

## **ANALISIS PRELIMINAR DE LA ANOMALIA INVERNAL DE LA ABSORCION IONOSFERICA EN USHUAIA**

MARCELO PERES - LILIANA PUIG

Laboratorio Ionosférico de la Armada

Se llama "Anomalía Invernal" al exceso de absorción ionosférica que se nota durante el invierno en latitudes medias.

Se utilizan datos del equipo de absorción por pulsos (técnica A1), correspondientes a los meses de mayo a agosto de 1975 y, para comparación, los de enero y febrero de 1975.

A partir de la expresión teórica de la variación diurna de la absorción  $L = L_0 \cos^n x$ ,  $x$  ángulo cenital solar, se calcula, para cada día, el valor de  $L$  correspondiente a un ángulo cenital fijo. La no constancia de esos valores indicaría una variación estacional anormal.

Se observa un incremento general de la absorción durante el invierno y la existencia de fuertes picos esporádicos. Ambos fenómenos repiten los resultados del hemisferio norte, aunque son de menor magnitud comparados con los que se han observado para latitudes geográfica similares.

The excess of ionospheric absorption observed during winter months at mid latitudes, is known as "Winter Anomaly".

We used absorption data measured during the period May-August 1975 by an A1 equipment (pulse reflection method). The January-February 1975 data were also used for comparison.

Assuming the validity of the theoretical formula for the diurnal variation of the absorption:  $L = L_0 \cos^n x$ , where  $x$  is the solar zenith angle, the  $L$  value corresponding to a fixed  $x$ , is calculated for each day. An abnormal seasonal variation would be shown by the inconstancy of those values.

A general enhancement of the absorption and the existence of strong sporadic peaks, are observed during winter. Both features are similar to what has been observed in the Northern Hemisphere, although they show less intensity at Ushuaia than at similar geographic latitudes in the north.

## INTRODUCCION

Teóricamente la absorción ( $L$ ) no desviativa, que sufre una onda de radio al atravesar la región  $D$ , depende del coseno del ángulo cenital solar ( $x$ ) y la forma usualmente aceptada de esa dependencia es

$$L = L_0 \cos^n x, \quad (1)$$

donde  $L_0$  es la absorción subsolar (la absorción que ocurriría si el sol se ubicara sobre la vertical del lugar) y  $n$  es un exponente que muestra una fuerte variabilidad estacional y geográfica. Si se desea estudiar la variación estacional de la absorción no asociada a la variación estacional de  $x$ , puede suponerse la validez de (1) para la variación diurna y obtener, para cada día, un valor de  $L$  característico, por ejemplo cuando  $\cos x = 0,1$ . Estos valores son escritos:

$$L (\cos x = 0,1)$$

La llamada Anomalia Invernal consiste en un aumento de la absorción en invierno por encima de lo que podría esperarse si aquella estuviera controlada exclusivamente por el ángulo cenital. El fenómeno ha sido repetidamente observado en latitudes medias del hemisferio norte y, muy escasamente, en el hemisferio sur.

También resulta útil el conocimiento de los otros parámetros  $L_0$  y  $n$ , que, para cada día, pueden obtenerse de (1).

## TECNICA EXPERIMENTAL

Las mediciones fueron efectuadas en Ushuaia con la técnica A1 (pulsos reflejados en incidencia vertical) y para una frecuencia de 2,28 MHz.

La absorción  $L$  es por definición:

$$L(\text{db}) = 20 \log \frac{h'_n E_n}{h'_j E_j}, \quad (2)$$

donde  $E_j$  y  $E_n$  son, respectivamente, las amplitudes de la señal cuya absorción se desea medir y de una señal de referencia para la cual se supone absorción nula (usualmente durante la noche);  $h'_j$  y  $h'_n$  son las correspondientes alturas virtuales de reflexión y tienen en cuenta la diferente atenuación espacial que pueden haber sufrido ambas señales. El nivel de referencia es una característica del equipo, recibe el nombre de constante de calibración  $G$  que queda definida como:

$$G = 20 \log h'_n E_n \quad (3)$$

Para determinar un  $G$  confiable deben realizarse mediciones de  $h'_n$  y  $E_n$  durante lapsos nocturnos en los cuales se den buenas condiciones; que no exis-

tan capas parcialmente reflectoras, que la frecuencia de trabajo esté alejada de la frecuencia crítica para minimizar la absorción desviativa, que la capa reflectora no presente difusión, etc.. Asimismo debe comprobarse la estabilidad de dichas condiciones durante un tiempo razonable. Estas restricciones limitan la cantidad de noches para las que puede obtenerse valores de G confiables y obliga a efectuar mediciones durante, p. ej., dos meses antes de poder establecer un valor de G definitivo. Luego debe continuarse con la medición de G para controlar la estabilidad del equipo. La Figura 1 muestra los valores obtenidos durante el período bajo estudio.

