

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1468\*

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y CASOS DE COMPARTICIÓN DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES QUE OFRECEN MÚLTIPLES SERVICIOS**

(Cuestión UIT-R 104/8)

(2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que se está estudiando la atribución de bandas de frecuencias del servicio fijo por satélite (SFS) y del servicio móvil por satélite (SMS) a título primario para su utilización por los sistemas de satélites que ofrecen múltiples servicios (SSOMS, *satellite systems offering multiple services*) en la gama de frecuencias comprendida, aproximadamente, entre 20 GHz y 50 GHz;
- b) que la Recomendación 715 (Orb-88) solicita la simplificación del proceso de puesta en servicio de las redes de satélites con distintas clases de terminales de usuario;
- c) que se están desarrollando tecnologías que permitirán la implantación de aplicaciones polivalentes (fijas, móviles, y de otro tipo) en una sola banda de frecuencias;
- d) que en algunos países se están realizando desarrollos tecnológicos específicos encaminados a introducir los SSOMS en las bandas de frecuencias indicadas en el *considerando* a);
- e) que la Cuestión UIT-R 104/8 solicita la realización de estudios sobre procedimientos adicionales de coordinación técnica necesarios para que puedan funcionar distintos SSOMS en una banda de frecuencias común;
- f) que la Cuestión UIT-R 104/8 también solicita la realización de estudios sobre las características técnicas y los procedimientos de explotación de los SSOMS;
- g) que el UIT-R está estudiando medidas para mejorar el recurso órbita/espectro en las redes de satélites con más de un servicio en una o más bandas de frecuencias, bajo la Cuestión UIT-R 81/4, y ha adoptado la Recomendación UIT-R S.744 de carácter general;
- h) que el UIT-R ha adoptado la Recomendación UIT-R S.1329 sobre la compartición de frecuencias en las bandas 19,7-20,2 GHz y 29,5-30,0 GHz entre sistemas del SMS y sistemas del SFS,

*recomienda*

- 1** que los terminales móviles y personales por satélite con velocidad de transmisión de datos reducida que funcionan en un entorno de baja densidad de señal utilicen técnicas de acceso, por ejemplo acceso múltiple por división de código (AMDC) (se están estudiando otras técnicas de acceso y de modulación), que permitan a los SSOMS funcionar en las bandas de frecuencias indicadas en el *considerando* a) para maximizar las posibilidades de compartición;
- 2** que los terminales terrenos móviles y personales en las bandas de frecuencias indicadas en el *considerando* a) utilicen otras técnicas, tales como diagramas de antena de lóbulo lateral reducido (cuasi rectangular), ortogonal a la OSG y con seguimiento automático y codificación concatenada (Reed Solomon (RS) + convolucional), a fin de facilitar la compartición de frecuencias entre sistemas del SMS y sistemas del SFS;
- 3** que los nuevos SSOMS en las bandas de frecuencias indicadas en el *considerando* a) tengan en cuenta las características técnicas y los casos de viabilidad de compartición del SMS descritos en los Anexos 1 y 2.

---

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones.

## ANEXO 1

**Características técnicas de los SSOMS****1 Introducción**

Se está considerando establecer SSOMS capaces de establecer comunicaciones móviles, personales, punto a punto (P-P) y punto a multipunto (P-MP) en un vehículo espacial común y funcionando en una banda de frecuencias también común. Para mayor brevedad, a las comunicaciones P-P y P-MP se las denomina en lo que sigue comunicaciones entre puntos fijos.

Este Anexo tiene por objeto describir las características técnicas principales de algunos SSOMS que deben tenerse en cuenta al estudiar los casos de compartición de frecuencias entre el SFS y el SMS.

**2 Arquitectura del sistema de satélites de acceso personal de la NASA**

El diseño del sistema se basa en parte en la tecnología de los vehículos espaciales contrastada en el satélite de comunicaciones tecnológicas avanzadas (ACTS, *advanced communications technology satellite*) de la NASA y proviene de la investigación llevada a cabo sobre el sistema de satélites de acceso personal (PASS, *personal access satellite system*) por el JPL (Jet Propulsion Laboratory) de la NASA. El PASS en 20/30 GHz utiliza multihazes fijos para proporcionar cobertura simultánea y continua a los usuarios en la zona de servicio (es decir, la parte continental de los Estados Unidos de América (CONUS)), y un solo haz CONUS para los enlaces de conexión. Las características más importantes figuran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

**Características más importantes del diseño del sistema ACTS**

Frecuencias de funcionamiento	
Enlace ascendente	30 GHz
Enlace descendente	20 GHz
Concepto de cobertura	
Suministradores del satélite	Haz CONUS
Usuarios del satélite	142 haces puntuales
Servicios genéricos	Voz y datos
Velocidad de transmisión de datos de canal típica	4,8 kbit/s
Compensación por la lluvia	
Sentido de ida	Control de potencia en el enlace ascendente y velocidad de transmisión de datos variable
Sentido de vuelta tipo terminales personales básicos (TPB)	Velocidad de transmisión de datos variable
Sentido de vuelta tipo terminales personales mejorados (TPM)	Control de potencia del enlace ascendente y velocidad de transmisión de datos variable
Disponibilidad del enlace	98% (tipo TPB) >98% (tipo TPM)
Gestión de potencia entre haces	Gestión de potencia de 9 haces
Capacidad de reutilización de frecuencias	16 veces (haces puntuales)
Capacidad del sistema	Equivalente a 7 500 canales Vocales dúplex (Vox = 35%)

La frecuencia del enlace ascendente es 30 GHz y la del enlace descendente 20 GHz. Los espectros del enlace ascendente y del enlace descendente disponibles están divididos cada uno de ellos en dos partes para los haces CONUS (enlaces de conexión) y los haces puntuales (enlaces de servicio). El espectro asignado a los haces puntuales se reutiliza 16 veces. El espectro disponible en un haz/transpondedor determinado se divide en dos segmentos: uno para las comunicaciones móviles y personales y otro para las comunicaciones entre puntos fijos. La parte destinada a las comunicaciones móviles y personales estará disponible para todos los usuarios de este tipo de comunicaciones. De forma similar, la parte destinada a las comunicaciones entre puntos fijos estará disponible para todos los usuarios de este tipo de comunicaciones.

## 2.1 Diseño del satélite

El satélite utiliza dos antenas de haz puntual con diámetros de 2 m y 3 m para la transmisión y recepción, respectivamente. Estas antenas producen 142 haces puntuales que cubren la zona de servicio. Las antenas de haz puntual tienen una ganancia de 52,5 dBi y una anchura de haz a 3 dB de 0,35°. La correspondiente relación  $G/T$  de recepción es 23,4 dB(K<sup>-1</sup>) y la p.i.r.e. es 55 dBW. Para facilitar la reutilización de frecuencias en el haz puntual, la antena de haz puntual del satélite se diseña de tal forma que proporciona un aislamiento entre haces de 20 dB. La relación  $G/T$  del receptor del haz CONUS es -1,2 dB(K<sup>-1</sup>) y la p.i.r.e. transmitida es 40 dBW.

## 2.2 Diseño de la estación terrena

Existen varios tipos de terminales de usuario para diversas aplicaciones: terminales personales básicos (TPB), terminales personales mejorados (TPM), terminales móviles en vehículos (TMV), terminales móviles aeronáuticos (TMA), microterminales (MT) y terminales fijos (TF).

