

RECOMENDACIÓN 534-3

**MÉTODO PARA CALCULAR LA INTENSIDAD DE CAMPO EN PRESENCIA DE LA CAPA E ESPORÁDICA**

(Cuestión 41/6)

(1978-1982-1986-1990)

El CCIR,

CONSIDERANDO

- a) que la propagación por medio de la capa E esporádica es una importante fuente de interferencia en la parte inferior de la banda de las ondas métricas;
- b) que el método de cálculo de la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica que figura en el anexo I a la presente Recomendación, ha resultado práctico y fiable;
- c) que no existe ningún otro método práctico,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que se adopte el método reproducido en el anexo I como método de cálculo de la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica en las latitudes de inclinación magnética baja y media, para la parte superior de la banda de las ondas decamétricas y para la banda de las ondas métricas.
2. Que se reúnan más datos de la frecuencia crítica de la capa E esporádica (foEs) y de la intensidad de campo en la capa E esporádica, particularmente en las regiones de latitud alta. Entretanto, hay que tener precaución cuando se aplique en dichas regiones el método descrito en el anexo I.

ANEXO I

MÉTODO DE CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE CAMPO EN PRESENCIA DE LA CAPA E ESPORÁDICA

**1. Introducción**

A continuación se expone un método de cálculo estadístico de la intensidad de campo de las señales que se propagan por medio de la capa E esporádica (Es) en la banda de ondas métricas y quizá también en la parte superior de la banda de ondas decamétricas, hasta una distancia de 4000 km. Este cálculo se funda en la estrecha correlación que existe entre la intensidad de campo y la frecuencia crítica de la capa E esporádica, foEs, en incidencia vertical en el punto medio del trayecto. Debe señalarse que el método conviene a los circuitos radioeléctricos ionosféricos en ausencia de la propagación ordinaria a través de las capas E o F2. Por lo tanto, cuando se utilice este método con la banda de ondas decamétricas hay que tener cuidado si existe la posibilidad de propagación por la capa ordinaria. (Para la propagación por la capa ordinaria, véase la Recomendación 533.) Este método, que no difiere esencialmente del descrito por Miya y Sasaki [1966] y por Miya y otros [1978], ha sido perfeccionado sobre la base, en particular, de los datos obtenidos en el programa de mediciones desarrollado por la UER durante diez años [UER, 1976] para modificar las curvas originales de atenuación ionosférica y se han empleado asimismo algunas curvas de foEs presentadas por miembros del GIT 6/8. Como los datos proporcionados por esta Recomendación se refieren a latitudes geomagnéticas comprendidas entre  $\pm 60^\circ$ , es necesario continuar examinando la aplicabilidad del método especialmente en las regiones de latitud alta.

La URSS ha obtenido resultados experimentales a 9, 14, 24 y 44 MHz en un trayecto de 1050 km [CCIR, 1978-82] y también la República Argentina a 47,620 MHz en un trayecto de 1070 km que guardan buena concordancia con este método de predicción [Giráldez, 1984], para regiones de latitudes magnéticas medias.

En la región ecuatorial algunos resultados experimentales de propagación a distancias medias (500 a 2000 km) indican claramente una propagación Es que debe distinguirse de los efectos mucho más importantes de la «propagación transecuatorial (PTE)» en la zona (véase el Informe 259). La intensidad de campo de la propagación Es en latitudes bajas es aproximadamente igual a la estimada en este anexo para latitudes medias. Sin embargo, el parámetro que muestra una gran diferencia es el porcentaje de tiempo en función de la frecuencia crítica de incidencia vertical (foEs) figs. 2 a 6 para latitudes magnéticas medias. Por tanto, se utilizarán las figs. 16 a 21 en la región de latitud magnética baja.

Las características de este método son las siguientes:

- la intensidad de campo  $E_s$  se predice estableciendo una correspondencia estadística entre un valor de atenuación ionosférica y el valor de  $f_oE_s$  para una determinada tasa de ocurrencia;
- la atenuación ionosférica de la señal  $E_s$  se representa mediante una función que asocia la relación entre la frecuencia de la señal  $f$  y  $f_oE_s$ , con la distancia que separa las estaciones transmisora y receptora medida sobre la superficie de la tierra;
- para evaluar rápida y fácilmente la intensidad de la señal  $E_s$  se adjuntan algunas curvas de probabilidad y algunos mapas mundiales de  $f_oE_s$ .

## 2. Fórmula para la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica

La intensidad de campo  $E_s$  puede expresarse como sigue:

$$E = E_0 + P + G_t - L_t - \Gamma \quad \text{dB} \quad (1)$$

$$E_0 = 105 - 20 \log l \quad \text{dB} \quad (2)$$

donde:

- $E$ : intensidad de campo prevista (dB( $\mu$ V/m));
- $E_0$ : valor teórico de la intensidad de campo correspondiente a la ley de la inversa de la distancia (dB( $\mu$ V/m)), en el caso de una potencia radiada de 1 kW, con una antena transmisora isótropa;
- $P$ : potencia del transmisor (dB(1 kW));
- $G_t$ : ganancia de la antena transmisora respecto a la antena isótropa (dB);
- $L_t$ : pérdida de la antena transmisora (dB);
- $\Gamma$ : atenuación ionosférica (dB) representada con línea de trazo continuo en la fig. 1;
- $l$ : longitud del trayecto de transmisión (km) (véase la ecuación (5)).

Para el cálculo por computador, y en caso de propagación por un solo salto,  $\Gamma$  viene dada aproximadamente por:

$$\Gamma_{(1 \text{ salto})}(d) = \left\{ \frac{40}{1 + \left(\frac{d}{130}\right) + \left(\frac{d}{250}\right)^2} + 0,2 \left(\frac{d}{2600}\right)^2 \right\} \left(\frac{f}{f_oE_s}\right)^2 + \exp\left(\frac{d - 1660}{280}\right) \quad (3)$$

y para la propagación de dos saltos viene dada aproximadamente por:

$$\Gamma_{(2 \text{ saltos})}(d) = 2,6 \Gamma_{(1 \text{ salto})}\left(\frac{d}{2}\right) \quad (4)$$

y

$l$ : longitud del trayecto de transmisión (km) viene dado por:

$$l = (d^2 + 4h^2)^{1/2} \quad (5)$$

donde:

- $h$ : altura de la capa  $E_s$ ;
- $d$ : distancia, medida en la superficie, entre las estaciones transmisora y receptora (km);
- $f$ : frecuencia de la señal (MHz);
- $f_oE_s$ : frecuencia crítica, en MHz, de la capa E esporádica con incidencia vertical y una probabilidad de ocurrencia determinada.

La exactitud con que las ecuaciones (3) y (4) reproducen los valores medidos de  $\Gamma$  se indican en la fig. 1, donde se representan con líneas de trazo interrumpido. La ecuación (3) debe utilizarse exclusivamente para distancias inferiores a 2600 km y valores de  $f/f_oE_s$  situados entre 1 y 8; así el error será inferior a 5 dB. La ecuación (4) sólo deberá utilizarse para distancias de 2600 a 4000 km y valores de  $f/f_oE_s$  situados entre 2 y 5,5; el error será así inferior a 10 dB.

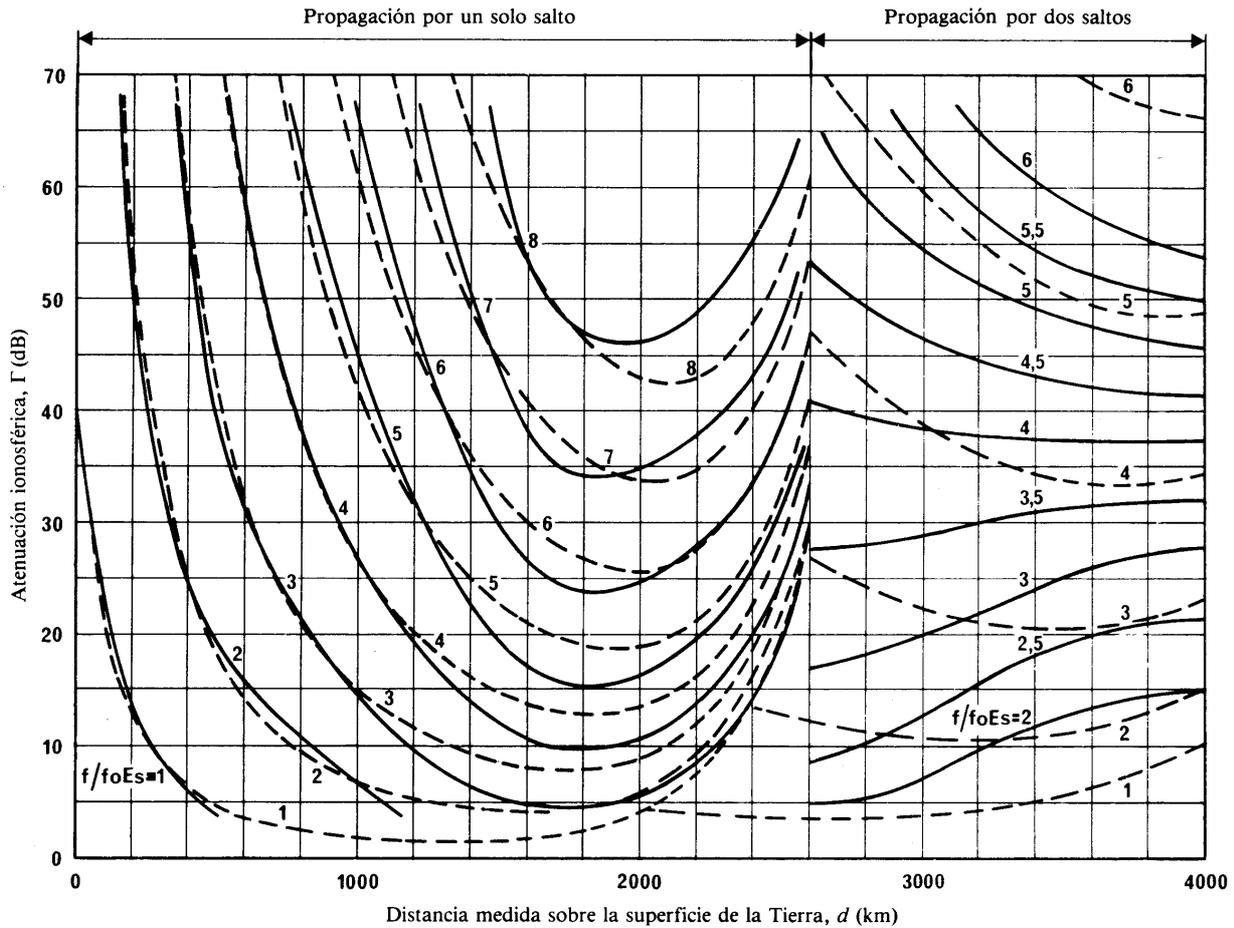


FIGURA 1 - Atenuación ionosférica,  $\Gamma$ , para propagación por la capa Es

D01-sc

- A partir de valores observados
- - - A partir de las fórmulas empíricas (3) y (4)

