

COMPORTAMIENTO DE LA GARGANTA DE DENSIDAD ELECTRONICA
DE LA REGION F DURANTE LA TORMENTA GEOMAGNETICA
DEL 26 DE MARZO DE 1976 (*)

Nieves Ortiz de Adler, José R. Manzano (**)
Laboratorio de Ionósfera, Facultad de Ciencias Exactas y
Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán
Tucumán, Republica Argentina.

RESUMEN

El análisis de los datos suministrados por la red de sondadores de superficie, que incluye estaciones desde los -54° (Islas Argentinas) a 01° (Huancayo), ambos de latitud geomagnética, durante la tormenta geomagnética del 26 de marzo de 1976 ocurrida en el primer período de ASHAY, permite establecer la existencia de una garganta en la concentración ionosférica de la región F, que alcanza latitudes correspondientes a un parámetro de capa $L=1,20$, menor que los encontrados para gargantas detectadas desde satélites en otras regiones de la Tierra. Asimismo es clara la presencia de una doble garganta en ciertas horas del día.

Del análisis del período mencionado surgen dos hechos significativos: 1) la aparición de la garganta de latitudes medias ocurre simultáneamente con el desplazamiento del pico de la anomalía ecuatorial hacia latitudes menores que las de Tucumán, y con la presencia de un pedestal o pico en las vecindades de la mencionada garganta. 2) la presencia de un pico con foF_2 , en latitudes correspondientes a Puerto Stanley, muestra un desplazamiento hacia latitudes bajas, con un pronunciado decrecimiento latitudinal en la velocidad de avance (450mseg^{-1} de -48° a -25° ; 65mseg^{-1} de -35° a -23° de latitud magnética).

ABSTRACT

The presence of a F-region ionization trough was apparent from the analysis of the records of the ground based ionosondes network, stretching from -54° (Argentine Is.) to $+01^\circ$ (Huancayo), geomagnetic latitudes. This ionization trough reached latitudes corresponding to L values of 1,20, clearly below those currently found for

(*) Trabajo subvencionado parcialmente por el CONICET, a través del Programa Nacional de Radiopropagación.

(**) Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

troughs detected from satellite survey data in other regions of the earth globe. The presence of a double trough is also apparent at certain hours of the day.

Two significant features come up from the period analyzed: 1) the appearance of the middle latitude trough occurs simultaneously with the shift of the equatorial anomaly peak to latitudes lower than Tucumán, and with the presence of a pedestal or peak close to the south-side of the trough; 2) the presence of a peak in foF2, at latitudes near Pt. Stanley, which shows a equatorward displacement, with a pronounced latitudinal decrease in the velocity of advance (450mseg^{-1} at -25° ; 65mseg^{-1} from -35° to -23° geomagnetic latitude)

INTRODUCCION

Un hecho característico de la ionósfera nocturna en latitudes medias, es la presencia de una zona de depresión en la densidad de electrones e iones, conocida como "garganta de latitudes medias" o "garganta principal".

La existencia de la garganta ionosférica fue establecida por primera vez por Muldrew (1965) con la información proporcionada por los sondadores de tope del satélite Alouette I.

La confirmación de la existencia de la misma, se dió a través del análisis de la gran cantidad de datos suministrados por los satélites artificiales; observándose su presencia principalmente durante la noche y con parámetros de capa L no menores de 2,5 (Tulunay y Sayers, 1971; Tulunay y Grebowsky, 1978).

Se han realizado gran cantidad de trabajos sobre las características morfológicas de las gargantas, sus variaciones temporales, relación con la actividad magnética, etc. (Miller y Brace, 1969; Rycroft y Thomas, 1970; Tulunay y Sayers, 1971; Taylor y otros, 1975; Grebowsky y otros, 1976; Mendillo y Chacko, 1977; Kohnlein y Raitt, 1977; Spiro y otros, 1978), siendo uno de los aspectos más interesantes de la garganta, su posible conexión con la plasmapausa magnetosférica.

Los trabajos de Rycroft y Thomas (1970) y Rycroft y Burnell (1970) mostraron que el centro del mínimo de la garganta, y la plasmapausa, medida en el plano ecuatorial, estaban alineados a lo largo de la misma capa L. También mostraron que la posición de la garganta varía con K_p en forma similar a la variación de la plasmapausa con la actividad magnética.

