

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1669*

Criterios de interferencia de los sistemas inalámbricos fijos que funcionan en las bandas 37-40 GHz y 40,5-42,5 GHz con respecto a los satélites en la órbita geostacionaria

(Cuestión UIT-R 127/9)

(2004)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que es conveniente determinar los criterios de protección de los sistemas inalámbricos fijos (FWS) que funcionan en las bandas de 38 GHz (37-40 GHz) y 40 GHz (40,5-42,5 GHz) con respecto a la interferencia procedente de los sistemas de satélites geostacionarios (OSG) que funcionan a título igualmente primario;
- b) que en las situaciones de interferencia en las que intervienen estaciones espaciales OSG, los sistemas del servicio fijo están potencialmente expuestos a elevados niveles de interferencia en algunas configuraciones geométricas y dicha interferencia podría afectar el comportamiento o la disponibilidad de estos sistemas;
- c) que el diseño del enlace del servicio fijo en las bandas de 38 GHz y 40 GHz viene controlado por la atenuación debida a la lluvia, cuyo modelo puede establecerse utilizando la Recomendación UIT-R P.530;
- d) que en las bandas de 38 GHz y 40 GHz algunas administraciones utilizan el control automático de potencia de transmisión (CAPT) en algunos enlaces del servicio fijo y que dicha utilización aumentará la susceptibilidad de estos enlaces especialmente con respecto a la interferencia de corta duración;
- e) que algunos enlaces del servicio fijo que utilizan pequeños márgenes de desvanecimiento netos puede que no estén plenamente protegidos contra la interferencia procedente de los sistemas de satélites OSG sin restringir indebidamente a estos servicios;
- f) que los enlaces del servicio fijo típicos que utilizan CAPT requerirán unos criterios de protección más estrictos que los necesarios para los enlaces del servicio fijo con un amplio margen de desvanecimiento que no utilizan CAPT;
- g) que no se aplican restricciones de orientación a los sistemas del servicio fijo en las bandas de 38 GHz y 40 GHz y que tales restricciones no son prácticas teniendo en cuenta las instalaciones de grandes dimensiones muy sensibles a los costes,

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 3, 4 y 7 de Radiocomunicaciones.

reconociendo

- a) que las bandas 37,5-40 GHz y 40,5-42,5 GHz están compartidas a título igualmente primario con el SFS y que el UIT-R elaboró la Recomendación UIT-R SF.1573, sobre niveles de dfp necesarios para proteger al servicio fijo en estas bandas;
- b) que la aplicación de los criterios de la presente Recomendación no tiene por objeto revisar la Recomendación UIT-R SF.1573,

observando

- a) que la representación gráfica de la interferencia producida por los satélites OSG en un receptor del servicio fijo para cualquier acimut de este receptor del servicio fijo, presenta, como muestra la Fig. 2, dos crestas de interferencia en dos acimuts particulares del servicio fijo en los cuales, dependiendo de la geometría del enlace de este servicio, la dirección de orientación de este enlace pasa a través del arco OSG,

recomienda

1 que se utilicen los siguientes criterios de interferencia, que definen una máscara de interferencia como la que se describe en la Fig. 1, para proteger a los sistemas del servicio fijo contra la interferencia causada por los satélites OSG de varios servicios en las bandas 37-40 GHz y 40,5-42,5 GHz con atribuciones a título igualmente primario:

1.1 para los FWS en general:

1.1.1 la relación I/N a la entrada del receptor del servicio fijo no debe rebasar el valor de -10 dB salvo en un margen de $\pm 15^\circ$ de separación con respecto al acimut donde el eje principal de la antena del servicio fijo intersecta con el arco OSG (véanse las Notas 1 y 2);

1.1.2 para los acimuts del servicio fijo en esta gama de $\pm 15^\circ$, puede aceptarse hasta un valor de $+5$ dB de la relación I/N a la entrada del receptor del servicio fijo en el acimut correspondiente a las crestas (véanse las Notas 1 y 2);

1.2 para algunos enlaces en ciertas aplicaciones de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA):

1.2.1 la relación I/N a la entrada del receptor del servicio fijo no debe rebasar el valor de -10 dB salvo en una gama de $\pm 5^\circ$ de separación con respecto al acimut donde el eje principal de la antena del servicio fijo intersecta con el arco OSG (véanse las Notas 1 y 2);

1.2.2 para los acimuts del servicio fijo en esta gama de $\pm 5^\circ$, puede aceptarse hasta un valor de $+1$ dB de la relación I/N a la entrada del receptor del servicio fijo en el acimut correspondiente a los valores de cresta (véanse las Notas 1 y 2);

2 que se utilice la información contenida en el Anexo 1 como orientación para la utilización de esta Recomendación.

NOTA 1 – Estos niveles I/N toman como referencia el ruido total a la entrada del receptor incluyendo el nivel de ruido del sistema, $k T B F$, y la interferencia dentro del sistema (véase el § 5 del Anexo 1).

NOTA 2 – Las gamas de acimuts de $\pm 15^\circ$ ó $\pm 5^\circ$ especificadas en los *recomienda* 1.1 y 1.2, respectivamente, se basan en la aplicación de unos elementos y método de enfoque temporal de un modelo de célula de lluvia específico. Un perfeccionamiento de este modelo de célula de lluvia o la creación de un nuevo modelo puede tener repercusiones sobre estas gamas de acimuts y puede desembocar en una profunda modificación de esta Recomendación.

