

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1245-2 (03/2012)

Modelo matemático de diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas inalámbricos fijos punto a punto con visibilidad directa para aplicarlo en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz unos 70 GHz

Serie F
Servicio fijo



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	Radioastronomía
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, 2014

© UIT 2014

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 F.1245-2*

Modelo matemático de diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas inalámbricos fijos punto a punto con visibilidad directa para aplicarlo en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz

(Cuestión UIT-R 110-2/5)

(1997-2000-2012)

Cometido

La presente Recomendación proporciona diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas inalámbricos fijos (FWS) punto a punto con visibilidad directa en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz. El análisis que realiza esta Recomendación puede utilizarse en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia cuando no se dispone de información particular relativa a la antena del FWS.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el diagrama de radiación de referencia de las antenas de un sistema inalámbrico fijo (FWS) punto a punto con visibilidad directa que figura en la Recomendación UIT-R F.699 permite deducir la envolvente de crestas de los diagramas de radiación de los lóbulos laterales;
- b) que, si se utiliza el diagrama de radiación de la envolvente de crestas para evaluar la interferencia combinada de un gran número de fuentes de interferencia, la interferencia predicha redundará en valores superiores a los valores que se registrarían en la práctica;
- c) que, en consecuencia, resulta necesario utilizar el diagrama de radiación de antena que representa niveles de radiación medios de los lóbulos laterales en los siguientes casos:
 - para predecir la interferencia combinada ocasionada a un satélite geoestacionario o no geoestacionario por numerosas estaciones de radioenlaces;
 - para predecir la interferencia combinada ocasionada a una estación de radioenlaces por un gran número de satélites geoestacionarios;
 - para predecir la interferencia ocasionada a una estación de radioenlaces por uno o más satélites no geoestacionarios bajo el ángulo continuamente variable que debería promediarse;
 - en todos los demás casos en que resulte adecuado utilizar el diagrama de radiación que representa los niveles de radiación medios de los lóbulos laterales;
- d) que resulta preferible una fórmula matemática sencilla como diagrama de radiación que representa los niveles de radiación medios de los lóbulos laterales;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4 y 7 de Radiocomunicaciones.

e) que es necesario además un modelo matemático para diagramas de radiación de antenas generalizados a fin de efectuar análisis estadísticos de interferencias relativos a unas pocas interferencias tales como las causadas por satélites geoestacionarios a sistemas del servicio fijo,

recomienda

1 que, en ausencia de información particular sobre el diagrama de radiación de la antena del FWS con visibilidad directa correspondiente, se utilice el modelo matemático del diagrama de radiación media que se expone más abajo para las aplicaciones indicadas en el *considerando* c);

2 que se adopte el siguiente modelo matemático del diagrama de radiación media para las frecuencias comprendidas en la gama 1-40 GHz y, provisionalmente, en la gama 40 GHz a unos 70 GHz;

2.1 cuando la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea superior a 100 ($D/\lambda > 100$) se empleará la ecuación siguiente (véanse las Notas 1 y 7):

$$\begin{aligned}
 G(\varphi) &= G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{para} & \quad 0^\circ < \varphi < \varphi_m \\
 G(\varphi) &= G_1 & \text{para} & \quad \varphi_m \leq \varphi < \text{m\acute{a}x}(\varphi_m, \varphi_r) \\
 G(\varphi) &= 29 - 25 \log \varphi & \text{para} & \quad \text{m\acute{a}x}(\varphi_m, \varphi_r) \leq \varphi < 48^\circ \\
 G(\varphi) &= -13 & \text{para} & \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ
 \end{aligned}$$

siendo:

$G_{m\acute{a}x}$: ganancia máxima de antena (dBi) (véase la Nota 2)

$G(\varphi)$: ganancia (dBi) con respecto a una antena isotrópica

φ : ángulo con relación al eje (grados)

D : diámetro de la antena } expresados en las mismas unidades
 λ : longitud de onda }

