

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.524-5

**NIVELES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LA DENSIDAD DE LA p.i.r.e. FUERA DEL EJE, DE LAS ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE FUNCIONAN EN LAS BANDAS DE FRECUENCIAS DE 6 GHz Y DE 14 GHz\***

(Cuestiones UIT-R 48/4 y 70/4)

(1978-1982-1986-1990-1992-1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que varias redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite funcionan en las mismas bandas de frecuencias;
- b) que las interferencias entre redes del servicio fijo por satélite contribuyen al ruido en la red;
- c) que es necesario proteger a una red del servicio fijo por satélite de las interferencias provocadas por otras redes del mismo servicio;
- d) que es necesario especificar los niveles máximos admisibles de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje producida por las estaciones terrenas, a fin de promover la armonización entre las redes de satélites geoestacionarios;
- e) que las redes del servicio fijo por satélite pueden padecer interferencias en el receptor de la estación espacial;
- f) que el empleo de antenas con el mejor comportamiento posible fuera del eje redundará en una utilización más eficaz del espectro radioeléctrico y de la órbita de los satélites geoestacionarios;
- g) que el progreso en el desarrollo de antenas con lóbulos laterales reducidos indica que se dispondrá generalizadamente de antenas con un comportamiento mejorado dentro de unos pocos años;
- h) que los niveles de densidad de p.i.r.e. fuera del eje vienen determinados por la ganancia en dirección de los lóbulos laterales, el nivel de potencia de salida del transmisor y la distribución espectral de esa potencia;
- j) que el anexo 1 describe las bases en las que se moverán los límites en esta Recomendación,

*recomienda*

**1.** que las redes del servicio fijo por satélite que funcionen en la banda de frecuencias de 6 GHz se diseñen de forma que para cualquier ángulo,  $\phi$ , a  $2,5^\circ$  o más fuera del eje del lóbulo principal de una antena de estación terrena, la densidad de la p.i.r.e. en cualquier dirección dentro de  $3^\circ$  de la órbita de los satélites geoestacionarios, no exceda los valores siguientes:

**1.1** para emisiones en sistemas distintos de los indicados en los § 1.2 y 1.3:

<i>Ángulo fuera del eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima por 4 kHz</i>
$2,5^\circ \leq \phi < 48^\circ$	$(35 - 25 \log \phi)$ dB(W/4 kHz)
$48^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$	-7 dB(W/4 kHz);

**1.2** para emisiones en sistemas telefónicos SCPC-MF con accionamiento por la voz:

<i>Ángulo fuera del eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima por 40 kHz</i>
$2,5^\circ \leq \phi < 48^\circ$	$(42 - 25 \log \phi)$ dB(W/40 kHz)
$48^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$	0 dB(W/40 kHz);

\* Exceptuados los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite (apéndice 30A al Reglamento de Radiocomunicaciones).

1.3 para emisiones en sistemas telefónicos SCPC-MDP con accionamiento por la voz:

<i>Ángulo fuera del eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima por 40 kHz</i>
$2,5^\circ \leq \varphi < 48^\circ$	$(45 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$	3 dB(W/40 kHz);

2. para las nuevas antenas de estaciones terrenas que utilicen emisiones distintas de las examinadas en los § 1.2 y 1.3 después del año 1988, la densidad de la p.i.r.e. no debería exceder de los siguientes valores:

<i>Ángulo fuera del eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima por 4 kHz</i>
$2,5^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$(32 - 25 \log \varphi)$ dB(W/4 kHz)
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	11 dB(W/4 kHz)
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$(35 - 25 \log \varphi)$ dB(W/4 kHz)
$48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$	-7 dB(W/4 kHz);

3. que estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que funcionen en las bandas de frecuencias de 14 GHz (que no estén proporcionando enlaces de conexión en el servicio de radiodifusión por satélite, conforme a lo dispuesto en el apéndice 30A al Reglamento de Radiocomunicaciones) se diseñen de tal forma que para cualquier ángulo,  $\varphi \geq 2,5^\circ$  fuera del eje del lóbulo principal de una antena de estación terrena, la densidad de la p.i.r.e. en cualquier dirección dentro de  $3^\circ$  de la órbita de los satélites geoestacionarios no exceda los valores siguientes:

<i>Ángulo fuera del eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima por 40 kHz</i>
$2,5^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$(39 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	18 dB(W/40 kHz)
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$(42 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$	0 dB(W/40 kHz);

4. que las siguientes notas se consideren como parte integrante de la presente Recomendación:

*Nota 1* – Los valores indicados en el § 1.2 se basan en un análisis del ruido de potencia media. No se han tenido en cuenta los posibles efectos subjetivos de la interferencia causada a una portadora SCPC-MF por una emisión de banda muy estrecha. Se necesitan ulteriores estudios sobre esta materia.