Anexo 1

Obtención de los criterios de protección del servicio fijo en las bandas de 38 GHz y 40 GHz para su aplicación en diversas hipótesis de compartición de la OSG

1 Introducción

El método que presenta este Anexo se basa en las hipótesis de que la proporción de bits erróneos en las bandas de 38 GHz y 40 GHz viene determinada por el desvanecimiento debido a la lluvia. Por lo tanto, en situaciones en las que la interferencia procedente de satélites OSG llegue a acimuts próximos al del eje del haz principal de la antena receptora del servicio fijo, tanto la señal deseada como la señal interferente estarán sujetas a desvanecimiento. En consecuencia, la potencia de interferencia sin desvanecimiento puede ser superior a la que sería admisible si la potencia de interferencia fuese constante. Dicha potencia de interferencia sin desvanecimiento se determina exigiendo que el criterio que controla la proporción de bits erróneos sea satisfecho durante el mismo porcentaje de tiempo, independientemente de que exista o no correlación entre el desvanecimiento de la potencia deseada e interferente.

2 Márgenes de desvanecimiento del servicio fijo

En las bandas de 38 GHz y 40 GHz, como las longitudes del enlace normalmente son inferiores a 2 km, se consideró que un margen de desvanecimiento de 14 dB era representativo de los enlaces convencionales ya que se supuso que la mayoría de tales enlaces tienen un margen de desvanecimiento (o margen de desvanecimiento neto¹) superior a este valor. Cabe señalar que este margen de desvanecimiento de 14 dB, al considerar sistemas que utilizan CAPT, corresponde a un enlace con un margen superior (por ejemplo, 14 dB de margen de desvanecimiento neto +10 dB de gama CAPT).

Por otro lado, también se observó que en ciertas aplicaciones BWA, se utiliza un margen de desvanecimiento de 10 dB para algunos enlaces cortos y, en consecuencia, estos enlaces exigirían un valor de I/N menor.

Para apoyar la consideración de estos márgenes, el Cuadro 2 basado en la Recomendación UIT-R P.530 indica el margen de desvanecimiento debido a la lluvia requerido para longitudes de enlace de hasta 1,6 km con cinco intensidades de lluvia distintas y para polarización vertical y polarización horizontal.

Sin embargo, cabe señalar que los márgenes de desvanecimiento debido a la lluvia, de 14 dB o de 10 dB, en estas bandas de 38 GHz y 40 GHz se justifican en los cálculos realizados utilizando la citada Recomendación UIT-R P.530 que no proporciona valores del margen de desvanecimiento con referencia a una medida de la característica de error, sino que da los valores absolutos de atenuación (desvanecimiento debido a la lluvia) para un determinado porcentaje de tiempo.

¹ Para un enlace del servicio fijo que utilice CAPT, el margen de desvanecimiento neto = margen desvanecimiento total – gama CAPT.

Además, de acuerdo con la Recomendación UIT-R F.1498 en un enlace diseñado para una disponibilidad del 99,999%, y en particular los sistemas BWA que supuestamente van a competir con la fibra óptica, el margen de desvanecimiento puede referirse al nivel de BER de 1×10^{-6} o de segundos con muchos errores (SME). También se acordó que en el diseño de enlace del servicio fijo debe tenerse en cuenta un margen de 1 dB para la interferencia causada por el servicio fijo, lo cual aumenta la potencia de ruido de referencia a 1 dB por encima de la potencia de ruido del sistema.

Además, también se consideró que, debido a razones técnicas (mínima potencia posible, tamaños de antena disponibles, potencia de transmisión fija para las estaciones centrales, ...), los enlaces del servicio fijo en las bandas de 38 GHz y 40 GHz, y en particular los sistemas punto a multipunto, probablemente presentarán un «margen de diseño adicional» comparado con el margen de desvanecimiento debido a la lluvia. Como mínimo, para los enlaces punto a punto, el valor de este «margen de diseño adicional» depende del nivel de granularidad del ajuste de potencia, de los posibles atenuadores y de la ganancia de antena que permitiría al diseñador del servicio fijo ajustar el nivel del receptor lo más próximo posible al nivel teórico. Aunque no se ha tenido en cuenta en la definición de margen total de referencia del enlace del servicio fijo, se acordó considerarlo como un factor de confianza adicional en la obtención del criterio de protección.

Basándose en las hipótesis acordadas en el sentido de que los márgenes de desvanecimiento, M_F , para segundos con error (SE) y SME son, respectivamente, 3 dB inferior y 1 dB superior que el margen de desvanecimiento con referencia al nivel de BER de 1×10^{-6} , que es 2 dB inferior al margen de desvanecimiento con referencia al nivel de BER de 1×10^{-3} , en el Cuadro 1 aparece un resumen de los distintos valores de márgenes de desvanecimiento correspondientes a $M_F = 14$ dB y 10 dB con referencia al nivel de SME.

CUADRO 1

Correspondencia entre el margen de desvanecimiento debido a la lluvia y los objetivos de característica de error

	Margen de lluvia 14 dB	Margen de lluvia 10 dB
SE (dB)	10	6
BER de 1×10^{-6} (dB)	13	9
SME (dB)	14	10
BER de 1×10^{-3} (dB)	15	11

3 Obtención de la máscara I/N

La obtención de la máscara I/N para su aplicación a los satélites del SFS OSG se ha basado en la evaluación de dos factores distintos:

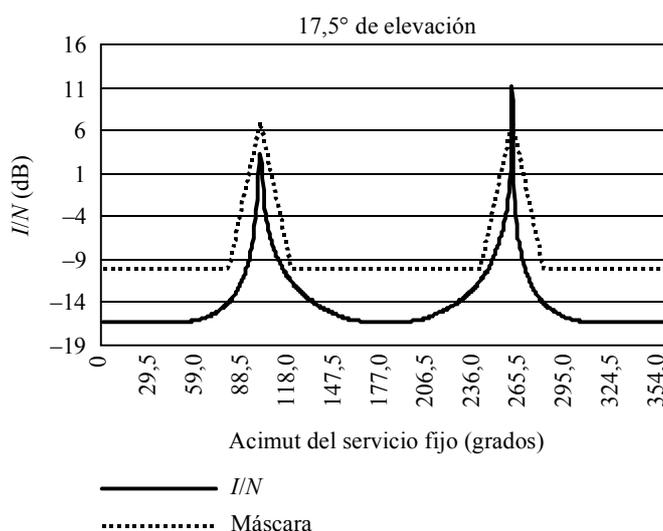
- la influencia de la interferencia en el servicio fijo y, en particular, las repercusiones en el haz principal de la antena del servicio fijo en condiciones de lluvia de la interferencia compuesta resultante de los tramos con desvanecimiento y sin desvanecimiento de la interferencia (véase el Apéndice 2);

- la correlación entre la atenuación debida a la lluvia en la señal y la interferencia en el haz principal de la antena del servicio fijo para determinar a qué ángulo X° con respecto al haz principal puede suponerse correlado con un cierto nivel de confianza este nivel de correlación (véase el Apéndice 3).