G_1 : ganancia del primer lóbulo lateral

$$= 2 + 15 \log (D/\lambda)$$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{m\acute{a}x} - G_1} \quad \text{grados}$$

$$\varphi_r = 12,02 (D/\lambda)^{-0,6} \quad \text{grados}$$

2.2 cuando la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea inferior o equivalente a 100 ($D/\lambda \leq 100$), se empleará la ecuación siguiente (véanse las Notas 3 y 7):

$$G(\varphi) = G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{para} \quad 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = 39 - 5 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi \quad \text{para} \quad \varphi_m \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = -3 - 5 \log (D/\lambda) \quad \text{para} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

3 que se tome provisionalmente como referencia el Anexo 1 para diagramas de radiación generalizados de las antenas de un FWS punto a punto que pueden utilizarse únicamente en análisis estadísticos de interferencia relativos a unas pocas interferencias tales como las causadas por satélites geoestacionarios a sistemas del servicio fijo (véase la Nota 9);

4 que las siguientes Notas se consideren parte de la presente Recomendación:

NOTA 1 – Los niveles de lóbulos laterales medios del § 2.1 son inferiores en 3 dB a los niveles de lóbulos laterales de la envolvente de crestas que figuran en el § 2.1 de la Recomendación UIT-R F.699.

NOTA 2 – La relación entre $G_{m\acute{a}x}$ y D/λ figura en la Recomendación UIT-R F.699.

NOTA 3 – El modelo matemático del § 2.2 se ha formulado basándose en el requisito de que la potencia total emitida de la antena no debería rebasar la potencia total aplicada a la antena.

NOTA 4 – El diagrama de radiación del § 2 es aplicable únicamente a una polarización (horizontal o vertical).

NOTA 5 – El diagrama de radiación incluido en esta Recomendación se aplica únicamente a antenas potencialmente simétricas.

NOTA 6 – El diagrama de radiación media de la presente Recomendación puede diferir en cierto modo de los diagramas de radiación de las antenas reales. Con esta Recomendación sólo se pretende ofrecer un modelo matemático para utilizarlo en la evaluación de la interferencia en lo que concierne a las aplicaciones señaladas en el *considerando c*).

NOTA 7 – Las antenas de los radioenlaces utilizan normalmente polarización lineal. En consecuencia, al evaluar la interferencia de un sistema que utilice una única polarización circular, como en el caso del acoplamiento de haz principal a haz principal de estaciones espaciales, la ganancia efectiva de la antena de los radioenlaces, $G_{eff}(\varphi)$, tomando en cuenta la ventaja que supone la polarización, puede estimarse recurriendo a la siguiente fórmula dentro de 3 dB de la dirección del eje de puntería para la región del lóbulo principal ($0 < \varphi < \varphi_{3\text{ dB}}$) en lugar de la primera fórmula del § 2.1 o el § 2.2 como se demuestra en el Anexo 2:

$$G_{eff}(\varphi) = G(\varphi) - 1,7 \quad \text{dBi}$$

donde $G(\varphi)$ es la ganancia con arreglo a la primera fórmula de los § 2.1 y § 2.2.

En la fórmula anterior se supone que la ganancia de antena de polarización cruzada para $0^\circ < \varphi < \varphi_{3\text{ dB}}$ es inferior en 20 dB a $G_{m\acute{a}x}$. No es de esperar que la ventaja que supone la polarización se verifique para $\varphi > \varphi_{3\text{ dB}}$, o cuando la estación esté fuera del haz principal de la antena del otro servicio.