*Nota 2* – Los límites indicados en el § 1.2 se aplican a la explotación normal de telefonía en una banda de base de 4 kHz.

*Nota 3* – Los valores especificados en el § 1.1 se derivan principalmente de un análisis de los sistemas MF utilizados para televisión analógica o telefonía multicanal. No se sabe actualmente si los sistemas de telemando y de determinación de la distancia que operan en la banda de emisión y algunos tipos de sistemas de un solo canal por portadora (SCPC) distintos de los mencionados en los § 1.2 y 1.3 cumplen estos requisitos. Deberán efectuarse estudios para determinar de qué forma estos sistemas SCPC podrían satisfacer los límites indicados anteriormente.

*Nota 4* – Habida cuenta de que una p.i.r.e. en los lóbulos laterales más reducida permitiría mejorar la utilización de la órbita y facilitaría la coordinación, se insta a las administraciones a que traten de obtener valores menores cuando ello sea posible.

*Nota 5* – Siempre que sea posible, las estaciones terrenas existentes deben respetar los valores anteriores.

*Nota 6* – Los valores indicados en el § 2 se derivan de diagramas de antena avanzados, con lóbulos laterales reducidos, habida cuenta de los principios de la nota 3. Es urgentemente necesario efectuar estudios ulteriores sobre las características de las antenas de estación terrena en direcciones cercanas a la del haz principal, particularmente en lo que respecta a la validez de la abertura de  $7^\circ$  como valor hasta el cual es razonable recomendar este ajuste de 3 dB en el límite de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje. Dichos estudios deben incluir también el efecto de los valores indicados en el § 2 sobre las antenas que funcionan con anchuras de banda superiores a 500 MHz.

*Nota 7* – Durante la planificación de frecuencias, puede ser necesario evitar situaciones en que las transmisiones de televisión en una red empleen las mismas frecuencias que las transmisiones de telefonía SCPC en una red que utilice un satélite cercano.

*Nota 8* – Cuando se utilice el control de potencia en el enlace ascendente y el desvanecimiento provocado por la lluvia lo haga necesario, podrán excederse los valores límite indicados en el § 3 durante todo ese periodo. En las zonas hidrometeorológicas N y P y cuando no se utilice control de potencia en el enlace ascendente, se podrán rebasar en «y» dB los límites indicados en el § 3. Es preciso determinar el valor de «y» dB mediante ulteriores estudios basados en datos fiables sobre propagación para establecer márgenes de desvanecimiento con suficiente exactitud. En el cuadro 2 se dan más orientaciones sobre este asunto.

*Nota 9* – Se insta a las administraciones que explotan estaciones terrenas en la banda de 14 GHz a que reduzcan la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje aumentando el diámetro de antena necesario, empleando mejores características de lóbulos laterales en las antenas o, en el caso de TV-MF, a que utilicen una forma adecuada de dispersión de energía, si ello es aplicable.

*Nota 10* – En el caso de las transmisiones TV-MF, se insta a las administraciones a reducir la interferencia con otras redes utilizando material de programas o los esquemas de prueba adecuados, junto con la dispersión de energía, en todo momento.

En la fig. 1 se ofrece un ejemplo de distribución espectral típica de una portadora TV-MF modulada por material radiofónico con dispersión de energía.

*Nota 11* – La utilización de separaciones reducidas entre los satélites requerirá un estudio ulterior sobre el límite de la p.i.r.e., para ángulos fuera del eje inferiores a 2,5°.

