

## **PREDICCIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE APANTALLAMIENTO ( $f_b E_s$ ) DE LAS CAPAS E EN LAS LATITUDES MEDIAS EN EL SECTOR SUDAMERICANO**

A. GIRALDEZ

Laboratorio Ionosférico de la Armada - Buenos Aires  
República Argentina

Un método de predicción de la mediana horaria mensual de la frecuencia  $f_b E_s$  diurna ha sido desarrollado, teniendo en cuenta la variación de la frecuencia con: el ciclo solar, la latitud geográfica, el ángulo cenital solar y el sistema de vientos de la región E.

Este método reproduce con un error menor del 10% los valores observados con sondadores ionosféricos durante el día en el sector sudamericano. La comparación con zonas geográficas del hemisferio norte ha dado resultados satisfactorios.

A prediction method of the hourly median value of the Sporadic-E blanketing frequency ( $f_b E_s$ ) is presented, as a function of the solar cycle, geographical latitude, solar zenith angle and wind system at E region height.

This method reproduces within a 10% error the observed values of  $f_b E_s$  during day time in the south american sector. The comparison with geographical zones of the northern hemisphere shows a good agreement.

## INTRODUCCION

La frecuencia  $f_b E_s$  corresponde a la densidad iónica de la capa  $E_s$  (L. G. Smith, E.A. Mechtly, 1972). Este hecho permite afirmar que  $f_b E_s$  es un parámetro importante de las capas  $E_s$ .

El hecho que las capas  $E_s$  estén compuestas de iones  $Fe^+$ ,  $Mg^+$ ,  $Si^+$ , etc. (Narcisi, 1968) indica un mecanismo de producción iónica no regido directamente por control solar, sino que la ionización de dichos elementos se realiza por intercambio de carga con los iones mayoritarios de la región E (Ferguson, 1972).

Debido a estas características, es de suponer que existe un control solar indirecto sobre las mismas, tanto diurno como con el ciclo solar.

La existencia de un sistema de vientos neutros generado por las mareas solar y gravitatoria, permite suponer que la ionización  $E_s$  es capaz de seguir dichas mareas como lo hacen los átomos no ionizados, por lo cual la influencia de las mareas ionosféricas puede ser apreciable. Teniendo en cuenta que los modos semidiurnos (2,2) y (2,4) son los importantes a altura de capa  $E_s$ , y que estos modos presentan su máxima intensidad en latitudes medias y bajas (Evans, 1976), es de suponer que ambos modos o alguno de ellos, ejerce una influencia detectable sobre la ionización  $E_s$ .

Debido a lo anteriormente expuesto se consideran como parámetros importantes para analizar la variabilidad de estas capas, el ángulo cenital solar(x), el número de manchas solares (Nro, de Wolf, R), la latitud geográfica y su relación con las mareas ionosféricas.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

## Método

Para el análisis se utilizaron medianas mensuales horarias de  $f_b E_s$  obtenidos con sondador vertical en cuatro estaciones del hemisferio Sur, con la menor dispersión en longitud geográfica posible, y evitando el anillo ecuatorial.

Las estaciones elegidas resultaron ser: São Paulo (-22, 55, 313, 37); Tucumán (-26.90, 294.60); Buenos Aires (-34.55, 301.30) y Port Stanley (-51.70, 302.20).

Debido a la elección de estaciones, se realiza un análisis latitudinal del comportamiento, pero no longitudinal.

El período analizado fue entre los años 1957-1974. El rango total de valores de R en ese período es de:  $\Delta R = 190$ .

El manejo de los datos experimentales se efectuó en función de  $\cos. x$  y R, en lugar de hora local y año (R mensual).

Los datos de frecuencia se agruparon en intervalos de  $\Delta \cos x = 0.05$  y  $\Delta R = 10$ , para cada estación analizada.

Este método permitió agrupar diferentes años y meses en las mismas celdas de datos, con lo cual se eliminó la variación estacional y cualquier efecto espúreo en los datos.

Del conjunto de datos así agrupados fueron eliminados los meses para los cuales se detectaron tormentas geomagnéticas grandes, que cubrieran más de la mitad de los días del mes con condiciones magnéticas muy perturbadas ( $Ap > 50$ ).

En cada celda de datos se calculó el valor medio y su dispersión. El resultado fue la obtención de un conjunto de valores de  $f_b E_s$  para cada  $(\Delta \cos x) = 0.05$  y  $\Delta R = 10$  entre  $0_1 < \cos x \leq 1$  y  $10 \leq R \leq 200$ .

#### Resultados

- a) La dependencia de  $f_b E_s$  como función del ángulo cenital solar en forma directa es:

$$f_b E_s (\cos x) \approx (\cos x)^{0.25} \quad (1)$$

También depende de  $\cos x$  en función de las mareas ionosféricas, pero no en forma tan importante.

- b) La dependencia con el ciclo solar hallada es:

$$f_b E_s (R) \approx 1 + 1.75 \text{ Log. } k \quad (2)$$

donde se observa una dependencia no tan acentuada con la actividad solar como la evidencia por la capa E normal diurna.

- c) La dependencia con la latitud se encontró de la forma:

$$f_b E_s (\theta) \approx \exp \left( - \frac{(|\theta| - \Omega)^2 \cos x}{100} \right) \quad (3)$$

$\theta$  = latitud geográfica en grados.

$\Omega$  = función de  $\cos x$  con período semidiurno, que responde muy claramente al modo (2,4) de mareas ionosféricas.

