

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.728-1\*

**Máximo nivel admisible de densidad de p.i.r.e. fuera del eje procedente de terminales de muy pequeña apertura (VSAT)**

(1992-1995)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que redes de satélites geostacionarios del servicio fijo por satélite (SFS) funcionan en las mismas bandas de frecuencias;
- b) que la interferencia entre redes del SFS contribuye al ruido de la red;
- c) que es necesario proteger a una red de satélites geostacionarios del SFS contra la interferencia causada por otras de esas redes;
- d) que es necesario especificar los máximos niveles admisibles de densidad de p.i.r.e. fuera del eje procedentes de estaciones terrenas VSAT (*very small aperture terminals*), para favorecer la armonización entre redes de satélites geostacionarios;
- e) que las redes del SFS puedan recibir interferencia en el receptor de estación espacial;
- f) que la utilización de antenas con buena característica fuera del eje conducirá a la utilización más eficaz del espectro de radiofrecuencia y de la órbita de satélites geostacionarios (OSG);
- g) que el avance en el desarrollo de antenas VSAT revela la amplia disponibilidad de antenas de característica de lóbulos laterales mejorada;
- h) que los niveles de densidad de p.i.r.e. fuera del eje puedan limitarse mediante la elección de parámetros de antena y/o de transmisión, por ejemplo, utilizando un esquema de corrección de errores sin canal de retorno de alta ganancia para la demodulación o utilizando la técnica de espectro ensanchado;
- j) que en algunos sistemas VSAT se utiliza el esquema de acceso múltiple por división de código (AMDC) para que varios VSAT puedan transmitir simultáneamente en el mismo canal de frecuencia,

*recomienda*

- 1 que las estaciones terrenas VSAT que funcionan con satélites geostacionarios en la banda de frecuencias de 14 GHz atribuida al SFS se designen de manera que para cualquier ángulo  $\phi$ ,

---

\* La Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2001 de conformidad con la Resolución UIT-R 44 (AR-2000).

especificado a continuación, con respecto al eje del lóbulo principal de una antena de estación terrena, la p.i.r.e. máxima en cualquier dirección comprendida dentro de  $3^\circ$  de la OSG no debe sobrepasar los siguientes valores:

<i>Ángulo con el eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima en cualquier banda de 40 kHz</i>
$2^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$33 - 25 \log \varphi$ dBW
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	12 dBW
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$36 - 25 \log \varphi$ dBW
$\varphi > 48^\circ$	-6 dBW

Además, la componente de polarización cruzada en cualquier dirección comprendida dentro de  $\varphi^\circ$  con respecto a la antena del lóbulo principal no debe sobrepasar los límites siguientes:

<i>Ángulo con el eje</i>	<i>p.i.r.e. máxima en cualquier banda de 40 kHz</i>
$2^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$23 - 25 \log \varphi$ dBW
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	2 dBW

2 que las notas que siguen se consideren parte integrante de la presente Recomendación:

NOTA 1 – Puede ser necesario reducir hasta 8 dB los máximos valores de densidad de p.i.r.e. del § 1 en los sistemas en los que la separación de satélites es próxima a  $2^\circ$ .

NOTA 2 – En los sistemas en que se espera que las estaciones terrenas transmitan simultáneamente en la misma banda de 40 kHz, por ejemplo, en los sistemas que emplean AMDC, los máximos valores de p.i.r.e. del § 1 anterior deben reducirse en  $10 \log N$  (dB), siendo  $N$  el número de estaciones terrenas que se espera transmitan simultáneamente en la misma frecuencia.

NOTA 3 – Las Recomendaciones relativas a los VSAT que operan en la banda 6 GHz y otras bandas de frecuencias se hallan en estudio. Provisionalmente deberá aplicarse a estas bandas la Recomendación UIT-R S.524.

NOTA 4 – Los valores indicados en el § 1 pueden ser sobrepasados en la gama de ángulos para los que el sistema de alimentación concreto pueda dar lugar a niveles de desbordamiento relativamente elevados.

NOTA 5 – En el caso de zonas de servicios muy amplias, los valores indicados en el § 1 podrían aumentarse hasta los límites que figuran en la Recomendación UIT-R S.524.

