fotoeléctrico. Para energías mucho mayores algunas interacciones resultan en la producción de pares electrón-positrón. Estos tres efectos han sido tenidos en cuenta en el cálculo de Monte Carlo para obtener la producción en función de la profundidad atmosférica de fotones de energía inferior a unos 40 keV que se suponen que son los que han contribuido al exceso de contaje observado.

En el cálculo de Monte Carlo se supone una atmósfera plana sobre la que inciden rayos X monocromáticos. Se han analizado dos casos en los que los fotones inciden perpendicularmente o con una inclinación de 45°. Este segundo caso se acerca a la situación real pues en la hora del evento aquí descrito la elevación del Sol era de unos 45°.

El diagrama de flujo del cálculo es muy similar al presentado en un trabajo que acompaña a éste (Mugherli y otros, 1976) por lo que no se repite aquí. Difiere en la información final entregada por el cómputo. En resumen, el cálculo provee el número de fotones **producidos** en capas de atmósfera de 1 g-cm<sup>-2</sup> de espesor en función de la profundidad atmosférica  $x$ . Como salida secundaria, que no discutiremos en esta comunicación, provee también la distribución espectral de los fotones de albedo, que reemergen en el hemisferio de incidencia.

Los resultados globales para incidencia 45° se dan en la Tabla 1 para energías primarias entre 100 keV y 5 MeV. De la Tabla 1 surge claramente lo complejo de la situación real pues es obvio el alto promedio de interacciones producidas por cada fotón incidente. Por otra parte se observa que la duración del cálculo es considerable (más de 1/2 hora de máquina para cada energía) por lo que el programa ha debido ser limitado en su contenido. Por ejemplo, los electrones que resultan en cada interacción Compton no han sido seguidos en su andar posterior y por lo tanto no se incluye en la producción su radiación de frenado. La inclusión de este efecto hubiese prolongado considerablemente la duración de cada cálculo considerando las características de la computadora empleada (IBM/360).

La producción por cada fotón incidente, calculada en función de la profundidad atmosférica se da en la Figura 2. De ella surge que para energías primarias crecientes aumenta la producción relativa a profundidades grandes.

### Cálculo de la Función Fuente S(X)

El cálculo de Monte Carlo proporciona el número  $n(E, x)$  de fotones de energía entre 20 y 40 KeV producidos en una capa de espesor  $dx$  ( 1 g-cm<sup>-2</sup> ) a la profundidad  $x$  originados por  $N$  fotones de energía  $E$  incidentes al tope de la

atmósfera ( $N=n^\circ$  de historias simuladas en el cálculo). Con esta información básica puede construirse, como veremos, la función fuente  $S(x)$  de por lo menos, una fracción considerable de los fotones que contribuirán al exceso de conteo observado por el contador de Al.

Considerando incidencia normal, y suponiendo que en cada capa de espesor  $dx$  la producción por cada fotón incidente en el tope es uniforme y se extiende sobre un círculo de radio  $R(E,x)$  alrededor de la dirección de incidencia, vale la relación

$$\pi R^2(E,x) P(E,x) dx = \left[ \frac{n(E,x)}{N} \right]_{MC} \quad (1)$$

donde  $P(E,x)$  es el número de fotones (20-40 keV) generados por cada fotón incidente de energía  $E$  y por cada gramo de aire. El segundo miembro es el resultado del cálculo de Monte Carlo. Considerando la densidad del aire  $\rho(x)$ , la producción por unidad de volumen a la profundidad atmosférica  $x$  es dada por:

$$\rho(x) P(E,x) = \frac{\rho(x)}{\pi R^2 dx} \left[ \frac{n(E,x)}{N} \right]_{MC} \left( \frac{\text{fot}}{\text{fot}_i \cdot \text{cm}^3} \right) \quad (2)$$

A la fuente de fotones (20-40 keV) en cada punto de la atmósfera contribuirán los fotones primarios incidentes en un círculo de radio  $R(E,x)$  centrado alrededor de la vertical que pasa por el punto en consideración. Por lo tanto la fuente puntual  $S(x)$  se obtiene de

$$S(x) = \int_{E_{\min}}^{\infty} \int_S \rho(x) P(E,x) J(E) dS dE \left( \frac{\text{fot}}{\text{cm}^3} \right) \quad (3)$$

donde  $dS$  es un elemento de área en el tope de la atmósfera y  $J(E)$  es el espectro diferencial de los rayos X solares.

### Flujo de Fotones a Gran Profundidad

El cálculo del flujo de fotones de baja energía ( $E < 40$  keV) a gran profundidad atmosférica depende de la función fuente y ésta, a su vez, depende fuertemente del flujo y forma espectral de los rayos X solares.

En base a los cálculos de Monte Carlo para varias energías se ha deducido la dependencia con  $x$  de la función producción  $P(E,x)$ . Como el exceso se ha observado a gran profundidad atmosférica ( $70 < x < 250$  g.cm<sup>-2</sup>) y la atenuación de los fotones secundarios de baja energía es grande (longitud de atenuación  $\approx 10$  g.cm<sup>-2</sup> para el rango 10-40 keV), esto restringe el cálculo a la contribución de las capas atmosféricas próximas al nivel de observación por lo que, como surge

de la Figura 2, la función producción puede aproximarse por una ley exponencial  $k(E) \cdot e^{-x/l(E)}$  cuyos parámetros, dependientes de E, se ajustan con los valores resultantes del cálculo de Monte Carlo.

El espectro de los rayos X solares puede aproximarse por una ley potencial  $AE^{-\alpha}$ , por lo que la función fuente resultará

$$S(x) = A \int_{E_{\min}}^{\infty} k(E) e^{-\frac{x}{l(E)}} E^{-\alpha} dE \tag{4}$$

Para profundidades grandes a su vez  $S(x)$  puede ajustarse empíricamente por una función exponencial  $K(\alpha) \cdot e^{-x/L(\alpha)}$  donde ahora K y la longitud de atenuación L dependen fuertemente del exponente  $\alpha$  del espectro solar., El flujo a una profundidad x, se calcula entonces con

$$F(x) = \frac{AK}{2} \int_0^{\pi/2} \left[ \int_0^x e^{-\frac{x'}{L}} e^{-\frac{\mu(x-x')}{\cos\theta}} dx' + \int_x^{\infty} e^{-\frac{x'}{L}} e^{-\frac{\mu(x'-x)}{\cos\theta}} \right] \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \cdot d\theta \tag{5}$$

donde  $\mu$  ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) es el coeficiente de atenuación de los fotones ( $E < 40 \text{ keV}$ ) producidos. Integrando resulta

$$F(x) = \frac{AK}{2\mu} e^{-\frac{x}{L}} \left[ L\mu \ln \frac{L\mu + 1}{L\mu - 1} - e^{-\frac{x}{L}} \mu x \int_{\mu x}^{\infty} \frac{e^{-y} dy}{y(y-x/L)} \right] \tag{6}$$

El flujo máximo observado alrededor de una profundidad de unos  $150 \text{ g.cm}^{-2}$ , se estima entre  $1$  y  $10 \text{ fot.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}$  ( $E < 40 \text{ keV}$ ) y para la comparación con los valores calculados es necesario adoptar valores para A y  $\alpha$ . Lamentablemente no se ha publicado la observación de un espectro detallado de los rayos X duros durante el máximo de la emisión solar. La información disponible será analizada más adelante.

Valores típicos del exponente  $\alpha$  observados en algunos casos aislados y sin mayor resolución espectral varían entre 3 y 4, para la región de los X más duros ( $E > 100 \text{ keV}$ ). Para la erupción del 2 de agosto de 1972 de importancia 1B, el espectro observado por Datlowe y Peterson (1973) en el rango 10-300 keV se ajusta con  $1.5 \times 10^7 E^{-3.7} \text{ fot.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}.\text{keV}^{-1}$  y para la erupción del 4 de agosto varias muestras espectrales tomadas por van Beck (1973) para  $E > 75 \text{ keV}$ , dan leyes comprendidas entre  $1,6 \cdot 10^{10} \cdot E^{-5.1}$  y  $2,9 \cdot 10^6 \cdot E^{-3.2} \text{ fot.cm}^{-2} \text{ seg}^{-1}.\text{keV}^{-1}$ . Aunque, la emisión total en X de este último caso lo ubica entre los mayores observados, el fenómeno del 7 de agosto lo superó por un factor considerable. Así la emisión en el rango de los rayos X blandos, observada por los satélites SOLRAD 9 y 10 lleva a una estimación de cerca de  $1 \text{ erg.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ .

(Dère et al. 1973).

Por otra parte es actualmente aceptado que en algunos casos por lo menos la emisión de rayos X duros, de origen no-térmico, se lleva a cabo en dos etapas sucesivas que revelan dos mecanismos de aceleración de los electrones que los generan como radiación de frenado (Frost y Dennis, 1971). El espectro en la segunda fase es más duro, es decir relativamente más rico en altas energías. Como se dice más arriba, los valores de  $\alpha$  determinados en algunos casos aislados varían entre 3 y 4 aunque en el evento detectado en marzo de 1969 por el OSO-5 (Frost y Dennis, 1971), el espectro medido en la segunda fase se ajusta con  $\alpha \approx 2$ , por lo menos hasta los 250 keV. Todo esto indica que es difícil adoptar valores para los parámetros A y  $\alpha$  del flujo solar a menos que se disponga de una determinación simultánea con el fenómeno en consideración.

La erupción del 7 de agosto ha sido sólo parcialmente cubierta por los detectores de rayos X duros instalados en el OSO-7 y ESRO TD-1. El primer satélite estaba eclipsado por la Tierra durante el máximo de la erupción y comenzó a observar el Sol a las 15:36 T.U. El segundo observó el Sol durante 9 minutos a partir de las 15:13:30 T.U. penetrando a la región de Van Allen durante el máximo en  $H_{\alpha}$ . En este caso los datos publicados corresponden a los contajes integrales de tres de los canales del analizador (35-46, 61-87 y 231-317 keV). Con la ayuda de la función respuesta del detector (Van Beck, 1973) se deduce que los contajes máximos observados alrededor de las 15:21:30 T.U. son compatibles con  $10^7 E^{-3}$ . A pesar de que cuando el detector penetra en la región de Van Allen el fondo instrumental cambia considerablemente, haciendo algunas correcciones gruesas se puede concluir que el contaje de los primeros canales son compatibles con un espectro mucho más duro ( $\alpha = 1-2$ ).

Frente a la incertidumbre sobre el verdadero espectro de los rayos X duros emitidas durante la erupción considerada y la variabilidad de sus parámetros, se han ensayado distintos valores del exponente estimando el valor de A necesario para obtener un flujo secundario (20-40 keV) como el observado dentro de la atmósfera, tomando por ejemplo su valor entre las 15:25 y 15:30 ( $F(150) = 1-10 \text{ fot.cm}^{-2} \text{ seg}^{-1}$ ). En la Tabla 2 se dan los valores resultantes.

Para  $\alpha \leq 3$  los valores de A, aunque mayores que los que se deducen en observaciones anteriores, no pueden considerarse imposibles si se tiene en cuenta que el evento en consideración es posiblemente el más intenso observado por distintos medios en la región de los rayos X. Esto es apoyado por lo extraordinario de otras observaciones, por ejemplo, de la absorción ionosférica del ruido cósmico (CNA) observada en Neustrelitz (Knuth y Ohle, 1973) que supera la del 4 de agosto y además es la mayor detectada en 13 años desde la instalación del instrumento.

## CONCLUSIONES

La interpretación de que el exceso de radiación X secundaria observada a gran profundidad atmosférica (desde una altura equivalente cercana a los 10 km) se origina en rayos X solares se apoya en: a) la coincidencia temporal de la observación con el fenómeno solar y lo extraordinario de este último, por la energía liberada, su duración y sus otros efectos terrestres y b) los resultados del

Método de Monte Carlo que muestran cuantitativamente que para un espectro suficientemente duro ( $\alpha \leq 3$ ) y suficientemente intenso (A grande) compatible con el fenómeno solar, la producción de radiación secundaria de baja energía puede alcanzar valores de flujo observable a gran profundidad.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales por su apoyo a los lanzamientos efectuados en Chamical, La Rioja, en agosto de 1972. Y a las autoridades de la Base Aérea de Chamical por su hospitalidad durante la Campaña.

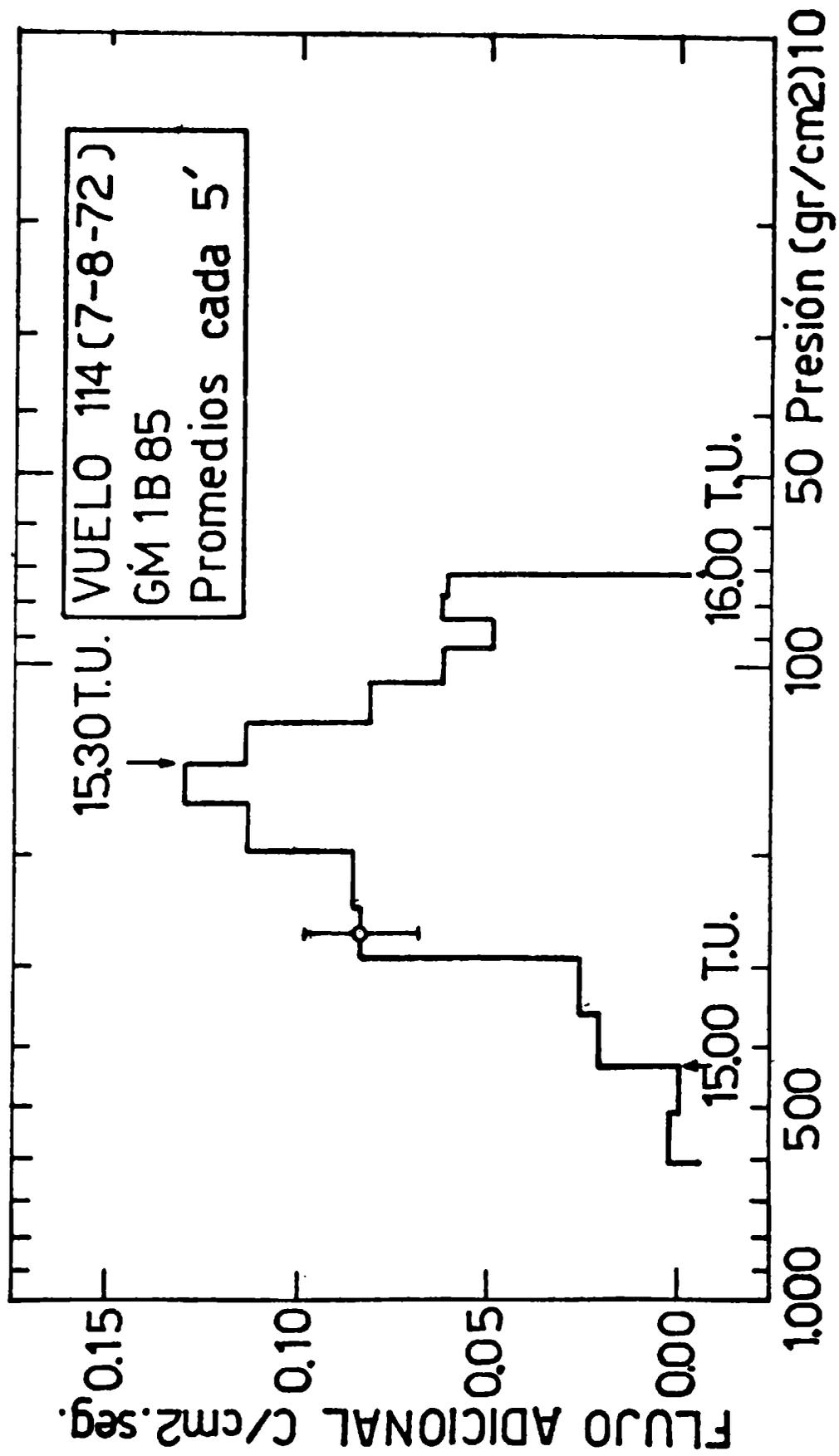


Figura 1 - Exceso de contaje en el contador de Al en función de la profundidad atmosférica.

