

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1147-1

PREDICCIÓN DE LA INTENSIDAD DE CAMPO DE LA ONDA IONOSFÉRICA EN FRECUENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE 150 Y 1700 kHz APROXIMADAMENTE

(Cuestión UIT-R 225/3)

(1995-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que es necesario suministrar orientaciones a los ingenieros encargados de los planes relativos a los servicios de radiodifusión en las bandas de ondas kilométricas y hectométricas;
- b) que es importante determinar la distancia geográfica mínima entre las estaciones que trabajan en los mismos canales o en canales adyacentes, a fin de evitar las interferencias originadas por la propagación ionosférica a larga distancia;
- c) que como el servicio de radiodifusión y otros servicios en diferentes Regiones comparten porciones de esta gama de frecuencias, es necesario disponer de un método preciso de predicción de la interferencia para mantener la utilización eficaz y ordenada de esas porciones del espectro radioeléctrico,

recomienda

que se adopte el método que figura a continuación, teniendo en cuenta en particular el análisis sobre su precisión que se hace en el Anexo 1.

1 Introducción

Este método permite predecir valores de la intensidad de campo nocturna de la onda ionosférica para una o más antenas verticales que radien una potencia determinada, medida a nivel del suelo con una antena de cuadro cuyo plano vertical coincide con el del círculo máximo que contiene la dirección del transmisor. El método se basa en las mediciones efectuadas en las bandas de frecuencias atribuidas a la radiodifusión y se aplica a trayectos con una longitud de 50 a 12 000 km para esas bandas de ondas kilométricas y hectométricas en particular. Para un análisis de la propagación diurna, véase el Anexo 2.

Las Figs. 1, 2 y 3 constituyen una parte esencial del método de predicción. Para mayor comodidad se han incluido mapas geomagnéticos en las Figs. 5, 6 y 10. Las Figuras restantes y el Apéndice 1 contienen información adicional que permite simplificar la aplicación de este método.

2 Valor mediano anual de la intensidad de campo nocturna

La intensidad de campo prevista de la onda ionosférica viene dada por la expresión:

$$E = V + E_0 - L_t = V + G_S - L_p + A - 20 \log p - L_a - L_t - L_r \quad (1)$$

siendo:

- E : valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias (dB(μ V/m)), para una fuerza cimomotriz del transmisor dada, V , y a una hora dada, t , contada a partir de la puesta o salida del Sol, según convenga
- E_0 : valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias (dB(μ V/m)), para una fuerza cimomotriz del transmisor de 300 V y a la hora de referencia definida en el § 2.1
- V : fuerza cimomotriz del transmisor (dB por encima de una fuerza cimomotriz de referencia de 300 V) (véase el § 2.2)
- G_S : corrección de ganancia debida a la proximidad del mar (dB) (véase el § 2.3)
- L_p : pérdida adicional por acoplamiento de polarización (dB) (véase el § 2.4)
- A : una constante. Para ondas kilométricas, $A = 110,2$. Para ondas hectométricas, $A = 107$ salvo en los trayectos de propagación cuyo punto medio esté situado en la parte de la Región 3 al sur del paralelo 11° S. En esos casos, $A = 110$

L_a : factor de pérdida que incorpora los efectos de la absorción ionosférica y factores conexos (véase el § 2.6)

L_i : factor de pérdida horaria (dB) (véase el § 2.7)

L_r : factor de pérdida que incorpora el efecto de la actividad solar (véase el § 2.8).

La Fig. 4 da E_0 en función de la distancia, d , medida sobre el suelo, para distintas latitudes geomagnéticas cuando los valores de G_S , L_p y R son todos iguales a cero; donde R es igual al número internacional relativo de manchas solares, suavizado para 12 meses.

2.1 Hora de referencia

Como hora de referencia se toma la de la puesta del Sol en un punto S de la superficie de la Tierra, más seis horas. En los trayectos inferiores a 2000 km, S es el punto medio del trayecto. En los trayectos más largos, S se encuentra a 750 km del terminal donde el Sol se pone más tarde, medidos a lo largo del trayecto de círculo máximo.

2.2 Fuerza cimomotriz

La fuerza cimomotriz del transmisor V (dB(300 V)) viene dada por la expresión:

$$V = P + G_V + G_H \quad (2)$$

siendo:

P : potencia radiada (dB(1 kW))

G_V : factor de ganancia de la antena transmisora (dB) debido a la directividad vertical, dado en la Fig. 1

G_H : factor de ganancia de la antena transmisora (dB) debido a la directividad horizontal. En las antenas directivas, G_H es función del acimut. En las antenas omnidireccionales $G_H = 0$.

2.3 Ganancia debida a la proximidad del mar

G_S es la ganancia adicional de la señal cuando uno o ambos terminales están situados cerca del mar, pero no se aplica a propagación sobre agua dulce. Para un solo terminal, G_S viene dada por:

$$G_S = G_0 - c_1 - c_2 \quad \text{para} \quad (c_1 + c_2) < G_0 \quad (3)$$

$$G_S = 0 \quad \text{para} \quad (c_1 + c_2) \geq G_0 \quad (4)$$

siendo:

G_0 : ganancia debida a la proximidad del mar cuando el terminal está en la costa y el trayecto no está obstruido por otras tierras (dB)

c_1 : corrección para tener en cuenta la distancia entre el terminal y el mar

c_2 : corrección para tener en cuenta la anchura de uno o más pasajes de mar, o la presencia de islas.

Si ambos terminales están cerca del mar, G_S es la suma de los valores calculados para cada terminal individualmente.

G_0 viene expresada en la Fig. 2 como una función de d para las bandas de ondas kilométricas y hectométricas. En la banda de ondas hectométricas, $G_0 = 10$ dB cuando $d > 6500$ km, y en la banda de ondas kilométricas, $G_0 = 4,1$ dB cuando $d > 5000$ km, siendo d la distancia con respecto al suelo entre los dos terminales.

La corrección c_1 viene expresada por:

$$c_1 = \frac{s_1}{r_1} G_0 \quad (5)$$

siendo:

s_1 : distancia del terminal al mar, medida a lo largo del trayecto de círculo máximo (km)

$$r_1 = 10^3 G_0^2 / Q_1 f \quad \text{km}$$

f : frecuencia (kHz)

$Q_1 = 0,30$ en la banda de ondas kilométricas y 1,4 en la banda de ondas hectométricas.

La corrección c_2 viene expresada por:

$$c_2 = \alpha G_0 \left(1 - \frac{s_2}{r_2} \right) \quad \text{para} \quad s_2 < r_2 \quad (6)$$

$$c_2 = 0 \quad \text{para} \quad s_2 \geq r_2 \quad (7)$$

siendo:

s_2 : distancia del terminal a la próxima sección de tierra, medida a lo largo del trayecto de círculo máximo (km)

$$r_2 = 10^3 G_0^2 / Q_2 f \quad \text{km}$$

$Q_2 = 0,25$ en la banda de ondas kilométricas y 1,2 en la banda de ondas hectométricas

α : proporción de tierra en la sección de trayecto comprendida entre r_2 y s_2 ($0 < \alpha \leq 1$).

Si se utiliza un ordenador, pero no se dispone de un banco de datos relativos al terreno que permita calcular α , se tomará para α el valor 0,5, lo que supone hacer iguales las proporciones de tierra y mar en la sección de trayecto comprendida entre r_2 y s_2 .

Para facilitar el cálculo, la Fig. 8a da el valor r_1 , la mayor distancia a partir del mar para la que tiene que calcularse la ganancia debida a la proximidad del mar, y la Fig. 8b da el valor de r_2 , la mayor distancia a la siguiente sección de tierra para la que se precisa la corrección c_2 , para varias frecuencias.

