

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.368-10
(08/2022)

**Método de predicción de la propagación
por onda de superficie para frecuencias
comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz**

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 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, 2023

© UIT 2023

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.368-10

Método de predicción de la propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz

(1951-1959-1963-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1992-2005-2007-2022)

Cometido

En esta Recomendación se proporciona información sobre la intensidad de campo y su dependencia de las características del terreno debido a la propagación por onda de superficie a frecuencias inferiores a 30 MHz.

Palabras clave

Propagación por onda de superficie, baja frecuencia, alta frecuencia

Recomendaciones y Manuales UIT-R relacionados

Recomendación UIT-R P.341

Recomendación UIT-R P.525

Recomendación UIT-R P.526

Recomendación UIT-R P.527

Recomendación UIT-R P.684

Recomendación UIT-R P.1321

Manual de Radiometeorología (Edición de 2013)

NOTA – Debe utilizarse la última revisión/edición de la Recomendación/Manual.

Lista de símbolos en los Anexos 1 y 2

ϵ_r	Permitividad relativa
λ	Longitud de onda
σ	Conductividad
L_b, A_i	Pérdida de transmisión básica
E	Intensidad de campo
k	Número de onda
S_i	<i>i</i> ésima sección
d_i	Longitud de la <i>i</i> ésima sección
σ_i	Conductividad de la <i>i</i> ésima sección
ϵ_i	Permitividad de la <i>i</i> ésima sección
E_R	Intensidad de campo calculada desde el receptor
E_T	Intensidad de campo calculada desde el transmisor
E_X	Intensidad de campo en el trayecto mixto

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

que, por la complejidad del cálculo de la intensidad de campo de la onda de superficie, sería útil disponer de un método de predicción de la propagación por onda de superficie aplicable a las frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz y a características del suelo arbitrarias,

recomienda

1 que se utilice el software integral del método de predicción del Anexo 1, aplicable a las condiciones que se indican, para la determinación de la intensidad de campo de la onda de superficie para las frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz;

2 que, por regla general, se utilicen estos métodos para dicha determinación de la intensidad de campo sólo en los casos en que se sepa con certeza que la amplitud de las reflexiones ionosféricas es despreciable;

3 que no se utilicen estos métodos cuando la antena receptora esté situada a una altura considerable por encima de la superficie de la Tierra;

NOTA 1 – Cuando $\epsilon_r \ll 60\lambda\sigma$ este método de predicción podrá utilizarse hasta una altura $h = 1,2 \sigma^{1/2} \lambda^{3/2}$. Las curvas de propagación correspondientes a alturas de antena de hasta 3 000 m y a frecuencias de hasta 10 GHz se pueden encontrar en la publicación de la UIT titulada «Manual de curvas de propagación de las ondas radioeléctricas sobre la superficie de la Tierra»;

4 que estos métodos de predicción se utilicen también para la determinación de la intensidad de campo en trayectos mixtos, de acuerdo con lo indicado en el Anexo 2.

Anexo 1

Intensidad de campo de la onda de superficie en frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz

El método de predicción de la presente Recomendación es aplicable en las siguientes condiciones:

- la Tierra es una esfera homogénea lisa;
- frecuencias comprendidas entre 10 kHz and 30 MHz;
- en la troposfera se supone que el índice de refracción disminuye linealmente en función de la altura;
- las antenas transmisoras y las receptoras se hallan situadas en la superficie de la Tierra o cerca de ella;
- el elemento radiante es un monopolo vertical corto en la superficie de una Tierra plana, perfectamente conductora que radia 1 kW, y la intensidad de campo a 1 km de distancia es de 300 mV/m, lo que corresponde a una fuerza cimomotriz de 300 V (véase la Recomendación UIT-R P.525); (véase en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R P.341 la intensidad de campo de otras antenas de referencia);
- la distancia entre el transmisor y el receptor es la distancia sobre el círculo máximo;
- los métodos de predicción dan el valor de la componente vertical de la intensidad del campo de radiación que puede efectivamente medirse en la región de campo lejano de la antena.

La implementación del software de este método de predicción forma parte integrante de la presente Recomendación y puede encontrarse en el archivo zip [R-REC-P.368-10-202208-I!!ZIP-E.zip](#).

NOTA 1 – La pérdida básica de transmisión correspondiente a las mismas condiciones en función de las cuales se calcularon las curvas puede obtenerse a partir del valor del campo E (dB(μ V/m)), utilizando la ecuación siguiente:

$$L_b = A_i = 142,0 + 20 \log_{10} f_{\text{MHz}} - E \quad \text{dB}$$

Para la influencia del entorno en ambas antenas, transmisora y receptora, consúltese la Recomendación UIT-R P.341.