La variable  $\Omega$ , que corresponde a la latitud del máximo de ionización, para un  $\cos x$  fijo, varía con  $R$ , no en forma pronunciada. A los fines de este trabajo, puede aceptarse una representación única de  $\Omega (\cos x)$  para cualquier valor de actividad solar, que es de la forma:

$$\Omega (x) = 120^\circ (\cos x - \cos^2 x + \frac{\cos^3}{7} x) + 19^\circ$$

en forma aproximada. En realidad  $\Omega (x) \approx \alpha P_4^2 (x) + \beta P_6^2 (x) \quad (4)$

y sus derivadas angulares, siguiendo fielmente la variación de la velocidad meridional del modo (2,4)

La ecuación final queda de la forma:

$$f_b E_s (\theta, x, R) = \exp \left[ - \frac{(|\theta| - \Omega)^2 \cos x}{100} \right] (\cos x)^{0.25} (1 + 1.75 \log R)$$

Algunos ejemplos comparativos de los valores experimentales con los calculados con este método, se dan en las figuras 1 a 4, para las estaciones Sudamericanas utilizadas. La Figura 5 muestra el porcentaje de error cometido al utilizar este método de predicción en lugares de los valores experimentales, para todo el período analizado.

$$\varepsilon = f_E - f_T$$

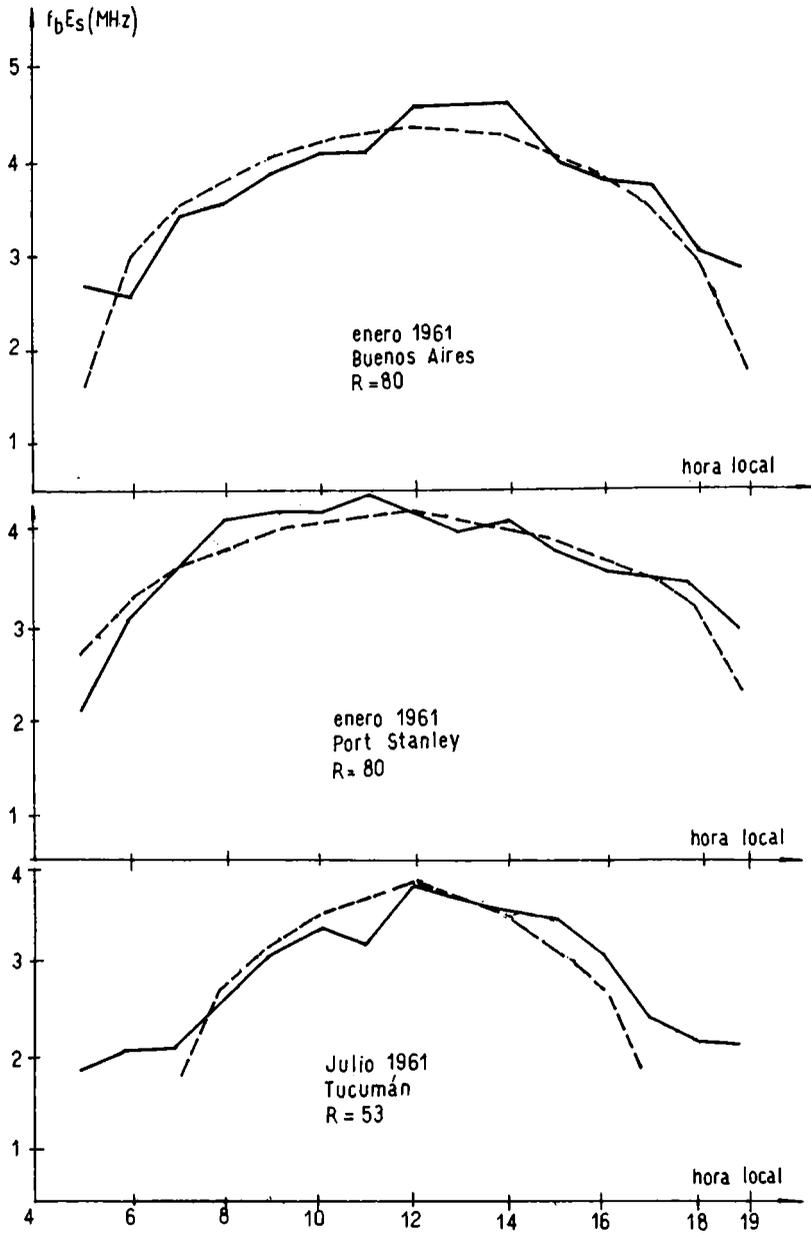


Figura 1: — Mediana horaria observada de  $f_bE_s$ .  
 - - - Valor teórico calculado de  $f_bE_s$ .