*Nota 12* – Las emisiones de TV-MF con dispersión de energía en la banda de 14 GHz pueden rebasar los límites del § 3 hasta en 3 dB, siempre que la p.i.r.e. total fuera del eje o la portadora TV-MF emitida no excedan los valores siguientes:

<i>Ángulo fuera del eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima</i>
$2,5^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$(53 - 25 \log \varphi)$ dBW
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	32 dBW
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$(56 - 25 \log \varphi)$ dBW
$48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$	14 dBW

*Nota 13* – Las portadoras TV-MF en la banda de 14 GHz que funcionen sin dispersión de energía deben ir moduladas en todo momento con material de programas o con los esquemas de prueba adecuados. En tal caso, la p.i.r.e. total fuera del eje de la portadora TV-MF emitida no debe exceder los valores siguientes:

<i>Ángulo fuera del eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima</i>
$2,5^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$(53 - 25 \log \varphi)$ dBW
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	32 dBW
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$(56 - 25 \log \varphi)$ dBW
$48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$	14 dBW

## ANEXO 1

### 1. Introducción

La interferencia producida por un transmisor de estación terrena en los receptores de satélite de otras redes puede relacionarse directamente con la densidad de la p.i.r.e. espectral fuera del eje de la antena de la estación terrena interferente. Es función no sólo de las características de los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena sino del nivel de potencia del transmisor y de su densidad espectral, que a su vez está influida por el diseño global del sistema de satélites.

La determinación de un límite recomendado para la densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje del haz principal puede abordarse desde una doble perspectiva:

- limitación del nivel de interferencia causada a otro satélite, teniendo especialmente en cuenta la interferencia producida en las redes cuyas estaciones terrenas están dotadas de grandes antenas;
- determinación de la p.i.r.e. dentro del eje del haz principal que deben tener las estaciones terrenas, especialmente aquellas que tienen antenas relativamente pequeñas, y examen de la ganancia previsible dentro y fuera del eje del haz principal de dichas antenas.

## 2. Consideración de un límite de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje para la banda en 6 GHz

Partiendo de ambos puntos de vista, mencionados más arriba, se ha llegado a la conclusión de que el límite recomendado para el enlace ascendente en una frecuencia de alrededor de 6 GHz debería expresarse de la forma que se indica a continuación.

Para cualquier ángulo,  $\varphi$ , igual o superior a  $2,5^\circ$  respecto del eje del haz principal de la antena de una estación terrena, la p.i.r.e. por 4 kHz en cualquier dirección a  $3^\circ$  o menos de la órbita de los satélites geoestacionarios no debe ser superior a los valores siguientes:

<i>Ángulo respecto del eje</i>	<i>Valor máximo de la p.i.r.e./4 kHz</i>
$2,5^\circ \leq \varphi \leq 25^\circ$	$(E - 25 \log \varphi)$ dB(W/4 kHz)
$25^\circ < \varphi \leq 180^\circ$	$(E - 35)$ dB(W/4 kHz)

En esta expresión el valor de  $E$  debería estar comprendido entre 32,0 y 38,5. Su valor debería ser lo más reducido posible y variará de una banda de frecuencias a otra. Para algunas aplicaciones de sistemas de satélites, puede ser conveniente establecer un límite de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje utilizando un valor más estricto de  $E$  (por ejemplo, 32) en la región angular cercana (por ejemplo, para  $\varphi \leq 7^\circ$ ) y entonces disminuir el valor de  $E$  para los ángulos fuera de eje del haz principal superiores. Este tipo de límite escalonado puede reducir la radiación fuera del eje en aquellas regiones angulares en las que el valor sería más efectivo al limitar la interferencia a los satélites adyacentes.

Desde el punto de vista de la interferencia tolerable en una red de satélites cuyas estaciones terrenas están dotadas de grandes antenas, cabe observar que para  $E = 38,5$ , una estación terrena podría radiar a  $5^\circ$  fuera del eje una p.i.r.e. con una densidad máxima de 21,0 dB(W/4 kHz).

Desde el punto de vista de las necesidades razonables de las estaciones terrenas con antenas pequeñas, podrían considerarse los cuatro casos siguientes:

- Caso 1: Portadora MF de gran potencia – estación grande;
- Caso 2: Televisión MF – estación pequeña (antena global del satélite);
- Caso 3: Televisión MF – enlace ascendente del satélite de radiodifusión;
- Caso 4: Un solo canal por portadora (SCPC) – banda estrecha.

Suponiendo:

- temperatura de ruido del satélite:  $\leq 3\,000$  K;
- ganancia de la antena del satélite:  $\geq 16$  dB;
- la antena de la estación terrena se ajusta a la Recomendación UIT-R S.465 para ángulos respecto del eje del haz principal inferiores a  $25^\circ$ , pero la envolvente de los lóbulos laterales tiene un nivel constante de  $-3$  dBi para ángulos superiores a  $25^\circ$ ;
- $10 \log$  (temperatura de ruido de la estación terrena)  $\geq 19$ .

