

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.534-5
(02/2012)

**Método para calcular la intensidad
de campo en presencia de
la capa E esporádica**

Serie P

Propagación de las ondas radioeléctricas



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2012

© UIT 2012

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R P.534-5

Método para calcular la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica

(Cuestión UIT-R 221/3)

(1978-1982-1986-1990-1999-2012)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

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 1 a la presente Recomendación, ha resultado práctico y fiable;
- c) que no existe ningún otro método práctico,

recomienda

1 Que se adopte el método reproducido en el Anexo 1 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 1.

ANEXO 1**Propagación 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 4 000 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 UIT-R P.533.) Los datos proporcionados por esta Recomendación se restringen a latitudes geomagnéticas comprendidas entre $\pm 60^\circ$.

En la región ecuatorial algunos trayectos de propagación ionosférica a distancias medias (500 a 2 000 km) indican claramente una propagación Es que debe distinguirse de los efectos mucho más importantes de la «propagación transecuatorial (PTE)» en la zona. 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 Es se predice estableciendo una correspondencia estadística entre un valor de atenuación ionosférica y el valor de foEs para una determinada tasa de ocurrencia;
- la atenuación ionosférica de la señal Es se representa mediante una función que asocia la relación entre la frecuencia de la señal f y foEs, 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 Es se adjuntan algunas curvas de probabilidad y algunos mapas mundiales de foEs.

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

La intensidad de campo Es o la tensión a la entrada de receptor puede expresarse como sigue:

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

$$E_0 = 104,8 - 20 \log l \quad \text{dB} \quad (1a)$$

$$V = V_0 + P + G_t + G_r - L_t - L_r - \Gamma \quad (2)$$

$$V_0 = 133 - 20 \log l - 20 \log f \quad (2a)$$

donde:

- E : intensidad de campo prevista (dB(μ V/m))
- E_0 : valor teórico de la intensidad de campo correspondiente a la ley de la inversa de la distancia (dB(μ V/m)), en el caso de una potencia radiada de 1 kW, con una antena transmisora isótropa
- V : tensión media desarrollada a través de los terminales a la entrada del receptor (dB(μ V))
- V_0 : valor teórico de la tensión a la entrada del receptor correspondiente a la ley de la inversa de la distancia, en el caso de una potencia radiada de 1 kW, con una antena receptora y una antena transmisora isótropa, adaptadas a un alimentador de 50 Ω para una frecuencia de señal de f (MHz)
- P : potencia del transmisor (dB(1 kW))
- G_t : ganancia de la antena transmisora respecto a la antena isótropa (dB)
- G_r : ganancia de la antena receptora respecto a la antena isótropa (dB)
- L_t : pérdidas, incluidas la pérdida del alimentador y la pérdidas por desadaptación de la antena transmisora (dB)
- L_r : pérdidas, incluidas la pérdida del alimentador y la pérdida por desadaptación de la antena receptora (dB)

Γ : atenuación ionosférica (dB) representada con línea de trazo discontinuo en la Fig. 1

l : longitud del trayecto de transmisión (km) (véase la ecuación (5))

f : frecuencia de la señal (MHz).

Para el cálculo por computador, y en caso de propagación Γ por un solo salto, $\Gamma_{(1\ salto)}(d)$ viene dada aproximadamente por:

$$\Gamma_{(1\ salto)}(d) = \left\{ \frac{40}{1 + \left(\frac{d}{130}\right) + \left(\frac{d}{250}\right)^2} + 0,2 \left(\frac{d}{2\ 600}\right)^2 \right\} \left(\frac{f}{foEs} \right)^2 + \exp \left(\frac{d - 1\ 660}{280} \right) \quad (3)$$

y para la propagación Γ de dos saltos, $\Gamma_{(2\ salto)}(d)$ viene dada aproximadamente por:

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

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

$$l = 2 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h) \cos(d/(2R_0)) \right\}^{1/2} \quad (5)$$

donde:

R_0 : radio efectivo de la Tierra, 8 500 km

h : altura de la capa Es, 120 km

d : distancia, medida en la superficie, entre las estaciones transmisora y receptora (km)

f : frecuencia de la señal (MHz)

foEs: frecuencia crítica (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 Γ se indican en la Fig. 1, donde se representan con líneas de trazo interrumpido. La ecuación (3) debe utilizarse exclusivamente para distancias inferiores a 2 600 km y valores de $f/foEs$ situados entre 1 y 8; así el error será inferior a 5 dB. La ecuación (4) sólo deberá utilizarse para distancias de 2 600 a 4 000 km y valores de $f/foEs$ situados entre 2 y 5,5; el error será así inferior a 10 dB.

Paso 3: Calcúlese el valor de $f/foEs$.

Paso 4: Léase mediante las curvas de trazo discontinuo de la Fig. 1, el valor de Γ correspondiente al valor dado de d y al valor de $f/foEs$ calculado, o, como valor aproximado, calcúlese Γ mediante las ecuaciones (3) y (4).

Paso 5: Calcúlese el valor (predicción) de E (o V) por la ecuación (1) (o (2)) utilizando los valores dados de P , G_t , G_r , L_t y L_r , así como el valor obtenido de Γ .

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 Recomendación UIT-R P.1240. 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. 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 (08h00-23h00) 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.

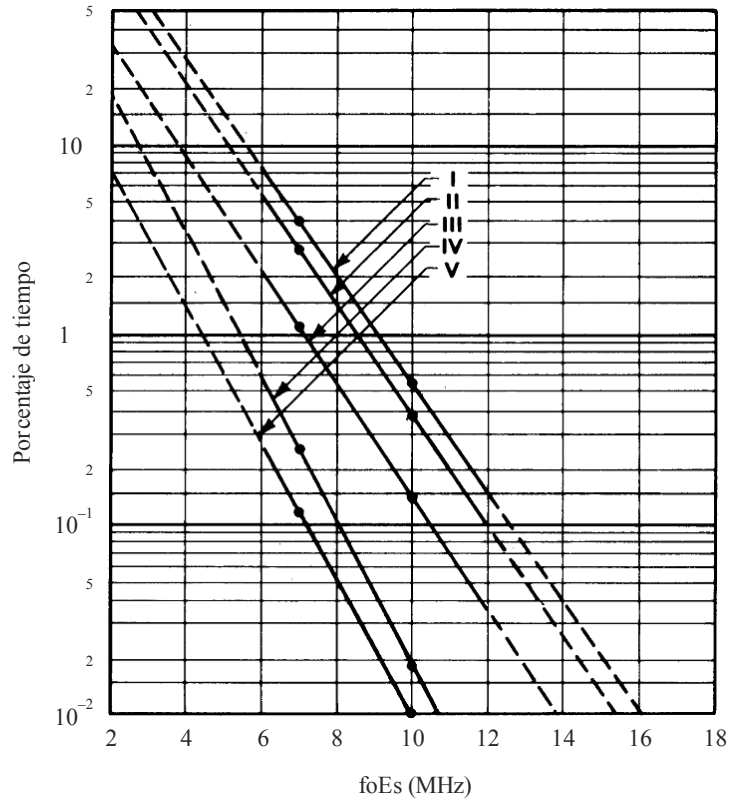
Las Figs. 7 a 11 muestran las variaciones a lo largo del día de la ocurrencia de foEs en periodos de cuatro horas, en las cuatro regiones antes mencionadas para los meses estivales y no estivales, de conformidad con sus características diferenciales. Se observa un mínimo bien definido de foEs poco después 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 fo Es igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados para la región A

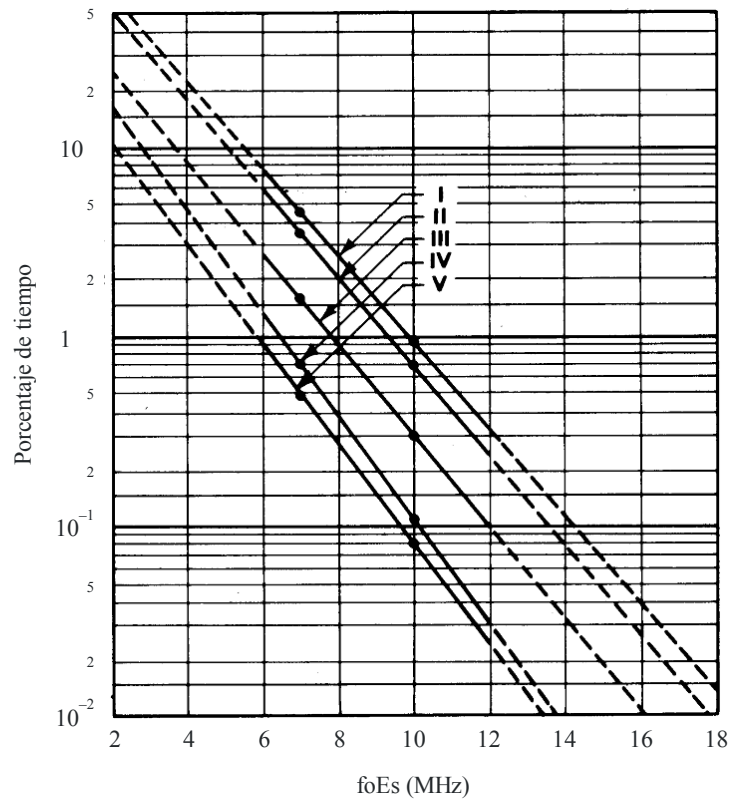


- Región A: Europa y África del Norte
 I: Mayo hasta agosto (08h00-23h00)
 II: Mayo hasta agosto
 III: Promedio anual
 IV: Marzo, abril, septiembre y octubre
 V: Noviembre hasta febrero