2.4 Pérdida por acoplamiento de polarización

L_p es la pérdida adicional por acoplamiento de polarización (dB). En la banda de ondas kilométricas, $L_p = 0$. En la banda de ondas hectométricas, L_p para cada terminal viene dado por las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} L_p &= 180 (36 + \theta^2 + I^2)^{-1/2} - 2 \quad \text{dB} \quad \text{para} \quad I \leq 45^\circ \\ L_p &= 0 \quad \text{para} \quad I > 45^\circ \end{aligned} \quad (8)$$

donde I es la inclinación magnética, N o S (grados) en el terminal, y θ es el acimut del trayecto medido en grados con relación a la dirección magnética Este-Oeste, de tal forma que $|\theta| \leq 90^\circ$. L_p debe evaluarse por separado para los dos terminales, dado que θ e I pueden tomar valores diferentes; a continuación se suman los dos valores de L_p . Para determinar θ e I deben usarse los valores más precisos disponibles de la inclinación y de la declinación magnéticas que se indican en las Figs. 5 y 6.

La Fig. 7 muestra los valores de L_p calculados por medio de la ecuación (8).

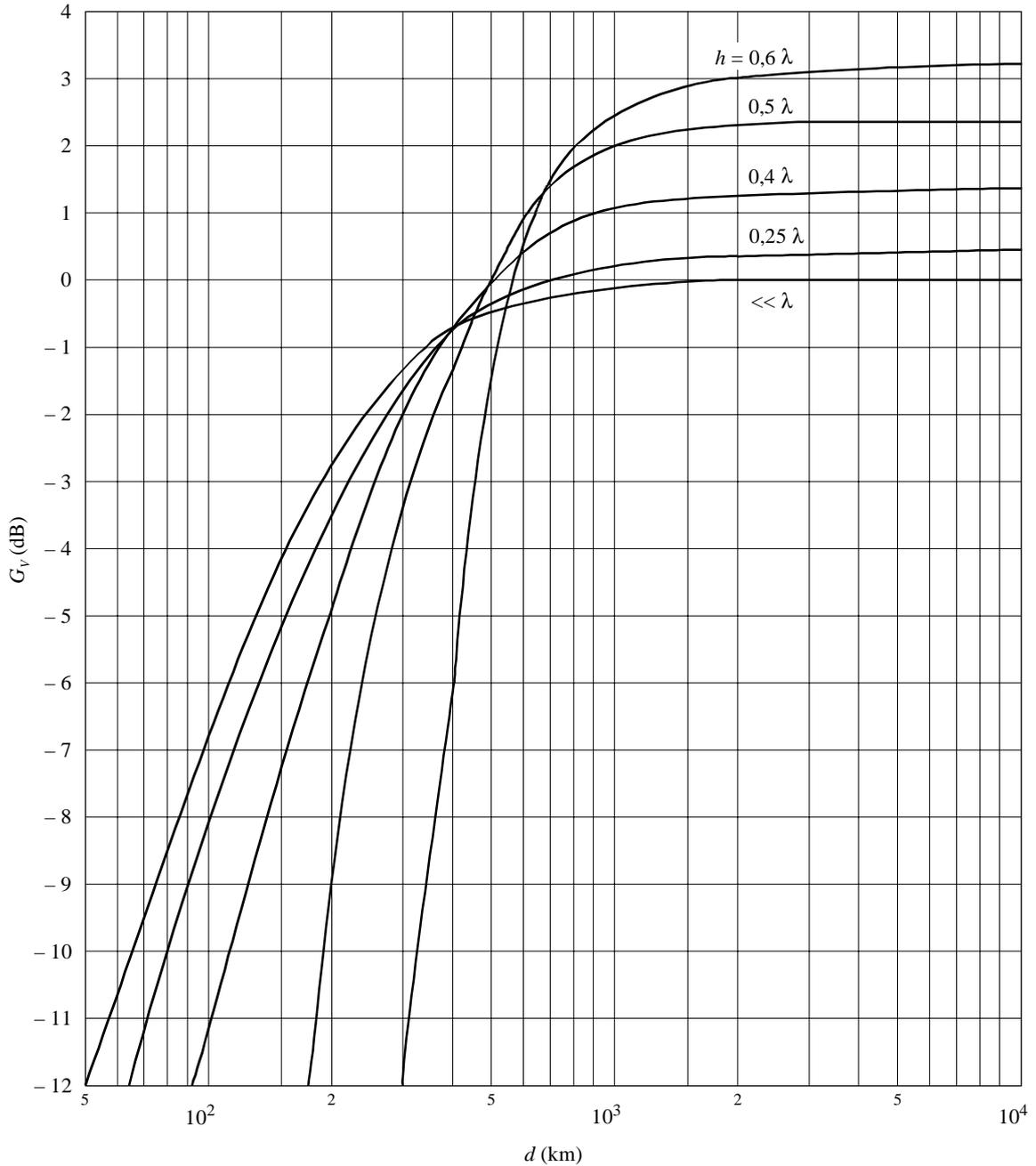
2.5 Distancia real del trayecto de propagación, p

Para trayectos superiores a 1 000 km, p (km) es aproximadamente igual a la distancia medida sobre el suelo, d (km), entre el transmisor y el receptor. Para trayectos más cortos:

$$p = (d^2 + 40\,000)^{1/2} \quad (9)$$

La ecuación (9) puede utilizarse en trayectos de cualquier longitud con un error despreciable. Conviene utilizarla siempre que las distancias consideradas comprendan las distancias menores y mayores a los 1000 km para evitar discontinuidades en la intensidad de campo en función de la distancia.

FIGURA 1
Factor de ganancia de la antena transmisora en el caso de un solo monopolo (G_v)
sobre una tierra perfecta

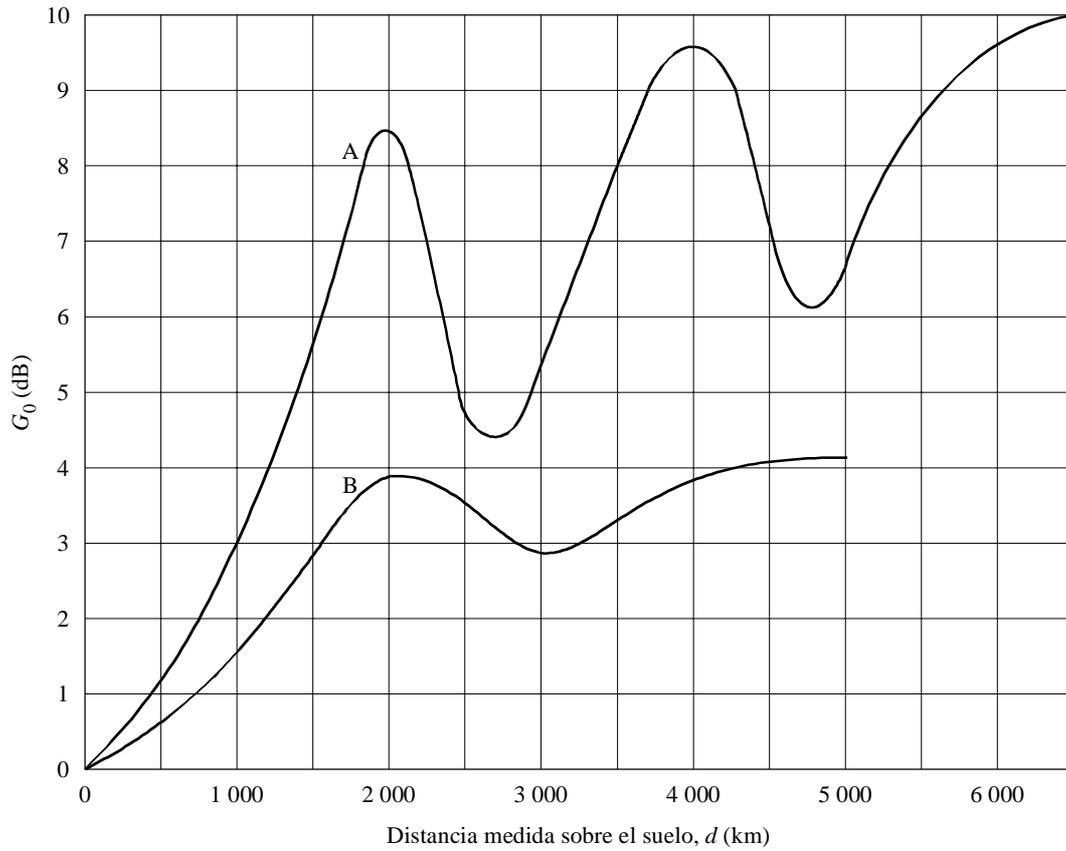


h : altura de la antena

Nota 1 – Para $10\,000\text{ km} < d < 12\,000\text{ km}$, se debe utilizar lecturas de $d = 10\,000\text{ km}$.

