

MAXIMO NOCTURNO DE INVIERNO EN CONTENIDO ELECTRONICO FARADAY Y DENSIDAD ELECTRONICA, OBSERVADAS SOBRE TUCUMAN Y SAN JUAN.

N. Ortiz de Adler, R. G. Ezquer* y J. R. Manzano**

Laboratorio de Ionósfera - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán - Tucumán - Argentina.

RESUMEN

En este trabajo se analizó el máximo nocturno de invierno (MN) del contenido electrónico Faraday (N_F) observado en Tucumán a las 0150 TU del día 25/7/81, con la señal del satélite ATS-5.

Un campo eléctrico hacia el oeste, asociado a una subtormenta magnética, movería plasma desde altas a bajas alturas en la ionósfera, bajando la altura de la región F. Tal mecanismo, produciría grandes variaciones en las pérdidas por recombinación, lo que explicaría las variaciones observadas en región F durante el MN.

Un análisis comparativo de N_F y datos de sondador de tierra, indican que el cambio principal en N_F durante el MN, se da en la ionósfera. El aumento en región F se haría a expensas de plasma de mayores alturas.

Un mecanismo de compresión de plasma en los tubos de fuerza, activo en el lapso de iniciación del MN, como fuente del flujo que justifica el MN, parece ser poco probable, ya que se requeriría un flujo de $6,4 \times 10^{13} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, lo que implica una densidad de plasma por lo menos 30 veces mayor que la estimada y observada.

No se descarta que haya existido un mecanismo de almacenamiento previo en región F establecido con anterioridad durante el desarrollo de la tormenta iniciada el día 23. La subtormenta que ocurre hacia las 2100 TU del 24 solo produciría, a través de un adecuado campo eléctrico, un reacomodamiento de la ionización almacenada en la región F.

ABSTRACT

The winter nocturnal maximum (MN) in Faraday electron content (N_F), observed over Tucumán at 0150 (UT) of July 25, 1981, with the ATS-5 satellite signals, has been analyzed.

A westward electric field, associated with a magnetic sub-storm, would move plasma from higher to lower ionospheric altitudes, pushing the whole F-region down. Such a mechanism would produce great variations in recombination losses, which would explain the F-region observed variations during the MN.

A comparative analysis of N_F and ground based ionosondes data, indicated that the main change in N during the developing of the MN takes place at the bottom-side of the ionosphere. The increase at F region density would occur at higher altitude plasma expense.

A suggested mechanism of compression of plasma into magnetic force tubes, acting during the lapse of initiation of the MN, as a source of inward flux to justify the MN, is not likely since it would be necessary a flux of $6,4 \times 10^{13} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. This figure implies a plasma density in the tube 30 times greater than the density estimated and observed.

It is not discarded the possible existence of a previous plasma storage in F-region, established during the developing of the storm initiated on 23 of July. The substorm at 2100 UT of the 24 would produce, through an adequate electric field, a rearrangement of the ionization stored in F-region.

Trabajo parcialmente financiado por el CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) a través del PROHARP (Programa Nacional de Radiopropagación).

* Becario del CONICET.

** Miembro de la carrera del Investigador del CONICET.

INTRODUCCION

El MN de invierno en contenido electrónico Faraday (N_F), ha sido estudiado teórica y experimentalmente por numerosos investigadores: Park (1971); Park y Meng (1973); Park y Banks (1974); Titheridge (1968); Evans (1965); da Rosa y Smith (1967). Este fenómeno está caracterizado según estos trabajos por:

- 1.- Un máximo cerca de los 55° de latitud geomagnética sur,
- 2.- Un pico principal que ocurre cerca de la medianoche local, con un ocasional pico secundario cerca de las 0300 TU,
- 3.- Un incremento nocturno que aparece principalmente en el hemisferio de invierno.

Se cree (Park, 1971) que el MN resulta de un flujo de plasma desde la plasmasfera hacia la ionósfera, ocasionado por un campo eléctrico hacia el oeste asociado con una subtormenta magnética.