El ángulo $\varphi_{3\text{ dB}}$ para el cual la ganancia copolarizada se encuentra 3 dB por debajo de la máxima ganancia $G_{m\acute{a}x}$ puede determinarse sustituyendo $G(\varphi)$ por $G_{m\acute{a}x} - 3\text{ dB}$ en la expresión de $G(\varphi)$ para $0^\circ < \varphi < \varphi_m$:

$$\varphi_{3\text{ dB}} \approx \frac{34,64}{\left(\frac{D}{\lambda}\right)}$$

NOTA 8 – Se invita a las administraciones y otros miembros del UIT-R a suministrar información en la que se comparen los niveles medios de lóbulos laterales y los diagramas de radiación generalizados indicados en esta Recomendación con los obtenidos mediante mediciones de diagramas de radiación en antenas reales. Dicha información puede servir de ayuda para un futuro desarrollo de esta Recomendación.

NOTA 9 – Se invita a las administraciones y otros miembros del UIT-R a examinar la posibilidad de ampliar la aplicación del modelo que figura en el Anexo 1.

Anexo 1

Modelo matemático de diagramas de radiación generalizados de antenas del servicio fijo punto a punto para aplicarlo en la evaluación estadística de la interferencia

1 Introducción

En la Recomendación UIT-R F.699 figuran los diagramas de radiación de referencia de antenas del servicio fijo punto a punto basados en la envolvente de crestas de los niveles de radiación de los lóbulos laterales. Por consiguiente, la evaluación de la interferencia mediante esta Recomendación llevará inevitablemente a una sobreestimación de las interferencias.

En cambio, el texto principal de esta Recomendación presenta un modelo matemático para diagramas de radiación media de antenas del servicio fijo punto a punto que representan niveles de radiación media de los lóbulos laterales. No obstante, esto puede aplicarse únicamente en el caso de múltiples fuentes de interferencia o fuentes de interferencias que varían con el tiempo.

Es necesario establecer un modelo matemático de diagramas de radiación de antenas generalizados para aplicarlo únicamente en el análisis estadístico espacial como por ejemplo la obtención de la función de distribución de probabilidad de la interferencia causada por unos pocos sistemas de satélites geoestacionarios a un gran número de sistemas o estaciones del servicio fijo.

2 Antenas con D/λ superior a 100

El diagrama de radiación de referencia de antenas con D/λ superior a 100, que representan la envolvente de crestas de niveles de radiación de los lóbulos laterales, aparece en el *recomienda* 2.1 de la Recomendación UIT-R F.699. Según dicho *recomienda*, el nivel medio del lóbulo lateral es 3 dB inferior a la envolvente de cresta del nivel del lóbulo lateral. Parece razonable suponer que los niveles reales de los lóbulos laterales varían sinusoidalmente. Por consiguiente, el diagrama de radiación real se expresará del modo siguiente:

$$G(\varphi) = \text{máx} [G_a(\varphi), G_b(\varphi)] \quad \text{para} \quad 0 \leq \varphi < \varphi_r \quad (1a)$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi + F(\varphi) \quad \text{para} \quad \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \quad (1b)$$

$$G(\varphi) = -10 + F(\varphi) \quad \text{para} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (1c)$$

siendo:

$$G_a(\varphi) = G_{\text{máx}} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad (1d)$$

$$G_b(\varphi) = G_1 + F(\varphi) \quad (1e)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log (D/\lambda) \quad \text{dB} \quad (2a)$$

$$\varphi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad \text{grados} \quad (2b)$$

$$F(\varphi) = 10 \log \left(0,9 \sin^2 \left(\frac{3 \pi \varphi}{2 \varphi_r} \right) + 0,1 \right) \quad \text{dB} \quad (2c)$$

donde se supone que φ_r corresponde al ángulo con respecto al eje de la cresta del primer lóbulo lateral y que la fase en $\varphi = \varphi_r$ es de $1,5\pi$. Cabe señalar que el argumento de la función del seno en la ecuación (2c) se expresa en radianes y que el valor de $F(\varphi)$ es casi cero o negativo. $F(\varphi) = 0$ corresponde a las crestas del lóbulo lateral. En la ecuación (2c) se introduce el valor 0,1 para evitar la situación en que $F(\varphi)$ corresponda a un valor por debajo de -10 dB.