FIGURA 2

Ganancia debida a la proximidad del mar (G_0) para un solo terminal situado en la costa

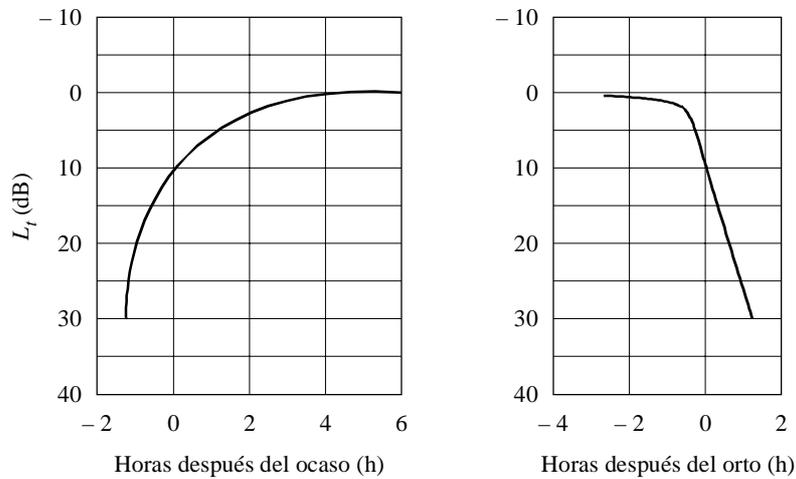


Curvas A: banda de ondas hectométricas
 B: banda de ondas kilométricas

1147-02

FIGURA 3

Factor de pérdida horaria (L_t)



1147-03

2.6 Factor de pérdida que incorpora los efectos de la absorción ionosférica y factores conexos

L_a es el factor de pérdida que incorpora los efectos de la absorción ionosférica, enfoque, pérdidas del terminal y pérdidas entre las secciones de los trayectos con múltiples saltos.

$$L_a = k \sqrt{p / 1000} \quad (10)$$

y el coeficiente de pérdida básico, k , viene dado por la expresión:

$$k = (2\pi + 4,95 \operatorname{tg}^2 \Phi) \quad (11)$$

En la ecuación (11) Φ es la latitud geomagnética (dipolo) del punto medio del trayecto estudiado. Las latitudes septentrionales se consideran positivas y las australes, negativas. Se puede utilizar la Fig. 10 para obtener la latitud geomagnética a partir de coordenadas geográficas conocidas del punto medio. Si el valor de Φ es mayor que $+60^\circ$, la ecuación (11) se evalúa para $\Phi = +60^\circ$. Si el valor de Φ es menor que -60° , la ecuación (11) se evalúa para $\Phi = -60^\circ$. Los trayectos superiores a 3 000 km están divididos en dos secciones iguales, y k para cada sección se determina según la ecuación (11). La media algebraica de dos valores de k (k_{eff}) se usa para calcular la intensidad de campo (véase también la Fig. 9).

2.7 Factor de pérdida horaria

El factor de pérdida horaria, L_t (dB) viene dado en la Fig. 3. El tiempo, t , representa el número de horas después del ocaso o antes del orto (o alba), según proceda. Estos valores se toman a nivel del suelo, en el punto medio del trayecto, cuando $d < 2000$ km, y en el caso de trayectos más largos, a 750 km del terminal en que más tarde se ponga, o antes salga, el Sol. Los valores más grandes del factor de pérdida horaria cerca del mediodía no están definidos (véase la Fig. 3). Para las horas que caen dentro de ese periodo se utiliza un valor límite de 30 dB. El factor de pérdida horaria no debe calcularse para trayectos de latitud elevada y para periodos estacionales en los que no se aprecia la salida y la puesta del Sol.

El § 1 del Apéndice 1 contiene ecuaciones que son generalmente equivalentes a estas curvas con precisión de unos 0,5 dB. La Fig. 3 representa la variación diurna anual media.

En la Fig. 11 se indican las horas del ocaso y del orto para varias latitudes geográficas y meses. El § 2 del Apéndice 1 contiene ecuaciones equivalentes a estas curvas de orto y ocaso.

2.8 Factor de pérdida que incorpora el efecto de la actividad solar

El factor de pérdida que incorpora el efecto de la actividad solar, L_r , viene dado por las siguientes fórmulas:

en ondas kilométricas,		$L_r = 0$	
en ondas hectométricas,	si $ \Phi \leq 45^\circ$,	$L_r = 0$	
en ondas hectométricas,	si $ \Phi > 45^\circ$,	$L_r = b(R/100) (p/1000)$	dB (12)

siendo:

$$b = (|\Phi| - 45)/3 \quad \text{excepto en Europa donde } b = 1 \text{ se ha de utilizar independientemente de la latitud.} \quad (13)$$

Los trayectos superiores a 3 000 km se dividen en dos secciones iguales como se describe en el § 2.6. Se calculan y se suman los valores de L_r de las dos secciones.

3 Variaciones de un día a otro y durante cortos periodos de tiempo de las intensidades de campo nocturnas

La diferencia, Δ , a una hora concreta en relación con el orto y el ocaso, entre la intensidad de campo rebasada el 10% del tiempo y el valor medio anual, Δ , depende de la latitud y viene expresada por:

en ondas kilométricas, $\Delta = 6,5$ dB (14a)

en ondas hectométricas, $\Delta = 0,2 |\Phi| - 2$ dB (14b)

Δ es superior o igual a 6 dB pero inferior o igual a 10 dB.

FIGURA 4a

Curvas que representan E_0 para la banda de ondas kilométricas cuando G_s, L_p y R son todos iguales a cero en latitudes geomagnéticas constantes