### 3. Procedimiento de cálculo de la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica

La intensidad de campo Es puede calcularse como sigue:

- calcúlese el valor de  $E_0$  correspondiente al valor dado de  $I$  mediante la ecuación (2);
- (latitud de inclinación en el punto medio del trayecto fuera de  $\pm 20^\circ$ ): léase el valor de foEs para un determinado porcentaje de tiempo de ocurrencia en la región y para la estación deseada, utilizando una de las figs. 2 a 6. Si se requiere una predicción más exacta, léase el valor del porcentaje del tiempo en que foEs supera los 7 MHz en el punto medio del trayecto utilizando el mapa pertinente de las figs. 12 a 15, y determínese el valor de foEs trazando una nueva línea sobre la línea pertinente de las figs. 2 a 6 como se describe en el § 4.1. Si se requiere una predicción de la variación a lo largo del día, léase el valor de foEs en la que corresponda de las figs. 7 a 11;
- (latitud de inclinación en el punto medio del trayecto dentro de  $\pm 20^\circ$ ): determínese el ángulo de inclinación para el punto de reflexión ionosférica y léase un valor de foEs en un porcentaje de tiempo de ocurrencia determinado bajo la región y estación deseadas utilizando las figs. 16 a 21.
- calcúlese el valor de  $f/foEs$ ;
- léase mediante las curvas de trazo continuo de la fig. 1, el valor de  $\Gamma$  correspondiente al valor dado de  $d$  y al valor de  $f/foEs$  calculado, o, como valor aproximado, calcúlese  $\Gamma$  mediante las ecuaciones (3) y (4);
- calcúlese el valor (predicción) de  $E$  por la ecuación (1) utilizando los valores dados de  $P$ ,  $G_t$  y  $L_t$ , así como el valor obtenido de  $\Gamma$ .

#### 4. Probabilidad de ocurrencia de foEs

Es preciso establecer claramente las propiedades estadísticas de foEs ya que su comportamiento varía esporádicamente en función del lugar y del tiempo. Para lograr una predicción muy precisa, puede utilizarse el mapa mundial de foEs que figura en la parte 6 del Informe 340. Por otra parte, son también muy útiles los datos estadísticos de foEs en los casos en que interese determinar la tendencia general de variación, en función del tiempo.

Para poder pronosticar el valor medio de la intensidad de campo en presencia de Es, se han preparado las curvas de probabilidad de foEs para las cinco regiones de latitud media de Europa y África del Norte, América del Norte, Asia (Lejano Oriente) y América del Sur y para una zona intermedia situada entre las regiones que se reproducen en las figs. 2 a 11. Para latitud baja, se han preparado curvas de probabilidad de foEs para América, Asia y África como se indica en las figs. 16 a 21. Las características de la región de latitud alta tienen que establecerse más claramente en el futuro.

##### 4.1 *Latitudes medias*

Para facilitar la determinación de las características geográficas detalladas de foEs, se acompañan mapas mundiales que indican el porcentaje de tiempo en el que foEs es igual o superior a 7 MHz durante los meses de mayo a agosto (verano septentrional), noviembre a febrero (verano austral), marzo, abril, septiembre y octubre (meses equinocciales, Norte y Sur) y los doce meses del año. Estos mapas se encuentran en las figs. 12 a 15 [Smith, 1976 y 1978]. Como puede verse, los mapas mundiales indican los contornos de porcentaje de tiempo entre 60° de latitud geomagnética (o dipolo) Norte y Sur. Se excluye también una región de latitud baja en ambos lados del ecuador de inclinación.

Las figs. 2 a 6 representan la relación existente entre el valor de foEs y sus porcentajes de tiempo de aparición. En estas figuras, las curvas relativas a los meses de verano, a los meses de invierno y a los meses de equinoccio son las líneas rectas que unen dos puntos correspondientes a porcentajes de tiempo para los cuales foEs excede de 7 MHz y 10 MHz, respectivamente. Estas curvas se rigen por la llamada regla de Phillips que ilustra su dependencia de la frecuencia. Esta regla es estrictamente empírica y da buenos resultados en latitudes medidas para porcentajes de tiempo inferiores al 30% y con frecuencias superiores a foE, frecuencia crítica de la capa E normal. Hay que tener cuidado cuando se utilice la regla de Phillips en frecuencias superiores a unos 100 MHz y en latitudes ecuatoriales y elevadas. La regla de Phillips se representa por:

$$\log p = a + bf \quad (6)$$

donde:

$p$ : probabilidad de aparición de foEs  $> f$ ,

$f$ : frecuencia (MHz),

$a$  y  $b$ : constantes ajustables, tales que  $b$  sea la pendiente en una representación de  $\log p$  en función de  $f$ .

Una curva que muestra la media anual, da valores de porcentaje de tiempo aproximadamente iguales a un tercio de los valores correspondientes a los meses de verano, para un porcentaje de tiempo pequeño. A título de referencia, se han añadido curvas de probabilidad a las respectivas figuras correspondientes a las horas diurnas (0800-2300 h) en los meses estivales, que es cuando se observa una mayor intensidad en la región E esporádica.

En el caso de que el valor del porcentaje de tiempo de aparición de foEs para 7 MHz, obtenido mediante los mapas de las figs. 12, 13, 14 ó 15, difiera del obtenido mediante la curva de probabilidad media para una región de las figs. 2 a 6, se puede determinar un valor de foEs para un determinado porcentaje de tiempo utilizando una nueva curva de probabilidad que se traza paralelamente a la curva original en la región respectiva, a una distancia equivalente a la diferencia entre ambos valores.

Las figs. 7 a 11 muestran las variaciones a lo largo del día de la ocurrencia de foEs en periodos de cuatro horas, en las cuatro regiones antes mencionadas para los meses estivales y no estivales, de conformidad con sus características diferenciales. Se observa un mínimo bien definido de foEs poco después del mediodía en las regiones B y C, sobre todo en verano. A los fines de una predicción detallada del comportamiento de la intensidad de la señal Es, sería quizá necesario representar las variaciones a lo largo del día de foEs en periodos inferiores a cuatro horas.

##### 4.2 *Latitudes bajas*

Las figs. 16 a 21 muestran la relación entre el valor de foEs y el porcentaje de tiempo de su ocurrencia para latitudes bajas. En estas figuras se observa una clara diferencia entre un cinturón muy estrecho alrededor de la inclinación magnética cero (ángulo de inclinación de  $\pm 6^\circ$ ) y la región adyacente de hasta  $\pm 20^\circ$  de inclinación, que pudieran denominarse regiones ecuatoriales y subecuatoriales respectivamente. Como se observa al comparar las figs. 2 a 6, la región subecuatorial, pero no la ecuatorial, está sujeta a la ley de Phillips.

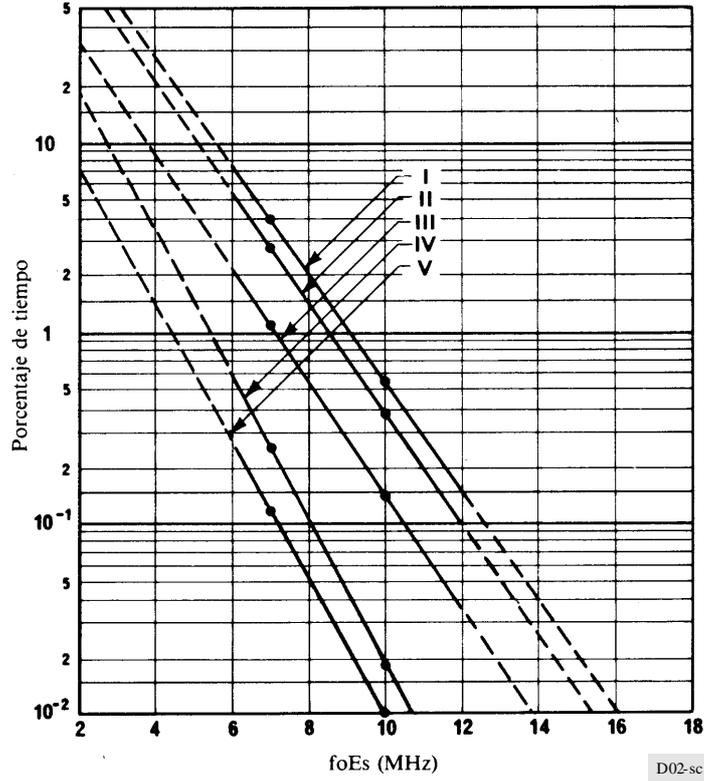


FIGURA 2 – Valores de foEs igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados, en la región A

- Región A: Europa y África del Norte  
 I: Mayo hasta agosto (08h00-23h00)  
 II: Mayo hasta agosto  
 III: Promedio anual  
 IV: Marzo, abril, septiembre y octubre  
 V: Noviembre hasta febrero