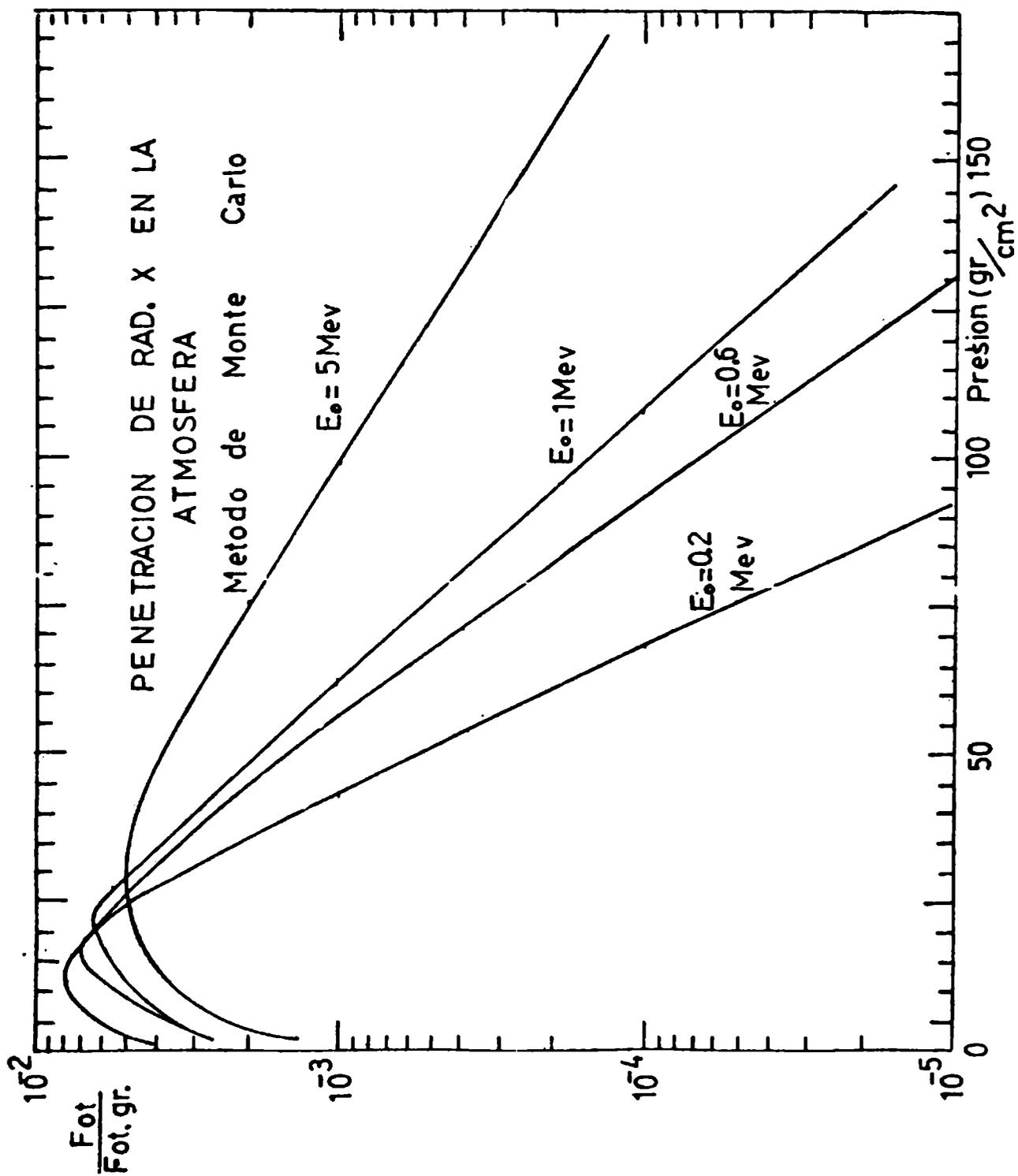


Figura 2 — Función producción para distintas energías de los rayos X incidentes.

MONTE CARLO – PROPAGACION RAD. X – ATMOSF. PLANA –						
INCIDENCIA 45° $E_{INF} = 20 \text{ keV}$ $E_{SUP} = 40 \text{ keV}$						
	ENERGIA INCIDENTE (Mev)					
	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	5.0
Nº de Historias	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^4$
Nº Fot. 20-40 keV Creados	2.060	2.039	2.076	2.224	2.545	3.418
Nº Int. Fotoelec.	3.523	3.251	3.415	3.566	3.893	5.223
Nº Int. Compton	47.931	65.893	79.479	86.799	96.917	124.993
Nº Int. C. Pares	0	0	0	0	0	1.088
Albedo Integrado	4.417	4.710	4.509	4.210	3.562	2.447
Tiempo de Cálculo	30 <sup>m</sup>	59 <sup>s</sup>	22 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	24 <sup>m</sup>	26 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	33 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>

Tabla 1 – Resultados globales del cálculo de Monte Carlo para distintas energías de los rayos X incidentes.

$\alpha$	A ( $\Phi = 1-10$ fot. $\text{cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ )
2.0	$6.0 \times 10^{5-6}$
2.5	$4.2 \times 10^{7-8}$
3.0	$2.0 \times 10^{9-10}$
3.5	$7.3 \times 10^{10-11}$
4.0	$2.1 \times 10^{12-13}$

Tabla 2 — Valores estimados del coeficiente A en el flujo de rayos X solares para reproducir el flujo observado dentro de la atmósfera, calculados con distintos valores del exponente  $\alpha$ .

## BIBLIOGRAFIA

- ARNOLDY, R.L., KANE, S.R. and WINCKLER, J.R. 1968: Energetic solar flare X-rays observed by satellite and their correlation with solar radio and energetic particle emission; *Ap. J.*, v. 151, n. 2, p. 711-736.
- DATLOWE, D.W. and PETERSON, L.E. 1973: OSO-7 observations of solar X-ray bursts from 28 July to 9 August 1972; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG-28, Part II*, p. 291-295.
- DERE, K.P., HORAN, D.M. and KREPLIN, R.W. 1973: Solar X-ray emission measured by SOLRADS 9 and 10 during the period July 26-August 14, 1972; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG-28, Part II*, p. 298-318.
- FROST, K.J. and DENIS, B.R. 1971: Evidence for hard X-rays from two-stage acceleration in a solar flare; *Ap. J.*, v. 165, p. 655-659.
- GHIELMETTI, H.S., GODEL, A.M. y ROEDERER, J.G. 1964: High altitude cosmic ray intensity measurement at low geomagnetic latitudes. Part I: Low weight equipment for cosmic ray detection; *SPARMO Bulletin n. 2*, p. 1-7.
- IAFE, 1972: Resultados de mediciones con globos estratosféricos; *Publicaciones de Registros n. 1*.
- KANE, S.R. and ANDERSON, K.A. 1970: Spectral characteristics of impulsive solar flare X-rays  $\geq 10$  keV; *Ap. J.*, v. 162, p. 1003-1018.
- KEPPLER, E. 1965: Zur Interpretation von Röntgenstrahlungsmessungen in Ballonhöhe in der Nordlichtzone; *Mitteilungen aus dem Max-Planck-Institut für Aeronomie*, v. 20, p. 29-61.
- KNUTH, R. and OHLE, K.H. 1973: SID effects during July/August event 1972; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG-18 Part II*, p. 574-578.
- McKINNON, J.A. 1972: August 1972 solar activity and related geophysical effects; *NOAA Technical Memorandum ERL SEL-22*.
- MUGHERLI, V.J., AZCARATE, I.N. y GHIELMETTI, H.S. 1976: Transmisión de un colimador de plomo para radiación gama de alta energía. *Geoacta*, V. 8, n. 1 págs. 129 a 145.
- PETERSON, L.E. and WINCKLER, J.R. 1959: Gamma ray burst from a solar flare; *J. of Geophysical Research*, v. 64, p. 697-707.
- RUST, D.M. 1972: The great flares of August 1972; *Sky and Telescope*, v. 44, p. 226-230.
- VAN BECK, H.F. 1973: Development and performance of solar hard X-ray spectrometer: Tesis, Universidad de Utrecht.
- VAN BECK, H.F., HOYNG, P. and STEVENS, G.A. 1973: Solar flares observed by the hard X-ray spectrometer on board the ESRO TD-1A satellite; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG 28, Part. II*, p. 319-324.



## ALGUNAS ADVERTENCIAS A LOS ESTUDIOSOS DE LA GEODESIA

RAFAEL N. SANCHEZ

Instituto de Geodesia y Topografía, Facultad de Ciencias  
Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán

La detección de aparentes errores de concepto en obras de prestigiosos geodestas suscita lógicamente perplejidad y estimula —eso es lo positivo— la investigación. Se presentan aquí varios casos incluyendo al final un error atribuido, en el "Bulletin Géodésique" al autor de este artículo, quien, se entiende, no entra en la calificación mencionada más arriba.

**The detection of apparent mistakes when studying famous geodesists' works puzzles the reader. This stimulates research, which is the positive part of it. In this paper several cases are presented; the last one is an error attributed to the Author in the "Bulletin Géodésique". The Author is, of course, excluded from the above qualification.**

Se discuten en este trabajo algunos errores detectados en prestigiosos autores de la bibliografía geodésica, más dos casos domésticos.

### 1. El Caso del Péndulo físico:

Al plantear la teoría del péndulo físico Heiskanen y Vening Meinesz (1958) en su difundido texto *The Earth and its Gravity Field*, página 91, relacionan la aceleración angular de una partícula elemental con las componentes horizontal y vertical de la aceleración, partiendo de

$$v = ds/dt = r\omega$$

donde  $v$  es la velocidad de la partícula situada a distancia  $r$  del eje de suspensión, y  $\omega$  la velocidad angular del péndulo físico en ese instante. Después de unas transformaciones legítimas los autores llegan a

$$-x \, d^2z/dt^2 + z \, d^2x/dt^2 = r^2 \, d\omega/dt.$$

Por ser los ejes  $x$ ,  $z$ , respectivamente horizontal y vertical, los autores dicen (en inglés) "Como las cantidades  $d^2z/dt^2$  y  $d^2x/dt^2$  son las componentes de la aceleración de la gravedad en las direcciones de los ejes  $z$ ,  $x$  resultan respectivamente  $g$ , cero y entonces obtenemos:

$$-gx = r^2 \, d\omega/dt."$$

En ese razonamiento se admite que cada elemento de masa de un péndulo físico se mueve como un péndulo matemático sin sufrir aceleración alguna de los elementos contiguos. Está claro que no es preciso utilizar esa vía discutible para encontrar la aceleración angular producida en un péndulo físico por el momento generado en cada instante por el peso de sus partículas elementales, teniendo en cuenta el momento de inercia del péndulo respecto del eje de oscilación.

### 2. El caso de la Cumbre más sobresaliente de la Tierra:

En el excelente volumen *The Gravity Field of the Earth* de M. Caputo (1967), página 138, el autor se propone analizar la convergencia de desarrollos en serie del potencial gravífico y apela a la esfera más pequeña que, conteniendo a todas las masas sólidas de la Tierra, tiene su centro en el centro de masa planetario. Dado que en ese contexto Caputo menciona la cumbre del Everest se puede presumir que no verificó la diferencia entre el radio geocéntrico correspondiente al Everest a  $28^\circ$  de latitud y el que corresponde a la cumbre más alta cercana al Ecuador, el Chimborazo, a latitud  $2^\circ$ . La distancia de un punto de la superficie topográfica al centro de masa de la Tierra puede calcularse prácticamente por la suma de:

radio vector  $g$  del elipsoide terrestre para esa latitud,

altitud N del geóide respecto del ET en ese lugar, y  
altitud H del punto en cuestión respecto del nivel del mar.

Más abajo se comparan esas sumas para cuatro cerros característicos; el radio vector geocéntrico  $g$  se estimó con la expresión

$$g = a (1 - 0,5 e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi + 0,5 e^4 \operatorname{sen}^2 \varphi)$$

tomada de Jordan et al. (1959) en la que  $a$  es el semieje mayor del ET e la primera excentricidad y  $\varphi$  la latitud. Las altitudes N se tomaron de la solución llamada WGS72 del Departamento de Defensa de Estados Unidos, T.O. Seppelin (1974).

	H	N	Diferencia g-a	Distancias geocéntricas menos a g-a+N+H
	(m)	(m)	(m)	(m)
Chimborazo	6270	+25	-24	6271
Kilimanjaro	5895	-20	-54	5821
Everest	8848	-30	-4400	4418
Aconcagua	6960	+50	-5900	1110

Parecería que la esfera citada por Caputo deja fuera los últimos 1400 m del Kilimanjaro y los 1850 m superiores del Chimborazo, de modo que no respondería a las condiciones requeridas. (1)

### 3. El caso de los Parámetros de un Sistema geodésico:

En un trabajo anterior, Sánchez (1971), recordábamos que los parámetros de un sistema geodésico son 8. En efecto, a los dos parámetros del elipsoide de referencia (ER) se agregan las tres coordenadas del punto inicial que dan posición a un punto del ER y su normal más las tres magnitudes angulares que orientan convenientemente al ER respecto del eje fundamental y primer meridiano del sistema geográfico que son, respectivamente, el eje medio de rotación de la Tierra y el meridiano medio convencional de Greenwich. En la página 85 de Geodesy, 2a. edición, de G. Bomford (1962), el más difundido texto inglés de geodesia, se decía que la definición de un ER involucra 7 constantes. Se puede verificar en la 3a. edición, Bomford (1972) que el autor reemplaza en el mismo párrafo 7 por 8. La consideración del 8° parámetro que ubica al primer meridiano del ER paralelo al meridiano medio convencional de Greenwich se hace indispensable si en la red geodésica hay estaciones Laplace, como ocurre en general. La definición de la desviación relativa de la vertical y la expresión del acimut Laplace suponen no sólo la coincidencia del eje de figura del ER con el eje de rotación medio del

<sup>1</sup> Según un colega presente en la reunión de Salta, ya Ripley había difundido esa circunstancia en su notoria serie 'Créase o no'. En la experiencia del autor de este trabajo, la cuestión es, no obstante, generalmente ignorada entre los geodestas. Curiosamente la montaña ecuatorial resultó vinculada a la historia de la geodesia por los trabajos de Pierre Bouguer en el siglo XVIII. Ver J. Goguel (1971).

planeta sino también la del primer meridiano del ER con el meridiano medio de Greenwich. Coincidencia en materia de direcciones sólo significa en realidad paralelismo.

Está claro que en ciertos casos de limitada extensión el ER o simplemente una esfera de referencia puede requerirse meramente a los efectos de compensar una red geodésica y calcular sus lados y ángulos compensados sin llegar a las coordenadas geográficas. Dos parámetros o todavía uno, serían suficientes en tales casos, en los cuales la astronomía geodésica no jugaría ningún rol; la superficie de referencia sólo serviría para compatibilizar observaciones superabundantes de distancias y ángulos horizontales.

#### **4. El Caso de las Fuerzas de Inercia mal calculadas:**

Los buenos tratados de geodesia, por ejemplo Baeschlin (1948), recomiendan calcular la influencia de la Luna sobre la gravedad en un punto P de la superficie terrestre (véase la Figura 1) considerando el vector que resulta de restar la atracción gravitacional de la Luna en P menos la atracción de la Luna en el centro de masa de la Tierra. El método se justifica porque  $-A_0$  es la fuerza de inercia generada en todo punto terrestre en ese instante por el movimiento orbital Tierra-Luna. La órbita de la Tierra alrededor del Sol es perturbada por la revolución de la Luna así que es necesario tener en cuenta que en cada instante la Tierra está sometida a una translación circular de radio igual a la distancia entre su centro de masa y el centro C de masa del sistema T-L y período aproximadamente igual a 28 días. J. Bartels lo explica en página 734 del tomo XLVIII de la enciclopedia de física editada por Flüge (1957).