3 Antenas con D/λ igual o inferior a 100

En el caso de las antenas con D/λ igual o inferior a 100, se dará por supuesto que los niveles de cresta del lóbulo lateral son 3 dB superiores al nivel medio del lóbulo lateral expresado en el texto principal de esta Recomendación.

Por consiguiente, el diagrama siguiente se presenta provisionalmente como un diagrama de radiación de la antena generalizado con D/λ igual o inferior a 100:

$$G(\varphi) = \text{máx} [G_a(\varphi), G_b(\varphi)] \quad \text{para} \quad 0 \leq \varphi < \varphi_r \quad (3a)$$

$$G(\varphi) = 42 - 5 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi + F(\varphi) \quad \text{para} \quad \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \quad (3b)$$

$$G(\varphi) = -5 \log (D/\lambda) + F(\varphi) \quad \text{para} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (3c)$$

donde:

$$G_a(\varphi) = G_{\text{máx}} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad (3d)$$

$$G_b(\varphi) = G_1 + F(\varphi) \quad (3e)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log (D/\lambda) \quad \text{dB} \quad (4a)$$

$$\varphi_r = 39,8 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,8} \quad \text{grados} \quad (4b)$$

$$F(\varphi) = 10 \log \left(0,9 \text{sen}^2 \left(\frac{3 \pi \varphi}{2 \varphi_r} \right) + 0,1 \right) \quad \text{dB} \quad (4c)$$

En este caso también cabe señalar que el argumento de la función del seno en la ecuación (4c) se expresa en radianes, que el valor de $F(\varphi)$ es casi cero o negativo y que $F(\varphi) = 0$ corresponde a las crestas del lóbulo lateral. El motivo por el que se introduce el valor 0,1 en la ecuación (4c) es el mismo que en el caso de la ecuación (2c).

4 Conclusión

Las ecuaciones (1a) a (1e) (junto con las ecuaciones (2a) a (2c)) y (3a) a (3e) (junto con las ecuaciones (4a) a (4c)) se presentan provisionalmente como modelos matemáticos de diagramas de radiación generalizados de antenas del servicio fijo punto a punto para ser utilizados únicamente en la evaluación estadística de la interferencia espacial.

Anexo 2

Obtención de $G_{eff}(\varphi)$ en la Nota 7 relativa a la ventaja de la polarización entre sistemas con polarización lineal y con polarización circular

1 Introducción

Las antenas de radioenlaces utilizan generalmente polarización lineal. Por tanto, cuando estas antenas reciben interferencia procedente de un sistema que utiliza polarización circular única, es importante evaluar las pérdidas del paso de polarización circular a polarización lineal, o las ventajas de polarización entre sistemas con polarización lineal y con polarización circular. En el caso ideal, las pérdidas del paso de polarización circular a polarización lineal serán de 3 dB. Los sistemas reales logran una discriminación por polarización algo inferior al caso de la situación ideal.

Este anexo presenta el método de obtención de las pérdidas por paso de polarización circular a lineal en casos prácticos.

2 Ecuación para las pérdidas de polarización en antenas no ideales

Las pérdidas de polarización en antenas no ideales vienen expresadas generalmente por la siguiente ecuación:

$$L_p = -10 \log \left(\frac{1}{2} + \frac{4r_w r_a + (r_w^2 - 1)(r_a^2 - 1) \cos 2\Delta\tau}{2(r_w^2 + 1)(r_a^2 + 1)} \right)$$

