

# Comportamiento estadístico de la frecuencia límite de la capa Es en Cuba

BERTA MELÉNDEZ, RAÚL MARTÍN, y LOURDES PALACIO

## RESUMEN

En este sentido se obtiene a partir del análisis estadístico de los datos de frecuencia límite de la capa Es (foEs) registrados en Cuba, las funciones de distribución de este parámetro. Se ha considerado la validez de la regla de Phillips para los datos mencionados, los cuales fueron divididos atendiendo a los siguientes períodos: día y noche, las cuatro estaciones del año y niveles de alta y baja actividad solar. Se utilizó el análisis de covarianza para determinar las regresiones significativamente diferentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La propagación por medio de la capa E esporádica (Es) es importante en el extremo superior de la banda de ondas decamétricas y en la banda de ondas métricas, sobre todo como fuente de interferencias en la zona inferior de esta última. Por lo anterior, el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR, 1981) ha recomendado un método de cálculo de la intensidad de campo de las señales que se propagan por medio de la capa Es hasta una distancia de 4000 km. Para la aplicación del mismo es necesario establecer claramente el comportamiento estadístico de la frecuencia límite de la capa Es (foEs), ya que ésta varía aleatoriamente en función del lugar y del tiempo. Este método propone el uso de determinadas curvas de distribución integral para las distintas regiones del mundo, pero no se han considerado en ningún caso los datos de Cuba.

Diversos autores (WHITEHEAD, 1970; KORENKOV, 1980; CHAVDAROV *et al.*, 1975) han investigado las variaciones espacio-temporales de foEs, y algunos (OVEZGUELDIEV y MIJAILOVA, 1976; SINNO *et al.*, 1976) han propuesto funciones de densidad para este parámetro.

---

Manuscrito aprobado el 10 de junio de 1986.

B. Meléndez, R. Martín, y L. Palacio pertenecen al Instituto de Geofísica y Astronomía, de la Academia de Ciencias de Cuba.

En Cuba han sido estudiadas las propiedades estadísticas de la E esporádica (PALACIO, 1979; L. Palacio y B. Meléndez, inédito<sup>1</sup>) sin obtenerse una función de densidad simple para foEs; sin embargo, PALACIO (1981) llegó gráficamente, a partir de datos de verano, a la conclusión de que se cumplía en Cuba la llamada "Regla de Phillips", la cual consiste en aproximar, para un intervalo de frecuencias, la función de distribución de foEs a:

$$F(\text{foEs}) = 1 - 10^{a+b\text{foEs}}$$

En este trabajo se obtienen, a partir del análisis estadístico de los datos experimentales, teniendo en cuenta el día y la noche, las estaciones del año y dos niveles de actividad solar, las correspondientes rectas de Phillips que se proponen utilizar en Cuba para el cálculo de la intensidad de campo en presencia de Es.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las posibilidades de aparición de foEs mayores e iguales a un valor dado,  $P(\text{foEs} \geq c)$ , se calcularon a partir de los datos obtenidos en la estación de sondeo vertical de la ionosfera de La Habana ( $\phi = 22^{\circ}59'N$ ,  $\lambda = 82^{\circ}09'W$ ) correspondientes a los años 1974 ( $W = 34,5$ ) y 1978 ( $W = 92,7$ ). Con estos datos se formaron 16 grupos al considerar el día y la noche, las 4 estaciones del año, y niveles de alta y baja actividad solar.

Para cada grupo se calculó la regresión lineal correspondiente a la regla de Phillips.

$$\log P = a + b\text{foEs}$$

Se utilizaron las probabilidades de aparición calculadas a partir de foEs  $\geq 3$  Mhz por el día, y de foEs  $\geq 2$  Mhz por la noche, ya que los puntos obtenidos para foEs menores se separan ostensiblemente de la nube de puntos. Esto concuerda con lo planteado por SAKSENA (1975), ya que los valores límites anteriormente mencionados se corresponden con los valores más probables de foEs para Cuba.

Las regresiones se ajustaron según la dócima  $t$  de Student, con un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) y todos los coeficientes de correlación,  $r$ , se encontraron dentro del intervalo  $[0,85, 1]$ . No obstante, surge la interrogante de si las 16 regresiones son significativamente diferentes, y, de no ser éste el caso, cuáles pueden agruparse entre sí. Para obtener una respuesta a esta pregunta es necesario determinar ante todo si las pendientes de la recta pueden considerarse iguales; de ser así, puede probarse si los interceptos son significativamente diferentes o no. Se reduce entonces la cuestión de decidir si la distancia entre dos rectas paralelas puede considerarse significativamente diferente de cero, a comparar las medias de las variables dependientes cuando el efecto de los cambios en las variables independientes se han eliminado, lo que resulta un problema clásico del análisis de covarianza (QUENOUILLE, 1966; LERCH, 1977).

<sup>1</sup> Informe final Tema 31008, Archivo IGA, 1983.

