

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1779

**Características de los sistemas del servicio fijo por satélite  
que utilizan señales de dispersión de banda ancha**

(Cuestión UIT-R 270/4)

(2007)

**Cometido**

La presente Recomendación da ejemplos de utilización de las señales de dispersión de banda ancha en sistemas del servicio fijo por satélite (SFS). Sus tres anexos presentan someramente las técnicas y los métodos de implementación de sistemas de transmisión para información de los operadores y los usuarios.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que las nuevas técnicas de transmisión que utilizan un espectro muy amplio pueden ser útiles en los enlaces ascendentes y/o descendentes del servicio fijo por satélite (SFS);
- b) que los sistemas del SFS que utilizan estas tecnologías pueden ser utilizados en nuevas aplicaciones y nuevos servicios;
- c) que las aplicaciones de sistemas del SFS que utilizan señales de dispersión de banda ancha son diferentes de otros sistemas del SFS por sus características;
- d) que los sistemas del SFS que utilizan señales de dispersión de banda ancha se distinguen de los sistemas del SFS actualmente instalados por sus características;
- e) que es necesario definir el efecto de interferencia que pueden provocar las emisiones de un sistema del SFS que utilice señales de dispersión de banda ancha;
- f) que sería útil que los operadores de redes y los usuarios dispusieran de una fuente de información sobre las características de los sistemas del SFS que utilizan señales de dispersión de banda ancha,

*recomienda*

**1** que se utilicen los modelos de sistema y las características técnicas de los Anexos 1 a 3 como ejemplos para la realización de sistemas de transmisión que utilizan señales de dispersión de banda ancha para sistemas del SFS.

NOTA 1 – Las descripciones de los Anexos 1 a 3 corresponden a los siguientes procedimientos, respectivamente:

Anexo 1 – Transmisión de información adicional sobre las señales de acceso múltiple por división en frecuencia convencionales (AMDF) del SFS.

Anexo 2 – Mejora de la capacidad efectiva de un canal en un sistema del SFS utilizando varios haces cerrados.

Anexo 3 – Reducción del nivel de densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje para satisfacer los valores de las Recomendaciones UIT-R conexas.

## Anexo 1

### **Sistema de satélite con señales de dispersión de banda ancha (tecnología de secuencia directa (DS))**

#### **1 Introducción**

En este anexo se describen las técnicas de transmisión que utilizan señales de dispersión de banda ancha, que en adelante se denominan, sistema de satélite de banda ancha, que pueden utilizarse para transmitir información adicional sin modificar el plan de frecuencias operacional del sistema SFS establecido.

Una de las aplicaciones de este sistema sería la transmisión de mensajes de urgencia, por ejemplo avisos de terremotos, avisos de tsunamis, etc. La Fig. 1 es una ilustración de este tipo de aplicaciones. Si se piensa en la transmisión de señales de urgencia, es conveniente utilizar terminales de usuario compactos y baratos, al alcance de todos. Los terminales con antenas pequeñas (de baja ganancia) serían apropiados y facilitarían la instalación y el mantenimiento. Los sistemas AMDF convencionales del SFS tienen antenas de alta ganancia que es necesario orientar en la dirección del satélite, debido a la directividad de antena. La orientación de la antena podrá perderse accidentalmente, por ejemplo con los casos de terremoto o ciclones tropicales.

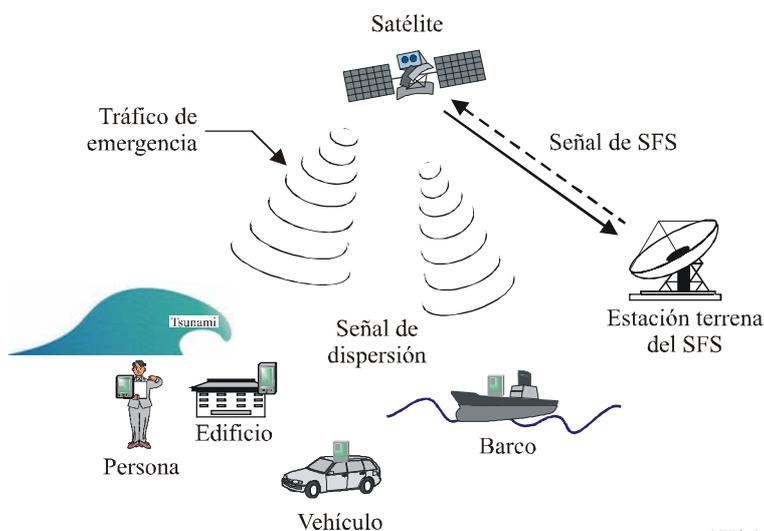
Si los terminales que tienen antenas de baja ganancia no presentan este inconveniente, sí pueden sufrir interferencia de los satélites adyacentes. La utilización de señales de dispersión permitirá evitar en parte esta deterioración por interferencia entre sistemas, gracias a la ganancia de dispersión. Por eso se utilizan señales de dispersión en este tipo de aplicaciones.

Se han considerado las siguientes aplicaciones para utilización de esta técnica:

- un sistema de satélite con señales de dispersión de banda ancha que se superponen a las señales AMDF convencionales del SFS;
- un sistema de satélite con bandas dedicadas a las señales AMDF y a las señales de dispersión de banda ancha.

En el siguiente punto se hace un balance del enlace en esta aplicación utilizando distintos parámetros del sistema SFS establecido y evaluando los resultados en función de la velocidad de transmisión de datos. Obsérvese que este análisis está basado en la hipótesis de utilización de la tecnología DS.

FIGURA 1  
**Utilización de señales de dispersión de banda ancha para la transmisión de un tráfico de emergencia**

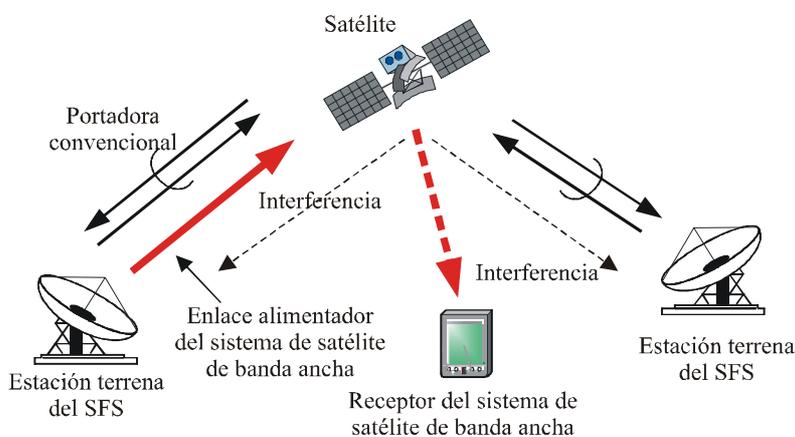


**2 Aplicación 1 – Sistema de satélite con señales de dispersión de banda ancha superpuestas a las señales AMDF convencionales del SFS**

**2.1 Modelos del sistema**

La Fig. 2 es una representación conceptual del sistema. En un análisis preliminar del sistema de satélite de banda ancha se consideran dos modelos, el Modelo 1 y el Modelo 2 del Cuadro 1. El Modelo 1 corresponde a un nuevo sistema de satélite que utiliza un transpondedor de tipo regenerativo, y el Modelo 2 corresponde a un sistema de satélite existente que no tiene transpondedor de tipo regenerativo. Además, el análisis está basado en las hipótesis descritas a continuación.

FIGURA 2  
**Modelo del sistema de satélite que utiliza señales de dispersión de banda ancha**



CUADRO 1

## Características de los modelos de sistema de satélite de banda ancha

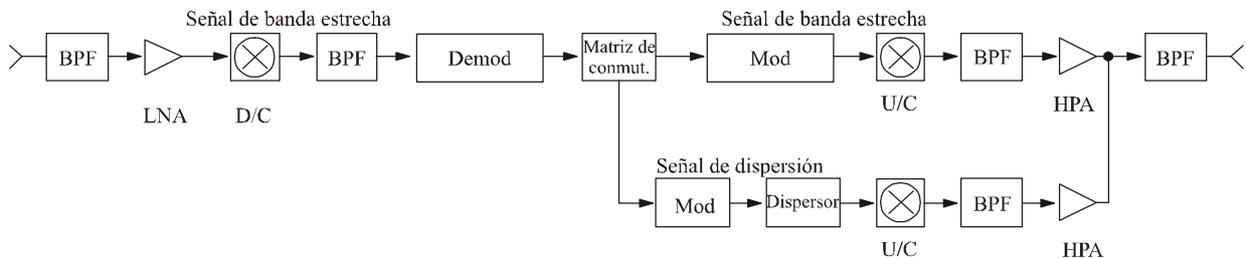
	Modelo 1	Modelo 2
Tipo de transpondedor	Regenerativo	No regenerativo
Ancho de banda (ascendente/descendente)	36/240 MHz	36/36 MHz
Principio de transmisión (ascendente/descendente)	AMDF/ AMDF y señal de dispersión	AMDF y señal de dispersión/ AMDF y señal de dispersión

**2.1.1** Las señales de dispersión de banda ancha se superponen sobre el espectro del SFS existente, dentro de la atribución del SFS. El ancho de la banda de estas señales de dispersión coincide con el ancho de la banda del transpondedor del SFS, en la que hay atribuciones para portadoras AMDF. Por tanto, las señales de dispersión utilizan la misma frecuencia que varias señales AMDF adyacentes de las mismas redes del SFS, por lo que hay interferencia interna del sistema.

**2.1.2** En el Modelo 1 se utiliza una transmisión convencional de banda estrecha para el enlace ascendente. Para el enlace descendente, las señales de dispersión de banda ancha se transmiten por un transpondedor que tiene una banda muy ancha prevista para el sistema de satélite de banda ancha, y las señales de banda estrecha se transmiten a través de transpondedores convencionales de banda estrecha. En la Fig. 3 se representa una porción de la cabina útil del satélite de Modelo 1, que explica el procesamiento de las señales del enlace ascendente.

FIGURA 3

## Diagrama de transpondedor de satélite del Modelo 1



1779-03

**2.1.3** En el Modelo 2, las señales de dispersión de banda ancha del enlace ascendente se superponen al espectro AMDF existente; tanto las señales AMDF como las señales de dispersión de banda ancha se transmiten por el transpondedor convencional. En el enlace descendente, al igual que ocurre en el ascendente, los dos tipos de señales son procesados por el transpondedor convencional.

**2.1.4** En el segmento espacial hay un solo satélite. Una sola estación espacial procesa las señales de banda ancha y las señales de banda estrecha, y se utiliza una sola antena para transmitir unas y otras en un solo haz de satélite. De otra parte, se supone que se utiliza un nuevo tipo de terminal que sólo recibe las señales de dispersión del satélite. Los parámetros del receptor del sistema de satélite de banda ancha pueden ser independientes de los parámetros de los sistemas ya instalados del SFS.

**2.1.5** Para facilitar los cálculos, tanto las señales AMDF del SFS como las señales de dispersión de banda ancha son transmitidas desde la misma estación terrena en el enlace ascendente; los dos tipos de receptores se encuentran en la misma posición sobre la superficie de la Tierra, por lo que no es necesario tener en cuenta los diagramas de antena.