NOTA 2 – Incluso en los casos en que la distancia entre ubicaciones es mucho menor que la distancia hasta el transmisor, las características eléctricas reales del terreno y las condiciones de recepción no serán idénticas. En muchos casos, la diferencia de niveles de una señal en ubicaciones cercanas sigue una distribución logarítmica normal con una desviación típica dentro de los límites de 3-4 dB, y valor medio de aproximadamente 3,5 dB.

La intensidad de campo por onda de superficie puede variar también con las temperaturas de las diferentes estaciones del año. La diferencia media anual entre los valores medianos mensuales de las intensidades de campo en invierno y verano, para la banda 500-1 000 kHz, oscila entre 5 dB (cuando la temperatura media en enero en el hemisferio Norte es +4°C) y 15 dB (cuando la temperatura media en el mes de enero en el hemisferio Norte es -16°C). Se han observado asimismo cambios estacionales a frecuencias comprendidas entre 150 y 280 kHz en la Europa continental. Estos cambios a frecuencias comprendidas entre 150 y 280 kHz aumentan de manera constante con la frecuencia y la distancia, pudiendo alcanzar 10-20 dB a distancias que oscilan entre los 1 000 y 2 000 km (véase asimismo la Recomendación UIT-R P.1321).

NOTA 3 – El método indica la intensidad de campo total a una distancia r con un error inferior a 1 dB cuando kr es superior a aproximadamente 10, donde $k = 2\pi/\lambda$. Pueden incluirse efectos de campos cercanos (por ejemplo, campos estáticos y de inducción), aumentando la intensidad de campo (dB) en:

$$10 \log_{10} \left\{ 1 - \frac{1}{(kr)^2} + \frac{1}{(kr)^4} \right\}$$

Como resultado se obtiene un campo total situado entre $\pm 0,1$ dB para el mar y para el suelo húmedo, y entre ± 1 dB para toda conductividad de suelo superior a 10^{-3} S/m.

NOTA 4 – En toda antena, si el emplazamiento está situado por encima de la elevación media del terreno a lo largo del trayecto entre las antenas, la altura efectiva de antena es la altura de la antena por encima de la elevación media del terreno a lo largo del trayecto. El valor de la altura efectiva de la antena debe compararse con el valor calculado de la altura límite de la antena del *recomienda* 3, para determinar si las curvas son válidas para el trayecto.

Las Fig. 1 y 2 son ejemplos de las curvas de intensidad de campo obtenidas en función de la distancia, con la frecuencia como parámetro de entrada.