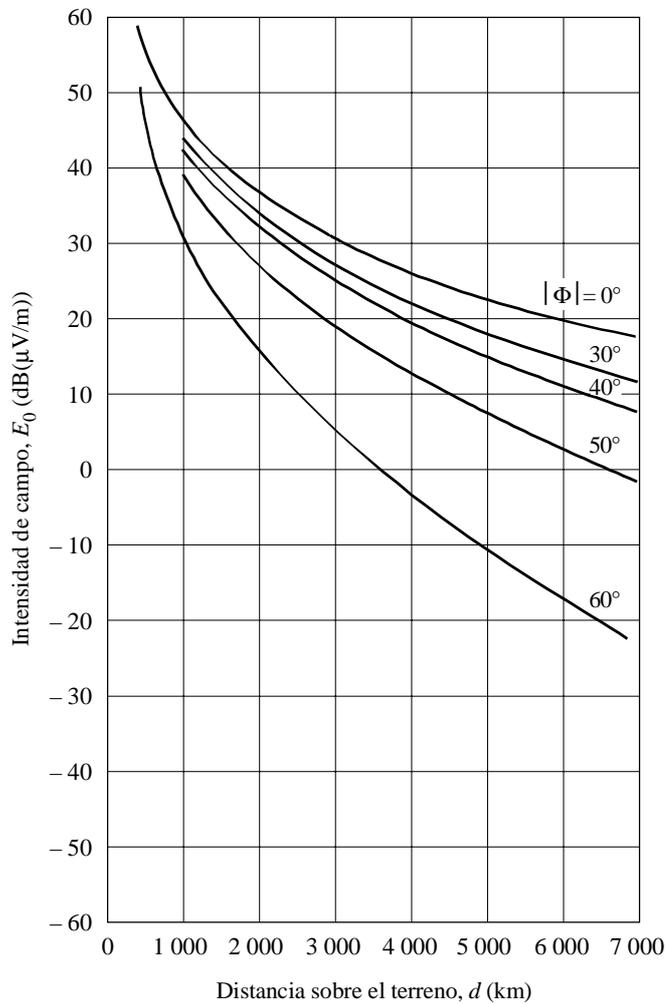
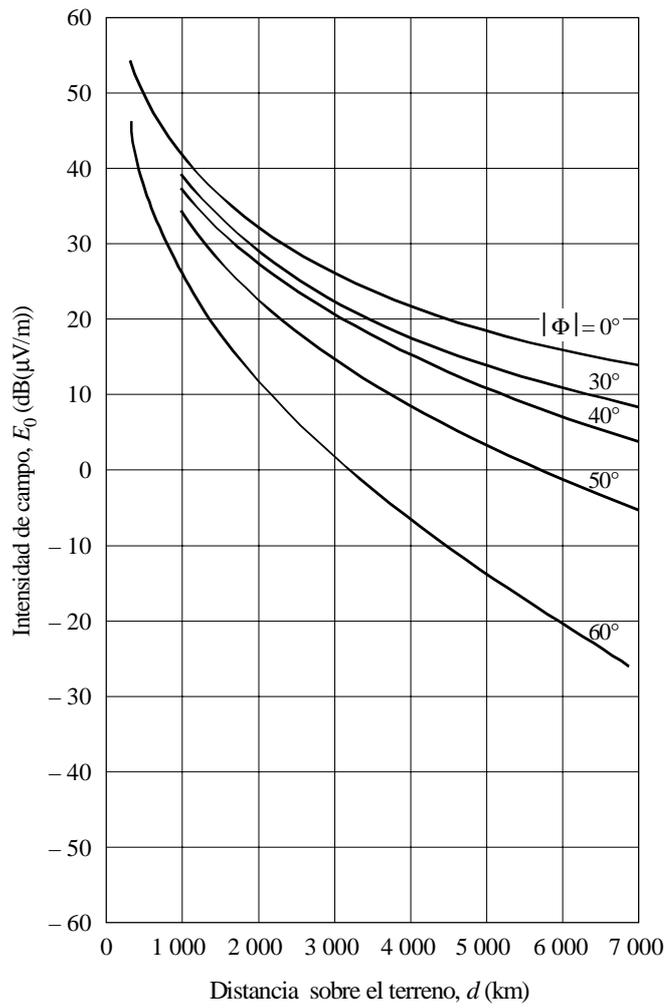


FIGURA 4b

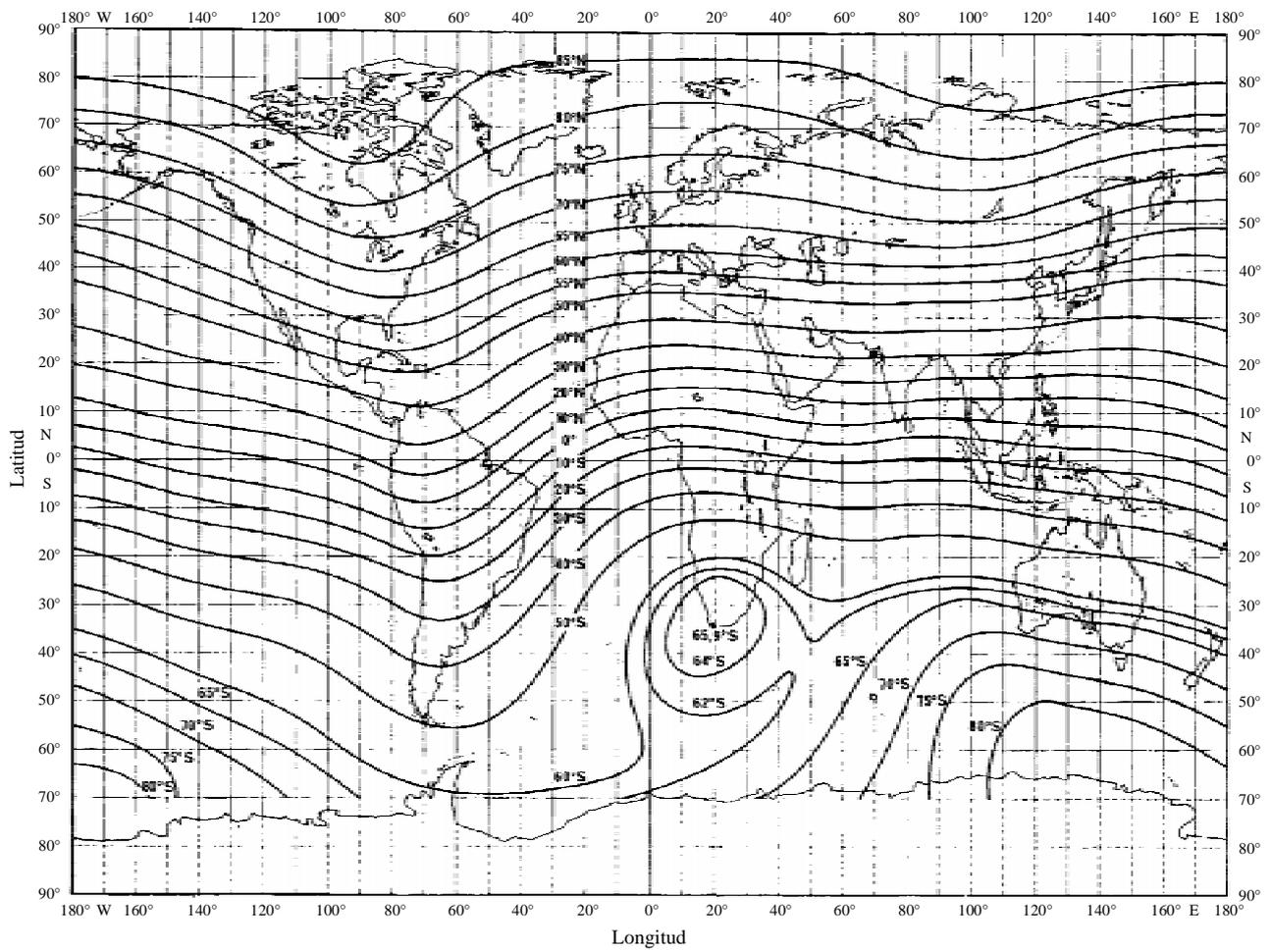
Curvas que representan E_0 para la banda de ondas hectométricas cuando G_s , L_p y R son todos iguales a cero en latitudes geomagnéticas constantes



Nota 1 – Para aplicaciones en la parte sur de la Región 3, añadir 3 dB.