## 2.2 Análisis del balance del enlace y estimación de calidad de funcionamiento

Los balances del enlace determinan que la velocidad de transmisión de datos que se puede conseguir en las bandas de 14/12 GHz. Como el enlace ascendente utiliza un transpondedor y un esquema de transmisión convencionales, la velocidad de transmisión de datos del sistema de satélite de banda ancha estará determinada por los parámetros del enlace descendente. A continuación se indica el procedimiento de cálculo.

*Paso 1:* Con los parámetros característicos de los sistemas SFS y el valor de portadora/interferencia,  $C/I$ , necesario para las portadoras AMDF, se calcula la p.i.r.e. del enlace descendente en el sistema de satélite de banda ancha, que a su vez determinará la relación portadora/temperatura de ruido,  $C/T$ , en el receptor de las señales de banda ancha.

*Paso 2:* La relación  $C/T$  en recepción determinada permite calcular la velocidad de transmisión de datos ideal en el primer paso de este análisis, suponiendo que no hay portadoras AMDF.

*Paso 3:* Como en el paso 2, se calcula ahora la velocidad de transmisión de datos posible teniendo en cuenta la interferencia de las portadoras AMDF en el sistema de satélite de banda ancha.

En los siguientes apartados se explican en detalle estas operaciones.

### 2.2.1 Paso 1

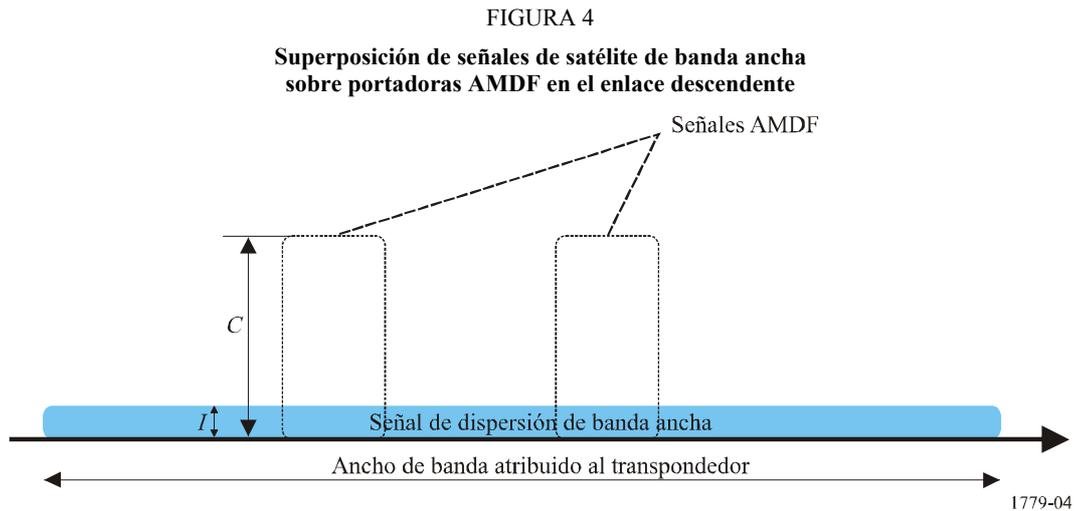
Como se indica en la Fig. 4, las portadoras AMDF convencionales se transmiten en determinadas porciones de la anchura de banda del transpondedor, y las señales del sistema de satélite de banda ancha se superponen en toda la anchura de banda del transpondedor.

Para empezar se establece el valor  $C/I$  necesario para las portadoras AMDF, siendo  $C$  la potencia de salida de una de las portadoras AMDF, y siendo  $I$  la potencia del sistema de satélite de banda ancha. En este análisis se utiliza una relación  $C/I$  de 20 dB.

Después de establecer la relación  $C/I$  necesaria, se calcula el valor admitido de p.i.r.e. en la estación espacial para el sistema de satélite de banda ancha, teniendo en cuenta el ancho de banda ocupado. A continuación se calcula el valor  $C/T$  en recepción del sistema, Rx  $C/T$ , que viene determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Rx } C/T = p.i.r.e. - L_p - M_{lluvia} + G/T \quad \text{dB} \quad (1)$$

siendo  $L_p$ ,  $M_{lluvia}$  y  $G/T$ , respectivamente, la pérdida del trayecto en espacio libre entre el satélite y el receptor sobre la superficie de la Tierra, el margen para condiciones de lluvia y la relación de ganancia/temperatura de ruido,  $G/T$ .



### 2.2.2 Paso 2

Con el valor de la relación Rx  $C/T$  se puede calcular la velocidad de transmisión de datos posible  $R$ :

$$R = R_x C/T - (E_b/N_0)_{req} + 228,6 \quad \text{dB} \quad (2)$$

donde  $(E_b/N_0)_{req}$  es la relación necesaria entre la energía por bit y el ruido  $(E_b/N_0)$ , y «228,6» es la constante de Boltzmann.

Esta velocidad de transmisión de datos es el valor ideal estimado para estas circunstancias y suponiendo que no hay portadoras AMDF de banda estrecha.

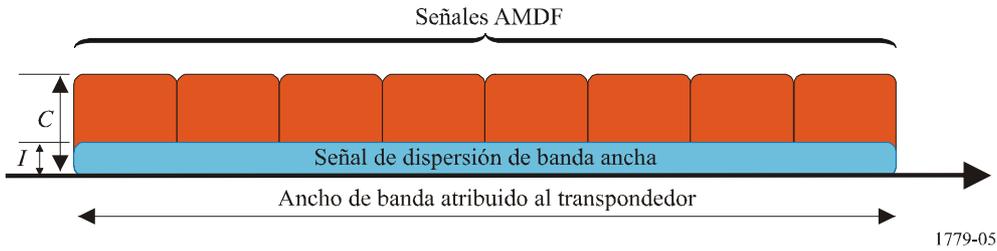
### 2.2.3 Paso 3

Por último, se calcula una velocidad de transmisión de datos posible para el sistema de satélite de banda ancha, considerando que hay múltiples portadoras AMDF de banda estrecha dentro de la anchura de banda del transpondedor. En este caso, la relación Rx  $C/T$  de las portadoras AMDF en el enlace descendente será considerada como interferencia en el sistema de satélite de banda ancha. La relación global  $C/T$  para el Modelo 1 se obtiene sumando el valor  $C/T$  de recepción del enlace descendente del sistema de satélite de banda ancha y la degradación de este valor que resulta de la interferencia de portadoras AMDF. Este procedimiento también se puede aplicar al caso del Modelo 2.

El modelo de la utilización de canales de las portadoras AMDF, para el análisis, está representado en la Fig. 5. Una utilización del 100% corresponde al caso de utilización de todo el espectro en el ancho de banda del transpondedor por múltiples portadoras AMDF de banda estrecha, y una utilización del 50% corresponde al caso de ocupación de la mitad de la banda por las portadoras AMDF. Entonces, cuando la utilización de canales es del 100%, el sistema de satélite de banda ancha necesitará una ganancia de dispersión superior en 20 dB al valor del Paso 2. Obsérvese que no se han considerado las bandas de guarda, para facilitar los cálculos.

La velocidad de transmisión de datos se calcula por el mismo procedimiento descrito en el Paso 2.

FIGURA 5  
Utilización de canales del 100% por las portadoras AMDF en el enlace descendente



### 2.3 Resultados de los análisis de balance del enlace

En los Cuadros 2 y 3 se resumen los parámetros característicos del sistema del SFS y los valores de p.i.r.e. del sistema de satélite de banda ancha. Para un valor  $C/I$  de 20 dB, la densidad de p.i.r.e. de las señales de dispersión sería de 14,4 dB(W/MHz), como se indica en el Cuadro 3.

CUADRO 2

#### Parámetros característicos de un sistema SFS

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente	Nota
Ancho de banda por portadora	72,0 MHz	36,0 MHz	
p.i.r.e. por portadora	70,0 dBW	50,0 dBW	
Densidad de p.i.r.e.	51,4 dB(W/MHz)	34,4 dB(W/MHz)	

CUADRO 3

#### Valores de p.i.r.e. en un sistema de satélite de banda ancha

Sistema AMDF	Enlace ascendente	Enlace descendente	Nota
Densidad de p.i.r.e. de AMDF	51,4 dB(W/MHz)	34,4 dB(W/MHz)	Del Cuadro 2
Relación $C/I$ necesaria (AMDF/sistema de satélite de banda ancha)	20,0 dB	20,0 dB	
Densidad de p.i.r.e. del sistema de satélite de banda ancha	31,4 dB(W/MHz)	14,4 dB(W/MHz)	

Con el ejemplo de los Modelos 1 y 2 se describe de forma pormenorizada el balance del enlace y se resume en los Cuadros 4 a 7.

Como se indica en el Cuadro 2, un ancho de banda de 72,0 MHz y un valor de p.i.r.e. de 70,0 dBW resultan en una p.i.r.e. de 67,0 dBW en una banda de 36 MHz de anchura en el Modelo 1. En el Modelo 2, la supresión del nivel de señal de dispersión de 20 dB por debajo del nivel de la señal AMDF resulta en un valor de p.i.r.e. de 47,0 dBW.

La relación  $C/T$  de recepción Rx  $C/T$  se calcula con la ecuación (1): el valor Rx  $C/T$  del enlace ascendente es -134,5 y -154,5 dB(W/K) para los Modelos 1 y 2 respectivamente.

CUADRO 4

**Balance del enlace – 1 (enlace ascendente)**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 1 (Regenerativo)	Modelo 2 (No regenerativo)	Nota
Ancho de banda	36 MHz	36 MHz	
p.i.r.e. de la estación terrena	67,0 dBW	47,0 dBW	De los Cuadros 2 y 3
Pérdida en el trayecto	206,5 dB	206,5 dB	Frecuencia de funcionamiento: 14 GHz
Atenuación por la lluvia	0 dB	0 dB	
$G/T$ de la antena de recepción	5,0 dB/K	5,0 dB/K	
$C/T$ en recepción de enlace ascendente	-134,5 dB(W/K)	-154,5 dB(W/K)	

Considerando la densidad de p.i.r.e. de las señales de dispersión de 14,4 dB(W/MHz) del Cuadro 3 y un ancho de banda de 240 MHz en el enlace descendente del Modelo 1, el valor de p.i.r.e. del satélite será de 38,2 dBW. De la misma forma, el valor de p.i.r.e. del satélite para el Modelo 2 será de 30,0 dBW. El valor Rx  $C/T$  del enlace descendente se calcula con la ecuación (1): -171,9 y -180,2 dB(W/K) para los Modelos 1 y 2 respectivamente.

CUADRO 5

**Balance del enlace – 2 (enlace descendente)**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 1	Modelo 2	Nota
Ancho de banda	240 MHz	36 MHz	
p.i.r.e. del satélite	38,2 dBW	30,0 dBW	Del Cuadro 3
Pérdida en el trayecto	205,2 dB	205,2 dB	Frecuencia de funcionamiento: 12 GHz
Atenuación por la lluvia	0 dB	0 dB	
$G/T$ de antena de recepción	-5,0 dB/K	-5,0 dB/K	Antena parabólica de 10 cm (19,8 dBi), $T_{sis} = 300$ K
$C/T$ en recepción de enlace descendente	-171,9 dB(W/K)	-180,2 dB(W/K)	

Los terminales de usuario que tienen antenas de baja ganancia podrían resultar afectados por la interferencia de satélites adyacentes, que degrada el valor de la relación  $C/T$ . Ahora bien, estos efectos no se tienen en cuenta para hacer la evaluación del valor ideal en este análisis de balance del enlace (véase el § 2.4.2).

