

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R S.1878**  
(12/2010)

**Técnicas de transmisión por multiportadora  
para sistemas de satélites**

**Serie S**  
**Servicio fijo por satélite**



Unión  
Internacional de  
Telecomunicaciones

## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	<b>Servicio fijo por satélite</b>
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2011

© UIT 2011

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1878

**Técnicas de transmisión por multiportadora para sistemas de satélites**

(Cuestiones UIT-R 46-3/4 y UIT-R 73-2/4)

(2010)

**Cometido**

Para lograr una utilización eficaz de los recursos de frecuencia y unos servicios de transmisión de datos a alta velocidad, las técnicas de transmisión por multiportadora se consideran tecnologías muy prometedoras a la hora de proporcionar los futuros servicios de radiocomunicaciones. Esta Recomendación presenta una panorámica general de las técnicas de transmisión por multiportadora a través de enlaces por satélite y da algunas orientaciones sobre la utilización de los esquemas de acceso múltiple por división de código multiportadora (AMDC-MC) y de multiplexión por división de frecuencia ortogonal con interferometría de portadora (MDFO-CI) para los sistemas de radiocomunicaciones por satélite.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los satélites del servicio fijo por satélite (SFS) y del servicio móvil por satélite (SMS) son utilizados simultáneamente por muchas estaciones terrenas situadas en diferentes emplazamientos;
- b) que los esquemas de acceso múltiple por multiportadora tales como la multiplexión por división de frecuencia ortogonal – Acceso múltiple por división de frecuencia (MDFO-AMDF o AMDFO), AMDC-MC y AMDT multifrecuencia (AMDT-MF) han sido adoptados, o se está considerando su adopción, en muchas normas de sistemas terrenales y por satélite para su futura implementación;
- c) que aunque los sistemas de tipo MDFO son ampliamente utilizados en las redes terrenales como medio para proporcionar una buena eficacia espectral y energética en los canales selectivos en frecuencia, la MDFO presenta un elevado valor de la relación entre la potencia de cresta y media (PAPR), lo que constituye un problema para el amplificador de alta potencia (HPA) del satélite;
- d) que es necesario un alto grado de libertad especialmente en las transmisiones por ráfagas (es decir, de velocidad no continua y variable) y por paquetes a alta velocidad;
- e) que para garantizar una utilización eficaz del espectro de frecuencias y de las órbitas, puede que sea conveniente determinar las características de acceso múltiple óptimas;
- f) que las características de transmisión de los sistemas de acceso múltiple, especialmente los sistemas de acceso múltiple por multiportadora, pueden tener importancia en sus interacciones mutuas,

*observando*

- a) que la Recomendación UIT-R S.1709 especifica el AMDF-MF como un formato de acceso del tráfico de entrada para sistemas mundiales de comunicaciones por satélite en banda ancha;
- b) que la Recomendación UIT-R BO.1130 especifica el MDFO codificada (MDFOC) como una de las técnicas de transmisión utilizadas para los servicios de radiodifusión sonora digital por satélite destinados a receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 1 400-2 700 MHz;

c) que el Informe UIT-R S.2173 proporciona material informativo de fondo sobre transmisiones multiportadora a través de enlaces por satélite, incluidos los principios básicos de funcionamiento, las hipótesis de aplicación y el comportamiento de las transmisiones multiportadora a través de enlaces por satélite, analizadas mediante técnicas informáticas,

*recomienda*

- 1 que se utilice el Anexo 1 como guía para planificar la utilización de un esquema MDFO-CI para los sistemas de radiocomunicaciones por satélite multiportadora;
- 2 que se utilice el Anexo 2 como guía para planificar la utilización de un esquema AMDC-MC para los sistemas de radiocomunicaciones por satélite;
- 3 que las técnicas en cuestión puedan ser empleadas incluso de forma combinada siempre que no exista una incompatibilidad básica entre ellas.

## **Anexo 1**

### **Transmisión MDFO-CI en los sistemas de radiocomunicaciones por satélite**

#### **1 Introducción**

Este Anexo presenta un sistema de radiocomunicaciones por satélite que hace uso de transmisiones MDFO-CI y describe su comportamiento comparado con el de un sistema de radiocomunicaciones por satélite que utiliza transmisiones MDFO de una sola portadora.

#### **2 modelo del sistema**

MDFO es una tecnología de multiportadora utilizada para superar el carácter selectivo en frecuencia de los entornos de radiocomunicaciones terrenales. Aparte de esta ventaja, el MDFO presenta otras ventajas que pueden aprovechar los sistemas de radiocomunicaciones por satélite y que figuran en el § 5.2 del Informe UIT-R S.2173. Sin embargo, como se indica en dicho Informe, la MDFO presenta un elevado valor en la relación entre las potencias de cresta y media (PAPR), lo cual es un problema importante para el amplificador de alta potencia (HPA) del satélite.

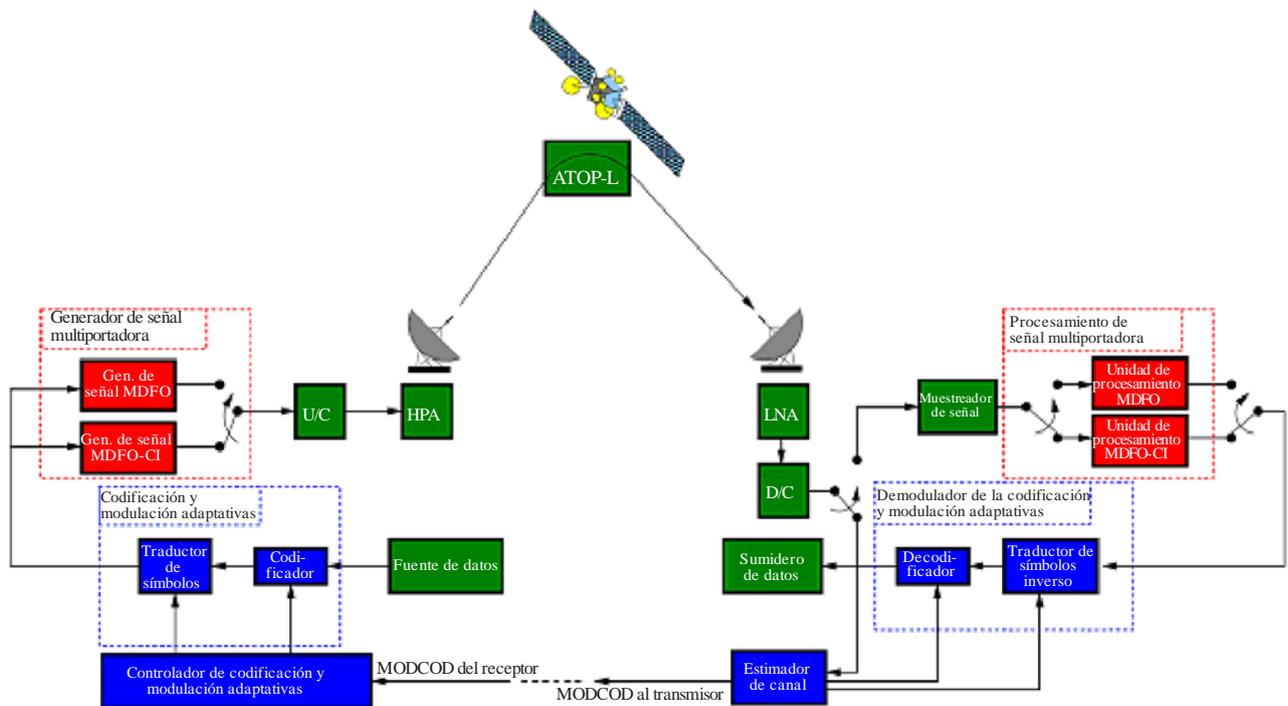
MDFO-CI es un tipo de tecnología de aleatorización de subportadora que puede implementarse en un sistema MDFO introduciendo un módulo que realice una transformada rápida de Fourier (FFT) adicional en los extremos transmisor y receptor de un sistema de radiocomunicaciones, a fin de reducir la PAPR de las señales MDFO. Los principios operacionales de la MDFO-CI se describen detalladamente en el § 6.3 del Informe UIT-R S.2173.