Según Bomford (1962) en la citada segunda edición de su *Geodesy*, página 247, la fuerza de inercia generada por la revolución de la Luna es, en cambio, la fuerza centrífuga correspondiente a una rotación alrededor del centro C de masa del sistema. En el punto Z de la Figura 1, en cuyo cenit se encuentra la Luna, la disminución observable en la intensidad de la gravedad por efecto de la Luna sería, según Bomford, la suma de la atracción de la Luna sobre la masa unitaria, más la aceleración centrífuga generada por la rotación alrededor de C. En realidad la citada disminución no es tan grande: aplicando la simple idea de Baeschlin vendría a ser la diferencia entre la mencionada atracción y la correspondiente al centro de masa de la Tierra. La reducción lunar en Z para una Tierra rígida oscilaría en 0,12 mgal mientras que la teoría de Bomford daría 4,51 mgal.

#### **5. El Caso de la Gravedad mal definida:**

El excelente *Physical Geodesy* de Heiskanen y Moritz (1967), texto obligado para los estudiantes de geodesia gravimétrica en las universidades norteamericanas, empieza el capítulo 2 dedicado al campo de gravedad de la Tierra con esta proposición:

“2.1. Gravedad: La fuerza que actúa sobre un cuerpo en reposo en la superficie de la Tierra es la resultante de la atracción gravitatoria y la fuerza

céntrica de la rotación terrestre” Después de adoptar una masa unitaria, describir la atracción de las masas terrestres sobre la misma y tener en cuenta la fuerza centrífuga, dicen los autores: “La fuerza total, la resultante de la fuerza gravitacional y la fuerza centrífuga, se llama gravedad”

A la primera proposición cabría observar que si un cuerpo está en reposo en la superficie de la Tierra es porque esta superficie ejerce sobre el mismo una fuerza igual y opuesta a su peso. Si además el cuerpo está en contacto con el aire habría que agregar a su peso menos el empuje del aire desalojado. Es decir, los autores mencionan sólo una de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en reposo en la superficie de la Tierra: el peso, mientras que, evidentemente, el equilibrio exige por lo menos un par de fuerzas iguales y opuestas.

Además la gravedad es una aceleración, no una fuerza. Su intensidad se mide en  $\text{cm}/\text{seg}^2$ . Que numéricamente la medida del peso de la masa uno sea igual a la medida de la intensidad de la gravedad, no autoriza a decir que el peso de la masa uno se llama gravedad como sostienen los autores en la segunda de las proposiciones acotadas. En mi opinión debió definirse la gravedad como la aceleración observable cuando una masa deja de estar vinculada a un sistema fijo a la Tierra y comienza a caer en el vacío en ausencia de perturbaciones sísmicas, eléctricas, etc. Las actuales determinaciones absolutas de la intensidad de la gravedad explotan los recursos de la tecnología precisamente en experimentos de tipo balístico según esa definición.

## 6. El Caso de las Concavidades imposibles:

Si un área del geoide presentara una concavidad hacia arriba en forma de casquete esférico está claro que una plomada suspendida en el centro de esa esfera, con el plomo al nivel de geoide, podría quedarse en equilibrio en cualquier punto de la concavidad. Lógicamente ello no significa que en el centro de suspensión haya múltiples direcciones de la vertical y que pueda demostrarse por el absurdo la imposibilidad de tales concavidades.

No existe teóricamente ninguna razón que excluya la existencia de esas concavidades; menos aún que esa curvatura inversa pueda producirse en secciones verticales del geoide en puntos hiperbólicos donde la curvatura media sea todavía normal, no inversa. F. Hopfner (1933) y K. Ledersteger (1956) comentan en sus clásicas obras la posible existencia de concavidades hacia arriba de superficies de nivel o de secciones verticales de las mismas.

Por lo dicho llama la atención alguna afirmación del desaparecido M. Hotine (1969) en su *Mathematical Geodesy*, tratado fundamental de la geodesia moderna editado como monografía N° 2 por ESSA de los Estados Unidos. Analizando las características de las líneas (rayos de luz, etc.) de que los geodestas se valen para sus observaciones a distancias terrestres, satelitarias o astronómicas, se refiere Hotine en página 232 de su obra a la curvatura  $k$  de una sección vertical de una superficie de nivel y dice: “Mientras que  $k$  es siempre negativo...” agregando al pie de la página esta llamada: “<sup>2</sup> De otra manera dos verticales adyacentes podrían cortarse en el aire en puntos que vendrían a tener dobles valores de latitud y longitud astronómicas. Eso está en contra de la experiencia”

Es cierto que la experiencia no ha verificado —que se sepa!— la existencia de algún caso de concavidad pero parecería que la razón esgrimida por Hotine también eliminaría la posibilidad de curvaturas de signo normal, no inverso, quedando el modelo plano como único posible!

Para evaluar la posibilidad de que se verifiquen curvaturas de signo inverso recordemos que la curvatura media de una superficie de nivel en uno de sus puntos se relaciona, a través del teorema de la divergencia, con el gradiente vertical de la gravedad, de modo que éste es igual a la suma  $-2gJ + 4\pi k\rho - 2\omega^2$  donde J representa la curvatura media de la superficie de nivel; k la constante de gravitación; g la intensidad de la gravedad y  $\rho$  la densidad de las rocas en el punto considerado. Los 4 términos tienen los siguientes valores aproximados en la superficie del planeta:

$$2gJ = 0,3330 \cdot 10^{-5} \text{ u.C.G.S.}$$

$$4\pi k\rho = 0,2232 \cdot 10^{-5}; 2\omega^2 = -0,0014 \cdot 10^{-5}$$

gradiente vertical de g en el aire =  $0,3085 \cdot 10^{-5}$  u.C.G.S. para rocas de densidad 2,67 Resulta entonces que para tener una superficie de nivel plana en el aire, debe prácticamente anularse el gradiente vertical de la gravedad porque la influencia del término centrífugo  $2\omega^2$  puede ser despreciada. Gradientes verticales inversos de la gravedad se asocian; por lo tanto, en el aire a concavidades hacia arriba de las superficies de nivel. En el eje de un cuerpo como el representado en la Figura 2, de dimensiones

$$r_1 = 320 \text{ m} \quad r_2 = 10 \text{ km} \quad h = 1 \text{ km}$$

y densidad = 5 se verificarían gradientes verticales nulos al superponerse al campo gravítico normal. Si  $r_2$  se redujera a 5 km,  $r_1$  deberá reducirse a 250m para mantenerse el gradiente nulo en las mismas condiciones de espesor h y densidad.

Las condiciones en el seno de las rocas superficiales, de densidad 2,67 dan gradientes verticales de la gravedad de 0,0853 mgal/m para curvaturas medias normales de la superficies de nivel. Un gradiente inverso de  $0,223 \cdot 10^{-5}$  u.C.G.S. se requeriría para tener tubos de fuerza cilíndricos, es decir, superficies de nivel planas.

La posibilidad de perfiles verticales de superficies de nivel de curvatura inversa se ha calculado para las inmediaciones de una esfera superpuesta al campo normal según Figura 3. En la siguiente tabla se consignan las distancias D a las que los perfiles meridianos presentarían curvaturas cero:

	d e n s i d a d			
	3	4	5	6
r = 0,5 km	—	34m	77m.	110m
1	50m	80m	170m	240m
2	70	180	350	500
3	130	280	540	750m

**7. El Caso de los dos Sistemas Gauss-Krüger superpuestos:**

Como se sabe el Instituto Geográfico Militar escogió sabiamente el sistema Gauss-Krüger de coordenadas planas conformes para la carta topográfica de la

República. En la cercanía de los meridianos que limitan las fajas de cada sistema puede suscitarse el problema siguiente: se conocen las coordenadas  $x_w, y_w$  de puntos del elipsoide en el sistema oeste y se requiere calcular las coordenadas de los mismos puntos en el sistema este sin utilizar el camino obvio que pasa por las coordenadas geográficas. Según el Handbuch der Vermessungskunde de Jordan, Eggert y Kneissl (1959) Krüger resolvió el problema en 1912, verificandose además una solución de Grossmann en 1935 y más modernamente otras de Hristov y Hirvonen. En las páginas 1152 y siguientes del tomo IV, 2a. mitad de la X edición del tratado mencionado se desarrolla una solución basada en los trabajos de los dos últimos autores. Sobre la misma idea, esto es, relacionar el punto  $P_1$  cuyas coordenadas se quiere transformar con el  $P_0$  del meridiano límite que tiene igual abscisa  $x$ , según la Figura 4, la publicación técnica N° 42 del IGM incluye un interesante desarrollo con tablas que permitan resolver prácticamente el problema.

Recordemos que los sistemas E y O pueden superponerse de modo que  $P_0^w$  coincida con  $P_0^e$  y girarse recíprocamente alrededor de ese punto común hasta que todas las direcciones de líneas imágenes correspondientes a las mismas líneas geodésicas del elipsoide por  $P_0$  coincidan. Ningún otro par de imágenes  $w$  y  $e$  de un mismo punto del elipsoide coincidirán; al oeste de  $P_0^w = P_0^e$  las imágenes E aparecerán dilatadas respecto de las W; al este se dará la situación recíproca debido a la ley de variación de la razón de aumento  $m$ . Dos líneas geodésicas que pasan por  $P_0$  tienen imágenes rectas en los dos sistemas: son las perpendiculares a los meridianos centrales de las dos fajas contiguas. Esa circunstancia se aprovecha para, dadas las coordenadas de  $P_0^w$  explotar el punto  $P_0$  cuyas coordenadas son:

$$x_0^w = x_1^w = x_0^e$$

$$y_0^w = -y_0^e \text{ ordenada calculable con } x_1^w, \Delta\lambda = 1^\circ 30'$$

Recordando además que salvo los meridianos centrales y las geodésicas perpendiculares a los mismos las líneas geodésicas del elipsoide tienen imágenes Gauss-Krüger apenas curvadas y con la concavidad dirigida hacia el meridiano central, es fácil ver que la posición relativa de las imágenes E y W del segmento de geodésica  $P_0P_1$  es la representada en la Figura 5, o sea:

$$\text{idéntica dirección en } P_0^w = P_0^e$$

contracción de la imagen este respecto de oeste

La Figura 6 reproduce la 3 que puede verse en página 16 de la citada publicación técnica; se incluye para comparación. En la página 17 aparece la fórmula (33):  $\epsilon = \Delta\gamma + \delta$  que podría parecer compatible con la Figura 3 aunque en rigor de ésta debería deducirse simplemente  $\epsilon = \Delta\gamma$  dado el significado que se atribuye al ángulo  $\epsilon$  en las expresiones (34) de página 17. De nuestra Figura 5 se deduce que la (33) debió escribirse así:  $\epsilon = \Delta\gamma - \delta$ . A pesar de lo indicado las fórmulas (35) y (36) de página 18 son correctas.

## 8. Un Caso de Autocrítica:

En la reseña del 2º simposio de geodesia tridimensional (Cortina, 1962)

escrita por el colega belga P.L. Baetslé para el N° 67 del Bulletin Géodésique se lee en página 33 una descripción del método desarrollado en la Universidad de Tucumán para estudiar la refracción terrestre vertical: "En montaña se pueden elegir 3 estaciones A, B, C pertenecientes a un mismo plano vertical y con los tres lados en condiciones de intervisibilidad. De la medición de las distancias AB, BC y CA (con telurómetro) se puede deducir el valor de los ángulos del triángulo ABC. Se hace en cada estación una determinación astronómica de latitud y longitud y se miden las 6 distancias cenitales. Cada uno de esos 6 ángulos está afectado por un error de refracción. El conjunto de esos datos permite escribir 5 ecuaciones entre esas 6 incógnitas. **La indeterminación que subsiste puede ser eliminada operando sobre una figura más compleja, un cuadrilátero completo, por ejemplo,** pero los sitios que permiten una tal configuración son evidentemente muy raros"

Se trata de una versión de mi exposición en el panel 1 del citado simposio. Lo que he subrayado es un error. Es fácil ver que un cuadrilátero completo vertical al que se aplique en sus 4 vértices las observaciones mencionadas más arriba para el triángulo permitiría escribir sólo 11 ecuaciones independientes entre 12 incógnitas. El grado de libertad entre la figura geodésica y el haz de las verticales subsiste porque las observaciones superabundantes no definen determinísticamente su orientación relativa. Lo que sí pudo decirse en Cortina es que un cuadrilátero vertical tienen las ventajas de

1. obtener mejores valores de los ángulos de la figura vertical en función de las distancias observadas.

2. aportar más información sobre más vértices, y

3. hacer más probable la aplicación del método clásico para la determinación de los ángulos de refracción el lado inferior será probablemente susceptible de una nivelación geométrica y los dos ángulos de refracción correspondientes podrán calcularse por la vía ordinaria con lo que las 10 incógnitas restantes se despejarían de las 10 ecuaciones independientes disponibles. Este recurso fue explotado en el triángulo de Alpachiri como puede verse en Ledersteger (1967) páginas 288-291.

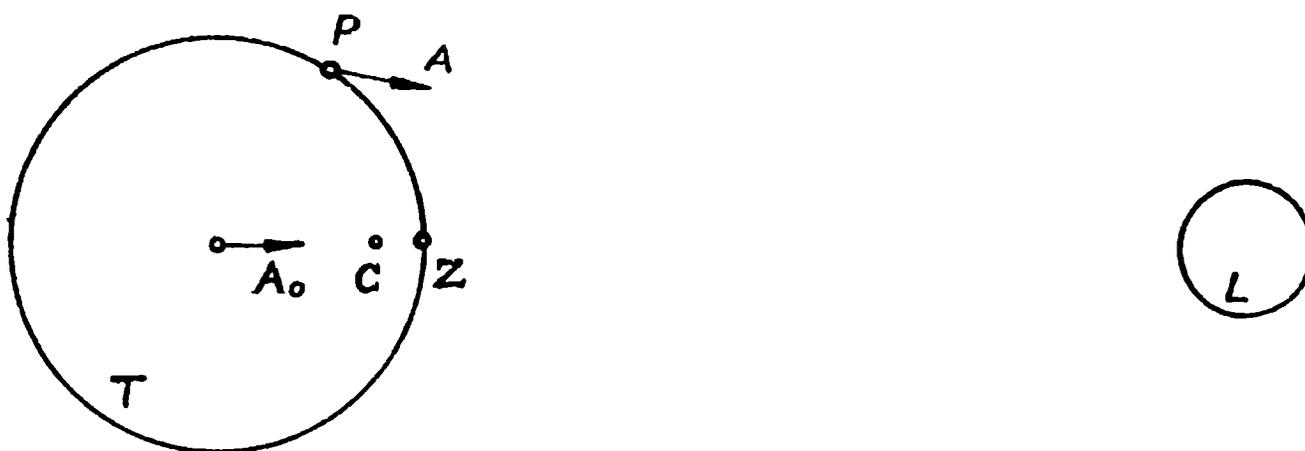


Figura 1: La atracción  $A$  de la Luna  $L$  en un punto  $P$  de la Tierra  $T$  debe combinarse con el vector  $-A_0$  igual y opuesto a la atracción gravitacional de  $L$  en el centro de masa de la Tierra para obtenerse el efecto total.  $C$  representa la posición del centro de masa del sistema Tierra-Luna en ese instante y el punto  $Z$  que tiene a la Luna en su cenit se toma como ejemplo del planteo equivocado de G. Bomford.