Por consiguiente, el valor  $C/T$  global es igual al valor Rx  $C/T$  del enlace descendente, es decir, -171,9 y -180,2 dB(W/K) para los Modelos 1 y 2 respectivamente.

CUADRO 6

**Balance del enlace – 3 (global)**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 1	Modelo 2	Nota
$C/T$ global dentro del sistema	-171,9 dB(W/K)	-180,2 dB(W/K)	De los Cuadros 4 y 5
Degradación de $C/T$ por interferencia de satélites adyacentes	0 dB	0 dB	
$C/T$ global	-171,9 dB(W/K)	-180,2 dB(W/K)	

Por último, la ecuación (2) determina la velocidad de datos estimada, que se indica en el Cuadro 7.

CUADRO 7

**Velocidad de transmisión de datos disponible en un sistema de satélite de banda ancha**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 1	Modelo 2	Nota
$C/T$ global	-171,9 dB(W/K)	-180,2 dB(W/K)	
Relación $E_b/N_0$ necesaria	4,0 dB	4,0 dB	
Constante de Boltzmann	-228,6 dB(W/(K · Hz))	-228,6 dB(W/(K · Hz))	
Velocidad de transmisión de datos estimada	52,7 dB(bit/s) 184,8 kbit/s	44,4 dB(bit/s) 27,7 kbit/s	

Considerando el funcionamiento de la portadora del SFS, ese valor se traduce en una relación de interferencia/ruido,  $I_0/N_0$ , de -1,3 dB, suponiendo que se utiliza una antena de 1,2 m (41,3 dBi) y que la temperatura del sistema es de 120 K en la estación terrena.

## 2.4 Resumen de condiciones de velocidad de transmisión de datos disponibles

### 2.4.1 Velocidad de transmisión de datos con distintos valores de la relación $C/I$

En el Cuadro 8 y en la Fig. 6 se indican las velocidades de transmisión de datos para distintos valores  $C/I$  en el enlace descendente para el Modelo 1, siendo  $C$  la potencia de salida de una de las portadoras AMDF, e  $I$  la potencia del sistema de satélite de banda ancha. Se considera que los valores de ganancia de antena y degradación de la relación  $C/T$  por interferencia de satélites adyacentes son 19,8 dBi y 0 dB (caso ideal) respectivamente. A partir del resultado, con un factor de carga del 100% y un valor  $C/I$  de 20 dB, por ejemplo, la velocidad de transmisión de datos posible es de 154,9 kbit/s.

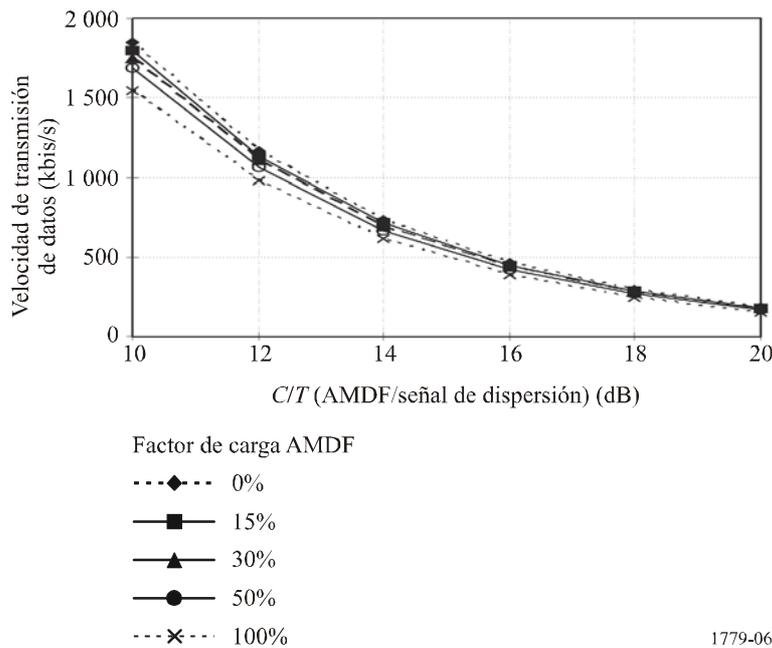
CUADRO 8

**Velocidad de transmisión de datos (kbit/s) con distintos valores de  $C/I$  para el Modelo 1**

$C/I$ (dB)	Factor de carga de portadoras AMDF (%)				
	0	15	30	50	100
10	1 848,0	1 795,9	1 746,7	1 685,1	1 548,5
12	1 166,0	1 133,2	1 102,1	1 063,2	977,0
14	735,7	715,0	695,4	670,8	616,5
16	464,2	451,1	438,7	423,3	389,0
18	292,9	284,6	276,8	267,1	245,4
20	184,8	179,6	174,7	168,5	154,9

FIGURE 6

**Velocidad de transmisión de datos con distintos valores de  $C/I$  para el Modelo 1**



1779-06

#### 2.4.2 Velocidad de transmisión de datos con distintos niveles de degradación del valor $C/I$ por interferencia de satélites adyacentes

Los terminales de usuario que tienen antenas de baja ganancia podrían verse afectados por la interferencia de satélites adyacentes, que provocan una degradación del valor  $C/I$ . La evaluación de esta interferencia se hace con las siguientes hipótesis de parámetros:

- la abertura angular de la antena (HPBW, *half power beamwidth* (abertura del haz a mitad de potencia)) es aproximadamente de  $20^\circ$  con una antena parabólica de 10 cm de diámetro (19,8 dBi);
- los satélites adyacentes están situados a una distancia de  $2^\circ$ . Hay 10 satélites dentro de una apertura de haz de  $20^\circ$ ;

- el nivel de recepción de cada satélite adyacente es el mismo del satélite objetivo, teniendo en cuenta un haz de amplia abertura;
- la mitad de los 10 satélites adyacentes (cinco satélites) interfiere con la señal deseada. Por tanto, la degradación del valor  $C/T$  por interferencia de cinco satélites adyacentes es de 7 dB.

En el Cuadro 9 y en la Fig. 7 se indican las velocidades de transmisión de datos para distintos niveles de degradación del valor  $C/T$  debido a la interferencia de satélites adyacentes. Este cálculo se hace con un valor  $C/T$  de 20 dB y un factor de carga de satélites adyacentes del 100%. Obsérvese que la degradación del valor  $C/T$  representadas en el eje horizontal se puede convertir en número de satélites adyacentes.

CUADRO 9

**Velocidad de transmisión de datos (kbit/s) con distintos niveles de degradación del valor  $C/T$  por interferencia para el Modelo 1**

$(C/T)_{\text{grados}}$ $(N_s)$	0 (0)	3 (2)	7 (5)	10 (10)	14 (25)	20 (100)
$R_{\text{carga}}$						
0%	184,8	133,3	93,8	63,0	31,5	9,1
50%	168,5	121,6	85,6	57,4	28,8	8,3
100%	154,9	111,7	78,6	52,8	26,4	7,6

$(C/T)_{\text{grados}}$ : degradación del valor  $C/T$  por interferencia de satélites adyacentes (dB)

$N_s$ : número de satélites adyacentes

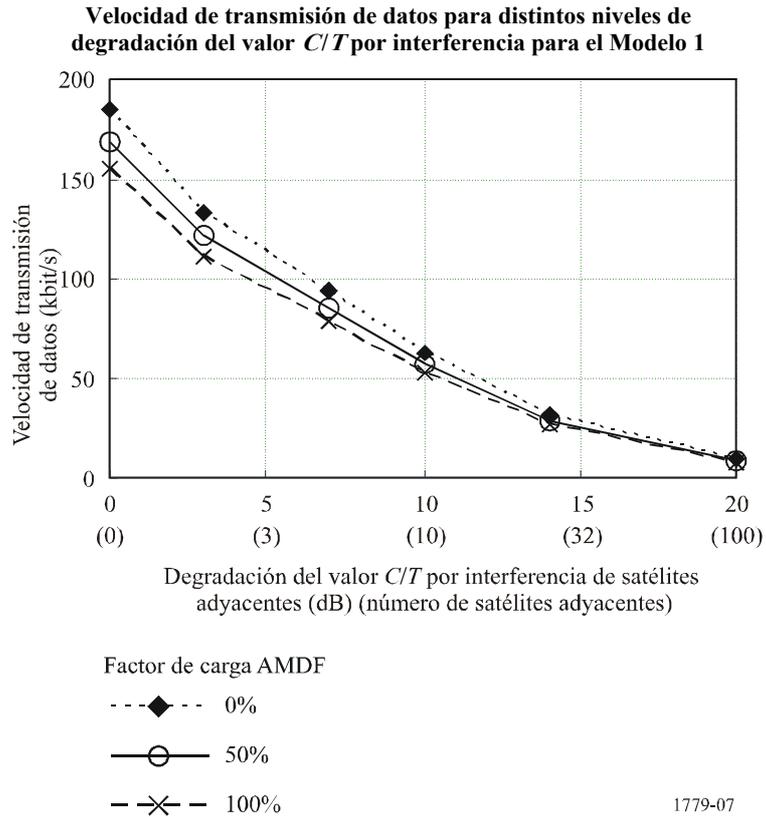
$R_{\text{carga}}$ : factor de carga en el satélite objetivo.

**2.5 Consecuencias de la superposición de señales de dispersión de banda ancha sobre portadoras AMDF**

Las portadoras AMDF podrían resultar afectadas por las señales de dispersión en la misma frecuencia. En el siguiente análisis de balance del enlace se evalúan las consecuencias para el enlace descendente.

En el § 2.3 se indican los parámetros característicos del sistema SFS, entre ellos el valor  $C/T$  de recepción Rx  $C/T$  para el enlace descendente de  $-140,1$  dB(W/K), como se indica en el Cuadro 10. Obsérvese que en este Cuadro no se tiene en cuenta el efecto de las señales de dispersión sobre las portadoras AMDF, que se examinará más adelante.

FIGURA 7



CUADRO 10

**Balance del enlace de un sistema AMDF (enlace descendente)**

Sistema AMDF	Enlace descendente	Nota
Ancho de banda	36 MHz	
p.i.r.e. del satélite	50,0 dBW	Del Cuadro 2
Pérdida en el trayecto	205,2 dB	Frecuencia de funcionamiento: 12 GHz
Atenuación por la lluvia	0 dB	
Degradación del valor $C/T$ por interferencia de señales de dispersión superpuestas	0 dB	
$G/T$ de la antena de recepción	15,1 dB/K	
$C/T$ de recepción, enlace descendente	-140,1 dB(W/K)	

Si el valor mínimo de  $C/T$  para una portadora de 64 kbit/s es  $-175,9$  dB(W/K), y suponiendo que hay un margen de sistema de 10 dB, el valor  $C/T$  necesario es de  $-165,9$  dB(W/K).