La Fig. 1 representa un sistema de satélites que utiliza transmisiones MDFO-CI. La fuente de datos produce un vector de palabras-mensaje que ataca a un codificador, cuya velocidad viene fijada por un controlador de codificación y modulación adaptativas (ACM). Los datos codificados pasan a continuación a un traductor de símbolos cuya salida va a un generador de señal multiportadora (MSG) que se compone de dos bloques a efectos de simulación: un generador de señal MDFO y un generador de señal MDFO-CI. Durante la simulación se emplea sólo uno de los bloques del MSG. Cada MSG genera un símbolo multiportadora a partir de un conjunto de  $N$  símbolos; siendo  $N$  el número de subportadoras utilizadas para la transmisión. La salida del MSG pasa a una HPA cuya

salida ataca a un convertidor ascendente (U/C) de señal analógica que crea una señal analógica a partir de los símbolos en banda base digitales a la frecuencia portadora deseada y la envía al satélite a través del canal. Como el satélite es transparente la señal recibida se amplifica y se retransmite. A menudo se utiliza un amplificador de tubo de ondas progresivas (ATOP) para los transpondedores del satélite y el sistema de satélites multiportadora (MCSS) puede emplear predistorción de los símbolos para linealizar la salida del ATOP. Cabe señalar que muchos satélites modernos se fabrican hoy en día con ATOP linealizados (ATOP-L) y que la combinación de un precodificador de símbolos con un ATOP es esencialmente un ATOP-L.

El receptor recibe la señal analógica transmitida contaminada por el ruido y otras degradaciones y la traslada a un muestreador de señal o a un estimador de canal. La señal recibida se dirige al estimador de canal se transmite la señal piloto. El estimador de canal realiza una estimación instantánea de la relación portadora/ruido (C/N) a través del canal y selecciona una combinación de modulación y codificación (MODCOD) adecuada. La selección MODCOD se retransmite de vuelta al controlador ACM del transmisor y se utiliza para determinar la modulación y codificación adecuadas que deben emplearse en la demodulación y decodificación de las muestras recibidas. Cuando se reciben los datos en el receptor, las señales pasan al muestreador de señal que crea un conjunto de muestras, muestreadas a la velocidad de Nyquist, que se trasladan a la unidad de procesamiento multiportadora (MPU). Esta MPU se compone de dos módulos para la simulación: una unidad de procesamiento MDFO y una unidad de procesamiento MDFO-CI. El receptor utiliza el módulo MPU correspondiente al módulo MSG utilizado por el transmisor. Cada MPU produce un conjunto de  $N$  símbolos a partir de una muestra de símbolo multiportadora. La salida del MPU va a un traductor de símbolos inverso, que emplea los valores medios de las constelaciones recibidas de cada modulación y sus respectivas magnitudes del vector error para crear estimaciones estrictas o aproximadas de cada bit transmitido, que se dirigen al decodificador. El decodificador toma una decisión sobre los datos transmitidos y los traslada al sumidero de datos.

FIGURA 1  
Diagrama de bloques de la simulación de un MCSS que utiliza transmisiones MDFO-CI



### 3 Resultados del funcionamiento del MDFO-CI en un canal de satélite no lineal

Los resultados de la simulación presentados en este punto se obtuvieron utilizando el modelo de sistema descrito en el § 2 del presente anexo. El esquema<sup>1</sup> DVB-S2 ACM se utiliza en el modelo del sistema con 100 iteraciones de decodificación del algoritmo de propagación de creencias<sup>2</sup> («belief algorithm»). Los símbolos en banda base se sobremuestran por un factor de 4 para obtener una representación adecuada de la señal modulada y se emplean 64 subportadoras a fin de generar los símbolos multiportadora. El ATOP-L es el descrito en el § 10.3.2 del Informe UIT-R S.2173. Se supone que la estimación de canal y de ruido y la comunicación del receptor al transmisor no presentan errores.

La forma más adecuada de evaluar el comportamiento de una técnica de reducción de la PAPR es midiendo la degradación total (DT) del valor de la tasa de errores en paquetes (PER) entre un sistema con un amplificador<sup>3</sup> lineal ideal, denominado en lo que sigue amplificador lineal, y el sistema sometido a estudio<sup>4</sup>, teniendo en cuenta la degradación causada por la reducción de potencia de entrada (IBO). Matemáticamente esto puede expresarse como sigue:

$$DT \text{ (dB)} = C/N_{\text{no lineal}} \text{ (dB)} - C/N_{\text{lineal}} \text{ (dB)} + IBO \quad \text{dB} \quad (1)$$

siendo  $C/N_{\text{lineal}}$  y  $C/N_{\text{no lineal}}$  los valores de C/N necesarios para obtener una PER particular en el HPA lineal y no lineal, respectivamente.

El Cuadro 1 presenta la DT causada al aplicar una modulación DVB-S2 diferente a través de un ATOP-L, obtenido para una PER de  $10^{-3}$ . Obsérvese que para comparar adecuadamente C/N del HPA lineal con C/N del sistema con ATOP-L, el valor equivalente de C/N es:

$$C/N_{eq} \text{ (dB)} = C/N \text{ (dB)} + IBO_{opt} \quad \text{dB} \quad (2)$$

Esta conversión debe realizarse para comparar correctamente el comportamiento de ambos sistemas funcionando con su máxima potencia de salida. El HPA lineal funciona con una IBO de 0 dB (saturación del HPA) mientras que el ATOP-L no funciona necesariamente en estado de saturación. Los resultados de la simulación para el SCSS con ATOP-L especifican que la IBO<sup>5</sup> óptima ( $IBO_{opt}$ ) a la que funciona el ATOP-L es 0 dB<sup>6</sup>. Para una modulación de envolvente constante tal como la MDP  $M$ -aria, no se produce degradación; no obstante, la degradación para MDP-16 es despreciable mientras que se produce una degradación importante en el caso de MDP-32. El Cuadro 1 demuestra que un sistema de satélites de una sola portadora (SCSS) puede funcionar empleando DVB-S2 con unas pérdidas muy pequeñas si se compara con el sistema teórico con amplificador lineal.