(El cuadro 1 muestra los valores de la densidad mínima de potencia para un ángulo de  $5^\circ$  con relación al eje.)

Al parecer, el peor caso de interferencia es el de la 2ª columna, en el que se tiene una ganancia de 53 dB que corresponde a una antena de 10 m de diámetro. Se necesita un transmisor con una potencia de unos 500 W. Con una mejora de 27 dB por dispersión (2 MHz), la densidad de potencia nominal transmitida sería de 0 dB(W/4 kHz), con lo que se llega a una radiación fuera del eje del haz principal de 14,5 dB(W/4 kHz) para  $\varphi = 5^\circ$ .

CUADRO 1

## Densidad mínima de la p.i.r.e. fuera del eje del haz principal para portadoras típicas

	MDF-MF 1 332 canales 36 MHz de anchura de banda RF	Televisión MF	Televisión MF Enlace ascendente del satélite de radiodifusión	SCPC global
$G/T$ del satélite (dB(K <sup>-1</sup> ))	-7	-17	0	-17
$C/T$ del enlace ascendente (dB(W/K))	-125	-137	-134	-154
p.i.r.e. (dBW)	82	80	66	63
Ganancia de la antena transmisora de la estación terrena (dB)	60	53	46	53
Potencia de entrada RF en la antena de la estación terrena (dBW)	22	27	20	10
Densidad espectral de potencia RF en la entrada de la estación terrena (dB(W/4 kHz))	-8	0	-4	0
$E_{5^\circ}$ (dB(W/4 kHz)) <sup>(1)</sup>	6,5	14,5	10,5	14,5

<sup>(1)</sup> Radiación para  $\phi = 5^\circ$ , en la hipótesis  $32 - 25 \log \phi$ .

Aunque en el caso de la 4ª columna se indica un valor análogo para la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje del haz principal, hay que tener en cuenta otros factores. En el caso de un solo canal por portadora (SCPC), se trata de portadoras de bajo nivel con una potencia nominal de transmisión en la estación terrena de 63,5 dB(W/canal). Teniendo en cuenta que en el caso de la televisión la dispersión se efectúa únicamente a baja velocidad (25 ó 30 Hz), se estima que la potencia total de la portadora ha de considerarse como interferencia en forma de impulsos. En este caso, para  $5^\circ$ , la relación  $C/I$  será de 22 dB en el enlace ascendente y de 13 dB en el enlace descendente. Aunque no existen criterios sobre la interferencia en estos casos, en ciertos estudios se ha adoptado para la interferencia en forma de impulsos una relación global  $C/I$  de 20 dB. Reconociendo la grave incompatibilidad de esta situación, se llega a la conclusión de que no puede obtenerse razonablemente la protección adecuada, ni por separación entre satélites ni limitando más estrictamente la p.i.r.e., ya que predomina el enlace descendente. Una solución consiste en restringir la utilización de los dos tipos de señales, de manera que, si en los enlaces ascendente y descendente interviene el servicio fijo por satélite, dichas señales deberán estar también separadas en frecuencia. El problema indicado podría quedar considerablemente aliviado si se aplicara un método diferente de dispersión de energía de la portadora de televisión, transformando las señales de vídeo.

Dos ejemplos del sistema canadiense de satélites TELESAT, demuestran que, en 6 GHz y con un ángulo con relación al eje de  $5^\circ$ , va asociado un nivel de densidad de p.i.r.e. interferente comprendido aproximadamente entre 17-18 dB(W/4 kHz) para el caso de emisiones del tipo de un solo canal por portadora procedentes de una antena de 4 a 5 m de diámetro, y de emisiones de televisión procedentes de una antena de 10 m de diámetro.

En lo que respecta al caso de la 4ª columna, en Japón se ha realizado un estudio sobre la densidad de p.i.r.e. fuera del eje por 4 kHz de anchura de banda para la portadora SCPC-MDP del sistema INTELSAT y las portadoras SCPC-MF y SCPC-MDP del sistema MARISAT. Sobre la base de los resultados de los estudios mencionados anteriormente, puede sacarse la conclusión de que, en el caso de una transmisión entre estaciones terrenas de norma B del sistema INTELSAT, el valor más desfavorable de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje de la estación terrena transmisora es superior en 6 dB a  $35 - 25 \log \phi$  (dB(W/4 kHz)).