NOTA 6 – En el Anexo 1 figura un método de cálculo de la densidad de p.i.r.e. fuera del eje admisible en los VSAT.

NOTA 7 – Las antenas de estación terrena con relaciones  $D/\lambda$  inferiores a 50 probablemente tienen haces principales que se extienden más allá de un ángulo con el eje de  $2^\circ$  a  $3^\circ$ . En el Anexo 2 aparecen ejemplos de anchuras de haz principal de algunas de estas antenas. Las limitaciones de p.i.r.e. fuera del eje de los ángulos con el eje más bajo del § 1 pueden satisfacerse limitando la densidad espectral de flujo de potencia transmitida de esas antenas.

NOTA 8 – Esta Recomendación se aplica a la protección entre redes de satélites geoestacionarios del SFS. La posible interferencia producida entre sistemas de satélites geoestacionarios y sistemas de satélites no geoestacionarios se considera en otras Recomendaciones.

NOTA 9 – La revisión del § 1 para reducir el ángulo mínimo del eje de 2,5° a 2° se aplica a las estaciones terrenas puestas en servicio a partir de finales de 1995 en todas las redes de satélites geoestacionarios.

## ANEXO 1

### Cálculo de la densidad de p.i.r.e. fuera del eje admisible en los VSAT

#### 1 Balance de ruido del sistema

De acuerdo con la Recomendación UIT-R S.523, que trata del nivel de interferencia admisible en una transmisión digital por satélite, el 20% de la potencia de ruido total a la entrada del demodulador se asigna a la interferencia causada por otras redes en las bandas de frecuencias en las que la red aplica reutilización de frecuencias. Además, el 6% de la potencia de ruido total se asigna a la interferencia de una sola fuente.

Aunque las emisiones fuera del eje procedentes de estaciones terrenas causan interferencia de enlace ascendente a los satélites adyacentes, las emisiones procedentes de los satélites adyacentes causan interferencia de enlace descendente a las estaciones terrenas receptoras. Por tanto, la asignación a una sola fuente del 6% debe seguir dividiéndose todavía en interferencia ascendente y descendente. El diámetro de antena de la estación terrena receptora afecta a la división. Si es más grande, la interferencia de enlace descendente resulta menor debido a su mejor discriminación fuera del eje, aunque la interferencia de enlace descendente resulta más grave debido a que el ruido térmico del sistema total disminuye a causa del aumento de la relación  $G/T$  de la estación terrena.

Al considerar el límite de p.i.r.e. fuera del eje de las VSAT, puede ser adecuado suponer que el diámetro de antena de la estación terrena receptora de la red interferida es de unos 5 m. En este caso, el balance para la interferencia de enlace descendente de una sola fuente puede suponerse menor que el 1% considerando la respuesta de ganancia fuera del eje de la antena. Entonces el balance para la interferencia de enlace ascendente de una sola fuente puede suponerse del 5%.

Además puede suponerse el siguiente balance de ruido total del sistema:

Ruido térmico (enlace ascendente + enlace descendente)	50%
Interferencia procedente de otras redes de satélite	20% (Recomendación UIT-R S.523)
Interferencia debida a polarización cruzada	5%
Ruido de intermodulación debido al transpondedor	25%

Por tanto, la relación del 5%/50% puede utilizarse al comparar la densidad de potencia de interferencia de una sola fuente de enlace descendente con la densidad de ruido térmico.

## 2 Deducción del ruido térmico total del sistema

Al calcular el ruido térmico total del sistema, deben considerarse el ruido térmico de enlace ascendente y de enlace descendente. La relación de densidad portadora/ruido de enlace ascendente  $(C/N_0)_U$ , la relación de densidad portadora/ruido de enlace descendente  $(C/N_0)_D$  y la relación de densidad portadora/ruido total  $(C/N_0)_T$  pueden calcularse como sigue:

$$(C/N_0)_U = p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_S + 228,6 \quad (1)$$

$$(C/N_0)_D = p.i.r.e.S - OBO - L_D - L_{DA} - L_{DR} + (G/T)_E + 228,6 \\ = p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + G_S - L_D - L_{DA} + L_{DR} + (G/T)_E + 228,6 \quad (2)$$

$$(C/N_0)_T = -10 \log (10^{-(C/N_0)_U/10} + 10^{-(C/N_0)_D/10}) \quad (3)$$

donde:

- $p.i.r.e.E$ : p.i.r.e. de la estación terrena transmisora de la señal deseada
- $p.i.r.e.S$ : p.i.r.e. de saturación del satélite
- $L_U$ : pérdida en espacio libre del enlace ascendente
- $L_D$ : pérdida en espacio libre del enlace descendente
- $L_{UA}$ : atenuación con aire despejado del enlace ascendente
- $L_{DA}$ : atenuación con aire despejado del enlace descendente
- $L_{UR}$ : desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace ascendente
- $L_{DR}$ : desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace descendente
- $(G/T)_S$ :  $G/T$  del satélite
- $(G/T)_E$ :  $G/T$  de la estación terrena receptora de la señal deseada
- $OBO$ : reducción de la potencia de salida del satélite respecto a saturación
- $G_S$ : ganancia con señal débil del transpondedor

$$G_S = G_1 + (p.i.r.e.S - SFD) + (IBO - OBO) \quad (4)$$

donde:

- $SFD$ : densidad de flujo de saturación del satélite
- $IBO$ : reducción de la potencia de entrada del satélite respecto a saturación
- $G_1$ : ganancia de una antena ideal de 1 m<sup>2</sup> de superficie  
 $G_1 = 44,4$  dB a 14 GHz

Si la relación  $G/T$  efectiva de la estación terrena receptora a la entrada del satélite se define como:

$$(G/T)_{EE} = G_S - L_D - L_{DA} - L_{DR} + (G/T)_E \quad (5)$$

y la  $G/T$  efectiva total del satélite se define como:

$$(G/T)_T = -10 \log (10^{-(G/T)_S/10} + 10^{-(G/T)_{EE}/10}) \quad (6)$$

la  $C/N_0$  de enlace descendente y la  $C/N_0$  total pueden entonces expresarse como:

$$(C/N_0)_D = p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_{EE} + 228,6 \quad (7)$$

$$(C/N_0)_T = p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_T + 228,6 \quad (8)$$

### 3 Deducción de la densidad admisible de p.i.r.e. fuera del eje

Se supone que la densidad de p.i.r.e. fuera del eje procedente del VSAT interferente se expresa como  $E - 25 \log \phi$  dB(W/40 kHz). La relación de densidad portadora/interferencia de enlace ascendente en la anchura de banda de 40 kHz puede expresarse como sigue:

$$C/I_0 = p.i.r.e.E - L_{UR} - (E - 25 \log \phi) \quad (9)$$

Obsérvese que se supone que sólo la señal deseada sufre desvanecimiento causado por la lluvia de enlace ascendente. La relación interferencia/ruido térmico en la banda de 40 kHz puede entonces obtenerse como:

$$\begin{aligned} I_0/N_0 &= (C/N_0)_T - C/I_0 - 10 \log B \\ &= (E - 25 \log \phi) - L_U - L_{UA} + (G/T)_T + 228,6 - 10 \log B \end{aligned} \quad (10)$$

donde  $B = 40$  kHz.

Como se indica en el § 1, el valor de  $I_0/N_0$  debe ser menor que 5%/50% para satisfacer el criterio de interferencia procedente de una sola fuente. El valor admisible de  $E$  puede obtenerse entonces como:

$$E = I_0/N_0 + 25 \log \phi + L_U + L_{UA} - (G/T)_T - 228,6 + 10 \log B \quad (11)$$

En el caso de que la frecuencia del enlace ascendente sea 14 GHz:

$$E = 25 \log \phi - (G/T)_T + 14,5 + L_{UA} \quad (12)$$

Obsérvese que el desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace ascendente no afecta a la relación interferencia/ruido. Sin embargo, el efecto del desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace ascendente debe tenerse en cuenta en el cálculo de  $(G/T)_T$ , debido a que el balance de interferencia se define como una porción de la potencia de ruido total que daría lugar a una proporción de bits erróneos de  $1 \times 10^{-6}$ , y el sistema suele estar diseñado de forma que el valor de esta relación pueda obtenerse aun durante la condición de desvanecimiento.