P.0534-02

FIGURA 3

Valores de foEs igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados para la región B

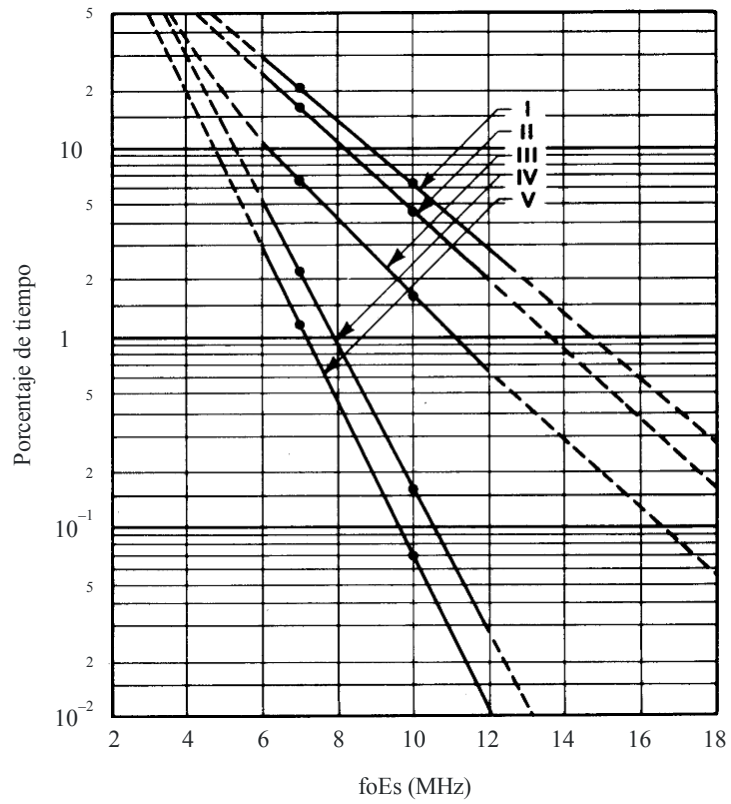


Región B: América del Norte
 I: Mayo hasta agosto (08h00-23h00)
 II: Mayo hasta agosto
 III: Promedio anual
 IV: Marzo, abril, septiembre y octubre
 V: Noviembre hasta febrero

P.0534-03

FIGURA 4

Valores de foEs igualados o excedidos durante los porcentajes de tiempo indicados para la región C

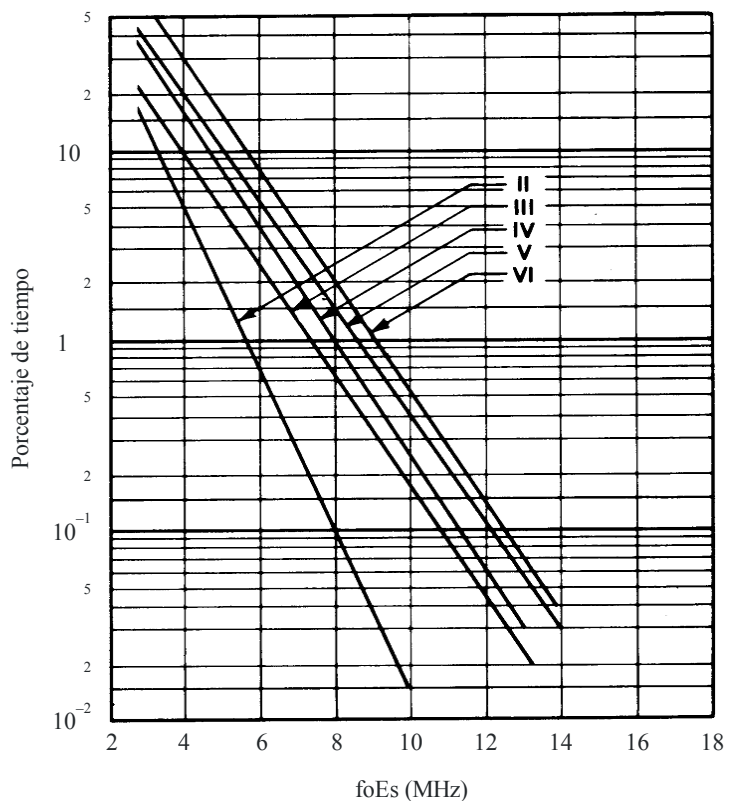


- Región C: Asia (Lejano Oriente)
 I: Mayo hasta agosto (08h00-23h00)
 II: Mayo hasta agosto
 III: Promedio anual
 IV: Marzo, abril, septiembre y octubre
 V: Noviembre hasta febrero

P.0534-04

FIGURA 5

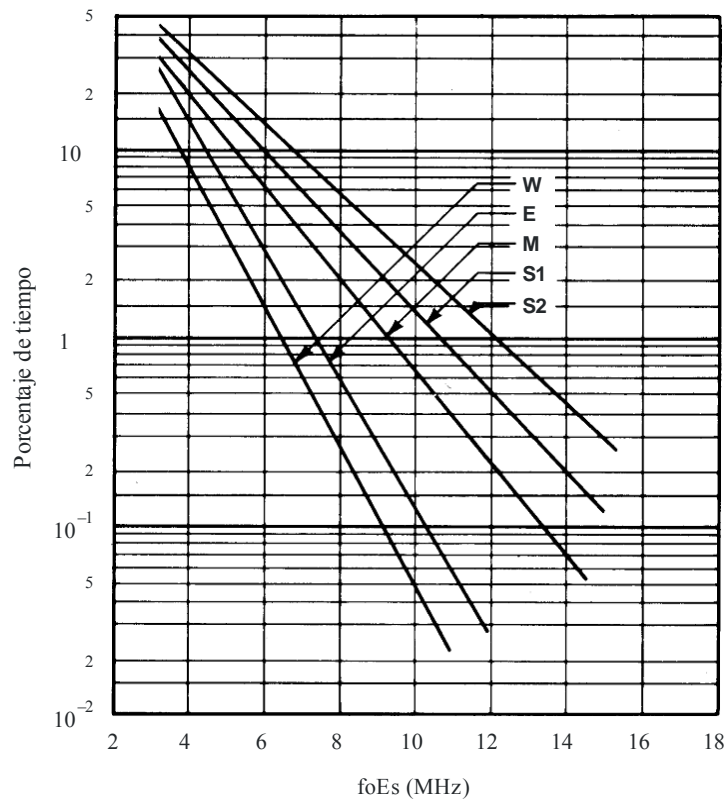
Valores de foEs igualados o superados durante los porcentajes de tiempo indicados para la región D