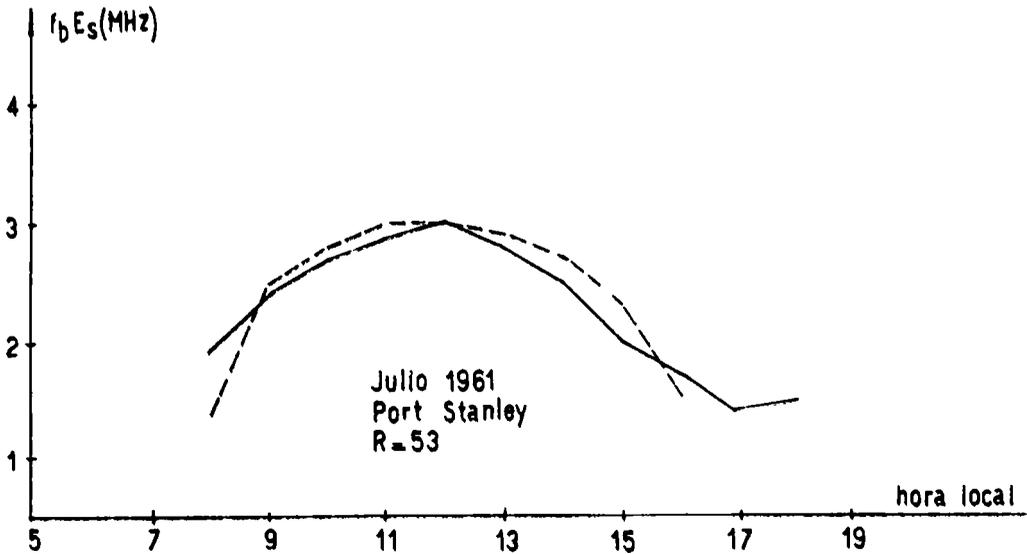
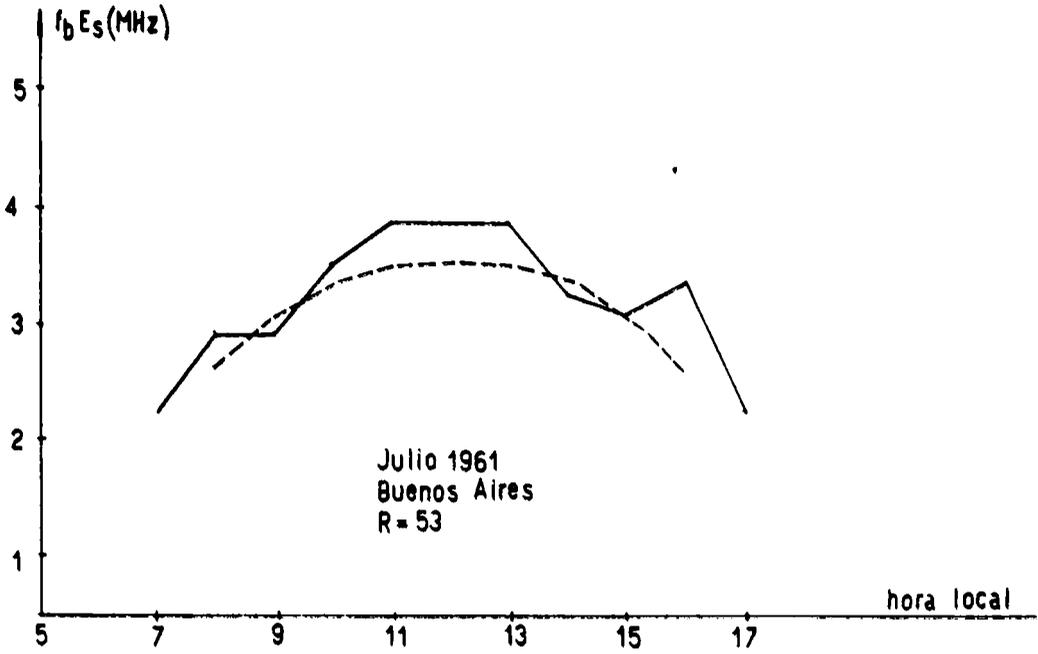


Figura 2: ——— Mediana horaria observada de  $f_b E_s$ .  
 - - - - - Valor teórico calculado de  $f_b E_s$ .