### 4 Deducción de la p.i.r.e. requerida de los VSAT

El valor admisible de  $E$  puede obtenerse por las expresiones del punto anterior. Sin embargo, debe comprobarse si los sistemas VSAT pueden funcionar con buenas prestaciones aun en esa condición.

Si se supone que la ganancia de la antena de transmisión de la estación terrena de VSAT es  $G_T$ , y que la característica de lóbulos laterales de la antena puede expresarse por  $29 - 25 \log \phi$ , la p.i.r.e. del VSAT,  $p.i.r.e.E$  en la anchura de banda de 40 kHz puede expresarse como:

$$p.i.r.e.E = E - 29 + G_T \quad (13)$$

Entonces, de la expresión (8) puede deducirse la relación densidad de potencia portadora/densidad de ruido térmico, como:

$$(C_0/N_0)_T = E - 29 + G_T - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_T + 228,6 - 10 \log B \quad (14)$$

Como se expone en el § 1 de este Anexo, el ruido térmico se supone que es el 50% del ruido total. Por tanto, si la relación «densidad energía por bit/densidad de ruido global» requerida es  $(E_b/N_0)_R$  y el factor de conversión de  $C_0/N_0$  a  $E_b/N_0$  es  $K$ , debe entonces satisfacerse la siguiente desigualdad con un margen global del sistema de  $M$  (dB);

$$(E_b/N_0)_R - K + M \leq (C_0/N_0)_T + 10 \log (50\%/100\%) \quad (15)$$

El valor de  $K$  es el siguiente, según el tipo de modulación y corrección de errores sin canal de retorno (FEC):

3 dB para MDP-2 con FEC de relación 1/2

1,3 dB para MDP-2 con FEC de relación 3/4

0 dB para MDP-4 con FEC de relación 1/2

-1,7 dB para MDP-4 con FEC de relación 3/4.

A partir de las expresiones (14) y (15), puede calcularse el valor requerido de  $E$ . Debe señalarse que debe tenerse en cuenta el valor adecuado del desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace ascendente aunque no necesite considerarse el desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace descendente, debido a que el efecto del primero suele ser más grave que el del segundo.

## 5 Resultados numéricos en los sistemas de satélite típicos

Se calculan los valores admisibles y los valores requeridos de  $E$  en los sistemas de satélite típicos como se muestra en el Cuadro 1. A continuación se resumen los valores de parámetros supuestos en el cálculo:

Diámetro de la antena de la estación terrena de recepción	5 m
$G/T$ de la estación terrena de recepción con tiempo despejado	31 dB
$G/T$ de la estación terrena de recepción con tiempo lluvioso	30 dB
Desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace descendente	4 dB
Desvanecimiento causado por la lluvia en el enlace ascendente	3 dB
Atenuación con aire despejado en el enlace descendente	0,5 dB
Atenuación con aire despejado en el enlace ascendente	0,5 dB
Aumento de la ganancia de satélite con señal débil (IBO-OBO)	4 dB
Diámetro de la antena de VSAT	1,2 m
Ganancia de transmisión de la antena VSAT	42,7 dB
$E_b/N_0$ requerida con FEC de relación 1/2	6,4 dB
$E_b/N_0$ requerida con FEC de relación 3/4	7,4 dB
Margen global requerido del sistema	1,5 dB

Además, se utiliza el ángulo topocéntrico como ángulo con respecto al eje  $\phi$ . Se supone que los ángulos topocéntricos son 1,1 veces los ángulos geocéntricos y que los satélites se hallan en sus posiciones nominales. Para calcular la pérdida en espacio libre del enlace descendente, se utilizan las frecuencias presentadas en el Cuadro 1.