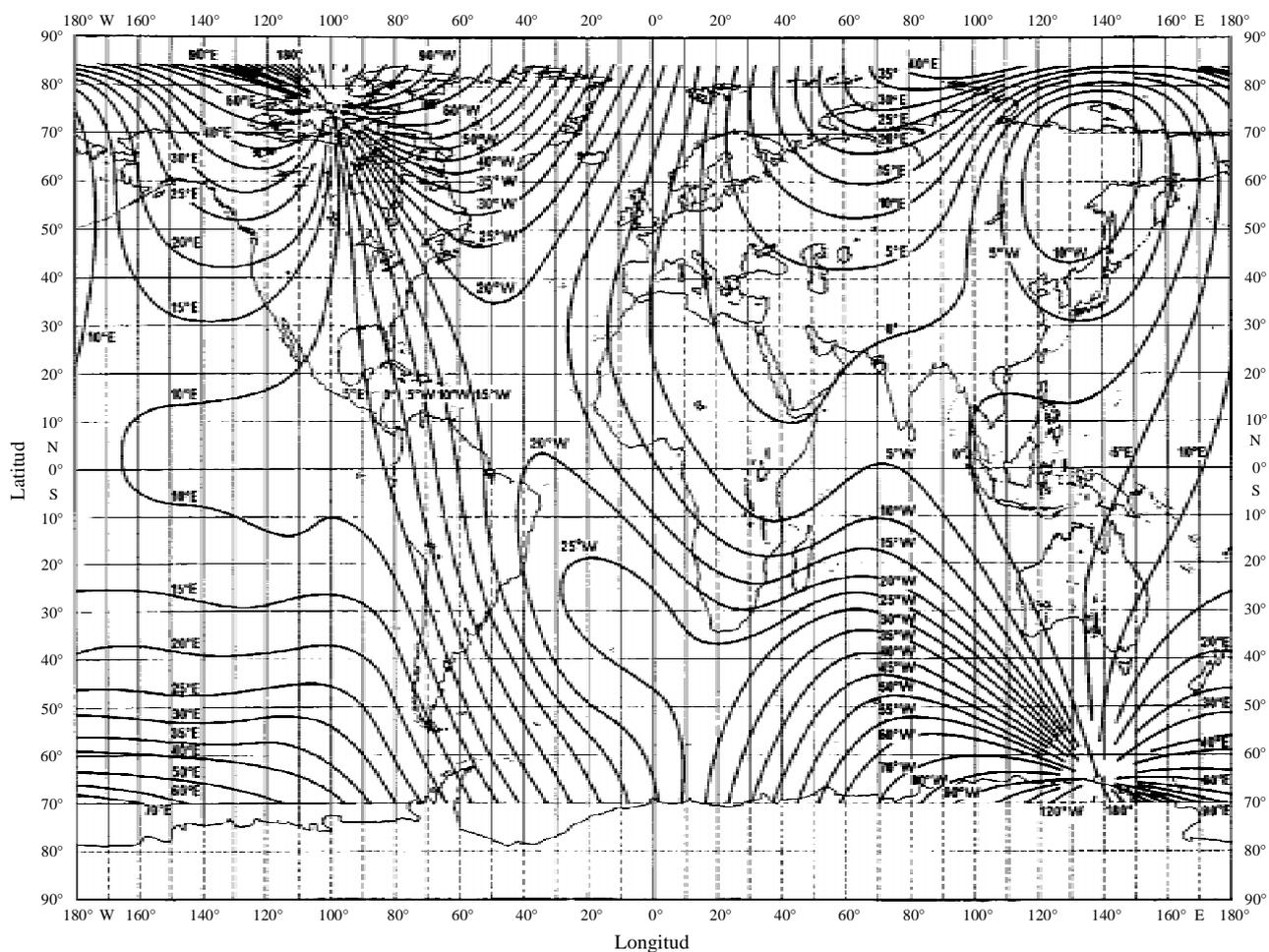
1147-04b

FIGURA 5
Mapa de inclinación magnética (para 1975,0)



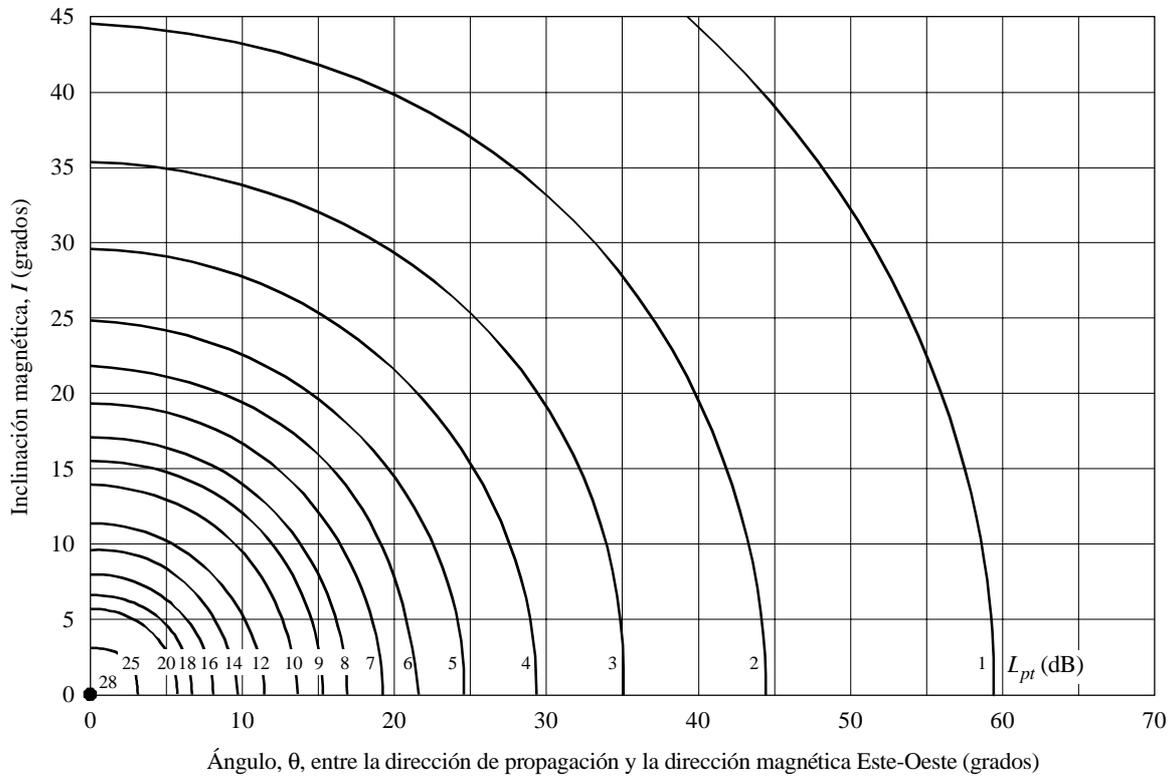
(Se ha obtenido de: Magnetic inclination or dip (epoch 1975.0) Chart No. 30 World U.S. Defense Mapping Agency Hydrographic Center)

FIGURA 6
Mapa de declinación magnética (para 1975,0)



(Se ha obtenido de: Magnetic variation (epoch 1975,0) Chart No. 42 World U.S. Defence Mapping Agency Hydrographic Center)

FIGURA 7
 Pérdida adicional por acoplamiento de polarización, L_p , para un solo terminal