Se midieron, luego, los valores diurnos  $h'd$  y  $E_d$  de la ecuación (2), obtenidos de registros tomados por la mañana. Las características de la absorción de cada día fueron calculadas entonces, no de la curva diaria completa, sino de la tendencia ofrecida en un lapso de unas dos horas y media alrededor de  $\cos x = 0,1$ . En las Figuras (2) y (3) se observan tres ejemplos de la variación de L con la hora (y con  $\cos x$ ).

La relación (L) queda linealizada si tomamos logaritmos en ambos miembros. Efectuada la regresión lineal de  $\log L$  vs.  $\log \cos x$  pueden obtenerse los parámetros  $n$ ,  $L_0$  y  $L$  ( $\cos x = 0,1$ ) para cada día y también el coeficiente de correlación  $\Gamma$ . Un coeficiente de correlación pobre fue considerado, no como indicando falta de validez de la ecuación (1), sino como debido, en principio, al hecho de no haber considerado la variación diurna completa. Por consiguiente, todos los días que mostraron un  $\Gamma < 0,7$  fueron de sechados de este estudio preliminar a la espera de los resultados que arroje un análisis completo de los datos. La Figura 2 muestra la regresión lineal para dos días satisfactorios mientras que la Figura 3 corresponde a uno de los días eliminados. Tampoco se realizó un análisis de la absorción subsolar ( $L_0$ ) que puede obtenerse por extrapolación, porque, calculada a partir de la variación diurna parcial (y relativamente alejada del mediodía), dicha extrapolación puede inducir serios errores.

Para determinar un exponente medio  $n$  confiable se realizó una nueva depuración basada en los intervalos de confianza del estimador de la pendiente de la recta  $\log L$  vs.  $-\log \cos x$ .

## RESULTADOS

La Figura 4 muestra los valores de  $L(\cos x = 0,1)$  (para enero-febrero de 1975) de aquellos días que ofrecieron un  $\Gamma > 0,7$ . La dispersión de los datos resultó un poco mayor que la esperada, sin embargo el valor mediano de 9 dB parece satisfactorio como nivel de absorción de verano para 2,28 MHz. En efecto, Schwentek (1971) da un valor de 6,35 dB para el verano del Hemisferio Norte de 1964 (actividad solar mínima), obtenido de mediciones del circuito Norddeich-Lindau (técnica A3) en una frecuencia de 2,61 MHz. Debe esperarse que ambos valores sean distintos por tres factores:

- diferencia en la actividad solar
- diferencia en la frecuencia de trabajo
- diferencia en la técnica de uso.

El primer factor es despreciable porque ambas son épocas de baja actividad solar,  $R = 10$  para junio - agosto de 1964 y  $R = 23$  para enero - febrero de 1975. El segundo puede ser obviado si, en lugar de comparar directamente los L, se acepta la dependencia inversa cuadrática de L con la frecuencia que establece la teoría, y se comparan los valores A definidos como:

$$A = L (f + f_1)^2, \quad (4)$$

donde  $f$  es la frecuencia de trabajo y  $f_1$  la componente longitudinal de la girofrecuencia. La tercera causa de diferencia se compensa efectuando una reducción geométrica en los valores observados con la técnica A3, para pasar al L equivalente de incidencia vertical (esto ya ha sido efectuado en el valor 6,35 dB arriba mencionado), para aplicar luego la ecuación (4) con una "girofrecuencia efectiva"  $f\ddagger$ . Tomando para Ushuaia  $L=9$  dB,  $f=2,28$  MHz y  $f_1=0,62$  MHz se obtiene  $A=75,80$  dB MHz<sup>2</sup>; para Lindau  $L=6,35$  dB,  $f=2,61$  MHz y  $f\ddagger=0,9$  MHz (Schwentek, 1966), se tiene  $A=78,23$  dB MHz<sup>2</sup>. Resumiendo, la similitud de las absorciones "normalizadas" A, da confianza al valor de  $L=9$  dB obtenido en este trabajo.

