

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA BAJA IONOSFERA DURANTE PERIODOS  
MAGNETICAMENTE TRANQUILOS A PARTIR DE REGISTROS DE MBF (\*)

Olga I. Pintado (\*\*)

Laboratorio de Ionósfera - Instituto de Física  
Universidad Nacional de Tucumán

RESUMEN

Con el fin de estudiar el comportamiento no perturbado estacional y mensual de la baja ionósfera durante el período noviembre/1973-abril/1976 se usan registros de fase y amplitud de una onda de 17,8 KHz emitida por NAA (44°39'N; 292°43'E) y recibida en Tucumán (26°54'S; 294°35'E). Se seleccionaron los días calmos con  $\Sigma Kp \leq 15$ . Para la propagación de ondas de MBF sobre distancias grandes se sabe que la ionósfera y la superficie de la Tierra se comportan como superficies límites de una guía de ondas concéntricas con separación de día y de noche, siendo brusco el cambio en ancho de la guía ocasionado por la transición luz-sombra en el camino de propagación.

El análisis estacional muestra un comportamiento anómalo para el invierno, con mayor densidad electrónica entre 70 y 90 km, que para otras estaciones del año. Este incremento podría ser atribuido a un aumento de la temperatura en la zona y/o a un proceso de transporte por vientos neutros.

ABSTRACT

VLF phase and amplitude records at 17,8 KHz, emitted by NAA (44°39'N; 292°43'E) and received at Tucumán (26°54'S; 294°35'E), have been used in order to study the seasonal and monthly quiet behavior of the lower ionosphere for the period November 1973-April/1976. Quiet days with  $\Sigma Kp \leq 15$  have been selected. It is well known that the earth and the ionosphere form a concentric waveguide for the propagation of VLF waves. The waveguide has different but constant width during the day and the night, changing abruptly at sunset and sunrise. During the winter has been found larger electronic density for the other seasons. This anomalous behavior could be produced by an increase of the local temperature and/or by neutral winds transport

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

(\*\*) Becaria del CONICET.

## 1. INTRODUCCION

Con el propósito de realizar un estudio del comportamiento de la baja ionósfera, se efectúa un análisis de los promedios de fase y amplitud del campo eléctrico de una transmisión de muy baja frecuencia (MBF) emitida por NAA (EE.UU.) y recibida en Tucumán (Argentina).

El transmisor opera en la frecuencia de 17,8 KHz con una potencia de 1000 Kw.

El camino de propagación es transecuatorial, en dirección norte-sur y tiene una longitud de 7957 km.

Se estudian los promedios estacionales, mensuales y algunos días individuales para los períodos comprendidos entre setiembre/73 y agosto/74; mayo/75 y abril/76, correspondiendo al segundo período a un mínimo de actividad solar. Se eligieron aquellos días en que  $\Sigma Kp \leq 15$ . Para el cálculo de los promedios estacionales se agruparon los meses de la siguiente manera:

VERANO: noviembre, diciembre, enero, febrero

EQUINOCCIO: marzo, abril, setiembre, octubre

INVIERNO: mayo, junio, julio, agosto

## 2. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

### 2.1. Amplitud

En los promedios estacionales (Figura 1) se observan máximos hacia las 0900 TU y 2400 TU. Estos máximos no son tan marcados en los equinoccios. A las 1100 TU y 2200 TU aproximadamente se presentan mínimos. Estas variaciones bruscas coinciden con el pasaje del terminador solar (línea día-noche) por el camino de propagación. Se observa además que en el período 75-76 la amplitud de la señal recibida es mayor que en el período 73-74.

Los promedios mensuales (Figura 3) presentan un comportamiento muy parecido al observado en los promedios estacionales, notándose que en horas diurnas la amplitud es menor en diciembre que en junio (Figura 3b y 3c).

### 2.2 Fase

En los promedios estacionales de fase (Figura 2) se observa un brusco avance entre las 0900 y 1100 TU y un atraso entre las 2100 y 2400 TU que coinciden con el amanecer y el atardecer. Durante la noche y buena parte del día la fase se mantiene aproximadamente constante. Después del mediodía local suele manifestarse un suave

atraso de fase. En el verano 75/76 la fase sufre un continuado atraso a lo largo del día.

El comportamiento de los promedios mensuales es similar al de los promedios estacionales.

En la figura 4a se muestran los promedios de fase para los meses en que el sol se encuentra en  $9^{\circ}\text{N}$ , que corresponde aproximadamente a la mitad del camino de propagación.