4 Máscara del criterio I/N

Basándose en los elementos indicados en el § 3, la Fig. 1 describe el contorno I/N que representa el criterio de protección con relación al acimut del servicio fijo, con un valor máximo de I/N para la interferencia de cresta que corresponde al caso en que el receptor del servicio fijo está orientado hacia el arco OSG y una gama de acimuts en la cual el valor de I/N disminuye desde su valor máximo hasta -10 dB.

FIGURA 1
 Descripción de la máscara de I/N para los satélites OSG
 en las bandas de 38 GHz y de 40 GHz



1669-01

Para los FWS en general, en los cuales se ha acordado un margen de desvanecimiento de 14 dB como valor representativo, se ha determinado que el valor máximo de I/N y la gama de acimuts sea, respectivamente, $+5$ dB y $\pm 15^\circ$.

Para algunos enlaces en ciertas aplicaciones de acceso BWA que utilizan un margen de desvanecimiento de 10 dB, se ha determinado que estos parámetros sean, respectivamente, $+1$ dB y $\pm 5^\circ$.

5 Referencia del nivel de ruido

La máscara I/N descrita en el § 4 se refiere al nivel de ruido total que incluye un margen acordado de interferencia dentro del servicio de 1 dB. Ello significa que $N = k T B F + 1$ dB.

Apéndice 1 al Anexo 1

CUADRO 2

**Márgenes de desvanecimiento debido a la lluvia
para una disponibilidad del 99,999%**

Longitud del enlace (km)	Margen de desvanecimiento a 39,3 GHz Polarización horizontal (dB)					Margen de desvanecimiento a 39,3 GHz Polarización vertical (dB)				
	Intensidad de lluvia (mm/h) (zona)					Intensidad de lluvia (mm/h) (zona)				
	12 (B)	22 (E)	42 (K)	63 (M)	95 (N)	12 (B)	22 (E)	42 (K)	63 (M)	95 ⁽¹⁾ (N)
0,1	0,8	1,3	2,5	3,6	5,2	0,6	1,1	2,1	3	3,0
0,2	1,5	2,7	4,9	7,1	16,4	1,3	2,3	4,2	6	5,9
0,3	2,2	4	7,3	10,6	15,4	1,9	3,4	6,2	9	8,8
0,4	3	5,3	9,6	14	20,3	2,6	4,5	8,2	11,9	11,6
0,5	3,7	6,5	12	17,4	25,1	3,2	5,6	10,2	14,7	14,3
0,6	4,4	7,8	14,3	20,7	29,8	3,8	6,7	12,2	17,6	17,0
0,7	5,2	9,1	16,6	24	34,3	4,5	7,8	14,2	20,3	19,6
0,8	5,9	10,4	18,9	27,2	38,8	5,1	8,9	16,1	23	22,2
0,9	6,6	11,6	21	30,4	43,2	5,7	10,0	18,0	25,8	24,7
1,0	7,3	12,8	23,3	33,6	47,5	6,3	11,0	19,9	28,5	27,1
1,1	8	14,1	25,5	36,7	51,7	6,9	12,1	21,8	31	29,5
1,2	8,7	15,3	27,7	39,8	55,8	7,5	13,1	23,7	33,7	31,9
1,3	9,4	16,5	29,9	42,8	59,8	8,1	14,2	25,5	36,2	34,1
1,4	10,1	17,7	32	45,8	63,8	8,7	15,2	27,3	38,8	36,4
1,5	10,8	18,9	34,1	48,7	67,6	9,3	16,2	29,1	41,3	38,6
1,6	11,4	20,1	36,2	51,6	71,4	9,9	17,3	30,9	43,7	40,8

⁽¹⁾ Los márgenes de desvanecimiento para el caso de una intensidad de lluvia de 95 mm/h con polarización vertical se calcularon suponiendo una latitud inferior a 30° (lo que tiene influencia en el cálculo realizado de conformidad con la Recomendación UIT-R P.530).