Los TPB están diseñados para proporcionar comunicaciones personales. Estos terminales van equipados con una antena de seguimiento y son capaces de soportar servicios de voz y datos a una velocidad no superior a 4,8 kbit/s en condiciones de funcionamiento normales, es decir, sin lluvia. Este tipo de terminal necesita una ganancia de antena en la gama de 20 a 25 dBi (para el PASS, 23 dBi a la frecuencia de transmisión y 19 dBi a la frecuencia de recepción), un módem de velocidad variable, un transmisor de 1 W y otros componentes dependientes de la aplicación. El módem de velocidad variable tiene por objeto combatir la atenuación debida a la lluvia. Los TPB pueden ser transportados por el usuario.

Los TPM presentan una ganancia de antena de 30 a 35 dBi y también están diseñados para soportar comunicaciones personales. Estos terminales pueden tener unas velocidades de transmisión de datos más altas y, por consiguiente, prestar más servicios que los TPB; pero no son móviles y, por lo tanto, no es necesario que sean muy compactos.

Los TMV están destinados a aplicaciones móviles y son muy similares a los terminales móviles en las bandas de 1,5/1,6 GHz. Las gamas de ganancia de antena van de 20 a 25 dBi.

Los TMA se dedican a aplicaciones móviles aeronáuticas y son similares a los terminales móviles en vehículos.

Las comunicaciones P-MP (es decir, las comunicaciones de tipo terminales de muy pequeña abertura (VSAT) se llevan a cabo mediante MT que son similares a los actuales terminales VSAT. La ganancia de antena es de unos 40 dBi.

Las comunicaciones P-MP son similares a las comunicaciones fijas por satélite convencionales. Las estaciones terrenas para esta aplicación utilizan antenas de gran tamaño con una ganancia de 50 dBi o superior.

## 3 Arquitectura del sistema del proyecto SECOMS

Las comunicaciones por satélite en la banda de ondas milimétricas para servicios móviles multimedios (SECOMS, *satellite EHF communications for multimedia mobile services*) es un proyecto aprobado por la Comisión Europea para definir y diseñar un nuevo sistema por satélite que proporcione servicios móviles multimedios en las bandas de ondas centimétricas (20-30 GHz) y de ondas milimétricas (40-50 GHz) dirigidos a terminales portátiles/móviles y de bolsillo.

El concepto del sistema SECOMS adopta el siguiente enfoque evolutivo:

- *Fase 1:* Componente del sistema en la banda de 20 a 30 GHz con cobertura de Europa y países vecinos (Europa ampliada) para proporcionar servicios móviles multimedios a terminales portátiles/móviles de tamaño medio con velocidades de hasta 2 048 kbit/s.
- *Fase 2:* Componente del sistema en la banda de 40 a 50 GHz para aumentar la capacidad, ampliar el conjunto de servicios y mejorar la movilidad e interactividad, con velocidades de transmisión de datos de hasta 64 kbit/s para los servicios de telefonía y datos con terminales de bolsillo.

### 3.1 Diseño del satélite

El satélite se sitúa en la OSG. Los puntos principales del proyecto son los siguientes:

- Utilización de múltiples satélites.
- Cobertura multipunto de Europa ampliada con muchos haces de alta ganancia a bordo.
- Adopción de enlaces entre satélites entre el satélite que tiene la carga útil en la banda de 20 a 30 GHz y el que funciona en la banda de 40 a 50 GHz.
- Procesamiento digital rápido a bordo (OFDP).
- Utilización de multifrecuencia-acceso múltiple por división en el tiempo/múltiple por división en el tiempo (FM-AMDT/MDT) como técnica de distribución/acceso múltiple (MA/D).
- Modulación codificada diferencialmente MDP-4.
- Codificación concatenada (RS + convolucional).

Para la fase 1, en la configuración del subsistema a bordo se supone la utilización de tres antenas de 1,5 m de diámetro y 20 GHz y otras tres de 1 m de diámetro y 30 GHz con la misma anchura de haz puntual a 3 dB de unos  $0,7^\circ$  que proporcionan una cobertura de la zona de servicio con 32 haces puntuales. La capacidad máxima de un solo satélite es de 1,4 Gbit/s (capacidad nominal). Se supone un factor 4 de reutilización de frecuencias por discriminación espacial en el enlace ascendente y un factor 3 en el enlace descendente. La anchura de banda total necesaria, basándose en los requisitos de tráfico estimados, es de 215 MHz y 470 MHz, respectivamente, en el enlace ascendente y el enlace descendente para los usuarios móviles y 240 MHz (ascendente) y 120 MHz (descendente) para las estaciones fijas.

La componente del sistema en la banda de 40 a 50 GHz supone la utilización de tres antenas de 1,1 m de diámetro y 40 GHz y otras tres de 1 m de diámetro y 45 GHz, obteniéndose así una anchura de haz puntual a 3 dB de aproximadamente  $0,5^\circ$ . Proporciona 64 haces puntuales para la misma zona de cobertura que la componente del sistema en la banda de 20 a 30 GHz. La máxima capacidad de un solo satélite es de 200 Mbit/s (valor nominal). El factor de reutilización de frecuencias por discriminación espacial toma un valor 9 en el enlace ascendente y en el enlace descendente. La anchura de banda total necesaria, basándose en los requisitos de tráfico estimados, es de 103 MHz y 125 MHz, respectivamente, en el enlace ascendente y en el enlace descendente para los usuarios móviles y de 107 MHz (ascendente) y 107 MHz (descendente) para las estaciones fijas.

La necesidad de lograr la conectividad entre satélites y entre haces exige la utilización de técnicas OFDP; es decir, demodulación por bloque, procesamiento digital, encaminamiento y remodulación. Un requisito especialmente importante es la reducción de la interferencia dinámica y el filtrado de las distintas señales que puede lograrse mediante la utilización de técnicas de procesamiento rápido de la señal digital. Con respecto a la selección de la técnica MA/D en el proyecto SECOMS, se ha elegido el método más contrastado de FM-AMDT/MDT tras realizar un análisis comparativo con el método AMDC, debido a sus mejores características del enlace y a una viabilidad más sencilla. Por razones de flexibilidad y utilización eficaz de los recursos, también se ha supuesto una asignación por demanda tanto para la velocidad binaria como para el ajuste del plan temporal.

### 3.2 Características de los terminales terrenos

En la banda de 20 a 30 GHz se han identificado tres tipos de terminales de usuario:

- Terminal de tipo Sat-A, que proporciona conexiones entre usuarios que trabajan con velocidades de transmisión de datos bajas y medias (hasta 160 kbit/s en el enlace ascendente y 2,048 Mbit/s en el enlace descendente). La potencia media del transmisor en los diversos haces es de 5,5 W, las dimensiones de la antena son de  $27,5 \times 27,5 \text{ cm}^2$  y la ganancia de cresta de la antena de recepción es de 34 dB. En el caso más desfavorable, la potencia del transmisor es de 6,5 W.
- Terminal de tipo Sat-B, que proporciona conexiones entre usuarios que trabajan con velocidades de transmisión de datos medias y altas (hasta 512 kbit/s en el enlace ascendente y 2,048 Mbit/s en el enlace descendente). La potencia media del transmisor en los diversos haces es de 3,8 W, las dimensiones de la antena son de  $35,4 \times 35,4 \text{ cm}^2$  y la ganancia de cresta de la antena de recepción es 36,2 dB. En el caso más desfavorable la potencia del transmisor es de 4,4 W.
- Terminal de tipo Sat-C, que proporciona conexiones entre usuarios que trabajan con velocidades de transmisión de datos elevadas (hasta 2,048 Mbit/s tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente). La potencia media del transmisor en los diversos haces es 15 W, las dimensiones de la antena son de  $35,4 \times 35,4 \text{ cm}^2$  y la ganancia de cresta de la antena de recepción es 36,2 dB. En el caso más desfavorable la potencia del transmisor es 17 W.