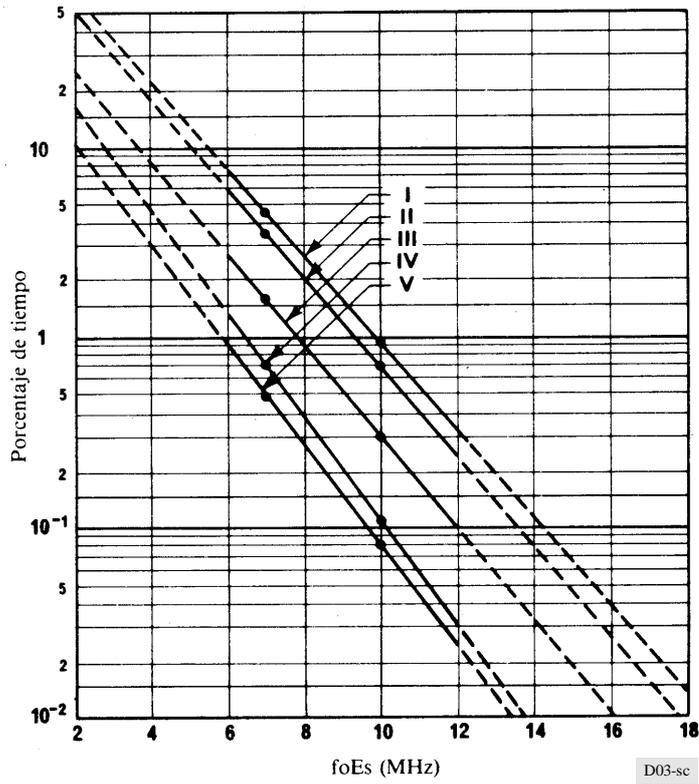


FIGURA 3 – Valores de  $f_oE_s$  igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados, en la región B

- Región B: América del Norte
- I: Mayo hasta agosto (08h00-23h00)
  - II: Mayo hasta agosto
  - III: Promedio anual
  - IV: Marzo, abril, septiembre y octubre
  - V: Noviembre hasta febrero

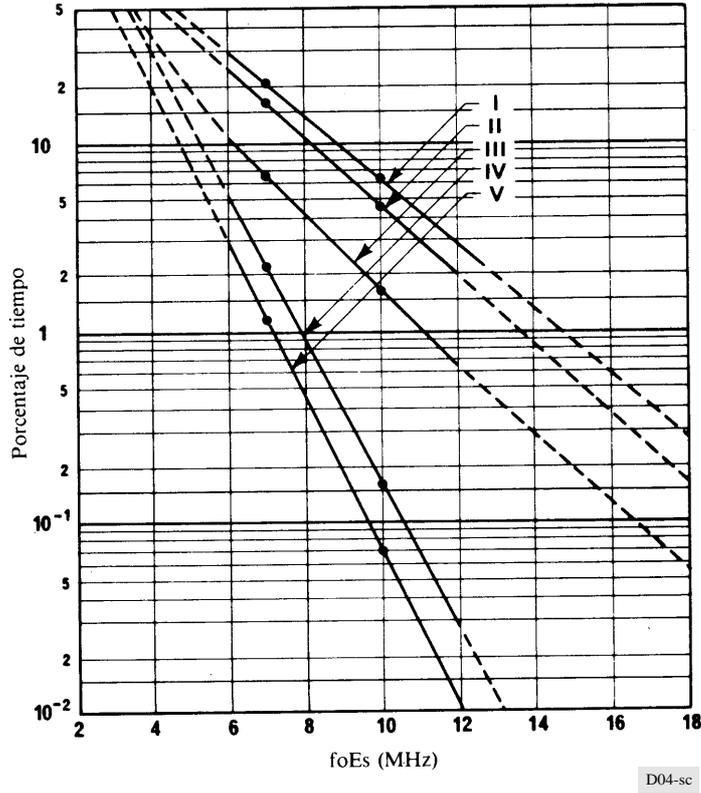


FIGURA 4 – Valores de foEs igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados, en la región C

- Región C: Asia (Lejano Oriente)
- I: Mayo hasta agosto (08h00-23h00)
  - II: Mayo hasta agosto
  - III: Promedio anual
  - IV: Marzo, abril, septiembre y octubre
  - V: Noviembre hasta febrero

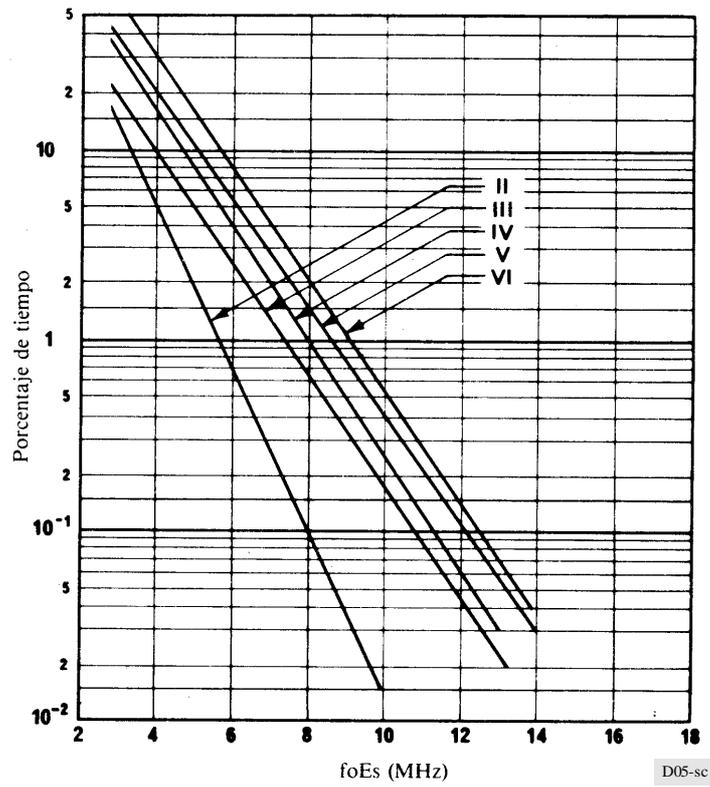


FIGURA 5 – Valores de  $f_oE_s$  igualados o superados durante los porcentajes de tiempo indicados para la región D

- Región D: América del Sur
- II: Mayo hasta agosto
  - III: Promedio anual
  - IV: Marzo, abril, septiembre y octubre
  - V: Noviembre hasta febrero
  - VI: Noviembre hasta febrero (08h00-23h00)

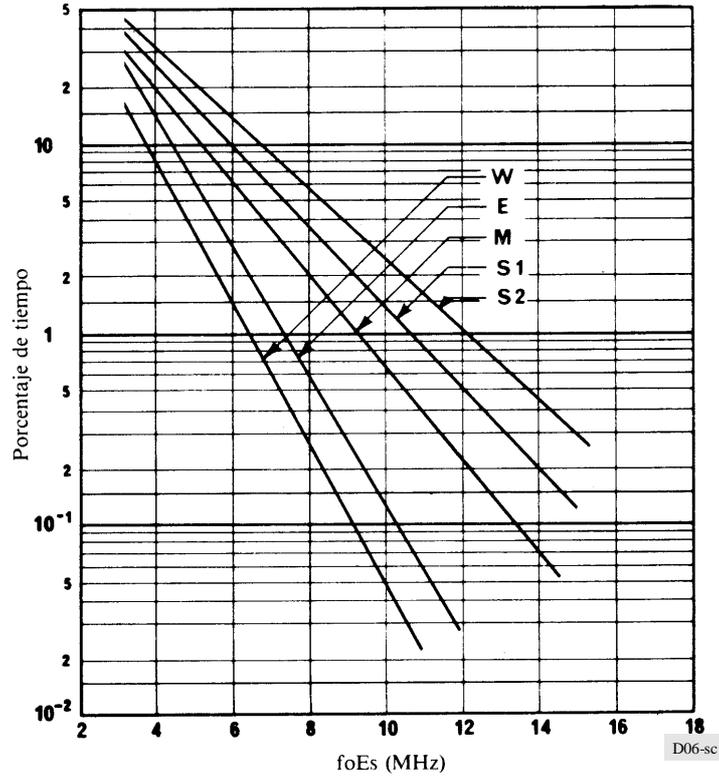


FIGURA 6 – Valores de foEs igualados o superados durante los porcentajes de tiempo indicados

Valor medio para las regiones A, B, C y D

S1: Verano

S2: Verano (08h00-23h00)

