

PERTURBACIONES IONOSFERICAS DURANTE SEPTIEMBRE 1977

Alberto E. Giráldez, Inés Lama

Laboratorio Ionosférico de La Armada (LIARA)

Vicente López - Buenos Aires

RESUMEN

El presente trabajo analiza los efectos ionosféricos en una estación de latitudes medias (Buenos Aires), provocados por el conjunto de tormentas solares ocurridas durante septiembre de 1977. Entre los efectos más importantes figuran: la alta correlación de la absorción ionosférica con la actividad solar impulsiva detectada en 2,8 GHz; las variaciones de densidad electrónica de la región E en función de efectos dinámicos y la respuesta de la región F frente a perturbaciones magnéticas de considerable intensidad.

ABSTRACT

This paper presents the effects observed at a midlatitude ionospheric station (Buenos Aires), triggered by the set of solar flares which took place on September 1977. Among the most important effects observed are the high correlation between ionospheric absorption and impulsive solar activity at 2,8 GHz, E-region electron density variations due to dynamical effects, and F-region response to geomagnetic perturbations.

INTRODUCCION

El conjunto de eventos ocurridos durante el mes de Septiembre de 1977, Solar Geophysical Data (1977a, 1977b), Cook (1979), provocaron una serie de efectos en la ionosfera que abarcaron desde el aumento de la absorción en la baja ionosfera, hasta la observación de grandes fluctuaciones de densidad electrónica en la alta ionosfera (Región F), generados por el aumento de flujo de radiación y la inyección de partículas solares en la ionosfera terrestre, que de esta manera fue forzada a modificar su equilibrio mediante la redistribución de energía y el transporte de masa por diferentes mecanismos Layr et al (1978), Giraldez y Lama (1978). El esquema de interacción Sol-Tierra que muestra la Figura 1 indica como una fulguración solar influye en toda la ionosfera, si bien de diferentes formas.

El análisis de las perturbaciones observadas en Buenos Aires mediante los registros de ionogramas, se completa con la ayuda de la información geomagnética y de radiación solar publicada por los S. G. Data, mencionados en el párrafo anterior, poniendo especial énfasis en la detección de efectos ionosféricos de corta duración provocados por emisiones solares impulsivas en la baja ionosfera, y en los efectos retardados producidos en la alta y media ionosfera.

OBSERVACIONES EXPERIMENTALES

Región D

El parámetro ionosférico obtenible con sondadores de incidencia vertical, y que permite estimar los cambios de ionización en la baja ionosfera (60-90Km) es la frecuencia mínima (f_{min}) URSI-LIARA (1975). Los cambios en la ionización de la baja ionosfera están relacionados directamente con los cambios de la absorción en las ondas de radio de HF (alta frecuencia) por una relación de la forma

$$\text{Absorción} \simeq K (f_{\min} + f_L)^2, \quad (1)$$

donde f_L es la componente longitudinal de la girofrecuencia y K es constante de proporcionalidad.

Por lo tanto, el aumento de absorción entre un período calmo y una fulguración solar viene dado por:

$$\Delta A = K \left[\left\{ (f_{\min})_p + f_L \right\}^2 - \left\{ (f_{\min})_n + f_L \right\}^2 \right], \quad (2)$$

donde $(f_{\min})_p$ es la frecuencia mínima del período perturbado y $(f_{\min})_n$ la frecuencia mínima del período calmo o normal.

La Figura 2 muestra el resultado de aumento de absorción de uno de los días más perturbados del mes, con referencia al valor calmo promedio del mismo.

El aumento de ionización y correspondiente aumento de f_{\min} son debidos a la llegada de radiación solar impulsiva, por lo tanto el efecto de picos de f_{\min} se correlaciona con la información de radiación solar observada en tierra. La Figura 3 muestra la correlación obtenida para este período entre los picos de f_{\min} y las fulguraciones solares en 2,8 GHz demostrando así la estrecha vinculación de ambos parámetros. La excelente correlación hallada se debe a que la radiación de 2,8 GHz, si bien no produce efectos ionosféricos, parece provenir del mismo nivel de la atmósfera solar, siendo debida al mismo proceso de formación que los rayos X de 1 a 20 Å que producen los aumentos de f_{\min} , Mitra (1974).