En la banda de 40 a 50 GHz únicamente se prevé la utilización de un tipo de terminal de usuario:

- Terminal de tipo Sat-D, que proporciona conexiones entre los usuarios que trabajan con velocidades de transmisión de datos bajas (hasta 64 kbit/s tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente). La potencia media del transmisor en los diversos haces es de 1,8 W, las dimensiones de la antena son de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  y la ganancia de cresta de la antena de recepción es 36,2 dB. En el caso más desfavorable la potencia del transmisor es 3,2 W.

Se han previsto dos tipos de estaciones terrenas fijas: Gat para las interconexiones con las redes terrenales públicas y estaciones del proveedor del servicio (SPS, *service provider stations*) para su utilización por los suministradores de servicio que desean una conexión directa con el satélite. La principal diferencia entre los dos tipos de estaciones terrenas es la disponibilidad del enlace (99,9% para Gat y 99,5% para SPS).

### 3.3 Diseño del enlace y características de la compartición de frecuencias

En los Cuadros 2a y 2b figura un resumen de los principales parámetros del sistema SECOMS.

Cabe señalar que las características más importantes previstas en el proyecto SECOMS para facilitar la compartición de frecuencias entre los sistemas del SMS y los del SFS son las siguientes:

- utilización extensiva de la codificación concatenada (RS + convolucional) que permite una reducción de la densidad de flujo de potencia (dfp) en la OSG y en la superficie de la Tierra de más de 6 dB; y
- utilización de tecnología avanzada para el sistema de puntería, adquisición y seguimiento de los terminales de usuario, que permite una precisión global en la puntería mejor de  $1^\circ$ .

CUADRO 2a

#### Parámetros principales del sistema SECOMS

Parámetro	Banda 20-30 GHz	Banda 40-50 GHz	Observaciones
Posición del satélite	12° E	12° E	Estudio de caso práctico únicamente
Máxima capacidad de tráfico del satélite	~ 1,4 Gbit/s	200 Mbit/s	
Número de haces puntuales	32	64	
Tipo de terminales de satélite	3 (Sat-A, Sat-B, Sat-C)	1 (Sat-D)	
Tipo de estación terrena fija	2 (Gat-K, SPS-K)	2 (Gat-E, SPS-E)	Interferencia con la red terrenal
Velocidad de información en el enlace ascendente (kbit/s)	De 16 a 160 (Sat-A) De 16 a 512 (Sat-B) De 16 a 2 048 (Sat-C)	– De 8 a 64 –	
Velocidad de información en el enlace descendente	4 096 kbit/s (Sat-A) 16,384 Mbit/s (Sat-B, C)	512 kbit/s	
Velocidad de información en las pasarelas (Mbit/s)	32,768	1,024	Enlace ascendente y enlace descendente
Frecuencia (GHz): enlace ascendente enlace descendente	30 20	45 40	
Cobertura	Regional	Regional	
Anchura de haz del haz puntual	0,7° (a –3 dB)	0,49° (a –3 dB)	
Polarización	Circular	Circular	
G/T del satélite (dB(K <sup>-1</sup> ))	15,7	18,7	En el punto de triple cruce (ptc)

CUADRO 2a (Fin)

Parámetro	Banda 20-30 GHz	Banda 40-50 GHz	Observaciones
Máxima p.i.r.e. del satélite por portadora (dBW)	60,9	59,6	Para usuarios móviles (en ptc)
	48,9	47,7	Para estaciones fijas (en ptc)
G/T de los terminales de usuario (dB(K <sup>-1</sup> ))	5,1 (Sat-A)	5,1	
	11,7 (Sat-B)		
	11,7 (Sat-C)		
Máxima p.i.r.e. en los terminales de usuario (dBW)	39,8 (Sat-A)	33,1	
	44,9 (Sat-B)		
	50,9 (Sat-C)		
Dimensiones de la antena de los terminales de usuario (cm <sup>2</sup> )	27,5 × 27,5 (Sat-A)	10 × 10	
	35,4 × 35,4 (Sat-B)		
	35,4 × 35,4 (Sat-C)		
Calidad del enlace	BER < 1 × 10 <sup>-10</sup>	BER < 5 × 10 <sup>-6</sup>	
Anchuras de banda de la portadora en los terminales de usuario	170 kHz (Sat-A)	136 kHz (Sat-D)	
	543 kHz (Sat-B)		
	2,17 MHz (Sat-C)		
Anchura de banda de la portadora en el enlace descendente	5 MHz (Sat-A)	938 kHz (Sat-D)	
	20 MHz (Sat-B y C)		
Precisión en la puntería esperada en los terminales de usuario (grados)	1	1	

CUADRO 2b

## Esquemas de codificación y decodificación SECOMS

Codificación	Banda 20-30 GHz		Banda 40-50 GHz	
	Terminales de usuario	Gat/SPS	Terminales de usuario	Gat/SPS
Enlace ascendente	RS (80,64) + Dif. (321,320)	RS (208,192)	RS (80,64) + tasa de conversión 1/2 + Dif. (321,320)	RS (208,192) + tasa de conversión 1/2
Enlace descendente	RS (208,192) + tasa de conversión 3/4		RS (208,192) + tasa de conversión 1/2	
Decodificación				
A bordo	RS		Concatenada	
En el suelo	Concatenada			

## ANEXO 2

**Casos de compartición de los SSOMS****1 Introducción**

El presente Anexo examina la viabilidad de los diversos casos de compartición. El análisis se llevará a cabo para los enlaces de servicio (haces puntuales). Los enlaces de conexión no se analizarán puesto que la interferencia procedente de estos enlaces es muy pequeña o nula. En primer lugar, se determina la capacidad de un satélite sin reutilización de frecuencias en los haces puntuales ni reutilización del recurso órbita/espectro. A continuación, se examina la influencia de estas reutilizaciones. Se determinará igualmente el número de usuarios por canal (para los sistemas que utilizan AMDC únicamente) y la eficacia espectral global (bits/Hz), utilizándose como una medida de la capacidad del sistema. A efectos de este análisis, la capacidad del sistema se refiere únicamente a la de los enlaces de servicio.

**2 Hipótesis**

Para determinar la viabilidad de la compartición se realizan las siguientes hipótesis:

*Terminales de comunicaciones personales y móviles:*

- Ganancia de antena de usuario de 19 dBi (a 20 GHz) y de 23 dBi (a 30 GHz) para los TPB y TM, y unos 30 dBi (a 30 GHz) para los TPM.
- Los TPB suponen un pequeño porcentaje de las comunicaciones personales y móviles (en torno al 10% de la capacidad).
- Ganancia de antena de la estación terrena repetidora:  $\geq 50$  dBi.

*Terminales de comunicaciones P-MP:*

- Ganancia de antena de usuario:  $\sim 40$  dBi.
- Ganancia de antena de la estación terrena repetidora:  $\geq 50$  dBi.

*Terminales de comunicaciones P-P:*

- Ganancia de antena de usuario:  $\geq$  unos 50 dBi.
- Ganancia de antena de la estación terrena repetidora:  $\geq 50$  dBi.

*Características del satélite y los enlaces:*

- Todos los satélites son homogéneos, con igual anchura de banda del transpondedor, igual p.i.r.e. del enlace descendente y, por consiguiente, igual dfp del enlace descendente.
- Se empleará reutilización de frecuencias en el haz puntual para los enlaces de satélite/usuario con aislamiento entre haces de 20 dB y el factor de reutilización será de 16.
- La característica del enlace global viene limitada por la característica de los enlaces usuario/satélite.
- No se producirá interferencia significativa en los enlaces de soporte debido a la alta directividad de las antenas de estación terrena.