CUADRO 11

Valor  $C/T$  necesario para un sistema AMDF

Sistema AMDF		Nota
$C/T$ mínimo (64 kbit/s)	-175,9 dB(W/K)	BER = $1 \times 10^{-6}$ , $E_b/N_0 = 4,6$ dB
Margen del sistema	10 dB	
$C/T$ necesario	-165,9 dB(W/K)	

Ahora se puede calcular el número posible de canales como se indica en el Cuadro 12.

CUADRO 12

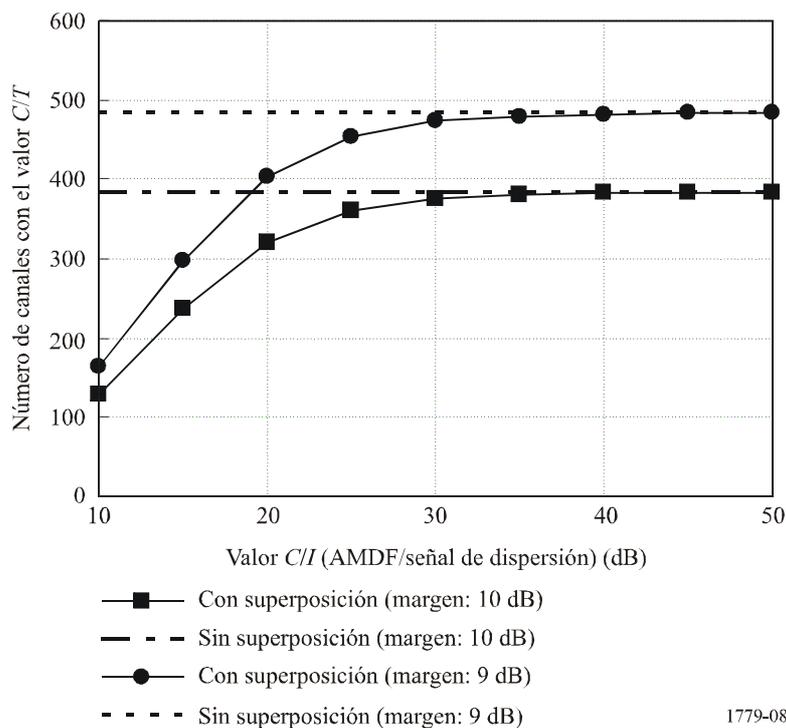
Número de canales posible

Sistema AMDF		Nota
Margen	25,8 dB	De los Cuadros 10 y 11
Número de canales	384	

En un entorno con superposición el número de canales sería inferior al que se indica en este Cuadro. El efecto de la superposición de señales de dispersión sobre portadoras AMDF se calcula para distintos valores  $C/I$ , siendo  $C$  la potencia de salida de una de las portadoras AMDF, e  $I$  la potencia del sistema de satélite de banda ancha. En la Fig. 8 se indica el número de canales AMDF con o sin señales de dispersión superpuestas.

FIGURA 8

Número de canales con señales de dispersión superpuestas sobre portadoras AMDF para distintos valores de  $C/I$



Puede verse que el número de canales AMDF disminuye cuando aumenta la interferencia de las señales de dispersión superpuestas, esto es, cuando se reduce el valor  $C/I$ . En estos casos se puede aumentar el número de canales disponibles reduciendo el margen de enlace del sistema. Según las condiciones de funcionamiento, se sopesarán las ventajas e inconvenientes del número de canales AMDF y de la cantidad de interferencia provocada por las señales de dispersión superpuestas que se impone a cada portadora de AMDF.

## 2.6 Análisis

De los anteriores resultados se desprende que la velocidad de transmisión de datos posible depende del factor de carga de las portadoras AMDF, el valor  $C/I$ , la degradación del valor  $C/T$  por interferencia dentro del sistema y/o entre sistemas y la proporción de interferencia en las portadoras AMDF sobre la misma frecuencia. La velocidad de datos posible es relativamente baja, pero se considera que es suficiente para transmitir la información de emergencia de baja velocidad.

Se propone un modelo de sistema basado en una hipótesis de interferencia dentro del sistema. Siempre que no se rebase el umbral de interferencia en el sistema de satélite adyacente, es posible seleccionar valores apropiados de  $C/I$  y factor de carga según la política de funcionamiento y las características del sistema. En una situación de desastre natural se podrían transmitir únicamente las señales de dispersión, utilizando enteramente el transpondedor para garantizar la transmisión efectiva de la información de emergencia, sin una asignación previa del transpondedor y/o de bandas de frecuencias.

El principio de superposición puede aumentar el nivel de ruido,  $I_0/N_0$ , para las portadoras AMDF, dependiendo de la ganancia de antena de la estación terrena receptora. Considerando los resultados del § 2.5, si bien el número de canales AMDF disminuye al aumentar la interferencia de las señales de dispersión superpuestas, es decir, al disminuir el valor  $C/I$ , esta disminución del número de canales está compensada por las ventajas de utilización de una antena más pequeña y por la velocidad de transmisión de datos que permiten las señales de dispersión de banda ancha. Se trata de interferencia dentro del sistema (no de interferencia entre sistemas), uno de los factores que están controlados por la entidad que especifica el enlace de satélite y/o por los operadores del satélite.

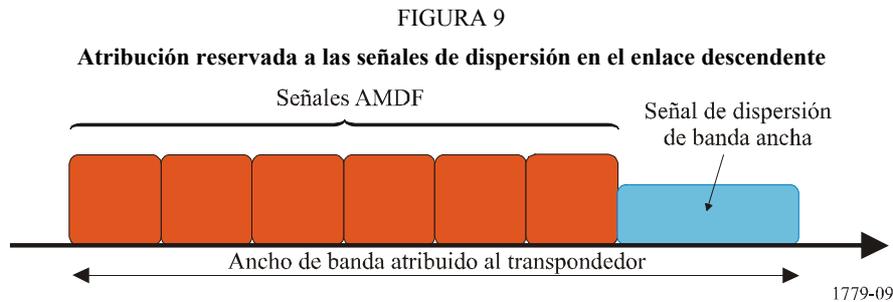
## 3 Aplicación 2 – Un sistema de satélite con anchos de banda dedicados unos a las señales AMDF y otros a las señales de dispersión de banda ancha

### 3.1 Modelo del sistema

La representación conceptual del sistema y las hipótesis de modelos del enlace son las mismas de la Aplicación 1, como se indica en la Fig. 2. Sin embargo, la utilización del espectro del SFS es diferente; en la Aplicación 1 las señales de dispersión de banda ancha se superponen sobre el espectro del SFS existente dentro de la atribución al SFS; en cambio, en la Aplicación 2 hay bandas separadas para las señales AMDF y para las señales de dispersión, es decir, una atribución de anchos de banda para las señales de dispersión. A continuación se describen las situaciones consideradas para la Aplicación 2. La hipótesis del modelo de enlace (Modelo 3) está representada en el Cuadro 13:

- las señales de dispersión de banda ancha se transmiten por bandas dedicadas como se indica en la Fig. 9. No hay interferencia dentro del sistema porque las señales de dispersión y las señales AMDF se transmiten separadamente dentro de la asignación al SFS de las mismas redes del SFS;
- en el enlace ascendente se utiliza un transpondedor regenerativo de banda estrecha;

- en el enlace a descendente se reserva una porción de la asignación al SFS para las señales de dispersión;
- se supone que la utilización de terminales de usuarios con antena omnidireccional o semiomnidireccional facilitan la instalación y el mantenimiento. Si bien los terminales con este tipo de antenas resultan afectados por interferencia de satélites adyacentes, la ganancia de dispersión limita la degradación causada por la interferencia entre sistemas.



CUADRO 13

**Modelos de enlace en la Aplicación 2**

	<b>Modelo 3</b>	<b>Nota</b>
Tipo de transpondedor	Regenerativo	
Ancho de banda/p.i.r.e. (enlace ascendente)	36 MHz/77 dBW	
Ancho de banda/p.i.r.e. (enlace descendente)	3,6 MHz/52,1 dBW	Se supone que la p.i.r.e. máxima es de 62,1 dBW
Principio de transmisión (enlace ascendente/enlace descendente)	AMDF/AMDF y señal de dispersión	

**3.2 Análisis del balance del enlace y calidad de funcionamiento**

La estimación de velocidad de transmisión de datos posible está basada en el balance del enlace en las bandas de 14/12 GHz. El cálculo es como en la Aplicación 1, excepto los parámetros  $C/I$ :

- los parámetros de los sistemas SFS y el ancho de banda asignado a las señales de dispersión determinan el valor  $R_x C/I$  en el receptor de la señal de banda ancha en el enlace descendente;
- este valor  $R_x C/I$ , permite determinar la velocidad de transmisión de datos.

Como no hay interferencia entre las señales AMDF y las señales de dispersión, en este análisis se considera que el valor  $C/I$ , utilizado en la Aplicación 1, es infinito.

**3.3 Resultados del análisis del balance del enlace**

La ecuación (1) permite calcular el valor  $R_x C/I$  del enlace ascendente:  $-134,5 \text{ dB(W/K)}$  (véase el Cuadro 14). La ecuación (1) también permite determinar el valor  $C/I$  del receptor en el enlace descendente de  $-172,9 \text{ dB(W/K)}$  (véase el Cuadro 15).

CUADRO 14

**Balance del enlace – 1 (ascendente)**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 3	Nota
Ancho de banda	36 MHz	
p.i.r.e. de la estación terrena	67,0 dBW	
Pérdida en el trayecto	206,5 dB	Frecuencia de funcionamiento: 14 GHz
Atenuación por la lluvia	0 dB	
$G/T$ de la antena de recepción	5,0 dB/K	
$C/T$ de receptor, enlace ascendente	-134,5 dB(W/K)	

CUADRO 15

**Balance del enlace – 2 (descendente)**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 3	Nota
Ancho de banda por portadora	3,6 MHz	
p.i.r.e. del satélite por portadora	52,1 dBW	
Pérdida en el trayecto	205,2 dB	Frecuencia de funcionamiento: 12 GHz
Atenuación por la lluvia	0 dB	
$G/T$ de la antena de recepción	-19,8 dB/K	Antena placa pequeña (5 dBi), $T_{sis} = 300$ K
$C/T$ del receptor del enlace descendente	-172,9 dB(W/K)	$C/T$ global dentro del sistema

Se supone que en la Aplicación 2 también se utilizan terminales de usuario con antenas de baja ganancia; que pueden resultar afectados por la interferencia de satélites adyacentes. Sin embargo, esta operación se realiza suponiendo condiciones ideales sin interferencia, y en el § 3.4.2 se indican las velocidades de transmisión de datos con interferencia.

CUADRO 16

**Balance del enlace – 3 (global)**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 3	Nota
$C/T$ global dentro del sistema	-172,9 dB(W/K)	Del Cuadro 15
Degradación del valor $C/T$ por interferencia de otros sistemas	0 dB	
$C/T$ global	-172,9 dB(W/K)	

Por último, la ecuación (2) permite calcular la velocidad de transmisión de datos, que se indica en el Cuadro 17.

