

RECOMENDACIÓN 683*

MÉTODO PARA LA PREDICCIÓN DE LA INTENSIDAD DE CAMPO DE LA ONDA IONOSFÉRICA CUANDO SE PROPAGA EN DIRECCIÓN DE AERONAVES A UNOS 500 kHz

(Programa de Estudios 31D/6)

(1990)

El CCIR,

CONSIDERANDO

- a)* que en la Cuestión 53-2/8, relativa a la utilización de frecuencias por el servicio móvil marítimo en la banda 435-526,5 kHz, se pregunta entre otras cosas, cuáles son los criterios de compartición con otros servicios, tomando en consideración los mecanismos de propagación para una antena receptora situada muy por encima del nivel del suelo;
- b)* que en la Recomendación 435 se da un método para la predicción de la intensidad de campo de la onda ionosférica en el caso de receptores cercanos al suelo; y que en el § 6 del anexo I a dicha Recomendación se facilita información sobre la precisión de tal método,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

Que se utilice el método descrito en el anexo I para la predicción de la intensidad de campo de la onda ionosférica a unos 500 kHz en las proximidades de una aeronave en vuelo alto.

ANEXO I

1. Introducción

Este método de predicción proporciona la intensidad de campo de la onda ionosférica durante la noche en la posición ocupada por una aeronave cuando se radia una potencia dada desde una antena vertical corta en 500 kHz. Es aplicable para trayectos de hasta 4000 km y debe utilizarse con precaución para latitudes geomagnéticas superiores a 60°.

El campo electromagnético de la onda ionosférica en la aeronave estará en general polarizado elípticamente. Las antenas de aeronave pueden responder diferentemente a campos verticales y horizontales, y el efecto combinado de estos campos puede depender del tamaño de la aeronave y de su rumbo con respecto al sentido de llegada de la onda ionosférica. Además, el suelo reflejará la onda descendente y, por ello, el campo de la onda ionosférica en la aeronave dependerá también del coeficiente de reflexión y del ángulo de llegada de la onda descendente. Asimismo la ubicación del punto de reflexión cambiará rápidamente según se desplaza la aeronave. Además, pueden existir diferencias importantes entre las intensidades de campo predichas y los datos medidos para ángulos de llegada bajos.

Por tanto, el método de predicción sólo indica los valores máximos de las componentes vertical y horizontal del campo que se medirán en la proximidad de la aeronave después de tener en cuenta las reflexiones locales en el suelo.

Las fórmulas para la intensidad de la onda ionosférica descendente se indican en el § 2 y las fórmulas para los valores máximos de las componentes vertical y horizontal del campo eléctrico en la proximidad de la aeronave figuran en el § 3.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 8.

2. Intensidad de campo de la onda ionosférica descendente

En general, la onda ionosférica descendente está polarizada elípticamente. La densidad de flujo de potencia de la onda descendente puede representarse por una intensidad de campo equivalente dada por:

$$E_D = V + G_S + G_0 - L_{pt} + A_0 - 20 \log p - 10^{-3} k_R p - L_t \quad (1)$$

siendo:

E_D : 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, para la onda descendente,

V : fuerza cimomotriz del transmisor, en 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, en el transmisor (dB) (véase el § 2.3),

G_0 : parámetro indicado en la fig. 1 como una función de d (dB),

L_{pt} : pérdida adicional por acoplamiento de polarización en el transmisor (dB) (véase el § 2.4),

$A_0 = 101,6 - 2 \sin \Phi$, donde Φ es el ángulo definido por la fórmula (12),

p : distancia real del trayecto de propagación (km) (véase el § 2.5),

k_R : factor de pérdida, que incluye los efectos de la absorción ionosférica de enfoque y de la pérdida en los terminales y entre saltos en los trayectos de varios saltos (véase el § 2.6),