$$L_p = 180 (36 + \theta^2 + I^2)^{-1/2} - 2$$

1147-07

FIGURA 8a
Valores de r_1 para varias frecuencias

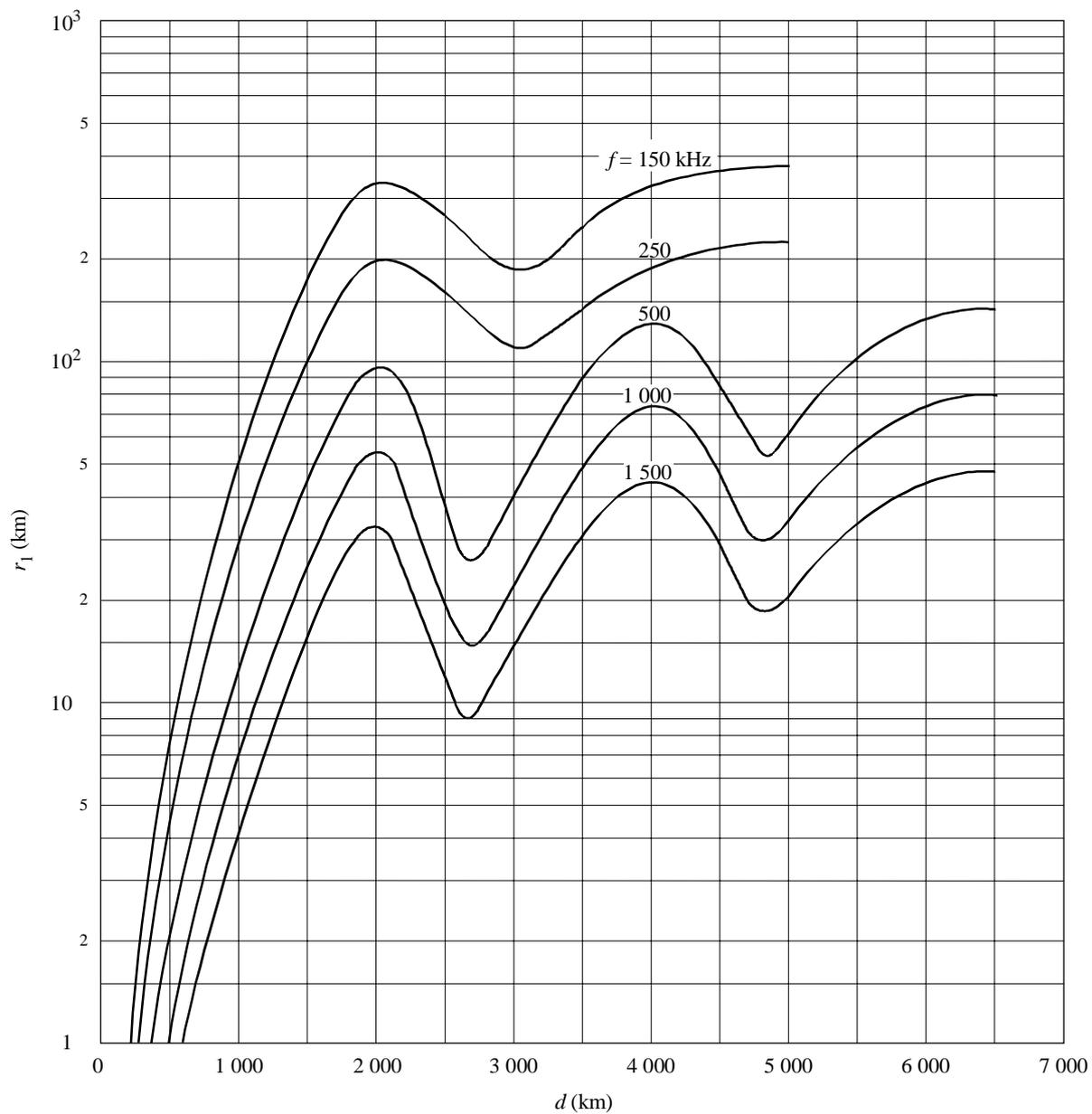


FIGURA 8b
Valores de r_2 para varias frecuencias

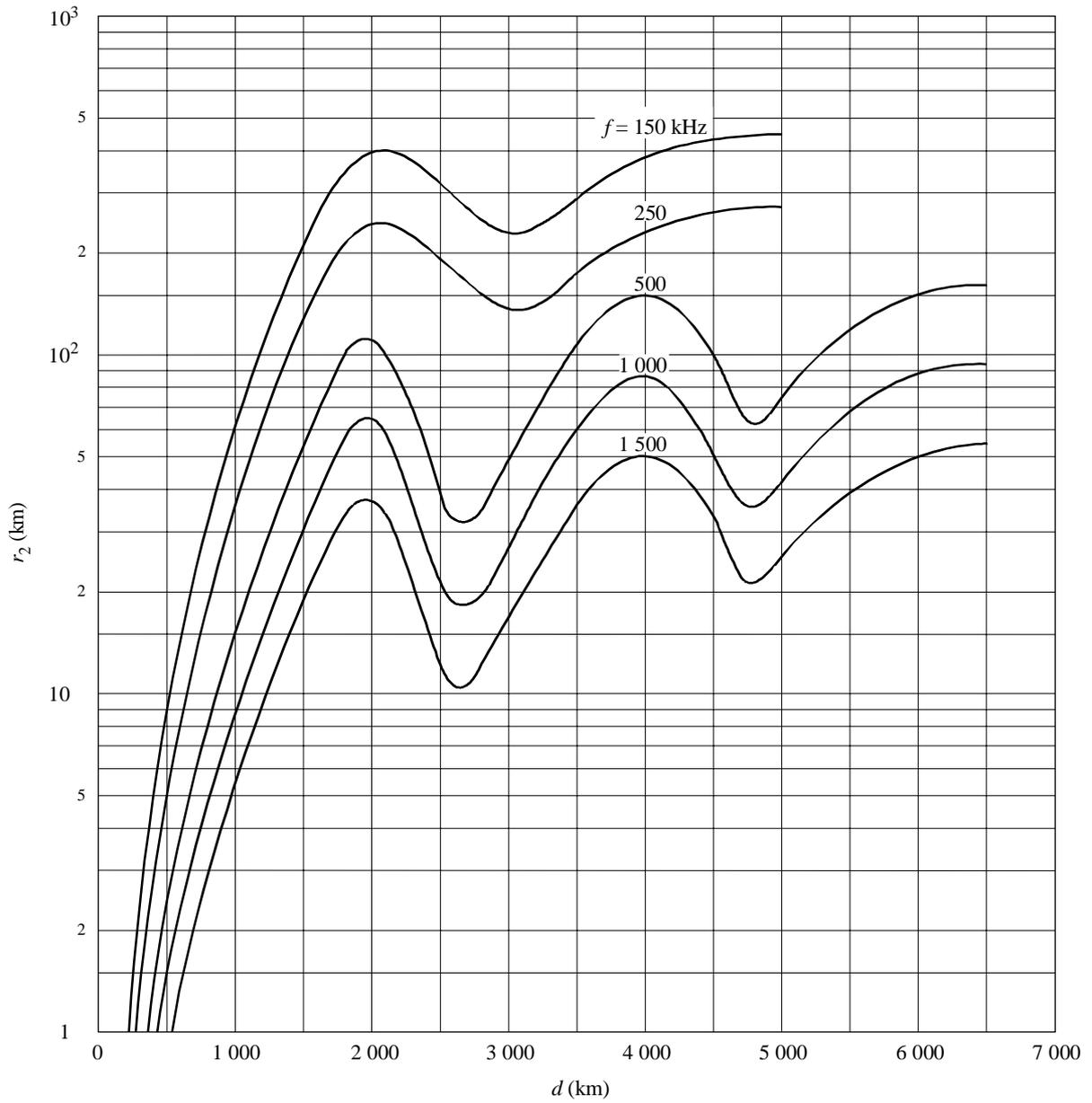
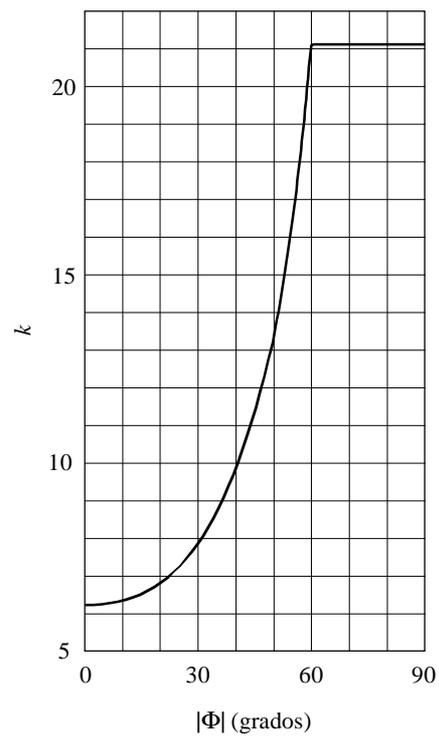