En la Figura 4 se compara, para un caso particular, el desarrollo de una perturbación solar en 2,8 GHz con la variación simultánea de f_{\min} , obteniéndose una excelente corroboración experimental que permite establecer en forma contundente que la utilización del flujo de radiación solar en 2,8 GHz como índice de perturbación ionosférica en la región D es adecuada.

Región E

Las perturbaciones observadas en la región E (90-140Km) pueden dividirse en dos clases: las perturbaciones de la capa

E normal y las de la E-Esporádica (E_s). Las primeras, son debidas fundamentalmente a las variaciones de radiación electromagnética en el ultravioleta (UV) y XUV por ionización de los componentes mayoritarios de la región, Trost (1979). Las segundas, son debidas a efectos dinámicos (vientos neutros, ondas gravitatorias, mareas ionosféricas) en la región, pero son influenciadas directamente por la fulguración solar, Whitehead 1970, Giráldez 1979. De lo anteriormente expuesto se deduce que las dos clases de variaciones de la región E no estarán en fase, aún cuando ambas sean debidas a los efectos producidos por fulguraciones solares.

a) Capa E Normal. Se observan solo leves perturbaciones en la E normal: la densidad electrónica no presenta fluctuaciones superiores al 10%, mientras que las oscilaciones de altura tampoco superan el 5%.

b) Capa E-Esporádica. El fenómeno E_s , es practicamente insensible a las variaciones de la radiación UV y XUV y es muy sensible a efectos dinámicos (vientos neutros) Miller y Smith (1977), Giráldez (1979). Debido a esta característica, sus variaciones en densidad electrónica dependen directamente de las variaciones de vientos en la región, ya que su mecanismo de pérdida es practicamente nulo, Wand et al (1975), Miller and Smith (1978).

Durante el período seleccionado se observan, además de las capas E_s con densidad electrónica normal para la latitud y la época del año considerada en este caso, algunos casos de capas E_s de muy alta densidad electrónica y duración entre 1 y 3 horas. Estos casos, algunos de los cuales ilustra la Figura 5, son provocados por gradientes de vientos neutros muy altos, típicos de las ondas gravitatorias excitadas por calentamiento auroral, Hines (1960), Francis (1975). Este tipo de fenómeno puede alcanzar magnitudes de perturbación superiores al 70% respecto a los valores calmos.

Región F

Las perturbaciones observadas en la región F, debidas a tormentas solares son más complejas que las ya mencionadas en las regiones D y E, debido a que la región F (150-400Km) no reacciona instantaneamente en respuesta al flujo de radiación electromagnética simultanea con la detección óptica de la fulguración; sino que su reacción se produce retardada con la llegada del plasma solar, (Viento Solar) Rishbeth (1975). La serie de causas que provocan perturbaciones en la región F es muy amplia e incluye la interacción ionosfera-magnetosfera, con generación de perturbaciones magnéticas, eléctricas y de ondas gravitatorias, Manzano (1979).

Como resultado de la interacción entre campos eléctricos, ondas gravitatorias, tormentas magnéticas y precipitación de partículas, se produce una perturbación ionosférica de la región F. De allí que no se conozcan dos tormentas ionosféricas iguales hasta la fecha. El acoplamiento (o interferencia) de los distintos componentes de la perturbación son los responsables de los efectos observados, Rishbeth (1975).

La Figura 6 muestra las curvas de nivel isoiónicas de la frecuencia f_oF_2 (URSI-LIARA, 1975) para el período analizado, observándose en ella la abundante cantidad de perturbaciones ocurridas.

La Figura 7, muestra el resultado de la ocurrencia de dos tormentas magnéticas sucesivas en la región F. La primera de ellas provoca solo pequeñas desviaciones de f_oF_2 respecto de su comportamiento previsto en ausencia de disturbios, mientras que la segunda de ellas provoca una fuerte perturbación en f_oF_2 , seguida de difusión en frecuencia, resultados típicos observables generalmente debidos a tormentas magnéticas.

CONCLUSION

De la observación de un período considerablemente perturba-

do se determina que en la región baja de la ionosfera se observa una fuerte e inmediata respuesta de la absorción causada por la radiación solar impulsiva de muy alta frecuencia, determinándose que el flujo solar impulsivo en 2,8 GHz constituye un buen índice de variación de concentración iónica de la baja ionosfera.