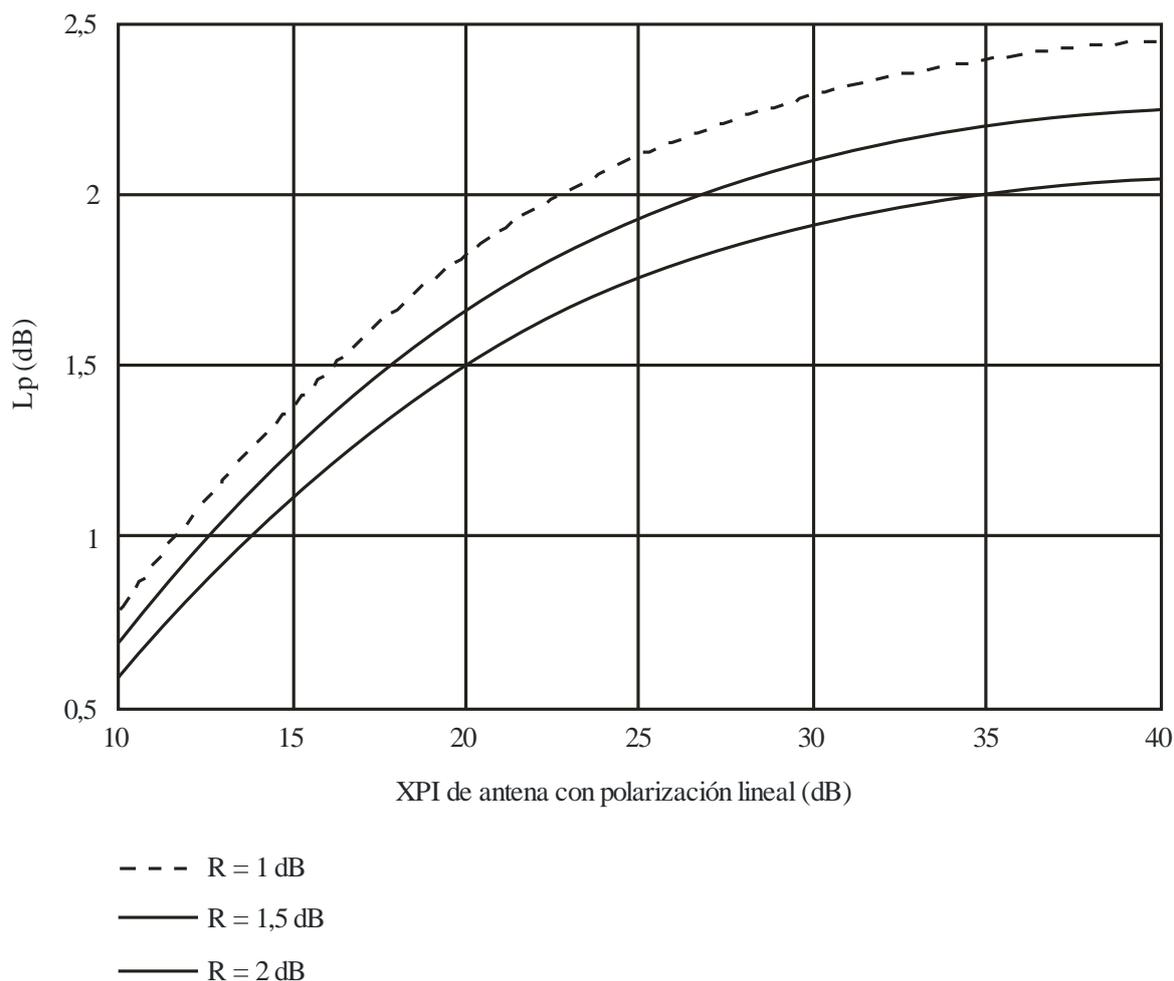
siendo:

- L_p : pérdidas de polarización
- r_w : relación axial de tensión de la onda radioeléctrica
- r_a : relación axial de tensión de la antena
- $\Delta\tau$: ángulo entre el ángulo de inclinación de la elipse de polarización de la antena y el ángulo de inclinación de la elipse de polarización de la onda incidente, ambos referidos a la horizontal en la superficie de la Tierra. En este análisis se supone que $\Delta\tau = 0$, que es el caso más conservador.