Con el objetivo de realizar lo antes expuesto, aplicamos sucesivamente una d6cima para probar la hip6tesis de pendientes iguales (DIXON y MASSEY, 1965), partiendo de las 16 rectas juntas, y reagrupando los datos seg6n el criterio de considerar las variaciones diarias como m6s importantes; despu6s las variaciones estacionales, y por 6ltimo la actividad solar. As6, hasta que se determinaron los grupos de rectas de igual pendiente. Seguimos este procedimiento y no una d6cima de comparaci6n m6ltiple porque el conocimiento anterior de la importancia relativa de las variaciones de la Es permit6a economizar tiempo y trabajo en este caso.

Dentro de cada grupo de rectas de igual pendiente se determinaron cu6les ten6an interceptos iguales, con ayuda del an6lisis de covarianza (OSTLE, 1974), el que se realiz6 sucesivamente utilizando para reagrupar las rectas el mismo criterio usado en la aplicaci6n de la d6cima para aceptar pendientes iguales.

Se obtuvieron, con  $\alpha = 0,05$ , las rectas significativamente diferentes, las que se ajustaron seg6n la d6cima  $t$  de Student, y se calcularon los intervalos de confianza para sus coeficientes de correlaci6n por medio de la aproximaci6n de la funci6n  $Z$  de Fisher.

### 3. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

Las 16 rectas calculadas en un principio pod6an agruparse en dos, seg6n la pendiente. Una pendiente para el d6a y para el verano por la noche; otra para el resto de las estaciones por la noche. Dentro de estos dos grupos se encontraron, a su vez, interceptos diferentes para el verano por el d6a, el verano por la noche, y el resto de las estaciones por el d6a. Por la noche resultaron iguales los interceptos para las tres estaciones restantes. No se encontraron diferencias entre ambos niveles de actividad solar.

Las rectas finalmente obtenidas, como puede verse en la Fig. 1, son:

(a) D6a - verano

$$\log P = 2,85 - 0,30 \text{ foEs}$$

$$\text{coeficiente de correlaci6n } r = [0,97, 1]$$

(b) D6a - invierno, oto6o, primavera

$$\log P = 2,55 - 0,30 \text{ foEs}$$

$$\text{coeficiente de correlaci6n } r = [0,93, 0,98]$$

(c) Noche - verano

$$\log P = 2,40 - 0,30 \text{ foEs}$$

$$\text{coeficiente de correlaci6n } r = [0,97, 1]$$

(d) Noche - invierno, oto6o, primavera

$$\log P = 2,25 - 0,35 \text{ foEs}$$

$$\text{coeficiente de correlaci6n } r = [0,89, 0,97]$$

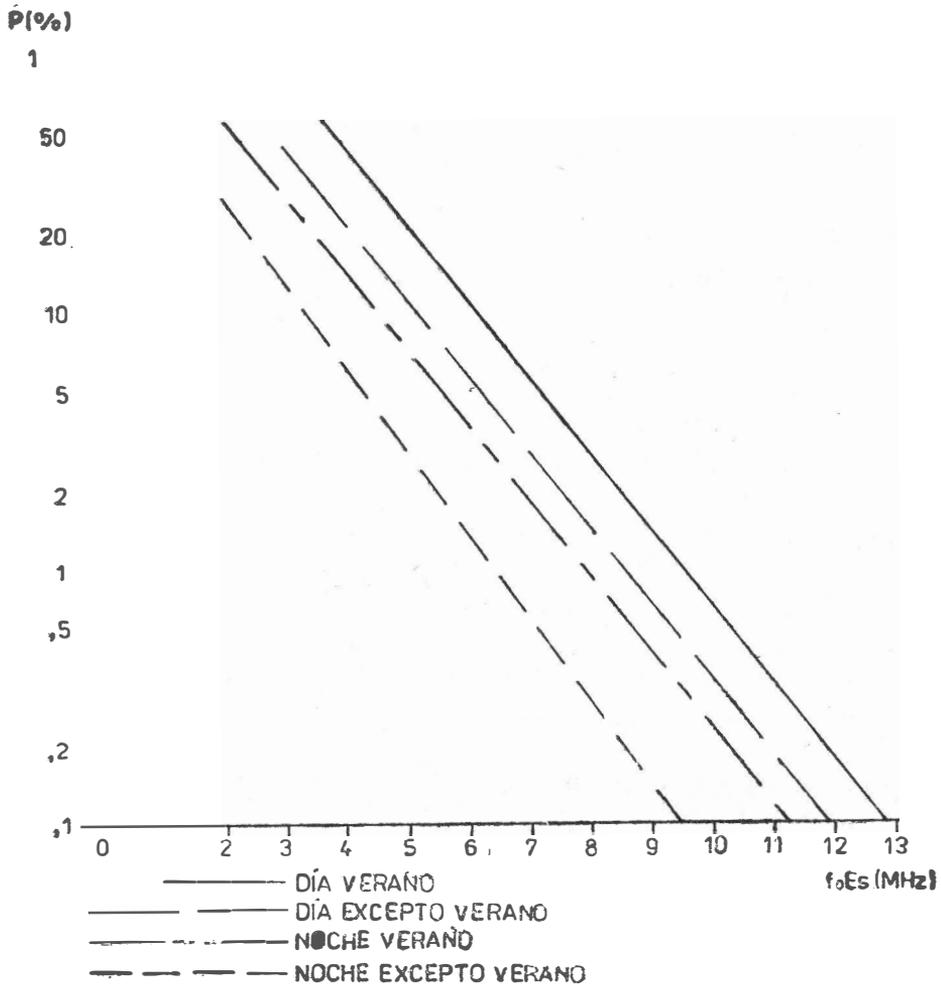


FIG. 1. Rectas de Phillips utilizables en Cuba.

Los resultados muestran una débil variación estacional, lo que reafirma lo planteado por PALACIO y MAKARENKO (1978), y reflejan una marcada variación diaria. Lo anterior podría explicarse por la mayor radiación solar recibida durante el día y la débil variación anual de la misma en nuestra región, en relación con otras latitudes. Esta radiación tiene una relación directa con la ionización de fondo de la región E, la que, a su vez, influye en la densidad electrónica de la capa Es.

El CCIR (1981) propone curvas diferentes, según las estaciones del año; pero en las mismas no se consideran separadamente el día

y la noche. Los resultados de este trabajo indican que en Cuba no es necesario tener en cuenta curvas diferentes para cada estación del año, con excepción del verano. Sin embargo, deben considerarse el día y la noche por separado, por lo que se recomienda utilizar en Cuba las rectas obtenidas para el cálculo de la intensidad de campo de las señales que se propagan por medio de la Es.

## REFERENCIAS

- CCIR; COMITÉ CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIOCOMUNICACIONES (1981): *Método para calcular la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica*. Recomendación 534. Anexo 1, 20 pp.
- CHAVDAROV, S. S., CHASOVITIN, YU. K., CHERNICHEVA, S. P., y SHEFTEL, V. M. (1975): *La capa E esporádica de latitudes medias*. [en ruso]. Editorial Nauka, Moscú, 119 pp.
- DIXON, W. J., y MASSEY, F. J., (1965): *Introducción al análisis estadístico*. Ediciones Revolucionarias, La Habana, 489 pp.
- KORENKOV, YU. N. (1980): Algunos resultados de la elaboración de los parámetros de la capa Es por los datos de la estación de Kaliningrado [en ruso]. En *Variaciones de la ionosfera durante perturbaciones magnetosféricas*. Ed. IZMIRAN, Moscú, pp. 37-44.
- LERCH, G. (1977): *La experimentación en las ciencias biológicas y agrícolas*. Ed. Científico-Técnica, La Habana, 452 pp.
- OSTLE, B. (1974): *Estadística aplicada*. Ed. Científico-Técnica, La Habana, 629 pp.
- OVEZGUELDIEV, O., y MIJAILOVA, G. V. (1976): Modelo empírico de la capa Es de latitudes medias [en ruso]. *Izvestia AN TSSR, Serie Fiz-Tej, Xim. Geol., Nauk*, 3:65-72.
- PALACIO SUÁREZ, L. (1979): *Algunas particularidades de la capa Es en Cuba*. Resúmenes II Jornada Científica IGA, Academia de Ciencias de Cuba, pp. 82-84.
- (1981): *Sobre la ley de distribución de la capa Es en la región de Cuba*. Resúmenes III Jornada Científica IGA, Academia de Ciencias de Cuba, pp. 29-31.
- PALACIO SUÁREZ, L., y MAKARENKO, S. P. (1978): Sobre las variaciones de los parámetros de la capa Es en Cuba. En *Características de las trayectorias de las ondas cortas de radio*. Ed. IZMIRAN, Moscú, pp. 177-187.
- QUENOUILLE, M. H. (1966): *Introductory statistics*. Ediciones Revolucionarias, La Habana, 249 pp.
- SAKSENA, E. C. (1975): Prediction of the occurrence of sporadic E in the Indian Subcontinent. *Indian J. Radio Space Phys.*, 4:318-322.
- SINNO, K., KAN, M., y HIRUKAWA, Y. (1976): On the reflexion and transmission losses for ionospheric Es propagation. *J. Rad. Res. Labs.*, 23(110):65-77.
- WHITEHEAD, J. D. (1970): Production and prediction of sporadic E. *Res. Geophys. Space Phys.*, 8(1):65-144.

ON THE STATISTICAL BEHAVIOR OF THE CRITICAL FREQUENCY  
OF THE SPORADIC E LAYER IN CUBA

**ABSTRACT**

Cumulative distribution functions of the sporadic E layer (foEs) measured in Cuba were obtained by statistical analysis. It has also been considered that the Phillips Rule holds for the measured foEs, which were separated into diurnal and nocturnal values, seasons, and high and low solar activity. Covariance analysis was used to determine which regressions were significantly different.