## CUADRO 1

Valores admisibles y requeridos en  $E$ 

Sistema de satélite Región Frecuencia de enlace descendente (GHz)	GSTAR Estados Unidos de América 11,7	EUTELSAT-II Europa 12,5	INTELSAT-VI Puntual Occidental 10,95	AUSSAT Australia 12,5
$G/T$ del satélite (dB(K <sup>-1</sup> ))	1,0	2,0	4,3	-1,0
SFD (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-85,0	-82,8	-81,3	-88,0
p.i.r.e. del satélite (dBW)	42,0	44,0	47,7	42,0
Ganancia del satélite con señal débil (dB)	175,4	175,2	177,4	178,4
$G/T$ total equivalente (enlace descendente despejado)	-2,3	-2,4	0,6	-2,5
$G/T$ total equivalente (enlace descendente con lluvia)	-5,7	-6,1	-3,0	-4,7
$E$ admisible - 25 log $\varphi$	20,7	21,1	18,0	19,7
$E$ admisible ( $\varphi = 2,2$ )	29,3	29,7	26,6	28,2
$E$ admisible ( $\varphi = 3,3$ )	33,7	34,1	31,0	32,6
$E$ admisible ( $\varphi = 4,4$ )	36,8	37,2	34,1	35,8
$E$ requerida (MDP-2 con FEC de relación 3/4)	27,3	27,4	24,4	27,5
$E$ requerida (MDP-2 con FEC de relación 1/2)	24,6	24,7	21,7	24,8

Como se muestra en el Cuadro 1,  $E = 33$  (dB(W/40 kHz)) puede ser adecuado cuando la separación entre satélites no es inferior a 3°. Cuando la separación entre satélites es de 2°, puede ser necesario utilizar un valor menor de  $E$ , por ejemplo 25, aunque sólo la transmisión MDP-2 con FEC de relación 1/2 puede ser realizable en este caso.

## ANEXO 2

## Características de la antena terminal de apertura extremadamente pequeña

## 1 Introducción

La reciente introducción de estaciones espaciales del SFS con notables capacidades de potencia de transmisión ha hecho posible la utilización de terminales de apertura extremadamente pequeña USAT – (*ultra-small aperture terminals*) para aplicaciones anteriormente limitadas a los terminales

de apertura muy pequeña (VSAT). Sin embargo, estos USAT tienen haces principales de gran amplitud o anchura que cuando se transmiten en sentido Tierra-espacio pueden interferir a las estaciones espaciales adyacentes en la OSG. De forma similar, las transmisiones en la misma frecuencia y con cobertura común procedentes de estaciones espaciales adyacentes y dirigidas a la estación espacial deseada podrían dar lugar a elevados niveles de interferencia en estas redes USAT. El aumento resultante de la interferencia entre redes próximas del SFS tendrá un efecto negativo en la capacidad para comunicaciones del actual recurso OSG/espectro. En consecuencia, es necesario limitar la posible interferencia de las redes USAT, especialmente en lo que respecta a la magnitud de las densidades de p.i.r.e. fuera del eje del enlace ascendente.

## 2 Tamaños del haz de la antena USAT

En el Cuadro 2 aparece el incremento en las anchuras de haz principal para diversos tamaños de antena con relación  $D/\lambda$  inferior a 50. En antenas diseñadas con ganancias de lóbulo lateral bajas y una eficacia de aproximadamente el 60% (incorporando diseños de distribución de la alimentación especiales) las anchuras de haz principal indicadas en el Cuadro 2 probablemente tomarán los valores más elevados.

CUADRO 2

### Gama angular fuera del eje de las semianchuras de haz principal de la antena

Radiofrecuencia (GHz)	$D/\lambda$	Diámetro de antena (m)	Semianchura de haz principal (grados) <sup>(1)</sup>
14	50	1,05	1,4-2,3
14	40	0,84	1,7-2,9
14	30	0,63	2,4-3,9

<sup>(1)</sup> Estas antenas son paraboloides de revolución o secciones de paraboloides. El tamaño de la anchura de haz principal es función del diseño del sistema de alimentación de la antena. Cabe señalar que esta columna se refiere a la semianchura del haz principal; es decir, la distancia angular al primer nulo o cruce por cero de la ganancia de antena.