La ionosfera media no reacciona en fase con la radiación solar ni con las tormentas magnéticas en forma apreciable, pero es notoria la respuesta de las capas E_s frente al pasaje de ondas gravitatorias generadas en el anillo auroral por calentamiento ionosférico, hallándose una relación causal de la variabilidad de la densidad electrónica de las capas E_s con las perturbaciones del sistema de vientos neutros de la región.

La alta ionosfera es gobernada principalmente por efectos electrodinámicos generados a posteriori de la fulguración solar, por interacción con la magnetósfera principalmente, generando una serie de efectos acoplados, que no pueden ser separados con la sola utilización de la información provista por los ionogramas.

BIBLIOGRAFIA

- Cook, F. E., 1979: A Disturbance Forecaster's view of the September 1977 events; International Solar Terrestrial Predictions Proceedings and Workshop; Boulder Co. EE.UU.
- Francis, S., 1975: Global propagation of atmospheric gravity waves; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 37, 1011-1054.
- Giraldez, A. E., 1979: Daytime Sporadic-E blanketing frequency prediction; *Int. Solar-Terr. Predictions Proceedings*; Boulder, Co. EE.UU.
- Giraldez, A. E., Lama, I., 1978: September 1977 events observed at Buenos Aires Sounding Station; UAG Report on Sept. Oct. Disturbances; World Data Center-A for

- Solar-Terrestrial Physics - NOAA, USA (en prensa).
- Hines, C. O., 1960: Internal Atmospheric Gravity Waves at Ionospheric Heights; *Can. J. of Physics*, 38, 1441-1481.
- URSI-LIARA, 1975: Manual de Interpretación de Ionogramas; LIARA, C-21.
- Manzano, R., 1979: La tormenta magnética como eslabón de unión entre la magnetósfera y la ionosfera; *GEOACTA* Vol. 10, 1980.
- Mayr, H. G., Harris, I., Spencer, N. W., 1978: Some Properties of Upper Atmosphere Dynamics; *Rev. Geophys. Space Phys.*, 16, 539-565.
- Miller, K. L., Smith, L. G., 1978: Incoherent Scatter Radar Observations of Irregular Structure in Mid-Latitude Sporadic-E Layers; *J. Geophys. Res.*, 38, 3761-3775.
- Mitra A. P., 1974: Ionospheric Effects of Solar Flares; D. Reidel Publ, Dordrecht-Holland.
- Rishbeth, H., 1975: F-Region storm and thermosphere circulations; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 37, 1055-1064.
- Solar Geophysical Data, 1977a: NOAA prompt report N°395-Part 1.
- Solar Geophysical Data, 1977b: NOAA prompt report N°399-Part 1.
- Trost, T. F., 1979: Electron Concentrations in the E and Upper D Region at Arecibo.
- Wand, R. H., Harper, R. M., Whitehead, J. D., 1975: Comparison of Arecibo E-Region data and Sporadic-E theory: A measurement of the diffusion coefficient; *Radio Sci.* 10, 357-362.
- Whitehead, J. D., 1970: Production and Prediction of Sporadic-E; *Rev. of Geophysics and Space Physics*, 8, 65-144.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- Figura 1. Esquema general de interacción Sol-Ionosfera en el caso de emisiones solares impulsivas de energía. No se incluye la interacción Sol-Tierra normal.
- Figura 2. Aumento de la absorción ionosférica relativa A_p para uno de los días en que dicho efecto fue más notorio.
- Figura 3. Correlación entre la hora de ocurrencia de un fuerte aumento en la frecuencia mínima observada (f_{\min}) y la información disponible en cuanto al flujo solar impulsivo en 2,8 GHz.
- Figura 4. Superposición de los datos de frecuencia mínima en función del tiempo y los datos de flujo de radiación solar en 2,8 GHz, obtenidos simultáneamente.
- Figura 5. Predicción del valor de frecuencia crítica de apantallamiento ($f_p E_s$) (trazo lleno) y observaciones (cruces) para cuatro días de este período. Fecha: mes/día/.
- Figura 6. Curvas de nivel de frecuencia crítica (proporcional a la densidad electrónica) en capa F mostrando las fuertes perturbaciones ocurridas durante la segunda mitad del mes.
El trazo punteado indica la curva estimada, debido a la falta de datos.
- Figura 7. Evolución de la frecuencia crítica en la región F según la predicción de condición calma (línea llena) y los valores observados (puntos). Las barras verticales paralelas en el sector derecho de la figura indican difusión en frecuencia. SC: hora de comienzo de una tormenta magnética repentina.