**3 Compartición entre satélites para aplicaciones personales y móviles****3.1 Elección de técnicas de acceso múltiple**

Para estas aplicaciones son posibles candidatas tanto las técnicas de acceso múltiple de espectro ensanchado (AMEE) (también llamada AMDC) como las técnicas de acceso múltiple por división en frecuencia (AMDF). Para este análisis se ha seleccionado AMEE debido a que permite a los usuarios obtener acceso instantáneo al sistema y a su capacidad del rechazo multirrayecto. Además, AMEE da a los operadores de satélites adyacentes que comparten el mismo espectro una libertad en la utilización del mismo sin apenas restricciones.

Como hay dos tipos de terminales utilizados para comunicaciones personales y móviles con una diferencia en la ganancia de antena de 10 dB, se supone que las velocidades de transmisión de datos soportadas por estos terminales son directamente proporcionales a la ganancia de antena de los mismos (es decir, 4,8 kbit/s y 48 kbit/s para los TPB y los TPM, respectivamente). Sin embargo, la relación de ensanchamiento (o ganancia por procesamiento de espectro ensanchado) se supone que es la misma para ambos tipos de terminales (30 dB).

### 3.2 Capacidad del sistema en ausencia de interferencia entre haces y entre satélites

La eficacia espectral global,  $\beta$ , es un factor de calidad utilizado normalmente para comparar un sistema con otro. Se trata del cociente entre la capacidad del sistema y la anchura de banda disponible y puede calcularse directamente a partir del número de usuarios por canal de la forma siguiente:

$$\beta = (\text{N.º de usuarios/canal}) (RF) (\eta) (GP)$$

siendo:

$RF$ : factor de reutilización de frecuencias

$\eta$ : eficacia de transmisión global

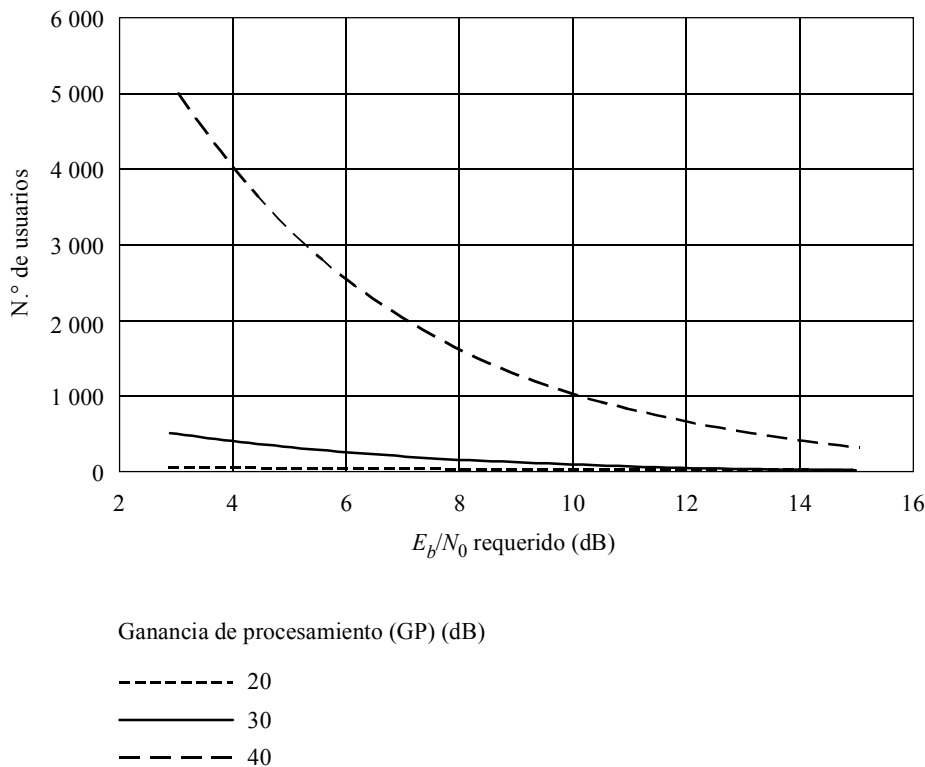
$GP$ : ganancia por procesamiento de espectro ensanchado.

En este análisis se supone una eficacia de transmisión global de 1 chip/Hz, incluidos el efecto Doppler, la banda de guardia, los errores de frecuencia, etc.

En la Fig. 1 aparece el máximo número de usuarios/canal para un sistema de satélites con un solo haz y servirá como referencia para evaluar las repercusiones de la compartición de frecuencia entre sistemas y la reutilización de frecuencias dentro del sistema. Suponiendo una ganancia de procesamiento de 30 dB, con una relación  $E_b/N_0$  de 3 dB, el máximo número de usuarios es de 500 usuarios/canal. La correspondiente eficacia espectral para un sistema de un solo haz sin reutilización de frecuencias es de 0,5 bit/Hz, que puede obtenerse de la anterior ecuación haciendo  $RF = 1$ .

FIGURA 1

Número máximo de usuarios/canal en función de la relación  $E_b/N_0$  requerida para el valor de la GP seleccionado (sin interferencia entre haces y entre satélites)



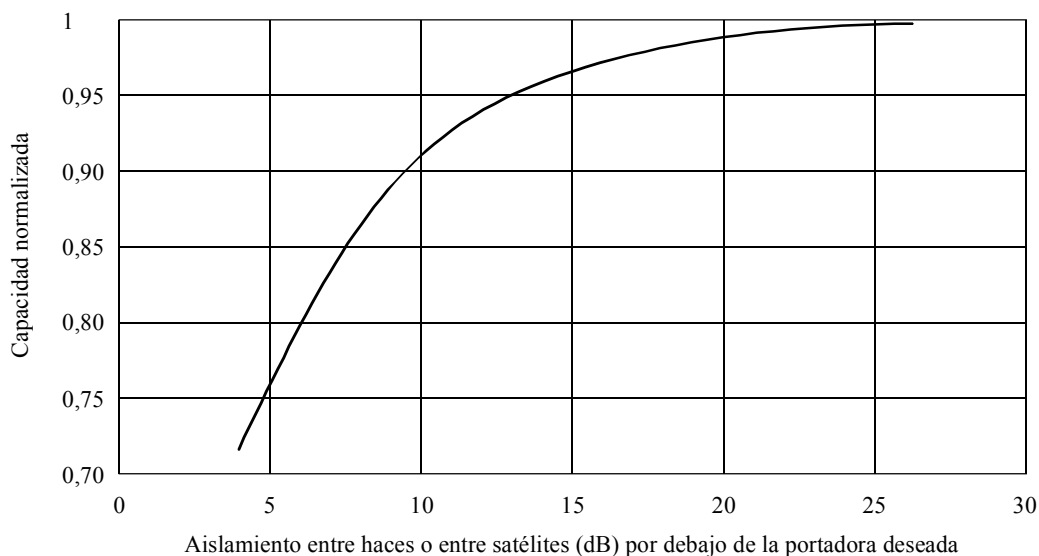


### 3.3 Capacidad del sistema en presencia de interferencia entre haces y entre satélites

La presencia de interferencia entre haces reduce el máximo número de usuarios activos (por canal y por haz). En la Fig. 2 aparece el máximo número de usuarios (por canal y por haz) en función del aislamiento entre haces y normalizado a la capacidad teórica máxima que puede obtenerse en ausencia de interferencia entre haces y entre satélites. Aunque el número de usuarios (por canal y por haz) es reducido, los sistemas con reutilización de frecuencias de haces puntuales tendrán una mayor capacidad total (es decir, número total de usuarios en todo el sistema de satélites) que los sistemas sin reutilización de frecuencias. Para el sistema de satélites propuesto con un aislamiento entre haces de 20 dB y una reutilización de 16 veces cada frecuencia (únicamente para los haces puntuales) la reutilización de frecuencias de los haces puntuales aumenta la capacidad total de los enlaces de servicio un factor de 15,8 obteniéndose una eficacia de 7,9 bit/Hz.