En junio el sol alcanza  $23^{\circ}27'\text{N}$  y en diciembre  $23^{\circ}27'\text{S}$  que son las posiciones extremas (solsticios).

En las figuras 4b y 4c se observa que para el mes de diciembre el avance de fase del amanecer ocurre más tarde y el atraso de fase del atardecer más temprano que en junio. Además el avance es mayor en el mes de diciembre, indicando un descenso de capa  $4\text{ Km}$  mayor que para junio.

### 2.3 Variaciones diarias de fase y amplitud

El comportamiento diario de fase y amplitud (Figura 5) es similar al de los promedios mensuales y estacionales. Nuevamente se ve que el 2 de enero de 1976 hay un mayor avance de fase que para el 15 de abril de 1976.

No se observan correlaciones entre el comportamiento diario de fase y amplitud y los índices magnéticos  $K_p$ ,  $AE$  y  $Dst$ , ni con la intensidad de radiación cósmica ( $RC$ ).

## 3. DISCUSION

Para ondas de MBF que se propagan sobre grandes distancias, la Tierra y la ionósfera forman una guía de ondas concéntricas (Wait, 1962) que tiene ancho uniforme tanto durante el día como durante la noche.

Según algunos autores (Crombie, 1964 y 1966; Lynn, 1967) esta guía de ondas sufre un cambio en el ancho más o menos brusco según sea la posición del camino de propagación respecto al terminador. Durante el día, sólo se considera el modo de propagación de primer orden y durante la noche los de primero y segundo orden, porque los otros modos están demasiado absorbidos como para que su contribución sea importante. En las transiciones luz-sombra se produce la conversión de modos de propagación, circunstancia en que los dos modos se interfieren constructiva o destructivamente, produciéndose máximos y mínimos marcados en la amplitud y variaciones bruscas de fase. Estos fenómenos se suavizan al realizar los promedios hora-

rios. Los máximos y mínimos observados en la amplitud son debidos a la interferencia de modos. El mínimo de la mañana es más grande, debido a que con la salida del sol, los componentes neutros de la región D aumentan su energía cinética y producen una turbulencia que a su vez ocasiona una absorción mayor de la onda.

En el verano 75/76, el atraso de fase ocurre a partir de las 1400 TU, lo que indica un ascenso gradual de la capa, que podría justificarse por la existencia de campos eléctricos tempranos que junto al campo geomagnético puede producir esta elevación.

En la región D se observa que en latitudes medias hay una mayor concentración electrónica que en verano. Este fenómeno, conocido como anomalía de invierno, es producido por un incremento de temperatura y por procesos de transporte debido a vientos neutros (Offerman, 1979). La anomalía invernal podría explicar el comportamiento anormal observado, en los promedios mensuales de fase y amplitud, ya que se manifiesta en la primera parte del camino de propagación.

#### 4. CONCLUSIONES

A los efectos de la propagación de ondas de MBF sobre distancias grandes, la Tierra y la ionósfera forman una guía de onda concéntricas de ancho uniforme. El sol ejerce una fuerte influencia sobre la región D, ya que es al amanecer y al atardecer donde se observan los cambios más marcados en la fase y la amplitud de la onda. En días magnéticamente tranquilos las pequeñas variaciones que puede sufrir el campo geomagnético no afectan en forma significativa a la propagación de ondas de MBF.

En invierno se presenta un comportamiento anómalo, lo que muestra que en la región D hay un incremento de la densidad electrónica debido posiblemente a un aumento de la temperatura y a procesos de electrones por vientos neutros.

#### BIBLIOGRAFIA

- Chilton, C.J.; Murphy, A.C.; Steele, F.K.; Radicella, S.M. (1966): The normal phase variations of the 18 Kc/s signals from NBA observed at Tucumán; Argentina. ESSA Technical Report IER 3-ITSA 3-6 .
- Crombie, D.D., 1964: Periodic fading of VLF signals recieved over long paths at sunrise and sunset; Radio Science J.Res.NBS, 1, 27-34.