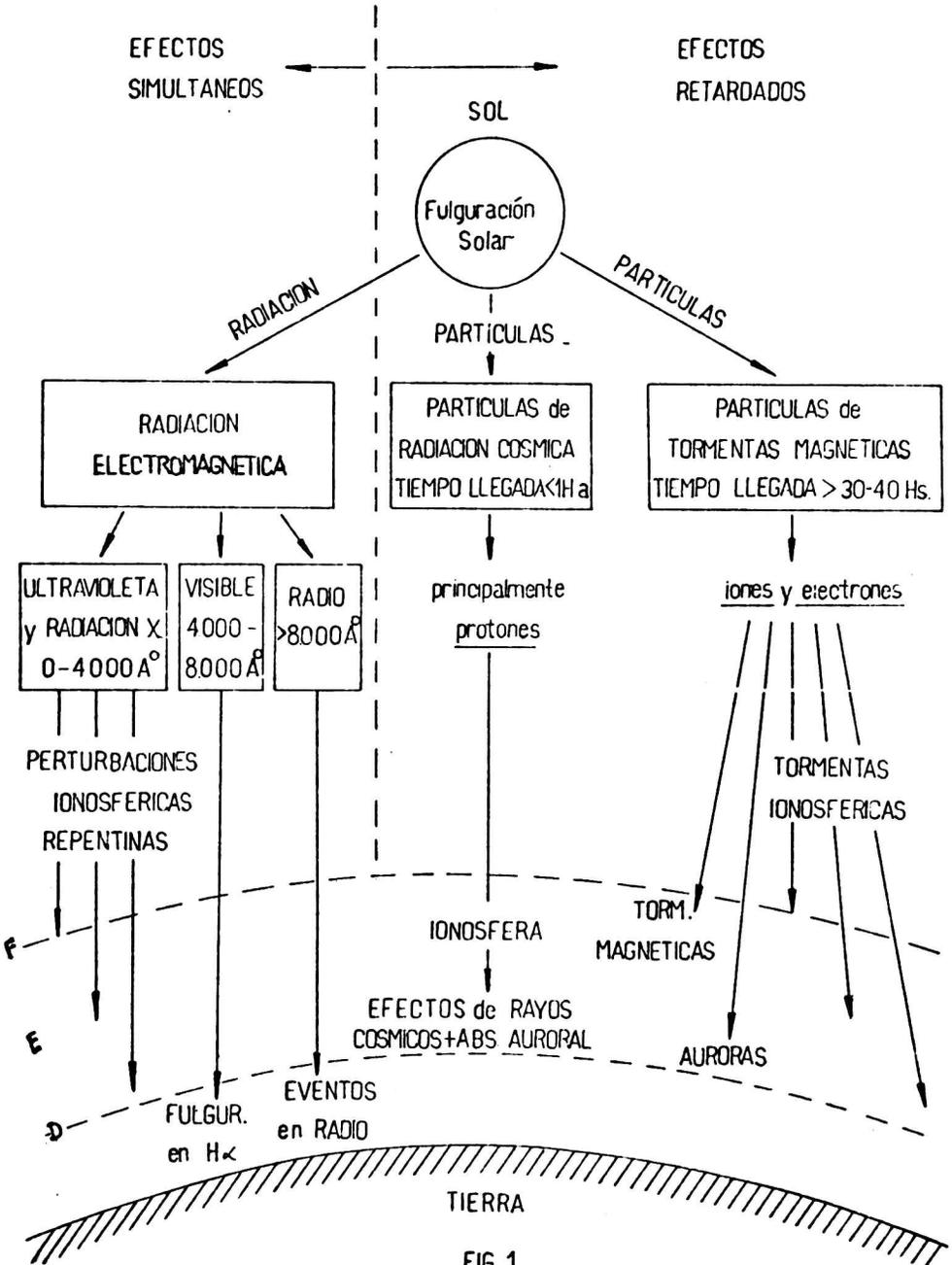


FIG 1

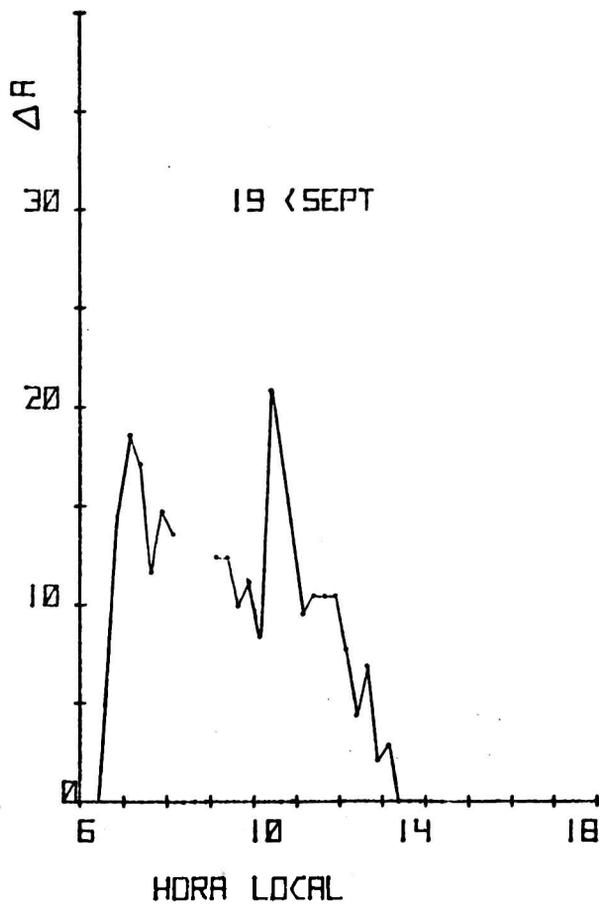


FIG. 2

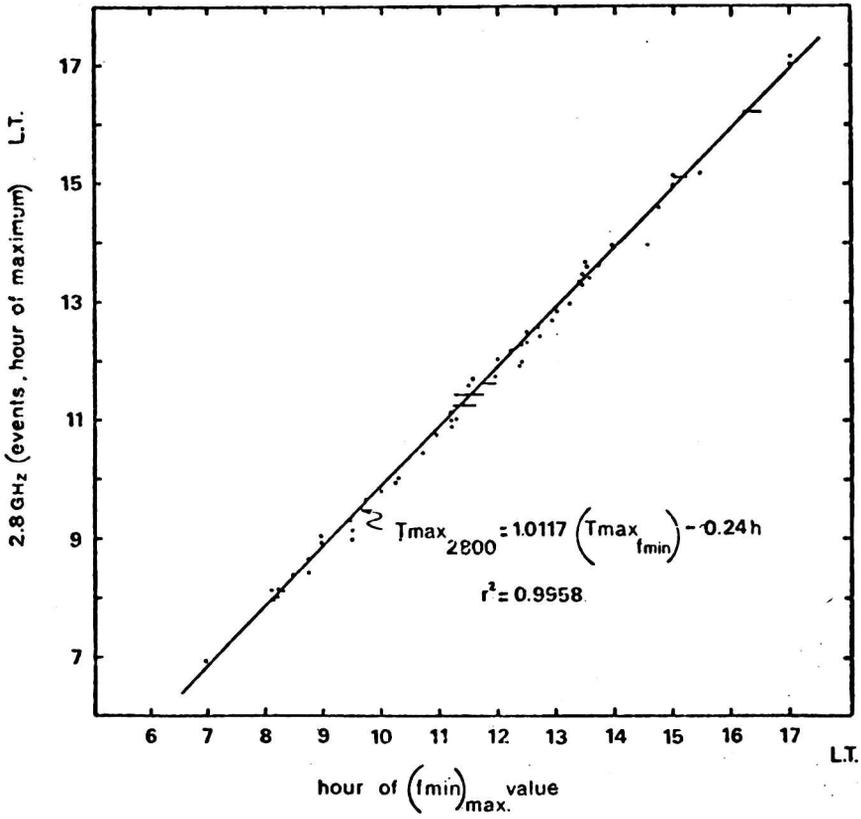