Apéndice 2 al Anexo 1

Influencia de la interferencia sobre los sistemas del servicio fijo

1 Introducción

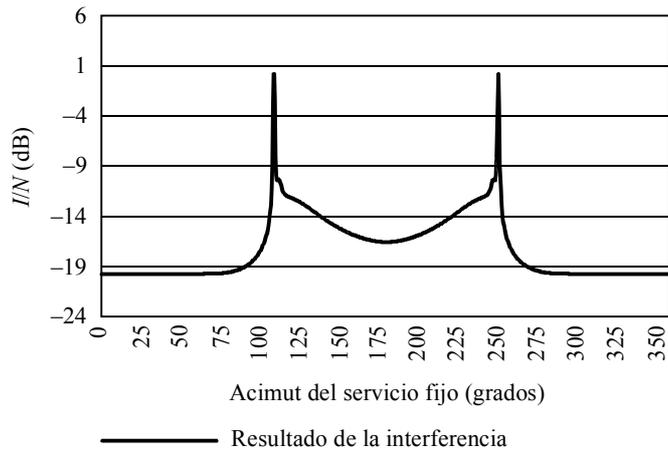
Por regla general un enlace se diseñará para que cumpla exactamente sólo un criterio de calidad de funcionamiento. Si este criterio es el de control, el enlace también satisfará el resto de criterios. Por ejemplo, si un enlace se ha diseñado para que cumpla el criterio de tasa de segundos con muchos errores (SESR) de las Recomendaciones UIT-T G.826 o UIT-T G.828 bajo la hipótesis de un valor constante de la potencia de la interferencia recibida, el criterio de SE (en el UIT-T: ES) debe satisfacerse para una atenuación debida a la lluvia inferior en 4 dB. Como el porcentaje de tiempo permitido para los SE puede ser 10 ó 20 veces superior que en el caso del SME (en el UIT-T: SES), el criterio SE se satisfará si se satisface el criterio SME. Para un desvanecimiento perfectamente correlado de las señales interferente y deseada, puede demostrarse que este aumento de 4 dB en la relación $C/N + I$ corresponde a una disminución de la atenuación debida a la lluvia de unos 4,7 dB. Por consiguiente, es probable que el criterio SESR (en el UIT-R: proporción de segundos con muchos errores (PSME)) sea el criterio de control y que sea el único criterio que es necesario satisfacer.

En consecuencia, el caso en que el desvanecimiento de la interferencia está perfectamente correlado con el desvanecimiento de la señal deseada puede tratarse con bastante sencillez. El nivel de interferencia aceptable en ausencia de desvanecimiento en este caso es simplemente superior a la interferencia admisible para el caso de interferencia constante (sin correlar) en un valor equivalente al margen de desvanecimiento. De conformidad con la Recomendación UIT-R F.758, la relación I/N es de -10 dB en estas bandas de frecuencias para el caso de interferencia constante (sin correlar). De acuerdo con la Recomendación UIT-R F.1094, el ruido de referencia debe ser el ruido asignado total consistente en el ruido del sistema de recepción más un incremento asignado debido a la interferencia procedente del servicio fijo, un incremento a causa de la interferencia procedente de emisiones no deseadas y un incremento adicional debido a la interferencia producida por servicios con atribuciones también a título coprimario. Por consiguiente, la relación I/N de referencia total, I/N_{ref} , es -10 dB y la relación entre la interferencia y el ruido del sistema, I/N_0 , es -9 dB. Si el desvanecimiento de la interferencia entre servicios está perfectamente correlado con el desvanecimiento de la señal deseada, debe estar presente la misma potencia de interferencia ($I/N_0 = -9$ dB) cuando la señal sufre un desvanecimiento equivalente al margen de desvanecimiento de M_F dB; de no ser así, no se logrará la calidad de funcionamiento deseada. En consecuencia, la relación entre la potencia de interferencia sin desvanecimiento y la potencia de ruido del sistema para el caso de desvanecimiento perfectamente correlado es $M_F - 9$ dB.

La Fig. 2 representa la interferencia sin desvanecimiento producida por un arco OSG completamente ocupado. Las dos crestas en las que el nivel de interferencia es elevado corresponden al acimut para el cual se encuentra un solo satélite en el haz principal de la antena de una estación del servicio fijo.

Para estos dos acimuts particulares el trayecto de propagación de la interferencia puede ser colineal con el trayecto de propagación de la señal deseada y el desvanecimiento estaría perfectamente correlado en estos acimuts. A medida que el acimut se desplaza de estos valores de cresta, el desvanecimiento en los dos trayectos se encuentra sólo parcialmente correlado y la interferencia admisible se reduce de -9 dB a $M_F - 9$ dB. Tal reducción viene representada en la máscara I/N de la Fig. 5.

FIGURA 2

Ilustración de la I/N producida por los satélites OSG

1669-02

Cabe señalar que el análisis de este Apéndice se realizó utilizando como referencia la potencia de ruido del sistema, $N_0 = k T B F$. Sin embargo, el análisis incluye las contribuciones de potencia adicional debidas a la interferencia procedente de los transmisores del servicio fijo así como la interferencia causada por otros servicios con atribuciones también a título primario y la interferencia causada por emisiones no deseadas. Se ha considerado que el margen para cada una de estas contribuciones de interferencia toma el valor de 0,5 dB.

2 Cálculos de I/N

Para calcular el máximo valor aceptable de la relación I/N sin desvanecimiento, es necesario analizar $\frac{C}{N+I}$ para varias condiciones de lluvia.

Los valores relativos de C y $(N+I)$ en condiciones de lluvia son:

$$C = C_0 - A_C \quad \text{dB} \quad (1)$$

$$N + I = N_{tot} = N_{ref} + 10 \log \left(0,9 + 10^{((I/N_0) + N_0 - N_{ref})/10} \right) \quad \text{dB} \quad (2)$$

siendo A_C la atenuación de la señal (dB). Las densidades espectrales de potencia de ruido están relacionadas como se ha indicado anteriormente, de manera que N_{ref} es la suma en el receptor del ruido del sistema del servicio fijo, el incremento asignado a la interferencia procedente del servicio fijo, la contribución asignada debida a las emisiones no deseadas y el incremento asignado debido a la interferencia causada por otros servicios. La cantidad N_{tot} representa la suma del ruido más la interferencia. Obsérvese que es igual a N_{ref} cuando $I/N_{ref} = -10$ dB.

La suma del ruido del sistema del servicio fijo más el incremento de la interferencia en el servicio fijo, que aquí se supone de un valor de 0,5 dB, representa el 0,89 de la potencia de ruido de interferencia (W). La contribución debida a las emisiones no deseadas añade 0,01 a la potencia de ruido de interferencia (W). Todo ello de conformidad con la Recomendación UIT-R F.1094, dando lugar al término 0,9 en la ecuación (2). Siendo N_0 el ruido total del sistema, $k T B F$, se demuestra fácilmente que $N_{ref} - N_0 = 1,0$.