- Crombie, D.D. 1966: Further observations of sunrise and sunset fading of VLF signals. *Radio Science*, 1, 47-52.
- Lynn, K.J.L., 1967: Anomalous effects observed on a long transequatorial VLF propagation path. *Radio Science*, 2, 550-551.
- Ries, G., 1967: Results concerning the sunrise effects of VLF signals over long path. *Radio Science*, 2, 530-538.
- Schoute-Vanneck, C.A., 1970: VLF transmissions at sunrise. *Jour. of Atmospheric and Terr. Phys.*, 36, 489-500.
- Wait, J.R., 1962: *Electromagnetic waves in stratified media*. Pergamon Press Inc., Nueva York.
- Wait, J.R., 1978: Concise theory of radio transmissions in the earthionosphere waveguide. *Reviews of Geophys. and Space Phys.* 16, 320-326.
- Offerman, D., 1979: Recent advances in the study of the D-region winter anomaly. *Jour. of Atmosph. and Terr. Phys.*, 41, 735-752.

#### EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- Fig. 1: Promedios estacionales de amplitud.
- Fig. 2: Promedios estacionales de fase.
- Fig. 3: Promedios mensuales de amplitud.
- Fig. 4: Promedios mensuales de fase.
- Fig. 5: Fase, amplitud, Indices magnéticos Kp, Dst, AE y radiación cósmica (RC) para los días 15/4/76 y 2/1/76.