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

P0534-06

FIGURA 7

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

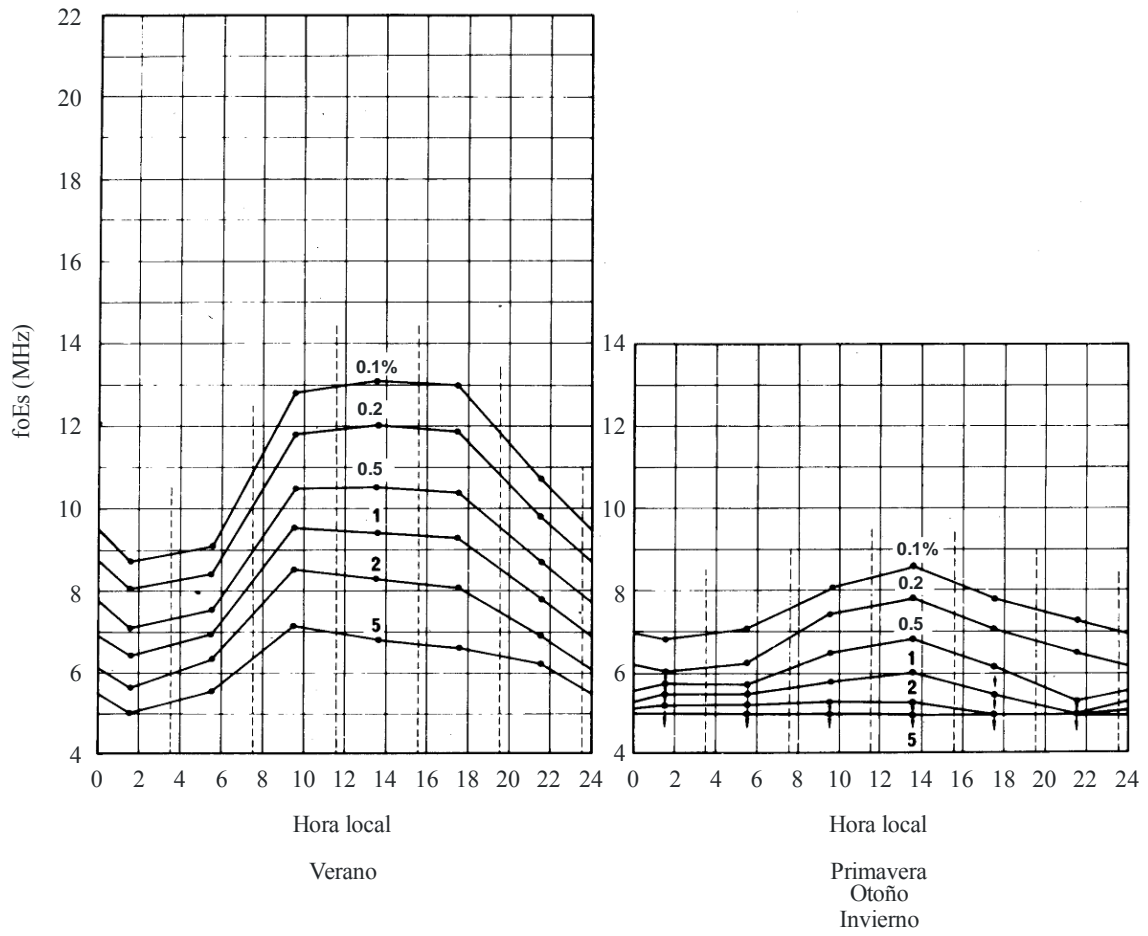


FIGURA 8

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

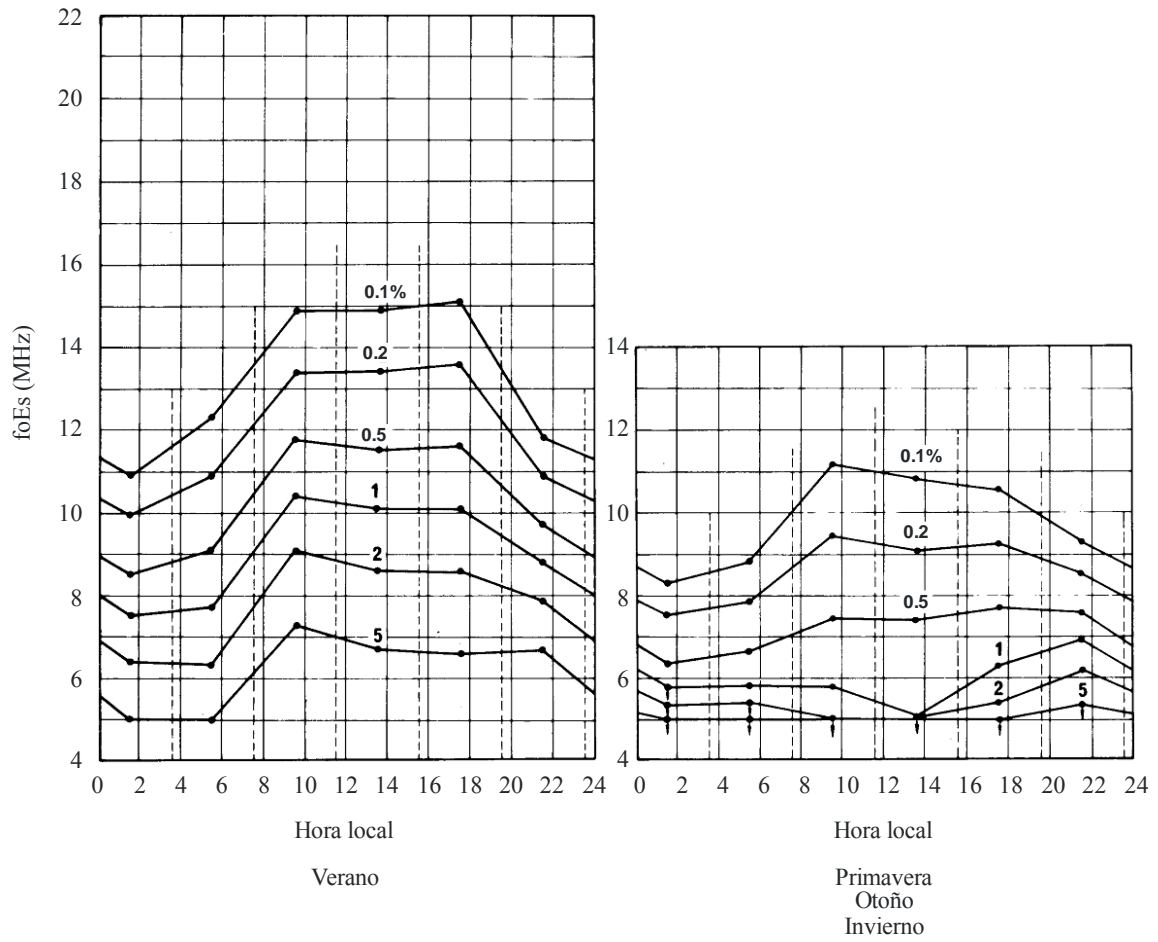


FIGURA 9

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

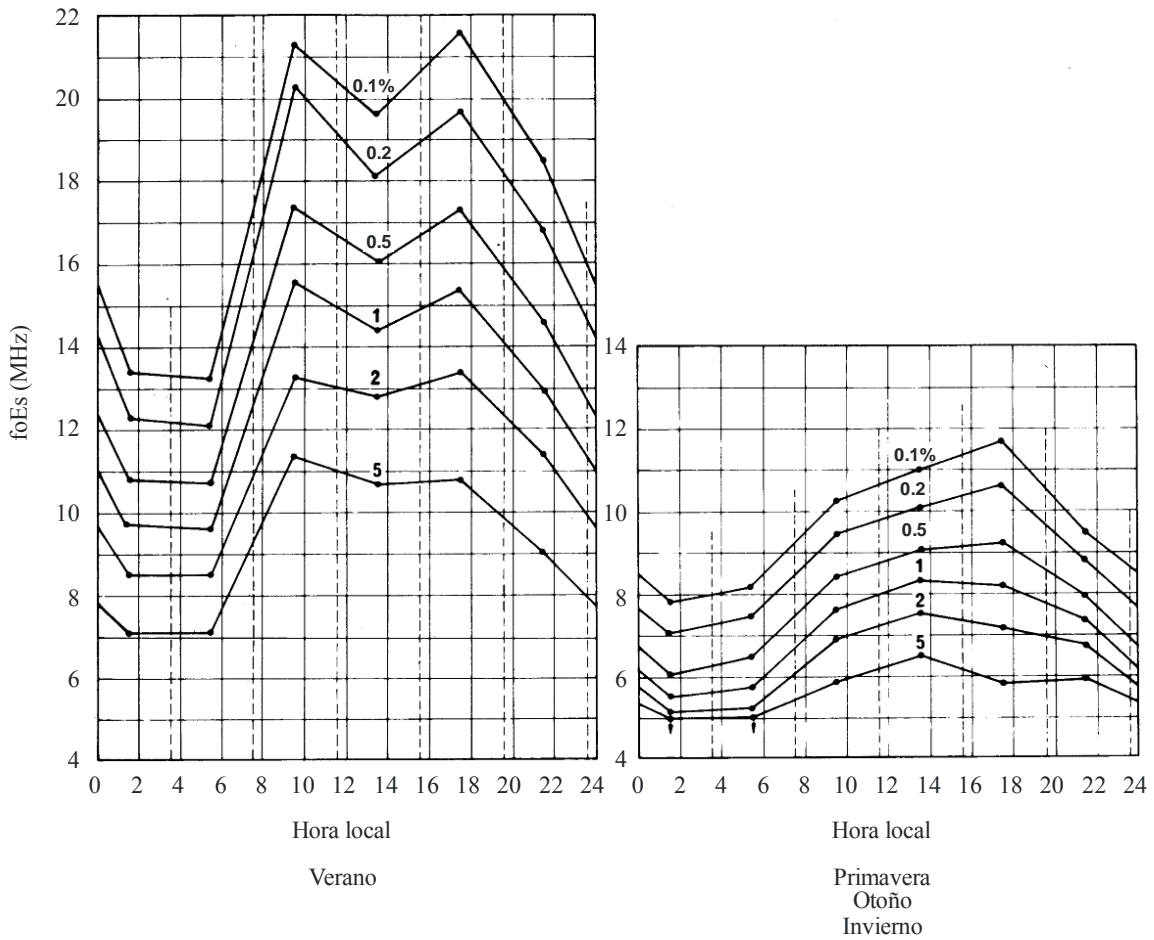


FIGURA 10