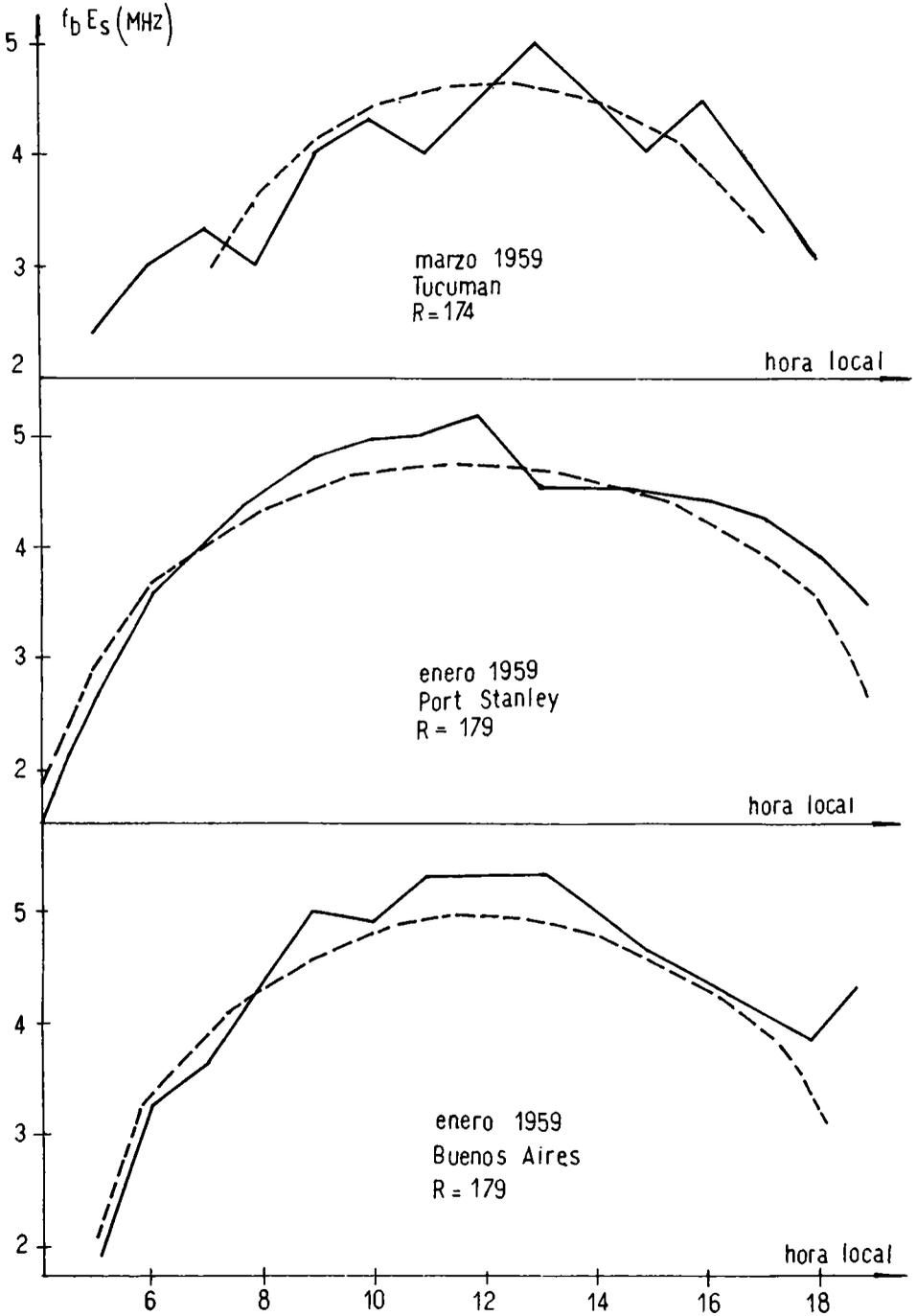


Figura 3: — Mediana horaria observada de  $f_b E_s$ .  
 - - - Valor teórico calculado de  $f_b E_s$ .

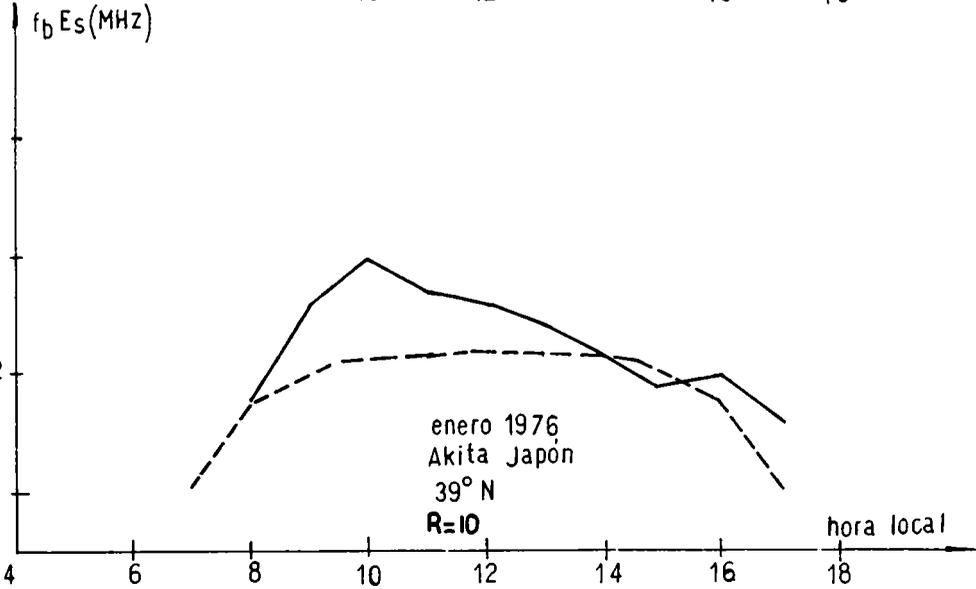
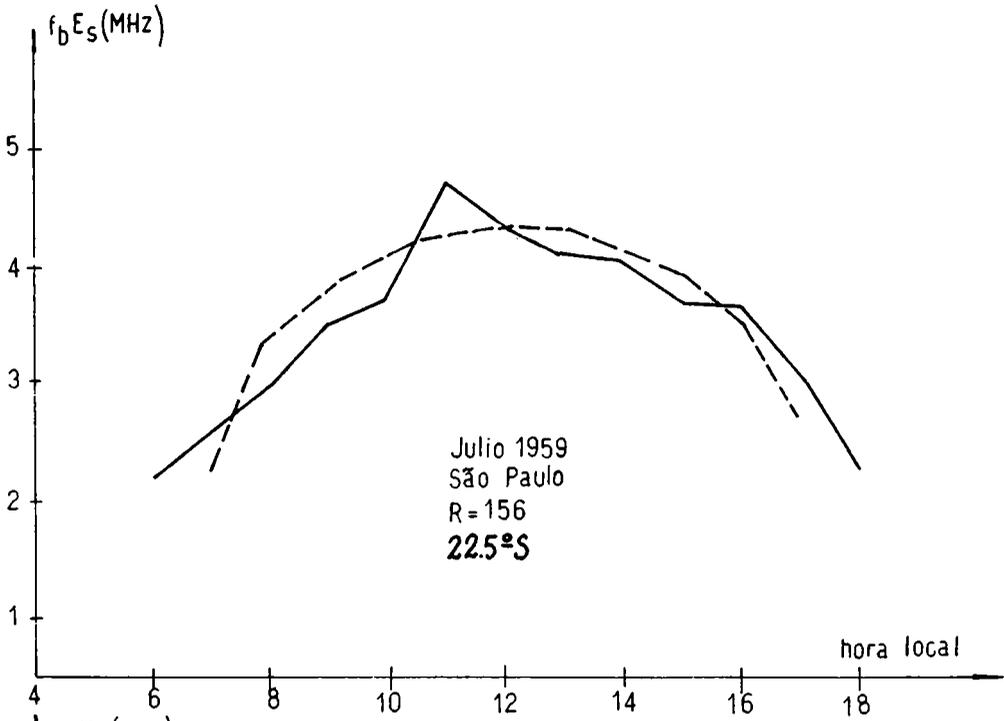
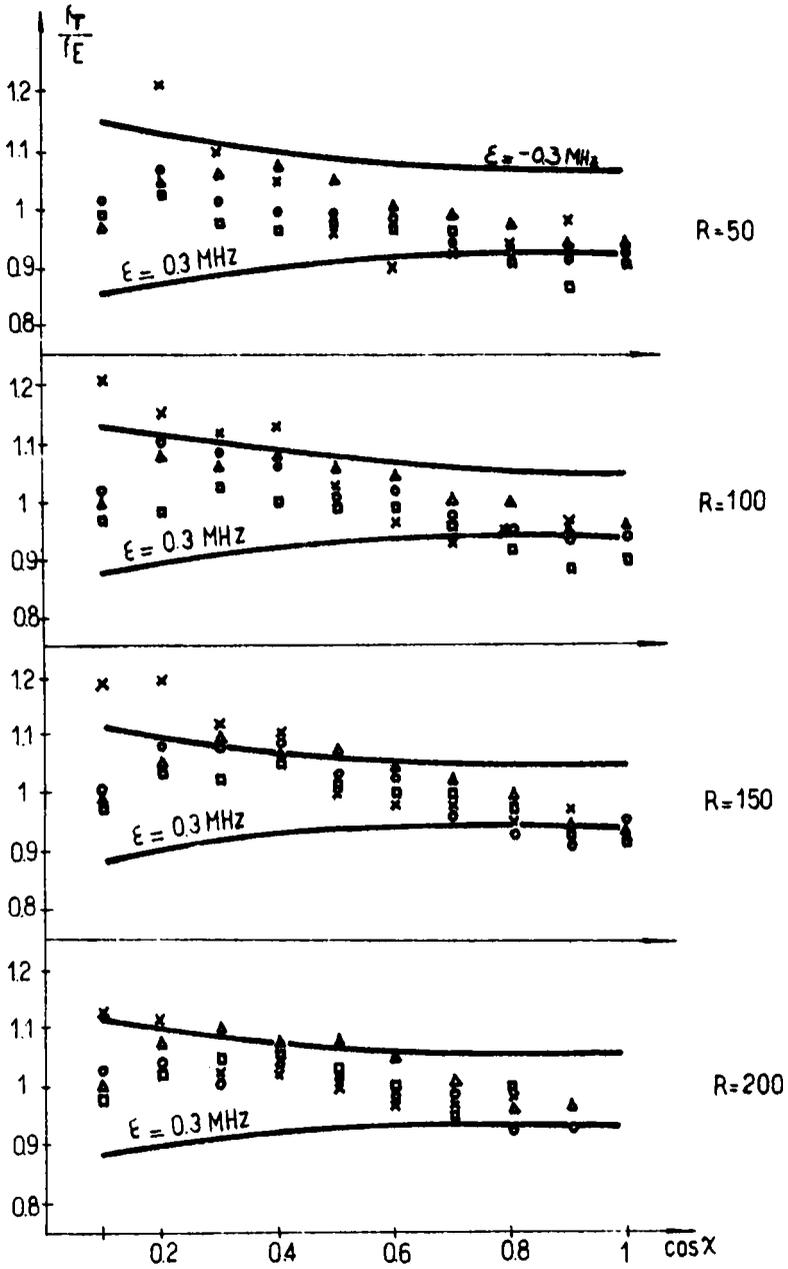