FIGURA 2

Capacidad normalizada del sistema con respecto al aislamiento entre haces/entre satélites para sistemas homogéneos



*Nota 1* – La capacidad ha sido normalizada a la máxima capacidad obtenible en ausencia de interferencia entre haces y entre satélites.

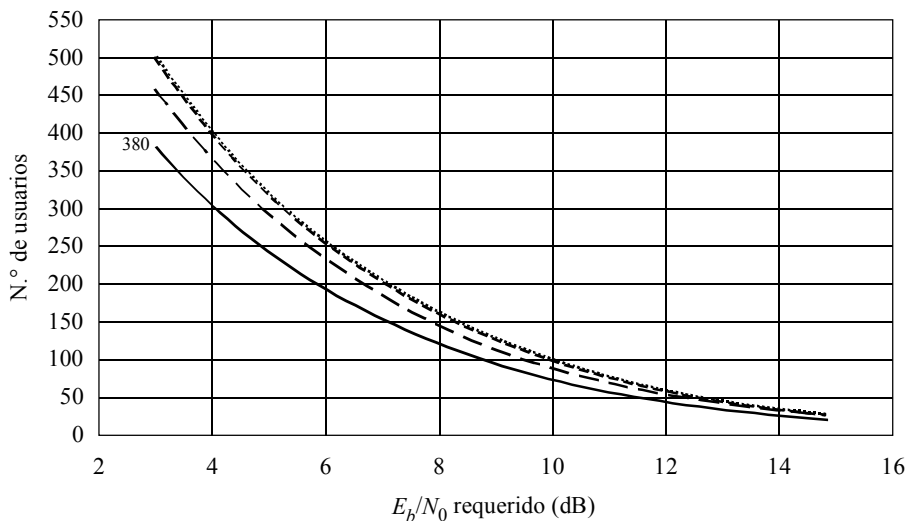
1468-02

La interferencia entre satélites (incluyendo el satélite adyacente) tiene un efecto similar pues la interferencia entre haces influye en las capacidades del sistema total e individual. En la Fig. 3 aparece el número de usuarios en función del valor de la relación  $E_b/N_0$  requerida para la ganancia de procesamiento seleccionada, el aislamiento entre haces y el aislamiento entre satélites. Aunque las capacidades de los sistemas individuales disminuirán en presencia de interferencia entre satélites, los sistemas sin interferencia entre haces e interferencia de satélite adyacente pueden soportar 500 usuarios/canal, como se ha indicado anteriormente. Para dos satélites adyacentes cocanal con aislamiento entre haces de 20 dB y aislamiento entre satélites de 5 dB, la capacidad de cada satélite se reducirá a unos 380 usuarios/canal como indica la Fig. 3. La capacidad total de ambos satélites combinados es, por consiguiente, de 760 usuarios/canal, aproximadamente el 50% superior que la de un solo satélite sin reutilización de la órbita. La eficacia espectral resultante para los dos satélites combinados es de 12,2 bit/Hz.

Puede llegarse a la conclusión general de que la compartición de espectro entre satélites adyacentes para las comunicaciones móviles y personales es viable utilizando AMDC. Sin embargo, se produce una reducción en las capacidades del sistema individual y la magnitud de dicha reducción depende de la separación orbital y de las características de la antena del usuario.

FIGURA 3

Número máximo de usuarios/canal en función de la relación  $E_b/N_0$  requerida para el valor de GP seleccionado con aislamiento entre haces y aislamiento entre satélites como parámetros



GP = 30 dB  
 Aislamiento entre haces = 30 dB

Aislamiento entre satélites (dB)

- ..... Infinita
- 5
- - - - 10
- - - - - 20

1468-03

### 3.4 Efecto de la separación en la órbita sobre la viabilidad de la compartición y la capacidad

La influencia de la compartición del espectro entre satélites adyacentes sobre sus capacidades del sistema individual pueden minimizarse mediante la separación orbital. Para un aislamiento entre satélites determinado y, por consiguiente, para una magnitud concreta de la reducción de la capacidad, la separación orbital depende en gran medida del tipo de antenas de usuarios y de sus diagramas de radiación. Para estudiar las repercusiones de la separación en la órbita sobre la capacidad del sistema se utilizará el modelo Referencia-más-7 dB para representar el diagrama de radiación de las antenas de usuario del SSOMS. Este modelo se basa en el diagrama de radiación de referencia descrito en la Recomendación UIT-R M.694, introduciendo las dos siguientes mejoras para aumentar el aislamiento entre satélites:

- 4 dB de discriminación por polarización cruzada uniformemente distribuida en todo el diagrama;
- 4 dB de mejora del lóbulo lateral cruzado para reflejar el hecho de que los niveles del lóbulo lateral del diagrama de radiación de referencia son aproximadamente 3 dB más pesimistas que los de la antenna real de Inmarsat de tipo A.

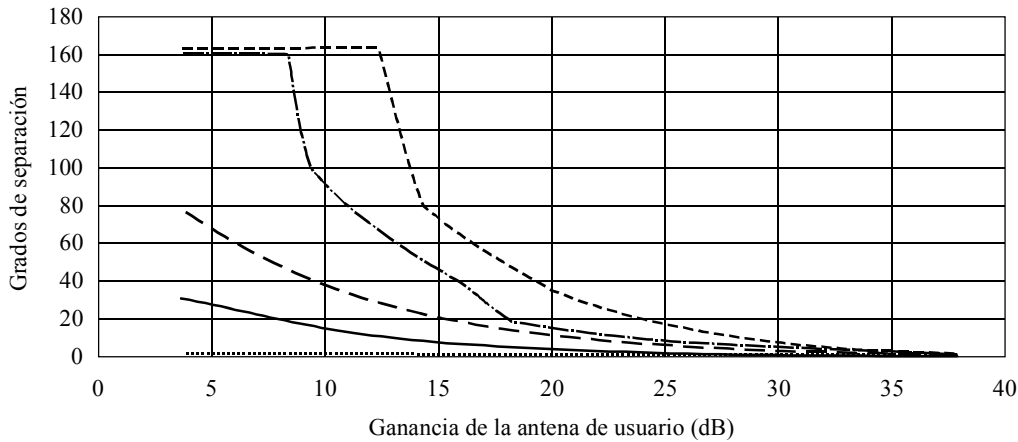
Utilizando el modelo Referencia-más-7 dB, se ha calculado el aislamiento entre satélites en función de la ganancia de la antenna de usuario (véase la Fig. 4). Puede estimarse la capacidad total del sistema a partir de las Fig. 3 y 4 para una separación orbital determinada. Por ejemplo, el aislamiento entre satélites para una separación orbital de 10° es aproximadamente 10 dB para el 10%. La capacidad total de los dos satélites combinada es, por consiguiente, 80% superior que la de un solo satélite sin reutilización de la órbita.

## 4 Compartición entre satélites para aplicaciones punto a punto y punto a multipunto

En este punto se estudia la viabilidad de la compartición de frecuencias entre satélites en las comunicaciones P-P y P-MP.

FIGURA 4

**Separación orbital requerida para alcanzar un determinado aislamiento entre satélites con respecto a la ganancia de la antena de usuario SSOMS (diagrama de antena Referencia-más-7 dB)**



Aislamiento entre satélites (dB)  
(incluido el aislamiento por polarización)

- ..... 1
- 5
- - - - 10
- · - · - 15
- - - - - 20

1468-04

#### 4.1 Elección de técnicas de acceso múltiple

Aunque para estas aplicaciones pueden utilizarse varias técnicas de acceso múltiple tales como AMDC, AMDF y AMDT, las comunicaciones entre puntos fijos (es decir, P-P y P-MP) utilizan generalmente AMDF. Por consiguiente, en el análisis que sigue se supone que estas aplicaciones han utilizado AMDF.