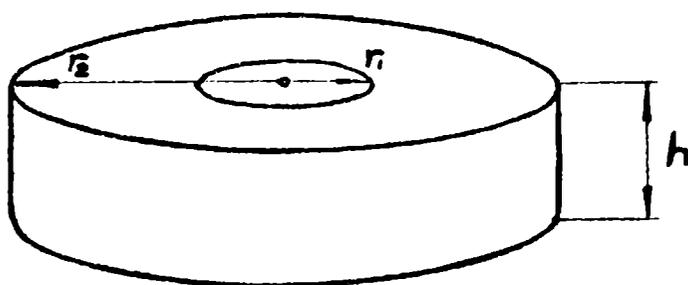


Figura 2: El cuerpo de revolución de espesor  $h$ , radio del hueco central  $r_1$  y radio exterior  $r_2$  sirve para superponer al campo gravítico normal al efecto de obtener en su espacio central gradientes cero verticales de la intensidad de la gravedad lo cual se asocia naturalmente con tubos de fuerza cilíndricos y superficies de nivel planas.

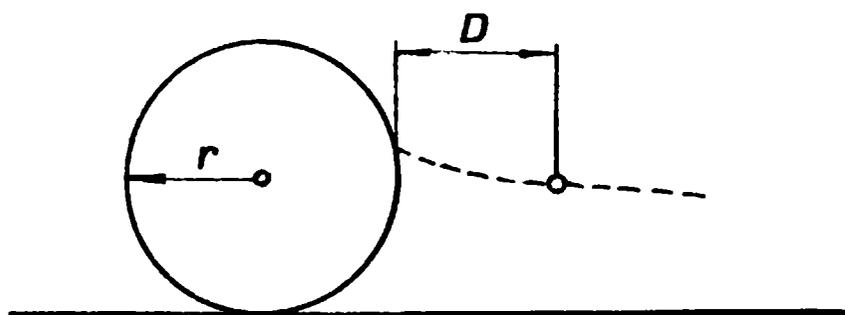


Figura 3: En las inmediaciones de una esfera de radio  $r$  que se superpone al campo gravítico terrestre se pueden presentar secciones verticales de las superficies de nivel de curvatura inversa. La curva de trazos indica una de esas secciones cuyo punto de inflexión dista  $D$  de la esfera.

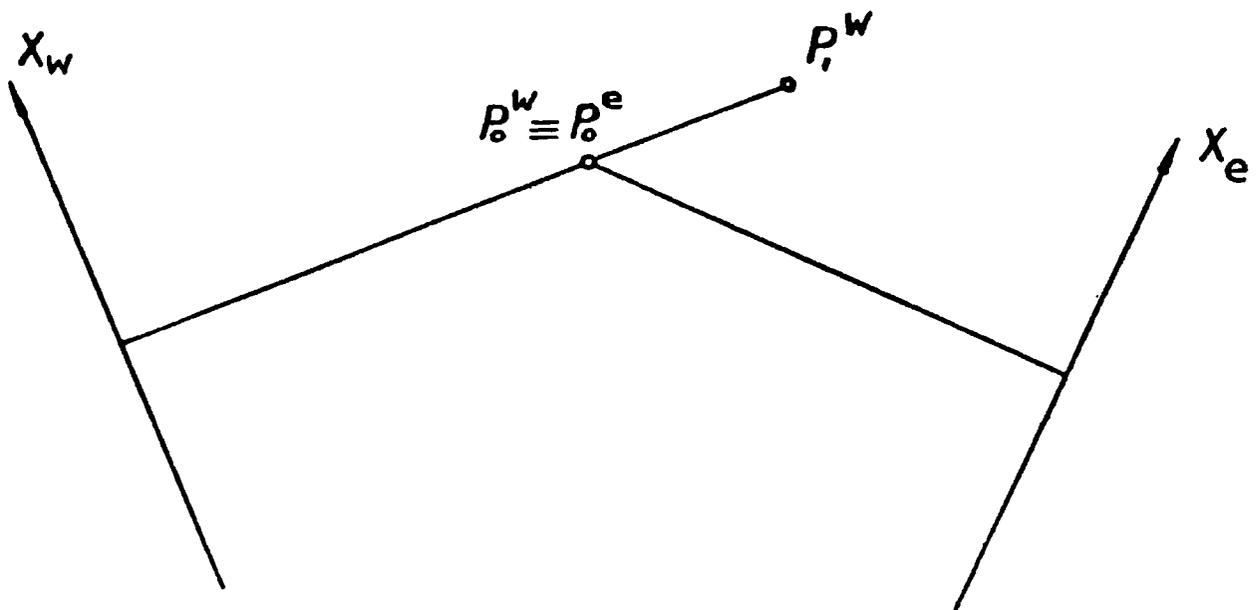


Figura 4: Dos sistemas Gauss-Krüger contiguos pueden superponerse de modo que las imágenes en ambos de un punto del meridiano límite se lleven a coincidir y que las direcciones de las imágenes de líneas geodésicas por  $P_0$  también coincidan. Las imágenes de  $P_0$  en los dos sistemas tienen la misma abscisa que además coincide con la del punto  $P_1$  que se desea transferir del sistema W al E.

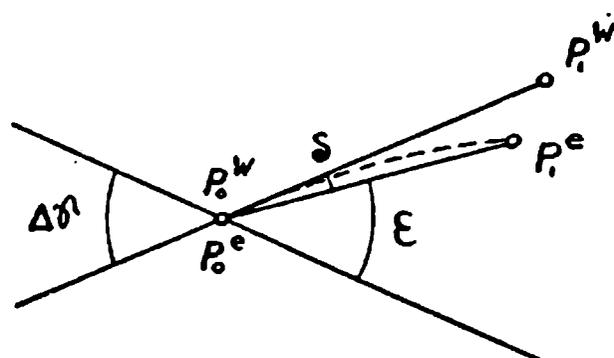


Figura 5: Las imágenes de  $P_0$  y  $P_1$  en ambos sistemas se ven más claramente en esta figura que se ajusta a la orientación relativa descrita en la Figura 4.

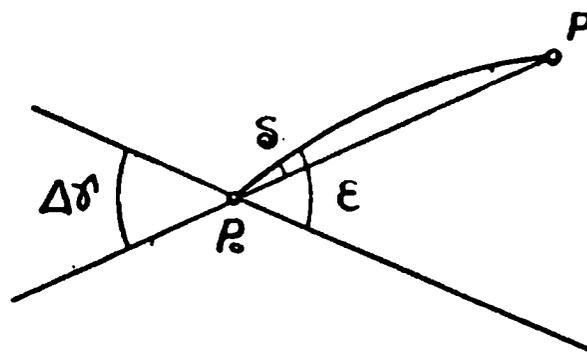


Figura 6: Reproduce la parte significativa de la Figura 3 de página 16 de la Publicación Técnica N° 42 del Instituto Geográfico Militar. La curva trazada entre  $P_0$  y  $P$  es el disparate que motiva la crítica.

## BIBLIOGRAFIA

- BAESCHLIN, C.F., 1948:** *Lehrbuch der Geodäsie*, Zürich.
- BOMFORD, G., 1962:** *Geodesy*, 2a. edición. Oxford.
- CAPUTO, M., 1967:** *The Gravity Field of the Earth*. Academic Press, New York.
- FLUGGE, S., 1957:** *Handbuch der Physik*, v. 48, p. 734 a 774 (Gezeitenkräfte, por J. Bartels). Berlín.
- GOGUEL, J., 1971:** *Bouguer au Chimborazo*. Bull. Géod. Nº 101, set. 1971, p. 329 a 334. París.
- HEISKANEN, W., y VENING MEINESZ, F.A., 1958:** *The Earth and its Gravity Field*. McGraw-Hill, New York.
- HEISKANEN, W., y MORITZ, H., 1967:** *Physical Geodesy*. San Francisco.
- HOPFNER, F., 1949:** *Grundlagen der Höheren Geodäsie*. Springer-Verlag, Viena.
- JORDAN, EGGERT, KNEISSL, 1959:** *H. der V.* Stuttgart.
- LEDERSTEGER, K., 1956:** *Astronomische Geodäsie*, tomo V de la X edición del *Handbuch der Vermessungskunde de Jordan, Eggert, Kneissl*. Metzler, Stuttgart.
- LEDERSTEGER, K. 1967:** *Proceedings of the International Symposium Figure of the Earth and Refraction*, Viena, separata 25 del *Oesterreichische Zeitschrift der Vermessungswesen*.
- SANCHEZ, R.N., 1971:** *El Elipsoide de referencia para América del Sur*. GEOACTA v. 6 n. 1, p. 71 a 74.
- SEPPELIN, T. O., 1974:** *International Symposium on Problems Related to the Redefinition of North American Geodetic Networks*, Fredericton, Canadá. Separata de *The Canadian Surveyor*, v. 28, n. 5, dic. 1974, p. 496 a 506.



## ESTUDIO Y PROYECTO DE UNA BASE PATRON PARA CONTRASTE DE ELECTRODISTANCIOMETROS (1)

ANGEL CERRATO\* y RUBEN RODRIGUEZ\*\*

El establecimiento de una Base Patrón surge como necesario frente a la difusión en el país de los instrumentos electrónicos para la medición de distancias. El grupo de trabajo constituido a tal fin discutió una serie de posibilidades para el cumplimiento de su misión, y llegó a la conclusión de que sería satisfactorio establecerla en una base geodésica de las medidas por el I.G.M.

De entre ellas fue seleccionada la de Arrecifes donde ya se realizaron un reconocimiento preliminar y otro completo y minucioso. También se analizan los problemas técnicos que demandará la medición, marcación y cálculo, como también la administración y conservación de la Base.

**The establishment of Calibration Base Line appears necessary on account of the great number of electronic instruments used in this country for the measurement of distances. The Working Group that was set up for the said purpose, discussed some possibilities for the fulfilment of its mission and came to the conclusion that it would be satisfactory to establish it in one of the geodetic bases measured by the I.G.M.**

**Among them, the Arrecifes Base was selected, where a preliminary reconnaissance was made and thereafter a complete and thorough one. The technical problems required for the measurement, marking and computation were also analyzed as well as the ones related with the management and maintenance of the Base.**

(1) Estudio realizado por el grupo de trabajo nombrado por el subcomité Asesor de Geodesia del Comité Nacional de la Unión Geodesia y Geofísica Internacional.

\* Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

\*\* Instituto Geográfico Militar.

**Antecedentes:**

La necesidad del establecimiento en la Argentina de una Base Patrón para Contraste de Electrodistanciómetros se origina en el IV Congreso Nacional de Cartografía (Mendoza, 1969) a través de la recomendación n. 8 inciso 5 del Comité de Geodesia.

**Constitución del Grupo:**

Convocados por el Subcomité Asesor de Geodesia y con la presencia de representantes de la Dirección de Geología y Minería, Universidad de Tucumán, Instituto Geográfico Militar, Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires, Servicio de Hidrografía Naval, Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Empresa Nacional de Agua y Energía, Instituto de Geodesia de la Universidad de Buenos Aires, Universidad de Rosario, el 7 de marzo de 1972 se constituye el Grupo de Trabajo designándose Presidente al Ingeniero Angel CERRATO (Universidad de Buenos Aires) y Secretario al Agrimensor Ruben RODRIGUEZ (Instituto Geográfico Militar).

En esa oportunidad se plantearon las siguientes necesidades:

- a)** contar con diversas bases en función de las distintas regiones geográficas del país.
- b)** remedir bases geodésicas de la Red Fundamental del país, aptas para el propósito mencionado.
- c)** que el IGM reuniera antecedentes sobre las bases geodésicas ya medidas
- d)** que se aportaron antecedentes sobre trabajos análogos en otras partes de la Tierra.
- e)** que cada Institución manifestara sus posibilidades de aprovechamiento.

Se contó con el entusiasta apoyo de los asistentes que manifestaron su complacencia ante la perspectiva de disponer de lados materializados convenientemente en el terreno sobre los cuales se contrastarían los electro-distanciómetros que las Instituciones poseen, se investigarían las técnicas más adecuadas de medición y todos los parámetros geodésicos involucrados cuando se desean alcanzar las máximas exactitudes.

El 6 de junio siguiente se realizó la segunda reunión del Grupo. Su motivo principal fue realizar un intercambio de ideas sobre la conveniencia de establecer esa base, aprovechando alguna de las Bases Geodésicas y cuadriláteros de vinculación a la Red Fundamental, ya medidas por el Instituto Geográfico Militar.

Habiendo hecho una selección previa de las bases más próximas a los posibles lugares de utilización se ofrecieron, en esa oportunidad, como alternativas posibles, las bases de General Alvear, Perdices, Río Areco, Matheu, Lezama y Arrecifes.

La opinión general indicó a esta última (Figura 1), como una de las más adecuadas, en principio, por diversas razones: su proximidad a las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba que centralizan el mayor número de posibles usuarios y a la ciudad de Buenos Aires, donde residen las firmas representantes, y se encuentran los talleres electrónicos de mantenimiento y ajuste; la posibilidad

de extender la longitud de esa base, medida con alambres invar, de unos 13 km hasta unos 20 km aproximadamente; contar con vértices ya reconocidos y medidos con no mucha antigüedad, lo que, salvo posibles construcciones que en el ínterin se hubieran efectuado, o el crecimiento de las arboledas intermedias, daría una cierta tranquilidad en cuanto a la posibilidad de las visuales necesarias.

Se requirió por escrito a los miembros del grupo un informe sobre el instrumental a contrastar, naturaleza de las comprobaciones a efectuar, opinión sobre el emplazamiento en Arrecifes, y toda otra información considerada de provecho.

El 3 de enero de 1973, se remitió a los miembros del Grupo una circular que resumía una serie de propuestas sobre la Base Patrón resultantes de lo que se interpretaba como la mejor solución ante lo conversado hasta ese entonces.

Considerando las respuestas remitidas por la Universidad de Rosario, el Servicio de Hidrografía Naval, el Ministerio de Industria y Minería, Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Dirección Nacional de Vialidad, Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires, la Universidad de Tucumán, y la Empresa de Agua y Energía, aunando la del Instituto de Geodesia de la Universidad de Buenos Aires y del Instituto Geográfico Militar, se comunicó al Presidente del Subcomité Asesor de Geodesia el general beneplácito por la Base de Arrecifes y la conveniencia de que el IGM encarara las primeras tareas de reconocimiento y medición, por ser la Institución que midió la triangulación, recopila los antecedentes y posee una infraestructura adecuada en personal y medios materiales.

El Instituto Geográfico Militar aceptó realizar además de esas tareas todas las de recopilación de antecedentes de la medición de la base, el cuadrilátero de ampliación y el de cruce de cadenas.

La Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires y la Dirección Nacional de Vialidad ofrecieron fotogramas de la zona de la Base Arrecifes.

En diciembre de 1973 el Instituto Geográfico Militar encaró un pre-reconocimiento de la Base Arrecifes, su cuadrilátero de ampliación y el de cadena, habiendo colaborado en ello el Instituto de Geodesia de la Universidad de Buenos Aires.

Esta comisión desarrolló las siguientes labores:

1. Verificó la existencia y buena conservación de los pilares siguientes:

- Cpo. Santa María
- Ext. NO. Base Arrecifes
- Ext. SE. Base Arrecifes
- Pilares de sección: IV, VI, XIII, XIV, y XVII.
- Los pilares I y V se encuentran destruidos.
- Arrecifes (pilar astronómico).

2. El acceso a todos los puntos mencionados se cumplió sin oposición por parte de los propietarios de los predios afectados.

La llegada a los vértices Cpo. Santa María, Ext. NO. y Ext. SE. es fácil desde las rutas principales (RN 191 y RP 51).