FIGURA 1

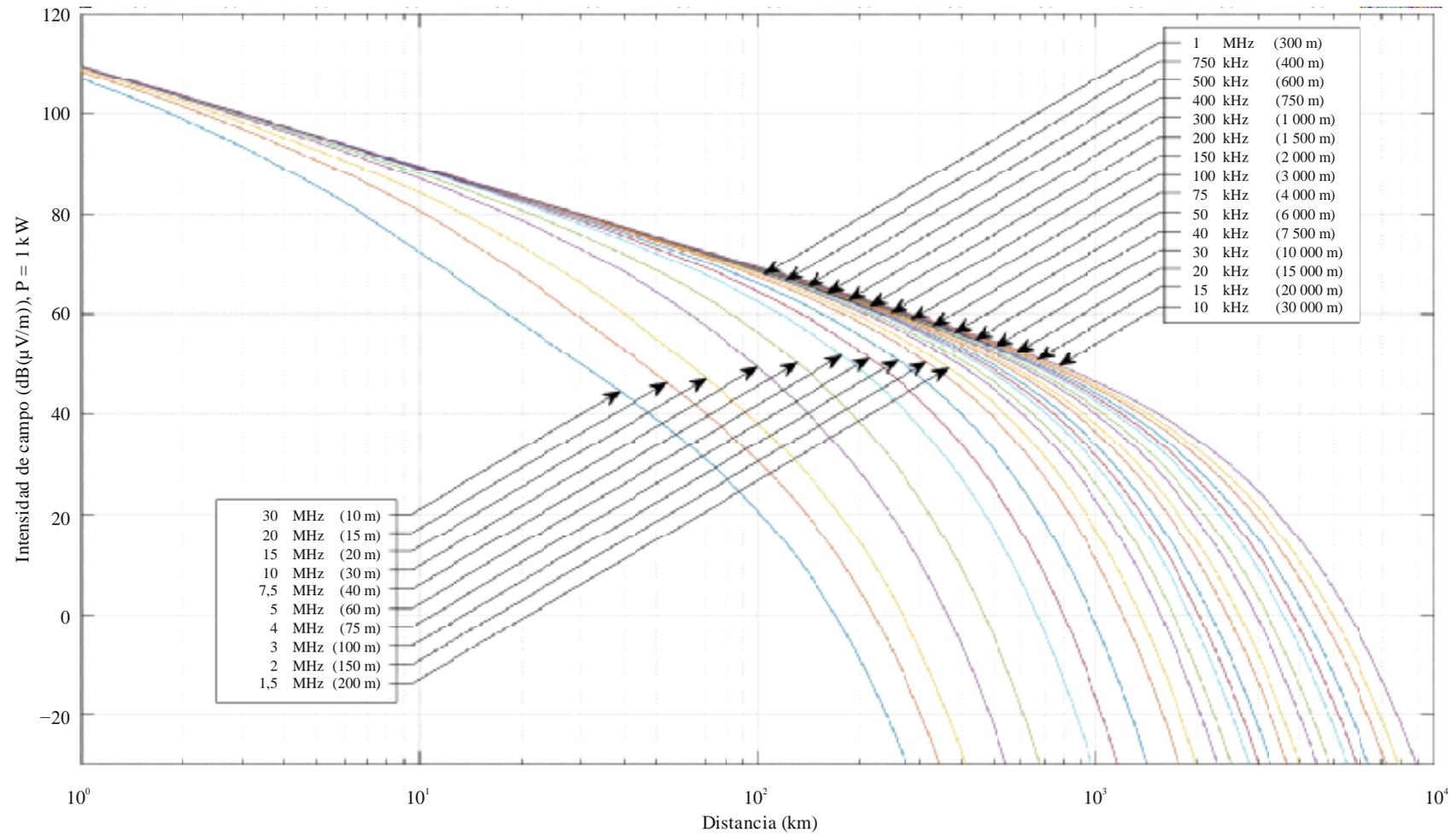
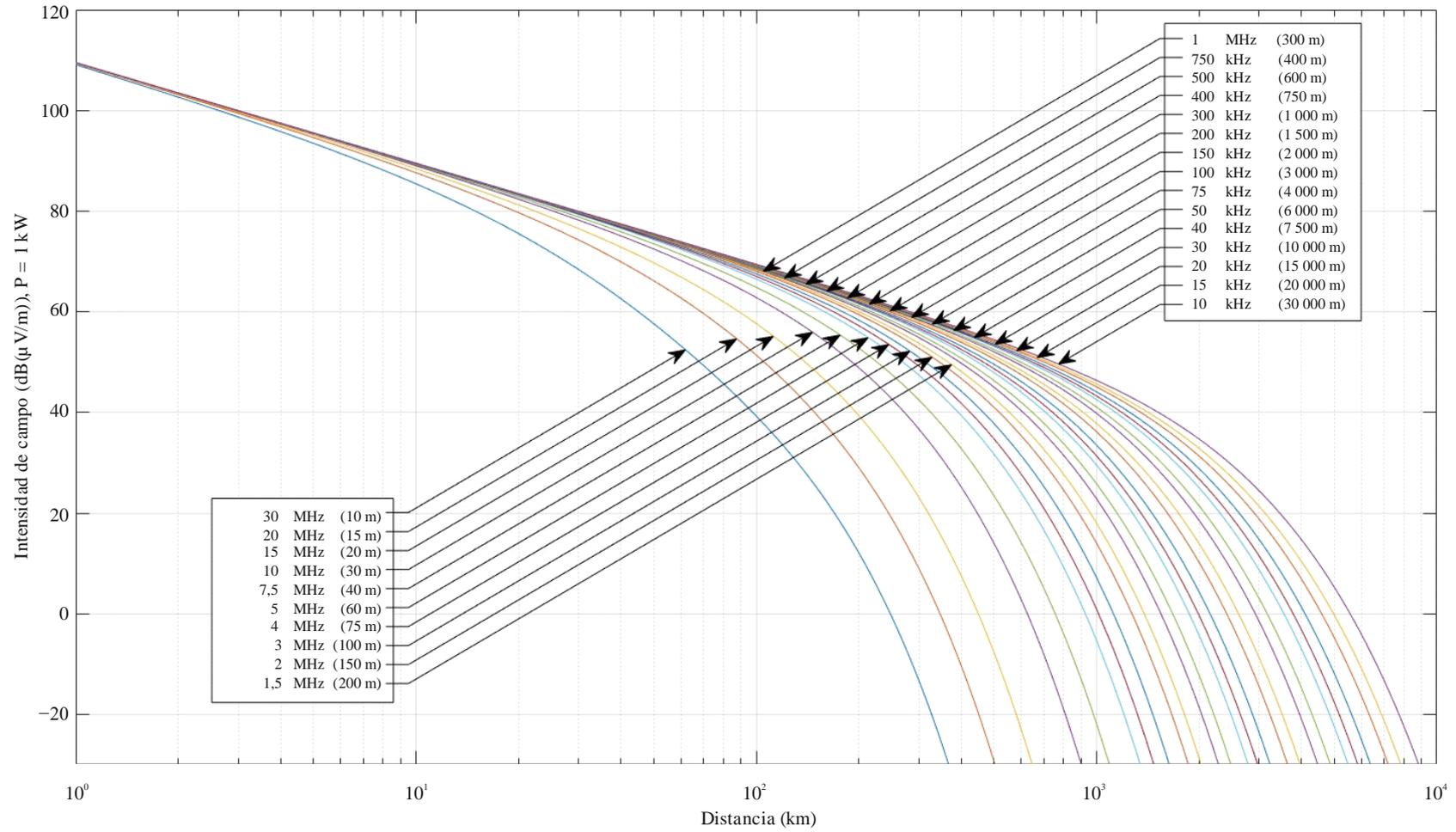
Curvas de propagación de onda de superficie LFMF; agua salada, salinidad baja, $\sigma = 1 \text{ S/m}$, $\epsilon_r = 80$ 