M: Media anual

E: Equinoccio

W: Invierno

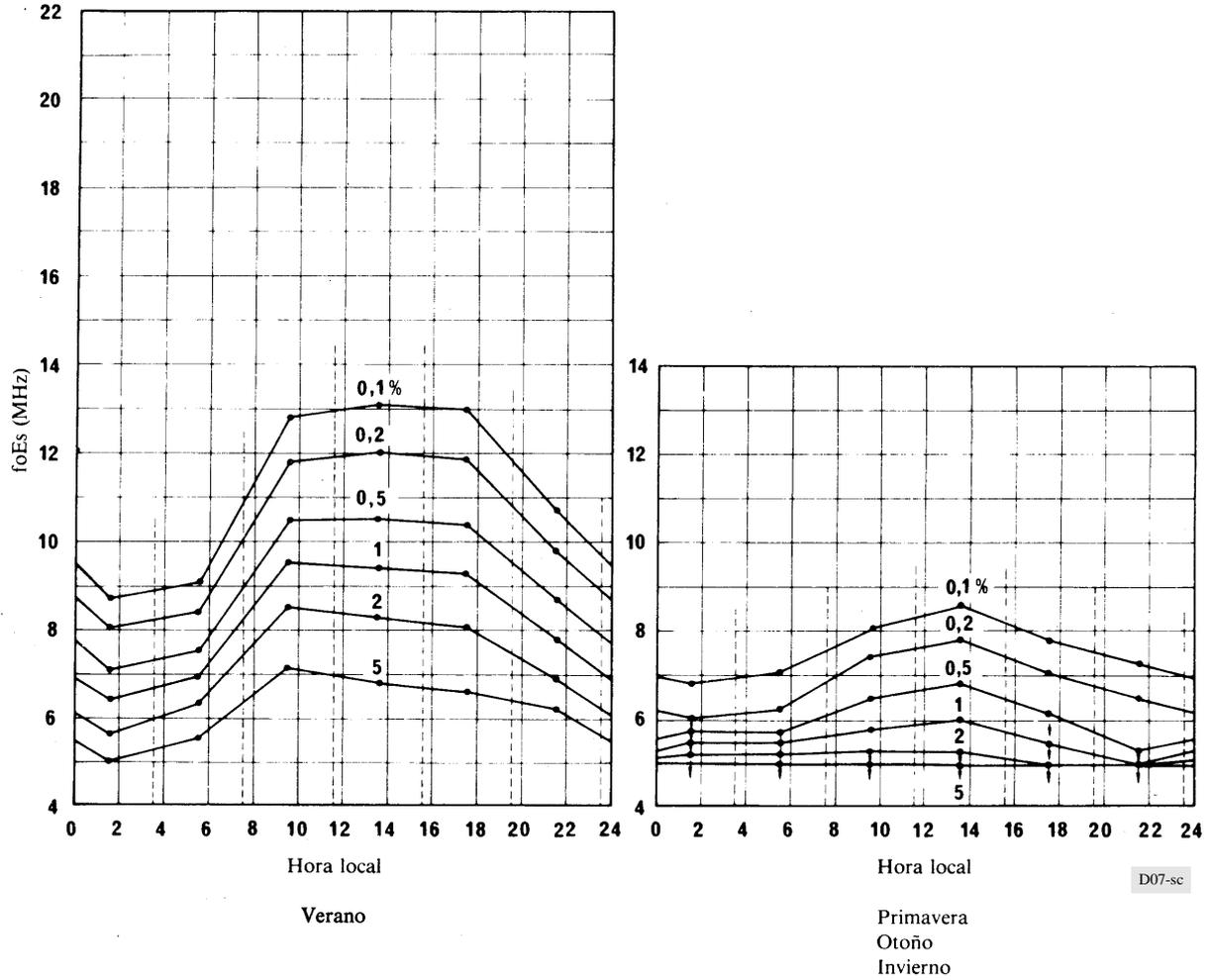


FIGURA 7 — Valores de foEs igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados como parámetro en la curva, durante periodos de cuatro horas (identificados por líneas verticales de trazos discontinuos), para la región A (Europa y África del Norte)

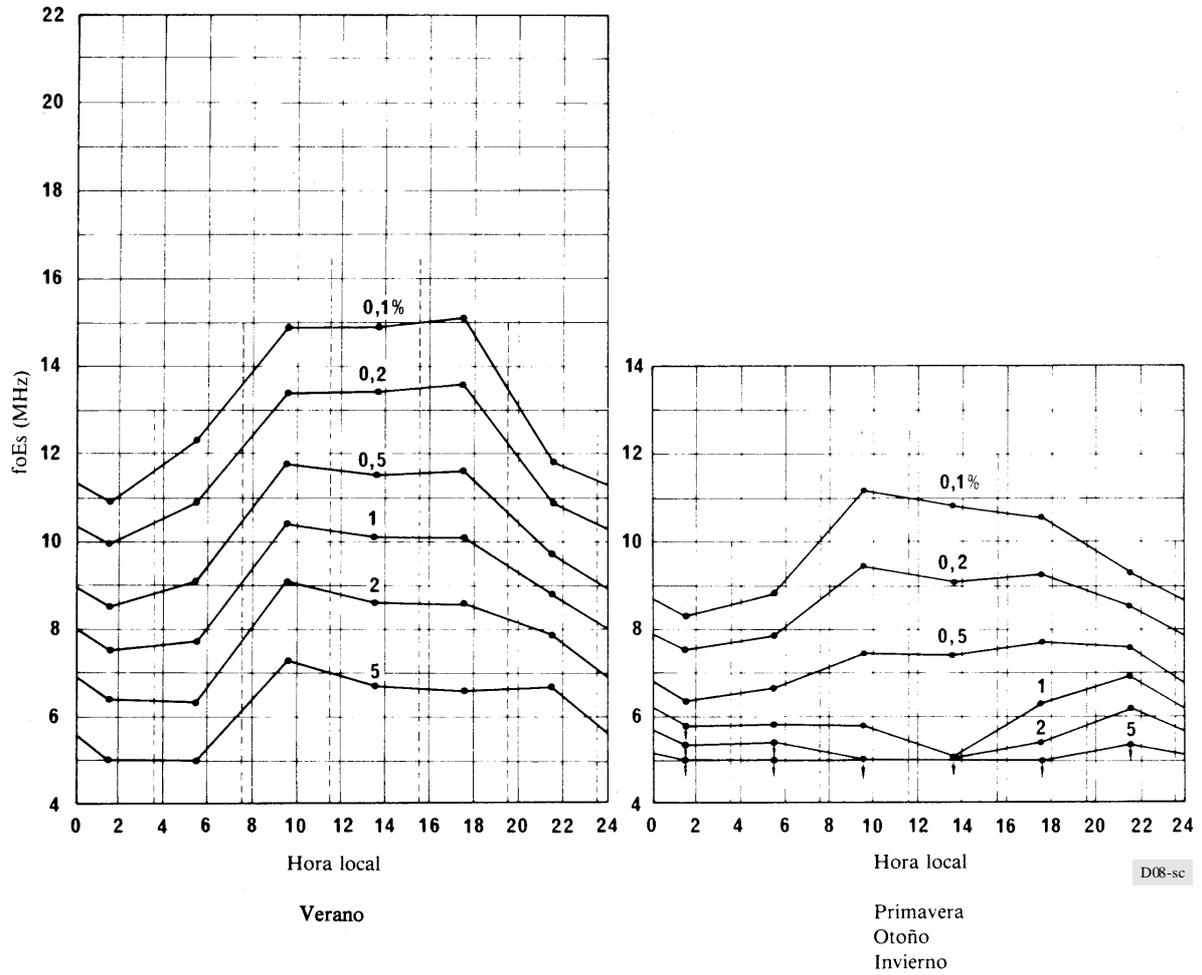


FIGURA 8 – Valores de foEs igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados como parámetro en la curva, durante periodos de cuatro horas (identificados por líneas verticales de trazos discontinuos), para la región B (América del Norte)

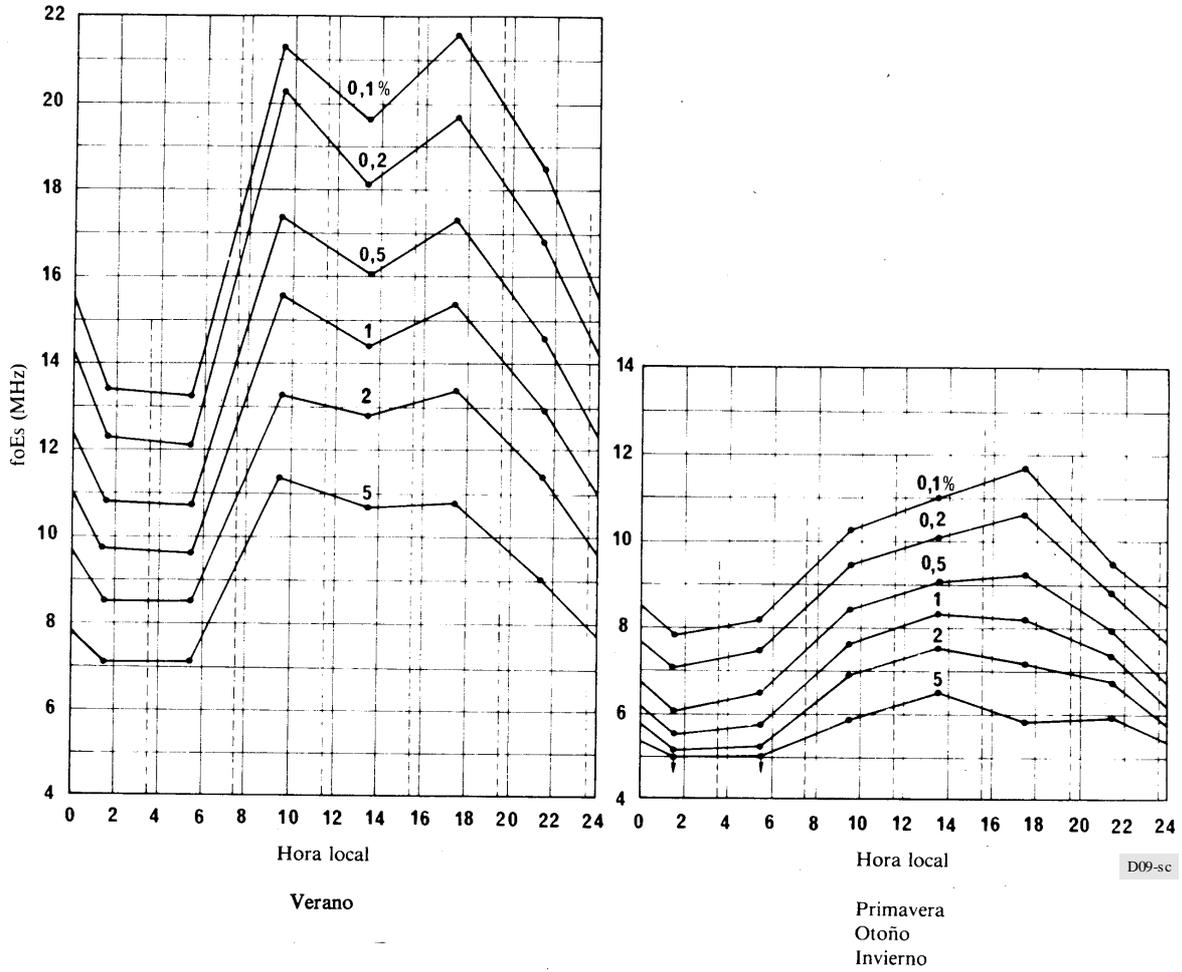


FIGURA 9 – Valores de foEs igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados como parámetro en la curva, durante periodos de cuatro horas (identificados por líneas verticales de trazos discontinuos), para la región C (Asia (Lejano Oriente))