Kohnlein y Raitt (1977) han confirmado que la latitud invarian-

te de la plasmapausa y de la garganta, decrece cuando aumente K_p . Observaron además la aparición de gargantas solo durante la noche: 19 a 05 hs T.L.

Sin embargo, observaciones realizadas por otros investigadores (Grebowsky y otros, 1976) han creado dudas sobre la relación entre la plasmapausa y la garganta.

En cuanto al origen de la garganta, los primeros trabajos (Thomas y Dufour's, 1965), sugerían que la disminución de la densidad electrónica en la región F era resultado de la combinación de un proceso de declinación en la densidad hacia altas latitudes (por aumento del ángulo cenital solar), interrumpido por un aumento debido a la ionización producida por precipitación auroral. Actualmente el origen de la garganta se relaciona con la convección magnetosférica en la ionósfera de altas latitudes.

Banks y otros (1974) y Shunck y otros (1975), sugieren que la garganta se forma por la conversión de iones O^+ en iones NO^+ , con la posterior recombinación disociativa ($NO^+ + e \rightarrow N + O$).

La gran velocidad de deriva de los iones (causada por el campo eléctrico en las vecindades de la garganta) sería la causa de que la disminución de densidad electrónica fuera más eficiente en esta zona.

Según Banks y otros (1974), la formación de la garganta de latitud medias y altas, tendría el mismo proceso químico, pero serían originadas por distintos mecanismos: en latitudes medias sería de mayor influencia la co-rotación ionosférica con la Tierra; en cambio para latitudes altas habría que tener en cuenta la presencia de un campo eléctrico ionosférico de gran escala (asociado con la convección magnetosférica), así como la presencia de fuertes vientos termosféricos.

Spiro y otros (1978) sostienen también que la disminución de la densidad electrónica se debe al intercambio átomo-ión y a la posterior recombinación disociativa, pero este proceso se favorecería por la permanencia del plasma durante mayor tiempo, en las vecindades de la garganta, como consecuencia de un mecanismo de avance, estancamiento y retroceso del mencionado plasma. Este movimiento sería el resultado de la acción combinada de los campos eléctricos de co-rotación y magnetosféricos. El lugar de estancamiento del plasma (lugar donde el flujo se invierte de este a oeste) se encuentra entre las 18 y 24 hs T.L.

ANALISIS DE MEDICIONES

Este trabajo está basado en datos proporcionados por la red sudamericana de sondadores de superficie. La poca información disponible impide encarar el mismo desde un punto de vista cuantitativo, sin embargo ésta sería suficiente como para insinuar los procesos que tienen lugar en la formación de la garganta de densidad electrónica en latitudes medias.

La figura 1 muestra una imagen "tridimensional" de los datos de f_{oF2} para la red de sondadores sudamericana y antártica, correspondientes al día 25 de marzo de 1976.

De la observación de la misma, se puede confirmar la existencia de una garganta extendida, que va aplanándose, desde las 00 a las 03 horas T.L., situada a la altura de Buenos Aires ($L=1,20$ Dip= $-32,2^\circ$). A las 04 y 05 horas de T.L. el mínimo se presenta en Tucumán ($L=1,11$ Dip= $-22,1^\circ$). Es clara la presencia de un pedestal bien conformado por las estaciones Puerto Stanley ($L=1,58$; Dip= $-47,5^\circ$), Ushuaia ($L=1,69$; Dip= $-50,6^\circ$) e Islas Argentinas ($L=2,36$, Dip= $-58,1^\circ$), desde las 00 a las 06 horas T.L.

Desde las 06 a las 17 hs se observa un comportamiento irregular. Parece no haber garganta en las horas de luz diurna (por lo menos en las latitudes alcanzadas por los sondadores disponibles), pero sí la existencia de una giba en Puerto Stanley a las 06 hs, la que se traslada a Buenos Aires a las 07 hs; se presenta nuevamente en Puerto Stanley a las 09 hs y en Ushuaia a las 11 y 12 hs.

La desaparición de la giba a las 08 y 10 hs puede deberse a la falta de una estación entre Huancayo ($L=1,04$; Dip= $1,3^\circ$) y Tucumán, y a la falta de datos de la estación Ushuaia a las 10 hs.

A las 13 hs, el pico de Ushuaia de horas anteriores se ha aplanado, y se forma un pico suave a la altura de Concepción ($L=1,21$, Dip= $-35,5^\circ$), el que se encuentra allí Buenos Aires a las 14 hs.