En la Figura 5 se observa el comportamiento invernal de la absorción. Los puntos que aparecen aislados corresponden a los días en los que  $\Gamma < 0,7$ . La anomalía invernal aparece claramente: Todos los valores resultan mayores que los que cabría esperar del cumplimiento de la ley del  $\cos x$ . Se no tan los tres tipos de absorción que usualmente son encontrados en invierno (Evans y Jones, 1971; Schwentek, 1971).

- 1) Días esporádicos con L ( $\cos = 0,1$ ) similares a los medidos en verano;
- 2) la mayoría de los días muestran una absorción entre 12 y 16 dB (anomalía invernal normal) y
- 3) días aislados o grupos de días con niveles de absorción por encima de 20 dB (anomalía invernal real).

Se ha propuesto (Röttger y Schwentek, 1974) que la absorción normal (del tipo 2), presenta una variación estacional durante el invierno del tipo  $\sin^2 \gamma$ , siendo  $\gamma$  proporcional a la cantidad de días transcurridos desde el equinoccio de otoño, y normalizado de tal manera de completar un semiperíodo en el equinoccio de primavera. No ha sido obtenido en Ushuaia un tal comportamiento, la tendencia media crece hacia el invierno con un máximo en el mes de julio y no en el solsticio de invierno como surgiría de la variación propuesta.

Tomando medianas cada 15 días, se ha establecido la variación suavizada de la absorción L ( $\cos x = 0,1$ ) en Ushuaia. Schwentek (1971) presenta el mismo tipo de curvas para los inviernos del ciclo solar 1958 - 1970, obtenidas para el circuito Norddeich-Lindau en 2,61 MHz. Se efectuó la comparación entre la tendencia observada en Ushuaia y la del circuito Norddeich-Lindau para el invierno (del hemisferio norte) 1965-1966 que tuvo una actividad solar similar a la de 1975. Aunque la Anomalía observada en Ushuaia presenta el máximo un mes después del solsticio, los niveles de absorción medianos son muy semejantes para ambos lugares, a pesar de la diferencia en las frecuencias utilizadas. Esta diferencia debería producir, a igualdad de las demás condiciones, una absorción aproximadamente un 45% mayor en Ushuaia que en Norddeich-Lindau. Debe pensarse, entonces, que la Anomalía Invernal se presenta en Ushuaia con menor intensidad que en la otra localidad. En el CUADRO I se observan las características geográficas y magnéticas de ambos lugares. Las latitudes geográficas son semejantes (en módulo), mientras que, por sus características magnéticas, Ushuaia se corresponde con zonas del hemisferio norte de menor latitud geográfica que Lindau. Estos datos hacen pensar que el decrecimiento con la latitud de la magnitud de la absorción invernal anómala, hecho repetidamente observado, estaría vinculado con el decrecimiento de  $I$  ó  $\lambda$  gm más que con el decrecimiento de  $\lambda$ .

Para el estudio del comportamiento del exponente  $n$ , se efectuó, como se explica más arriba, una selección de días. Se obtuvieron promedios de  $n$  para todo el año utilizando 53 valores diarios y se discriminaron promedios de  $n$  para invierno y verano basados en 33 y 20 días respectivamente.

CUADRO I

	Latitud geográfica $\lambda$	Latitud geomagnética $\lambda_{gm}$	Inclinación magnética I
Ushuaia	-54,8	-43,3	-50,6
Lindau	51,6	52,4	67,8

Como es usual se notó una gran variación de día a día. Los promedios resultaron 0,425 para todo el año y 0,348 y 0,552 para invierno y verano respectivamente. La diferencia de estos últimos es consistente con lo observado anteriormente. En un trabajo de Khastgir et al. (1973) se recopilan valores de diferentes estaciones para observar la variación latitudinal de  $n$ ; allí aparecen curvas de ajuste para la latitud geográfica y geomagnética (del hemisferio norte). Elling et al (1974) muestran la variación de  $n$  con la inclinación magnética sobre la base de mediciones efectuadas a bordo de un barco (también corresponden a I positivas). El promedio anual de  $n$  obtenido en este trabajo, se ajusta solamente a la curva de variación de  $n$  con la latitud geográfica; en los otros dos casos dicho promedio queda sensiblemente por debajo de las curvas de ajuste.