---

<sup>1</sup> Para más información sobre DVB-S2 consúltese el § 9.2 del Informe UIT-R S.2173.

<sup>2</sup> Para más información sobre el algoritmo de propagación de creencias consúltese el § 7.4.4 del Informe UIT-R S.2173.

<sup>3</sup> Obsérvese que un amplificador lineal ideal tiene una función de transferencia lineal y ningún punto de saturación. Ello significa que el amplificador lineal ideal no introduce ruido causado por el recorte.

<sup>4</sup> El sistema sometido a estudio podría ser un SCSS con amplificador no lineal o un MCSS con o sin técnicas de reducción de la PAPR.

<sup>5</sup> Para más información sobre la forma de determinar  $IBO_{opt}$ , véase el § 10.3.2 del Informe UIT-R S.2173.

<sup>6</sup> Esto corrobora los resultados presentados en el § 10.3.2 del Informe UIT-R S.2173.

CUADRO 1

**Degradación debida al ATOP-L en un sistema de satélites  
que utiliza varias combinaciones de MODCOD DVB-S2**

MODCOD	Eficacia espectral (bit/s/Hz)	Amp. lineal	ATOP-L	
		$C/N_{eq}$ (dB) @ PER = $10^{-3}$	$C/N_{eq}$ (dB) @ PER = $10^{-3}$	DT <sub>ATOP-L</sub> (dB)
MDPQ 1/4	0,49	-2,96	-2,96	0
MDPQ 2/5	0,79	-0,64	-0,64	0
MDPQ 1/2	0,99	1,13	1,13	0
MDPQ 5/6	1,65	5,05	5,05	0
MDP-8 3/5	1,78	5,61	5,61	0
MDP-8 3/4	2,23	7,84	7,84	0
MDP-8 5/6	2,48	9,31	9,31	0
MDP-8 9/10	2,68	10,84	10,84	0
MDPA-16 3/4	2,96	10,14	10,21	0,07
MDPA-16 4/5	3,16	10,92	11,00	0,08
MDPA-16 5/6	3,30	11,53	11,63	0,10
MDPA-16 8/9	3,52	12,76	12,88	0,12
MDPA-16 9/10	3,56	12,99	13,13	0,14
MDPA-32 3/4	3,70	12,80	13,48	0,68
MDPA-32 4/5	3,95	13,61	14,45	0,84
MDPA-32 5/6	4,12	14,26	15,20	0,94
MDPA-32 8/9	4,39	15,50	16,70	1,20
MDPA-32 9/10	4,45	15,75	16,98	1,23

El Cuadro 2 presenta las pérdidas de comportamiento con DT para un MCSS que utiliza transmisiones MDFO-CI comparadas con un MCSS que utiliza transmisiones MDFO. El cambio en la DT para los MCSS es mucho más drástico que cuando se compara con los SCSS. Ello se debe al elevado valor de la PAPR de las señales multiportadora. También puede observarse que el MCSS con transmisiones MDFO-CI presenta una ganancia comprendida entre 0,5 y 4,5 dB en términos de DT sobre el MCSS, dependiendo las transmisiones MDFO de la MODCOD.

La Fig. 2 ilustra este comportamiento representando DT en función de la eficacia espectral (en bits por segundo por hertzio (bits/s/Hz)) del esquema DVB-S2 ACM. Obsérvese que los resultados se presentan en términos de  $C/N_{eq}$ , calculada en (2), para cada MCSS. Obsérvese también que las curvas se han trazado utilizando la máxima eficacia espectral generada por todas las MODCOD para cada  $C/N_{eq}$  de un sistema en particular. Es decir, si MODCOD  $x$  tiene una eficacia espectral mayor que MODCOD  $y$ , y MODCOD  $x$  tiene un valor de  $C/N_{eq}$  menor que MODCOD  $y$ , entonces, MODCOD  $y$  se omite de la Fig. 2. Las MODCOD no incluidas en la Fig. 2 aparecen subrayadas en los Cuadros 1 y 2. Puede verse también que la curva que representa el MCSS que utiliza transmisiones MDFO presenta una pendiente ascendente mucho más abrupta que el MCSS que emplea transmisiones MDFO-CI. De hecho, hasta una eficacia espectral de 3,6 bit/s/Hz, el MCSS con transmisiones MDFO-CI tiene una DT inferior a 3 dB. Ello significa que el MCSS con transmisiones MDFO-CI podría emplearse para eficacias espectrales de hasta 3,6 bit/s/Hz con una potencia no superior al doble de la potencia de transmisión necesaria.

CUADRO 2

**Comparación del comportamiento con DT para MCSS con transmisiones MDFO y MDFO-CI que utiliza varias combinaciones de MODCOD DVB-S2**

MODCOD	Eficacia espectral (bit/s/Hz)	MDFO			MDFO-CI		
		$C/N_{eq}$ (dB) @PER = $10^{-3}$	$IBO_{opt}$ (dB)	DT (dB)	$C/N_{eq}$ (dB) @PER = $10^{-3}$	$IBO_{opt}$ (dB)	DT (dB)
MDPQ 1/4	0,49	-2,29	0	0,67	-2,78	0	0,18
MDPQ 2/5	0,79	0,16	0	0,80	-0,44	0	0,20
MDPQ 1/2	0,99	1,73	0	0,60	1,23	0	0,10
MDPQ 5/6	1,65	6,78	0	1,73	5,43	0	0,38
MDP-8 3/5	1,78	8,12	0	2,51	6,01	0	0,40
MDP-8 3/4	2,23	11,17	0	3,33	8,29	0	0,45
MDP-8 5/6	2,48	13,93	1	4,62	9,95	0	0,64
MDP-8 9/10	2,68	16,69	3	5,85	11,72	0	0,88
MDPA-16 3/4	2,96	15,41	2	5,27	11,53	0	1,39
MDPA-16 4/5	3,16	16,79	3	5,87	12,59	0	1,67
MDPA-16 5/6	3,30	18,08	3	6,55	13,56	0	2,03
MDPA-16 8/9	3,51	20,04	5	7,28	15,42	1	2,66
MDPA-16 9/10	3,56	20,76	5	7,77	15,81	1	2,82
MDPA-32 3/4	3,70	20,40	5	7,60	16,26	2	3,46
MDPA-32 4/5	3,95	22,05	6	8,13	17,47	2	3,55
MDPA-32 5/6	4,12	23,16	6	8,9	18,55	2	4,29
MDPA-32 8/9	4,39	25,43	8	9,93	21,81	2	6,31
MDPA-32 9/10	4,45	25,81	8	10,06	22,75	2	7,00

La Fig. 3 representa la eficacia energética del SCSS con un HPA lineal, SCSS con ATOP-L, MCSS con transmisiones MDFO y MCSS con transmisiones MDFO-CI; se ha dibujado la eficacia espectral de estos sistemas, para una PER de  $10^{-3}$ , en función de  $C/N_{eq}$  utilizando los Cuadros 1 y 2. Cada escalón en la curva representa la utilización de una nueva MODCOD con mayor eficacia espectral. Obsérvese que, como fue explicado en la Fig. 2, únicamente las MODCOD que proporcionan la máxima eficacia espectral se han utilizado para trazar la Fig. 3. Los resultados representados en dicha figura reflejan los de la Fig. 2, presentando los SCSS una mejor eficacia espectral que los MCSS, especialmente en el caso de MODCOD con mayor eficacia espectral. En particular, los MCSS que emplean MODCOD con MDPA-32 tienen una eficacia energética muy escasa si se comparan con los SCSS con ATOP-L. Sin embargo, es evidente que MDFO-CI mejora en gran medida la eficacia energética de los MCSS comparada con la de los MCSS que emplean transmisiones MDFO. La eficacia espectral que puede lograrse para un MCSS que utiliza transmisiones MDFO, limitando al mismo tiempo el incremento de la potencia de transmisión a 3 dB o menos, es 2,05 bit/s/Hz. Lo que supone aproximadamente 1,55 bit/s/Hz menos que en el caso de los MCSS que utilizan transmisiones MDFO-CI.

