

EFFECTOS DE LA ANOMALIA INVERNAL SOBRE LA PROPAGACION DE SEÑALES
DE MBF ENTRE TRELEW Y TUCUMAN

Olga I. Pintado
Centro de Investigaciones Regionales
de San Juan-Argentina

Marcelo Pérès
Servicio Naval de Investigación y Desarrollo
Buenos Aires-Argentina

RESUMEN

Se estudia el posible efecto de la anomalía invernal de la Región D sobre señales de MBF (12,9 KHz) que se propagan desde Trelew (43,2°S;294,6°E) hasta Tucumán (26,9°S;294,7°E).

La diferencia entre las alturas de reflexión nocturna y diurna de las señales de MBF no presenta una variación regular entre los equinoccios, a diferencia de la absorción ionosférica que crece hacia el solsticio de invierno. Sin embargo la ocurrencia de importantes descensos diurnos del nivel de reflexión, durante días aislados, es más frecuente para los meses de mayo, junio y julio. Como estos eventos coinciden parcialmente con la observación en Ushuaia (54,8°S;291,7°E) de una fuerte absorción ionosférica en FM (2,28 MHz), son atribuidos a incrementos anormales de la concentración electrónica, que ocurren en todo el rango de alturas de la Región D durante días de anomalía invernal "excesiva" (Schwentek, 1971). Esta interpretación también es consistente con otro estudio reciente sobre la anomalía.

ABSTRACT

The response of VLF signals (12.9 KHz) to the D-Region winter anomaly is studied over the path Trelew (43.2°S;294.6°E) to Tucumán (26.9°S;294.7°E).

The night to day descent of the VLF reflection height shows no regular trend between equinoxes, unlike the ionospheric absorption which peaks at the winter solstice. However, the occurrence of major diurnal drops of the reflection height on particular days is more frequent during May, June and July. As these events partially coincide with the observation at Ushuaia (54.8°S;291.7°E) of very high MF absorption (2.28 MHz), they are attributed to electron concentration enhancements occurring in the whole range of the D-Region heights on days of "excessive" winter anomaly (Schwentek, 1971). This interpretation is also consistent with other recent study of the anomaly.

INTRODUCCION

El objetivo principal del trabajo consiste en determinar si la llamada Anomalia Invernal (AI), que es observada en la absorción ionosférica de ondas decamétricas y causada por incrementos en la ionización diurna de la Región D, puede afectar de manera mensurable la propagación de una señal de muy baja frecuencia (MBF), emitida por la estación Omega-Argentina (43,20°S;293,60°E) y recibida en Tucumán (26,90°S;293,70°E).

De acuerdo a estudios morfológicos (Schwentek, 1974, 1976), la AI constituye un fenómeno de latitudes medias ($\lambda/37^\circ$). Por lo tanto, aproximadamente la tercera parte del camino de propagación de la señal de MBF penetra en la zona anómala (Figura 1).

Sin embargo, cabe un primer interrogante: ¿Puede extenderse la ionización anómala hasta la baja Región D (70 Km de altura), como para causar variaciones en la altura de reflexión de la señal de MBF?

Los perfiles de concentración electrónica anómala, obtenidos por diversos métodos, indican que los mayores incrementos de ionización ocurren entre los 70 y 90 Km de altura. Precisamente la AI ha sido asociada con la variación estacional de la altura donde los iones multihidratados ceden su papel preponderante a los NO⁺ (Dickinson y otros, 1976; Pérès, 1981). Esta transición, que produce un fuerte gradiente en la concentración electrónica, ocurre aproximadamente a los 85 Km de altura en condiciones normales y unos 10 Km más abajo en días de anomalía invernal. Sin embargo este efecto, atribuible a calentamientos en la mesopausa, no puede por sí solo explicar los altos valores de absorción observados. Por eso se considera que debe coexistir otro factor causante de la anomalía (Offermann y otros, 1979). Para dar cuenta de este cofactor se ha recurrido a la vieja idea que explicaba el fenómeno por aumentos en la concentración del óxido nítrico de la Región D. Las escasas mediciones de ese componente minoritario no habían confirmado la hipótesis; pero durante la Campaña Europea de la AI, se han obtenido dos perfiles de la concentración de NO que muestran claros incrementos en toda la Región D, hasta debajo de los 70 Km (Beran y Bangert, 1979). La consiguiente ionización del NO, producida por la radiación Lyman- α , debería afectar la propagación diurna de MBF.