FIGURA 2

Curvas de propagación de onda de superficie LFMF; agua salada, salinidad media, $\sigma = 5 \text{ S/m}$, $\epsilon_r = 70$



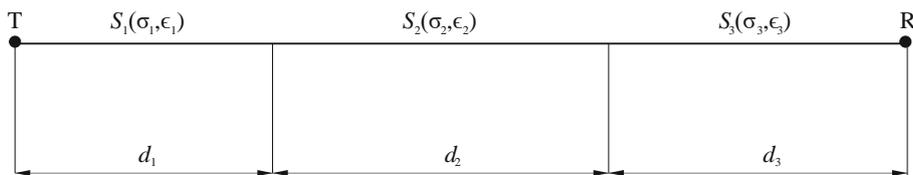
Anexo 2

Aplicación a trayectos mixtos (trayectos inhomogéneos)

1 El método de este Anexo pueden utilizarse para determinar la propagación por trayectos mixtos (Tierra lisa no homogénea), como se indica a continuación:

Esos trayectos pueden estar constituidos por las secciones S_1, S_2, S_3 , etc., de longitudes d_1, d_2, d_3 , etc., cuyas conductividades y permitividad son $\sigma_1, \epsilon_1; \sigma_2, \epsilon_2; \sigma_3, \epsilon_3$, tal como se indica en la Fig. 3:

FIGURA 3
Ejemplo de trayectos mixtos



P0368-03

El método de Millington utilizado en este Anexo para determinar la propagación sobre trayectos mixtos, es el más preciso disponible y satisface la condición de reciprocidad. En su aplicación se consideran disponibles los valores de intensidad de campo, E , correspondientes a los distintos tipos de terreno de las secciones S_1, S_2, S_3 , etc., supuestas individualmente homogéneas para el origen T , definido, por ejemplo, mediante una curva «inversa de la distancia». Los valores para cualquier otro origen podrán así obtenerse con sólo aplicar un coeficiente.

Se calcula para una determinada frecuencia el valor de la intensidad de campo $E_1(d_1)$ en $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ a la distancia d_1 para la sección S_1 . Del mismo modo, se calculan las intensidades de campo $E_2(d_1)$ y $E_2(d_1 + d_2)$ para la sección S_2 y las intensidades de campo $E_3(d_1 + d_2)$ y $E_3(d_1 + d_2 + d_3)$ para la sección S_3 .