#### CONCLUSIONES

L ( $\cos x = \text{cte.}$ ) es una cantidad que caracteriza al tipo y magnitud de la absorción ionosférica de un dado día. Sirve para estudiar las variaciones estacionales que no son debidas a variaciones en el ángulo cenital solar. El L ( $\cos x = \text{cte.}$ ) debe ser obtenido de la variación diurna y es aconsejable usar  $\cos x > 0,1$  porque  $\cos x = 0,1$  corresponde a instantes muy cercanos a la salida y puesta del sol cuando las condiciones ionosféricas son, usualmente, inestables.

El comportamiento estacional de la absorción ionosférica en Ushuaia no cumple la ley del  $\cos x$ , mostrando exceso de absorción en casi todos los días del invierno y denunciando la existencia de la llamada "Anomalía Invernal". La magnitud de dicha anomalía resulta menor que la observada en el hemisferio norte para similares latitudes geográficas. Se sugiere, que el conocido decrecimiento de la Anomalía Invernal con la latitud puede ser un fenómeno asociado a características magnéticas más que geográficas.

La premisa de que la variación diurna está controlada por el  $\cos x$  resulta aceptable para casi todos los días.

El exponente  $n$  asociado a cada variación diurna toma valores muy diferentes de un día a otro; su promedio de invierno resulta menor que el de verano y el promedio de todo el año ajusta la curva de variación  $n$  con la latitud geográfica.

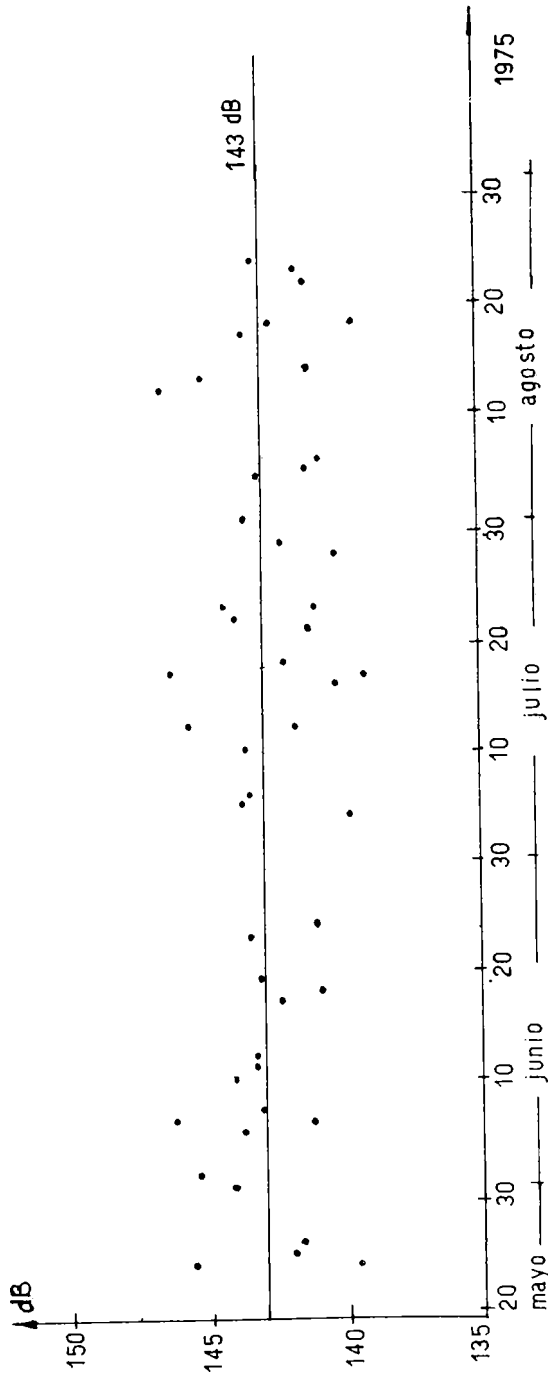


Figura 1: Constante de calibración. Valores diarios y valor mediano.