Para uno de los períodos estudiados, dispusimos también de mediciones de la absorción ionosférica sufrida sobre Ushuaia por ondas de frecuencias medias. Dada la distancia entre este sitio y la porción austral del trayecto Trelew-Tucumán (entre 1000 y 2000 Km, ver Figura 1), cabe la pregunta sobre si el fenómeno puede ocurrir simultáneamente sobre ambos lugares.

Para contestar este nuevo interrogante, supondremos válida la distinción propuesta por Schwentek (1971) entre:

(i) La "anomalía regular", que consiste en un moderado y constante crecimiento de la absorción desde el equinoccio de otoño al solsticio de invierno.

(ii) Eventos de excesiva absorción que se superponen al comportamiento regular durante grupos de días.

(Ocasionalmente se observan, durante el invierno, días de absorción no anómala.)

Los dos aspectos de la AI pueden ser discriminados en la variación estacional de la absorción ionosférica, si bien esa tarea involucra cierta interpretación (Figura 2a).

A partir de datos de absorción, obtenidos simultáneamente en 16 estaciones, Schwentek (1974) estudió las correlaciones que muestran los dos componentes del fenómeno. Según sus resultados, mientras la anomalía regular es un fenómeno global de las latitudes medias, los eventos de anomalía excesiva muestran una correlación que decrece con la distancia entre las estaciones, haciéndose no significativa para distancias mayores de 1500 Km aproximadamente.

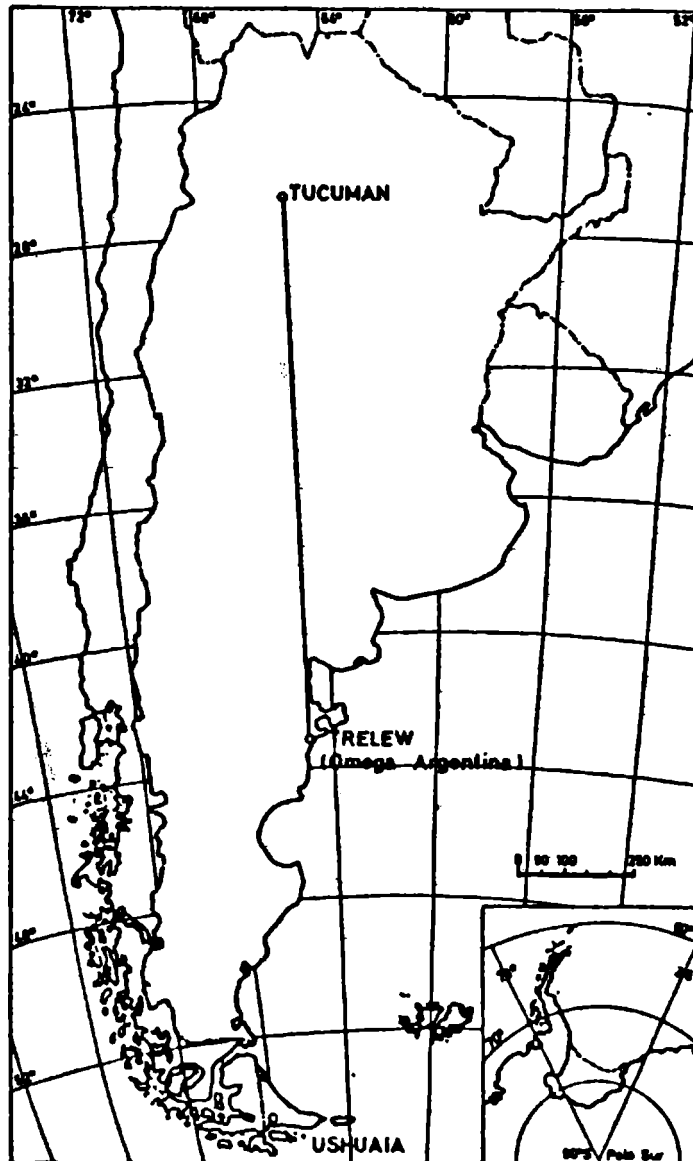


Fig. 1: Camino de propagación de las señales de muy baja frecuencia y ubicación del medidor de absorción.