CUADRO 17

**Velocidad de transmisión de datos posible  
en los sistemas de satélite de banda ancha**

Sistema de satélite de banda ancha	Modelo 3	Nota
$C/T$ global	-172,9 dB(W/K)	
Relación $E_b/N_0$ necesaria	4,0 dB	
Constante de Boltzmann	-228,6 dB(W/(K · Hz))	
Estimación de velocidad de transmisión de datos	51,7 dB(bit/s) 148,9 kbit/s	

### 3.4 Resumen de los valores de velocidad de transmisión de datos que se pueden corregir

#### 3.4.1 Velocidad de transmisión de datos con distintos anchos de banda para señales de dispersión

En la Aplicación 2 se asigna un ancho de banda especialmente a las señales de dispersión. Para determinar el efecto del ancho de banda en la velocidad de transmisión de datos se han considerado distintos valores (los resultados se indican en el Cuadro 18 y en la Fig. 10 para el Modelo 3). Se supone que la p.i.r.e. del enlace descendente cambia proporcionalmente al correspondiente aumento de anchura de banda. En este análisis se han considerado dos tipos de antena: la antena omnidireccional (0 dBi) y una antena placa pequeña (5 dBi). No se ha tenido en cuenta la degradación del valor  $C/T$  por interferencia de otros sistemas, haciendo la evaluación de un caso ideal.

Los resultados indican que es posible obtener una velocidad de transmisión de datos del orden de decenas de kbit/s, aunque la banda sea muy estrecha. Puede verse que esta banda estrecha es suficiente para transmitir la información de baja velocidad en funcionamiento normal, y se puede elevar la velocidad de transmisión modificando la anchura de banda de las señales de dispersión y las señales AMDF.

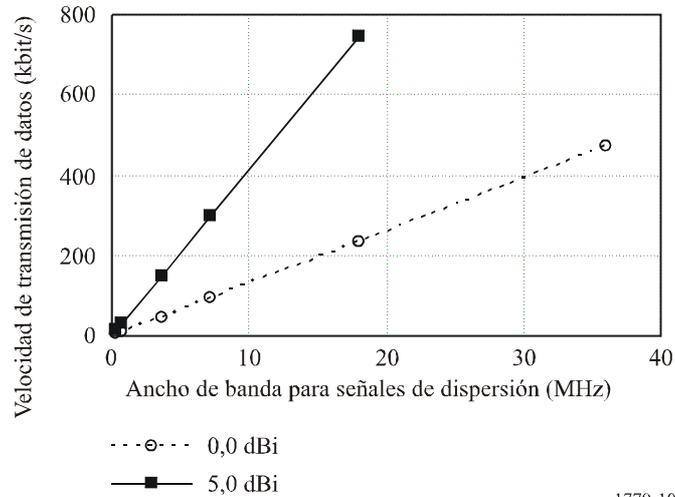
CUADRO 18

**Velocidad de transmisión de datos (kbit/s) con distintos  
valores de ancho de banda para señales de dispersión**

Tipo de antena	Ancho de banda para las señales de dispersión (MHz)					
	0,36	0,72	3,6	7,2	18	36
0,0 dBi (omnidireccional)	4,7	9,4	47,1	94,2	235,4	470,8
5,0 dBi (placa)	14,9	29,8	148,9	297,8	744,4	1 488,7

FIGURA 10

**Velocidad de transmisión de datos con distintos valores de ancho de banda para señales de dispersión**



### 3.4.2 Velocidad de transmisión de datos teniendo en cuenta la degradación del valor $C/T$ por interferencia de satélites adyacentes

La hipótesis de evaluación de la degradación del valor  $C/T$  por interferencia de satélites adyacentes son las mismas de la Aplicación 1:

- Paso 1:* La mayor parte de la órbita geoestacionaria ( $100^\circ$ ) está dentro del haz principal de una antena casi omnidireccional con una ganancia de 5 dBi.
- Paso 2:* Los satélites adyacentes están dispuestos con una separación de  $2^\circ$ . Hay 50 satélites dentro de la abertura de  $100^\circ$ .
- Paso 3:* Cuando se utilizan estas antenas de baja ganancia, no hay diferencias de ganancia en un espacio de varias decenas de grados a partir del eje principal; por tanto, el nivel de recepción de cada satélite adyacente es igual al nivel de recepción del satélite objetivo.
- Paso 4:* La mitad de los 50 satélites adyacentes (25 satélites) interfiere con la señal deseada y produce una degradación del valor  $C/T$  de 14 dB.

En el Cuadro 19 y la Fig. 11 se indican los valores de velocidad de transmisión de datos para varios niveles de degradación del valor  $C/T$  por interferencia de los satélites adyacentes para el Modelo 3. En este cálculo se considera que el ancho de banda reservado a las señales de dispersión es de 3,6 MHz, y el factor de carga en satélites adyacentes de 100%, y se consideran dos tipos de antenas.

CUADRO 19

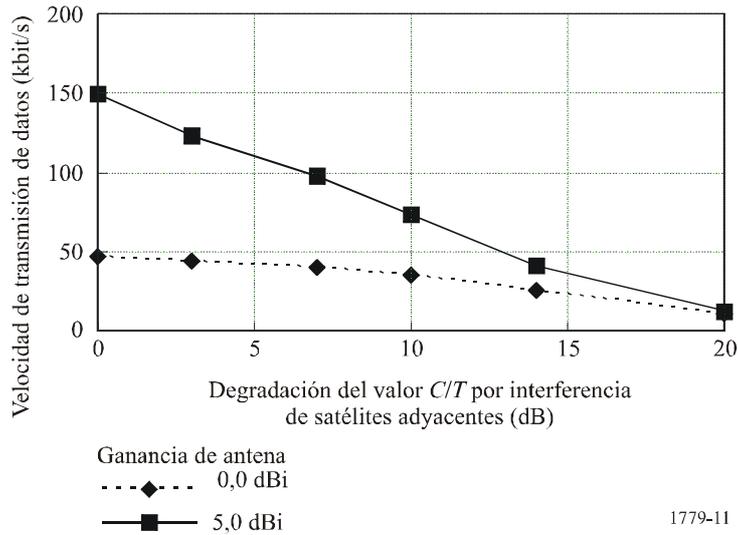
**Velocidad de transmisión de datos (kbit/s) con distintos niveles de degradación del valor  $C/T$  por interferencia de satélites adyacentes para el Modelo 3**

$(C/T)_{\text{grados}}$ $(N_s)$	0 (0)	3 (2)	7 (5)	10 (10)	14 (25)	20 (100)
$G_r$						
0,0 dBi (omnidireccional)	47,1	44,2	40,4	35,4	25,8	11,0
5,0 dBi (placa)	148,9	123,3	97,9	73,0	41,3	13,1

$(C/T)_{\text{grados}}$ : Degradación de  $C/T$  por interferencia de satélites adyacentes (dB)  
 $N_s$ : Número de satélites adyacentes  
 $G_r$ : Ganancia de antena de los terminales de usuario.

FIGURA 11

**Velocidad de transmisión de datos con distintos niveles de degradación del valor  $C/T$  por interferencia de satélites adyacentes para el Modelo 3**



1779-11

**3.5 Análisis**

A fin de facilitar la instalación y el mantenimiento de un sistema para desastres naturales y otras situaciones similares, es conveniente utilizar terminales de usuario con antenas de baja ganancia. Es posible determinar la interferencia dentro del sistema adaptando las políticas de funcionamiento, pero no se puede evitar una degradación del valor  $C/T$  por interferencia de satélites adyacentes y esta interferencia no controlada afectará significativamente la velocidad de transmisión de datos.

Los resultados indican que es posible obtener velocidades de transmisión de datos de varias decenas de kbit/s, aunque la interferencia de los satélites adyacentes afecte las señales deseadas. La opción de separación de bandas, que es la principal ventaja comparada con la Aplicación 1, permite utilizar la señal de dispersión sin interferir en las señales AMDF convencionales.

#### 4 Resumen

En este anexo se han descrito las características de un sistema de satélite con señales de dispersión de banda ancha en dos aplicaciones:

- superposición de las señales de dispersión sobre las señales AMDF convencionales en las mismas redes del SFS;
- asignación de bandas reservadas para las señales de dispersión.

Los modelos de sistema y las características técnicas presentadas en este documento constituyen una descripción completa de los sistemas SFS con señales de dispersión de banda ancha.

Los desastres naturales recientes demuestran que es muy importante dar aviso inmediatamente a las personas que viven en zonas posiblemente afectadas por estos desastres. El sistema propuesto se podría utilizar en estos casos de desastre natural y otras emergencias a los efectos de aviso y socorro.

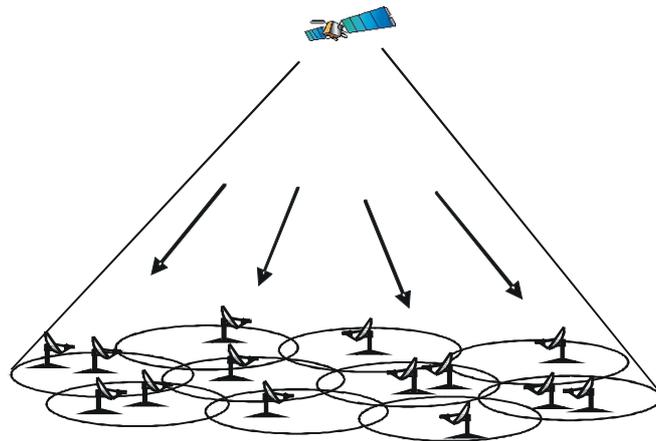
## Anexo 2

### **Sistema del SFS con varios haces de poca abertura y el sistema AMDC (señales de dispersión de banda ancha)**

#### 1 Descripción general

El presente anexo presenta la utilización de las técnicas AMDC para un sistema del SFS utilizando un satélite con varios haces estrechos. En la Fig. 12 está representada la organización conceptual del sistema del SFS. En el Cuadro 20 se indican los parámetros básicos del sistema del SFS. Para comprobar la eficacia de la técnica AMDC para este tipo de sistema del SFS, se analiza la capacidad del canal comparándola con la capacidad de un sistema AMDF. Para facilitar el análisis se consideran únicamente los enlaces descendentes. Se supone que los terminales de usuario tienen una antena de 45 cm de diámetro. Se supone un margen por lluvia de 3 dB (lluvia moderada) para una frecuencia de 12,5 GHz en el enlace descendente. Se supone que hay 14 haces de poca abertura (véase la descripción en las Figs. 13 y 16).

FIGURA 12  
 Sistema del SFS con varios haces de poca abertura



1779-12

CUADRO 20

Parámetros básicos del sistema del SFS con varios haces de poca abertura

Parámetros	Valores	Nota
Frecuencia del enlace descendente (GHz)	12,5	
Ancho de banda del transpondedor (MHz)	36,0	
p.i.r.e. de saturación del satélite (dBW)	61,02	
Pérdida de propagación en el enlace descendente (dB)	205,5	
Margen de lluvia en el enlace descendente (dB)	3,0	Lluvia moderada
G/T del terminal de usuario (dB/K)	11,19	45 cm de diámetro
Número de haces estrechos	14	

## 2 Capacidad del canal en el caso de transmisiones AMDF

Si se utiliza el principio de acceso múltiple AMDF en el sistema del SFS con varios haces de poca abertura, es necesaria una segmentación de frecuencias sobre estos haces estrechos para evitar la interferencia de los haces de satélite adyacentes (véanse las Figs. 13 y 14).