Figura 4: — Mediana horaria observada de  $f_b E_s$ .  
 - - - Valor teórico calculado de  $f_b E_s$ .



REFERENCIAS

- △ SAN PABLO    ○ BUENOS AIRES
- TUCUMAN    × PTO. STANLEY

Figura 5:  $f_T = f_b E_s$  teórica;  $f_E = f_b E_s$  medida.

## DISCUSION

## a) Dependencia con el Ciclo Solar

Se ha establecido que  $f_b E_s$  depende del número de manchas solares (R) en forma logarítmica. Esta característica, si bien no da lugar a saturación, muestra una tendencia hacia esa condición en el caso de un alto número de manchas; efecto razonable si se tiene en cuenta que el mecanismo de producción es intercambio de carga con los componentes mayoritarios de la región E.

La representación de  $f_o E (R) - f_b E_s (R)$  con el factor latitudinal como parámetro (A), muestra que en baja actividad solar (menor de  $R = 25$ ), no debieran aparecer capas E Esporádicas del tipo apantallante, como se ve en la Figura 6.

## b) Dependencia con el Angulo Cenital Solar

La dependencia con  $\cos x$  es compleja y abarca dos términos. En uno de ellos en forma directa y en el otro en forma indirecta, como elemento generador de las mareas ionosféricas. En este punto sólo se discutirá el término  $(\cos x) 0.25$ . Este término es idéntico al término correspondiente a la predicción de la ionización de la capa E normal.

Esta similitud no es extraña, ya que si se acepta que las capas  $E_s$  son gobernadas por la capa E en cuanto a su ionización, es lógico pensar que en valores medios, la ionización  $E_s$  varíe en forma similar a la capa E durante el día.

## c) Dependencia Latitudinal

El término de dependencia latitudinal, si bien es el más complejo de del punto de vista analítico, es el que menos influye en las magnitudes numéricas ya que permanece muy próximo a uno para cualquier latitud y ángulo cenital solar.

Este término tiene en cuenta los efectos provocados por el sistemas de mareas ionosféricas (que como se observa no es muy pronunciado) sobre la ionización ambiental de la región E, aunque importante debido a que siendo frecuencias relativamente bajas, diferencias del orden de  $0.3 \text{ MHz}$  son apreciables.

La función  $\Omega (x)$  es una primera aproximación calculada experimentalmente, calculando para cada  $\cos x$  fijo y R fijo, a que latitud se encuentra el máximo de ionización. Los valores hallados para distintos valores de R son diferentes (se calculó para  $R = 50, 100, 150$  y  $200$ ).

Las diferencias observadas en  $\Omega$  no son sustanciales, en todos los casos se observó el mismo patrón de comportamiento. Las diferencias aparecen en la magnitud del efecto e indican que en épocas de mayor actividad solar, el desplazamiento es mayor y más rápido. Este tema en particular sería tratado en otro trabajo posterior. A los fines de este trabajo es suficientemente preciso utilizar la aproximación mostrada en la Figura 7.