FIG. 1

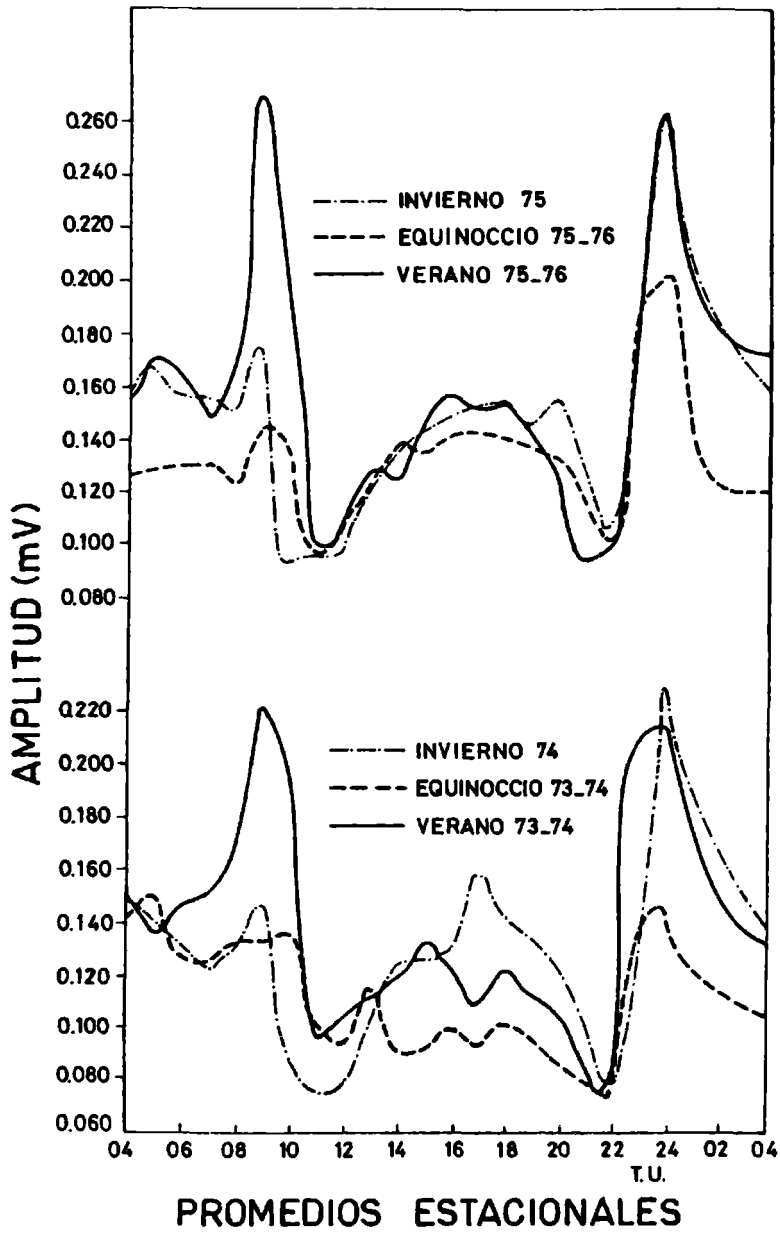


FIG. 2

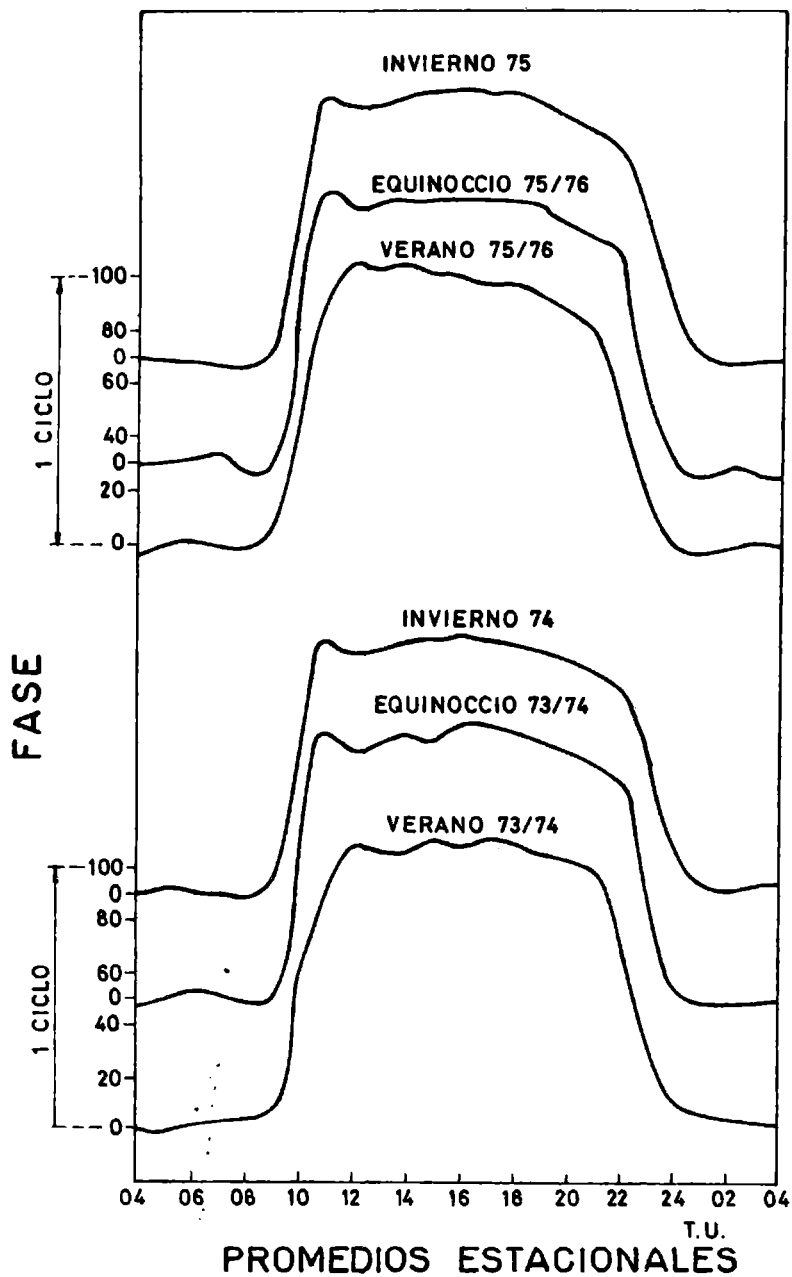


Fig. 3

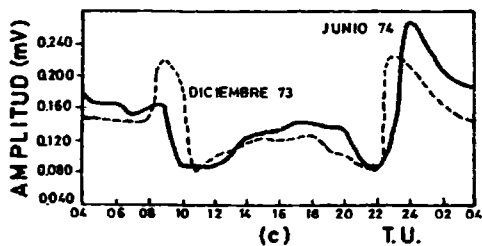
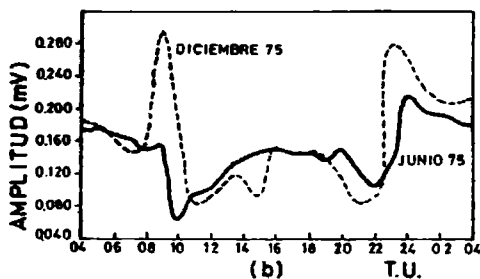
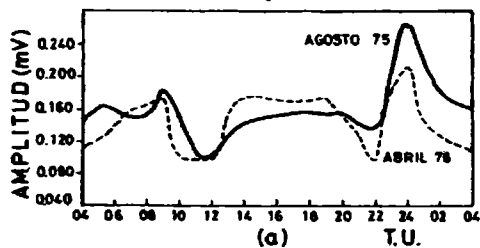