3. Fueron comprobadas las siguientes visuales:

- Ext. NO. Pilar I observación directa.
- Ext. NO. Pilar XIV con luces de bengala.
- Pilar XIV. Pilar XVII con luces de heliótropo

- Pilar XVII Ext. SE. se encuentra obstaculizada por una construcción y por un monte.

Desde Cpo. Santa María observado hacia Ext. NO., no se advierten obstáculos. Desde Ext. NO. hacia Cpo. Santa María se observan algunos árboles aislados.

Desde Ext. SE. hacia Carmen de Sierra, Santa Lucía y Arrecifes, despejado.

Desde Arrecifes puede observarse, a corta distancia y en las direcciones correspondientes a las visuales involucradas en el proyecto, la edificación de la ciudad de Arrecifes. También se ve un edificio correspondiente a elevadores de granos, existente junto a la estación ferroviaria local, que servirá de apoyo para el reconocimiento de un nuevo punto próximo a la ciudad mencionada.

El 24 de setiembre de 1974 se realizó una reunión del Grupo de Trabajo en que se analizaron detalles de la puesta en marcha definitiva del proyecto.

Mientras se iniciaban gestiones ante las Instituciones, a fin de que contribuyeran financiera o materialmente en la relación de las tareas, el Instituto Geográfico Militar, deseoso de iniciarlas a la brevedad, ofreció realizar a su cargo el reconocimiento definitivo de la Base Patrón.

El reconocimiento mencionado se cumplió en febrero de 1975 siendo estos los resultados (Figura 2):

- Comprobó que es posible la remedición, con alambre de invar de todas las secciones de la base antigua.
- Que es posible también, medir con alambre de invar la línea Ext. NO. Cpo. Santa María.
- Reconoció un punto nuevo denominado Ruta Provincial, a unos 400 m de la RP 51 y prácticamente alineado con los anteriores. Desde este punto hasta el Cpo. Santa María también es posible medir con alambre de invar.
- Reconoció otro punto nuevo, designado San Marcos que reemplaza al antiguo Arrecifes para formar una figura de ampliación.
- Comprobó las visuales indicadas en el gráfico que permiten contar con 6 líneas para contrastes.
- Las alturas, desde las cuales se comprobó la existencia de visuales, surgen del gráfico (Figura 3).

### **Tareas próximas**

#### **a) Materialización previa de la Base Patrón.**

- 1) Proyecto de los pilares extremos de sección.
- 2) Idem de los que delimitarán las distancias de contraste.

En estos puntos se requiera la colaboración de profesionales de la Empresa Agua y Energía Eléctrica, por su particular experiencia en las aplicaciones del campo de la Geodesia Dinámica.

- 3) Proyecto de las construcciones protectoras.

## 4) Asesoramiento Geológico.

Se lo requerirá al Servicio Nacional Minero y Geológico y a los geólogos de la Empresa de Agua y Energía Eléctrica y de la Dirección Nacional de Vialidad.

5) Posibilidad de erigir las torres de observación alineadas en la Base, con anterioridad a la medición con alambres, evitando posibles perturbaciones posteriores.

**b) Medición con alambres invar**

Contraste previo de los alambres y la medición de las secciones de la Base Patrón.

En cuanto a la exactitud actual del metro patrón, contrastado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas hace una década, deberá solicitarse un nuevo contraste.

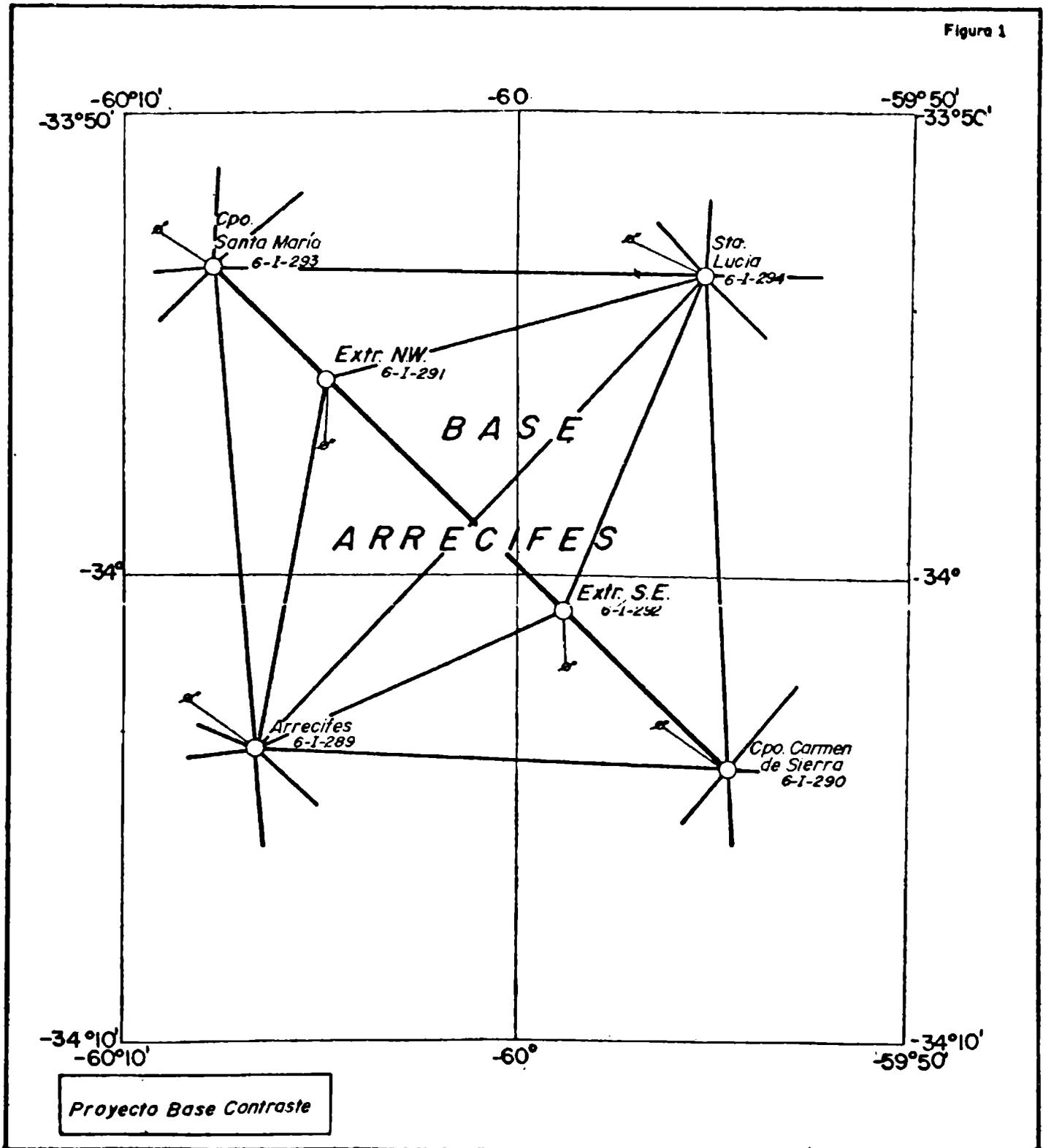
El Instituto Nacional de Tecnología Industrial ha expresado la posibilidad de efectuar ese contraste pero habría que analizar el riesgo de posibles errores sistemáticos de difícil elucidación que la Oficina Internacional debe tener bien estudiados, por su larga experiencia en el problema.

La época más plausible para la medición con alambres sería la comprendida entre el mes de junio y fin de año, atendiendo al estado de los cultivos y con el objeto de ocasionar el menor perjuicio posible a los propietarios de los campos.

Buenos Aires, mayo de 1975.-

**NOTA:** Entre el 1ro. de julio y el 31 de diciembre de 1975 se cumplieron las tareas de campo destinadas a materializar la Base Patrón. erección de las torres, replanteo de las secciones, construcción y protección de los pilares, medición con alambres de invar y medición angular en todos los vértices que componen el sistema. Estos trabajos fueron realizados por el Instituto Geográfico Militar, en base a las razones de experiencia, personal e infraestructura anteriormente mencionadas. Han contribuido a financiar las erogaciones, además del I.G.M., la Dirección Nacional de Vialidad, la Empresa Agua y Energía Eléctrica, el Servicio de Hidrografía Naval y Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Asimismo la Dirección Nacional de Vialidad ejecutó la investigación de la estabilidad del terreno en correspondencia con los pilares que materializan la base.

Buenos Aires, 3 de febrero de 1976.-



A. t. v. s.

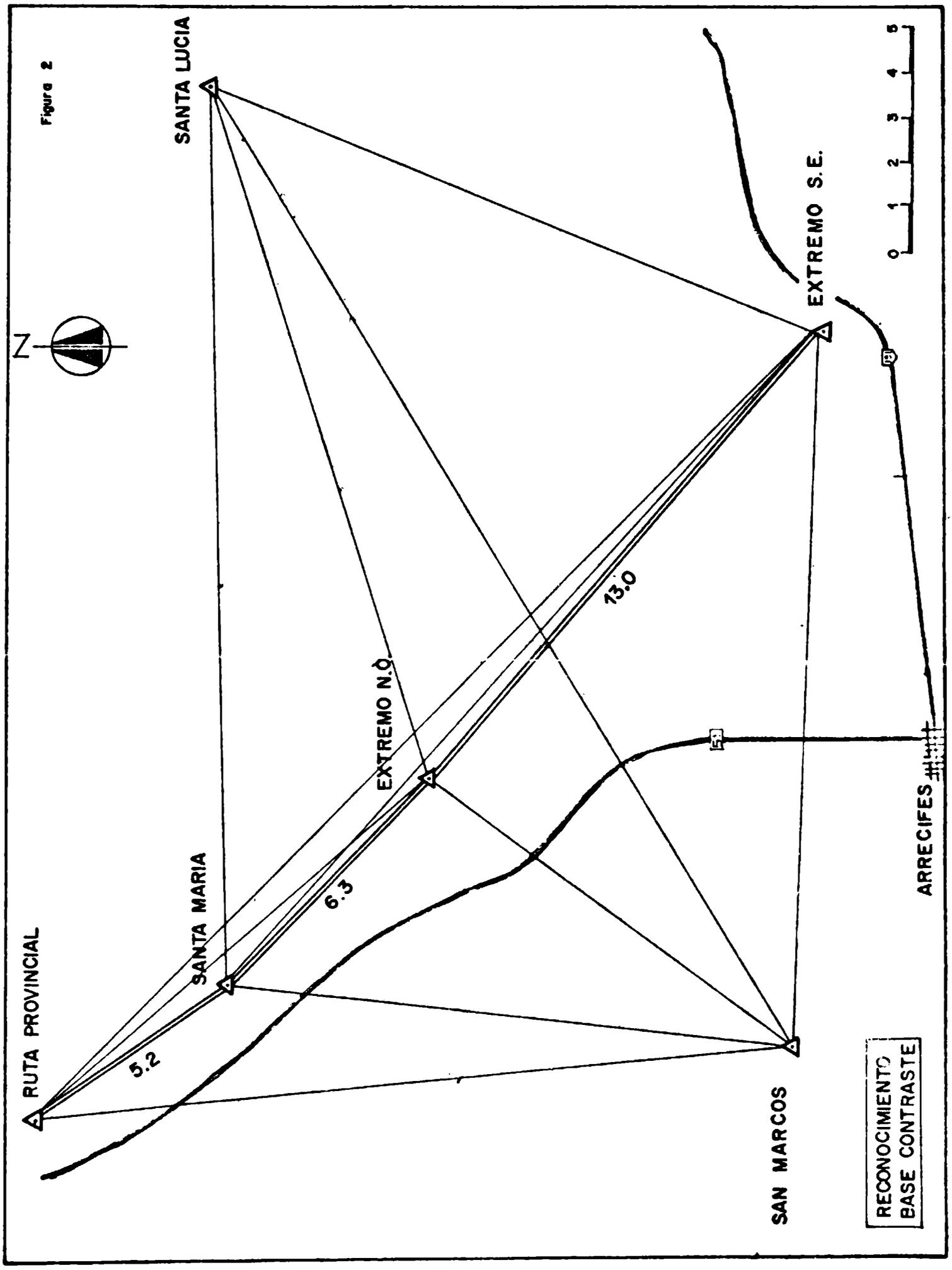
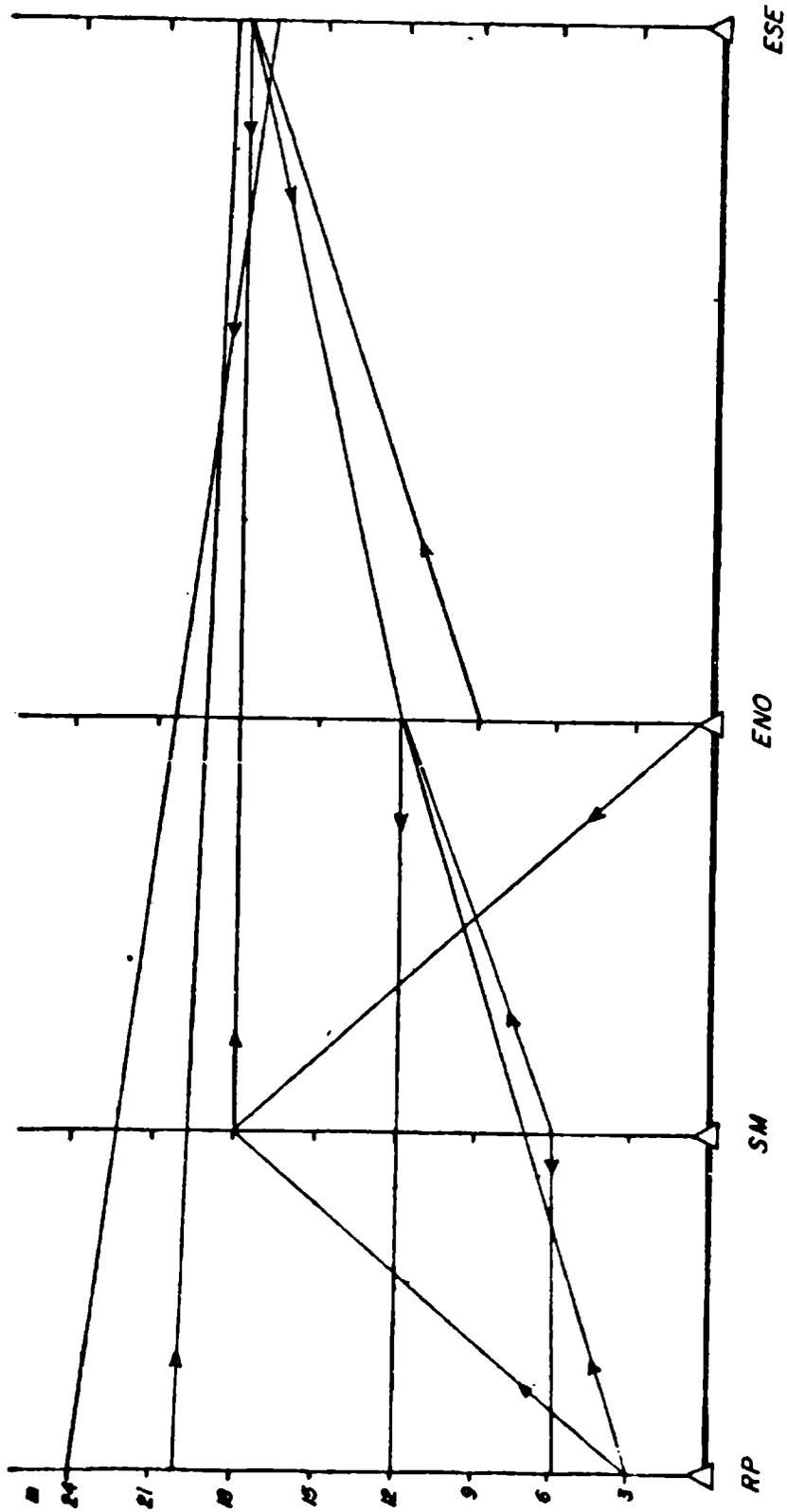


Figura 3



Base Patrón:  
Visuales comprobadas

## ASPECTOS ESTADÍSTICOS DE LA OCURRENCIA DE TORNADOS EN LA REPUBLICA ARGENTINA (1)

MARIA L. ALTINGER DE SCHWARZKOPF  
y ROMUALDO C. MIGLIARDO  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de  
B. Aires. Buenos Aires. Argentina

La revisión sistemática de los diarios más importantes de Buenos Aires correspondientes al período 1963-1972, permitió recopilar 193 casos de tormentas que por efectos del viento produjeron destrozos y daños materiales de importancia. Cada caso fue registrado, codificado y clasificado. En un 36% de los mismos los daños pudieron ser atribuidos a tornados. Se determinó que la región geográfica más afectada por estos fenómenos se encuentra al este del meridiano 65° W y al norte del paralelo 40° S. Los resultados obtenidos indican que, en general, se producen unos 7 tornados al año y que su frecuencia es máxima en verano y durante la tarde y noche.