Por otra parte, Davies y otros (1979) han observado un proceso similares, que las variaciones del contenido plasmásférico son pequeñas lo que indicaría que el incremento en N_F no se hace a expensas del contenido plasmásférico, o bien que existe un mecanismo de rellenado de la plasmasfera. Una explicación posible es que un campo eléctrico hacia el oeste, comprima plasma desde altos valores de L a bajos valores de L, de manera que el exceso de presión de plasma aumenta el flujo de plasma a lo largo de tubos de campo desde la plasmasfera a la ionósfera, lo que aumentará el contenido ionosférico en ambos extremos del tubo para L bajo (Park y Banks, 1974).

MEDICIONES

Se realizaron mediciones del contenido electrónico Faraday en Tucumán ($26,9^\circ$ S; $65,4^\circ$ W) desde julio a agosto de 1981, con señales del satélite ATS-5 (0° ; 70° W).

A las 0150 TU del día 25 de julio se observa un máximo nocturno (MN) en N_F , el que también se detecta en el sondador ionosférico de San Juan ($31,5^\circ$ S; $65,6^\circ$ W).

Este máximo nocturno ha sido analizado, completando la información con datos del sondador de Tucumán y magnetogramas de La Quiaca ($22,1^\circ$ S; $65,6^\circ$ W), Las Acacias ($35,0^\circ$ S; $57,68^\circ$ W) y Trelew ($43,20^\circ$ S; $65,3^\circ$ W)

La figura 1 muestra el contenido electrónico Faraday, la máxi-

ma concentración electrónica en la región F2 ($N_m F_2$) y la altura de pico de la región F2 ($h_p F_2$) para el día 24 de julio y comienzos del 25.

El contenido electrónico Faraday ha sido determinado en Tucumán, con datos del satélite ATS-5, y los datos de $N_m F_2$ y $h_p F_2$ corresponden al sondador de San Juan. Los datos del sondador de Tucumán fueron usados con cierta precaución al estar afectados por mayores.

Es evidente en la figura la presencia de un MN que se inicia a las 2350 TU en N_F y una hora más tarde en $N_m F_2$.

En la figura 2 se graficaron las variaciones de las componentes H y Z del campo geomagnético registradas en La Quiaca, Las Acañas y Trelew. En todos los casos se observó un mínimo en el valor de la componente H a las 0000 TU del 25/7.

La figura 3 indica la variación del índice Dst para los días 23 y 24 de julio, período en el que se observa el comienzo de una tormenta magnética alrededor de las 1200 TU del día 23 y el comienzo de una subtormenta alrededor de las 2100 TU del día 24, cuando la tormenta anterior aún se encuentra en fase de recuperación.

En las tres primeras figuras las curvas de trazos representan las curvas de control, obtenidas con datos de días magnéticamente tranquilos próximos a la fecha de análisis.

La figura 4 muestra los perfiles virtuales de densidad electrónica para la región F, obtenidos con datos de ionogramas de Tucumán para las 0100 TU y 0200 TU del día 25. Las líneas punteadas de las curvas corresponden a una extrapolación realizada con los datos de San Juan, ya que los valores correspondientes a Tucumán están afectados por mayor. Se destaca que se usa un factor de correlación igual a 1, que es menor que el real.

DISCUSION

Según la figura 1, antes del comienzo del MN, el N_F está solo un 8% por encima de su valor promedio, en tanto $N_m F_2$ está incrementado en un 127%. Esto indica que la región F tiene una concentración electrónica anormalmente alta. Es posible que haya existido un mecanismo de almacenamiento de ionización previo en la región F establecido con anterioridad durante el desarrollo de la tormenta iniciada el día 23.

Una estimación del contenido ionosférico desde los 340 Km hasta la base de la ionósfera, realizada con los datos útiles de iono

gramas de Tucumán (figura 4), indica un valor de $0,53 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$ hacia las 0100 TU y de $0,79 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$ a las 0200 TU. Para las mismas horas el contenido electrónico Faraday es de $5,65 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$ y $5,85 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$ respectivamente. Se ha considerado que por tratarse de datos nocturnos, el perfil real no se aparta sustancialmente del virtual.