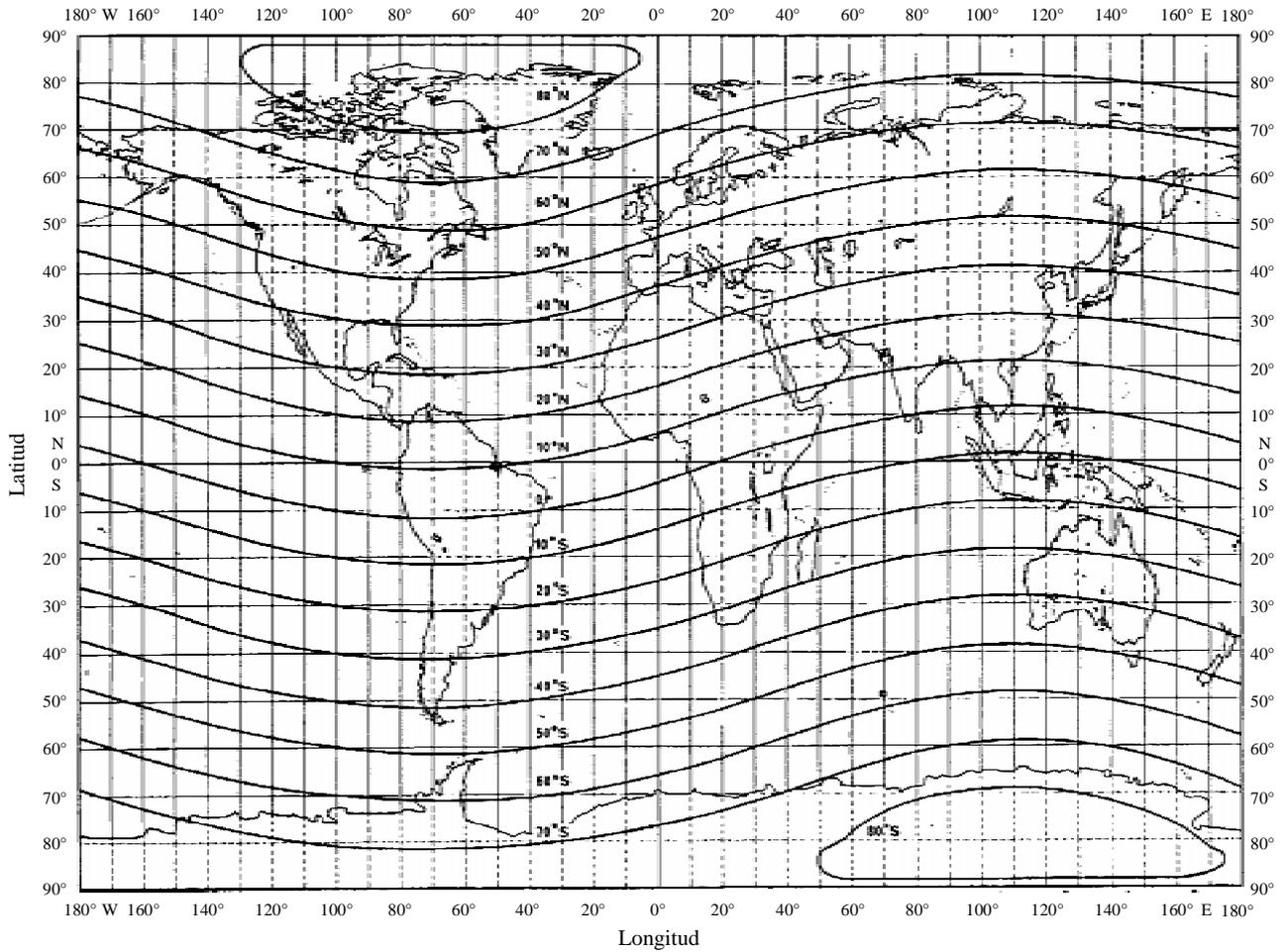
FIGURA 9
Coeficiente básico de pérdida



$$k = (2\pi + 4,95 \operatorname{tg}^2 \Phi) \quad \text{para } |\Phi| \leq 60^\circ$$

1147-09

FIGURA 10
Latitudes geomagnéticas



$$\Phi = \arcsin [\sin \alpha \cdot \sin 78,5^\circ + \cos \alpha \cdot \cos 78,5^\circ \cdot \cos (69^\circ + \beta)]$$

Φ : latitud geomagnética

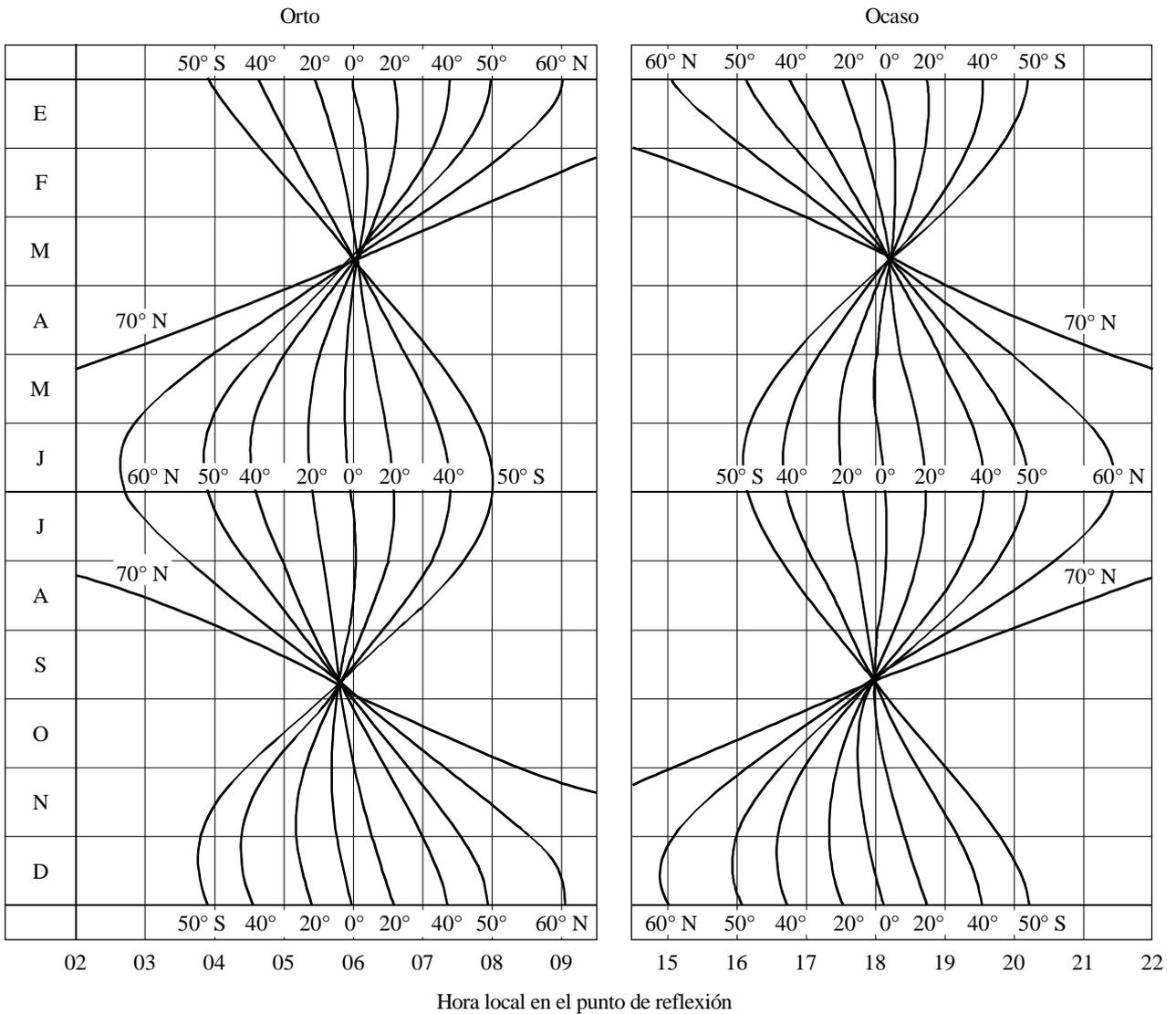
α : latitud geográfica

β : longitud geográfica

Las coordenadas Norte y Este se consideran positivas y las coordenadas Sur y Oeste negativas.

FIGURA 11

Horas de orto y de ocaso para diferentes meses y latitudes geográficas



1147-11

APÉNDICE 1

Este Apéndice contiene ecuaciones que se pueden utilizar en lugar de las Figs. 3 y 11 para el factor de pérdida horaria y las horas de salida y puesta del sol, respectivamente. A efectos del presente Apéndice se utilizan los siguientes símbolos adicionales:

Lista de símbolos

- α : latitud geográfica de un punto del trayecto (grados)
- β : longitud geográfica de un punto del trayecto (grados)
- S: hora media local del ocaso o del orto en un punto (h).

Las coordenadas Norte y Este se consideran positivas, y las coordenadas Sur y Oeste, negativas.