Se agrega una lista de los casos de tornados registrados durante el período estudiado.

**The systematic revision of the most important Buenos Aires' newspapers, corresponding to the period 1963-1972 permitted to gather 193 cases of thunderstorms which caused considerable damage due to strong gusts. Every case was registered, codified and classified. In 36 percent of the cases the damage could be attributed to tornadoes. It was determined that the geographical region where this phenomenon generally occurs is located to the East of longitude 65°W and to the North of latitude 40°S. On the average more than 7 tornadoes per year occur in Argentina. Its maximum frequency is in summer and during the afternoon and night. A list of tornado occurrences is presented.**

(1) Este trabajo fue presentado en el 1° Congreso Latinoamericano de Meteorología que tuvo lugar en Buenos Aires en diciembre de 1974.

## INTRODUCCION

Si bien en nuestro país la ocurrencia de los tornados era conocida, no se contaba aún, con la evaluación de su frecuencia e intensidad que mostrara su verdadera importancia. En los Estados Unidos de Norte América, en Australia y en Inglaterra, las estadísticas sobre estos fenómenos cubren períodos que comienzan desde principios o mediados del siglo pasado. La mayoría de los demás países europeos poseen estadísticas sobre tornados que abarcan alrededor de 30 años. El propósito de este trabajo fue reunir los casos de tornados ocurridos entre 1963 y 1972 con el fin de evaluar, mediante esta muestra, las características generales propias de los tornados en la República Argentina.

## METODO DE TRABAJO

Se recurrió a los diarios más importantes de Buenos Aires como fuente de información accesible. De ellos se extrajeron, mediante una exhaustiva revisión, los informes correspondientes a aquellas tormentas que por efectos del viento produjeron destrozos y daños materiales de importancia. Cada caso hallado fue registrado con la síntesis de su descripción y, para posibilitar su posterior tratamiento computacional se codificaron además, la fecha, la hora y el lugar de ocurrencia, la intensidad del viento, de la lluvia y del granizo, la magnitud de los destrozos ocasionados en árboles, molinos, viviendas, edificios públicos, establecimientos industriales, hangares, cultivos y en líneas eléctricas. Se cifró además, el largo y el ancho del área afectada y el número de víctimas.

De acuerdo a los indicios de Evesson (1969) y la experiencia y conocimientos obtenidos en las inspecciones de las zonas afectadas por tormentas severas y tornados, desde 1971, se procedió a la clasificación de los fenómenos dentro de una de las categorías siguientes:

- tormenta severa
- tormenta severa fuerte
- tormenta severa con graves daños por efecto del granizo
- tornado

## ANALISIS DE LA MUESTRA OBTENIDA

### Casos clasificados como tornados

La distribución por categorías de los 193 casos de fenómenos destructivos recopilados resultó la siguiente:

Categoría	Número de casos	%
Tormenta severa	75	39
Tormenta severa fuerte	43	22
Tormenta severa con graves daños por granizo	5	3
Tornados	70	36

Como se aprecia, 70 casos resultaron clasificados como tornados, es decir, un 36% de la muestra, lo que representa una proporción de un tornado cada tres informes recopilados.

Se registraron en promedio, para el período estudiado, 7 tornados por año. La mayor ocurrencia de tornados se registró para los años 1968 y 1969 y la menor correspondió a los años 1965 y 1972.

Este resultado se halla graficado en la Figura 1.

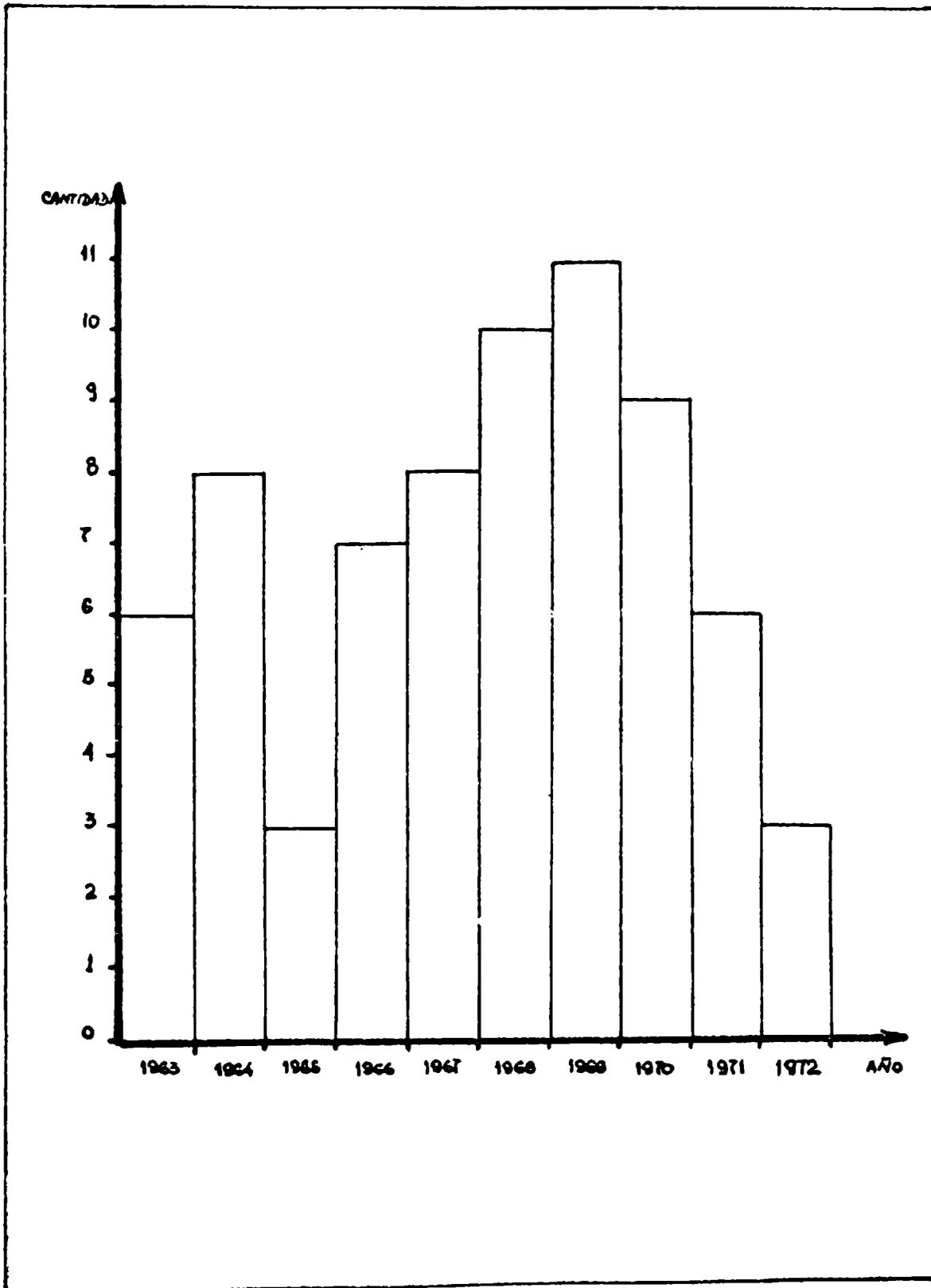


Figura 1: Número de tornados por años. Período 1963-1972.

El listado cronológico de los casos clasificados como tornados es el siguiente:

<b>Año</b>	<b>Fecha</b>	<b>Provincia</b>	<b>Localidad</b>	<b>Hora</b>
1963	4 ene	Santa Fé	Rafaela	
	6 ene	—	Minas Uruguay	02:00
	5 mar	Buenos Aires	Maldonado	18:30
	5 mar	La Pampa	Miguel Cané	—.—
	25 mar	Santa Fé	Rosario	—.—
	7 nov	Tucumán	La Ramada	—.—
	1964	5 feb	Río Negro	Cinco Saltos
5 feb		Buenos Aires	Los Toldos	—.—
6 mar		Entre Ríos	Gualeguaychú	—.—
21 mar		Santa Fé	Cañada de Gómez	00:30
21 mar		Buenos Aires	Ramallo	01:15
26 oct		Misiones	Puerto Rico	—.—
24 dic		Santa Fé	Esperanza	—.—
18 nov		Misiones	San Javier	—.—
1965	3 mar	Buenos Aires	San Isidro	12:30
	24 set	Buenos Aires	Pilar	08:00
	13 dic	Chaco	Puerto Tirol	—.—
1966	5 ene	Buenos Aires	Coronel Mom	23:00
	8 ene	Formosa	Formosa	05:45
	16 feb	Córdoba	San Francisco	22:00
	24 feb	—	Montevideo Uruguay	—
	1 mar	Córdoba	Hernando	15:45
	4 mar	Córdoba	La Falda	16:30
	29 dic	Córdoba	Río Tercero	—.—
1967	13 ene	Salta	Coronel Olleros	—.—
	16 ene	Buenos Aires	Henderson	—.—
1967	6 feb	Buenos Aires	Claudio Molina	22:00
	18 may	Buenos Aires	Tres Arroyos	02:30
	31 may	Córdoba	Melo-Villa Rossi	08:00
	8 oct	Córdoba	Monte Buey	—.—
	8 oct	Córdoba	Washington	—.—
	31 oct	Santa Fé	Roca	23:00
1968	8 mar	Santa Fé	Alcorta	—.—
	8 may	Formosa	Mision Laishi	18:30
	17 ago	Stgo. Estero	Añatuya	23:00
	24 oct	Corrientes	Corrientes	05:15
	9 nov	Córdoba	San Basilio	—.—
	14 dic	Buenos Aires	San Pedro	23:30
	15 dic	Entre Ríos	Gualeguay	01:00
	20 dic	Santa Fé	Los Cardos	23:20
	26 dic	Córdoba	Oncativo	21:00
	30 dic	Corrientes	Mercedes	00:00

Año	Fecha	Provincia	Localidad	Hora	
1969	14 ene	Buenos Aires	Lima	00:57	
	17 ene	Buenos Aires	Hilario Ascasubi	21:00	
	30 ene	Buenos Aires	Deferrari	—.—	
	31 ene	Córdoba	Las Peñas	15:30	
	2 feb	Formosa	Colonia La Resistencia	—	
	4 mar	Salta	Campo Santo	21:00	
	7 nov	Santa Fé	Las Palmeras	—.—	
	26 nov	Entre Ríos	Ramón Parera	—.—	
	27 nov	Córdoba	Gral. Lavalle	—.—	
	19 dic	Buenos Aires	Tornquist	—.—	
	19 dic	La Pampa	Santa Isabel	—.—	
	1970	21 ene	Córdoba	Sacanta	18:00
		21 ene	Córdoba	La Francia	18:30
23 mar		Entre Ríos	Viale	—.—	
21 abr		—	Fray Marcos—Uruguay	—	
1 oct		Corrientes	Mercedes	03:00	
1 oct		Corrientes	Santa Ana	02:40	
16 oct		Entre Ríos	Colón	02:30	
25 oct		Buenos Aires	San Román	—.—	
11 dic		Salta	El Galpón	23:00	
1971		20 ene	Buenos Aires	Pehuajó	20:00
	13 mar	Misiones	San Javier	—.—	
	19 ago	Buenos Aires	Carlos Casares	14:30	
	11 nov	Corrientes	9 de Julio	—.—	
	18 dic	Buenos Aires	Cacharí	—.—	
	21 dic	Buenos Aires	Carabelas	—.—	
	1972	1 ene	La Pampa	Castex	22:00
15 ene		Córdoba	Ferreyra	—.—	
23 oct		Buenos Aires	Banderaló	16:00	

Se incluyeron también casos que afectaron a la República Oriental del Uruguay y que fueron publicados por los diarios de Buenos Aires.

El método empleado para coleccionar e identificar los tornados no asegura que la lista sea completa y definitiva. La documentación que permitiría una clasificación final sólo es factible de obtener en los lugares de ocurrencia; por lo que es lógico suponer que en el futuro esta lista podrá ser ampliada con otros casos o modificada con la obtención de información adicional. Es posible que algunas fechas no sean del todo correctas. Esto es debido a que rara vez el diario hace mención directa de la misma. Son comunes las expresiones como "el huracán del miércoles último. " "el ciclón que el fin de semana pasado azotó a la localidad de. " etc. De todos modos se estima que esta imprecisión, en el peor de los casos, no es mayor que dos días ya que siempre la fecha del diario fue una quía.

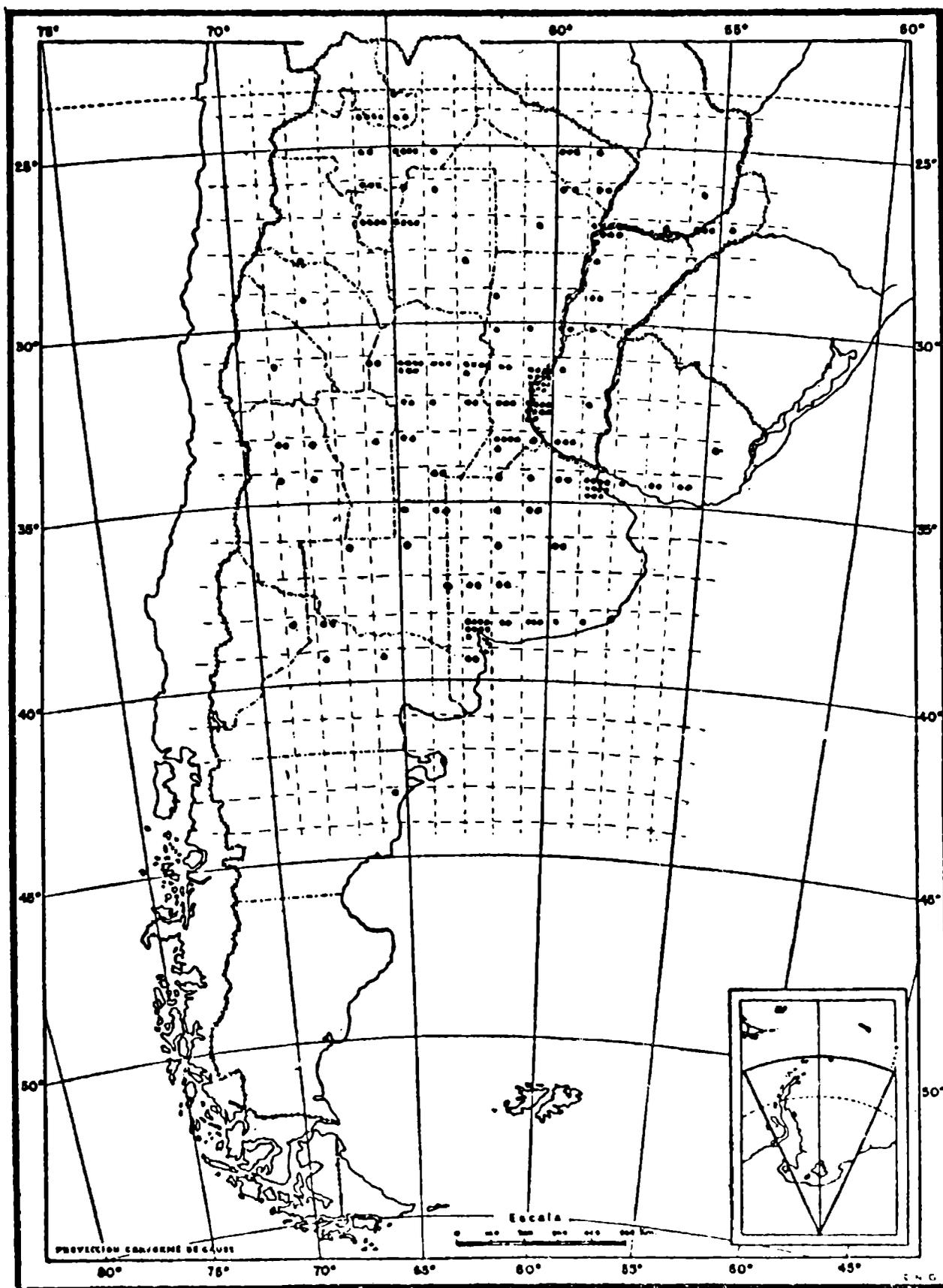


Figura 2: Distribución geográfica de las tormentas severas. Período 1963-1972.