A las 18 hs el pico de la anomalía ecuatorial parece haber desaparecido (debido quizás a un desplazamiento hacia latitudes menores que las de Tucumán) y el pedestal presente en horas anteriores en Ushuaia, está perfectamente perfilado, con la adición de otro pico en Concepción. Es clara la presencia de dos gargantas en la densidad electrónica.

Desde las 19 a las 23 hs, son nítidamente observables, una garganta a la altura de Buenos Aires, y un pedestal bien conformado en Ushuaia, así como la desaparición del pico de la anomalía ecuatorial.

Exceptuando las horas de luz diurna, donde el comportamiento es irregular, se podría aventurar que la garganta de latitudes medias se presenta sólo cuando el pico de la anomalía ecuatorial está en latitudes menores que las de Tucumán, y se mantienen, en tanto la posición del mencionado pico se mantenga. Es de destacar que en todos los casos, la garganta tiene en sus vecindades un pedestal. Se debe notar también, el traslado del pico de Ushuaia (12 hs) a Concepción (13 hs), Buenos Aires (15 hs) y a Tucumán (15 hs).

La figura 2 representa foF2 para la misma red de sondadores, para el 26 de marzo de 1976, día posterior a la tormenta geomagnética cuyo S.C. tuvo lugar a las 22,33 T.L. del 25 de marzo.

La falta de datos de algunas estaciones durante las primeras horas del día, impiden hacer observaciones en las curvas correspondientes.

Desde las 08 a las 15 hs se observa un pico que oscila entre Buenos Aires y Concepción. No hay garganta, y la desaparición del pedestal de altas latitudes es un hecho notable en este día (hay una brusca caída en la densidad electrónica para altas latitudes). Recién a las 20 hs, cuando el pico que se observaba en horas anteriores se ha desplazado a latitudes menores que las de Tucumán, aparece una garganta en Puerto Stanley y un pedestal de alta latitud.

Igual que en el caso del día 25, se puede destacar la presencia de una doble garganta (21 hs) y el hecho de que la aparición de la garganta se da simultáneamente con el desplazamiento del pico de la anomalía ecuatorial hacia latitudes menores que las de Tucumán.

La figura 3 corresponde a los datos de foF2 del día 27 de marzo de 1976. En ella se nota la presencia de una doble garganta (Puerto Stanley y Buenos Aires) a las 02 hs. Así como una garganta en Buenos Aires desde las 00 a las 03 hs, y en Tucumán desde las 04 a las 07 hs. A las 08 hs se observa dos gibas (ya insinuadas a las 07) en Buenos Aires y Ushuaia, las que definen dos gargantas. Estas dos gibas están presentes a las 09 hs, pero parecen haberse "fusionado", según se nota en la curva de las 10 hs.

Se nota el avance de un pico hacia latitudes bajas. Este se encuentra en Puerto Stanley a las 10 hs, en Concepción a las 11 hs y en Buenos Aires a las 12 y 13 hs. Las velocidades de propagación son de 450mseg^{-1} y de 65mseg^{-1} .

Los datos de h'F (no incluidos en este trabajo) muestran que el proceso de elevación de capa, se propagaría hacia bajas latitudes

con velocidades acorde a las estimadas.

Igual que en días anteriores, la garganta aparecerá cuando el pico de latitudes medias no se observa. Las curvas de las 15, 16 y 17 hs muestran un pico de latitudes medias que marcan una garganta en latitudes menores que la de Concepción. La curva de las 19 hs muestra una brusca caída de f_oF_2 desde Huancayo a Concepción y un pedestal bien conformado entre Puerto Stanley y Ushuaia (el que subsiste nítido hasta las 24 hs).

La figura 4 muestra las variaciones porcentuales de los días post tormenta, 26, 27 y 28, en relación al día tranquilo: 25/3.

Todas las estaciones presentan fase negativa en horas siguientes a la iniciación de tormenta. Para estaciones de latitud menor que la de Puerto Stanley, la fase negativa se extiende hasta las 07 hs aproximadamente, en cambio Puerto Stanley tiene fase negativa hasta las 10 hs, Ushuaia hasta las 12 hs e Islas Argentinas (salvo de 16 a 20 hs) es totalmente negativa. Es notable el aumento de f_oF_2 del día 26 en relación al 25 (140% en Puerto Stanley).