DATOS EXPERIMENTALES

Los datos de MBF (12,9 KHz), registrados en Tucumán (variaciones de amplitud y de fase, ΔA y $\Delta \phi$), han sido procesados suponiendo que la propagación ocurre en una guía de ondas formada por la superficie terrestre y la base de la ionosfera. A partir de los valores registrados, pueden calcularse los cambios de la altura de reflexión mediante la siguiente ecuación (Burgess y Jones, 1967; Pintado y otros, 1981):

$$\Delta h = (\Delta A \frac{\delta \phi}{\delta \beta} - \Delta \phi \frac{\delta A}{\delta \beta}) \left(\frac{\delta A}{\delta h} \frac{\delta \phi}{\delta \beta} - \frac{\delta A}{\delta \beta} \frac{\delta \phi}{\delta h} \right)^{-1} \quad (1),$$

donde β es un parámetro relacionado con la conductividad de la ionosfera. Para obtener las derivadas parciales debe tenerse en cuenta la longitud del camino de propagación y las características de las paredes de la guía de ondas (Wait y Walters, 1963). En este trabajo empleamos los valores deducidos por Radicella y otros (1985), quienes supusieron un camino de propagación de 1800 Km de longitud aproximadamente y un perfil exponencial para la concentración electrónica:

$$\frac{\delta \phi}{\delta h} = -0,0823 \text{ Km}^{-1}$$

$$\frac{\delta \phi}{\delta \beta} = 0,0108 \text{ Km}$$

$$\frac{\delta A}{\delta h} = 13,8 \text{ dB/Km}$$

$$\frac{\delta A}{\delta \beta} = -471 \text{ dB Km}$$

Debido a inestabilidades en el oscilador patrón del receptor, los registros de fase presentan una deriva (drift) que impide la determinación de las alturas absolutas de reflexión. Para cada día, se calculó la diferencia entre la altura de reflexión nocturna y la diurna, utilizando los valores de amplitud y fase obtenidos a medianoche y a mediodía.

La absorción ionosférica de una onda de 2,28 MHz de frecuencia, fue medida al mediodía en Ushuaia (54,8°S; 291,7°E) mediante el método de reflexión de pulsos con incidencia vertical (Rawer, 1975). La técnica de procesamiento de los datos puede ser consultada en Pérès y Puig (1979).

Tanto las alturas diurnas de reflexión de las señales de MBF, como la absorción sobre Ushuaia, dependen de la inclinación de los rayos solares. Por lo tanto es conveniente eliminar esa variación del análisis, normalizando los valores para el máximo ángulo cenital solar (X) de mediodía (solsticio de invierno). La dependencia estacional de la diferencia noche-día de la altura de reflexión fue considerada proporcional a

COS X

(Rishbeth y Garriott, 1969),

y la de la absorción a

$\text{COS}^{0,7}(X)$

(Rawer, 1975).