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

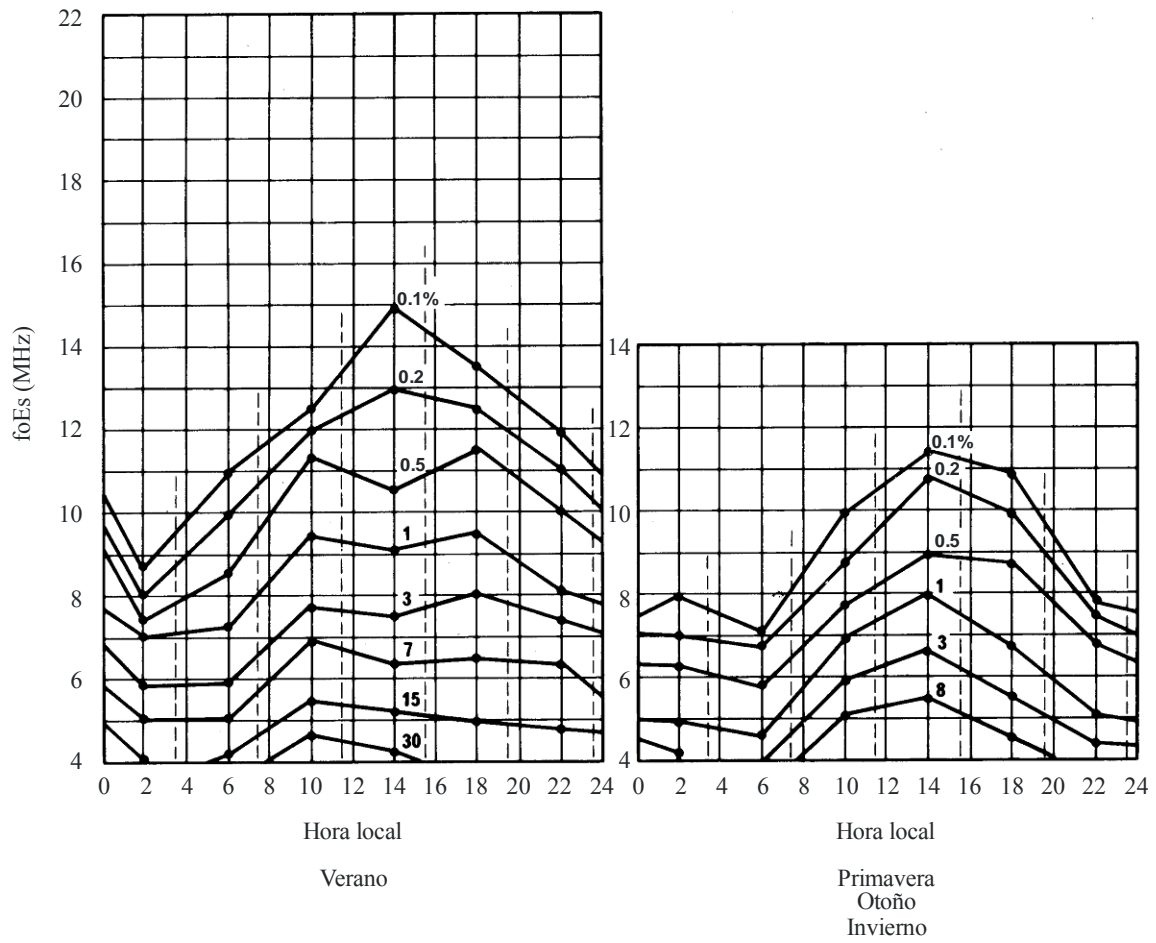


FIGURA 11

Valores de foEs igualados o superados durante el porcentaje de tiempo indicado como parámetro en la curva durante períodos de cuatro horas (identificados por líneas verticales de puntos), para las regiones A, B,C y D (América del Sur)

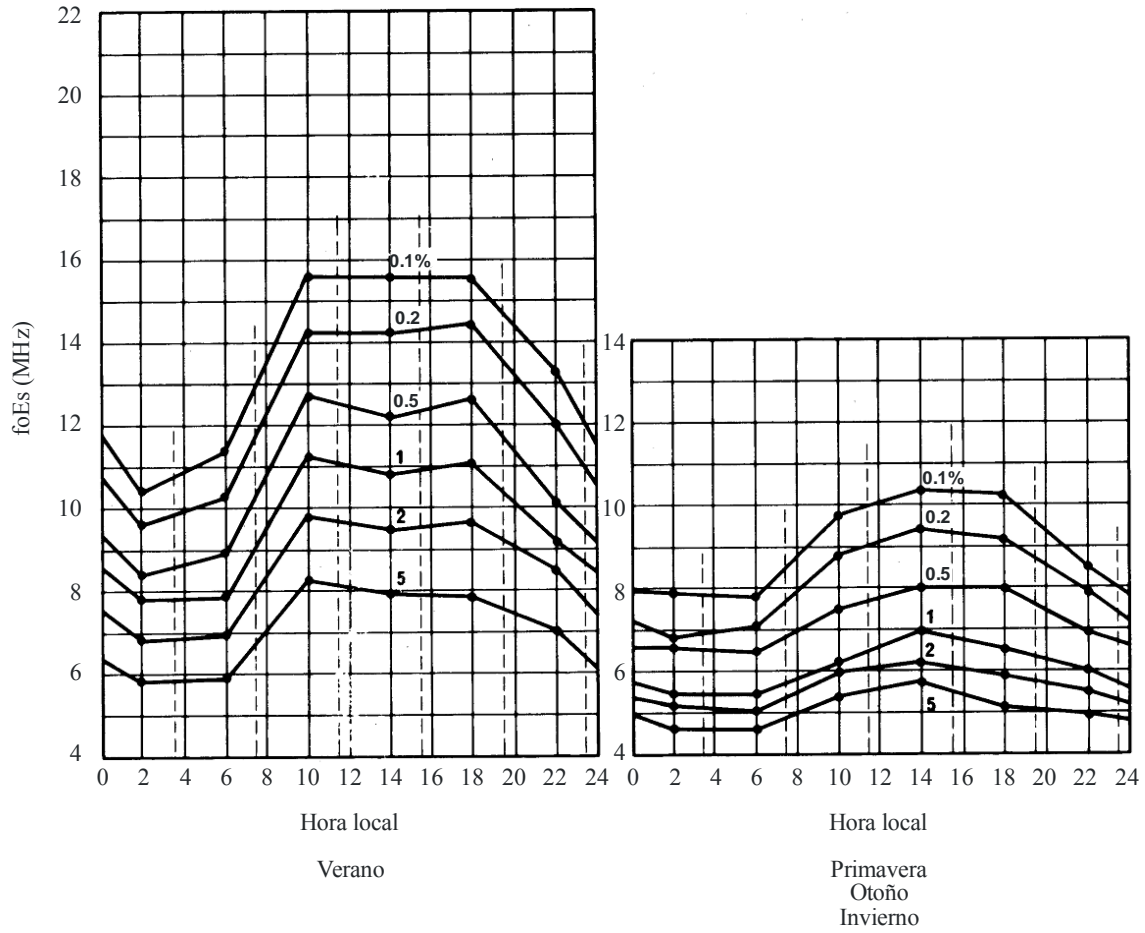
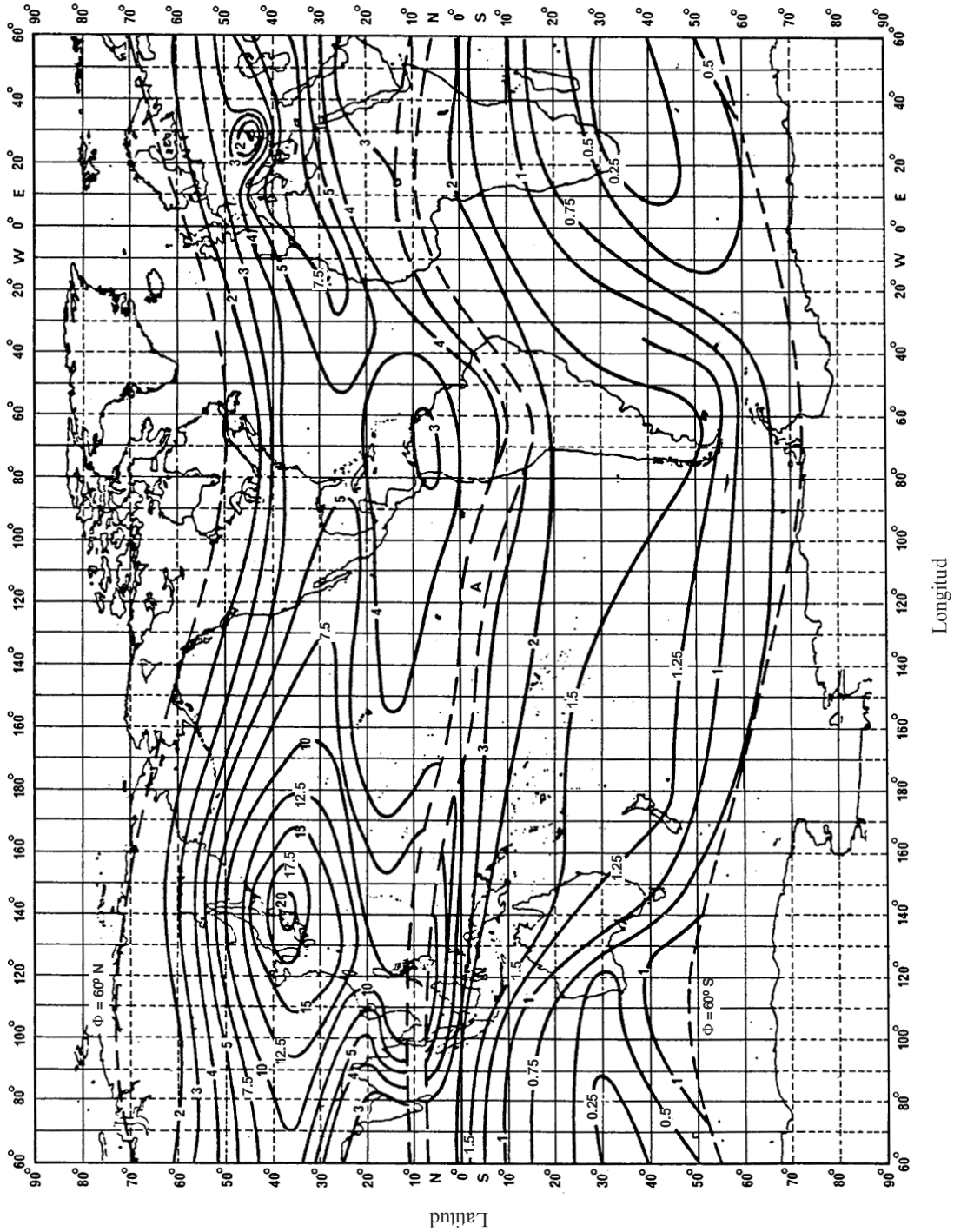