El significado físico de la función  $\Omega$  es que su valor para un determinado  $\cos x$ , representa la latitud de máxima ionización. La existencia de una latitud preferencial, que cambia al cambiar  $\cos x$  puede suponerse debido al sistema de mareas ionosféricas.

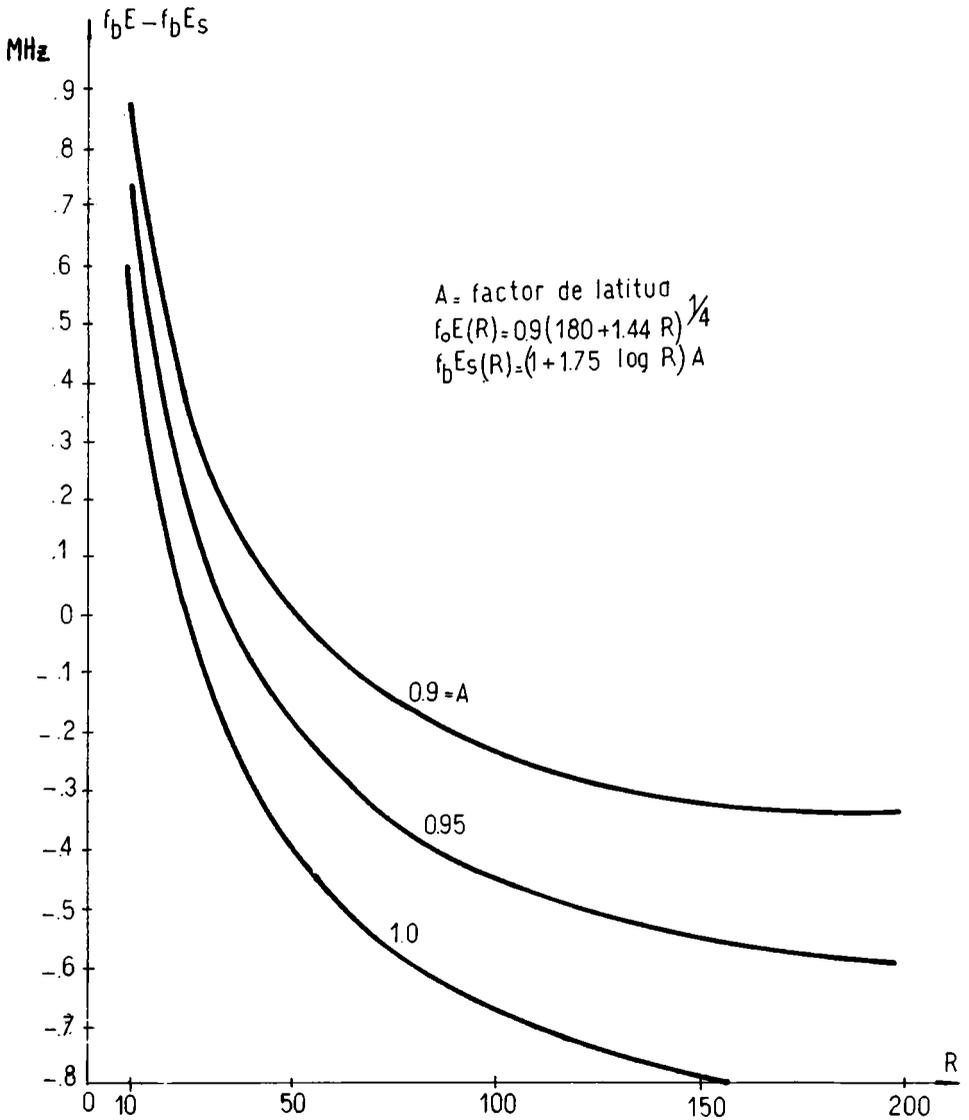


Figura 6:  $f_b E(R) - f_b E_s(R)$  en función de R, para distintas latitudes. (A: parámetro de latitud).