Las estaciones de latitudes medias y altas permanecen mas tiempo perturbadas. Tucumán, Buenos Aires y Puerto Stanley tienen aumentos del 70, 75 y 75% respectivamente, aun el día 28. En cambio Ushuaia e Islas Argentinas siguen teniendo fase negativa aun el día 28. En cambio Huancayo ya ha vuelto a la normalidad este día.

DISCUSION

Es innegable la presencia de un mínimo en la densidad electrónica, que conforma un efecto de garganta. La posición de ésta en latitudes inesperadas (no coincidentes con las observadas en otras regiones de la Tierra) se corresponden a las observaciones realizadas por Gledhill y otros (1979), quienes detectan (con datos del satélite AE-C) una garganta en la densidad de electrones a 300 km de altura cuyo borde está situado en $40^{\circ}\text{S}-25^{\circ}\text{W}$ ($L=1,7$) a las 21 hs T.L. del día 26 de marzo de 1976. Para este día la red de sondadores sudamericana, detecta una garganta en la densidad electrónica a las 20 hs T.L. en Puerto Stanley.

El mínimo del flujo de electrones precipitados (Haggard y otros, 1979) que se extiende desde 25°S , 35°W a 45°S , 50°W , configura una garganta de latitudes medias, pero la inexistencia de un máximo en la temperatura electrónica, y la no alineación de ésta con las líneas de $L=\text{cte}$, como sucede con otras gargantas, indicaría que su origen es distinto, y estaría asociado con el máximo de precipita-

ción de electrones que se observa a pocos grados al oeste de esta zona. En cuanto al "pedestal" mencionado anteriormente, éste podría ser aparente, originado en realidad por una depresión en la ionización a menores latitudes. Sin datos directos de precipitación de partículas es difícil confirmar cuál de las posibilidades es la correcta. Es significativo que en las horas en que no hay pedestal, no hay vestigios de garganta.

La clara propagación de una perturbación, con componente ecuatorial, tiene características coincidentes con las encontradas por otros autores. El incremento de temperatura exosférica (Rüster y King, 1975) durante disturbios magnéticos, es mayor en la zona polar, lo que originaría un sistema de vientos, con componente ecuatorial, que se oponen al movimiento de ionización hacia el polo, durante la formación de la anomalía ecuatorial. El decrecimiento latitudinal de la velocidad del viento que se dirige hacia el ecuador, produce un apilamiento de ionización en latitudes alrededor de los 24°. Las curvas analizadas, muestran un segundo pico con características diferentes al "pedestal", que avanza hacia el ecuador, con velocidades decrecientes hasta llegar a detenerse (como puede verse claramente a mediodía del día 27), produciendo una homogeneización en la densidad electrónica en un rango amplio de latitudes (Huancayo a Concepción; según la curva de las 14 hs).

Quando se produce este "apilamiento" en bajas latitudes, comienzan a definirse garganta y pedestal en altas latitudes. Este último mecanismo es válido para días tranquilos (25/3) y días perturbados (26 y 27/3), siendo más claro en días perturbados. La persistencia del fenómeno en las dos situaciones, sugiere que el mismo estaría relacionado con la precipitación de electrones en la anomalía americana.

Los gradientes de velocidades calculados coinciden con las velocidades estimadas por Pröhlss y Jung (1978), para las perturbaciones responsables de las tormentas positivas (500 mseg⁻¹).

BIBLIOGRAFIA

- Banks P.M., Schunk R., y Raitt W.J., 1974 : NO⁺ and O⁺ in the high latitude F region; Geophys. Res. Lett., 1, 239.
- Gledhill J.A., Torr D.G. y Hoffman R.A., 1979: The mid-latitude trough during the event of 26/27 march 1976; presentado en el Primer Simposio Internacional sobre resultados del IMS (International Magnetospheric Study), parte de la 17a Asamblea General de la IUGG Melbourne, Australia (a publicar).