Por lo tanto, en este lapso de tiempo, el incremento en N_F es igual a $0,2 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$, correspondiendo a la ionósfera de base un aumento mayor que $0,26 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$. Esto evidencia que en la región que se extiende desde el pico de la región F hasta por lo menos los 2000 km, se tiene que haber producido una disminución en el contenido electrónico.

El aumento nocturno observado sería, en consecuencia, reflejo del aumento de concentración en la región F inferior. Este incremento se debería a la presencia de un campo eléctrico este-oeste, asociado a la subtormenta que se inició a las 2100 TU, el que produciría una deriva $E \times B$ de plasma a zonas de menor altura, originando una variación en el perfil de H^+ y en consecuencia de O^+ . El nuevo perfil de O^+ produce un incremento de NmF2 (Park, 1971) para poder neutralizar globalmente el plasma.

Otro mecanismo propuesto para explicar el MN de invierno (Davies, 1979) consiste en el estrujamiento de plasma a lo largo de tubos de campo magnético, como consecuencia de un aumento de presión en la zona ecuatorial de ese tubo, debido a la deriva $E \times B$ originada por el campo E alba-crepúsculo magnetosférico.

Para estimar la factibilidad de este mecanismo en el evento analizado, se realizaron los cálculos que se mencionan a continuación.

La velocidad de cambio de N_F para el MN, es de $1,2 \times 10^{13} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Si no hubiera pérdidas por recombinación, este sería el flujo necesario para obtener el MN observado. Dado que las pérdidas existen se toma como coeficiente de recombinación promedio para la región F $\beta = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, obtenido a partir de la ecuación $\beta = \frac{1}{N} \frac{dN}{dt}$ con datos promedio de ionogramas de Tucumán, correspondientes al intervalo 2200 TU a 0200 TU. Con ese valor de β y teniendo en cuenta que $N_F = 5,2 \times 10^{13} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, de manera que el flujo total requerido es $dN/dt = 6,4 \times 10^{13} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Según Davies y otros (1979), este flujo puede expresarse como

$$\frac{dN}{dt} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dL} \cdot N_T \frac{v_{\perp}}{R_{\oplus}} \quad (1)$$

donde:

V = es el volumen de un tubo de flujo que se extiende desde los 10^3 km de altura sobre la estación, con una sección de 1 m^2 en este punto, hasta el ecuador. ($V = 11 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ tubo, para San Juan)

R_{\oplus} = es el radio terrestre

N_T = es el contenido de plasma del tubo

v_{\perp} = es la componente vertical de la velocidad de deriva en el ecuador geomagnético.

L = es el parámetro de Mc Ilwain. ($L = 1,31$ a 10^3 km sobre San Juan).

En la figura 1(c) se ve que h_p varía desde 420 km hasta 290 km entre las 0200 y 0400 TU, de manera que la velocidad de descenso de la capa, v_p , es 18 m s^{-1} . En consecuencia la velocidad de deriva normal al campo geomagnético es $v_{\perp} = 20 \text{ m s}^{-1}$. Suponiendo un campo geomagnético dipolar, la relación entre v y v_{\perp} es:

$$v_{\perp} = \frac{v_{\perp} \cdot \sin^3 \theta}{(1 + 3 \cos^2 \theta)^{1/2}}$$

donde θ es la colatitud dipolar. En San Juan, donde $\theta \approx 70^\circ$, un valor de $v_{\perp} = 20 \text{ m s}^{-1}$ indica un $v_{\perp} = 28 \text{ m s}^{-1}$.

Usando la ecuación (1) y con un valor de $\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dL} = 6,95$, se obtiene para San Juan un valor de $N_T = 2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}$.