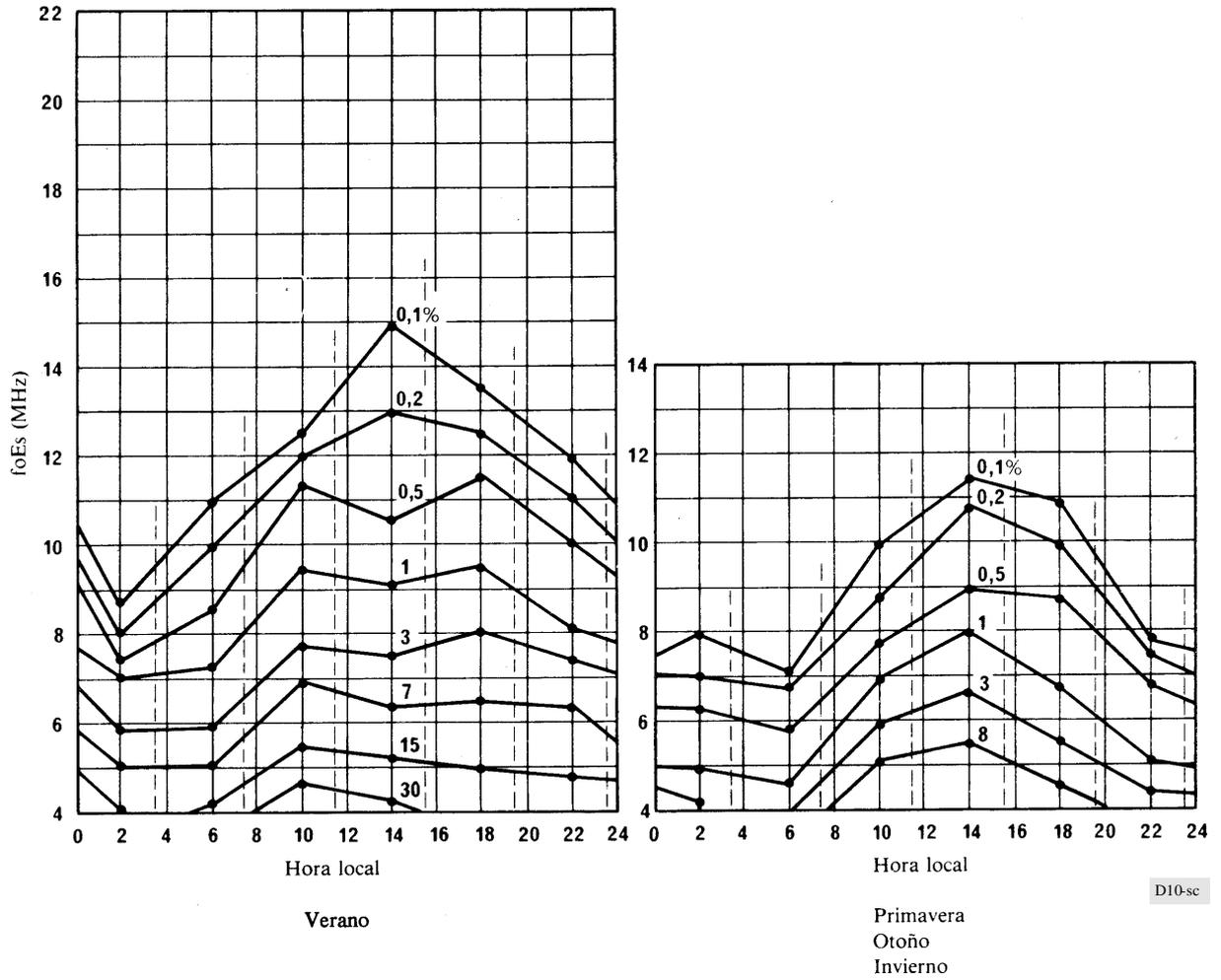


FIGURA 10 – Valores de foEs igualados o superados durante el porcentaje de tiempo indicado como parámetro en la curva, durante periodos de cuatro horas (indicados por líneas verticales de puntos) para la región D (América del Sur)

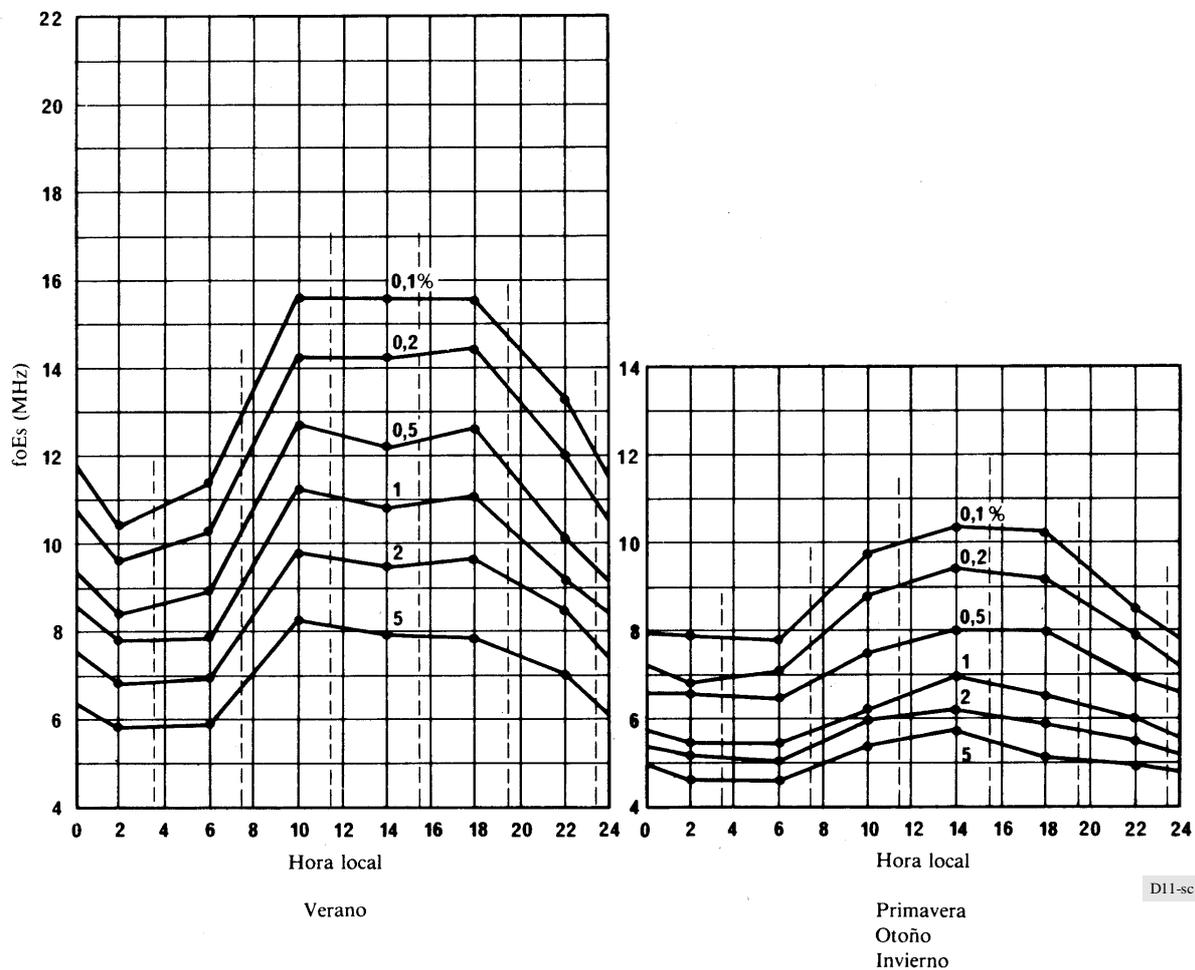


FIGURA 11 – Valores medios de foEs igualados o superados durante el porcentaje de tiempo indicado como parámetro sobre la curva durante periodos de cuatro horas (indicados por líneas verticales de puntos) para las regiones A, B, C y D