- Grebowsky J.M., Chen A.J. y Taylor H.A. (Jr.), 1976: High-latitude trough and the polar cap boundary; *J. Geophys. Res.*, 81, 690.
- Haggard R., Gledhill J.A., Torr D.G. y Hoffman R.A., 1979: Low energy particles at 300 km in the South Atlantic Anomaly Region; presentado a la 17a Asamblea General de la IUGG, Canberra, Australia (a publicarse).
- Kohnlein W. y Raitt W.J., 1977: Position of the mid-latitude trough in the topside ionosphere as deduced from ESRO 4 observations; *Planet. Space. Sci.*, 25, 600.
- Mendillo M. y Chacko C.C., 1977: The base level ionosphere trough; *J. Geophys. Res.*, 82, 5129.
- Miller N.J. y Brace L.H., 1969: Some winter characteristics of northern high-latitude ionosphere; *J. Geophys. Res.*, 74, 5752.
- Muldrew D.B., 1965: F-layer ionization trough deduced from Alouette data; *J. Geophys. Res.*, 70, 2635.
- Prölss G.W. y Jung M.J., 1978: Atmospheric disturbances as a possible explanation for daytime positive storm effects of moderate duration at middle latitudes; *J. of Atmospheric and Terrestrial Physics*, vol. 40, 1351.
- Ruster R., King J.W., 1975: Negative ionospheric Storms caused by Thermospheric winds; *J. of Atmos. and Terrestrial Physics*, 38, 593.
- Rycroft M.J., Burnell S.J., 1970: Statistical Analysis of movements of the ionospheric trough and the plasmapausa; *J. Geophys. Res.*, 75, 5600.
- Rycroft M.J., Thomas J.O., 1970: The magnetospheric plasmapausa and the electron density trough at the Allouette I orbit; *Planet. Space Sci.*, 18, 65.
- Shunk R.M., Raitt M.J. y Banks P.M., 1975: Effects of electric fields on the daytime high-latitude E and F regions; *J. of Geophysical Research*, 80, 3121.
- Spiro R.W., Heelis R.A. y Hanson M.B., 1978: Ion Convection and the formation of the mid-latitude F region ionization trough; *J. Geophys. Res.*, 83, 4255.
- Taylor H.A., 1972: The high ion trough; *Planet. Space Sci.*, 20, 593.
- Taylor H.A., Grebowsky J.M. y Chen A.J., 1975: Ion composition irregularities and ionospheric-plasmapheric coupling; Observations of a high latitude ion trough; *Q. Atmos. Terr. Phys.*, 37, 613.
- Thomas J.O. y Dufour's S.W., 1965: Electron density in the whistler medium; *Nature, London* 206, 567.
- Tulunay Y.K. y Grebowsky J.M., 1978: The noon and midnight mid-lat-

itude trough as seen by Ariel 4 ; J.Atmos. Terr. Phys. ,40, 845.

Tulunay Y.K. y Savers J.,1971: Characteristics of the mid-latitude trough as determined by the electron density experiment on Ariel 3; Atmos. Terr. Phys., 33, 1737.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- Fig. 1 : Imagen tridimensional del comportamiento de f_oF2 para el día 25 de marzo de 1976.
a) despliegue sobre 24 horas.
b) detalle de las últimas horas.
- Fig. 2 : Idem anterior, para el día 26 de marzo de 1976.
- Fig. 3 : Idem anterior, para el día 27 de marzo de 1976.
- Fig. 4 : Variaciones porcentuales de f_oF2 de los días 26,27 y 28 de marzo de 1976, en relación al día 25 de marzo de 1976.