En el caso habitual en que el nivel de interferencia es constante, la potencia de interferencia admisible (W) será inferior o igual a una décima parte de la potencia de ruido de referencia. En esas condiciones $C/N + I$ puede expresarse de la forma siguiente:

$$\frac{C}{N + I} = C_0 - A_C - N_{ref} - 10 \log \left(0,9 + 10^{((I/N_0)-1)/10} \right) \quad (3)$$

Si la potencia de interferencia es constante, $I/N_0 = -9$ dB, que es equivalente a $I/N_{ref} = -10$ dB, la relación $C/N + I$ alcanza el valor umbral para SME cuando la atenuación de la señal, A_C es igual al margen de desvanecimiento para SME. Por consiguiente:

$$\frac{C}{N + I} = T_{SME} = C_0 - M_F - N_{ref} \quad (4)$$

El desvanecimiento de interferencia está parcialmente correlado con el desvanecimiento de la señal, y $I/N_0 = I_0/N_0 - A_I$, siendo I_0 la potencia de interferencia de desvanecimiento y A_I la atenuación (dB) de la interferencia. En este caso, $C/N + I$ es igual al valor umbral bajo la siguiente condición:

$$\frac{C}{N + I} = T_{SES} = C_0 - A_C - N_{ref} - 10 \log \left(0,9 + 10^{((I_0/N_0) - A_I - 1)/10} \right) \quad (5)$$

Si existe una correlación perfecta entre el desvanecimiento de la señal deseada y el desvanecimiento de la interferencia, $A_C = A_I$. Esta ecuación se satisface para $A_C = M_F$ si:

$$I_0/N_0 = M_F - 9 \quad (6)$$

De forma más general, si la correlación del desvanecimiento no es perfecta, la relación I/N sin desvanecimiento debería ser inferior para impedir que aumente el número de sucesos en que $C/N + I$ toma un valor menor que el umbral. Expresando la relación I/N sin desvanecimiento como:

$$I_0/N_0 = M_F - 9 - L_{IN} \quad (7)$$

donde L_{IN} son las «pérdidas» en I/N debidas a la diferencia con respecto a la correlación perfecta. El tema consiste en evitar un aumento adicional de los defectos de la característica de error de control (SME, por ejemplo) debido a la falta de correlación en el desvanecimiento sobre el trayecto interferente. Por consiguiente, para el desvanecimiento en el trayecto de la señal que no rebase el margen de desvanecimiento, pueden obtenerse las siguientes relaciones introduciendo las ecuaciones (7) y (4) en la ecuación (5).

$$L_{IN} = M_F - A_I - 10 \log \left(10^{(M_F - A_C + 10)/10} - 9 \right) \quad (8)$$

o de forma equivalente:

$$I_0/N_0 = A_I + 1 + 10 \log \left(10^{(M_F - A_C)/10} - 0,9 \right) \quad (9)$$

Apéndice 3 al Anexo 1

Correlación de los desvanecimientos de la interferencia de la señal y determinación de las máscaras de I/N

1 Método de enfoque temporal

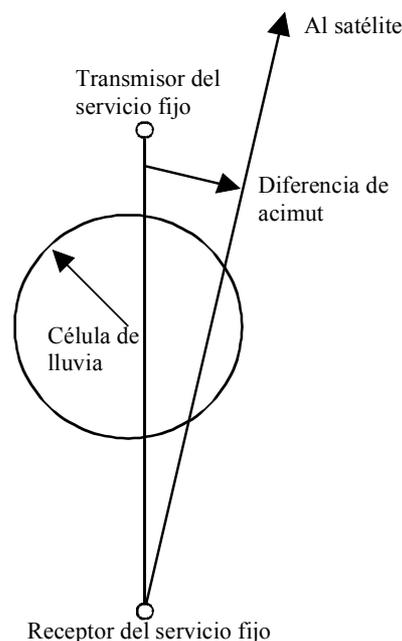
Para determinar la correlación entre la atenuación debida a la lluvia en la señal y la interferencia en el haz principal de la antena del servicio fijo, se ha utilizado una metodología de enfoque temporal bajo las hipótesis de que las células de lluvia no son estáticas y que presentan un aspecto temporal puesto que están en constante movimiento con respecto al enlace del servicio fijo.

Basándose en ello, se ha utilizado una célula de lluvia cilíndrica de intensidad de lluvia uniforme en el ejemplo de una célula de lluvia con un radio de 0,2 km y una atenuación específica de 50 dB/km. Para representar el aspecto temporal de una célula de lluvia, puede suponerse que la célula está situada en cualquier parte alrededor del receptor del servicio fijo. En este análisis, se supone que la célula de lluvia está ubicada en cualquier punto del enlace del servicio fijo con incrementos de 0,5 m.

Se ha efectuado un cálculo para la célula de lluvia situada en cada emplazamiento de la rejilla. Como puede verse en la Fig. 3, este cálculo consiste en determinar, para cada ubicación de célula de lluvia, la cantidad de atenuación A_C que cabe esperar que aparezca a lo largo del trayecto del servicio fijo deseado (para un ángulo de elevación de 0°), así como A_I a lo largo del trayecto interferente en el plano horizontal, ambos parámetros de la ecuación (9) del Apéndice 2, y en comparar la magnitud de la diferencia en atenuación.