Ha de precisarse que tales valores son meros ejemplos ilustrativos tomados de sistemas existentes. En todo caso, no es en función de ninguno de ellos que debe redactarse una Recomendación, sino que por el contrario, los sistemas futuros deberían diseñarse para cumplir la Recomendación en su versión definitiva.

Sobre la base de lo expuesto, se extrae la conclusión de que podría protegerse la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios a 6 GHz y emplearse al mismo tiempo estaciones terrenas con antenas de sólo 4 ó 5 m de diámetro, si se aplican los principios siguientes:

- al planificar las frecuencias, se procurará que las transmisiones de televisión en una red no utilicen las mismas frecuencias que las transmisiones telefónicas del tipo de un solo canal por portadora en otra red que trabaje con un satélite cercano;
- en los demás casos, las estaciones terrenas respetarán los límites de la densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje del haz en la dirección de la órbita de los satélites geoestacionarios, especificados en el segundo párrafo del § 2, el valor de  $E$  se situará entre 32,0 y 38,5.

### 3. Consideración de un límite de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje para la banda 10-15 GHz

Al considerar el límite de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje en 10-15 GHz, es razonable suponer que la antena receptora de satélite no proporcionará normalmente una cobertura de ángulo amplio y teniendo ello en cuenta puede existir la posibilidad de utilizar valores más bajos de la p.i.r.e. de la estación terrena y con ello niveles inferiores de radiación fuera del eje que en las bandas de frecuencias más bajas. Sin embargo, ello puede ser contrarrestado por el hecho de que el desvanecimiento por la lluvia será más intenso.

#### 3.1 Método de cálculo de $E$

En general, la interferencia  $I$ , de una estación terrena transmisora en una estación espacial interferida, vista con un ángulo  $\varphi^\circ$  a partir de la transmisión deseada, viene dada por la siguiente fórmula:

$$I = E - 25 \log \varphi - L_{FS} - L_{CA} - L_R + G_s \quad (1)$$

en donde:

$E$ : constante que ha de determinarse para una fórmula del límite relacionada con la anchura de banda de referencia

$L_{FS}$ : pérdida en el espacio libre en la frecuencia de transmisión

$L_{CA}$ : atenuación en una atmósfera despejada

$L_R$ : atenuación debida a la lluvia (en el caso más desfavorable  $L_R = 0$  en condiciones de atmósfera despejada)

$G_s$ : ganancia de antena del satélite interferido en la dirección de la estación terrena interferente.

La interferencia de enlace ascendente de una sola fuente,  $I$ , puede especificarse para que quede limitada a una fracción del ruido térmico del enlace ascendente de la estación espacial interferida. En tal caso:

$$I = 10 \log (kTB) - \Delta \quad (2)$$

donde:

$\Delta$ : relación de potencias «ruido térmico/interferencia»

$T$ : temperatura de ruido en la entrada del receptor del satélite

$B$ : anchura de banda en consideración

$k$ : constante de Boltzmann.

Entonces, en el caso más desfavorable en el que  $L_R = 0$ :

$$E - 25 \log \varphi = 10 \log kB + L_{FS} + L_{CA} - (G/T)_s - \Delta \quad (3)$$

en donde  $(G/T)_s$ : factor de calidad del satélite (dB(K<sup>-1</sup>)).

Si la pérdida en el espacio libre es de 207 dB (14 GHz) y la atenuación en atmósfera despejada es de 0,5 dB, ello se simplifica para dar:

$$E - 25 \log \varphi = -21,1 - (G/T)_s + B - \Delta$$

Así, conocidos los parámetros  $\varphi$ ,  $(G/T)_s$ ,  $B$  y  $\Delta$ , puede determinarse el parámetro  $E$ , que define la densidad de la p.i.r.e. admisible de una estación terrena en el ángulo  $\varphi^\circ$  fuera del eje.

Sin embargo, también deben tenerse en cuenta otros factores al elegir una limitación fuera del eje a la p.i.r.e. de las emisiones de las estaciones terrenas transmisoras en las bandas 10-15 GHz. Uno de esos factores es la necesidad de considerar los márgenes de lluvia en los balances de la p.i.r.e. de estación terrena en tales frecuencias; otro es que la restricción de los valores de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje a ciertos límites puede ejercer una influencia significativa en el diámetro de la antena de la estación terrena. En el cuadro 2a se muestra un ejemplo de cómo varía el diámetro de la antena según el factor  $E$  para tres márgenes de lluvia diferentes en el enlace ascendente.