FIGURA 2  
Degradación total del SCSS y el MCSS en función de la eficacia espectral

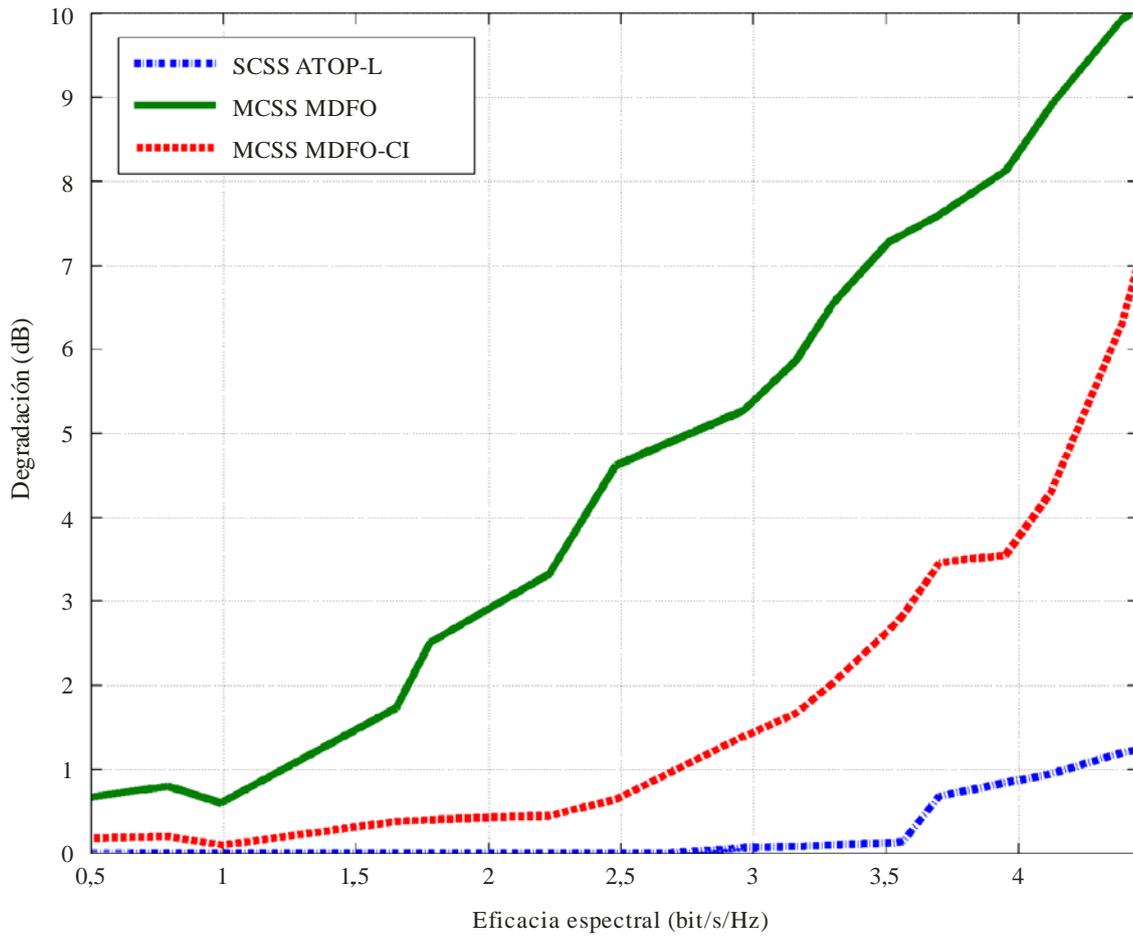
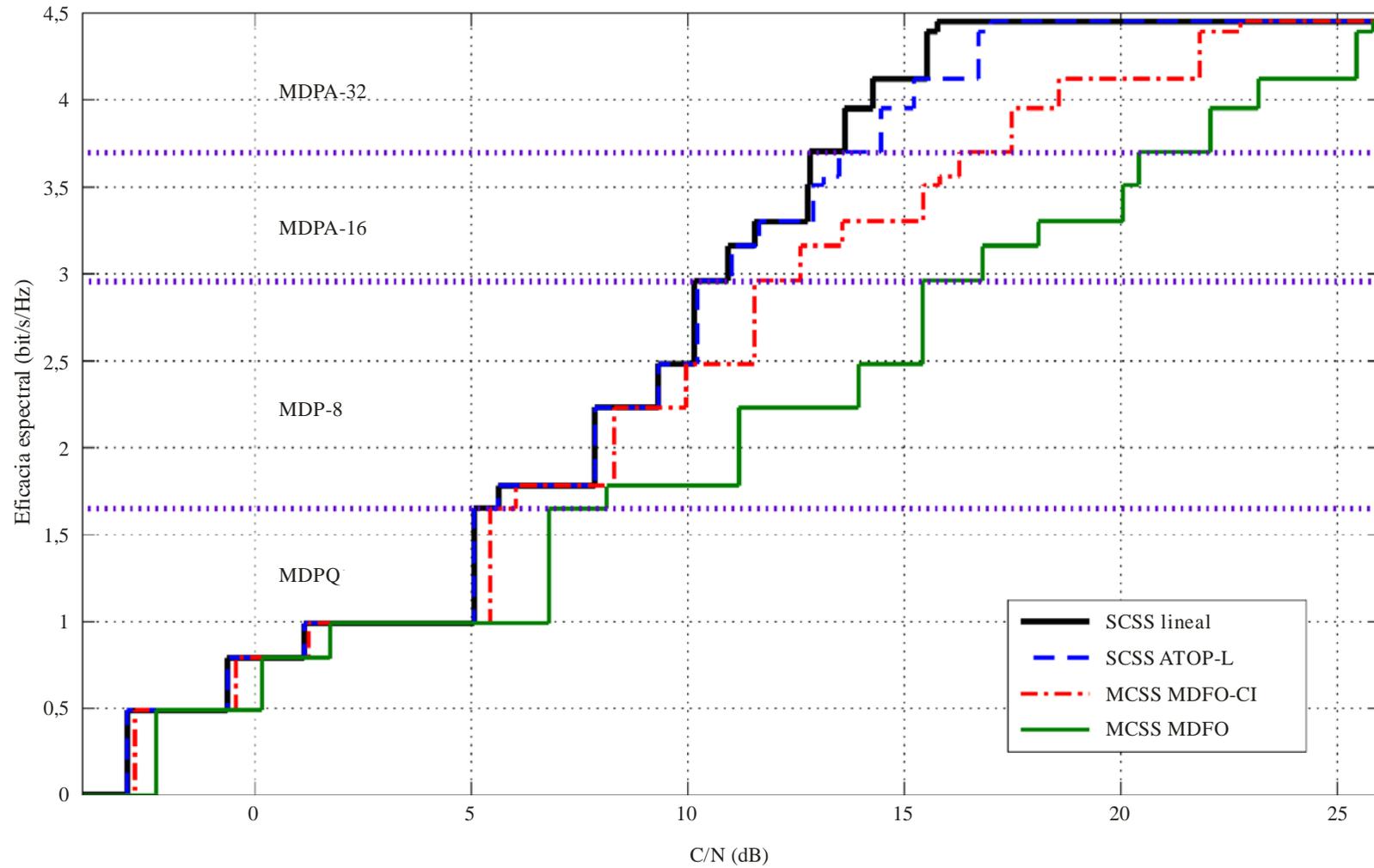