### Distribución geográfica

En la Figura 2 se muestra sobre una grilla de 1° de latitud por 1° de longitud, la distribución geográfica de los 193 casos de tormentas destructivas obtenidas. Se aprecia que los máximos de ocurrencia coinciden con las zonas más densamente pobladas, que en general corresponden dentro de cada provincia, a los distritos capitales, como por ejemplo el Gran Buenos Aires, Resistencia, Corrientes, Santa Fe, Paraná, Tucumán y Salta. Este resultado era de esperar ya que una mayor densidad de la población implica, además de una mayor disponibilidad de medios de comunicación, una mayor densidad de construcciones e instalaciones importantes que, al ser afectadas o destruídas justifican la inclusión de la noticia en los diarios. La tormenta pasa a ser de interés periodístico cuando produce destrozos. Se calculó el coeficiente de correlación entre la densidad de la población y la cantidad de informes recopilados sobre cada 10.000 km<sup>2</sup> en 10 años. Se obtuvo un valor superior a 0,8 lo que indica que un 65% de la variación geográfica de la distribución de las tormentas severas queda explicada por la variación geográfica de la densidad de población. La recta de regresión obtenida para esas dos variables se muestra en la Figura 3.

La distribución geográfica de los casos clasificados como tornados (Figura 4) no presenta máximos tan definidos como los que muestra la Figura 2 aunque es perceptible una concentración de casos en el centro del país entre los paralelos 30° y 35°S y los meridianos 60° y 65° W.

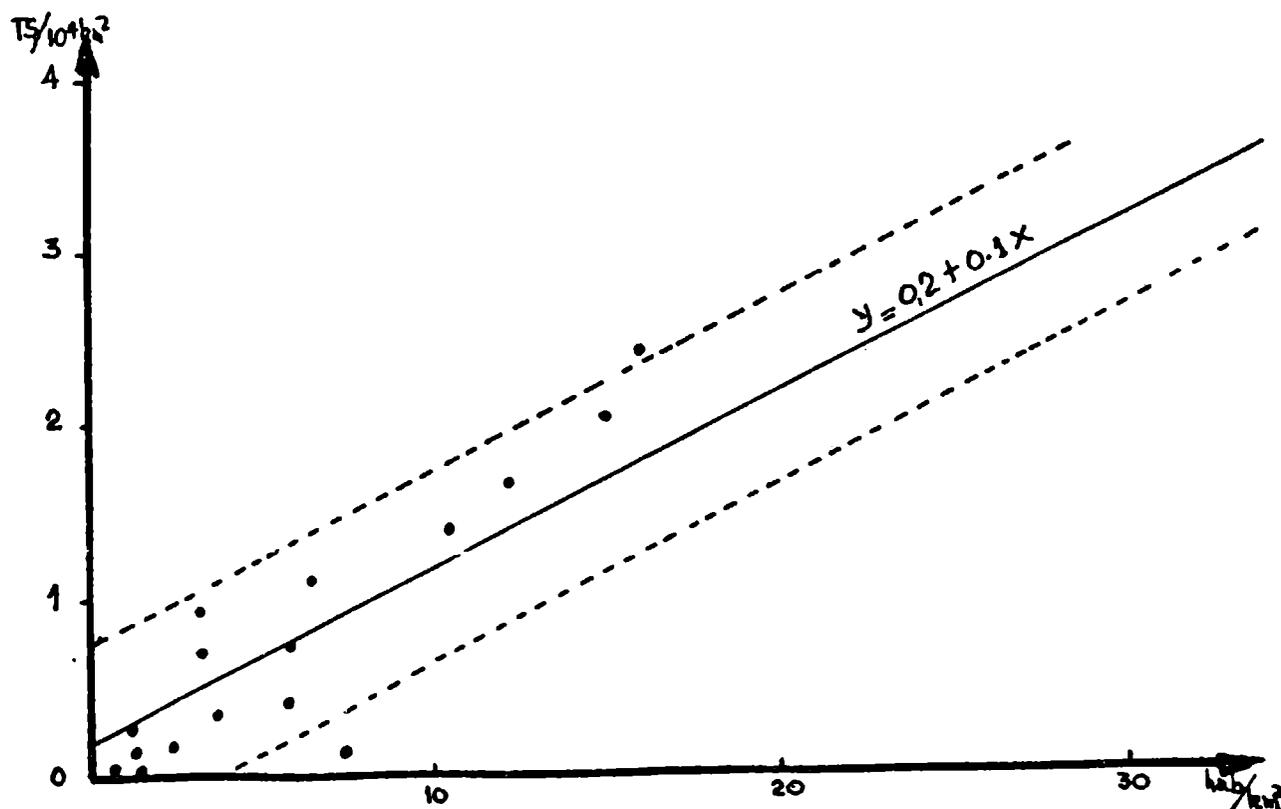


Figura 3: Relación entre la densidad de población (habitantes por km<sup>2</sup>) y cantidad de informes de tormentas severas (TS/10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>.10 años)

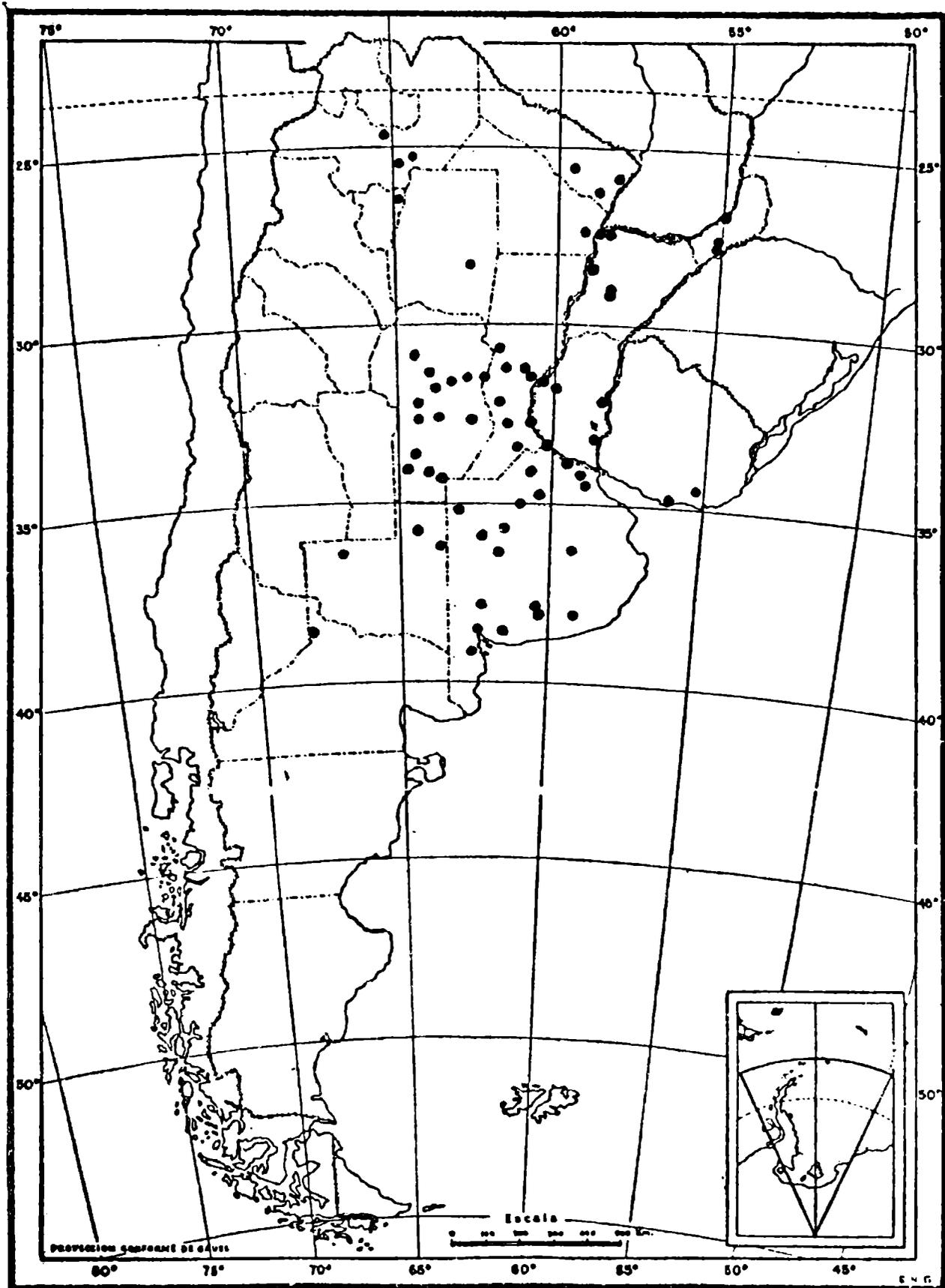


Figura 4: Distribución geográfica de los tornados. Período 1963-1972.

### Distribución mensual y estacional

Durante el período estudiado no se registraron tornados en junio ni julio (Figura 5). Se puede afirmar que la época más propicia se extiende desde octubre hasta marzo.

En la Tabla 1 se detalla la distribución estacional de tormentas severas y tornados, como así también, a efectos de su comparación, la obtenida de los datos publicados por Evesson (1969) para los tornados de New South Wales (Australia) y la presentada por Lichtenstein y Schwarzkopf (1970) para las líneas de inestabilidad, otra manifestación de la actividad convectiva en nuestro país.

TABLA 1:  
Distribución estacional de los tornados

Estación	Argentina			Australia
	Tormentas sev. %	Tornados %	Líneas de I % (1)	Tornados % (2)
Verano	49	48	51	48
Otoño	19	23	19	11
Invierno	5	3	3	11
Primavera	28	26	27	30

(1) Período 1953 - 1962

(2) Evesson: Período 1805 - 1966

Se aprecia una notable similitud entre los valores correspondientes a las distintas manifestaciones de la actividad convectiva en nuestro país. Con respecto a Australia, se observa que allí, en invierno, los tornados son más frecuentes que en la Argentina. Ello podría estar relacionado con una mayor posibilidad de advección de aire tropical durante esa estación.

### Horas de ocurrencia

Los informes periodísticos en general, no mencionan la hora de ocurrencia de los vientos destructivos o lo hacen en forma indirecta, como por ejemplo "durante las horas de la tarde. . .", "en la madrugada de ayer. . .", etc. aún así, se obtuvo para los tornados el gráfico que se muestra en la Figura 6 con 54 casos. Los resultados indican que los tornados se producen en cualquier hora del día, pero con preferencia entre las 21 y las 03 horas.

### CONSIDERACIONES ADICIONALES

Como ya se mencionó existe una relación directa entre la densidad de la población de una cuadrícula de la grilla y la cantidad total de informes recopi-

lados para la misma.

Al calcular la proporción entre la cantidad de informes de tornados y la cantidad total de informes recopilados para cada una de las cuadrículas densamente pobladas y también, para cada una de las cuadrículas correspondientes a las zonas rurales, se obtuvo un valor más alto para estas últimas, lo que indicaría que de la zona rural sólo llegan a los periódicos los informes de destrozos fuera de lo común, y éstos generalmente están relacionados con tornados.

Resulta difícil precisar la intensidad de los tornados en base a la descripción periodística, no obstante se pudo inferir que los ocurridos en el período 1963-1972 corresponden a los números 0 1 2 de la escala F de Fujita (1970) distribuidos de la siguiente manera:

Escala F	cantidad en %
0	69
1	17
2	14

Esto no significa que sobre esta región no ocurran tornados más intensos. Por ejemplo, el tornado de Encarnación, Paraguay, del 20 de septiembre de 1926 (300 muertos) y el de San Justo, Santa Fe (Schwarzkopf y Migliardo, 1973), ocurrido el 10 de enero de 1973 (65 muertos) fueron de una intensidad F 5.

En lo que respecta a la aplicación de la escala Pearson (Fujita, 1970) que tiene en cuenta la longitud y el ancho del área afectada, se verificó que no es posible, ya que en sólo 4 casos se mencionó este detalle en la descripción periodística.

La lluvia se halló mencionada en un 57% de los informes de los tornados y la precipitación de granizo en sólo 23% de los mismos.

Si bien la cantidad de casos recopilados es función de la densidad de población, se cree de interés presentar la distribución de tornados por provincias:

Provincia	Cantidad de tornados en 10 años	Cantidad de tornados por 10.000 km <sup>2</sup>
Buenos Aires	19	0,62
Córdoba	14	0,83
Santa Fé	8	0,60
Entre Ríos	5	0,63
Corrientes	5	0,57
La Pampa	3	0,21
Formosa	3	0,42
Misiones	3	1,01
Salta	3	0,19
Chaco	1	0,10
Sgo. del Estero	1	0,07
Río Negro	1	0,05
Tucumán	1	0,44

Las provincias de Buenos Aires y Córdoba reúnen casi el 50% de los casos, agregando Santa Fe, Entre Ríos y Corrientes se cubre el 75% del total. Misiones parece ser la provincia más afectada, siguiéndole en orden, Córdoba y Entre Ríos.

### **CONCLUSIONES**

- El método de análisis aplicado permite asegurar que se producen, por lo menos, 7 tornados por año.
- La zona más afectada se encuentra al este del meridiano 65°W y al norte del paralelo 40°S.
- Los tornados ocurren preferentemente entre octubre y marzo.
- Los tornados ocurren en cualquier hora del día, aunque su frecuencia es mayor durante las horas de la tarde y noche.
- La cantidad de informes recopilados es función directa de la densidad de población.
- La inspección del lugar afectado es imprescindible para una correcta evaluación del fenómeno, puesto que los diarios no publican los indicios necesarios que permitan una clasificación definitiva dentro de las escalas de intensidad de uso.

### **AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecen el Lic. Erich R. Lichtenstein, el apoyo que les ha brindado durante el desarrollo de este trabajo.