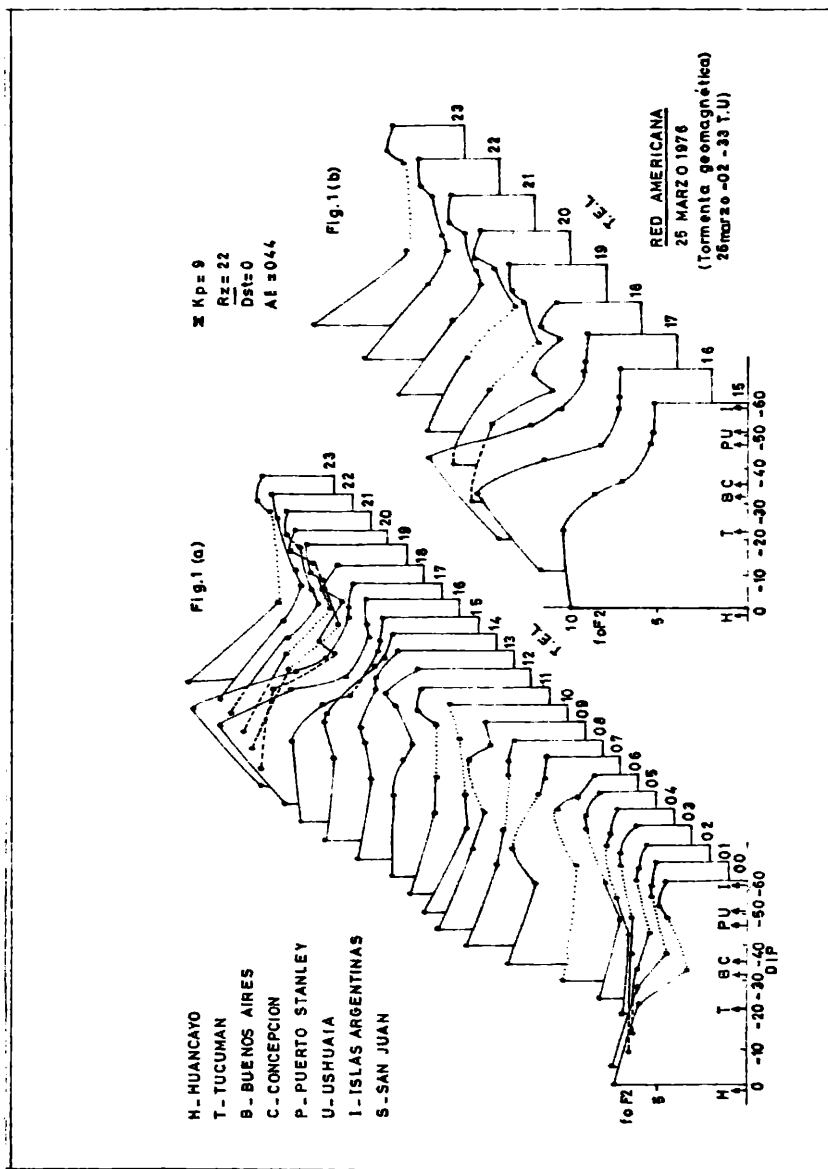


Fig. 1

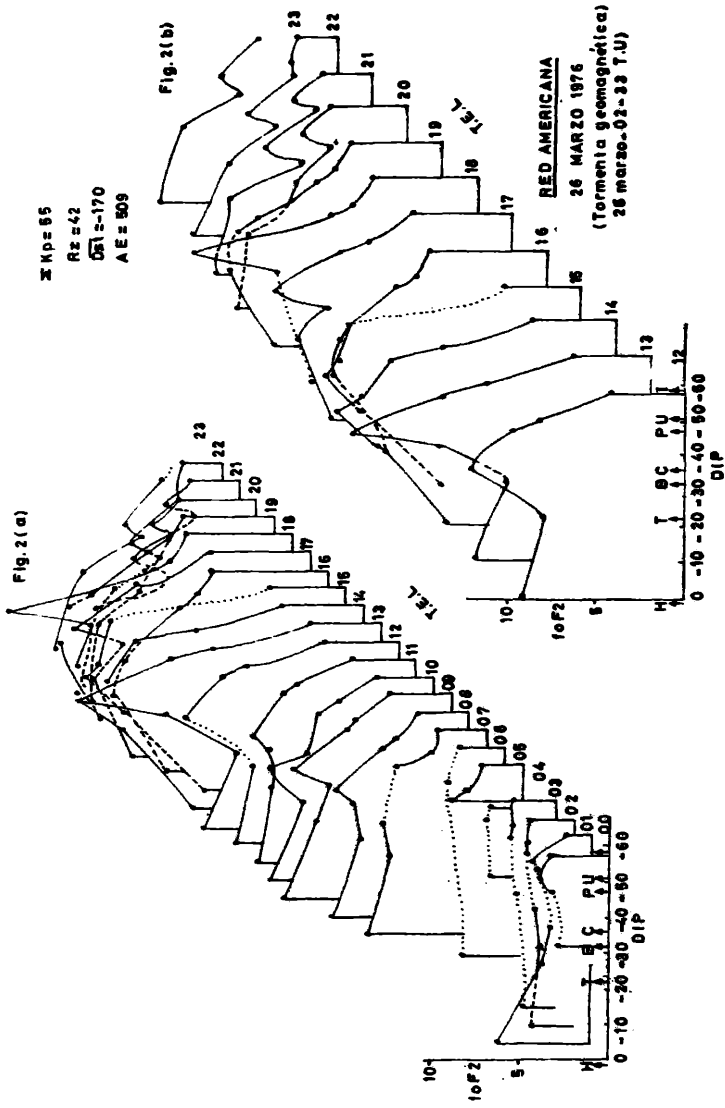


Fig. 2

Fig. 4