Siguiendo el modelo de las redes celulares terrenales, la cobertura de satélite con varios haces estrechos puede ser del tipo de células hexagonales. Hay varios principios de reutilización de frecuencias (factor de reutilización de frecuencias con 3, 4, 7, 9, 13 bandas, etc.). El principio de reutilización de frecuencias elegido resulta de un compromiso entre la eficiencia de utilización del espectro y la cantidad de interferencia de otras células en el mismo canal (haces estrechos). Este estudio se hace con la hipótesis de un factor de reutilización 7, habitual en sistemas celulares, para 14 haces de poca abertura.

La capacidad del canal en función del ancho de banda en el caso de transmisiones AMDF,  $N_{AMDF-BW}$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_{AMDF-BW} = B_t / (B_c \cdot K) \cdot M = B_t / (R / \eta \cdot K) \cdot M \quad (3)$$

donde  $B_t$ ,  $B_c$ ,  $R$ ,  $\eta$ ,  $K$  y  $M$  representan el ancho de banda total, el ancho de banda del canal, la velocidad de transmisión de información, la eficiencia de ancho de banda (velocidad de transmisión

de información por unidad de ancho de banda), el factor de reutilización de frecuencias y el número de haces puntuales, respectivamente.

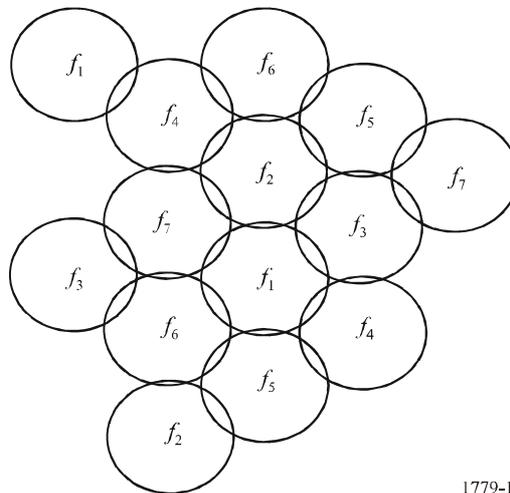
De otra parte la capacidad del canal en función de la potencia en el caso de transmisiones AMDF,  $N_{AMDF-POW}$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_{AMDF-POW} = (C/N_0) / (E_b/N_0)_{th} \cdot \alpha \tag{4}$$

donde  $C$ ,  $N_0$ ,  $(E_b/N_0)_{th}$  y  $\alpha$  representan la potencia total recibida disponible en el sistema del SFS, la densidad de ruido del sistema (AWGN, *additive white Gaussian noise*), la relación  $E_b/N_0$  necesaria y la ventaja del efecto de activación de datos (voz), respectivamente.

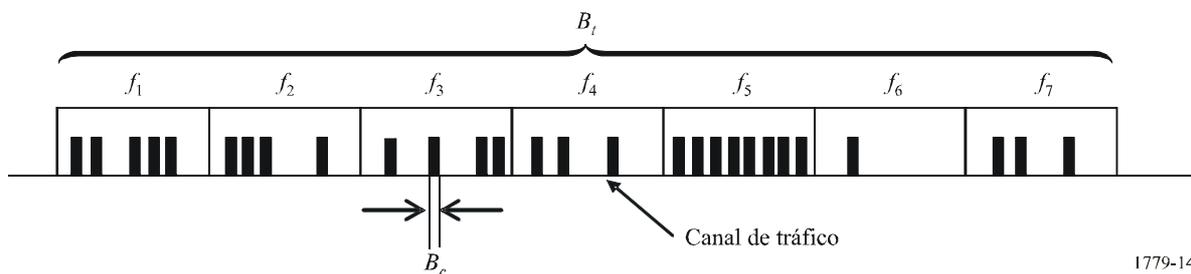
Por consiguiente, la capacidad del canal para transmisiones AMDF será el más bajo de estos dos valores,  $N_{AMDF-BW}$  y  $N_{AMDF-POW}$ .

FIGURA 13  
Disposición de los haces estrechos y reutilización de frecuencias en un sistema del SFS que utiliza el principio AMDF



1779-13

FIGURA 14  
Atribución de frecuencias de un sistema del SFS que utiliza el principio AMDF



1779-14

### 3 Capacidad del canal en el caso del sistema AMDC

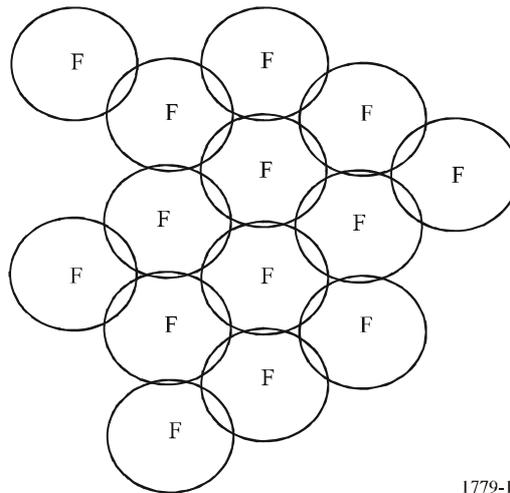
Cuando se utiliza el principio de acceso múltiple AMDC no es necesaria la segmentación de frecuencias en los haces puntuales (véanse las Figs. 15 y 16). En este caso es posible utilizar todo el ancho de banda,  $B_t$ , en todos los haces estrechos, lo que no se podía hacer en el caso de AMDF. En el caso de transmisiones AMDC, la capacidad del canal está determinada principalmente por la

cantidad de interferencias de otros canales AMDC que funcionen en el mismo haz puntual y en otros adyacentes.

La Fig. 17 es una representación del proceso de modulación (primaria y secundaria) en las transmisiones AMDC. Los valores  $r_1$  y  $r_2$  corresponden a la velocidad de transmisión después de la modulación primaria (que incluye la corrección de errores hacia adelante, FEC) y la modulación secundaria respectivamente. Los valores  $b_1$  y  $b_2$  representan el ancho de banda de ruido equivalente de la modulación primaria y la modulación secundaria respectivamente. La ganancia de dispersión,  $G_p$ , es la relación entre  $b_2$  y  $r_1$  (es decir,  $G_p = b_2/r_1$ ).

FIGURA 15

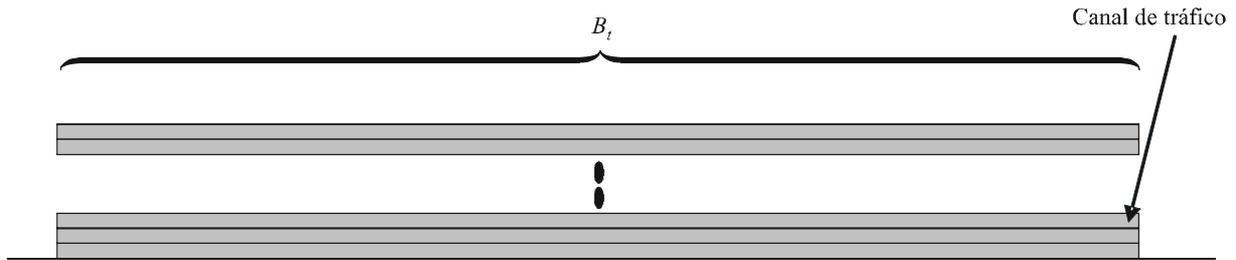
Disposición de los haces puntuales en un sistema del SFS que utiliza el principio AMDC



1779-15

FIGURA 16

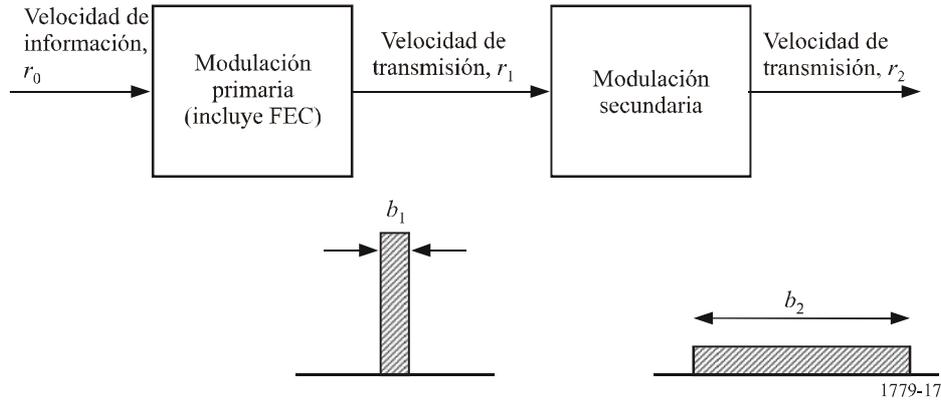
Atribución de frecuencias de un sistema del SFS que utiliza el principio AMDC



1779-16

FIGURA 17

## Proceso de modulación de las señales AMDC



Como se indica en la Fig. 18, los valores de señal deseada, ruido del sistema e interferencia de otros canales AMDC se miden en la entrada de un receptor en el caso de transmisión AMDC. El proceso de cálculo de la capacidad del canal en el caso AMDC son los siguientes pasos:

*Paso 1:* La potencia recibida de un solo canal deseado  $C'$  viene dado por la expresión  $C' = C/N_{AMDC}$ , donde  $C$  y  $N_{AMDC}$  representan la potencia total recibida disponible en el sistema del SFS y la capacidad del canal en el caso de transmisiones AMDC, respectivamente.

*Paso 2:* La densidad de interferencia de otros canales AMDC,  $I_0$ , viene dada por la expresión  $I_0 = C/N_{CDMA} * (N_{AMDC} - 1)/b_2$ . Obsérvese que  $b_2$  es el ancho de banda equivalente de la modulación secundaria como se indica en la Fig. 17. La densidad del ruido del sistema sin considerar la interferencia de otros canales AMDC es  $N_0$  (la densidad de ruido gaussiano blanco acumulado (AWGN)).