FIGURA 3

Eficacia energética del SCSS y el MCSS para diversas combinaciones de MODCOM DVB-S2



## 4 Resumen

El presente Anexo demuestra que es posible utilizar las transmisiones MDFO-CI para los sistemas de radiocomunicaciones por satélite y obtener eficacias espectrales de hasta 3,6 bit/s/Hz limitando al mismo tiempo el incremento de la potencia de transmisión requerida a 3 dB o menos. Las transmisiones MDFO sin modificar presentan elevados valores de PAPR y, como resultado, sólo pueden utilizarse para los MCSS a fin de obtener eficacias espectrales de hasta unos 2,05 bit/s/Hz limitando al mismo tiempo el incremento de la potencia de transmisión necesaria a 3 dB o menos<sup>7</sup>. Ello demuestra que MDFO-CI permite a un MCSS funcionar con una eficacia espectral aproximadamente 1,55 bit/s/Hz mayor que un MCSS con transmisiones MDFO.

## Anexo 2

### AMDC-MC en los sistemas de radiocomunicaciones por satélite

#### 1 Introducción

El Anexo 2 presenta un sistema de radiocomunicaciones por satélite con transmisiones AMDC-MC y su correspondiente comportamiento, evaluado mediante simulaciones por ordenador.

#### 2 Modelo del sistema

La Fig. 4 representa un sistema de satélites geoestacionario multihaz síncrono que proporciona servicios de paquetes por satélite basados en IP mediante un esquema de AMDC-MC adaptativo. Los servicios para los usuarios fijos y móviles están conectados a una red básica IP terrenal a través de una estación terrena fija (ETF) y un satélite. La ETF lleva a cabo la asignación adaptativa de los recursos en el enlace descendente y es una pasarela que enlaza los servicios del usuario a la red terrenal. Cuando el satélite tiene capacidad de procesamiento a bordo, puede realizar la asignación adaptativa de los recursos.

En el sistema multihaz síncrono, todas las señales del enlace descendente procedentes del satélite están sincronizadas en los dominios del tiempo y la frecuencia. La trama radioeléctrica del enlace descendente consiste en múltiples intervalos de frecuencia/tiempo divididas en forma MDF/MDT. En cada intervalo de tiempo/frecuencia, el recurso radioeléctrico se subdivide mediante códigos de dispersión ortogonales en la forma MDC. Una unidad de recurso radioeléctrico (RRU) se define mediante un código de dispersión específico en un intervalo concreto de frecuencia/tiempo. Todos los haces comparten las RRU ortogonales para la transmisión de paquetes. Debido a la transmisión sincronizada, las RRU son ortogonales entre sí. Se transmite una secuencia de símbolo piloto única para cada haz en una parte predefinida de la trama. La secuencia piloto se dispersa mediante un código piloto específico al haz.

En un intervalo, la señal de tráfico se dispersa mediante códigos de dispersión ortogonales, pero no se aleatoriza mediante un código piloto específico al haz. Por tanto, debido a la transmisión sincronizada en todos los haces, las señales de transmisión procedentes de haces distintos son ortogonales entre sí si los haces utilizan distintos códigos de dispersión en el mismo intervalo. A causa de la ortogonalidad entre las RRU, queda minimizada la interferencia entre haces, lo cual mejora la capacidad del sistema.

---

<sup>7</sup> Cabe señalar que estos resultados son específicos para sistemas multiportadora con 64 subportadoras.

En los entornos móviles, puede que la ortogonalidad entre diferentes códigos de dispersión en el mismo intervalo frecuencia/tiempo no pueda mantenerse debido al fenómeno multitrayecto (selectivo en frecuencia). En condiciones de intensa carga, el número de RRU disponibles en un haz puede verse restringido debido a que todos los haces comparten las RRU. Para evitar esta limitación del recurso, las RRU pueden reutilizarse si la distancia entre usuarios es suficiente como para que la interferencia entre haces no tome un valor significativo que pueda constituir un problema. El problema de limitación del código puede resolverse utilizando MODCOD con una elevada eficacia espectral, tal como MAQ-16. El empleo de esquemas de modulación de orden superior puede reducir el número de RRU necesarias para realizar la transmisión de paquetes.

Para la transmisión de paquetes adaptativa, cada usuario mide el estado del canal utilizando haces piloto e informa periódicamente de los resultados de la medición a la ETF mediante el enlace inverso. El informe de usuario incluye la potencia recibida y la relación portadora/interferencia en el haz primario y los haces piloto adyacentes. El haz primario de un usuario es el haz que proporciona actualmente los servicios de paquetes a dicho usuario. Basándose en las condiciones del enlace indicadas, el centro de gestión de recursos en la ETF lleva a cabo la programación del envío de los paquetes, selecciona los recursos más adecuados para cada transmisión de paquetes y asigna la potencia de transmisión y las MODCOD.

Las señales de información basadas en IP del enlace de ida son asimétricas en los requisitos de anchura de banda con respecto al enlace de retorno. La combinación de transmisiones de paquetes por ráfagas y a alta velocidad utilizando AMDC-MC hace que la transmisión sea más eficaz en términos de eficiencia espectral.

El AMDC-MC combina las técnicas de AMDC y MDFO de forma que presenta las ventajas de ambos. El sistema de satélites con AMDC-MC ofrece un alto grado de libertad mediante su esquema de transmisión multiportadora y, en consecuencia, puede proporcionar unas transmisiones adaptativas más eficaces.