FIGURA 12

Porcentajes del tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la 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

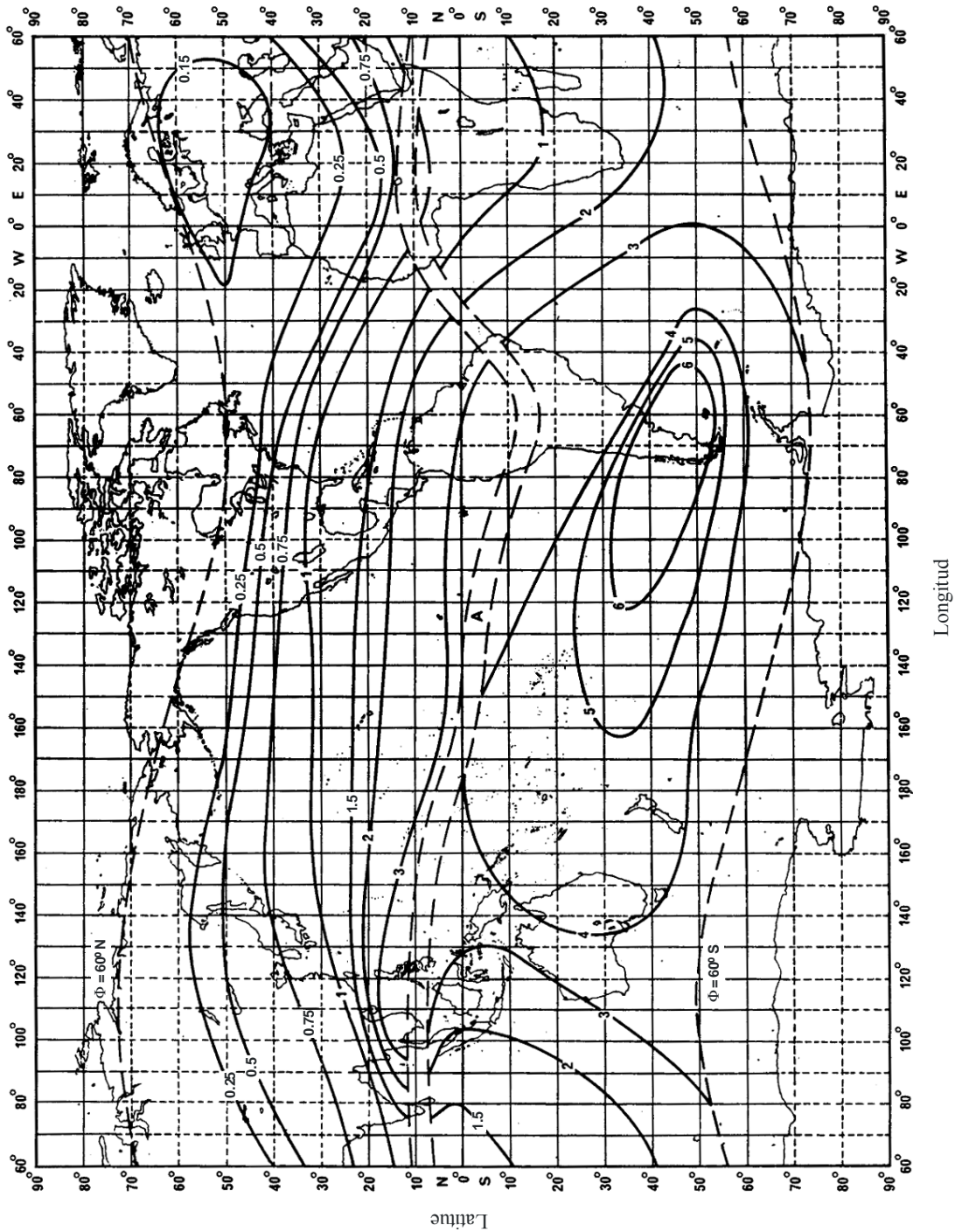


A: Región de latitud baja (véase el § 4)

P.0534-12

FIGURA 13

Porcentajes del tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la 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

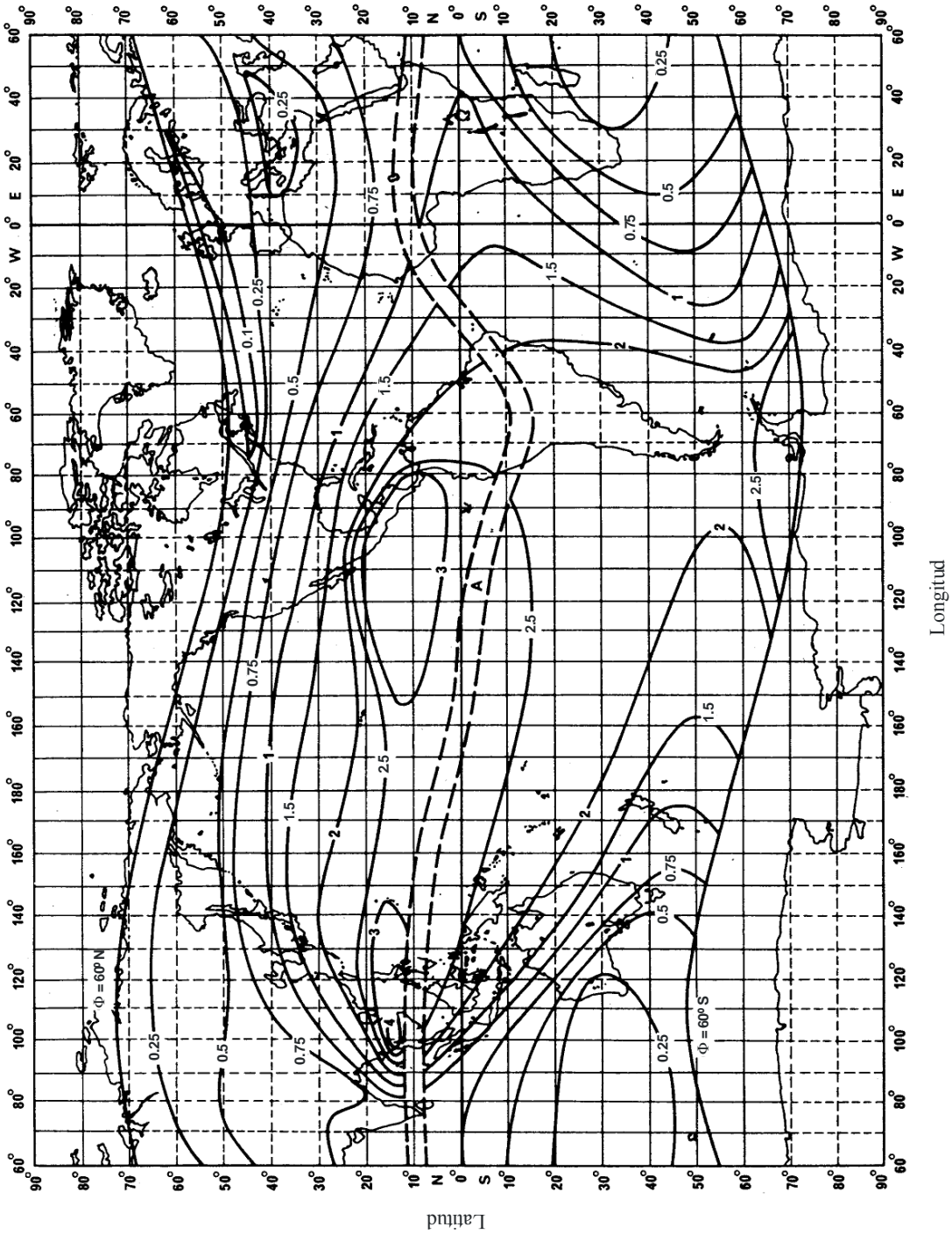


P.0534-13

A: Región de latitud baja (véase § 4)

FIGURA 14

Porcentajes del tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la 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