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

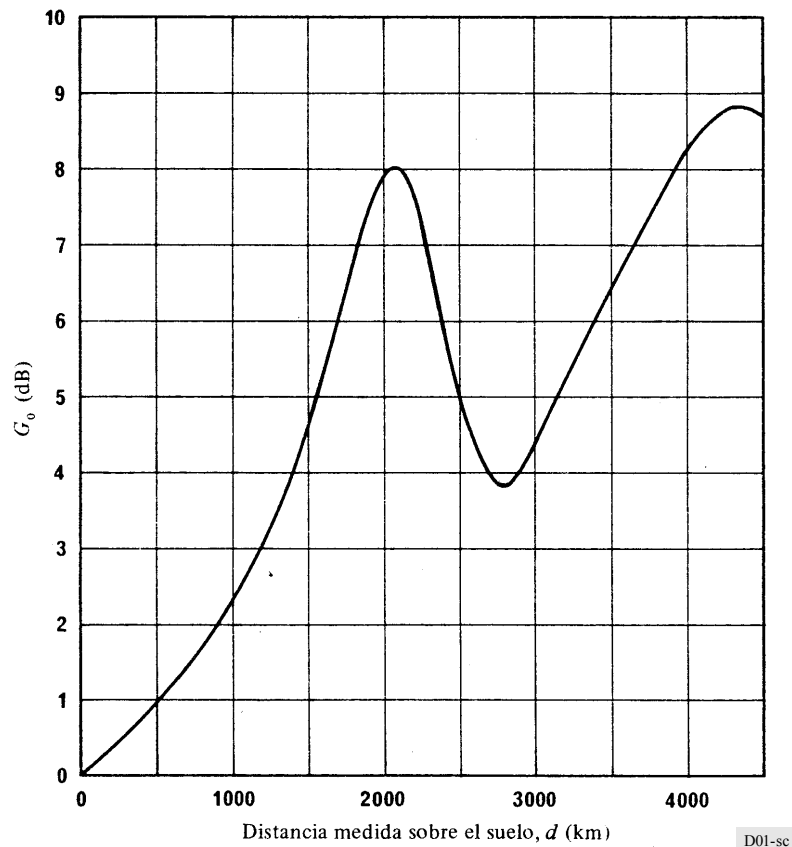


FIGURA 1 – Ganancia debida a la proximidad del mar, G_0 , para un transmisor situado en la costa

Nota. – Esta curva no es la misma que la curva A de la fig. 2 de la Recomendación 435, puesto que se aplica a 500 kHz.

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 V se indica como sigue:

$$V = P + 20 \log (d / p) \tag{2}$$

siendo:

- P : potencia radiada (dB(1 kW)),
- d : distancia medida sobre el suelo (km),
- p : distancia real del trayecto de propagación (km).

Para trayectos superiores a 1000 km, V es aproximadamente igual a P .

Nota – La fuerza cimomotriz de referencia de 0 dB (300 V) corresponde a una potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta (p.r.a.v.) de 1 kW.

2.3 *Ganancia debida a la proximidad del mar*

G_S es la ganancia adicional de la señal cuando el transmisor está situado cerca del mar, pero no se aplica a la propagación sobre agua dulce. Si un solo terminal está cerca del mar, G_S viene dada por:

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

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

siendo:

- G_0 : ganancia cuando el transmisor está en la costa y el mar no está oculto por algún obstáculo del terreno,
 - c_1 : corrección para tener en cuenta la distancia entre el transmisor y el mar,
 - c_2 : corrección para tener en cuenta la anchura de uno o más pasajes de mar, o la presencia de islas.
- G_0 viene expresada en la fig. 1 en función de d .

La corrección c_1 viene expresada por:

$$c_1 = \frac{s_1}{r_1} G_0 \tag{5}$$

siendo:

- s_1 : distancia del transmisor al mar, medida a lo largo del trayecto de círculo máximo (km),
- $r_1 = 1,4 G_0^2$ (km).