FIG. 3

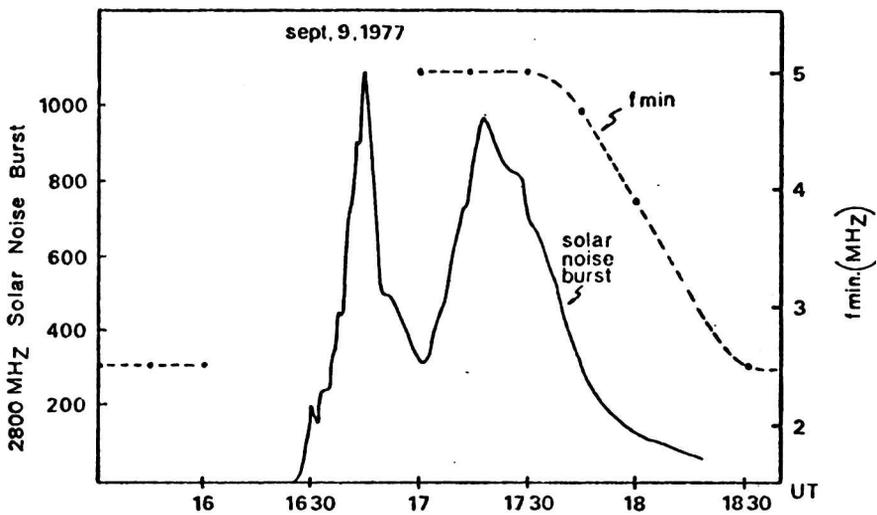


FIG. 4

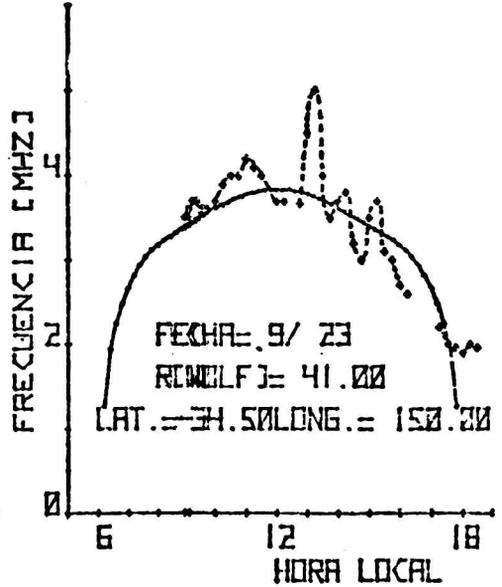