Considerando que la concentración de plasma en el tubo se mantiene uniforme y que el volumen del tubo calculado para $L = 1,31$, que corresponde al tubo que pasa a 10^3 km sobre San Juan es $4,3 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ tubo, se obtiene un valor de concentración de $C = 4,8 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$. Este valor de concentración es mayor que los obtenidos con mediciones experimentales que indican una densidad máxima de $5 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$ (Bauer, 1973). Por otra parte, Banks y Kockarts (1973) estiman que la densidad debería ser como máximo $1,5 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$. Los cálculos de N fueron repetidos para Tucumán ($L = 1,24$; $V = 2,7 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ tubo; $N_T = 1,38 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}$; $C = 5 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$), encontrándose que las consideraciones anteriores siguen siendo válidas.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo sugieren que el máximo

nocturno del contenido electrónico Faraday analizado, tiene lugar principalmente en la ionósfera, debido a descenso de plasma de altas a bajas alturas en la misma, por una deriva $\vec{E} \times \vec{B}$, causada por un campo eléctrico orientado hacia el oeste, asociado a una subtormenta magnética.

Una comparación entre el contenido electrónico Faraday y el de ionósfera de base, indica que debe haber una disminución del contenido electrónico entre el pico de la región F y los 2000 Km.

Para el caso analizado, parece poco probable el mecanismo de compresión de plasma para justificar el máximo nocturno, por dos motivos:

- a) por que este mecanismo implicaría concentraciones de plasma anormalmente altas a los 1000 km de altura;
- b) por que no es compatible el aumento de densidad a los 1000 km que requiere el modelo de "estrujamiento", con la disminución de contenido electrónico entre el pico de región F y los 2000 km, que se determina por la comparación entre el contenido electrónico Faraday y el contenido de ionósfera de base.

BIBLIOGRAFIA

- Banks, P.M. y Kockarts, G., 1973: *Aeronomy part B*; Academic Press; New York and London, 205.
- Bauer, S.J., 1973: *Physics of Planetary ionospheres*; Springer-Verlag; 193.
- da Rosa, A.V. y Smith, F.L., 1967: Behavior of the Nighttime ionosphere; *J. Geophys. Res.*, 72, p.p. 1829-1836.
- Davies, K., Ancerson, D.W., Paul, A.K., Degenhardt, W., Hartman, G. K., Leitinger, R., 1979: Nighttime increases in total electron content observed with the ATS-G radio beacon; *J. Geophys. Res.*, 84, p.p. 1536-1542.
- Evans, J.V., 1965: Cause of the midlatitude winter night increase in foF2; *J. Geophys. Res.*; 70, p.p. 4331-4345.
- Park, C.G., 1971: Westward electric fields as the cause of nighttime enhancements in electron concentrations in midlatitude F region; *J. Geophys. Res.*; 76, p.p. 4560-4568.
- Park, C.G. y Meng C.I., 1973: Distortions of the nighttime ionosphere during magnetospheric substorms; *J. Geophys. Res.*; 78, p.p. 3828-3840.
- Park, C.G. y Banks, P.M., 1974: Influence of thermal flow on the mid-latitude nighttime F2 layer: Effects of electric fields and neutral winds inside the plasmasphere; *J. Geophys. Res.*; 79, p.p. 4661-4668.
- Titheridge, J.E., 1968: Nighttime changes in the electron content of the ionosphere; *J. Geophys. Res.*; 73, p.p. 2985-2993.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- Fig. 1: Variaciones de N_F , obtenido usando la señal enviada del satélite ATS-5 y recibida en Tucumán, de NmF2 y hpF2 registrados en San Juan, correspondientes al 24 y comienzos del 25 de julio de 1981. La flecha indica las 0000 TL. Las líneas de trazos representan las curvas de control tomadas en base a días tranquilos.
- Fig. 2: Variaciones de los componentes H y Z del campo geomagnético registradas en La Quiaca, Las Acacias y Trelew, correspondientes al 24/7/81. Las líneas de trazos representan las curvas de control.
- Fig. 3: Variaciones del índice Dst para los días 23 y 24/7/81.
- Fig. 4: Perfiles virtuales de densidad electrónica de la región F en Tucumán correspondientes a las 0100 TU y 0200 TU del 25/7/81. Las líneas punteadas corresponden a una extrapolación realizada con los datos de San Juan, usando un factor de correlación igual a 1 que es menor que el real.