La corrección c_2 viene expresada por:

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

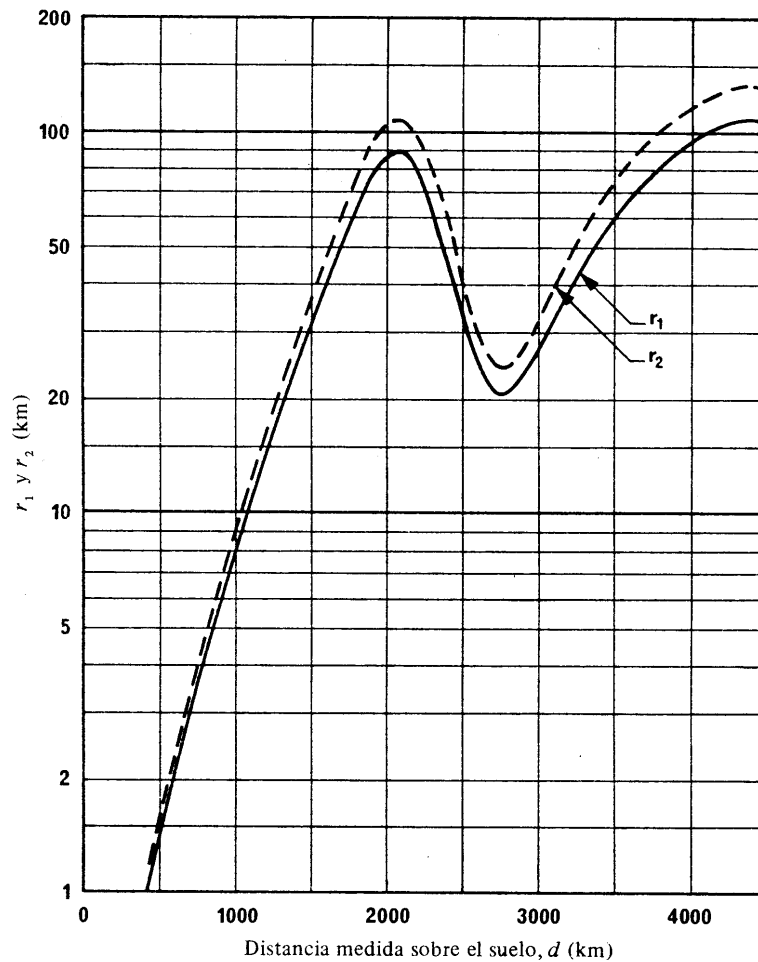
$$c_2 = 0 \quad \text{cuando } s_2 \geq r_2 \tag{7}$$

siendo:

- s_2 : distancia del transmisor a la próxima sección de tierra, medida a lo largo del trayecto de círculo máximo (km),
- $r_2 = 1,7 G_0^2$ (km).
- α : proporción de tierra en la sección r_2 y s_2 ($0 < \alpha \leq 1$).

Si se utiliza un computador, pero no se dispone de un banco de datos relativos al terreno que permite 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. 2 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, muestra también el valor de r_2 , la mayor distancia a la siguiente sección de tierra para la que se precisa la corrección c_2 .

FIGURA 2 – Valores de r_1 y r_2

D02-sc

2.4 Pérdida por acoplamiento de polarización en el transmisor, L_{pt}

L_{pt} es la pérdida adicional por acoplamiento de polarización, que viene dada por una de las dos fórmulas siguientes:

$$L_{pt} = 180 (36 + \theta^2 + I^2)^{-1/2} - 2 \quad \text{dB} \quad \text{si } I \leq 45^\circ$$

$$L_{pt} = 0 \quad \text{si } I > 45^\circ \quad (8)$$

donde I es la inclinación magnética, en grados Norte o Sur, en el transmisor y θ es el acimut del trayecto medido en grados con relación a la dirección magnética Este-Oeste, de tal forma que $|\theta| \leq 90^\circ$. 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. 11 y 12 de la Recomendación 435.

La fig. 3 muestra los valores de L_{pt} calculados por medio de la ecuación (8).

2.5 Distancia real del trayecto de propagación, p

Para trayectos superiores a 1000 km, p es aproximadamente igual a la distancia medida sobre el suelo d . 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. Deberá utilizarse en todos los casos en los que la gama de distancias comprenda distancias mayores y menores de 1000 km, para evitar discontinuidades de la intensidad de campo en función de la distancia.