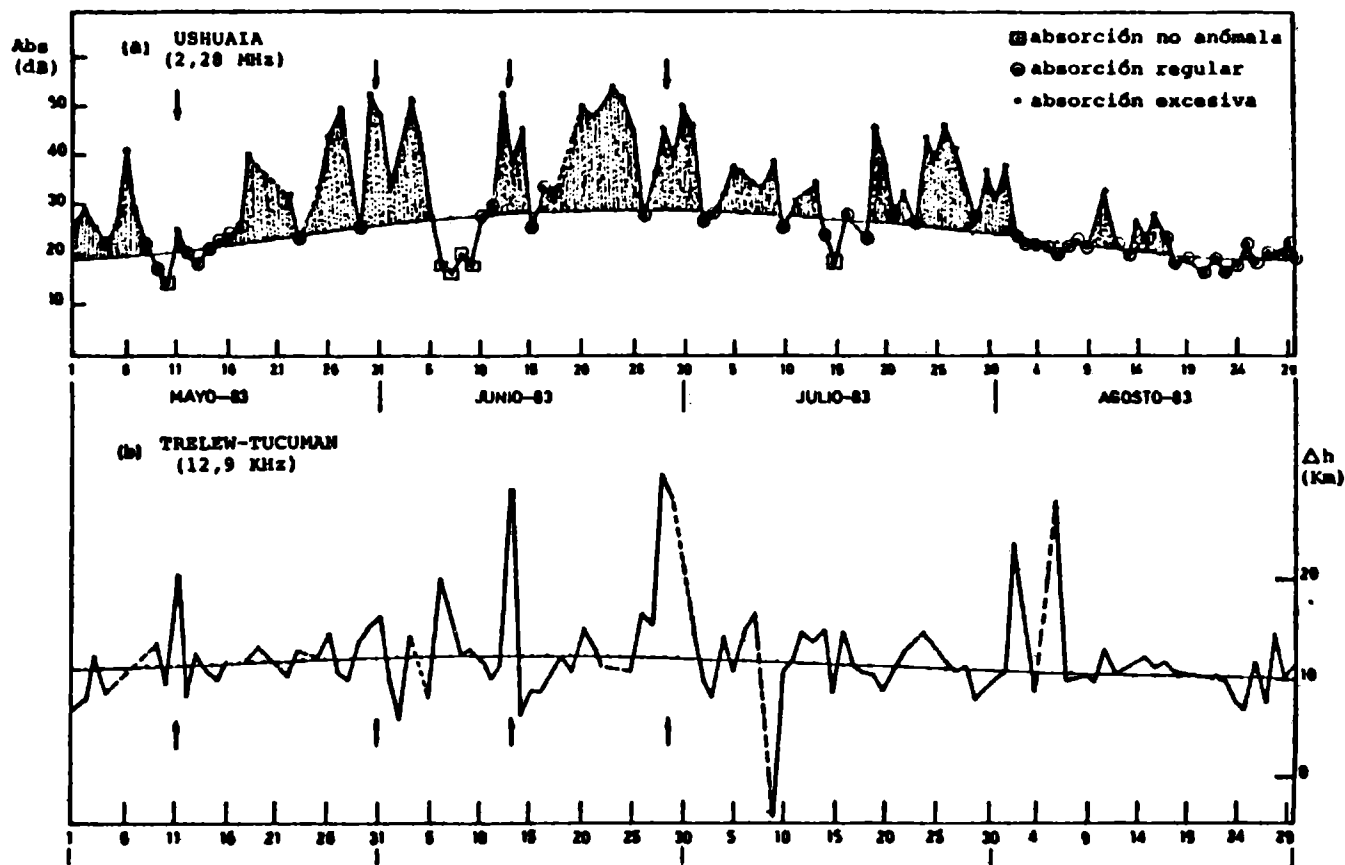


Fig. 2: Variación diaria de la absorción (a) y de la diferencia noche-día de altura de reflexión (b), para el invierno 1983.

RESULTADOS

La Figura 2 permite cotejar el comportamiento de la AI sobre Ushuaia con las diferencias entre las alturas de reflexión nocturna y diurna de la señal de MBF (Δh).

Un valor normal de Δh es 10 Km, es decir, la reflexión a mediodía ocurre usualmente unos 10 Km más abajo que la reflexión nocturna. Como la altura de ésta última no varía más de 3 ó 4 Km (en condiciones invernales normales), los altos valores de Δh (>15 Km), que se observan en la Figura 2b, indican un anormal incremento en la concentración electrónica diurna de la baja Región D.