FIGURA 3

Trayectos de propagación de la señal y de la interferencia con la geometría de célula de lluvia mostrada para una longitud del trayecto del servicio fijo de 0,7 km, un radio de la célula de lluvia de 0,2 km y un ángulo de acimut con respecto al eje del haz principal de 10°



Cuando la atenuación de los trayectos deseado e interferente sólo está parcialmente correlada, es posible describir la interferencia como dos componentes, una constante y una perfectamente correlada. Suponiendo que la fracción p de la potencia de interferencia sin desvanecer está correlada y $1 - p$ es constante, en el umbral y utilizando los elementos del Apéndice 2:

$$10 \log \left(p10^{-M_F/10} + 1 - p \right) + I_0 = N_{ref} - 10 \tag{10}$$

o

$$I_0/N_0 = -10 \log \left(p10^{-M_F/10} + 1 - p \right) - 9 \tag{11}$$

Resolviendo para p se obtiene:

$$p = \frac{1 - 10^{-((I_0/N_0 + 9)/10)}}{1 - 10^{-M_F/10}} \tag{12}$$

donde M_F es el margen de desvanecimiento del enlace del servicio fijo y teniendo presente que la ecuación (12) puede utilizarse en cualquier instante en que el valor admisible de I_0/N_0 se encuentre entre -9 dB y $M_F - 9$ dB.

Basándose en ello y para distintos márgenes de desvanecimiento del enlace del servicio fijo (10, 11, 14 y 15 dB), la ecuación (12) y la ecuación (9) permiten determinar, respectivamente, la fracción p como indica la Fig. 4 y la máscara I/N resultante como ilustra la Fig. 5.

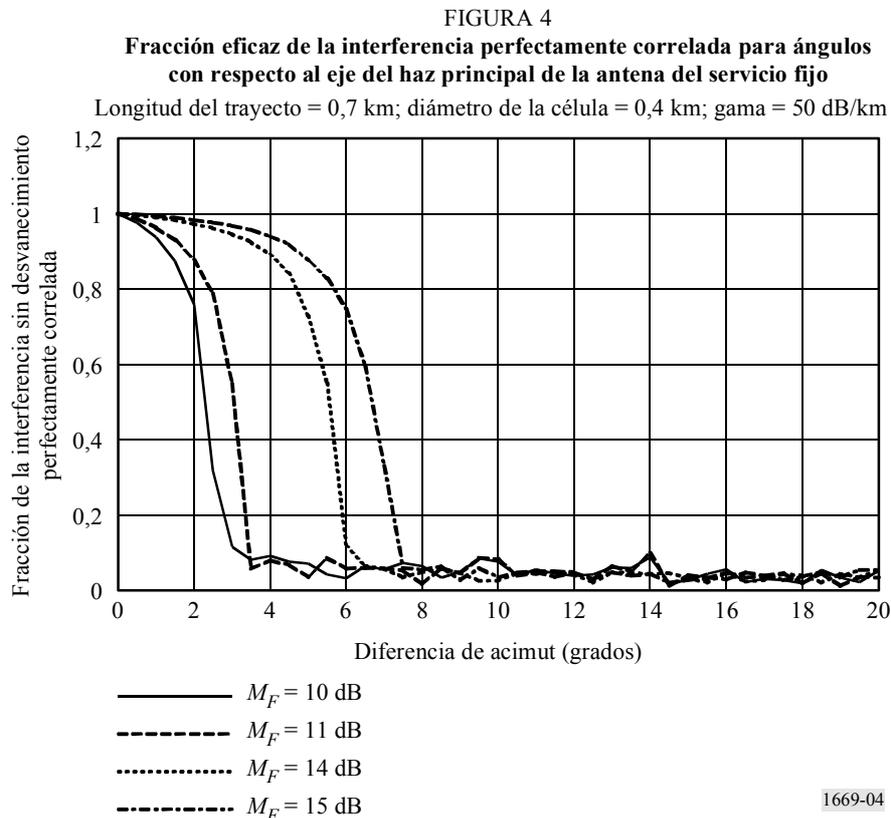
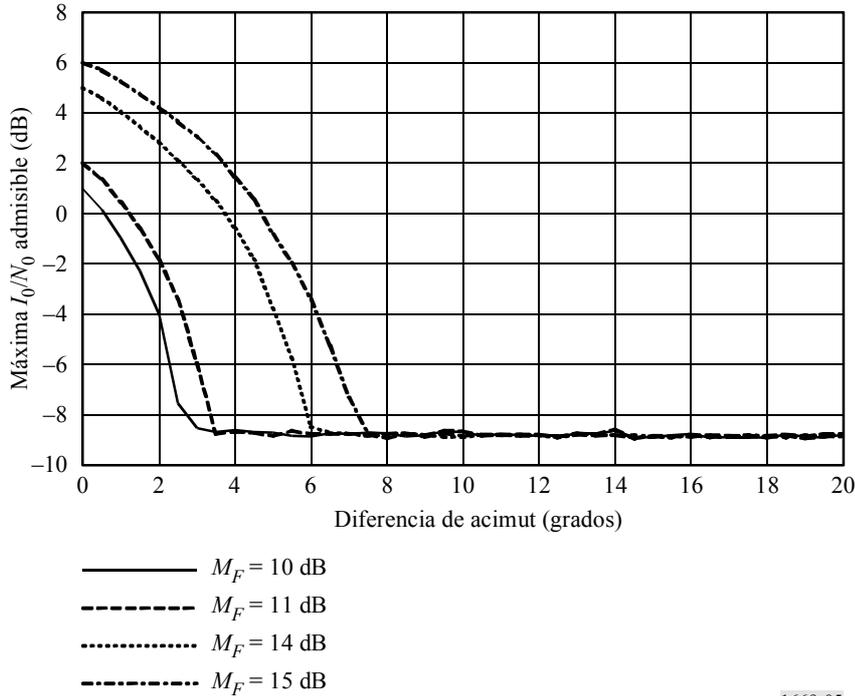


FIGURA 5

Máscara I/N para acimuts con respecto al eje del haz principal de la antena del servicio fijo

Longitud del trayecto = 0,7 km; diámetro de la célula = 0,4 km; gama = 50 dB/km



1669-05

La Fig. 5, basada en un ejemplo de célula de lluvia cilíndrica de 0,2 km y una atenuación específica de 50 dB/km, muestra que tanto el máximo valor de I/N admisible como la gama de acimuts, X° , dependen del valor del margen de desvanecimiento. Para los márgenes de desvanecimiento de 14 dB y 10 dB considerados en el § 2 del Anexo 1, el valor máximo de I/N es, respectivamente, +5 dB y +1 dB y el valor de X es, respectivamente, 2° y 6° .