En el cuadro 2b se da un ejemplo del efecto que sobre el parámetro  $E$  tiene la necesidad de tener en cuenta las condiciones de propagación adversas en una región de alto régimen de lluvias (Brasil).

CUADRO 2a

**Diámetros de antena requeridos en las estaciones terrenas suponiendo que transmiten televisión y funcionan de manera que se cumplan los valores especificados de densidad de p.i.r.e. fuera del eje**

$E$ (dB(W/40 kHz))	Diámetro de la antena (m)		
	Margen de lluvia 0 dB	Margen de lluvia 3 dB	Margen de lluvia 6 dB
33	12	17	24
36	8	12	17
39	6	8	12
42	4	6	8

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro 2a:

- portadora de televisión modulada solamente por una señal de dispersión de energía con 2 MHz de cresta a cresta;
- anchura de banda de referencia para  $E = 40$  kHz;
- ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena =  $29 - 25 \log \phi$  (dBi);
- eficiencia de la antena de la estación terrena del 57 al 65%;
- funcionamiento a 14 GHz;
- $C/T$  requerida en el satélite en condiciones de cielo despejado =  $-127$  dBW(K<sup>-1</sup>);
- $G/T$  del satélite =  $-3$  dB(K<sup>-1</sup>).

CUADRO 2b

**Ejemplos de incremento de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje para sistemas diseñados para hacer frente a grandes desvanecimientos debidos a la propagación**

Portadora	$E$ (dB(W/40 kHz))			
	Modelo de cielo despejado		Modelo de desvanecimiento profundo	
	$A = 29$	$A = 32$	$A = 29$	$A = 32$
TV-MF	34	37	47	50

Donde la ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena es  $A - 25 \log \phi$  (dBi).

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro 2b:

- portadora TV con modulación por dispersión de la energía cresta a cresta únicamente a 2 MHz;
- ángulo de elevación de la estación terrena =  $60^\circ$
- disponibilidad de enlace ascendente mejor que 99,9%;
- funcionamiento a 14 GHz.

### 3.2 Factores que afectan a $E$

Además del margen de lluvia incluido en el enlace ascendente «interferente» hay un cierto número de variables que influyen en el valor de  $E$  aplicable a los servicios por satélite:

#### a) Tipo de portadora «interferente»

Reconociendo que, en los transpondedores que amplifican múltiples portadoras MF, la densidad espectral de potencia y por ende el potencial de interferencia no varía mucho entre portadoras de diferente capacidad, quizá sea suficiente considerar aquellos casos en los que un transpondedor cursa las siguientes señales:

- múltiples portadoras MDF-MF;
- múltiples portadoras «de elevada densidad» MDF-MF;
- una sola portadora MDF-MF;
- una portadora MIC-MDP-AMDT;
- múltiples portadoras SCPC-MIC-MDP;
- TV-MF, de portadora única, con dispersión de la energía de la portadora de 2 MHz;
- portadoras múltiples SCPC-MF.

La densidad espectral de la p.i.r.e. requerida para el enlace ascendente de cada una de estas portadoras dependerá todavía de si se destina a ser recibido por estaciones receptoras con antenas grandes o pequeñas.

#### b) Tipo de portadora «interferida»

Hay que considerar un abanico de casos similar al de a).

#### c) Objetivo de interferencia

Estudios realizados por el UIT-R mencionan la posibilidad de aumentar la tolerancia a la interferencia con el fin de disminuir la separación entre satélites.

#### d) Separación entre satélites

En el margen entre 10 y 15 GHz existen espaciamientos de 3° para satélites con la misma zona de cobertura, pero debido al aumento en la demanda de los servicios se está considerando un espaciamiento de 2° en determinadas ubicaciones orbitales.

#### e) Zonas de cobertura del «satélite interferido»

Deberían considerarse los valores de  $G/T$  del satélite correspondientes a coberturas regionales y domésticas típicas.

#### f) Características de ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena «interferente»

Conforme vayan entrando en servicio diseños mejorados de estaciones terrenas, se reducirán las emisiones fuera del eje.

#### g) El margen de lluvia se ha tenido en cuenta en el diseño del enlace ascendente del satélite «interferido»

La consideración exhaustiva de todos estos factores requerirían millares de combinaciones, y la correspondiente gama de valores de  $E$ .