#### 4.2 Capacidad del sistema en ausencia de interferencia entre haces y entre satélites

Para un sistema de anchura de banda limitada, su capacidad viene determinada por la eficacia de la transmisión, que es función de los esquemas de modulación y de codificación y del grado de filtrado de la señal. Por regla general, puede mejorarse la eficacia de la transmisión utilizando una modulación eficaz en anchura de banda y filtrando intensamente la señal recibida, a expensas de un aumento en la potencia de la señal necesaria, o de la relación  $E_b/N_0$ . En este análisis se supone nuevamente una eficacia de transmisión global de 1 bit/Hz, incluyendo los efectos Doppler, la banda de guarda, los errores de frecuencia, etc. La capacidad del sistema real para un sistema de anchura de banda limitada viene dada por el producto de la eficacia de la transmisión, la anchura de banda disponible y la reutilización de frecuencias.

#### 4.3 Capacidad del sistema en presencia de interferencia entre haces y entre satélites

Debido a la alta directividad de las antenas de usuario para las aplicaciones P-P y P-MP, puede lograrse un aislamiento entre haces superior a 20 dB para una separación orbital de 2,5° entre satélites. Con un aislamiento entre haces de 20 dB, la cantidad total de interferencia entre haces y entre satélites se encuentra más de 17 dB por debajo de la portadora deseada. La degradación resultante es despreciable y puede compensarse fácilmente. La capacidad (eficacia espectral) para un sistema de dos satélites con reutilización de haces puntuales y del recurso órbita/espectro es de 32 bit/Hz.

#### 4.4 Efecto de la separación en la órbita sobre la viabilidad de la compartición y la capacidad

En general, la compartición del espectro entre dos satélites adyacentes próximos (separados 2° o más) es posible y no provocará una reducción de las capacidades de los sistemas individuales debido a la directividad relativamente elevada de las antenas de usuario. Por consiguiente, la reutilización del recurso órbita/espectro mejorará de manera significativa la capacidad total.

### 5 Compartición entre satélites destinados a aplicaciones personales y móviles y satélites utilizados en comunicaciones P-P y P-MP

#### 5.1 Elección de las técnicas de acceso múltiple

Como se ha indicado anteriormente, la técnica de acceso múltiple elegida es AMDC para las aplicaciones personales y móviles AMDF para las comunicaciones entre puntos fijos.

#### 5.2 Capacidad del sistema de referencia en ausencia de interferencia entre haces y entre satélites

La capacidad de referencia (eficacia espectral) para los sistemas de satélites de comunicaciones personales y móviles sin reutilización de frecuencias en el haz puntual ni reutilización del recurso órbita/espectro es de 0,5 bit/Hz. De forma similar, la capacidad de referencia (eficacia espectral) para los sistemas de comunicaciones por satélite P-P y P-MP es 1 bit/Hz.

#### 5.3 Capacidad del sistema en presencia de interferencia entre haces

Para un satélite que utiliza tecnología de reutilización de frecuencias multihaz y proporciona comunicaciones personales móviles, y entre puntos fijos, la interferencia mutua entre los usuarios de las comunicaciones personales y móvil y los usuarios de las comunicaciones entre punto y fijo puede aparecer. El aislamiento entre haces proporcionado por el satélite es la única protección contra la interferencia entre haces para los usuarios de AMDC y AMDF. El aislamiento entre haces de 20 dB indicado en el § 2 se basa en la hipótesis de que la  $d_{fp}$  combinada para todas las señales AMDC es la misma que para las señales AMDF. Cualquier diferencia dará lugar a una situación de desequilibrio que favorece un tipo de usuario a expensas del otro. Si bien este problema puede tener una influencia muy importante sobre la capacidad del sistema, el operador del mismo puede mitigar los efectos combinando distintas técnicas, a saber:

- imponer el requisito de homogeneidad de la  $d_{fp}$  para los usuarios AMDF y AMDC, que puede lograrse ajustando la potencia de los enlaces ascendente y descendente y/o reduciendo el número de usuarios AMDC;
- aceptar un menor valor de la relación  $C/I$  para los usuarios AMDF; o
- una combinación de ambas.

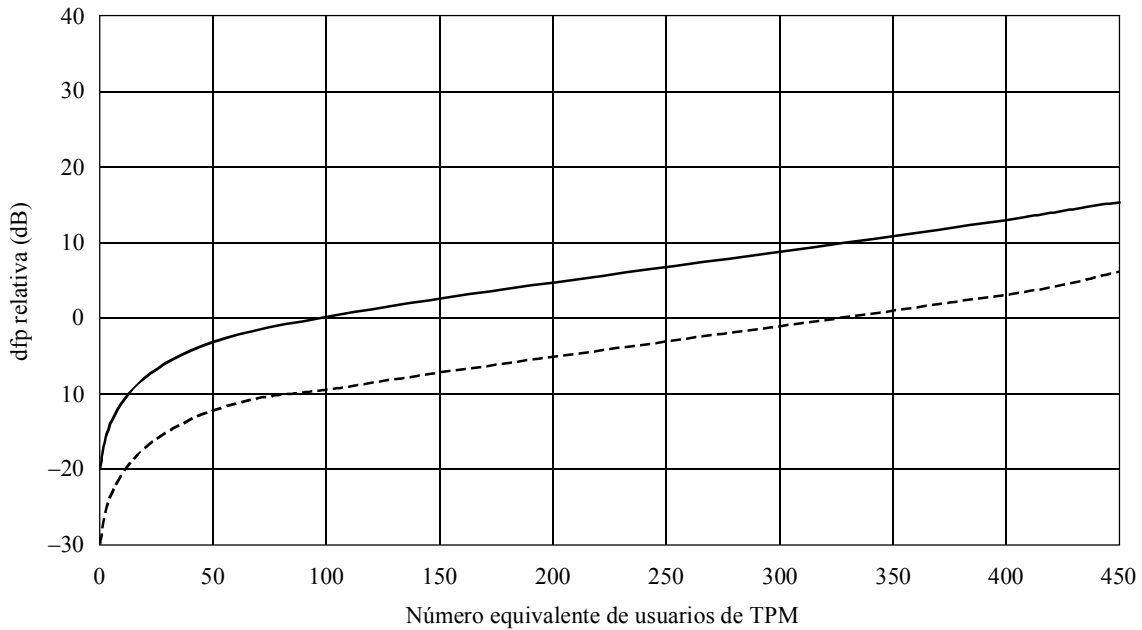
*Valor relativo de la  $d_{fp}$  en el enlace descendente:* La  $d_{fp}$  relativa es función del número de usuarios AMDF activos, de los requisitos de la calidad de funcionamiento del enlace y de la diferencia de la ganancia de antena entre los terminales AMDC y los terminales AMDF (terminales móviles y terminales fijos). Se ha estimado el valor de la  $d_{fp}$  relativa del enlace descendente y se muestra en la Fig. 5, bajo una serie de hipótesis:

- Las comunicaciones entre puntos fijos se utilizan fundamentalmente para fines comerciales y, por consiguiente, tienen unos requisitos de comportamiento mucho más estrictos que los TPB y los TPM. En consecuencia, se supone necesario un margen del enlace 10 dB mayor para las comunicaciones entre puntos fijos a fin de tener en cuenta la tasa de errores inferior, el margen de lluvia más elevado, etc.
- Los usuarios de TPB suponen únicamente el 10% del total de comunicaciones AMDC.