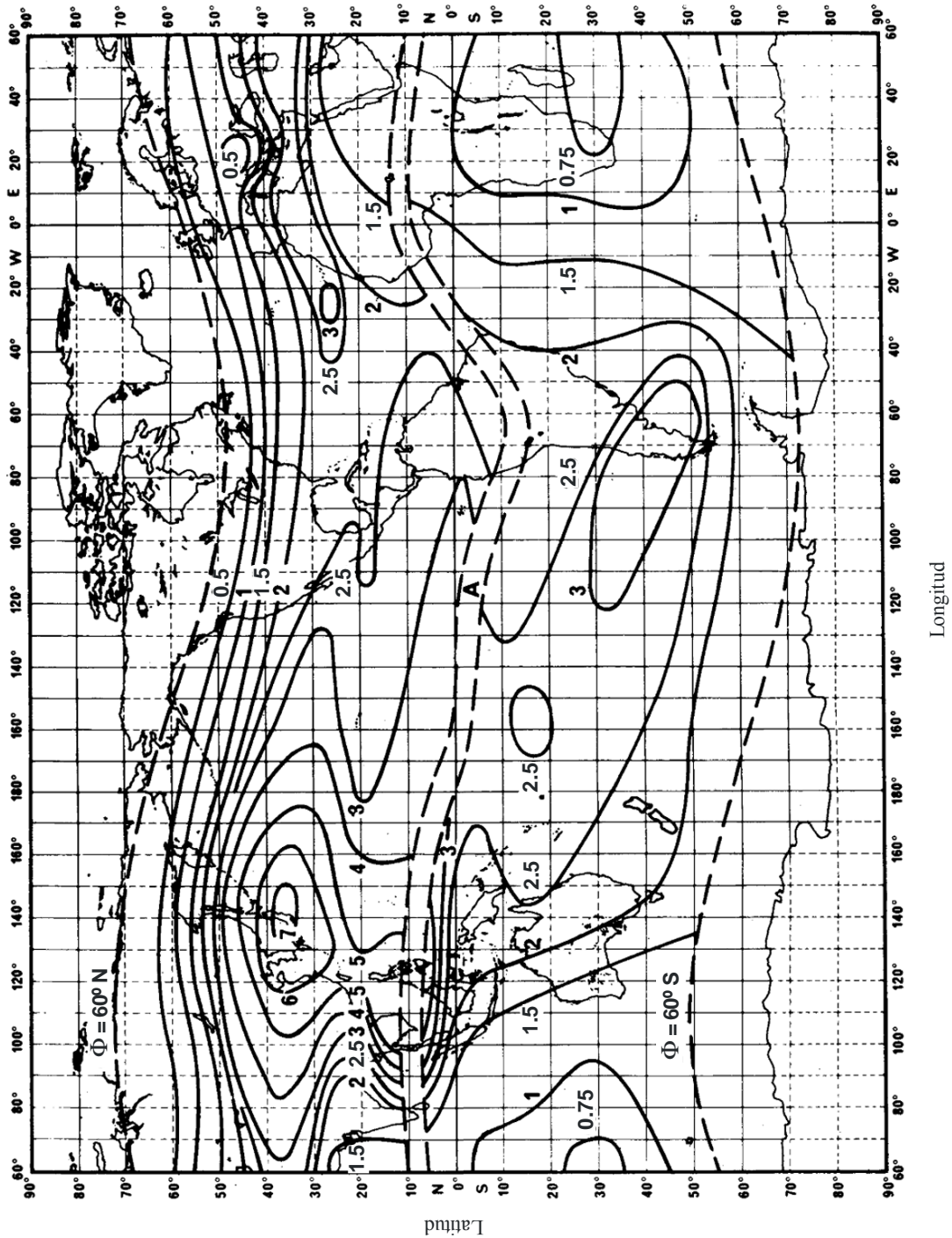


P.0534-14

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

FIGURA 15

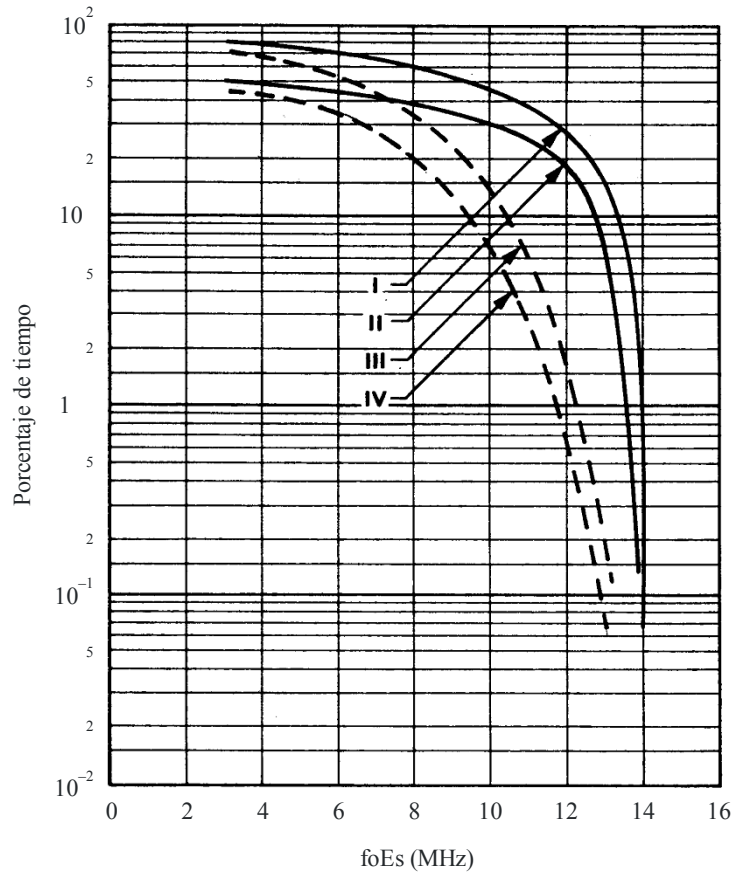
Porcentajes del tiempo durante los cuales la frecuencia crítica de la E esporádica (foEs) es igual o superior a 7 MHz con incidencia vertical, en las zonas de latitud media durante los doce meses del año



P.0534-15

A: Región de latitud baja (véase § 4)

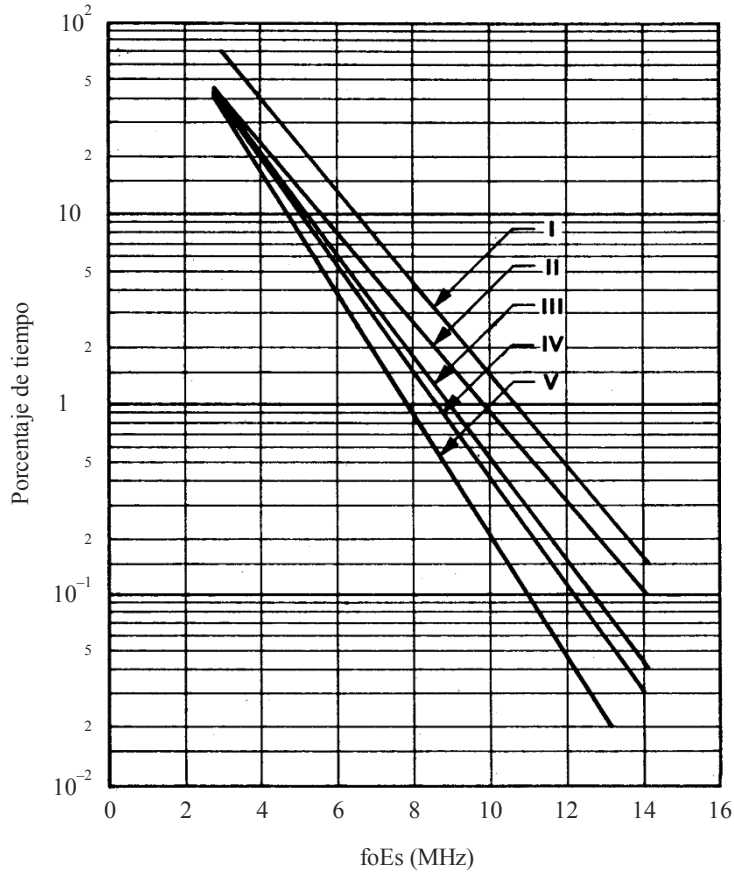
FIGURA 16
 Valores de (foEs) alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado



- Región E: Asia Ecuatorial ($\pm 6^\circ$ de latitud de inclusión)
- I: Años de actividad solar máxima (06h00-18h00).
Valor medio anual
 - II: Años de actividad solar máxima.
Valor medio anual
 - III: Años de actividad solar mediana y baja (06h00-18h00).
Valor medio anual
 - IV: Años de actividad solar mediana y baja.
Valor medio anual

FIGURA 17

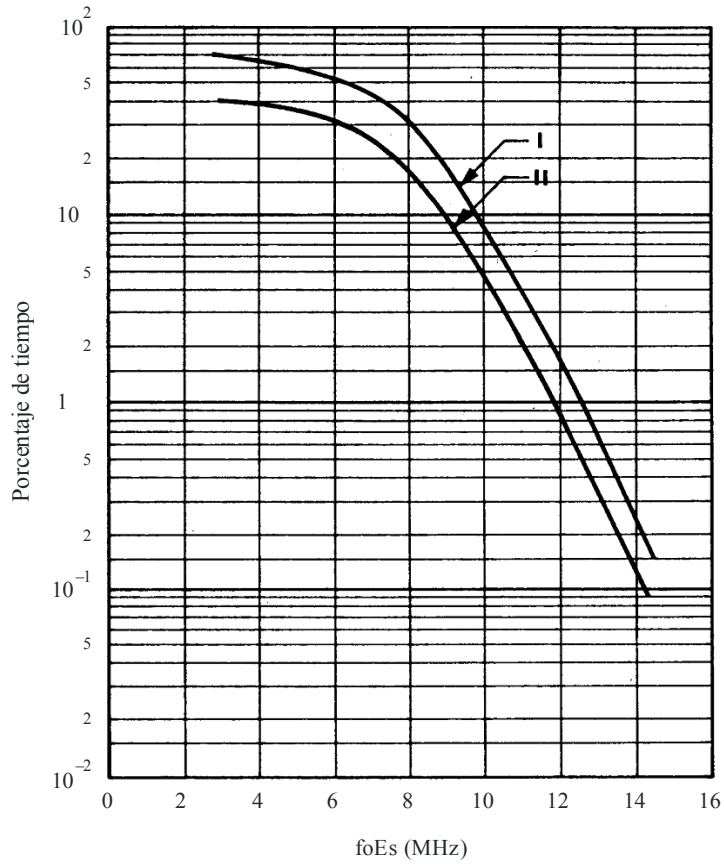
Valores de (foEs) alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado



Región E: Asia subecuatorial (entre $\pm 6^\circ$ y $\pm 20^\circ$ de latitud de inclinación) verano (06h00-18h00)