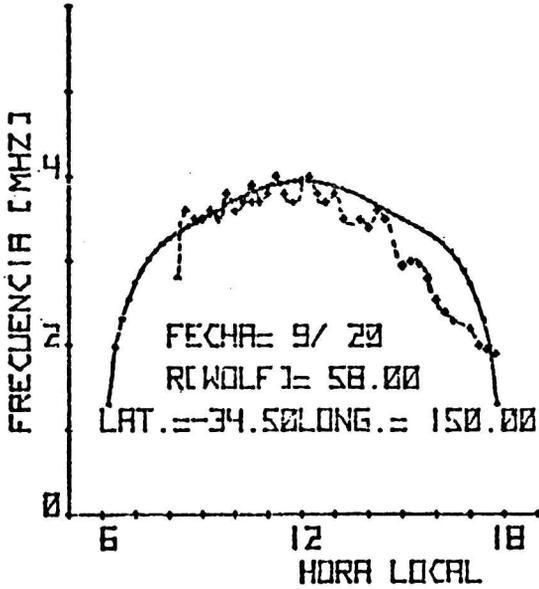
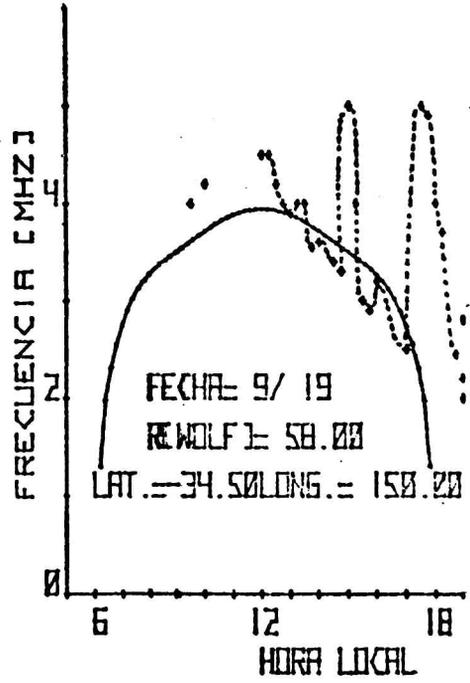
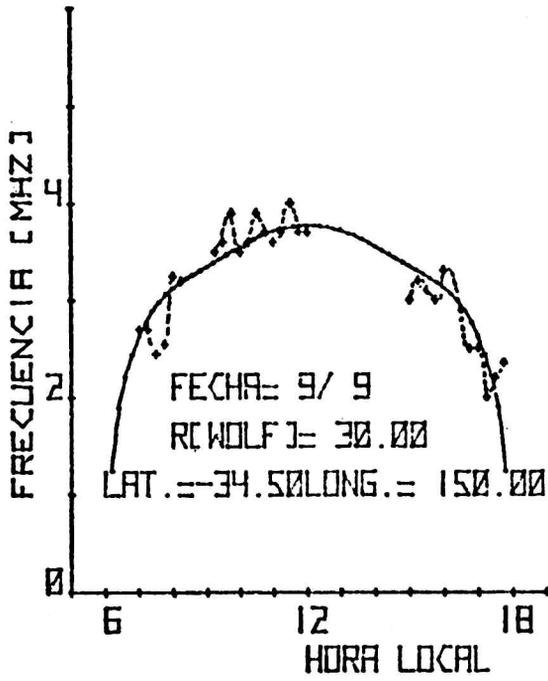