2 Modelo de tamaño de célula de lluvia

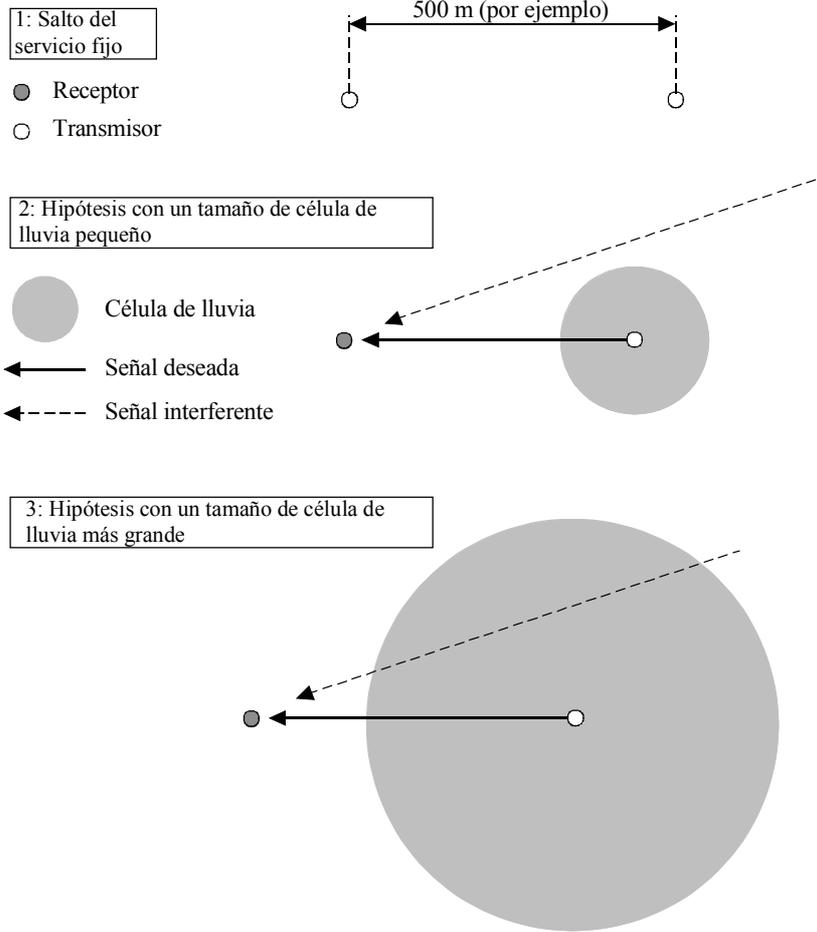
El análisis del § 1 se ilustra con un ejemplo de célula de lluvia cilíndrica de 0,2 km y una atenuación específica de 50 dB/km pero cabe señalar que los resultados de la metodología de enfoque temporal, para un valor determinado del margen de desvanecimiento, dependen evidentemente de los parámetros supuestos de la célula de lluvia, al menos en lo que respecta al valor de la gama de acimuts, X° , como puede observarse en la Fig. 6.

Los elementos de los parámetros del tamaño de la célula de lluvia aparecen únicamente en el Apéndice 4 al Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.452 pero se indica que este modelo sólo es aplicable a los cálculos de dispersión debido a la lluvia en trayectos transhorizonte. Sin embargo, también se ha propuesto utilizar a tal efecto un modelo alternativo aunque no esté especificado en ninguna Recomendación UIT-R.²

² Este modelo alternativo fue probado por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones cuando se elaboró la Recomendación UIT-R P.618.

FIGURA 6

Descripción de diversas hipótesis de tamaños de célula de lluvia



1669-06

Este modelo alternativo consiste en un conjunto de células con perfil exponencial y simetría rotacional, en el cual el índice de precipitación R a una distancia ρ desde el centro viene dado por:

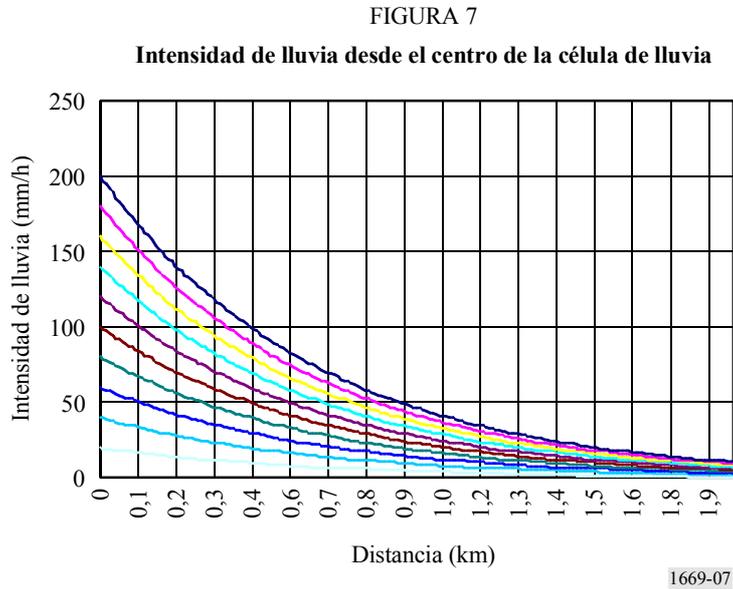
$$R = R_M \exp(-\rho/\rho_0) \tag{13}$$

siendo R_M la intensidad de lluvia de cresta y ρ_0 la distancia a la cual la intensidad ha disminuido en un factor $1/e$, denominado «radio de célula» convencional.