- I: Verano
- II: Verano
- III: Valor medio anual
- IV: Equinoccio
- V: Invierno

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

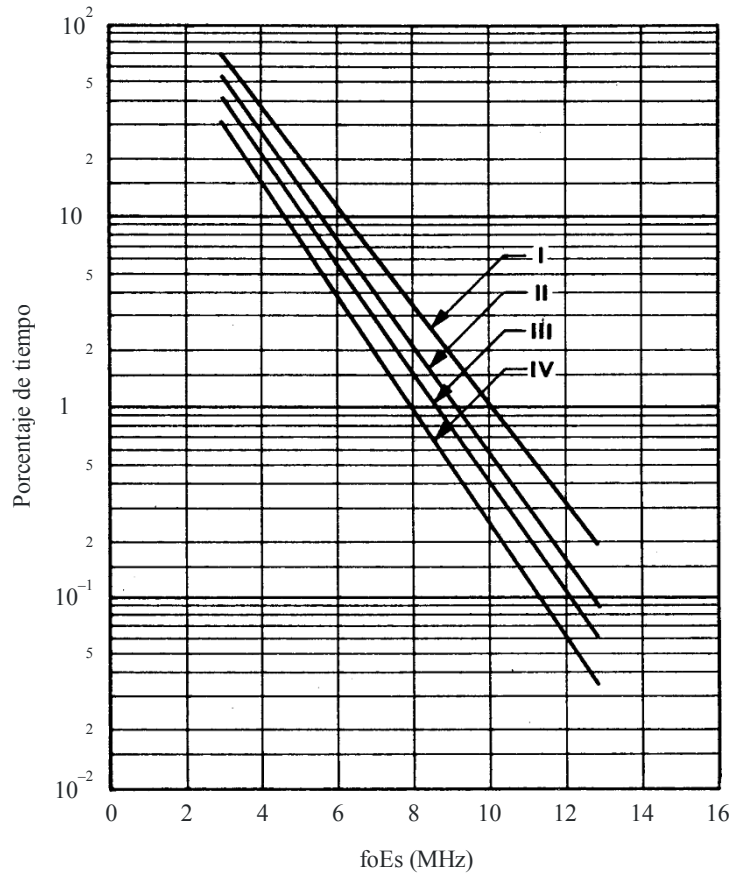


Región F: África Ecuatorial ($\pm 6^\circ$ de latitud de inclinación)
 I: Valor medio anual (06h00-18h00)
 II: Valor medio anual

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

FIGURA 19

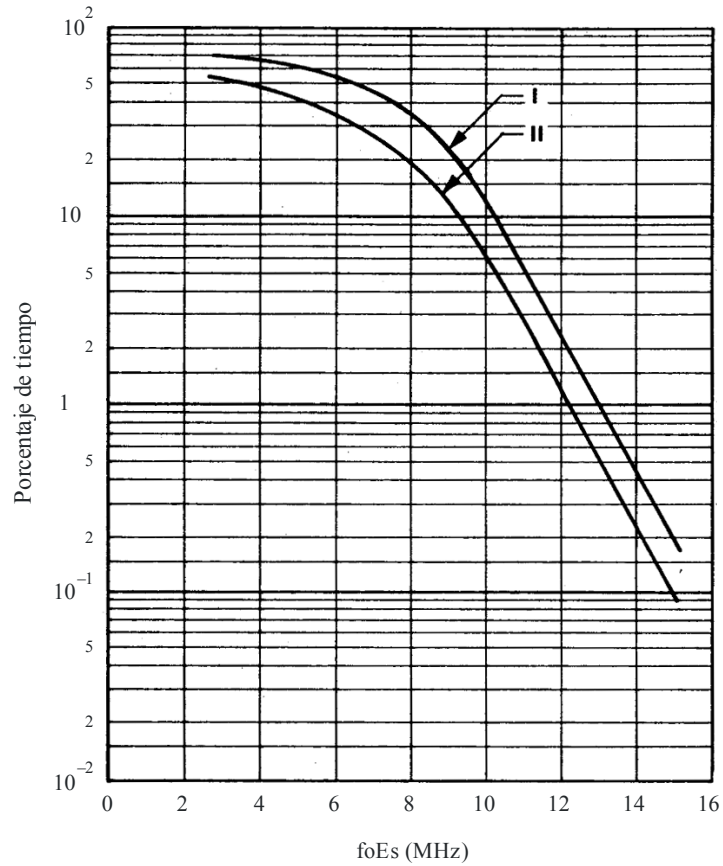
Valores de (foEs) alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado



Región F: África Subecuatorial (entre $\pm 6^\circ$ y $\pm 20^\circ$ de latitud de inclinación)
 I: Verano (06h00-18h00)
 II: Verano
 III: Valor medio anual y equinoccio
 IV: Invierno

FIGURA 20

Valores de (foEs) alcanzados o rebasados durante el porcentaje de tiempo indicado

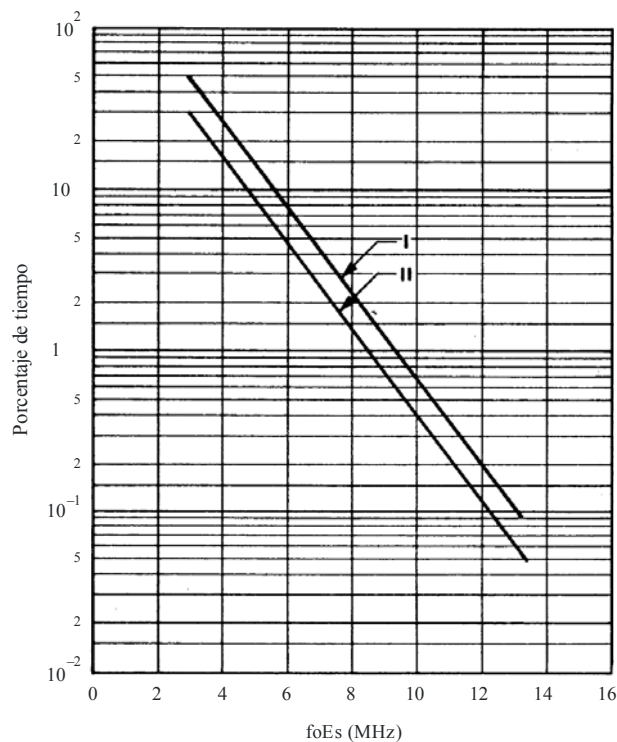


Región G: América ecuatorial $\pm 6^\circ$ de latitud de inclinación
 I: Valor medio anual (06h00-18h00)
 II: Valor medio anual

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 (06h00-18h00)

II: Valor medio anual

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

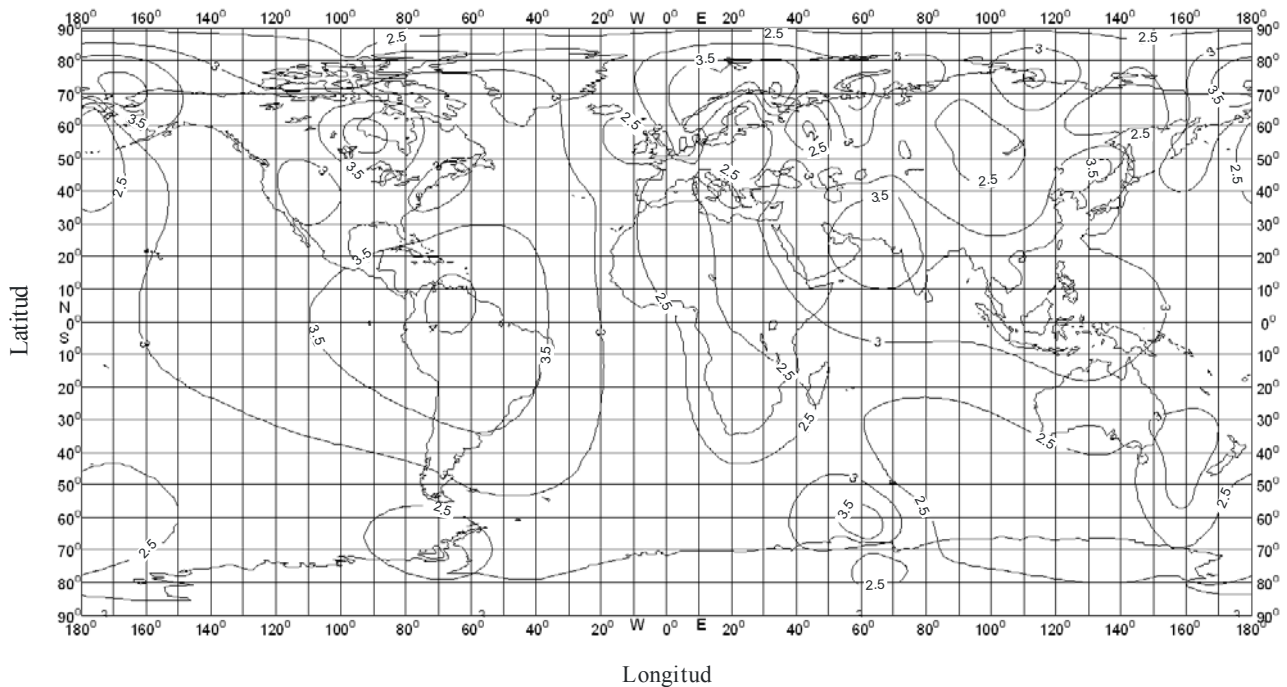
P0534-21

4.3 Mapas mundiales de la frecuencia crítica de la capa E esporádica (foEs) rebasada durante determinados porcentajes de tiempo al año

Para facilitar las predicciones informatizadas se ha elaborado un conjunto de mapas de la frecuencia crítica de la capa E esporádica, foEs (MHz), no rebasada durante los porcentajes de tiempo anuales del 50%, 10%, 1% y 0.1%. Estos mapas se basaron en un conjunto de datos a escala mundial que contienen los resultados de las mediciones a largo plazo llevadas a cabo por estaciones Ionosonda 101. Están disponibles en formato electrónico en la dirección web de la Comisión de Estudio 3 del UIT-T. En la Fig. 22 aparece como ejemplo el mapa del 50%.