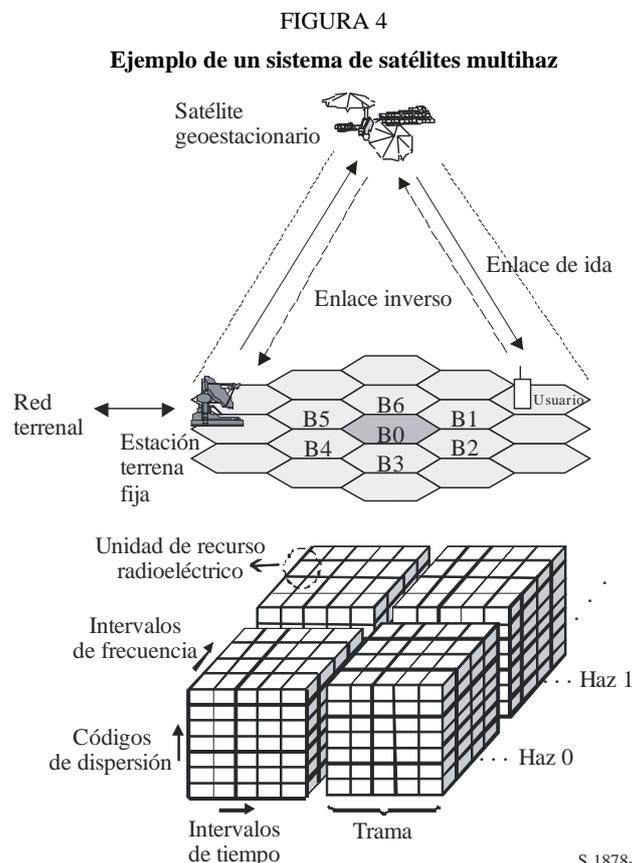
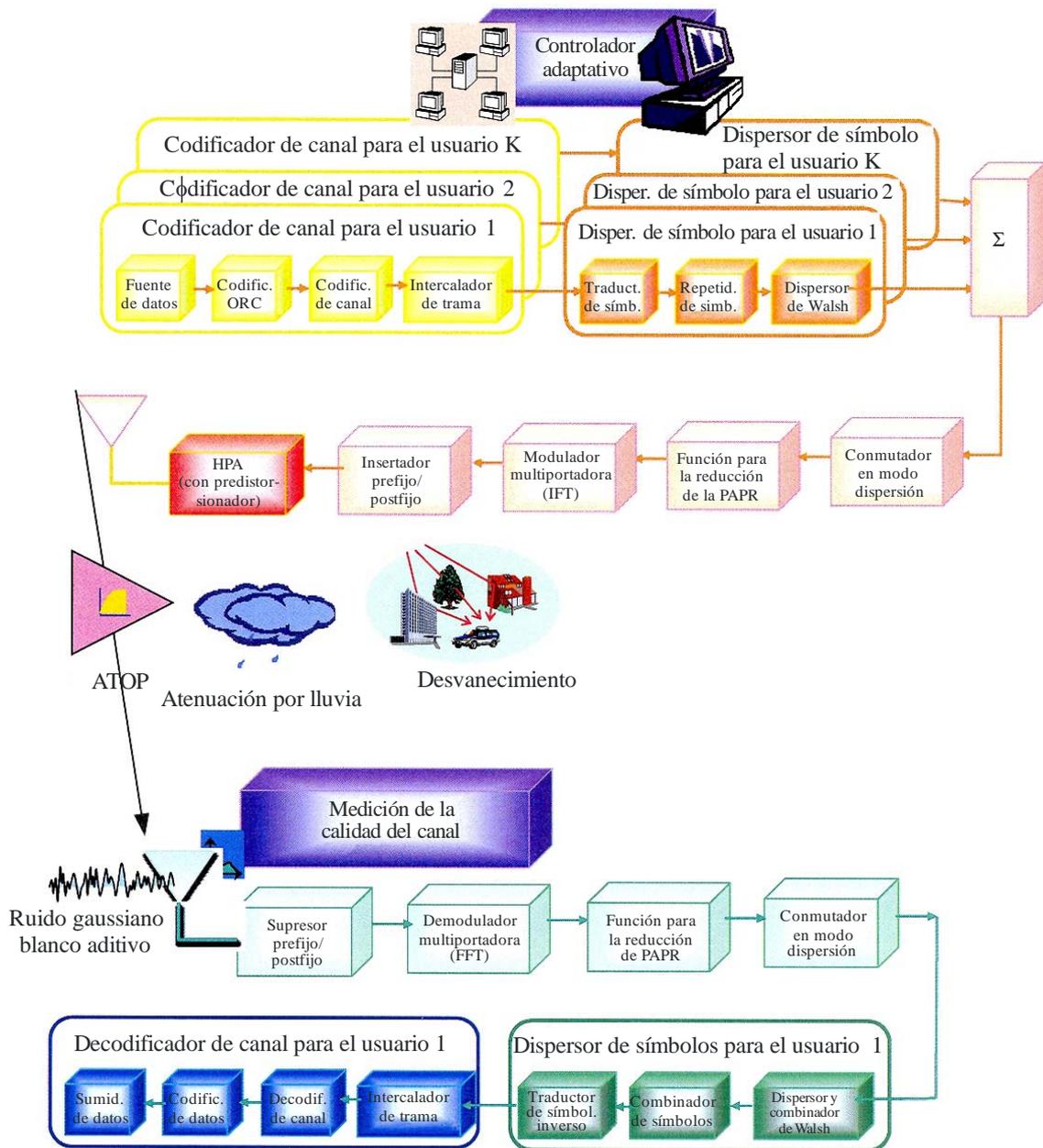


FIGURA 5

Diagrama de bloques del sistema de satélites AMDC-ME adaptativo



S.1878-05

La Fig. 5 representa el diagrama de bloques del transmisor y el receptor de un sistema de satélites AMDC-CI adaptativo. Los sistemas AMDC-CI adaptativos pueden ser utilizados para contrarrestar el desvanecimiento atmosférico. El transmisor adaptativo, como el mostrado en la Fig. 5, cambia la codificación, la modulación y los esquemas de dispersión mediante un comando de control determinado de acuerdo con las condiciones del canal del satélite. El codificador de canal en el transmisor adaptativo modifica sus parámetros de codificación utilizando el mencionado comando de control. El dispersor de símbolos para cada usuario consiste en un traductor de símbolos, un repetidor de símbolos y un dispersor de Walsh, y también cambia sus parámetros utilizando el comando de control. El intercalador de chips del transmisor está adaptado a los esquemas AMDC-CI en modo doble, que son especialmente útiles para cambiar el esquema de dispersión

utilizado de acuerdo con las condiciones de tráfico y del canal. Los sistemas AMDC-CI adaptativos también pueden hacer uso de técnicas para reducir la PAPR. Adicionalmente, se emplea un predistorsionador a fin de linealizar el HPA. En el § 6.2 del Informe UIT-R S.2173 se describe un cierto número de técnicas para disminuir el valor de la PAPR y se presentan algunos esquemas de predistorsión.

De conformidad con el funcionamiento adaptativo del transmisor, el receptor de la Fig. 5 también cambia sus esquemas de decodificación, demodulación y dedispersión utilizando el comando de control en sincronización con el comando utilizado por el transmisor. La demodulación multiportadora se realiza mediante una sencilla FFT y el resto de operaciones efectuadas por el receptor se aplican en orden inverso con respecto a las operaciones efectuadas por el transmisor.