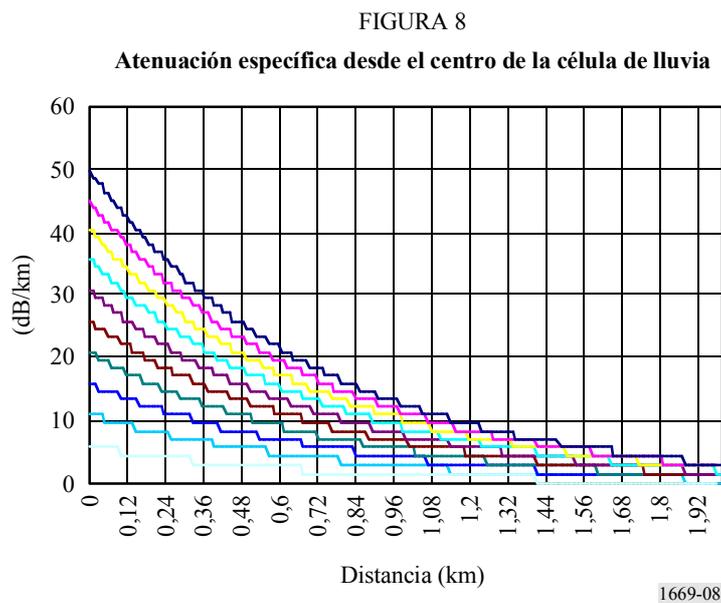
Para el caso monoaxial, los valores normalizados de ρ_0 dependen de los valores de R_M y vienen dados por la siguiente ecuación doblemente exponencial:

$$\rho_0(R_M) = 1,7 \left[\left(\frac{R_M}{6} \right)^{-10} + \left(\frac{R_M}{6} \right)^{-0,26} \right] \quad \text{para } R_M > 5 \tag{14}$$

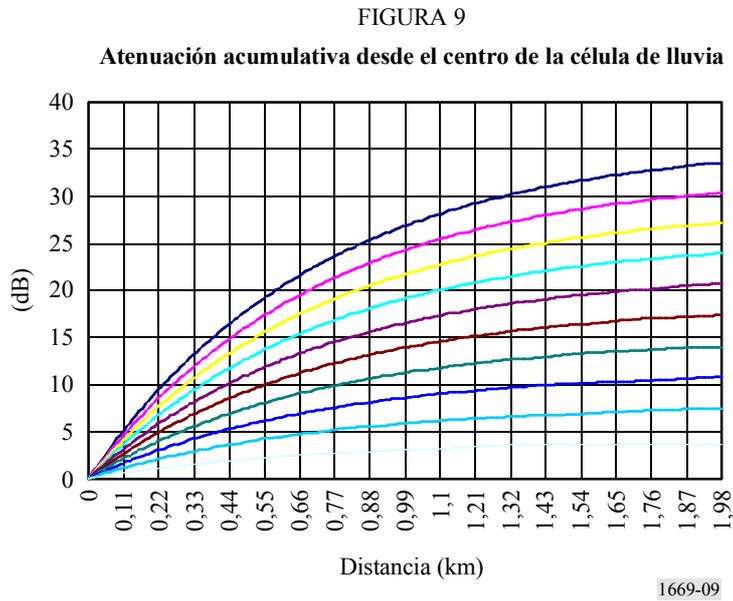
Basándose en esta ecuación, la Fig. 7 representa la forma de la correspondiente célula de lluvia para un valor máximo de la intensidad de lluvia entre 20 y 200 mm/h (en incrementos de 20 mm/h).



Además, basándose en la Recomendación UIT-R P.838, es posible obtener las correspondientes atenuaciones específicas representadas en la Fig. 8, utilizando las intensidades de lluvia de la Fig. 7.



Además, integrando estas atenuaciones específicas a lo largo de la distancia desde el centro de la célula se puede calcular la atenuación acumulativa inducida por la correspondiente célula de lluvia, como se representa en la Fig. 9.



Por último en el Cuadro 3 puede verse, para cada intensidad de lluvia, el radio de la célula ρ_0 (obtenido de la ecuación (14)).

CUADRO 3

Radio de la célula de lluvia para distintos valores máximos de intensidad de lluvia

Máxima intensidad de lluvia (mm/h)	ρ_0 , radio de la célula (km)
200	0,68
180	0,70
160	0,72
140	0,75
120	0,78
100	0,82
80	0,87
60	0,93
40	1,04
20	1,24

Aunque los elementos de las Figs. 7 a 9 y el Cuadro 3 indican que las células de lluvia no son cilíndricas sino que presentan un perfil exponencial, tienden a demostrar que el radio de célula de 0,2 km utilizado en el cálculo del punto anterior subestima la influencia de la lluvia y, por consiguiente, el valor de la gama de acimuts, X° .

Sin intentar extraer una conclusión definitiva sobre un radio de célula de lluvia cilíndrico correspondiente a los anteriores elementos obtenidos del modelo de propagación alternativo, es probable que aplicando el enfoque temporal con este modelo se obtenga un aumento significativo de la gama de acimuts.

Con un razonable factor de confianza, se supone que un aumento de la gama de acimuts a 5° y 15° para unos márgenes de desvanecimiento del enlace del servicio fijo de 10 dB y 14 dB, respectivamente, (en comparación con los 2° y 6° de la Fig. 7 para un radio de célula de lluvia de 0,2 km) sería una hipótesis lo suficientemente conservadora como para asegurar la protección necesaria del servicio fijo contra la interferencia producida por los satélites OSG, aplicando unos máximos valores de I/N de +1 dB y +5 dB, respectivamente.

Todo perfeccionamiento de este modelo de célula de lluvia o la aparición de un nuevo modelo puede tener influencia en estas gamas de acimut y daría lugar a una modificación de la presente Recomendación.