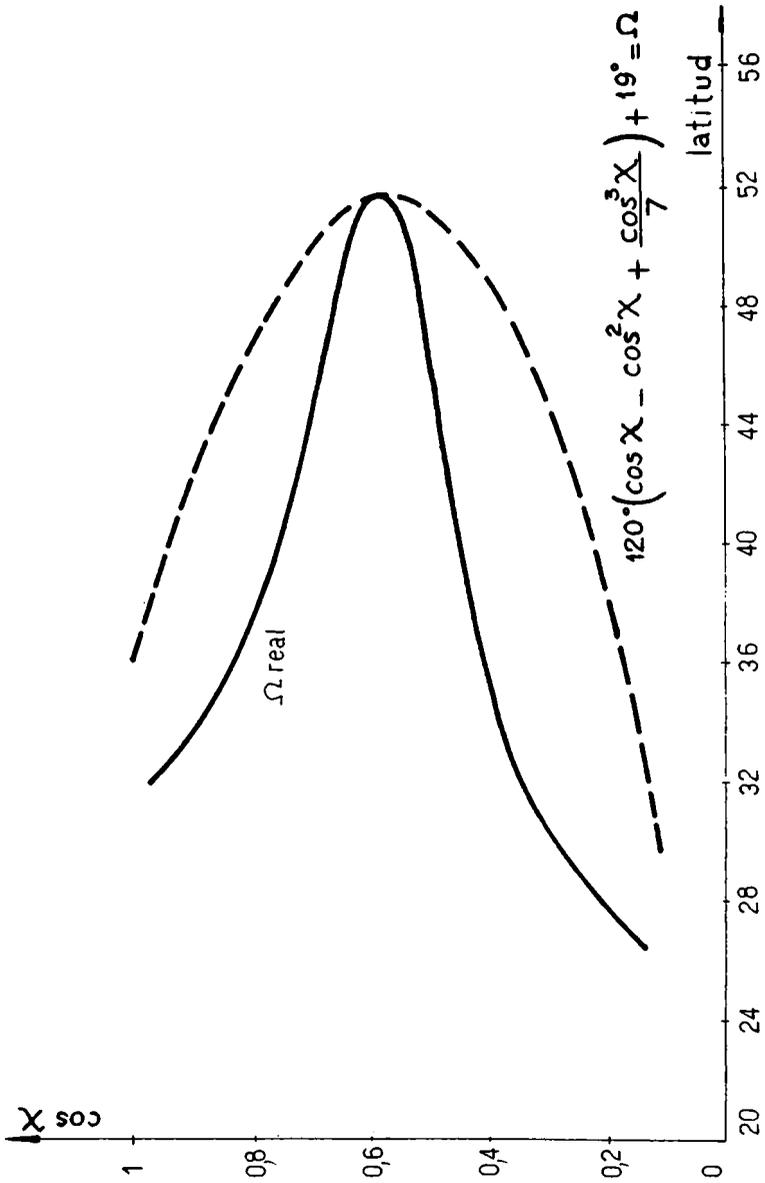


Figura 7: Comparación de la curva teórica adoptada para  $\Omega$  (---) con el resultado experimental (—).

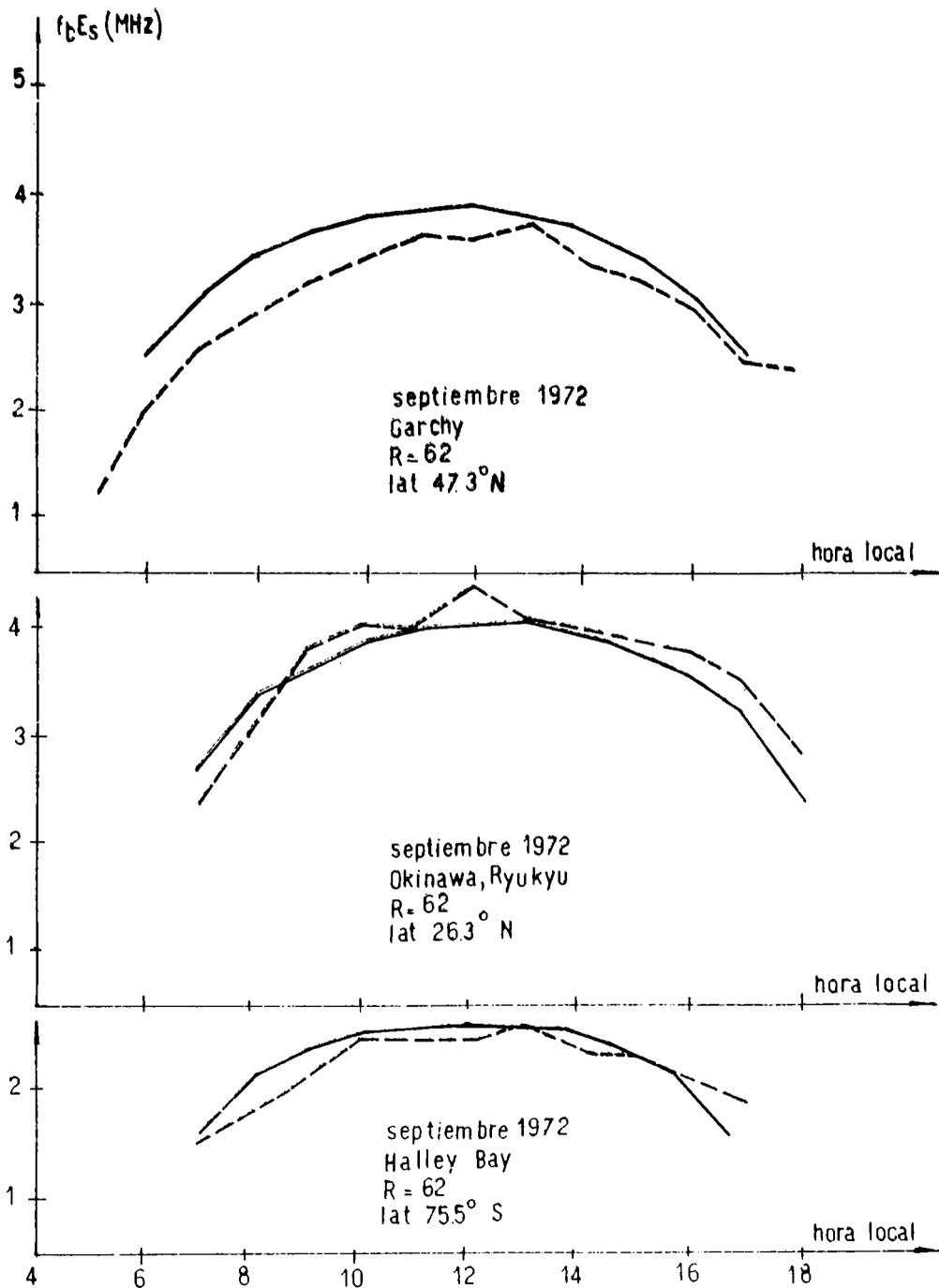


Figura 8a: — Valor teórico calculado de  $f_b E_s$ .  
 - - - Mediana horaria observada de  $f_b E_s$ .