En la Fig. 5 se representa la  $d_{fp}$  relativa del enlace descendente en función del número de usuarios de TPM equivalente, tomando como parámetro la diferencia en la ganancia de antena entre los terminales fijos y los TPM. Esta diferencia es de 10 dB entre los TPM y los terminales de comunicaciones P-MP y de 20 dB entre los TPM y los terminales de comunicaciones P-P. Cabe señalar que la  $d_{fp}$  relativa se expresa en función del número de usuarios de TPM equivalente que establece el límite superior de la capacidad del sistema en el caso de un sistema AMDC que proporcione servicio tanto a TPB como a TPM.

Puede reducirse el número de usuarios AMDC para lograr el valor deseado de la relación  $C/I$  a fin de proteger a los usuarios AMDF contra la interferencia AMDC. Por ejemplo, disminuyendo el número de usuarios de TPM equivalente a 200 por canal, la  $d_{fp}$  del AMDC sería 5 dB superior que en el caso de AMDF, obteniéndose un aislamiento entre haces efectivo de 15 dB (20 dB – 5 dB) para los usuarios AMDF y de 25 dB (20 dB + 5 dB) para los usuarios AMDC.

FIGURA 5  
**dfp de enlace descendente AMDC relativa a la dfp AMDF en función del número de usuarios de TPM**



DG: Ganancia de antena de usuario AMDP – ganancia de antena TPM (dB)

DG (dB)

— 10  
 - - - 20

1468-05

*Valor relativo de la dfp en el enlace ascendente:* Se ha calculado la dfp relativa del enlace ascendente y se muestra en la Fig. 6 bajo las mismas hipótesis hechas en el caso anterior. Como puede observarse, la dfp AMDC es inferior que la dfp AMDF, creando una situación que favorece a los usuarios AMDF a expensas de los usuarios AMDC. Si el número de usuarios AMDC es de 200 por canal (que pueden consistir en una combinación de TPB), la dfp AMDC es inferior que la dfp AMDF aproximadamente en 15 dB. El aislamiento entre haces efectivo para la protección de los usuarios AMDC contra la interferencia causada por el enlace ascendente AMDF es, por consiguiente, 5 dB (20 dB – 15 dB).

Los usuarios AMDF se beneficiarán de la dfp desequilibrada de forma muy significativa. La dfp aumenta el aislamiento entre haces efectivo de 20 dB a 35 dB (20 dB + 15 dB), sin que se produzca degradación apreciable. Por consiguiente, la capacidad del sistema sigue siendo de 16 bit/Hz.

En resumen, imponiendo un límite superior en el número de usuarios AMDC de 200 usuarios TPM por canal, el problema de la dfp no homogénea puede reducirse y no aparecerá una degradación de la calidad de funcionamiento.

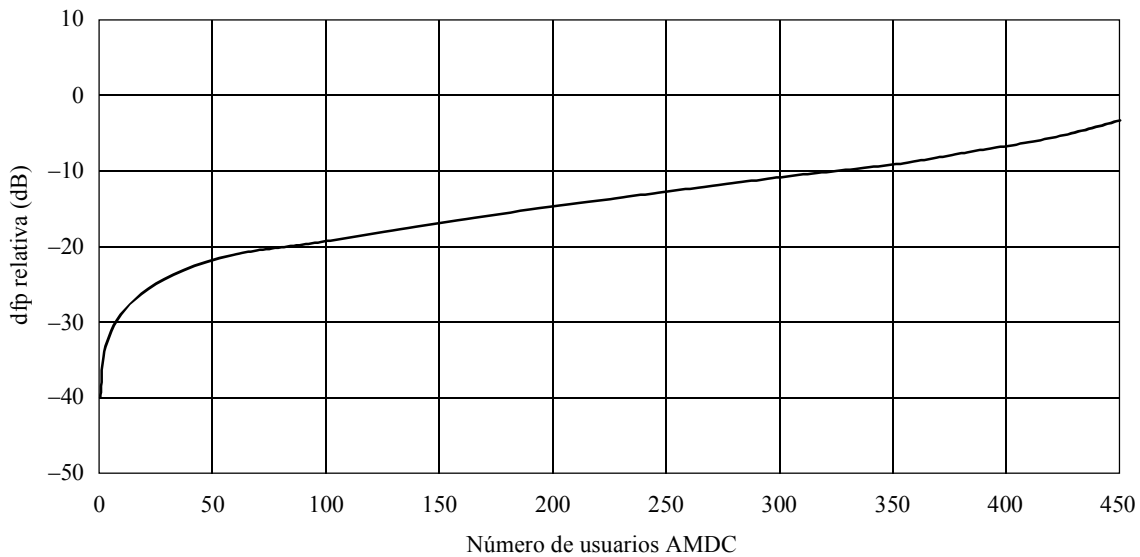
#### 5.4 Capacidad del sistema en presencia de interferencia entre satélites

La interferencia entre satélites puede afectar la capacidad del satélite. Existen tres posibles casos de interferencia:

- Usuarios AMDC (comunicaciones personales y móviles) de un satélite interfiriendo con los de otro satélite.
- Usuarios AMDF (comunicaciones entre puntos fijos) de un satélite interfiriendo con los de otro satélite.
- Usuarios AMDC de un satélite interfiriendo con usuarios AMDF de otro satélite y viceversa.

FIGURA 6

**dfp de enlace ascendente AMDC relativa a la dfp AMDF en función del número de usuarios de AMDC**



1468-06

Los dos primeros casos son similares a los análisis de interferencia entre satélites que aparecen en los § 3.3 y 4.3 y son aplicables sus resultados. El siguiente análisis se refiere al tercer caso, suponiendo una separación orbital razonable ( $3^\circ$ ) entre dos satélites adyacentes.

*Capacidad en el sentido de ida:* Para tener en cuenta la interferencia causada por las señales del enlace descendente AMDF de un satélite adyacente, debe reducirse de su valor máximo el número de usuarios AMDC activos un factor que es función de la separación orbital, siendo el aislamiento entre satélites del TPB de 8,5 dB incluyendo una discriminación por polarización de 4 dB. Teniendo en cuenta el efecto de las distintas dfp del enlace descendente, el aislamiento entre satélites efectivo pasa a ser de 13,5 dB (8,5 dB + 5 dB). La capacidad AMDC se reducirá correspondientemente por un factor de 0,96. Cabe señalar que la reducción se realiza para tener en cuenta la interferencia entre satélites únicamente.

La reducción debida a la interferencia entre haces no ha sido incluida. También es preciso decir que en este punto se han considerado únicamente dos satélites. La existencia de satélites adyacentes adicionales dará lugar a una mayor reducción de la capacidad y este caso se considerará en el § 7.

Con una separación de  $3^\circ$ , los terminales de los usuarios AMDF deben poder lograr una reducción de 30 dB. El aislamiento entre satélites es de 25 dB (30 dB – 5 dB (diferencia de la dfp del enlace descendente)) en la dirección de ida (recepción). Por lo tanto, se producirá muy poca o ninguna interferencia a los terminales AMDF (o usuarios). En consecuencia, la capacidad AMDF no resulta afectada por los usuarios AMDC.

*Capacidad en el sentido de vuelta:* En el sentido de vuelta, puede ser necesario reducir la capacidad AMDC para:

- tener en cuenta la interferencia del enlace ascendente AMDF procedente de un satélite adyacente;
- proteger a los usuarios AMDF.