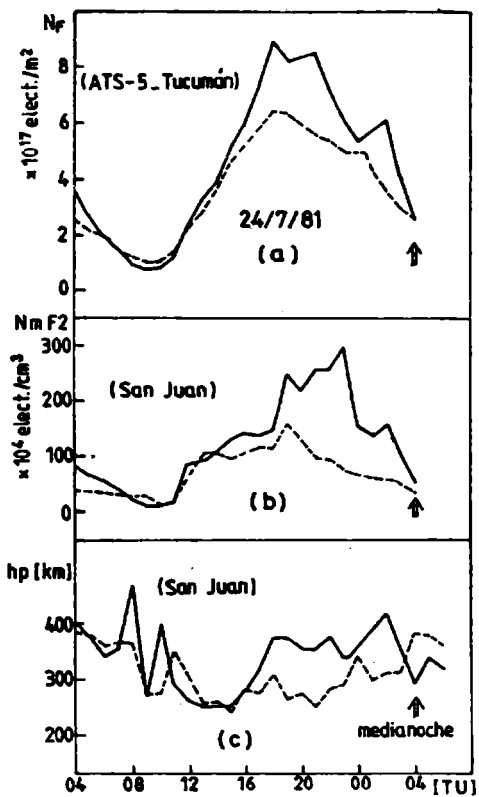


Fig.1

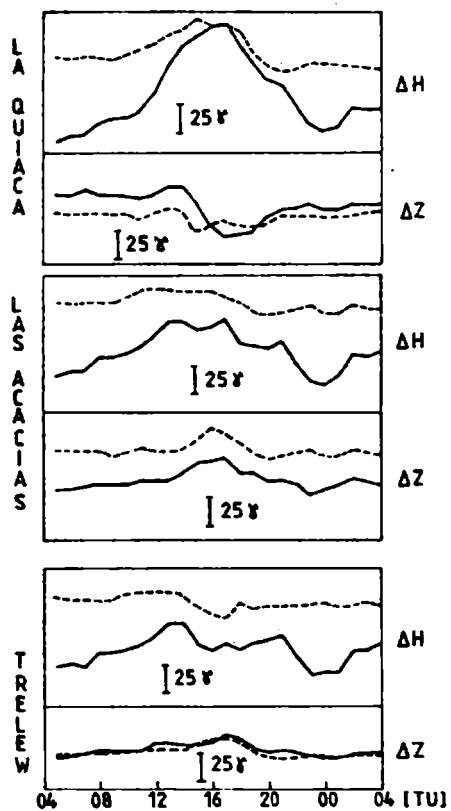


Fig.2

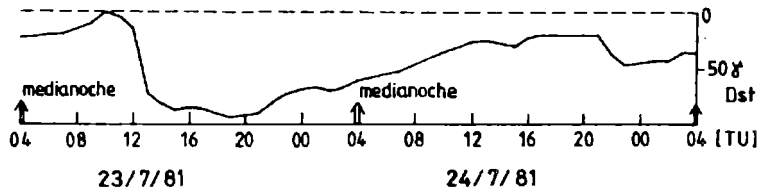


Fig. 3

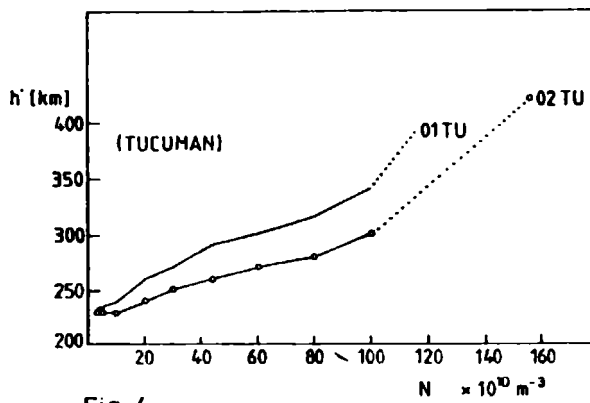


Fig. 4