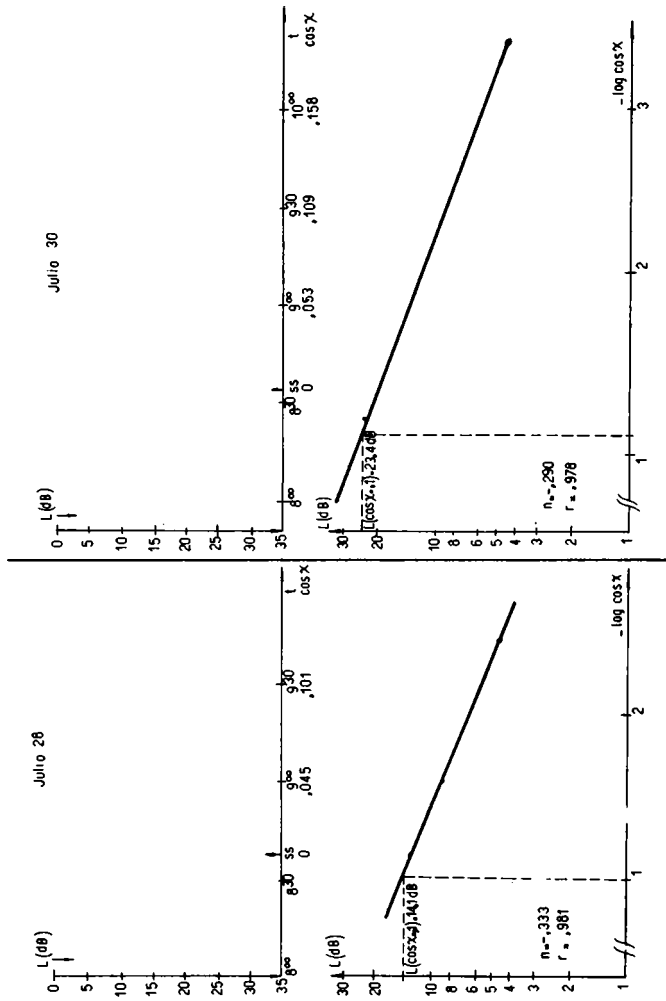


Figura 2: Absorción ( $L$ ) en función de la hora (y del coseno del ángulo cenital solar).  
 Logaritmo de la absorción en función del logaritmo del coseno del ángulo cenital solar (cambiado de signo).  
 Recta de ajuste; pendiente estimada ( $n$ ) y coeficiente de correlación ( $r$ ).

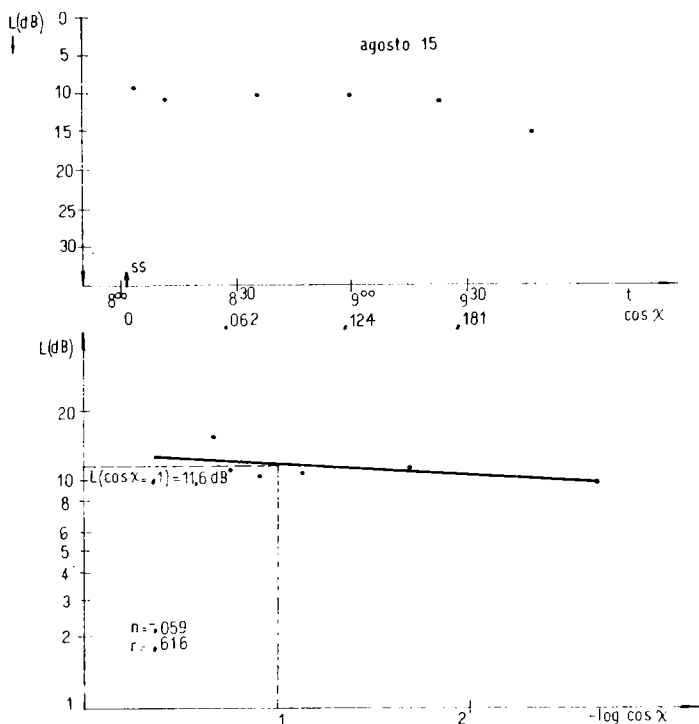


Figura 3: Absorción (L) en función de la hora (y del coseno del ángulo cenital solar).