Para obtener esta lista se ha supuesto que se escogerán los valores del diámetro de la antena de la estación terrena y de la potencia transmisora necesarios para conseguir simultáneamente la p.i.r.e. «deseada» en el enlace ascendente y el límite de la p.i.r.e. fuera del eje. Pueden presentarse situaciones en que esto no sea práctico, como por ejemplo, las pequeñas estaciones transportables usadas para suministrar enlaces ascendentes de televisión de corta duración desde diversas ubicaciones de la zona de cobertura de satélite.

El cuadro 3 da un ejemplo de la relación entre el parámetro  $E$  y los factores mencionados c) a f) inclusive. Ambas portadoras, la interferente y la interferida, están moduladas en frecuencia por señales de televisión y se suponen idénticas. Se han elegido combinaciones del tamaño de la antena de la estación terrena y de la potencia del transmisor de manera que se cumpla la exigencia para la p.i.r.e. de la portadora deseada al tiempo que se cumplen los objetivos de interferencia en el enlace ascendente.

Debe notarse que este ejemplo supone dos sistemas de satélite idénticos. Si se incluyeran los casos en que los satélites de los sistemas interferente e interferido tuvieran diferentes valores de  $G/T$  resultarían variaciones más amplias en  $E$  y en los parámetros de la estación terrena.

CUADRO 3

Valores óptimos de  $E$  y parámetros relacionados para interferencia de TV-MF a TV-MF

$G/T$ del satélite (dB(K <sup>-1</sup> ))		-3				-5			
Espaciamiento entre satélites (grados)		2		3		2		3	
Objetivos de interferencia (% del ruido térmico en el enlace ascendente)		20	50	20	50	20	50	20	50
Ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena 32 – 25 log $\phi$	Diámetro de la antena (m)	10,7	6,8	6,4	4,1	26,9	17,1	16,2	10,3
	Potencia del transmisor (W)	139	342	382	951	3,5	8,6	9,6	23,9
Ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena 29 – 25 log $\phi$	Diámetro de la antena (m)	7,6	4,8	4,6	2,9 <sup>(1)</sup>	19,0	12,1	11,5	7,3
	Potencia del transmisor (W)	287	685	764	1 903 <sup>(1)</sup>	7,0	17,2	19,2	47,8
Ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena 26 – 25 log $\phi$	Diámetro de la antena (m)	5,3	3,4	3,2 <sup>(1)</sup>	2,0 <sup>(1)</sup>	13,4	8,5	8,1	5,1
	Potencia del transmisor (W)	557	1 385	1 517 <sup>(1)</sup>	3 794 <sup>(1)</sup>	14,0	34,8	38,1	95,3
Parámetro $E$ de la p.i.r.e. fuera del eje (dB(W/40 kHz))		28,4	32,4	32,8	36,8	20,4	24,4	24,8	28,8

<sup>(1)</sup> En estos casos se podrían utilizar probablemente antenas mayores y transmisores de menor potencia y, en estas circunstancias, la interferencia estaría dentro de los límites prescritos.

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro 3:

- las estaciones terrenas «interferente» e «interferida» tienen un ángulo de elevación de 15°;
- operación a 14 GHz;
- la ganancia de la antena del satélite es la misma para los enlaces ascendentes «interferente» e «interferido»;
- eficiencia de la antena de la estación terrena = 65%;
- 3 dB de atenuación por lluvia en el enlace ascendente del satélite «interferido»;
- $C/T$  del enlace ascendente de la portadora de televisión «interferida» = -130 dBW(K<sup>-1</sup>);
- modulación solamente por la señal de dispersión de energía de 2 MHz de desviación de cresta a cresta.

### 3.3 Distribución espectral de la portadora TV-MF modulada

Para estudiar los efectos de la interferencia ocasionada a las portadoras de banda estrecha por las portadoras TV-MF moduladas por material radiofónico junto con dispersión de energía, se midieron las características espectrales de una portadora NTSC de 20 MHz. En la fig. 1 se muestra la distribución de densidad espectral (no excedida durante diversos porcentajes de tiempo) de la portadora TV modulada por una señal vídeo en directo, con una dispersión de energía que produce una excursión cresta a cresta de 1 MHz.

FIGURA 1  
Distribución espectral de una portadora TV-MF de 20 MHz modulada por una señal vídeo NTSC en directo y dispersión de energía de 1 MHz