*Paso 3:* De los pasos 1 y 2 puede deducirse la expresión de  $C'/(N_0 + I_0)$ :

$$C'/(N_0 + I_0) = (C/N_{AMDC}) / (N_0 + C/N_{AMDC} * (N_{AMDC} - 1)/b_2) \quad (5)$$

*Paso 4:* Si se acepta la aproximación de  $N_{AMDC} \doteq N_{AMDC} - 1$ , la ecuación (5) puede simplificarse así:

$$C'/(N_0 + I_0) = (C/N_{AMDC}) / (N_0 + C/b_2) \quad (5bis)$$

*Paso 5:* De otra parte, el valor de  $C'/(N_0 + I_0)$  se puede expresar en función de la relación  $E_b/N_0$  necesaria (denominada  $(E_b/N_0)_{th}$ ) y la velocidad de información antes de la dispersión  $b_1$ , así:

$$C'/(N_0 + I_0) = (E_b/N_0)_{th} * r_1 \quad (6)$$

*Paso 6:* A partir de las ecuaciones (5bis) y (6) y la relación  $G_p = b_2/r_1$  y  $C/N = \{C/N_0\}/b_2$ , se obtiene la siguiente ecuación:

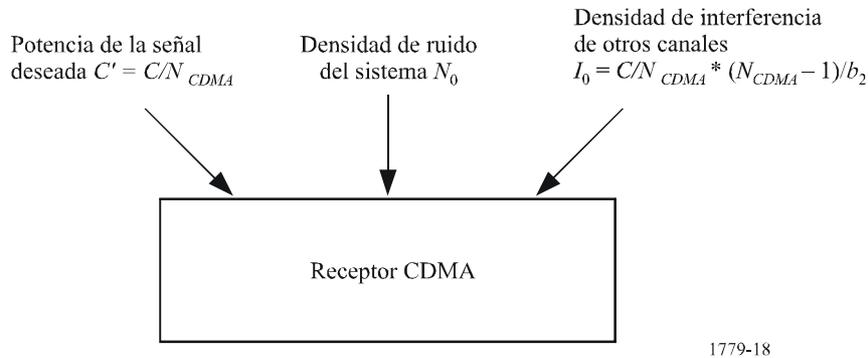
$$N_{AMDC} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C/N + 1)\} \quad (7)$$

*Paso 7:* En la ecuación (7) sólo se considera la interferencia de otros canales AMDC en el mismo haz puntual, pero también habría que considerar la interferencia de canales AMDC en los haces puntuales adyacentes. Además, el efecto de la activación de datos (voz)  $\alpha$  se considera como en el caso de transmisiones AMDF. Teniendo en cuenta estos factores, la capacidad del canal en el caso de transmisiones AMDC viene dada por esta fórmula:

$$N_{AMDC} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C*(1 + \beta)/N + 1)\} * \alpha \quad (8)$$

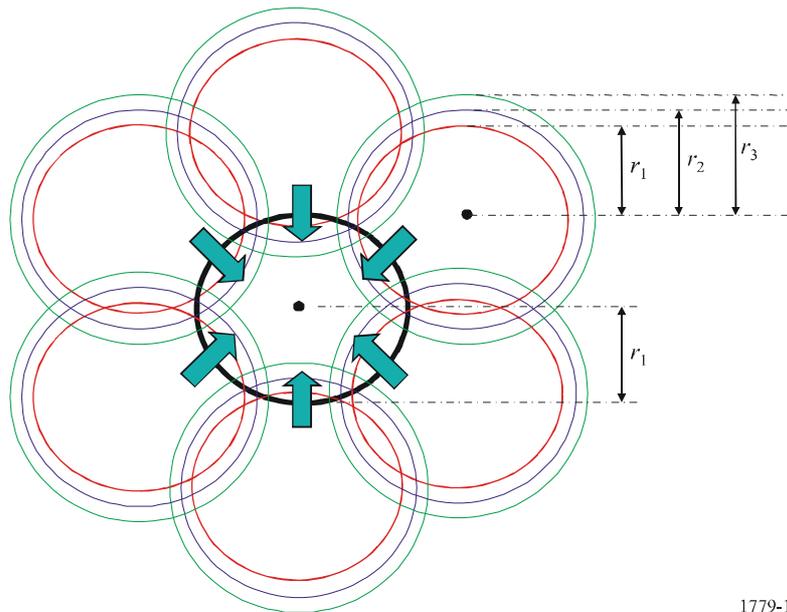
donde  $\beta$  es la relación entre la contribución de interferencia de haces estrechos adyacentes y la contribución del mismo haz estrecho.

FIGURA 18  
La señal, el ruido y la interferencia en la entrada del receptor AMDC



Para estimar el valor de  $\beta$  en la ecuación (8) se considera el modelo de haces estrechos representado en la Fig. 19. El canal deseado está en el haz del centro de la Fig. La potencia de los seis haces adyacentes que se infiltra en el contorno de 3 dB del haz central (círculo negro más grueso) se calcula suponiendo que el tráfico está repartido uniformemente entre las posiciones de cada haz. El radio del contorno de 3 dB de cada haz estrecho es  $r_1$ . Para calcular la potencia infiltrada se supone un contorno de 6 dB y 10 dB de los haces adyacentes, con un radio  $r_2 (= 1,2*r_1)$  y  $r_3 (= 1,5*r_1)$ . El valor de  $\beta$  obtenido de la suma es 0,75.

FIGURA 19  
Modelo de haces puntuales para calcular la infiltración de potencia de haces adyacentes



#### 4 Evaluación de la capacidad del canal utilizando los parámetros del ejemplo de sistema

La capacidad de un sistema del SFS con varios haces estrechos se calcula basándose en los parámetros de transmisión del Cuadro 21 para los casos AMDF y AMDC. Para determinar hasta qué punto la capacidad del canal depende de la potencia del satélite y los recursos del ancho de banda en el caso de transmisiones AMDF, se consideran varios métodos de modulación/FEC. En el caso de transmisiones AMDC es inútil considerar un principio de modulación de orden superior (es decir, MDP-8 o MAQ-16) para la modulación primaria porque la ganancia de dispersión no aumenta con ello. Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis se hace con las siguientes combinaciones de modulación y FEC:

*Caso 1:* AMDF; MDP-4 con código turbo 1/2.

*Caso 2:* AMDF; MDP-8 con TCM 2/3 y código Reed Solomon (201, 219).

*Caso 3:* AMDF; MAQ-16 con TCM 3/4 y código Reed Solomon (201, 219).

*Caso 4:* AMDC; MDP-4 con código turbo 1/2.

Los valores de la relación  $E_b/(N_0 + I_0)$  necesaria para los métodos de modulación/FEC considerados en esta evaluación se indican en el Cuadro 21 y corresponden a una proporción de bits erróneos (BER) de  $1 \times 10^{-8}$ . La tasa de FEC es el resultado de combinar un código interno y un código externo.

CUADRO 21

#### Parámetros de transmisión para la evaluación de capacidad del canal

Parámetros	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
<b>AMDF/AMDC</b>	AMDF	AMDF	AMDF	AMDC
<i>Modulación primaria</i>				
Velocidad de información, $r_1$ (kbit/s)	64	64	64	64
Modulación	MDP-4	MDP-8	MAQ-16	MDP-4
Tasa de FEC	0,50	0,61	0,69	0,50
Ancho de banda de ruido equivalente, $b_1$ (kHz)	64,0	34,9	23,3	64,0
Ancho de banda ocupado, $b'_1$ (kHz)	89,6	48,8	32,5	89,6
Eficiencia de utilización del espectro (bit/s/Hz)	0,71	1,31	1,97	0,71
Relación $E_b/(N_0 + I_0)$ necesaria (dB)	3,2	6,9	9,4	3,2
<i>Modulación secundaria</i>				
Modulación	N/A	N/A	N/A	MDP-2
Ancho de banda de ruido equivalente, $b_2$ (MHz)	N/A	N/A	N/A	25,6
Ancho de banda ocupado, $b'_2$ (MHz)	N/A	N/A	N/A	36

N/A: indisponible

La capacidad del canal en los casos de transmisiones AMDF del Cuadro 21 (Casos 1 a 3) se calculó como se indica en el Cuadro 22. Los parámetros básicos se obtienen del Cuadro 21. La reducción del transpondedor es de 3 dB cuando se utilizan los principios de modulación MDP-4 y MDP-8, y de 6 dB cuando se utiliza MAQ-16.

CUADRO 22

**Cálculo de la capacidad del canal en los casos de transmisión AMDF**

Parámetros	Caso 1	Caso 2	Caso 3
p.i.r.e. de saturación del satélite (dBW)	61,02	61,02	61,02
Reducción del transpondedor (dB)	3,0	3,0	6,0
Pérdida de propagación (dB)	205,5	205,5	205,5
Margen de lluvia (dB)	3,0	3,0	3,0
$G/T$ de terminal de usuario (dB/K)	11,19	11,19	11,19
$C/N_0$ de recepción (dBHz)	89,31	89,31	86,31
Relación $E_b/(N_0 + I_0)$ necesaria (dB)	3,2	6,9	9,4
Ventaja de activación de datos	2,5	2,5	2,5
Capacidad del canal según la potencia (Mbit/s)	1 020,3	435,25	122,68
Ancho de banda del transpondedor (MHz)	36,0	36,0	36,0
Eficiencia de utilización del espectro (bit/s/Hz)	0,71	1,31	1,97
Factor de reutilización de frecuencias	7	7	7
Número de haces puntuales	14	14	14
Capacidad del canal en función del ancho de banda (Mbit/s)	51,12	94,32	141,84
Capacidad del canal resultante (Mbit/s)	51,12	94,32	122,68

En el Cuadro 22, la capacidad del canal en función de la potencia y en función de la anchura de banda se calcula utilizando las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.

La capacidad del canal en el caso AMDC del Cuadro 21 (Caso 4) se indica en el Cuadro 23. Los parámetros básicos se obtienen del Cuadro 21. La capacidad del canal del Cuadro 23 se calcula con la ecuación (8). Obsérvese que este análisis se ha hecho suponiendo una distribución del tráfico uniforme entre los haces puntuales.

CUADRO 23

**Cálculo de la capacidad del canal en el caso AMDC**

Parámetros	Caso 4
Velocidad de información, $r_1$ (kbit/s)	64
Ancho de banda de ruido para la modulación secundaria, $b_2$ (MHz)	25,71
Ganancia de dispersión, $G_p$	401,79
p.i.r.e. de saturación del satélite (dBW)	61,02
Reducción del transpondedor (dB)	3,0
Pérdida de propagación (dB)	205,5
Margen de lluvia (dB)	3,0
$G/T$ del terminal de usuario (dB/K)	11,9
Números de haces puntuales	14
$C/N_0$ de recepción (sistema total) (dBHz)	89,31
$C/N_0$ de recepción (en cada haz puntual) (dBHz)	77,84

CUADRO 23 (*Fin*)

$C/N$ resultante con respecto al ancho de banda $b_2$ (en cada haz puntual) (dB)	3,74
Relación $E_b/(N_0 + I_0)$ necesaria (dB)	3,2
Relación entre la contribución de interferencia de los haces estrechos adyacentes y la contribución del mismo haz estrecho, $\beta$	0,75
$C(1 + \beta)/N + 1$	5,2
Ventaja de activación de datos, $\alpha$	2,5
Capacidad de canal (en cada haz estrecho) (Mbit/s)	14,16
Capacidad del canal (total del sistema) (Mbit/s)	198,3

## 5 Resumen

Los valores de los Cuadros 22 y 23 indican que la capacidad del canal en el caso AMDC (Caso 4) es la más importante para el sistema del SFS con las hipótesis de parámetros consideradas. Es así por los siguientes motivos:

- La mayor parte de los sistemas del SFS se han utilizado en condiciones de potencia limitada, y en estas condiciones la utilización del principio AMDC no aumenta la capacidad del sistema con respecto al sistema AMDF. Ahora bien, en los nuevos sistemas de satélite formados por muchos haces estrechos se están presentando situaciones de limitación del ancho de banda.
- En el principio de segmentación de frecuencias utilizado en el caso del AMDF (véanse las Figs. 13 y 14), no es posible utilizar frecuencias de haces adyacentes, independientemente de la posición de la estación terrena dentro del haz estrecho del satélite, aunque hay pocas probabilidades de interferencia en el canal utilizado causada por los canales en los distintos haces adyacentes. El funcionamiento con esta forma de utilización de frecuencias es necesario particularmente cuando varias estaciones terrenas comparten canales por petición (por ejemplo, un sistema del SFS con muchas estaciones VSAT o USAT). La transmisión AMDC tiene una ventaja de flexibilidad en la asignación de los canales porque las frecuencias no están segmentadas entre los haces puntuales, a diferencia de la transmisión AMDF. Por tanto, en el caso de la transmisión AMDC se puede utilizar eficientemente el ancho de banda.