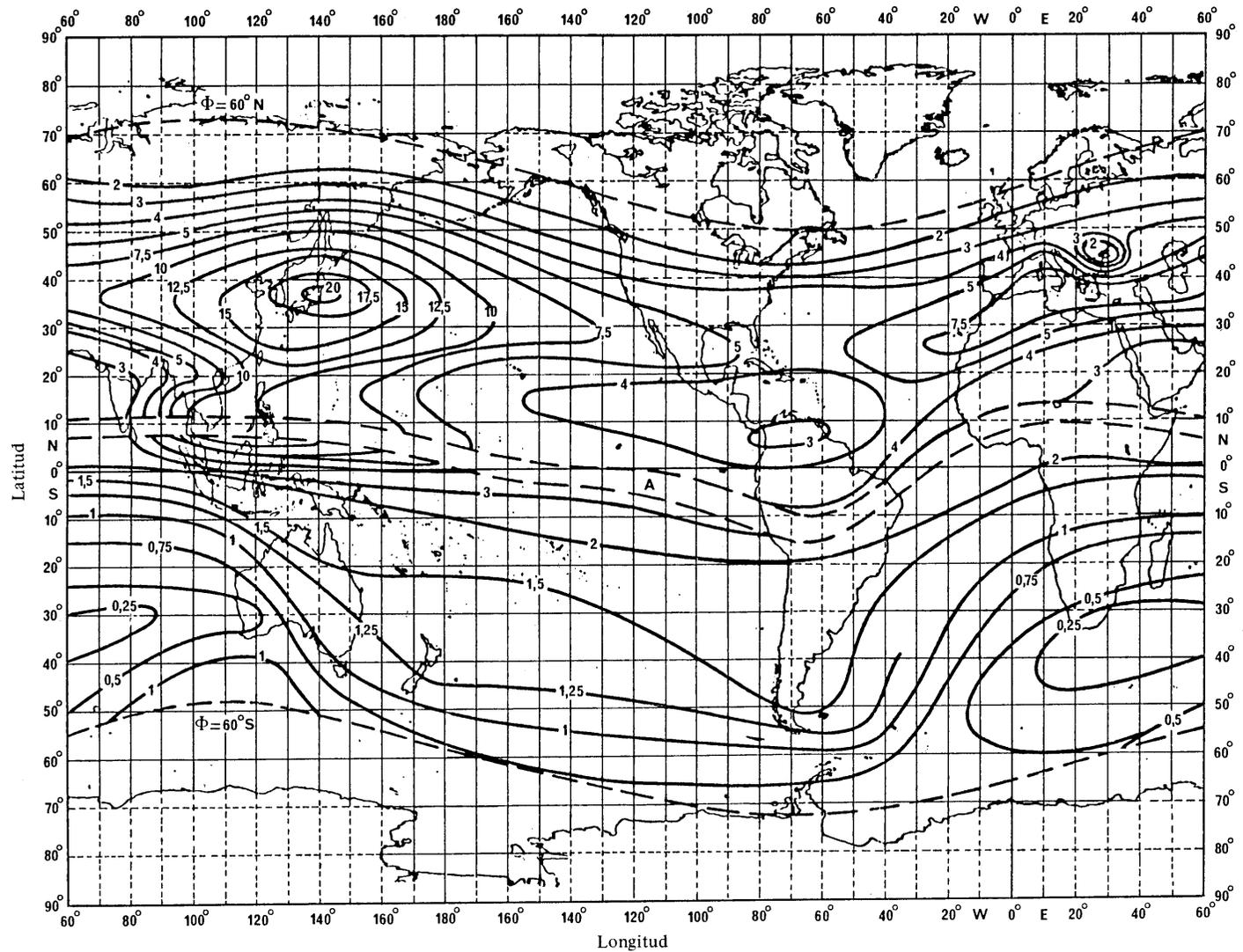


FIGURA 12 – Porcentajes del tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la capa E esporádica (foEs) es igual o superior a 7 MHz con incidencia vertical, en las zonas de latitud media durante los meses de mayo, junio, julio y agosto

D12-sc

A: Región de latitud baja (véase el § 4)

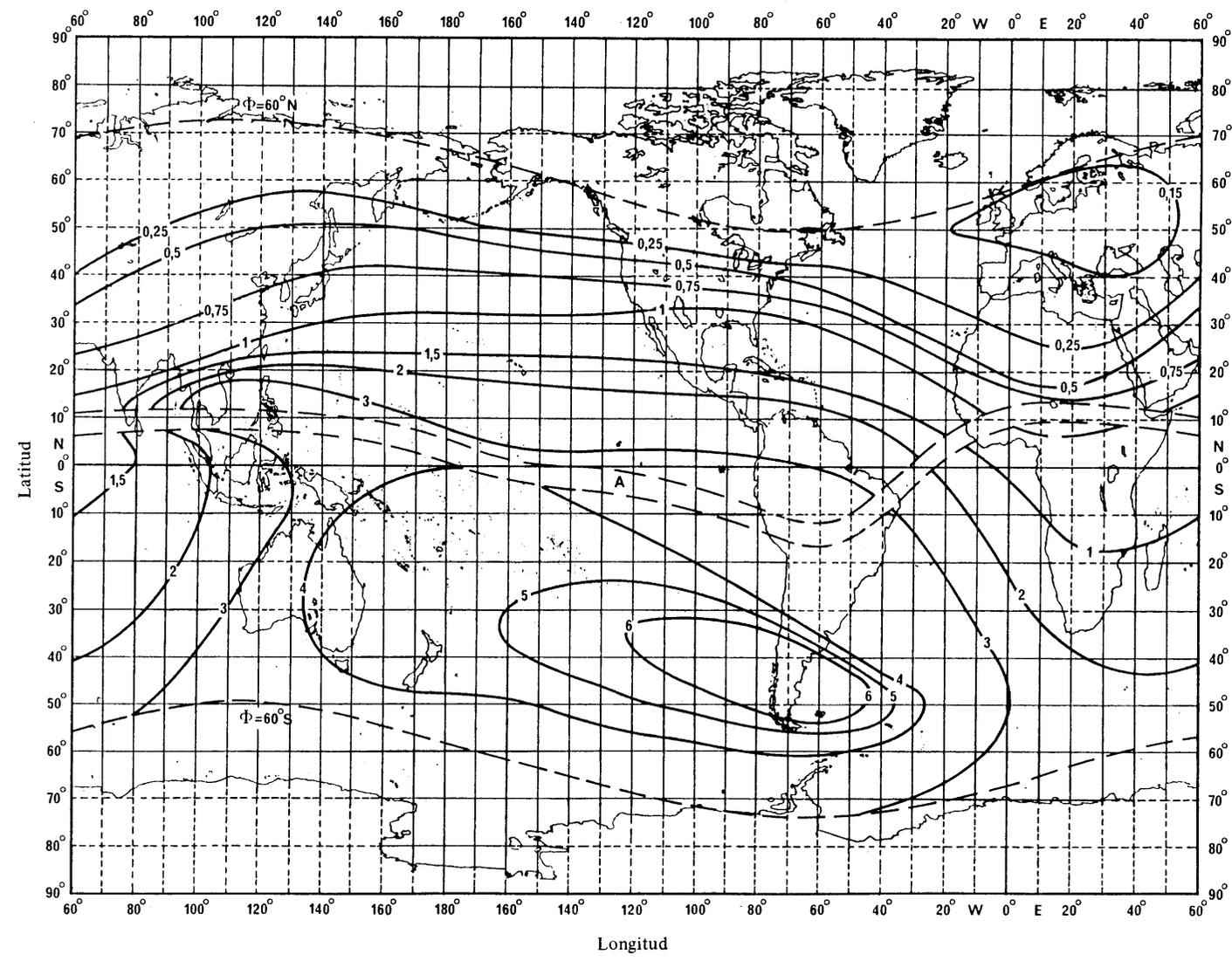


FIGURA 13 – Porcentajes del tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la capa E esporádica (foEs) es igual o superior a 7 MHz con incidencia vertical, en las zonas de latitud media durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero

D13-sc

A: Región de latitud baja (véase el § 4)

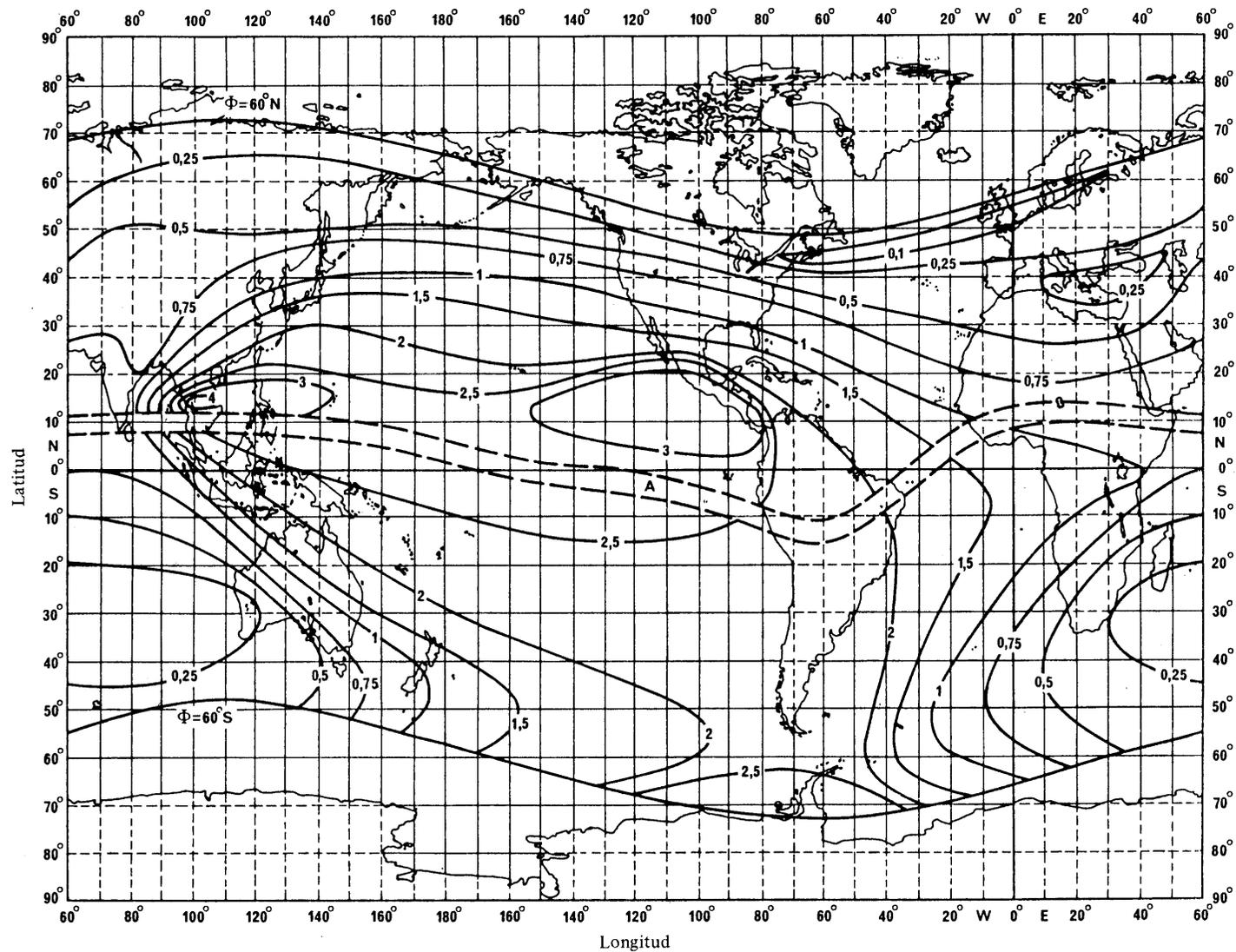


FIGURA 14 – Porcentajes de tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la capa E esporádica (foEs) es igual o superior a 7 MHz con incidencia vertical, en las zonas de latitud media durante los meses de marzo, abril, septiembre y octubre