FIG. 5

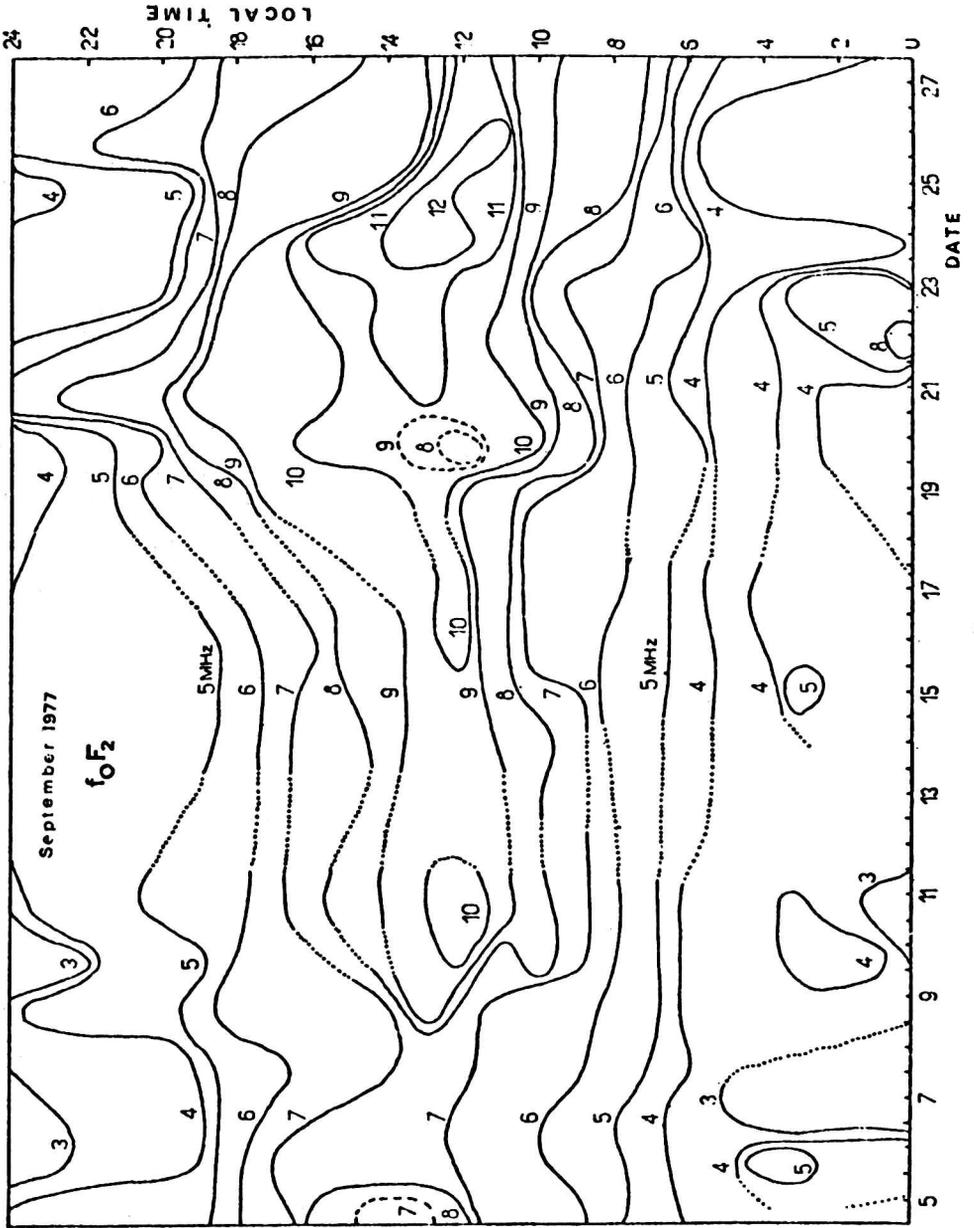