Anomalía regular

Sobre la variación día a día de la absorción se ha dibujado nuestra estimación del componente regular de la anomalía. A pesar del carácter ligeramente arbitrario de la clasificación entre los días regulares y los de absorción excesiva, resulta claro que una discriminación semejante no puede hacerse en la Figura 2b. La curva trazada en esta última une los valores medianos mensuales de Δh , que apenas insinúan una tendencia estacional. Puesto que las medianas casi no son afectadas por los valores extremos de Δh , interpretamos su variación como indicio de un muy leve crecimiento invernal de la ionización de base en la baja Región D.

En otras palabras, consideramos que las señales de MBF son sólo

afectadas muy ligeramente por el componente regular de la AI.

Anomalia excesiva

La correlación entre los valores de absorción y los Δh resultó no significativa. De acuerdo con lo expresado en la Introducción, este resultado era previsible: por un lado las señales de MRF son casi insensibles al componente regular de la anomalía; por el otro, y en relación con los eventos de anomalía excesiva, la distancia entre las zonas observadas por ambos experimentos es grande. Además debe tenerse en cuenta que las dos técnicas de medición son sensibles a cambios de la ionización ocurridos a dos diferentes alturas de la Región D; por lo cual es razonable esperar una correlación aun menor que la obtenida por Schwentek (1974).

Sin embargo, la ocurrencia de fuertes picos de Δh , que no pueden ser causados por perturbaciones magnéticas (Pintado y Radicella, 1982), y la coincidencia de algunos de ellos con eventos de absorción excesiva sobre Ushuaia (señalados en el gráfico), nos indujeron a presumir que pueden estar indicando la ocurrencia de días fuertemente anómalos sobre parte del trayecto de MRF.

Para examinar la presunción planteada, recurrimos a la variación estacional de Δh , calculada para el período nov. 1980-oct. 1982. La Figura 3 indica que los promedios mensuales aumentan claramente para los meses de mayo, junio y julio. Como nuevamente, a partir de los valores diarios de Δh , puede desecharse la existencia de una significativa variación estacional regular, atribuimos la tendencia observada en los promedios a la ocurrencia más frecuente de altos valores de Δh durante los meses cercanos al solsticio.

Consideramos entonces que las señales de MRF son afectadas, de manera mensurable, durante algunos días fuertemente anómalos.

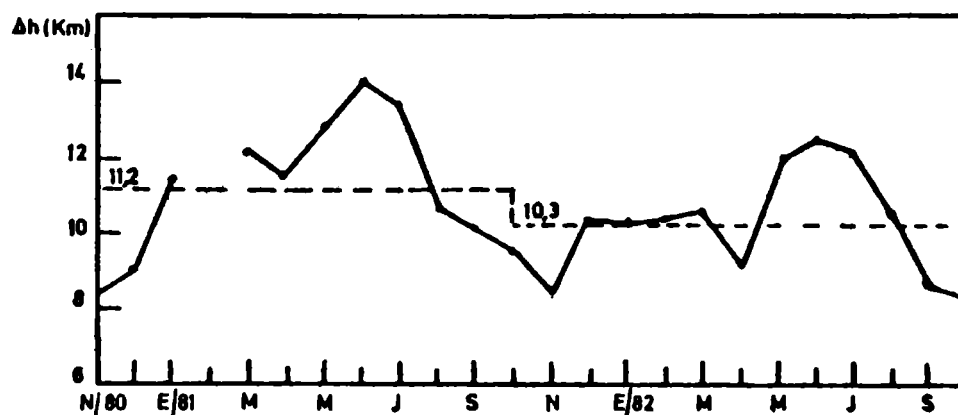


Fig. 3: Promedios mensuales de la diferencia noche-día de altura de reflexión, desde nov. 1980 a oct. 1982. Las líneas de trazos indican el promedio anual.