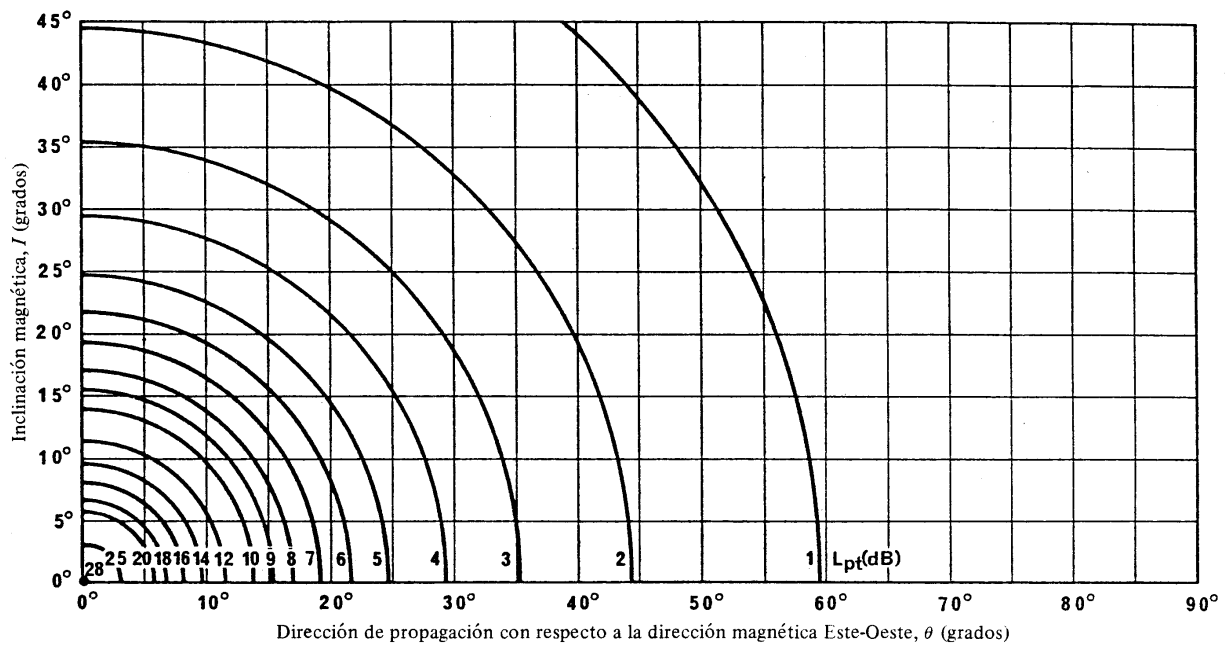


FIGURA 3 – Pérdida adicional por acoplamiento de polarización, L_{pt}

D03-sc

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

2.6 Factor de pérdida, k_R

El factor de pérdida k_R viene dado por la expresión:

$$k_R = k + 10^{-2} b R \tag{10}$$

siendo:

R : media móvil del número relativo internacional de manchas solares correspondientes a 12 meses, y

$b = 4$ para los trayectos de América del Norte,

$b = 1$ para Europa y Australia, y

$b = 0$ en cualquier otra parte.

El factor básico de pérdida viene dado por la expresión:

$$k = 3,2 + 2,28 \operatorname{tg}^2 (\Phi + 3) \tag{11}$$

Si Φ es superior a 60° , la ecuación (11) se calcula para $\Phi = 60^\circ$. Si Φ es inferior a -60° , la ecuación (11) se calcula para $\Phi = -60^\circ$. La fig. 15 de la Recomendación 435 (curva para 500 kHz) muestra valores de k calculados a partir de la ecuación (11) en aplicación de estas normas.

En trayectos inferiores a 3000 km:

$$\Phi = 0,5 (\Phi_T + \Phi_R) \tag{12}$$

donde Φ_T y Φ_R son respectivamente las latitudes geomagnéticas del transmisor y del receptor, determinadas suponiendo un modelo de campo magnético terrestre equivalente al producido por un dipolo colocado en el centro de la Tierra y cuyo polo Norte tiene las coordenadas geográficas $78,5^\circ$ N y 69° W. Φ_T y Φ_R son positivos para el hemisferio Norte y negativos para el hemisferio Sur (véase la fig. 16 de la Recomendación 435). Los trayectos superiores a 3000 km se

dividen en dos secciones iguales que se consideran separadamente. El valor de Φ para cada semitrayecto se obtiene tomando el promedio de las latitudes geomagnéticas correspondientes a un terminal y a un punto medio del trayecto total, suponiendo que la latitud geomagnética correspondiente al punto medio del trayecto total es la media de Φ_T y Φ_R . En consecuencia:

$$\Phi = 0,25 (3\Phi_T + \Phi_R) \quad \text{para la primera mitad del trayecto} \quad (13)$$

$$\Phi = 0,25 (\Phi_T + 3\Phi_R) \quad \text{para la segunda mitad} \quad (14)$$

A continuación se promedian los valores de k calculados a partir de la ecuación (11) para cada uno de los semitrayectos y se llevan a la ecuación (10).