Logaritmo de la absorción en función del logaritmo del coseno del ángulo cenital solar (cambiado de signo).

Recta de ajuste; pendiente estimada (n) y coeficiente de correlación (r).



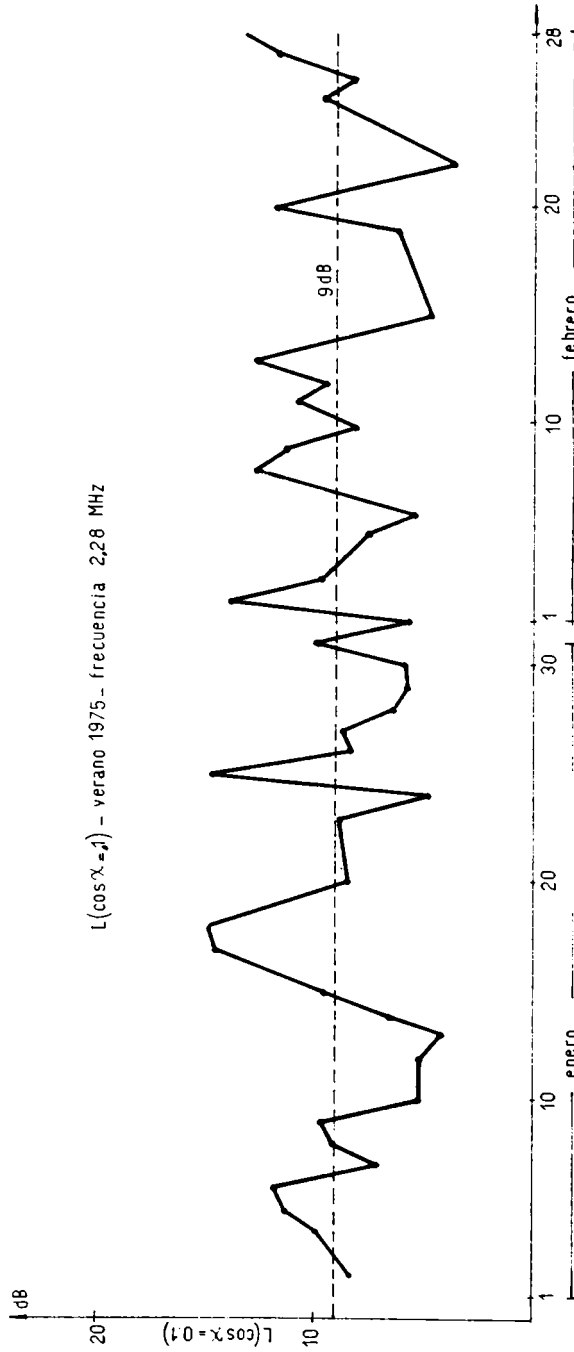


Figura 4: Valores de absorción para un ángulo cenital fijo ( $\cos x = 0,1$ ) para el verano 1975.