DISCUSION

Los resultados del trabajo son consistentes con la explicación de la AI que ha sido propuesta por Offermann y otros (1982). Estos autores también recogen la distinción morfológica entre anomalía regular y excesiva, para vincular ambos aspectos del fenómeno con los dos factores tenidos por causa de los incrementos en la concentración

electrónica de la Región D:

(i) Reducción de la velocidad de recombinación (efectiva) de los electrones debida a la disminución en la concentración de iones multihidratados que ocurre alrededor de la mesopausa por aumentos de la temperatura (anomalía regular).

(ii) Crecimiento de la producción de electrones debidos a la fotoionización del NO transportado a toda la Región D durante los eventos de anomalía excesiva.

Resulta claro que sólo el segundo factor puede afectar a la baja Región D como para producir cambios importantes en la altura de reflexión diurna de las señales de MBF.

Agradecimiento. Expresamos nuestro reconocimiento a María M. Schultze y a Luis Rongeti por haber efectuado, con toda competencia, la ardua tarea de interpretar los registros de absorción y de MBF.

BIBLIOGRAFIA

- Beran, D. y Bangert, W., 1979: Trace constituents in the mesosphere and lower thermosphere during winter anomaly events; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 41, 1091-1095.
- Burgess, B. y Jones, T.B., 1967: Solar flares effects and VLF radio waves observations of the lower ionosphere; *Radio Science*, 2, 619-626.
- Dickinson, P.H.G., Hall, J.E. y Bennett, F.D.G., 1976: Rocket measurements of electron concentration in the lower ionosphere at two European locations; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 38, 163-173.
- Offermann, D., Curtis, P., Cisneros, J.M., Satrustegui, J., Lauche, H., Rose, G. y Petzoldt, K., 1979: Atmospheric temperature structure during the Western European Winter Anomaly Campaign 1975/76; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 41, 1051-1062.
- Offermann, D., Bruckelmann, H.G.K., Barnett, J.J., Labitzke, K., Torkar, K.M. y Widdel, H.U., 1982: A scale analysis of the D-region winter anomaly; *J. Geophys. Res.*, 87, 8286-8306.
- Pérez, M. y Puig, L., 1979: Análisis preliminar de la anomalía invernal de la absorción ionosférica en Ushuaia; *GEOACTA*, 10, 2, 141-156.
- Pérez, M., 1980: Sobre la variación diurna de la absorción ionosférica; *GEOACTA*, 10, 2, 141-156.
- Pintado, O.I., Ezquer, R.G., Radicella, S.M. y Restberg, V., 1981: Las anomalías nocturnas de fase y el oxígeno atómico en la mesosfera. Parte I: Datos Experimentales; *GEOACTA*, 11, 1, 285-295.
- Pintado, O.I. y Radicella, S.M., 1982: Respuesta de la ionosfera inferior a tormentas geomagnéticas; *Revista Geofísica del IPGH*, 17, 139-144.
- Radicella, S.M., Pintado, O.I. y Fernández, P.M., 1985: Análisis de la variación estacional de señales de MBF en un circuito norte-sur; *GEOACTA*, D12, 2, 31-43.
- Rawer, K. (Ed.), 1975: *Manual on Ionospheric Absorption Measurements*; WDC-A for Solar-Terrestrial Physics, Rep. UAG-57, NOAA, Boulder, Colorado, U.S.A.
- Rishbeth, H. y Garriott, O., 1969: *Introduction to Ionospheric*

- Physics, Academic Press, New York.
- Schwentek, H., 1971: Regular and irregular behaviour of the winter anomaly in ionospheric absorption; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 33, 1647-1650.
- Schwentek, H., 1974: Some results obtained from the European cooperation concerning studies of the winter anomaly in ionospheric absorption; *Methods of Measurements and Results of Lower Ionosphere Structure*. Akademie Verlag, Berlin, 293-303.
- Schwentek, H., 1976: Ionospheric absorption between 53 N and 55 S observed on board ship; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 38, 89-92.
- Wait, J.R. y Walters, L.C., 1963: Reflection of VLF radio waves from an inhomogeneous ionosphere. Part I: Exponentially varying isotropic model; *Journal of Res. NBS*, 67D, 361-367.