FIGURA 22

FoEs (MHz) no rebasada durante más del 50% del año medio



P0534-22

5 Predicciones de la capa E esporádica basadas en mapas de estadísticas anuales

Este método proporciona las pérdidas de transmisión básicas en la capa E esporádica no rebasadas durante un determinado porcentaje de tiempo de un año medio, basándose en los mapas de la foEs rebasada durante el 0,1%, 1%, 10% y 50% de un año medio. Está destinado fundamentalmente a la implementación por ordenador cuando es preciso determinar una variación continua de las pérdidas previstas con el emplazamiento, especialmente a fin de predecir la interferencia en trayectos largos para latitudes bajas y medias. El método no debe considerarse fiable en latitudes geomagnéticas bajas o altas.

El cálculo incluye el apantallamiento del terminal, que varía de conformidad con el ángulo de despegue. Por tanto, para todas las longitudes de trayecto el cálculo se realiza para 1 salto y 2 saltos. Estos dos resultados se combinan al final del procedimiento.

Cuando no se dispone de información sobre el ángulo de elevación del terminal con respecto al horizonte y sobre la distancia, debe utilizarse una estimación. Si el terreno en la zona correspondiente es liso o incluye amplias extensiones de agua, es posible que las reflexiones en la superficie contribuyan a la propagación ionosférica, con la consiguiente reducción de las pérdidas. El siguiente método no pretende realizar una estimación de este efecto.

5.1 Obtención de la foEs

Para un $p\%$ de tiempo determinado, se fijan los valores del porcentaje de tiempo utilizados para la interpolación o la extrapolación p_1 y p_2 , de acuerdo con el Cuadro 1.

CUADRO 1

Condiciones para fijar los valores p_1 y p_2

$p\%$ del tiempo	p_1	p_2
$p < 1\%$	0,1%	1%
$1\% \leq p \leq 10\%$	1%	10%
$10\% < p$	10%	50%

Para un emplazamiento determinado, se obtienen f_{oEs1} y f_{oEs2} de los mapas de f_{oEs} rebasada durante el p_1 y $p_2\%$ del tiempo, respectivamente. Se calcula la f_{oEs} rebasada el $p\%$ del tiempo mediante la ecuación:

$$f_{oEs} = f_{oEs1} + (f_{oEs2} - f_{oEs1}) \cdot \log(p / p_1) / \log(p_2 / p_1) \quad (\text{MHz}) \quad (7)$$

5.2 Ángulos de elevación sobre el horizonte

Puede aparecer atenuación adicional causada por las obstrucciones del terreno en cada terminal.

Para cada uno de los terminales debe determinarse el punto en el terreno situado a lo largo del trayecto de círculo máximo desde el terminal hacia el otro terminal con el ángulo de elevación más alto por encima del horizonte local visto desde el terminal. El ángulo de elevación de un punto del terreno determinado viene dado por la ecuación:

$$\varepsilon_p = \arctan\left(\frac{h_p - h_a}{1000d_p} - \frac{d_p}{2R_0}\right) \quad (\text{radianes}) \quad (8)$$

donde:

d_p : distancia al punto del terreno, km;

h_p : altura del punto del terreno, m sobre el nivel del mar;

h_a : altura de la antena del terminal, m sobre el nivel del mar;

Se realiza este cálculo dos veces, una vez por cada terminal, obteniéndose lo siguiente:

$\varepsilon_{ha,b}$: ángulo de levación con el horizonte en el 1^{er} y 2^o terminal, en radianes;

$d_{ha,b}$: distancia al horizonte en el 1^{er} y 2^o terminal, en km.

5.3 Cálculo para una propagación en 1 salto

Se obtiene f_{oEs} calculada mediante la ecuación (7) para el punto medio del trayecto a fin de calcular las pérdidas ionosféricas para un salto, Γ_1 , mediante la ecuación (3).

Se calcula la longitud del trayecto inclinado:

$$l_1 = 2 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h)\cos(d / (2R_0)) \right\}^{0,5} \quad (\text{km}) \quad (9)$$

A continuación, pueden calcularse las pérdidas en espacio libre para la distancia inclinada:

$$L_{bfs1} = 32,4 + 20 \log(l_1 \cdot f) \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

El ángulo de despegue del rayo por encima del horizonte local en ambos terminales para 1 salto viene dado por:

$$\varepsilon_{r1} = 0,5\pi - \arctan \left\{ \frac{R_0 \sin(\alpha_1)}{h + R_0 [1 - \cos(\alpha_1)]} \right\} - \alpha_1 \quad (\text{radianes}) \quad (11)$$

donde:

$$\alpha_1 = d / (2R_0) \quad (\text{radianes}) \quad (11a)$$

Los ángulos de difracción, en radianes, para los dos terminales se determinan como sigue:

$$\delta_{1a,b} = \varepsilon_{ha,b} - \varepsilon_{r1} \quad (\text{radianes}) \quad (12)$$

Los correspondientes parámetros de difracción vienen dados por:

$$v_{1a,b} = 3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{1a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{si } \delta_{1a,b} \geq 0 \quad (13a)$$

$$= -3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{1a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{en cualquier otro caso} \quad (13b)$$

Las pérdidas de difracción en dB en los dos terminales se obtienen mediante la ecuación:

$$L_{p1a,b} = 6,9 + 20 \log \left[\sqrt{(v_{1a,b} - 0,1)^2 + 1} + v_{1a,b} - 0,1 \right] \quad \text{si } v_{1a,b} > -78 \quad (14a)$$

$$= 0,0 \quad \text{en cualquier otro caso} \quad (14b)$$

Las pérdidas de transmisión básica de 1 salto por la capa E esporádica se determinan como sigue:

$$L_{bEs1} = L_{bfs1} + \Gamma_1 + L_{p1a} + L_{p1b} \quad (\text{dB}) \quad (15)$$

5.4 Cálculo para una propagación en 2 saltos

Se obtiene f_{oEs} como el menor de los dos valores calculados mediante la ecuación (7) a un cuarto y tres cuartos a lo largo del trayecto para volver a calcular Γ_1 utilizando la ecuación (3) y obtener de esa forma las pérdidas ionosféricas para dos saltos Γ_2 , mediante la ecuación (4).

Se calcula la longitud del trayecto inclinado:

$$l_2 = 4 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h) \cos(d / (4R_0)) \right\}^{0,5} \quad (\text{km}) \quad (16)$$

A continuación pueden calcularse las pérdidas en espacio libre para la distancia inclinada:

$$L_{bfs2} = 32,4 + 20 \log(l_2 \cdot f) \quad (\text{dB}) \quad (17)$$

El ángulo de despegue del rayo por encima del horizonte local en ambos terminales para 2 saltos viene dado por:

$$\varepsilon_{r2} = 0,5\pi - \arctan \left\{ \frac{R_0 \sin(\alpha_1)}{h + R_0 [1 - \cos(\alpha_1)]} \right\} - \alpha_2 \quad (\text{radianes}) \quad (18)$$

donde:

$$\alpha_2 = d / (4R_0) \quad (\text{radianes}) \quad (18a)$$

Los ángulos de difracción, en radianes, para los dos terminales vienen dado por:

$$\delta_{2a,b} = \varepsilon_{p2a,b} - \varepsilon_{r2} \quad (\text{radianes}) \quad (19)$$

Los correspondientes parámetros de difracción se obtienen como sigue:

$$v_{2a,b} = 3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{2a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{si } \delta_{2a,b} \geq 0 \quad (20a)$$

$$= -3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{2a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{en cualquier otro caso} \quad (20b)$$

Las pérdidas de difracción en dB en los dos terminales se calculan así:

$$L_{p2a,b} = 6,9 + 20 \log \left[\sqrt{(v_{2a,b} - 0,1)^2 + 1} + v_{2a,b} - 0,1 \right] \quad \text{si } v_{2a,b} > -78 \quad (21a)$$

$$= 0,0 \quad \text{en cualquier otro caso} \quad (21b)$$

Las pérdidas de transmisión básicas para un trayecto de 2 saltos por capa E esporádica se determinan como sigue:

$$L_{bEs2} = L_{bfs2} + \Gamma_2 + L_{p2a} + L_{p2b} \quad (\text{dB}) \quad (22)$$

5.5 Pérdidas de transmisión básicas

Las pérdidas de transmisión básicas por la capa E esporádica L_b (dB) vienen dadas por:

$$L_{bEs} = L_{bEs1} \quad L_{bEs1} < L_{bEs2} - 20 \quad (23a)$$

$$= L_{bEs2} \quad L_{bEs2} < L_{bEs1} - 20 \quad (23b)$$

$$= -10, \log \left(10^{-0,1 \cdot L_{bEs1}} + 10^{-0,1 \cdot L_{bEs2}} \right) \quad \text{en cualquier otro caso} \quad (23c)$$