La elección de los esquemas de modulación y codificación está sujeta a la implementación del sistema. En los § 7 y 8 del Informe UIT-R S.2173, respectivamente, figura una detallada discusión sobre los esquemas de codificación de canal y adaptación del enlace lograda mediante ACM. Los resultados de la simulación eferente a estos temas aparece en el § 10 del citado Informe UIT-R S.2173.

### 3 Comportamiento de un sistema de satélites AMDC-MC

Los parámetros del sistema del Cuadro 4 se utilizan para investigar las distorsiones de la señal que aparecen en las constelaciones de símbolos debidas a la función de transferencia no lineal del ATOP en el sistema de satélites con AMDC-CI. A efectos de simulación, la función de transferencia del ATOP es la descrita en el § 10.3.1 del Informe UIT-R S.2173. La Fig. 6 muestra las distorsiones de la señal para diversos números de usuarios y valores de OBO. Se supone que el sistema AMDC-MC utiliza 128 subportadoras y un código de Walsh-Hadamard (WH) de longitud 16. Hay hasta 16 usuarios activos en el sistema y las 128 subportadoras están uniformemente asignadas a cada usuario activo. En la Fig. 6 los pequeños círculos rojos de la constelación representan la señal sin distorsión; los puntos azules exteriores representan la señal cuando el número de usuarios activos es  $K = 16$ ; los puntos verdes representan la señal cuando  $K = 8$  y los puntos negros interiores representan la señal cuando  $K = 1$ . La distorsión no lineal producida por el ATOP aumenta a medida que lo hace el número de usuarios. También es evidente que la distorsión de la señal crece a medida que disminuye el valor de OBO. Esta distorsión de la señal degrada el comportamiento de la BER del sistema.

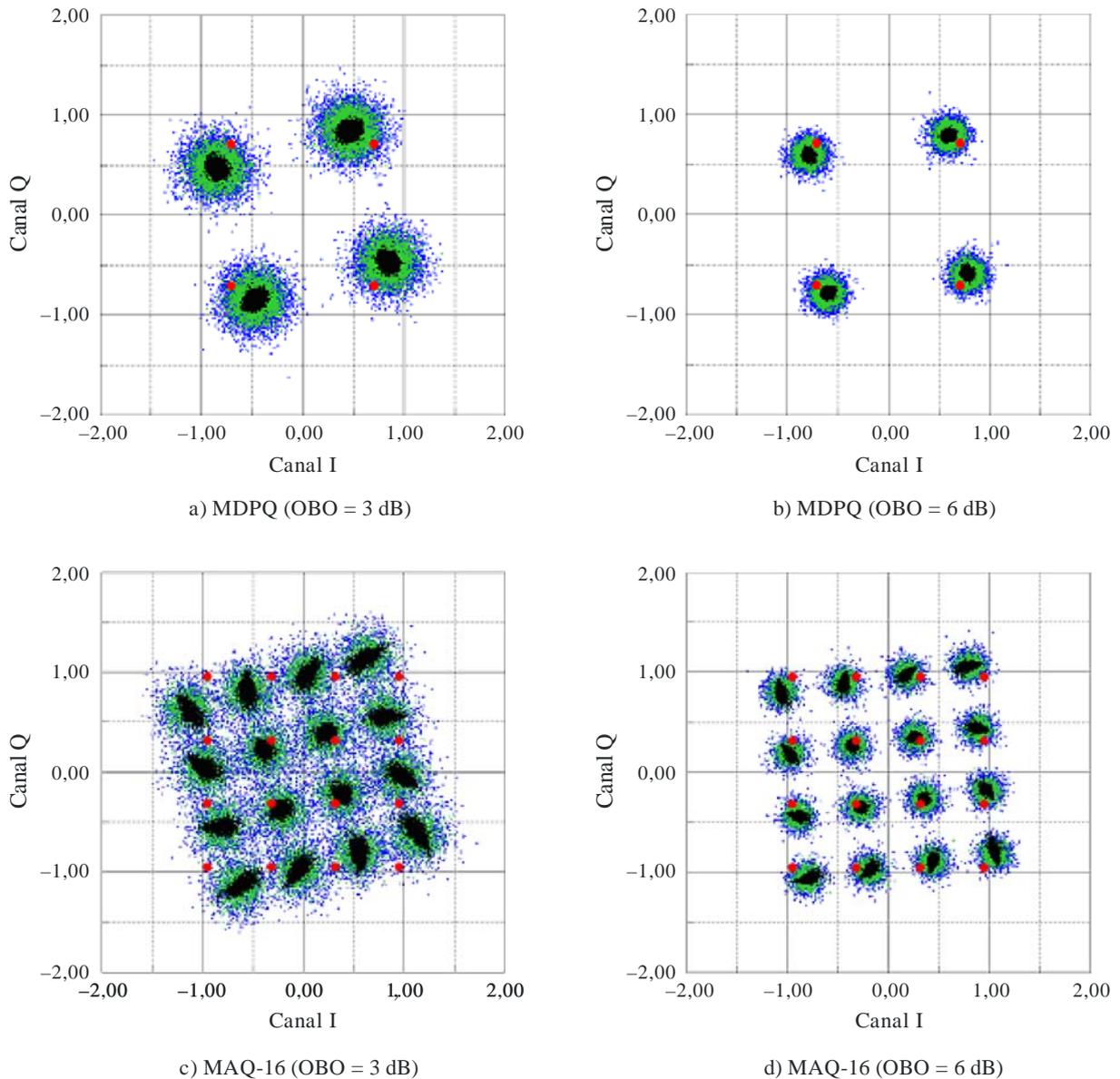
CUADRO 4

#### Parámetros de un sistema de satélites con AMDC-MC

Constelación de la señal	MDPQ, MAQ-16
Secuencia de dispersión	Walsh-Hadamard
Ganancia de procesamiento	16
Número de símbolos por trama (M)	4, 8, 16
Número de usuarios activos (K)	1-16
Número de subportadoras (N)	64, 128, 256
Código de aleatorización	Código aleatorio