Ahora bien, en la ingeniería del sistema habrá que distribuir adecuadamente el tráfico en el sistema del SFS. En este análisis sólo se ha considerado la distribución de tráfico uniforme en la zona de cobertura de los haces puntuales.

Obsérvese que el resultado de este cálculo se puede proyectar a un ancho de banda mayor aunque en este análisis se ha considerado como ejemplo un ancho de banda de transpondedor de 36 MHz.

Otra ventaja de la técnica AMDC sería el funcionamiento del SFS con distintas velocidades de información en el enlace ascendente. Si este sistema se configurara con el principio AMDF, habría que implantar un sistema complejo de control de asignaciones de frecuencia utilizando varias portadoras de distintos tamaños. Sería conveniente estudiar ulteriormente este sistema AMDC.

### Anexo 3

## Sistema de satélite que utiliza señales de dispersión de banda ancha en los enlaces ascendentes para reducir la emisión en un ángulo con respecto al eje

### 1 Presentación general

Los valores de densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje definidos en la Recomendación UIT-R S.524 para la banda del SFS de 27,5-30 GHz son muy limitados si se comparan con los valores determinados para la banda del SFS en 12,75-13,25 GHz/13,75-14,5 GHz y de 6 GHz. Para conseguir los valores recomendados, particularmente cuando la relación  $G/T$  del satélite es relativamente baja, sería conveniente aplicar la técnica de dispersión de señales como una forma de modulación secundaria.

### 2 Ejemplos de parámetros del sistema

En el Cuadro 24 se dan ejemplos de parámetros del sistema. La velocidad de información es 1, 10 y 100 Mbit/s cuando se utiliza la técnica de modulación MDP-2, codificación convolucional y decodificación Viterbi, con una tasa FEC de 1/2 para conseguir un valor BER de  $1 \times 10^{-8}$ . La relación  $G/T$  del satélite es 10 dB/K. El diámetro de la antena es 45 ó 75 cm, y se aplica el diagrama de antena de referencia del Anexo III del Apéndice 8 del RR.

CUADRO 24

Parámetros del sistema

Parámetro	Valor
Frecuencia de transmisión (GHz)	29,25
Velocidad de información (Mbit/s)	1/10/100
Modulación	MDP-2
FEC	Codificación convolucional
Tasa de FEC	1/2
Objetivo de BER	$10^{-8}$
Relación $G/T$ del satélite (dB/K)	10
Diámetro de la antena (cm)	45 cm ( $D/\lambda = 43,9$ ), 75 cm ( $D/\lambda = 73,1$ )
Diagrama de antena de referencia	Anexo III del Apéndice 8 del RR ( $D/\lambda < 100$ )

Los valores calculados del ancho de banda de ruido equivalente y relación  $C/N$  necesaria se indican en el Cuadro 25.

CUADRO 25

Ancho de banda de ruido equivalente y relación  $C/N$  necesaria

Velocidad de información (Mbit/s)	Ancho de banda de ruido equivalente (MHz)	Relación $E_b/N_0$ necesaria (dB)	Relación $C/N$ necesaria (dB)
1	2,0	5,9	2,9
10	20,0	5,9	2,9
100	200,0	5,9	2,9

Para calcular el valor  $C/N$  se utiliza la ecuación (9) y los parámetros del enlace indicados en el Cuadro 26.

$$C/N = P_t - L_{alim.} - L_p + G_t - L_f - L_a + G/T + 228,6 - B - \alpha \quad (9)$$

Obsérvese que la cantidad de ruido del enlace descendente y otras fuentes en la ecuación (9) es la misma del enlace ascendente. Dicho de otra forma, se supone que la degradación de la relación  $C/N$  debido a estas fuentes de ruido es de 3 dB (véase el valor  $\alpha$  del Cuadro 26).

CUADRO 26

## Parámetros del enlace

Parámetro	Valor	Nota
Pérdida en el enlace alimentador, $L_{alim.}$ (dB)	0,5	
Error de puntería de la antena, $L_p$ (dB)	0,2	
Ganancia de la antena de transmisión, $G_t$ (dBi)	40,6 (antena de 45 cm) 45,0 (antena de 75 cm)	Eficiencia 60% Frecuencia 29,25 GHz
Pérdida de propagación, $L_f$ (dB)	213,3	
Absorción de la atmósfera, $L_a$ (dB)	0,4	
Relación $G/T$ del satélite (dB/K)	10	Véase el Cuadro 24
Ancho de banda de ruido equivalente, $B$ (MHz)	–	Véase el Cuadro 25
Degradación de la relación $C/N$ debido a otras fuentes de ruido, $\alpha$ (dB)	3	Incluido el ruido del enlace descendente

### 3 Resultados

Con la ecuación (9) y los datos de los Cuadros 25 y 26 se calcula la potencia de salida necesaria en el amplificador de alta potencia HPA de la estación terrena,  $P_t$ , que se indica en el Cuadro 27.

CUADRO 27

**Potencia de salida necesaria (W) en el amplificador HPA  
de la estación terrena,  $P_t$**

Velocidad de información (Mbit/s)	Diámetro de la antena	
	45 cm	75 cm
1	2,6	0,9
10	25,8	9,4
100	257,6	93,5

Los valores de densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje, calculados con los valores del Cuadro 27 y el diagrama de antena de referencia del Anexo III, Apéndice 8 del RR, están por encima de los valores del *recomienda* 4 de la Recomendación UIT-R S.524. Por ejemplo, en un ángulo de 5° con respecto al eje y con una antena de 45 cm de diámetro se rebasa el valor recomendado en 3,3 dB aproximadamente. La densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje se puede reducir utilizando la dispersión de señales como técnica de modulación secundaria.

En el Cuadro 28 y las Figs. 20 y 21 se indican los valores de densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje para cada caso, cuando se utiliza o no la técnica de dispersión. La técnica de dispersión se aplica con un factor de 4.

CUADRO 28

**Densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto  
al eje (dB(W/40 kHz)) con dispersión de señales o no**

Ángulo con respecto al eje (grados)	Valores de la Rec. UIT-R S.524	Antena de 45 cm		Antena de 75 cm	
		Sin dispersión	Con dispersión	Sin dispersión	Con dispersión
2,0	11,5	13,3	7,3	11,1	5,1
3,0	7,1	10,3	4,2	6,7	0,7
4,0	3,9	7,2	1,2	3,6	-2,4
5,0	1,5	4,8	-1,2	1,2	-4,8
6,0	-0,5	2,8	-3,2	-0,8	-6,8
7,0	-2,0	1,1	-4,9	-2,4	-8,4
8,0	-2,0	-0,3	-6,3	-3,9	-9,9
9,0	-2,0	-1,6	-7,6	-5,1	-11,2
10,0	-3,0	-2,7	-8,7	-6,3	-12,3

FIGURA 20

Densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje  
con dispersión de señales o no (antena de 45 cm)

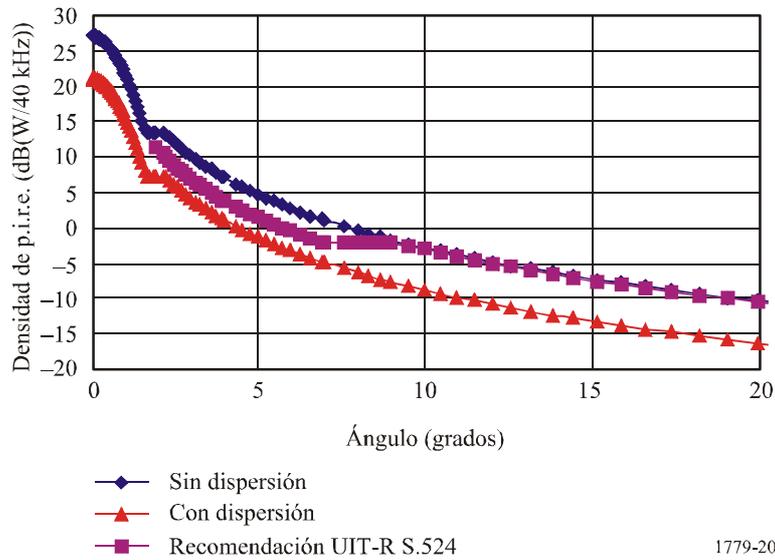
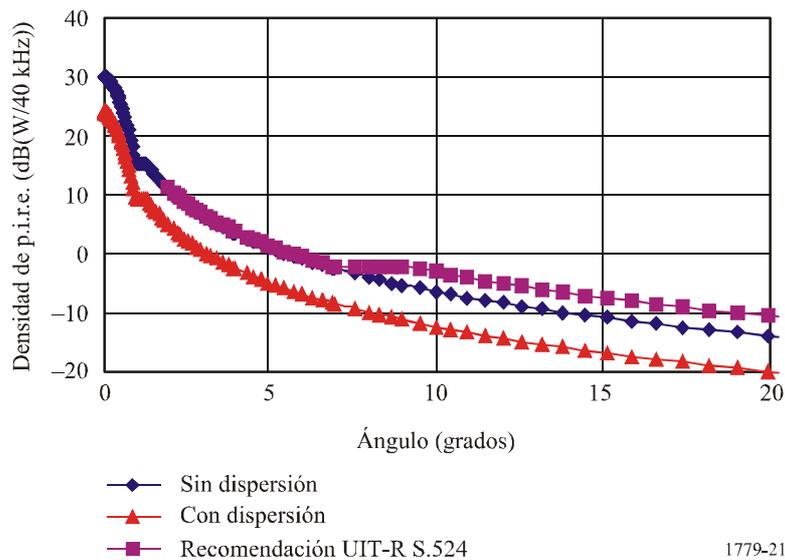


FIGURA 21

Densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje  
con dispersión de señales o no (antena de 75 cm)



#### 4 Resumen

En el enlace ascendente en la banda 30/20 GHz es útil una dispersión de señales de banda ancha como técnica de modulación secundaria para reducir los valores de densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje y cumplir los valores de las Recomendaciones UIT-R pertinentes (es decir, la Recomendación UIT-R S.524). Esta reducción de la densidad de p.i.r.e. en un ángulo con respecto al eje supone utilizar un ancho de banda mayor. Obsérvese que en el ejemplo de esta Recomendación se supone que no hay varias portadoras de transmisión de estación terrena en la misma anchura de banda, es decir AMDC, pero habría que tener en cuenta los efectos de esa hipótesis si los ingenieros del sistema utilizan el acceso AMDC en este tipo de aplicaciones.