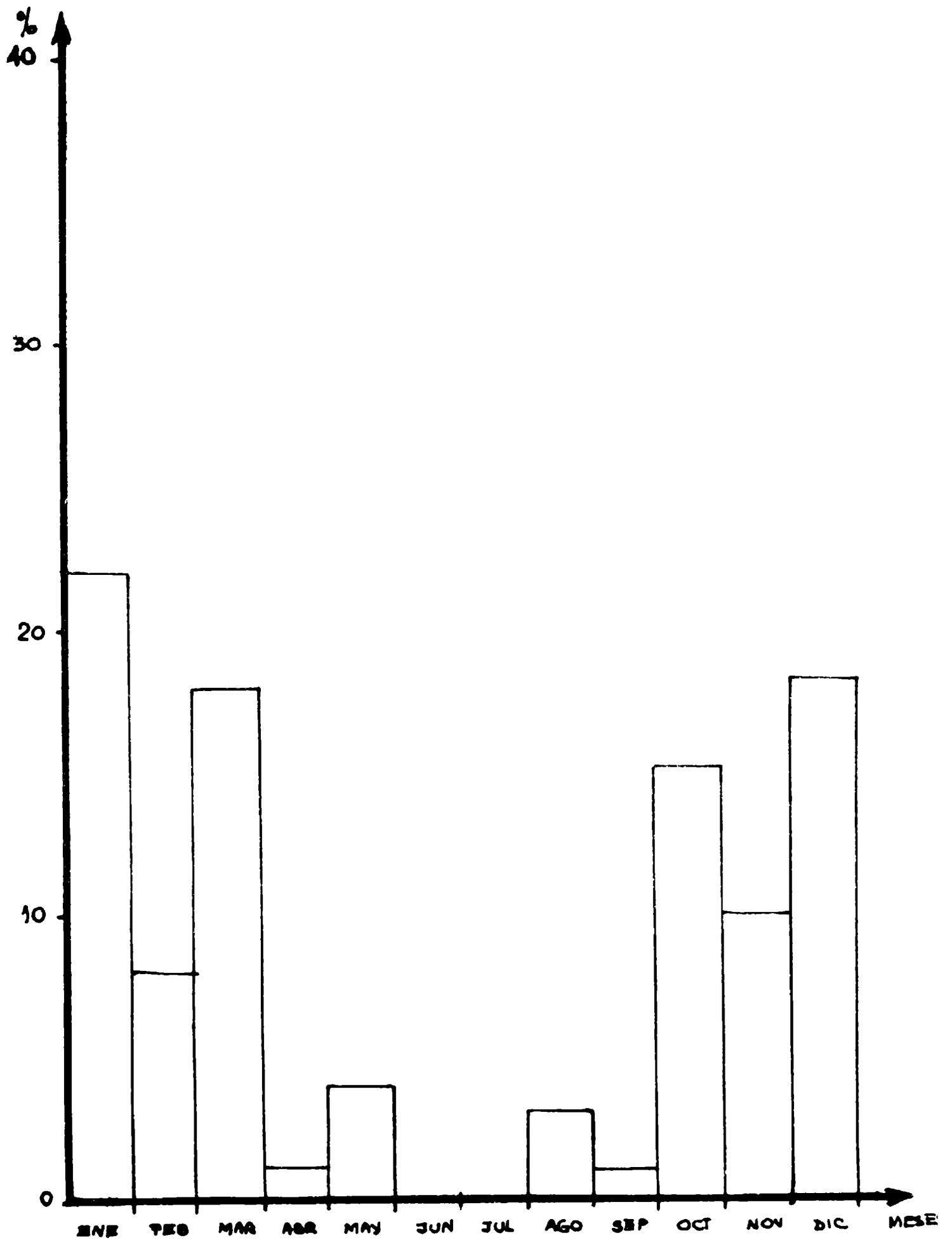


Figura 5: Distribución mensual de la frecuencia relativa de tornados (70 casos). Período 1963-1972.

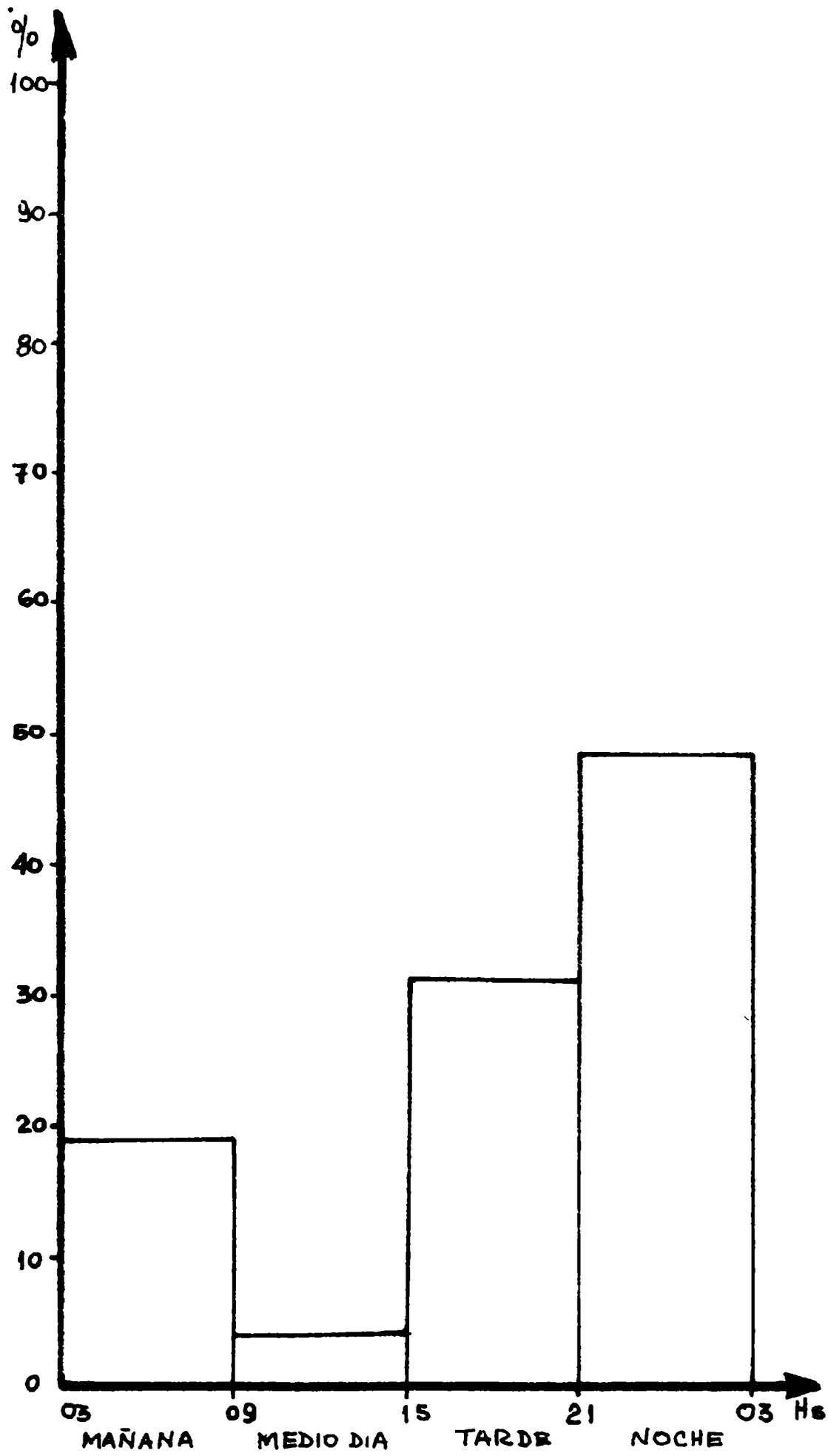


Figura 6: Horas de ocurrencia de tornados.

### BIBLIOGRAFIA

- EVESSON, D.T., 1969: Tornado occurrences in New South Wales. Australian Meteorological Magazine, v. 17, n. 3.*
- LICHTENSTEIN, E.R. y SCHWARZKOPF, M.L.A., 1970: Aspectos estadísticos de las líneas de inestabilidad en la Argentina. Meteorológica, v. 1, n. 1.*
- FUJITA, T. 1970: Estimate of maximum wind speeds of tornados in three northwestern states. SMRP, Research paper n. 92.*
- SCHWARZKOPF, M.L.A. y MIGLIARDO, R.C., 1973: El tornado de San Justo, Provincia de Santa Fe, ocurrido el 10 de enero de 1973. Meteorológica, v. 4 n. 1, 2, 3.*

## INDICE DE AUTORES

Página

ACHAVAL, E.M. de (de LEVI L., . . ., LUBART L.): Estructura de granizos y su vinculación con las condiciones ambientales.	25
ALTINGER de SWARZKOPF, María L. (de . . ., MIGLIARDO, R.C.): Aspectos estadísticos de la ocurrencia de tornados en la República Argentina	199
AZCARATE, Ismael N. (de MUGHERLI V.J., . . ., GHIELMETTI, H.S.): Transmisión de un colimador de plomo para radiación gama de alta energía.	129
AZCARATE, Ismael N. (de . . ., DURO J.C., GHIELMETTI H.S., MUGHERLI V.J.): Radiación gama atmosférica de alta energía, a bajas latitudes.	117
AZCARATE, Ismael N. (de GHIELMETTI H.S., MUGHERLI V.J., . . .): Una observación de rayos X en la atmósfera durante la erupción solar del 7 de agosto de 1972.	165
CARDOZO, Raúl (de SALUZZI M.E., NUÑEZ J.M., . . .): Rendimiento de una red de observación de precipitaciones originadas en tormentas severas.	1
CASCARINO, Benito B. Trabajos geofísicos para el estudio de terraplenes y fundaciones de puentes.	147
CAZENEUVE, Horacio: Efectos de la precipitación impulsiva de electrones en la zona auroral.	17
CERRATO, Angel (de . . ., RODRIGUEZ R.) Estudio y proyecto de una base patrón para contraste de electrodistanciómetros.	191
COLJNA, Avertano: Análisis de la compensación angular de polígonos.	33
DURO, J.C. (de AZCARATE I.N., . . ., GHIELMETTI H.S., MUGHERLI V.J.): Radiación gama atmosférica de alta energía, a bajas latitudes.	117
FONT de AFFOLTER, Graciela (de . . ., SCHNEIDER O.): Determinación preliminar de la marea barométrica en la zona del Río de la Plata.	61
GHIELMETTI, H.S. (de . . ., MUGHERLI V.J., AZCARATE I.N.): Una observación de Rayos X en la atmósfera durante la erupción solar del 7 de agosto de 1972.	165
GHIELMETTI, H.S. (de AZCARATE I.N., DURO J.C., . . ., MUGHERLI V.J.): Radiación gama atmosférica de alta energía, a bajas latitudes.	117
GHIELMETTI, H.S. (de MUGHERLI V.J., AZCARATE I.N., . . .): Transmisión de un colimador de plomo para radiación gama de alta energía.	129
GIRALDEZ, A.E. (de . . ., MESTERMAN I.): Análisis de procesos hidromagnéticos en la capa E y su conexión con las capas E - esporádicas.	41
HUERTA, Eduardo: Resultados gravimétricos obtenidos en una zona de la cañada San Antonio.	99
HUERTA, Eduardo (de INTROCASO A., . . .): Valuación de efectos gravimétricos y sus aplicaciones a la interpretación.	75
INTROCASO, Antonio: Modelo gravimétrico provisorio de corteza andina en el paralelo 36°S.	107
INTROCASO, Antonio (de . . ., HUERTA E.): Valuación de efectos gravimétricos y sus aplicaciones a la interpretación.	75
LEVI, L. (de . . ., ACHAVAL E.M. de, LUBART, L.): Estructura de granizos y su vinculación con las condiciones ambientales.	25
LUBART, L. (de LEVI L., ACHAVAL E.M. de, . . .): Estructura de granizos y su vinculación con las condiciones ambientales.	25
MESTERMAN, I. (de GIRALDEZ, A.E., . . .): Análisis de procesos hidromagnéticos en la capa E y su conexión con las capas E - esporádicas.	41
MIGLIARDO, Romualdo C. (de ALTINGER de SWARZKOPF, M.L., . . .): Aspectos estadísticos de la ocurrencia de tornados en la República Argentina.	199

	<b>Página</b>
MUGHERLI, Vicente J. (de ., AZCARATE I.N. GHIELMETTI H.S.): Transmisión de un colimador de plomo para radiación gama de alta energía.	129
MUGHERLI, Vicente J. (de GHIELMETTI, H.S., . . ., AZCARATE I.N.): Una observación de rayos X en la atmósfera durante la erupción solar del 7 de agosto de 1972.	165
MUGHERLI, Vicente J. (de AZCARATE I.N., DURO J.C., GHIELMETTI H.S., . . .): Radiación gama atmosférica de alta energía, a bajas latitu- des.	117
NUÑEZ, José M. (de SALUZZI M.E., ., CARDOZO R.): Rendimiento de una red de observación de precipitaciones originadas en tormentas severas.	1
RODRIGUEZ, Rubén (de CERRATO A., . . .): Estudio y proyecto de una base patrón para contraste de electrodistanciómetros.	191
SALUZZI, María E. (de ., NUÑEZ J.M., CARDOZO R.): Rendimiento de una red de observación de precipitaciones originadas en tormentas severas.	1
SÁNCHEZ, Rafael N.: Algunas advertencias a los estudiosos de la Geodesia.	179
SCHNEIDER, Otto (de FONT de AFFOLTER G., .): Determinación preliminar de la marea barométrica en la zona del Río de la Plata.	61
SEIBOL, Jorge R.: Balance energético solar y su influencia geo-bio-física.	155

**C O N T E N I D O**

Página

*MARIA E. SALUZZI, JOSE M. NUÑEZ y RAUL CARDOZO*

Rendimiento de una red de observación de precipitaciones originadas en tormentas severas.

1

*HORACIO CAZENEUVE*

Efectos de la precipitación impulsiva de electrones en la zona auroral.

17

*L. LEVI, E.M. DE ACHAVAL y L. LUBART*

Estructura de granizos y su vinculación con las condiciones ambientales.

25

*AVERTANO COLINA*

Análisis de la compensación angular de polígonos.

33

*A.E. GIRALDEZ y I. MESTERMAN*

Análisis de procesos hidromagnéticos en la capa E y su conexión con las capas E – esporádicas.

41

*GRACIELA FONT de AFFOLTER y OTTO SCHNEIDER*

Determinación preliminar de la marea barométrica en la zona del Río de la Plata.

61

*ANTONIO INTROCASO y EDUARDO HUERTA*

Valuación de efectos gravimétricos y sus aplicaciones a la interpretación.

75

*EDUARDO HUERTA*

Resultados gravimétricos obtenidos en una zona de la cañada San Antonio.

99

*ANTONIO INTROCASO*

Modelo gravimétrico provisorio de corteza andina en el paralelo 36°S.

107

*ISMAEL N. AZCARATE, J.C. DURO, H.S. GHIELMETTI y VICENTE J. MUGHERLI*

Radiación gama atmosférica de alta energía, a bajas latitudes.

117

*VICENTE J. MUGHERLI, ISMAEL N. AZCARATE y H.S. GHIELMETTI*

Transmisión de un colimador de plomo para radiación gama de alta energía.

129

*BENITO B. CASCARINO*

Trabajos geofísicos para el estudio de terraplenes y fundaciones de puentes.

147

*JORGE R. SEIBOL*

Balance energético solar y su influencia geo-bio-física.

155

*H.S. GHIELMETTI, VICENTE J. MUGHERLI y ISMAEL N. AZCARATE*

Una observación de rayos X en la atmósfera durante la erupción solar del 7 de agosto de 1972.

165

*RAFAEL N. SANCHEZ*

Algunas advertencias a los estudiosos de la geodesia.

179

*ANGEL CERRATO y RUBEN RODRIGUEZ*

Estudio y proyecto de una base patrón para contraste de electrodistanciómetros.

191

*MARIA L. ALTINGER de SWARZKOPF y ROMUALDO C. MIGLIARDO*

Aspectos estadísticos de la ocurrencia de tornados en la República Argentina.

199