Con 30 dB de aislamiento entre satélites y 15 dB de diferencia de dfp, el aislamiento entre satélites efectivo para los usuarios AMDF es de 15 dB (30 dB – 15 dB) en el sentido de ida (transmisión). Ello reducirá la capacidad AMDC un factor aproximadamente igual a 0,97. De forma similar, las señales del enlace ascendente procedentes de los usuarios AMDC pueden interferir con la adecuada recepción de las señales AMDF por un canal adyacente. La cantidad de interferencia aceptable se expresa normalmente en términos del valor requerido de la relación  $C/I$ . Si la dfp del enlace ascendente para ambos sistemas es la misma y está uniformemente distribuida a lo largo de toda la anchura de banda de interés, la relación  $C/I$  es simplemente igual al aislamiento entre satélites de los terminales de usuario AMDC. Para una separación de  $3^\circ$  el aislamiento entre satélites es de 8,5 dB y 12 dB para los TPB y los TPM, respectivamente.

Estableciendo la hipótesis de que los usuarios de los TPB suponen únicamente el 10% de la capacidad AMDC total, se calcula un aislamiento entre satélites ponderado de 11,49 dB. Realizando un ajuste para la diferencia de 15 dB en las dfp del enlace ascendente, el aislamiento entre satélites efectivo de los TPB y los TPM combinados pasa a ser 26,5 dB (11,49 dB + 15 dB). El valor correspondiente de la relación  $C/I$  para AMDF es, por lo tanto, 26,5 dB. No se espera ninguna degradación en las señales AMDF.

## 6 Compartición con sistemas terrenales

La compartición entre los SSOMS y los sistemas fijos terrenales en general no es posible debido a la naturaleza móvil y a la directividad relativamente baja de las antenas de usuario para las aplicaciones personales y móviles. Las coordinaciones entre estos sistemas serían complejas y poco prácticas.

## 7 Utilización del recurso órbita/espectro

En este punto se calcula la capacidad del recurso órbita/espectro para los usuarios AMDC y los usuarios AMDF.

### 7.1 Capacidad del recurso órbita/espectro AMDC

A efectos de este análisis se realizan las siguientes hipótesis:

- 21° de arco útil;
- un factor de reutilización de la frecuencia del haz puntual de valor 16;
- 8 satélites separados 3°;
- polarización opuesta en los satélites adyacentes; y
- utilización de antenas de haz en abanico para todos los usuarios AMDC.

#### 7.1.1 Efectos de la interferencia AMDF

Para determinar la capacidad del sistema, es necesario calcular en primer lugar el aislamiento entre satélites que, a continuación, debe ajustarse a fin de tener en cuenta la diferencia de dfp entre las señales AMDC y AMDF. Para la separación entre satélites supuesta, se estima un aislamiento entre satélites de 0,1 dB para los usuarios de TPB. Como la dfp del enlace descendente AMDF se encuentra 5 dB por debajo de la dfp del enlace descendente AMDC, el TPB presenta un aislamiento entre satélites de 5,7 dB contra la interferencia del enlace descendente AMDF. Ello disminuye la capacidad AMDC en sentido de ida por un factor adicional de 0,79. El número de usuarios en ese sentido se reduce, por consiguiente, a 157 usuarios/canal ( $200 \times 0,79$ ). Cabe señalar que en el cálculo anterior se ha supuesto una discriminación adicional de 4 dB debido a la utilización de antenas de haz en abanico.

En sentido de vuelta, las repercusiones de la reutilización del recurso órbita/espectro vienen determinados por el aislamiento entre satélites de los terminales AMDF. Con 8 satélites separados 3°, se supone un aislamiento entre satélites de los terminales AMDF de unos 25 dB, incluida la discriminación por polarización. Realizando el ajuste correspondiente para una diferencia de 1,5 dB en la dfp del enlace ascendente, el aislamiento entre satélites efectivo pasa a ser de 10 dB, lo que reduce la capacidad AMDC en el sentido de vuelta por un factor aproximadamente de 0,91, o unos 180 usuarios ( $200 \times 0,91$ ) por canal.

#### 7.1.2 Efectos de la interferencia AMDC

En el sentido de ida, el valor de la protección (aislamiento entre satélites) que presenta el TPB contra la interferencia del enlace descendente AMDC procedente de los satélites adyacentes es de 0,7 dB; es decir, 5 dB menos que contra la interferencia AMDF. El factor de reducción de la capacidad resultante es 0,54 (véase la Fig. 4), lo que equivale a 108 usuarios ( $200 \times 0,54$ ) por canal.

En el sentido de vuelta, la interferencia del enlace ascendente originada por los usuarios AMDC de satélites adyacentes puede dar lugar a una reducción de la capacidad. El volumen de interferencia se determina mediante el aislamiento entre satélites de los terminales de usuario AMDC; es decir, los TPB y los TPM. El aislamiento entre satélites efectivo es aproximadamente de 1,3 dB y de 7,8 dB para los TPB y los TPM, respectivamente. Considerando la atribución de capacidad a los TPB (10% de la capacidad AMDC total), se obtiene un aislamiento entre satélites efectivo de 6,5 dB para los usuarios AMDC (TPB y TPM combinados). El factor de reducción de la capacidad resultante es de 0,82, lo que supone 163 ( $200 \times 0,82$ ) usuarios por canal.

## 7.2 Capacidad del recurso órbita/espectro AMDF

### 7.2.1 Efectos de la interferencia AMDC

En el sentido de ida, el aislamiento entre satélites efectivo de los terminales AMDF es de unos 20 dB tras realizar el ajuste para la diferencia de 5 dB en la dfp del enlace descendente. A este nivel, la interferencia entre satélites tendrá muy poca repercusión, o ninguna, en la capacidad de los satélites individuales.

En el sentido de vuelta, las señales AMDC del enlace ascendente procedentes de los satélites adyacentes pueden interferir con el enlace ascendente AMDF. Como se indica en el § 7.1.2, el aislamiento entre satélites ponderado es de 6,5 dB. Realizando un ajuste para la diferencia de dfp del enlace ascendente, se obtiene un aislamiento entre satélites efectivo de 21,5 dB (6,5 dB + 15 dB).

Tampoco en este caso se espera una degradación significativa de la calidad de funcionamiento.

### 7.2.2 Efectos de la interferencia AMDF

La interferencia entre satélites en el caso de sistemas homogéneos es insignificante tanto en el sentido de ida como en el de vuelta debido a la elevada directividad de la antena.

En resumen, la capacidad AMDF por satélite sigue siendo la misma que en ausencia de interferencia entre satélites; es decir, 16 bit/Hz. La capacidad total en un arco de 21° es por lo tanto 64 bit/Hz. Cabe indicar que en los § 3 y 4 se ha supuesto que todos los usuarios AMDC utilizan antenas de haz en abanico. Si bien esta situación es la más adecuada y mejora la compartición, dicha compartición entre sistemas también puede lograrse sin utilizar antenas de haz en abanico. Sin la discriminación adicional de 4 dB, el aislamiento entre satélites efectivo sería 4 dB inferior. La capacidad AMDC resultante sería de unos 120 usuarios por canal.

## 8 Conclusiones

Se han presentado las características más importantes de algunos SSOMS. También se ha examinado la viabilidad de la compartición y la capacidad del recurso órbita/espectro. Variando el número de usuarios AMDC por canal se ha observado que los SSOMS pueden incorporar equipos de usuario no homogéneos (TPB y TPM) y soportar la utilización de distintos esquemas de acceso múltiple (AMDC y AMDF) para diversas aplicaciones. El análisis también ha demostrado que los SSOMS pueden lograr la reutilización de la órbita y el espectro a pesar de la directividad relativamente baja de los TPB. Se han propuesto unos ciertos balances de interferencia y unas determinadas características de los equipos con el objetivo de mantener la compatibilidad entre todos los usuarios/aplicaciones y de maximizar la utilidad de los recursos.

---