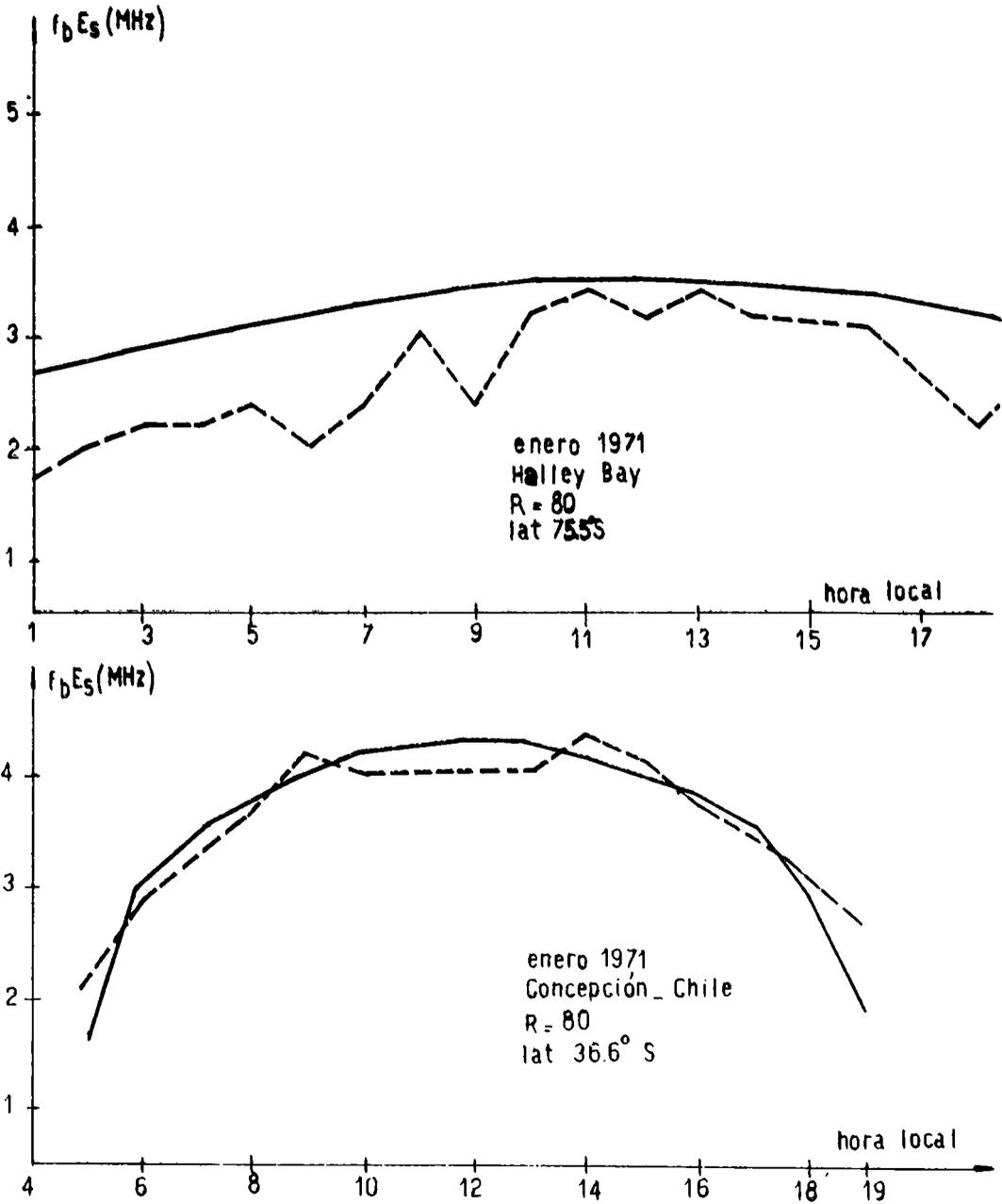


Figura 8b: — Valor teórico calculado de  $f_b E_s$ .  
 - - - Mediana horaria observada de  $f_b E_s$ .  
 Nótese el mal resultado para Halley Bay (alta latitud).

Según se observa en la Figura 7, dicha marea ionosférica debe poseer un período semidiurno, con velocidades hacia el polo durante la primera mitad de la mañana y hacia el ecuador en la segunda mitad, invirtiendo el proceso a la tarde. Este modo de oscilación corresponde al modo (2,4) de mareas ionosféricas, que se ha identificado claramente utilizando otras técnicas (J.V. Evans 1976).

#### RESULTADOS

Este método de predicción no tiene en cuenta la dependencia longitudinal de la dinámica ionosférica. Debido a que el modo de marea ionosférica que posiblemente gobierne el aspecto longitudinal sea el mismo, el término longitudinal debiera ser semejante al latitudinal.

Las pruebas efectuadas con estaciones no pertenecientes a la red utilizada: Figuras 8a y 8b; demuestran la validez de esta afirmación ya que las diferencias son muy pequeñas.

La predicción de la mediana mensual horaria de  $f_b E_s$  utilizando este método está dentro de límites razonables de precisión, pero no se puede afirmar lo mismo de la predicción diaria, ya que debido a condiciones meteorológicas de la región E, las condiciones pueden variar apreciablemente en corto tiempo; variaciones que no están previstas en este trabajo.

Otra limitación del método es que no es apto para predecir valores de ionización de capas  $E_s$  en los sectores ecuatorial y polar, estando sólo restringido a la banda de latitudes medias.

#### CONCLUSIONES

El método expuesto permite calcular los valores horarios de  $f_b E_s$  en latitudes medias con un error menor del 10%, para valores de  $\cos x$  entre 0.1 y 0.99.

Dicho cálculo utiliza como parámetros la latitud geográfica, el número de manchas solares (R) y el valor de  $\cos x$  correspondiente a la hora en la que se desea efectuar el cálculo.

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

- NARCISI, R.S. 1968: *Processes associated with metal-ion layers in the E region of the ionosphere*. *Space Res.* Vol. 8, pp. 360-369.
- SMITH, L.G., MECHTLY E.A. 1972: *Rocket observations of Sporadic-E layers*. *Radio Science* Vol. 7, pp. 367-376.
- FERGUSON, E.E., 1972: *Atmospheric metal-ion Chemistry*. *Radio Science* Vol. 7, pp. 397-402.
- EVANS, J.V., 1976: *Int. Symp. Solar Terr. Phys. Boulder Colo. The dynamics of the ionosphere and upper atmosphere*.