2.7 Factor de pérdida horaria, L_t

El factor de pérdida horaria, L_t viene dado en la fig. 3, de la Recomendación 435, que representa el promedio de las variaciones de la mediana anual en Europa y Australia, calculado, respectivamente, mediante las figs. 2 y 6 del Informe 431. El tiempo t representa el número de horas después del ocaso o antes del orto, 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 el Sol o antes salga.

En la fig. 17 de la Recomendación 435 se indican las horas del ocaso y del orto para varias latitudes geográficas.

3. Intensidad de campo en la proximidad de la aeronave

La onda ionosférica descendente se reflejará en el suelo y la intensidad de campo resultante en la proximidad de la aeronave será la suma de vectores de las ondas ionosférica descendente y de la onda reflejada en el suelo. La intensidad de campo será máxima cuando las dos ondas se sumen en fase. Se supone que la intensidad de campo resultante sea 6 dB mayor que la de la onda descendente porque siempre es posible su adición en fase.

El campo eléctrico resultante puede resolverse en una componente horizontal transversal, E_{HT} , y en una componente que se halla en el plano vertical. Esta última componente, que no es vertical por sí misma, puede a su vez resolverse en una componente vertical E_V y una componente horizontal longitudinalmente E_{HL} .

Cabe señalar que el campo total también puede contener una onda de superficie; por ejemplo, en las aeronaves que vuelan a alturas del orden de 11 km, la onda de superficie puede recibirse a distancias de hasta 400 km. Sin embargo, este método de predicción no tiene en cuenta esta onda de superficie.

3.1 Componente vertical

La intensidad de campo eléctrica vertical máxima, E_V , en la aeronave viene dada por:

$$E_V = E_D - L_{pv} + 5 + 20 \log (d/p) \quad (15)$$

siendo:

L_{pv} : pérdida adicional por acoplamiento de polarización en el receptor, para polarización vertical.

L_{pv} viene dada por la ecuación (8) sustituyendo L_{pt} por L_{pv} . Deben utilizarse valores de θ e I que correspondan a la posición de la aeronave.

3.2 Componente horizontal transversal

La intensidad de campo horizontal transversal máxima, E_{HT} , en la aeronave viene dada por:

$$E_{HT} = E_D - L_{ph} + 6 \quad (16)$$

siendo

L_{ph} : exceso de pérdida por acoplamiento de polarización para polarización horizontal.

L_{ph} se indica en la fig. 4. Los valores derivados a partir de la fig. 4 para latitudes templadas deben utilizarse con precaución para trayectos inferiores a 500 km.

3.3 Componente horizontal longitudinal

La intensidad de campo eléctrica horizontal longitudinal máxima, E_{HL} , en la aeronave viene dada por:

$$E_{HL} = E_D - L_{pv} + 51 - 20 \log p \quad (17)$$

E_{HL} puede pasarse por alto para trayectos superiores a 1000 km.