FIG. 6

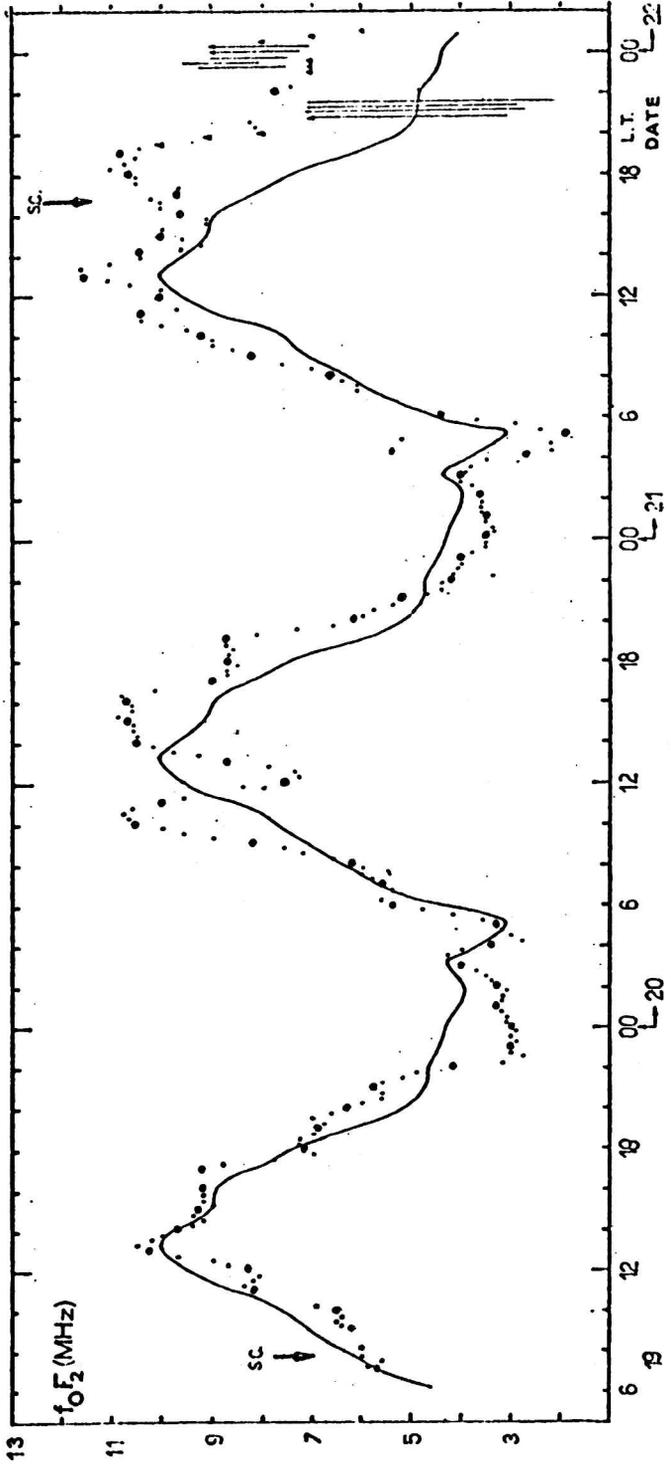


FIG. 7