D14-sc

A: Región de latitud baja (véase el § 4)

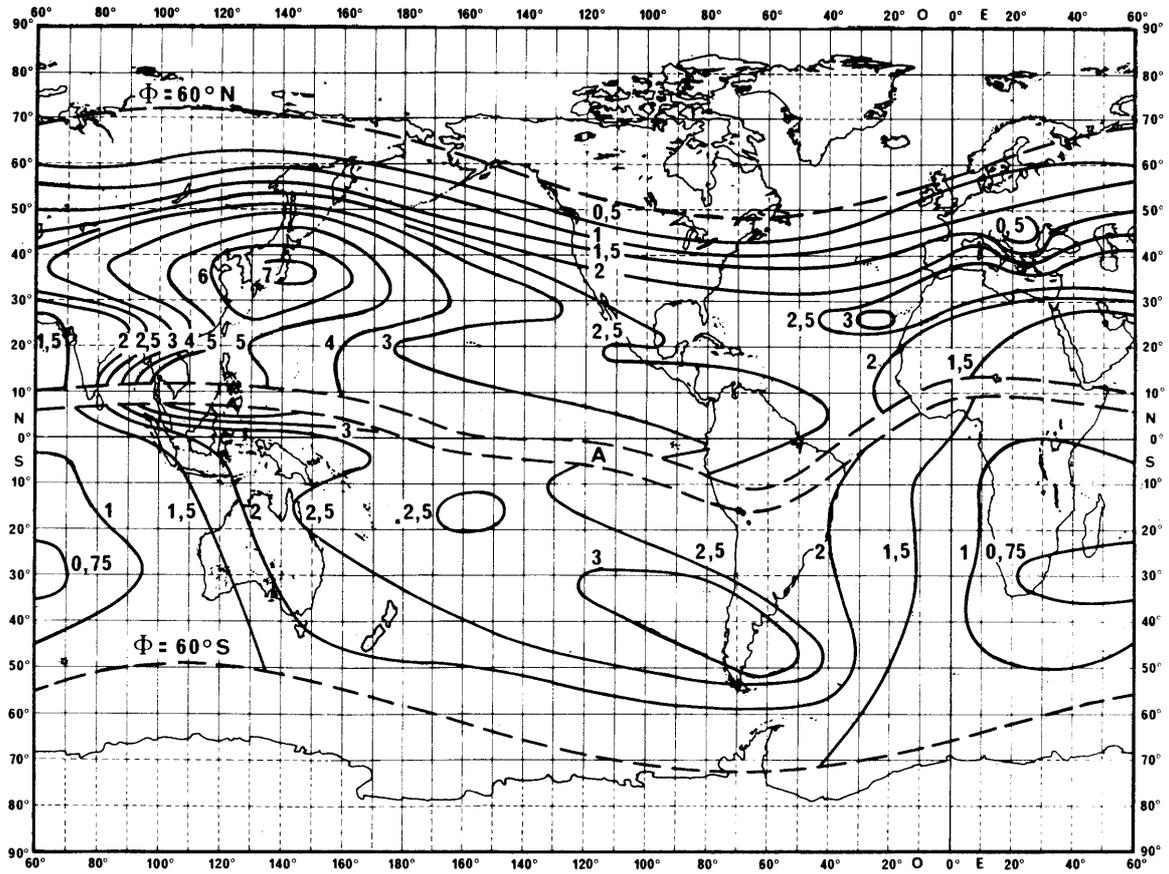


FIGURA 15 — Porcentajes de tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la capa E esporádica ( $f_oE_s$ ) es igual o superior a 7 MHz, con incidencia vertical, en las zonas de latitud media durante los doce meses del año

A: Región de latitud baja (véase el § 4)

D15-sc

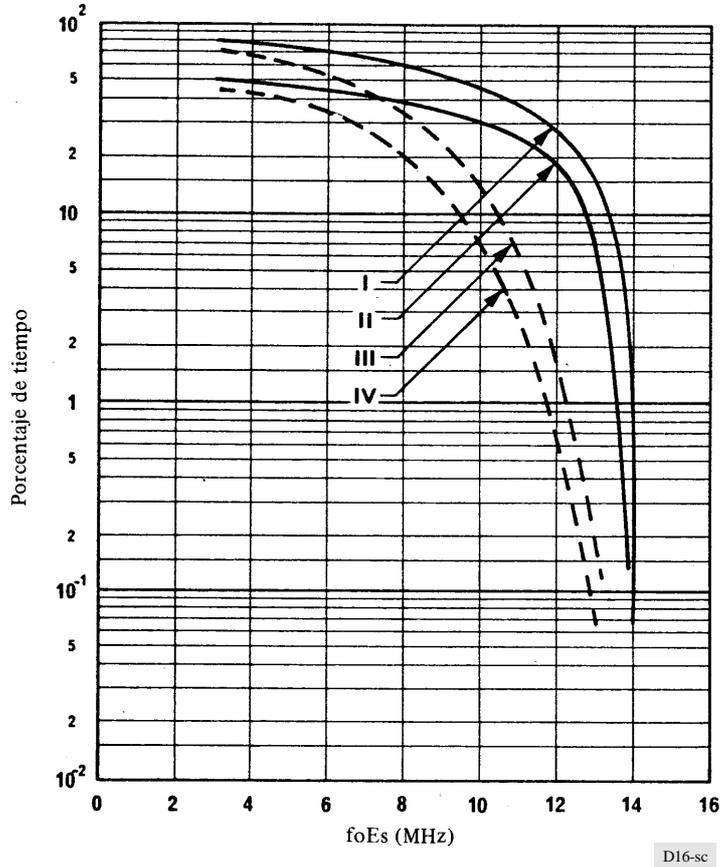


FIGURA 16 – Valores de foEs alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado

Región E: Asia Ecuatorial ( $\pm 6^\circ$  de latitud de inclinación)

- I: Años de actividad solar máxima (0600-1800 h).  
Valor medio anual
- II: Años de actividad solar máxima.  
Valor medio anual
- III: Años de actividad solar mediana y baja (0600-1800 h).  
Valor medio anual
- IV: Años de actividad solar mediana y baja.  
Valor medio anual

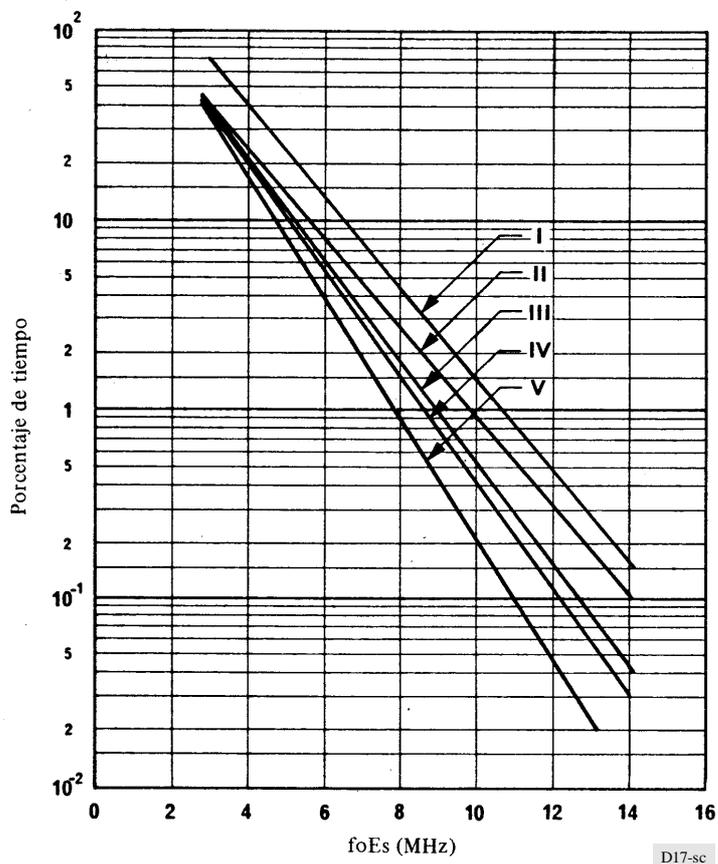


FIGURA 17 – Valores de foEs alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado

Región E: Asia Subecuatorial (entre  $\pm 6^\circ$  y  $\pm 20^\circ$  de latitud de inclinación)

I: Verano (0600-1800 h)

II: Verano

III: Valor medio anual

IV: Equinoccio

V: Invierno

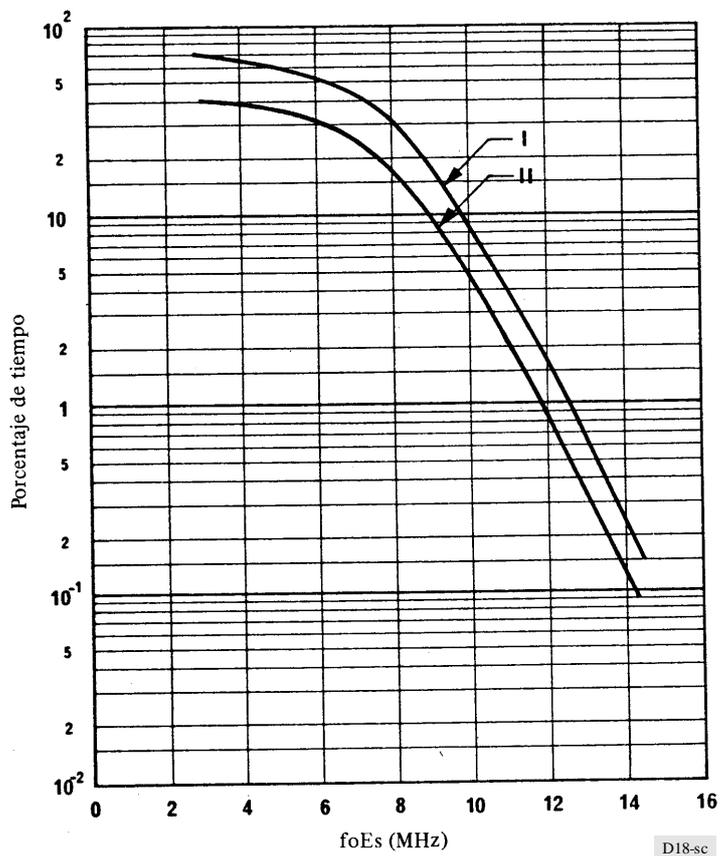


FIGURA 18 – Valores de foEs alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado

Región F: África Ecuatorial ( $\pm 6^\circ$  de latitud de inclinación)  
 I: Valor medio anual (0600-1800 h)  
 II: Valor medio anual

Nota. – Las diferencias entre estaciones son menores que el error medio anual. Asimismo, no hay un cambio significativo con la actividad solar.