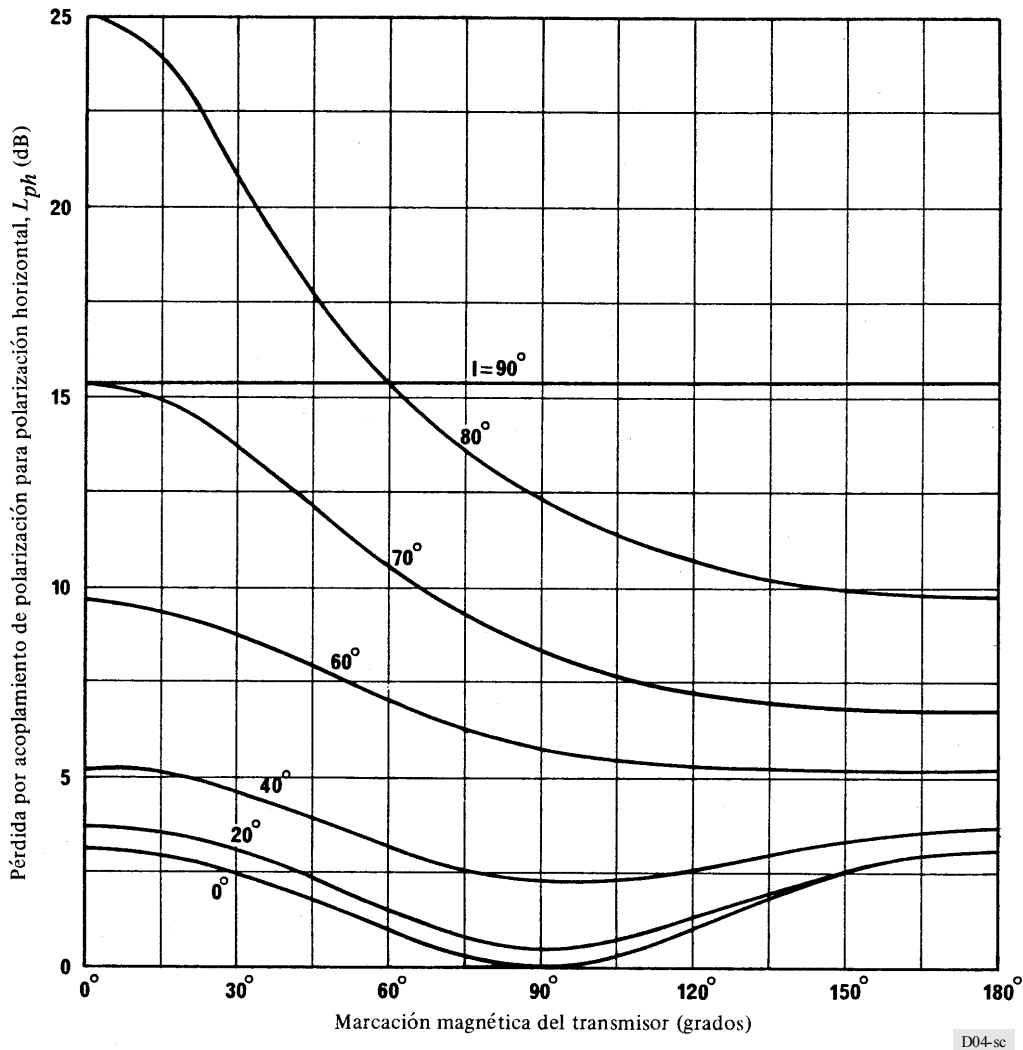


FIGURA 4 – Pérdida por acoplamiento de polarización para polarización horizontal, L_{ph} en función del ángulo de marcación magnética del transmisor, para diferentes ángulos de inclinación magnética

I : Ángulo de inclinación magnética, Norte o Sur (grados).

Nota. – Si la aeronave está al Norte de la inclinación magnética cero, la marcación magnética del transmisor se realiza desde el Norte magnético. Si la aeronave está al Sur de la inclinación magnética cero, la marcación se realiza desde el Sur magnético.

4. Variación de la intensidad de campo

La intensidad de campo excedida durante el 10% del tiempo total en una serie de noches, en el curso de una estación dada, durante cortos periodos de tiempo centrados en una hora determinada, es 8 dB mayor que el valor de E_D dado en el § 2. Pueden observarse valores superiores durante el periodo de máxima actividad solar.

Durante la noche, en 500 kHz, 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. La variación estacional es mucho menor en latitudes tropicales.

5. Intensidad de campo durante el día

En Europa, el valor mediano de la intensidad de campo durante el día en invierno es inferior en 25 dB al valor durante la noche de E_D definido en el § 2. En verano la intensidad de campo durante el día es inferior en unos 60 dB a E_D .

En primavera y otoño, en Europa, las intensidades de campo durante el día tienen valores situados entre los valores de verano e invierno.