Fig. 4

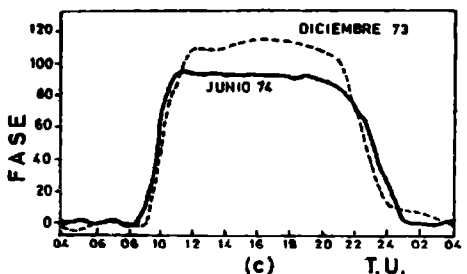
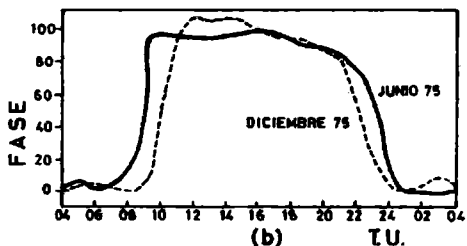
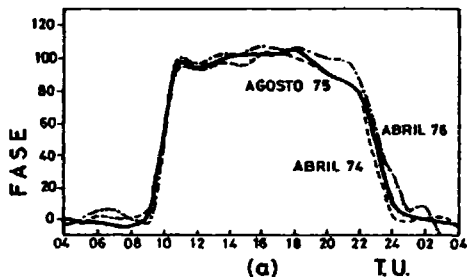
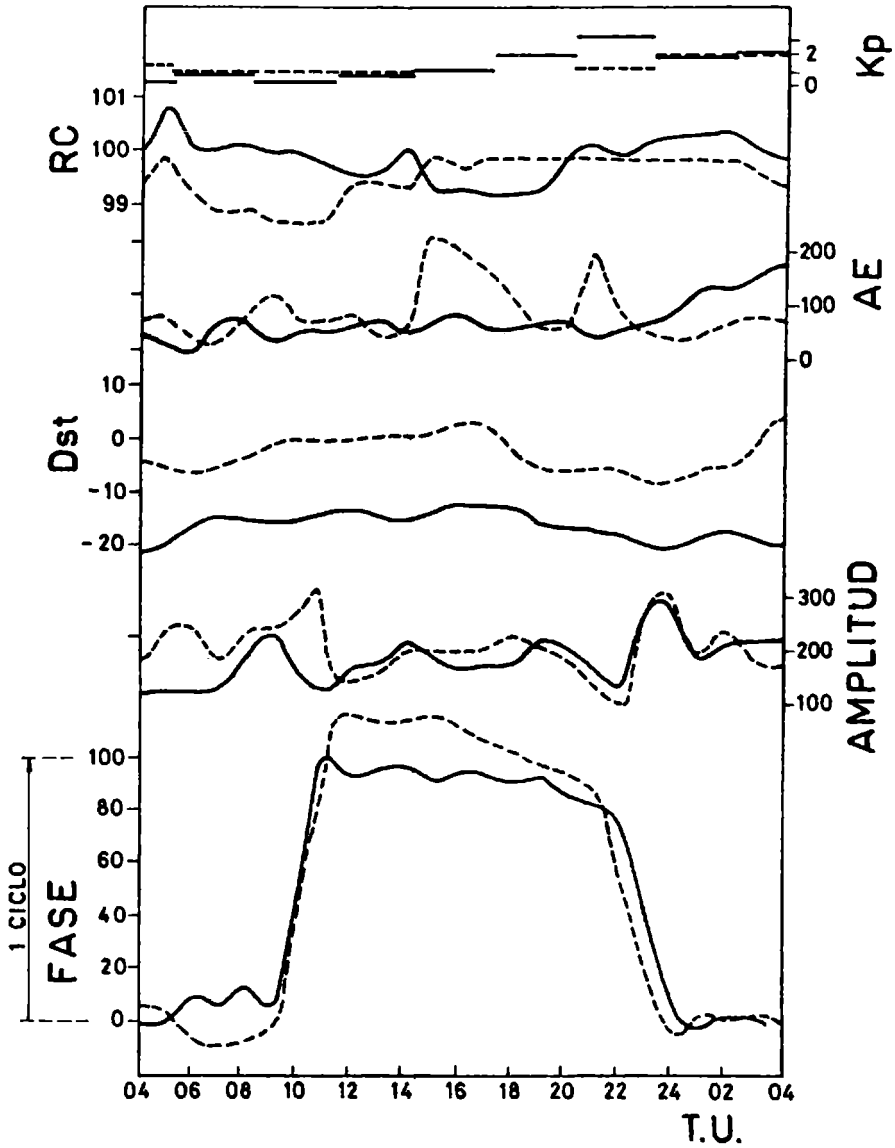




FIG. 5



— 15/4/76  $\Sigma Kp=9^-$   
 - - - 2/1/76  $\Sigma Kp=9^-$