Para una antena con polarización circular, la relación axial de tensión se especifica normalmente en decibelios. Estos términos están relacionados mediante la expresión $R(\text{dB}) = 20 \log(|r_w|)$. Para una antena con polarización lineal, la relación axial en decibelios es equivalente en magnitud al aislamiento por polarización cruzada de la antena, según la siguiente expresión: $XPI(\text{dB}) = 20 \log(|r_a|)$.

La Fig. 1 muestra un gráfico de las pérdidas de polarización L_p en función del aislamiento por polarización cruzada (XPI) para tres valores de la relación axial de polarización circular, R . Este gráfico es independiente de la frecuencia.

FIGURA 1
 Pérdidas de polarización en función del XPI para diversos valores de R



F.1245-01

El valor apropiado de L_p dependerá de las características de las antenas con polarización lineal o circular en la gama de frecuencias de 1 GHz a 70 GHz.

3 Ejemplos de datos de XPI

En los Cuadros 1 y 2 aparecen ejemplos de datos de XPI para antenas del servicio fijo de dos administraciones. El Cuadro 1 contiene un resumen de la información que figura en la base de datos de licencias de una administración para una gama de frecuencias entre 1 GHz y 40 GHz aproximadamente y el Cuadro 2 muestra otros datos XPI basados en los diferentes tipos de antenas utilizados por otras administraciones en bandas de frecuencia de 6 GHz a 22 GHz aproximadamente.

CUADRO 1

Ejemplo de datos de XPI en una administración

Banda (GHz)	Número de registros de antena	5° percentil XPI (dB)	10° percentil XPI (dB)	Valor mediano del XPI (dB)
0,953-1,525	484	12	20	30
1,7-2,7	698	20	20	30
3,4-5,0	280	15	20	30
5,85-7,125	532	20	28	30
7,125-7,725	403	24	28	30
7,725-8,5	213	30	30	30
10,5-10,68	151	28	30	30
10,7-11,7	202	20	25	30
12,7-13,25	209	25	25	30
14,5-15,35	172	28	30	30
17,7-19,7	181	27	30	30
21,2-23,6	164	25	28	30
24,25-25,25	8	30	30	32
24,35-28,35	4	30	30	32
28,6-40,0	30	23	26	30

CUADRO 2

Ejemplo de datos XPI en otra administración

Banda (GHz)	Número de tipos de antena	Número de antenas instaladas	10° percentil XPI (dB)	Valor medio del XPI (dB)
5,925-7,75	11	600	25	29
10,7-15,23	27	5 700	32	35
17,85-23,2	13	2 806	26	28

De acuerdo con estos datos parece adecuada la hipótesis de considerar un mínimo XPI de 20 dB para frecuencias de hasta 40 GHz.

Aunque no se dispone de datos sobre el comportamiento de la antena por encima de 40 GHz, la tendencia es a un comportamiento con polarización cruzada igual o mejor a medida que aumenta la frecuencia. Por tanto, a la espera de disponer de datos más concretos para antenas con polarización lineal en bandas de frecuencias más elevadas y en coherencia con el *recomienda 2*, puede llegarse a la conclusión provisional de que también puede utilizarse un mínimo XPI de 20 dB entre 40 GHz y 70 GHz.

4 Conclusión

Teniendo en cuenta los Cuadros 1 y 2 es adecuado un XPI de 20 dB en la antena del radioenlace. Con arreglo a la Fig. 1, para un XPI de 20 dB y una máxima relación axial de polarización (R) provisional en la antena interferente de 1,5 dB, aplicable alrededor de la dirección del eje de puntería de la antena de la estación espacial sin reutilización de frecuencia por polarización ortogonal funcionando en las bandas de frecuencia de 2 a 30 GHz aproximadamente, las pérdidas de polarización serían de 1,7 dB. Este valor sería aplicable únicamente dentro de la anchura de haz a 3 dB de la antena del radioenlace y en torno a la dirección del eje de puntería de la antena de la estación espacial y debe ser aplicable entre 1 GHz y 70 GHz.