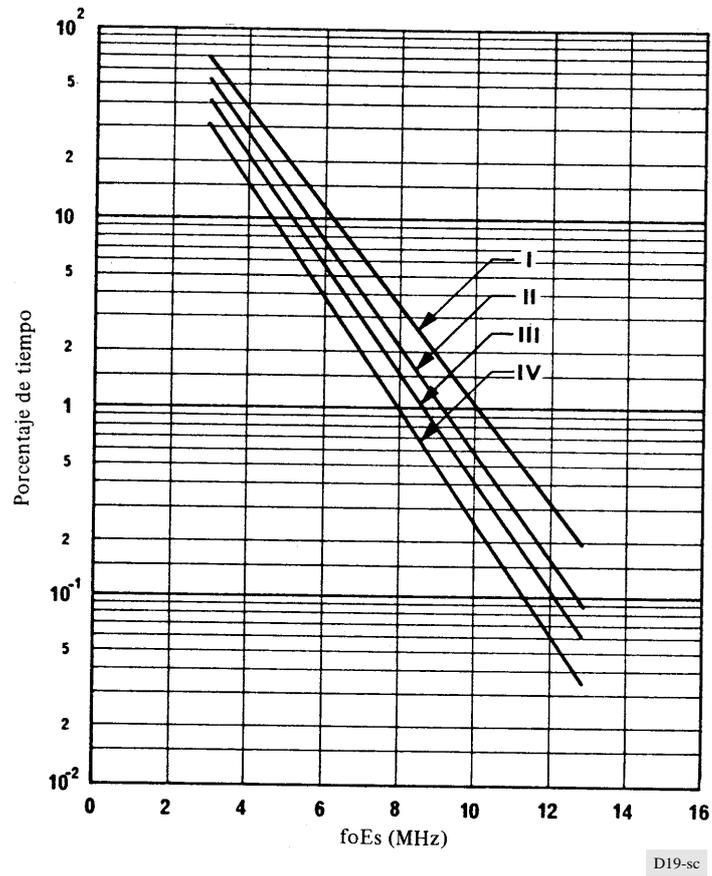


FIGURA 19 – Valores de  $f_oE_s$  alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado

Región F: África Subecuatorial (entre  $\pm 6^\circ$  y  $\pm 20^\circ$  de latitud de inclinación)

I: Verano (0600-1800 h)

II: Verano

III: Valor medio anual y equinoccio

IV: Invierno

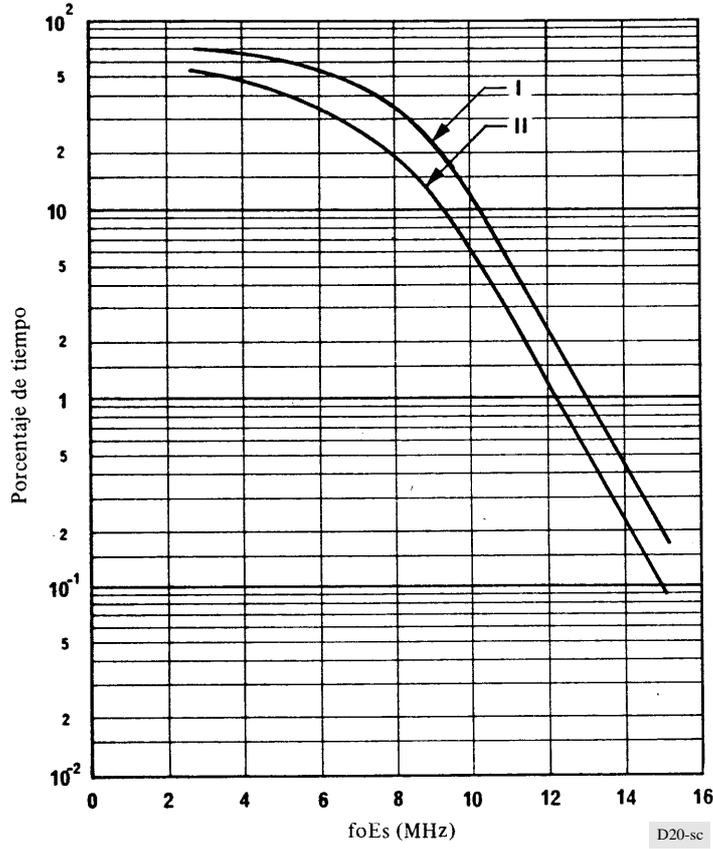


FIGURA 20 – Valores de foEs alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado

Región G: América Ecuatorial ( $\pm 6^\circ$  de latitud de inclinación)

I: Valor medio anual (0600-1800 h)

II: Valor medio anual

Nota. – Las diferencias entre estaciones son menores que el error medio anual.

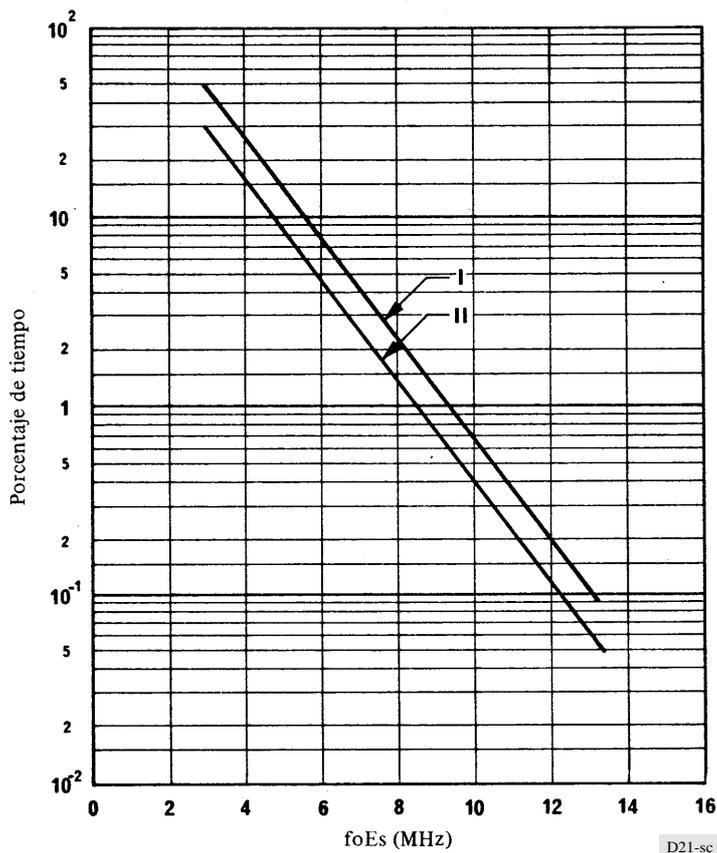


FIGURA 21 – Valores de foEs alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado

Región G: América Subecuatorial (entre  $\pm 6^\circ$  y  $\pm 20^\circ$  de latitud de inclinación)  
 I: Valor medio anual (0600-1800 h)  
 II: Valor medio anual

Nota. – Las diferencias entre estaciones son menores que el error medio anual.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GIRÁLDEZ, A. E. [1984] Long distance abnormal VHF propagation. *Contributions on Radiopropagation and Electromagnetic Compatibility 1982-1984*. SECYT, Secretaría de Ciencia y Técnica, Buenos Aires, Argentina.
- MIYA, K. y SASAKI, T. [1966] Characteristics of ionospheric Es propagation and calculation of Es signal strength. *Radio Sci.*, Vol. 1, 99-108.
- MIYA, K., SHIMIZU, K. y KOJIMA, T. [1978] Oblique-incidence sporadic-E propagation and its ionospheric attenuation. *Radio Sci.*, Vol. 13, 3, 559-570.
- SMITH, E. K. [1976] World maps of sporadic-E (foEs > 7 MHz) for use in prediction of VHF oblique-incidence propagation. OT Special Publication 76-10, National Technical Information Service (NTIS), Springfield, Va. 22161, Estados Unidos de América.
- SMITH, E. K. [1978] Temperature zone sporadic E maps (foEs > 7 MHz). *Radio Sci.*, Vol. 13, 3, 571-575.
- UER [1976] Ionospheric propagation in Europe in VHF television band I. EBU Technical Document TECH 3214, Vol. I y II. Technical Center, 32, Avenue Albert Lancaster, 1180-Bruselas, Bélgica.

Documentos del CCIR

[1978-82]: 6/63 (URSS).

#### BIBLIOGRAFÍA

- MORO, E. S. M. [1984] Anomalous VHF propagations. *Contributions on Radiopropagation and Electromagnetic Compatibility 1982-1984* (en inglés). SECYT, Secretaría de Ciencia y Técnica, Buenos Aires, Argentina.