La intensidad de campo E_R se calcula como:

$$E_R = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3) \quad (1)$$

Y la intensidad de campo E_T se calcula como:

$$E_T = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3 + d_2) - E_1(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1) \quad (2)$$

La intensidad de campo para el trayecto mixto, E_X , es entonces:

$$E_X = \frac{E_R + E_T}{2} \quad (3)$$

Las Fig. 4 y 5 son ejemplos de curvas de la intensidad de campo en función de la distancia, con las características eléctricas del suelo como parámetro de entrada.

FIGURA 4
 Propagación de la onda de superficie LFMF para distintos valores de σ y ϵ_r , $f= 30$ kHz

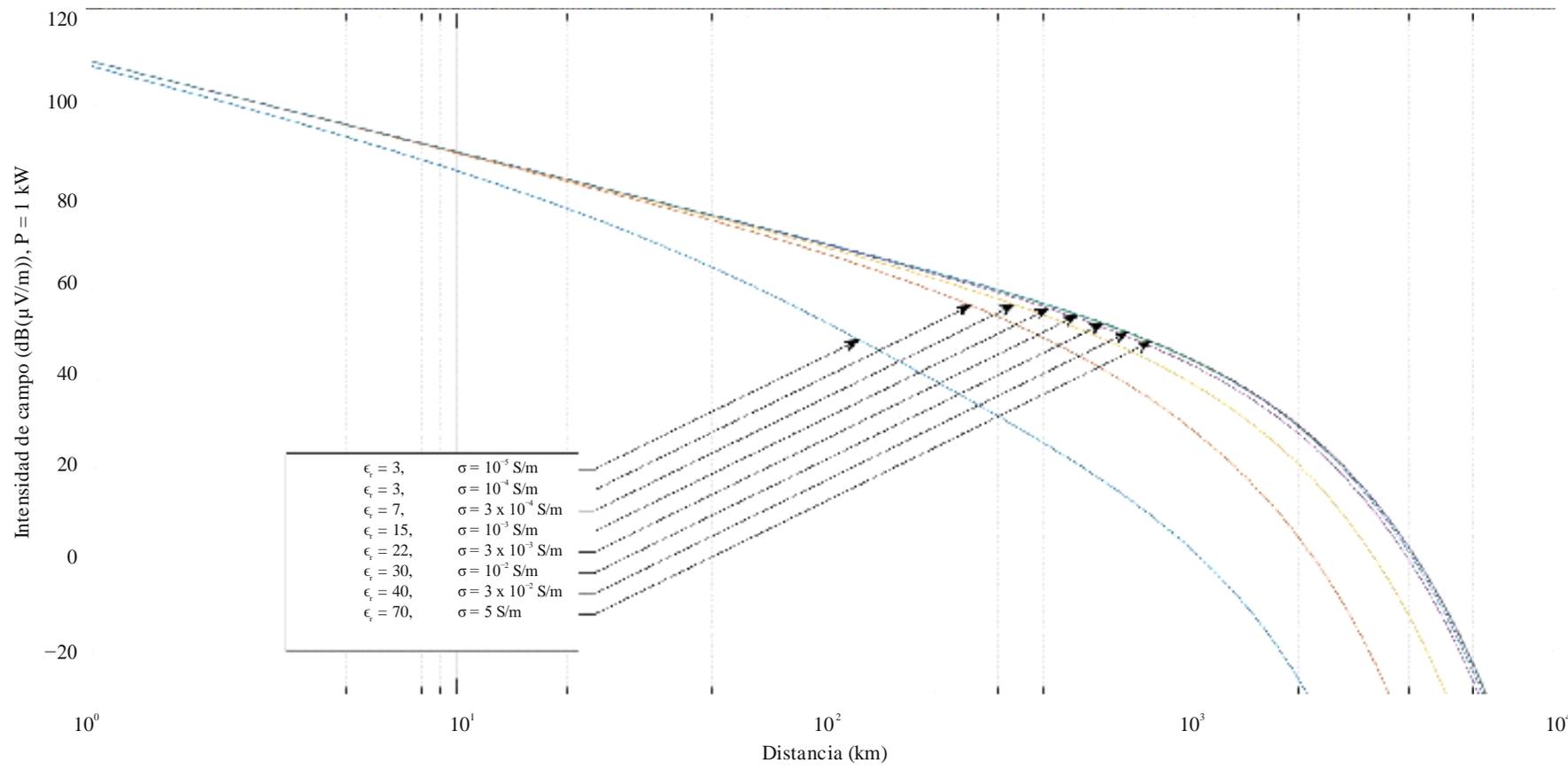


FIGURA 5

Propagación de la onda de superficie LFMF para distintos valores de σ y ϵ_r , $f = 60$ kHz