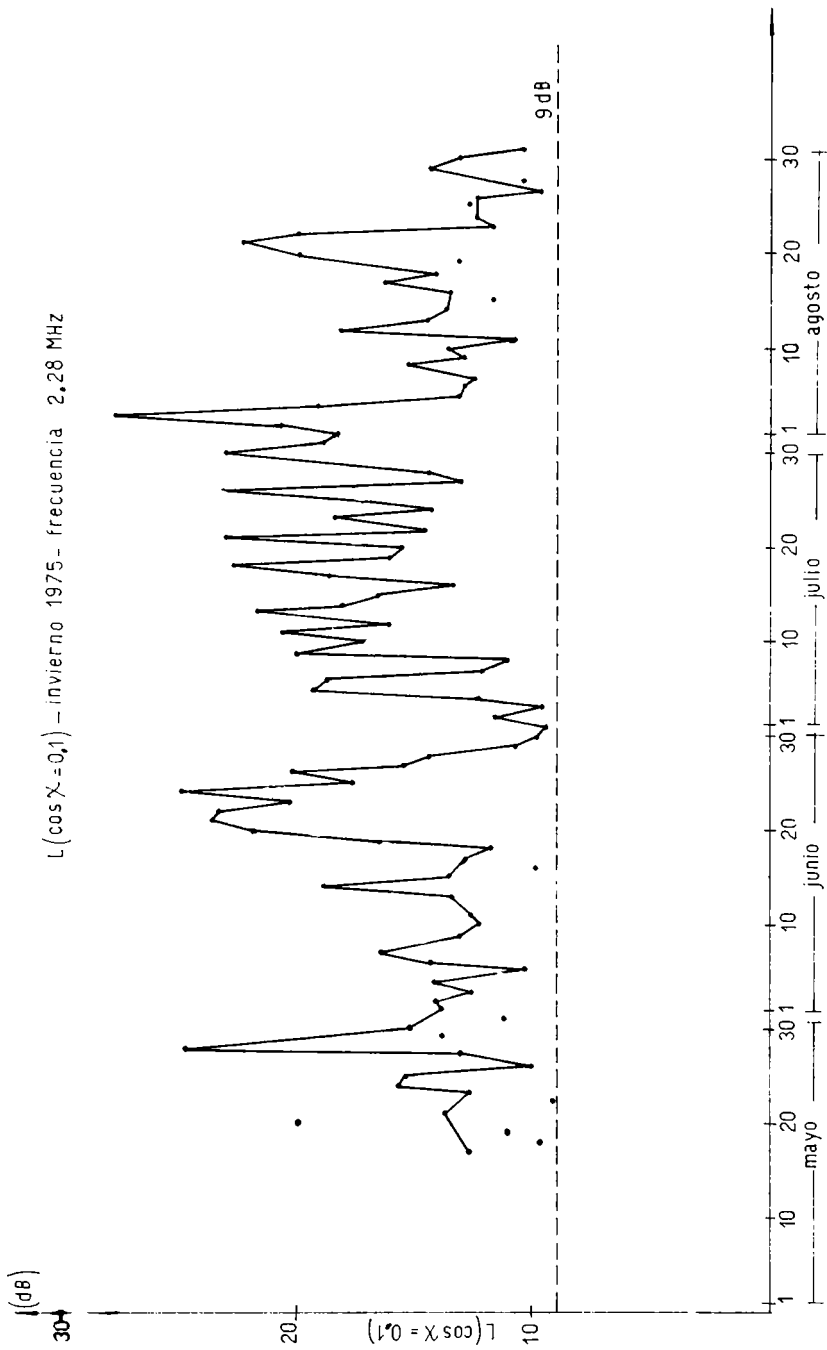


Figura 5: Valores de absorción para un ángulo cenital fijo ( $\cos x = 0,1$ ) para el invierno de 1975.

## B I B L I O G R A F I A

- ELLING, W.; GEISWEID, H.K. and SCHWENTEK, 1974: *Shipborn observations of the southern boundary of the winter anomaly in ionospheric absorption, Proceedings of the COSPAR Symposium, Constance, 23 - 26 May, 1973; Edited by K. Rawer, Lower ionosphere structure / Akademie - Verlag, Berlin, 1974, pp. 293 - 303.*
- EVANS, R.E. and JONES, T.B.; 1971: *The absorption of HF radio-waves reflected at oblique incidence from the ionosphere in winter; J. Atmosph. Terr. Phys., Vol. 33, n. 4, pp. 627 - 633.*
- KHASTGIR, S.R.; GANGULY, S. and SAMANTA, S., 1973: *Diurnal variation of ionospheric absorption over Calcutta; J. Geomag. Geoelectr., Vol. 25, pp. 145 - 157.*
- ROTTGER, I. and SCHWENTEK, H., 1974: *A numerical description of the winter anomaly in ionospheric absorption for a sunspot cycle; J. Atmosph. Terr. Phys., Vol. 36, pp. 363 - 366.*
- SCHWENTEK, H., 1966: *The determination of absorption in the ionosphere by recording the field strength of a distant transmitter; Annls. Géophys. Vol. 22, pp. 276 - 288.*
- SCHWENTEK, H., 1971: *The sunspot cycle 1958/70 in ionospheric absorption and stratospheric temperatures; J. Atmosph. Terr. Phys., Vol. 33, pp. 1839 - 1852.*