1 Factor de pérdida horaria, L_t

Las siguientes ecuaciones se pueden utilizar en lugar de las curvas de la Fig. 3, dentro de los límites fijados para t . Para las horas intermedias (es decir, cerca de medianoche), se toma $L_t = 0$.

$$L_t \text{ (ocaso)} = 12,40 - 9,248 t + 2,892 t^2 - 0,3343 t^3 \quad \text{para } -1 < t \text{ (ocaso)} < 4$$

$$L_t \text{ (orto)} = 9,6 + 12,2 t + 5,62 t^2 + 0,86 t^3 \quad \text{para } -3 < t \text{ (orto)} < 1$$

donde t es el número de horas con relación al ocaso o al orto en el punto medio del trayecto.

2 Horas de puesta y de salida del Sol (ocaso y orto)

Para ubicaciones no polares, es decir, tales que $|\alpha| < 65^\circ$, las horas del ocaso y del orto se pueden calcular como sigue, con una precisión de ± 2 min:

N : día del año (en días); por ejemplo, 1 de enero = 1

S' : hora local aproximada del suceso; por ejemplo, ocaso = 1800 h, orto = 0600 h

Z : distancia cenital del Sol (grados); es decir, $Z = 90,8333^\circ$ ($90^\circ 50'$) para el orto o el ocaso.

Paso 1: Se calcula la longitud del observador, B :

$$B = \beta / 15 \quad \text{h}$$

Paso 2: Se calcula la fecha del suceso, Y :

$$Y = N + (S' - B) / 24 \quad \text{días}$$

Paso 3: Se calcula la anomalía media del Sol, M :

$$M = 0,985600 Y - 3,289 \quad \text{grados}$$

Paso 4: Se calcula la longitud del Sol, L :

$$L = M + 1,916 \text{ sen } M + 0,020 \text{ sen } 2 M + 282,634 \quad \text{grados}$$

Obsérvese que se indica en qué cuadrante ocurre L .

Paso 5: Se calcula la ascensión recta del Sol, RA :

$$\text{tg } RA = 0,91746 \text{ tg } L$$

Obsérvese que RA debe estar en el mismo cuadrante que L .

Paso 6: Se calcula la declinación, del Sol, s :

sen $s = 0,39782$ sen L , siendo:

$$\cos s = + \sqrt{1 - \text{sen}^2 s}$$

Obsérvese que sen s puede ser positivo o negativo pero cos s debe ser siempre positivo.

Paso 7: Se calcula la hora solar local, H :

$$\cos H = x = (\cos Z - \text{sen } s \cdot \text{sen } \alpha) / (\cos s \cdot \cos \alpha)$$

Obsérvese que si $|x| > 1$, no hay ocaso u orto.

De cos H se obtiene H en grados; para el orto: $180 < H < 360$, para el ocaso: $0 < H < 180$.

Paso 8: Se calcula la hora media local del suceso, S :

$$S = H / 15 + RA / 15 - 0,065710 Y - 6,622$$

Obsérvese que S viene expresado en horas y deben añadirse o restarse múltiplos de 24 hasta que sea $0 < S < 24$.

Obsérvese que S es la hora local en el punto de que se trate. La hora legal correspondiente es $S - B + \beta_m / 15$ h, donde β_m es la longitud del meridiano de referencia del huso horario deseado (grados), de modo que, por ejemplo, el tiempo universal = $S - B$.

Precisión del método

Este método se aplica para trayectos comprendidos entre 50 a 12 000 km de longitud en las bandas de ondas kilométricas y hectométricas. No obstante, en la banda de ondas kilométricas sólo ha sido comprobado para trayectos de hasta 7 500 km.

El tratamiento especial de la parte sur de la Región 3 podría no haber sido necesario si se hubiera usado una «latitud geomagnética corregida» en vez de una latitud geomagnética. De todos modos, el método debe utilizarse con cautela para latitudes geomagnéticas superiores a 60° .

La ecuación (6) que describe la modificación de G_5 en función de la distancia s_2 a la próxima sección de tierra es teórica y debe considerarse, en consecuencia, provisional en tanto no se disponga de mediciones.

Con este método se predice la intensidad de campo que hay probabilidad de observar si tanto el transmisor como el receptor están situados en terreno de conductividad media, típicamente de 3 a 10 mS/m. En ciertas zonas (véase, por ejemplo, la Recomendación UIT-R P.832), la conductividad del suelo puede bajar hasta 0,5 mS/m o aumentar hasta 40 mS/m. Si la conductividad del suelo es un orden de magnitud inferior a 10 mS/m en uno u otro terminal, la intensidad de campo será hasta 10 dB menor. Si la conductividad del suelo es un orden de magnitud inferior en ambos terminales, la reducción de la intensidad de campo será el doble. El valor de la atenuación depende de la longitud del trayecto, y llega a ser máximo por ondas que se aproximan a la incidencia rasante. El método puede mejorarse haciendo una corrección cuando la conductividad del suelo es sensiblemente distinta de la de un suelo medio, por ejemplo utilizando la información contenida en el Manual del UIT-R – La ionosfera y sus efectos en la propagación de las ondas radioeléctricas.

En este método se parte de la hipótesis de que la reflexión se produce exclusivamente en la capa E o que las reflexiones en esa capa son preponderantes. Sin embargo, si $f > (foE) \sec i$, donde foE es la frecuencia crítica de la capa E e i es el ángulo de incidencia en la capa E, la onda atravesará la capa E y se reflejará en la capa F. Hay probabilidad máxima de que esto suceda en las frecuencias más altas de la banda de ondas kilométricas a distancias terrestres inferiores a 500 km, especialmente a altas horas de la noche y durante el periodo de mínima actividad solar. El método puede utilizarse de todos los modos, siempre que se calcule p para reflexión en la capa F a una altura de 220 km y la fuerza cimomotriz V para el ángulo de elevación correspondiente.

Las mediciones efectuadas en los Estados Unidos de América permiten pensar que es probable que la Fig. 3 (factor de pérdida horaria) sea precisa para las frecuencias cercanas a 1 000 kHz en un año de escasa actividad solar. Si la frecuencia se desvía en cualquier dirección desde unos 1 000 kHz, en particular durante las horas de transición, pueden producirse apreciables errores. Estas mediciones sugieren también que la magnitud del efecto de actividad solar dos horas después de la puesta del Sol es considerablemente mayor que seis horas después de dicha puesta del Sol. Así, en un año de alta actividad solar, la diferencia entre las intensidades de campo registrada seis horas después y dos horas después de la puesta del Sol puede ser considerablemente mayor que la que muestra la Fig. 3.

Durante la noche, en la banda de ondas hectométricas la onda ionosférica que se propaga en latitudes templadas tiene mayor intensidad en primavera y otoño y menor en verano e invierno, siendo el mínimo veraniego el más acentuado. La variación total puede ascender a 15 dB en las frecuencias más bajas de la banda de ondas hectométricas, descendiendo hasta unos 3 dB en el borde superior de la banda. En la banda de ondas kilométricas la variación estacional durante la noche presenta la tendencia opuesta, con un máximo acentuado en verano. La variación estacional es mucho menor en latitudes tropicales.

ANEXO 2

Análisis de la propagación de la onda ionosférica diurna**1 Casos en ondas kilométricas**

Las intensidades de campo al mediodía en ondas kilométricas son de 7 a 45 dB inferiores que los valores a medianoche. La diferencia depende de la frecuencia, la distancia y la estación (véase también la Recomendación UIT-R P.684).

2 Casos en ondas hectométricas

Los datos disponibles muestran que las intensidades de campo de la onda ionosférica al mediodía presentan importantes variaciones según la estación, que llegan a su punto máximo en los meses invernales. La intensidad de campo promedio durante los meses de invierno es de unos 10 dB superior al valor mediano anual y la relación entre el invierno y el verano puede exceder de 30 dB. El valor mediano anual de la intensidad del campo al mediodía es aproximadamente 43 dB inferior a seis horas después de la puesta del sol. La intensidad de campo rebasada durante el 10% en los días del año es aproximadamente 13 dB superior al valor mediano anual. Véase también el Manual del UIT-R – La ionosfera y sus efectos en la propagación de las ondas radioeléctricas.