FIGURA 6

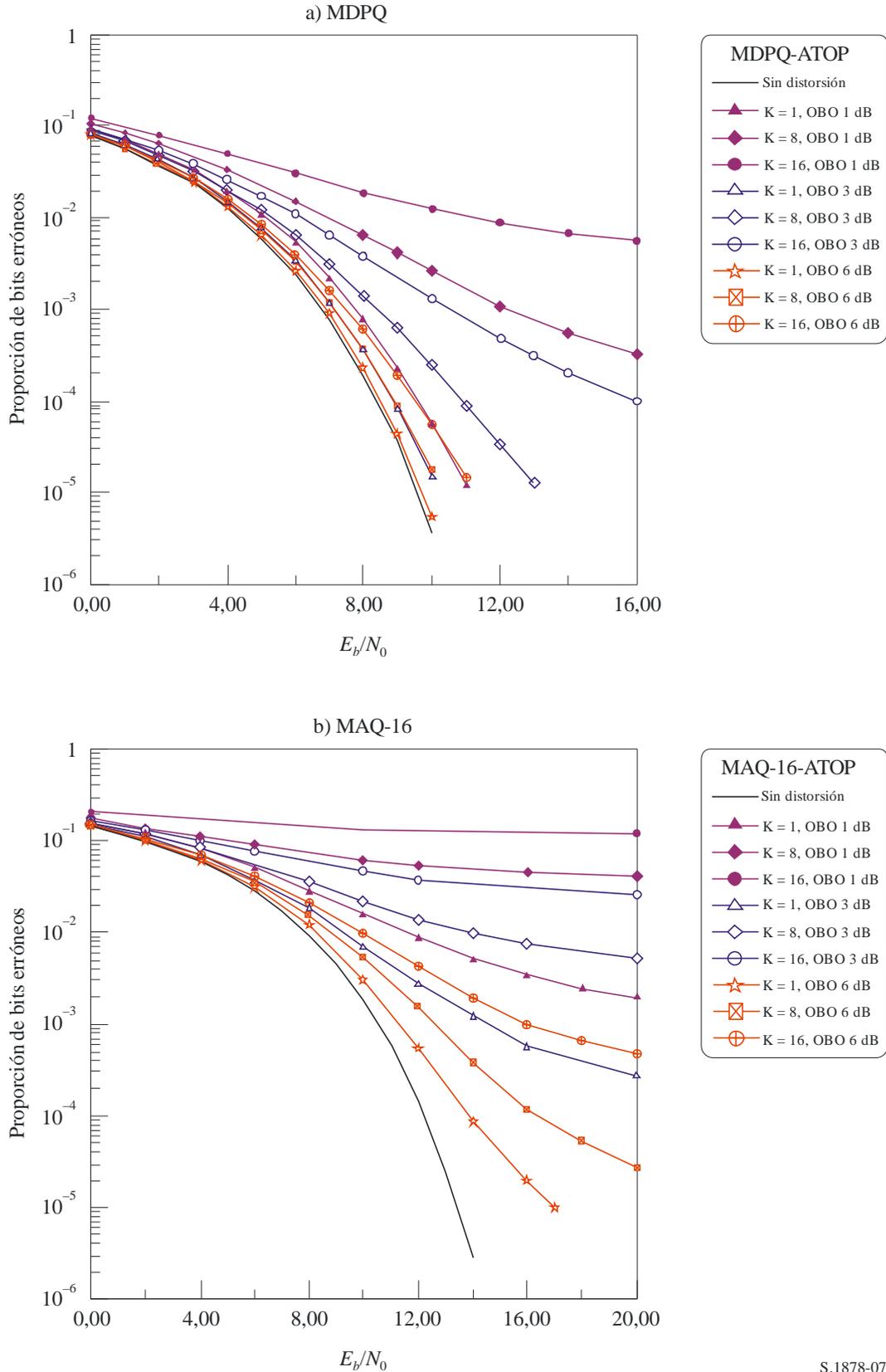
Constelación de la señal distorsionada por el ATOP



S.1878-06

La Fig. 7 presenta el comportamiento de la BER sin codificar de un sistema de satélites AMDC-MC con diversos números de usuarios y valores de OBO. Los resultados de la simulación de la Fig. 7 demuestran que la distorsión no lineal tiene una influencia mayor en la constelación MAQ-16 que en la constelación MDPQ. También puede observarse que el efecto de la distorsión no lineal sobre el comportamiento de la BER del sistema de satélites AMDC-MC aumenta a medida que lo hace el número de usuarios y disminuyen los valores de OBO del ATOP, como sugiere la Fig. 6.

FIGURA 7  
Comportamiento de la BER del sistema de satélites AMDC-MC



S.1878-07

Utilizando un predistorsionador de símbolos se puede reducir las degradaciones del comportamiento causadas por la distorsión no lineal del ATOP. La Fig. 8 muestra el comportamiento de la BER sin codificar del sistemas de satélites AMDC-MC cuando se combina

con un ATOP-L, que es la combinación de un ATOP y un predistorsionador ideal, denominado en adelante ATOP-L ideal. Los resultados presentados demuestran una mejora considerable en el comportamiento de la BER del sistema de satélites AMDC-MC con predistorsión ideal; especialmente para el caso en que se observan los mayores valores de OBO. La mejora en el comportamiento de la BER más acusada con la constelación MAQ-16 porque MAQ-16 experimenta mayor distorsión no lineal que la MDPQ. La mejora en el comportamiento es el resultado de la compensación de la distorsión de fase y el efecto linealizador del predistorsionador en las regiones por debajo de la saturación del HPA. Aunque los resultados de la simulación se presentan utilizando un predistorsionador ideal, los problemas que representan el elevado valor de cresta AMDC-MC no pueden resolverse plenamente. Ello se debe a que el predistorsionador ideal linealiza las señales únicamente en las regiones anteriores a la saturación y la región de saturación se determina mediante el valor de OBO. Por tanto, es muy importante disminuir la PAPR utilizando un método de reducción eficaz de la PAPR. De esa forma se puede disminuir el valor de OBO y se obtiene una utilización más eficaz de la potencia, como se demuestra en el Anexo 1 para las transmisiones MDFO-CI.

Se estudia un sistema de satélites AMDC-MC adaptativo cuando se implementa en un canal por satélite móvil en una banda suburbana 30/20 GHz<sup>8</sup>. Para la transmisión adaptativa se emplean varias MODCOD con códigos turbo de bloque (BTC)<sup>9</sup>. En el § 10.1 del Informe UIT-R S.2173 se describe el comportamiento detallado de los BTC MODCOD.  $E_s/N_0$  se fija a un valor de 20,5 dB, que corresponde al valor de  $E_s/N_0$  requerido de 18,5 dB para BTC MODCOD de MAQ-64 (63,56)<sup>2</sup> (el superíndice «x» indica un BTC de x dimensiones) para producir una BER de  $10^{-6}$ , más un margen de potencia adicional de 2 dB. El Cuadro 5 compara el comportamiento de un sistema de satélites AMDC-MC adaptativo con el de un sistema de satélites AMDC-MC no adaptativo convencional. En ambos sistemas de simulación, se utilizó un ATOP-L ideal con IBO de 3 dB.

Es evidente que el comportamiento del sistema de satélites AMDC-MC adaptativo es superior al del sistema AMDC-MC no adaptativo. Por ejemplo, el esquema adaptativo puede lograr una eficacia espectral<sup>10</sup> de 1,97 bit/s/Hz, lo que corresponde aproximadamente a la misma eficacia espectral que MDP-8 (31,25)<sup>2</sup> MODCOD, pero con un comportamiento de la BER mucho mejor para el mismo valor de la relación  $E_s/N_0$ .

CUADRO 5

**Comportamiento del AMDC-MC adaptativo en un canal de satélite móvil**

	<b>Adaptativo</b>	<b>MDP-8 (31,25)<sup>2</sup></b>	<b>MDP-8 (15,10)<sup>3</sup></b>	<b>MDP-2 (15,10)<sup>3</sup></b>
BER	$8,91 \times 10^{-6}$	$1,15 \times 10^{-1}$	$8,78 \times 10^{-2}$	$2,09 \times 10^{-2}$
PER	$3,10 \times 10^{-4}$	$4,59 \times 10^{-1}$	$2,81 \times 10^{-1}$	$8,31 \times 10^{-2}$
Eficacia espectral (bit/s/Hz)	1,97	1,95	0,89	0,30

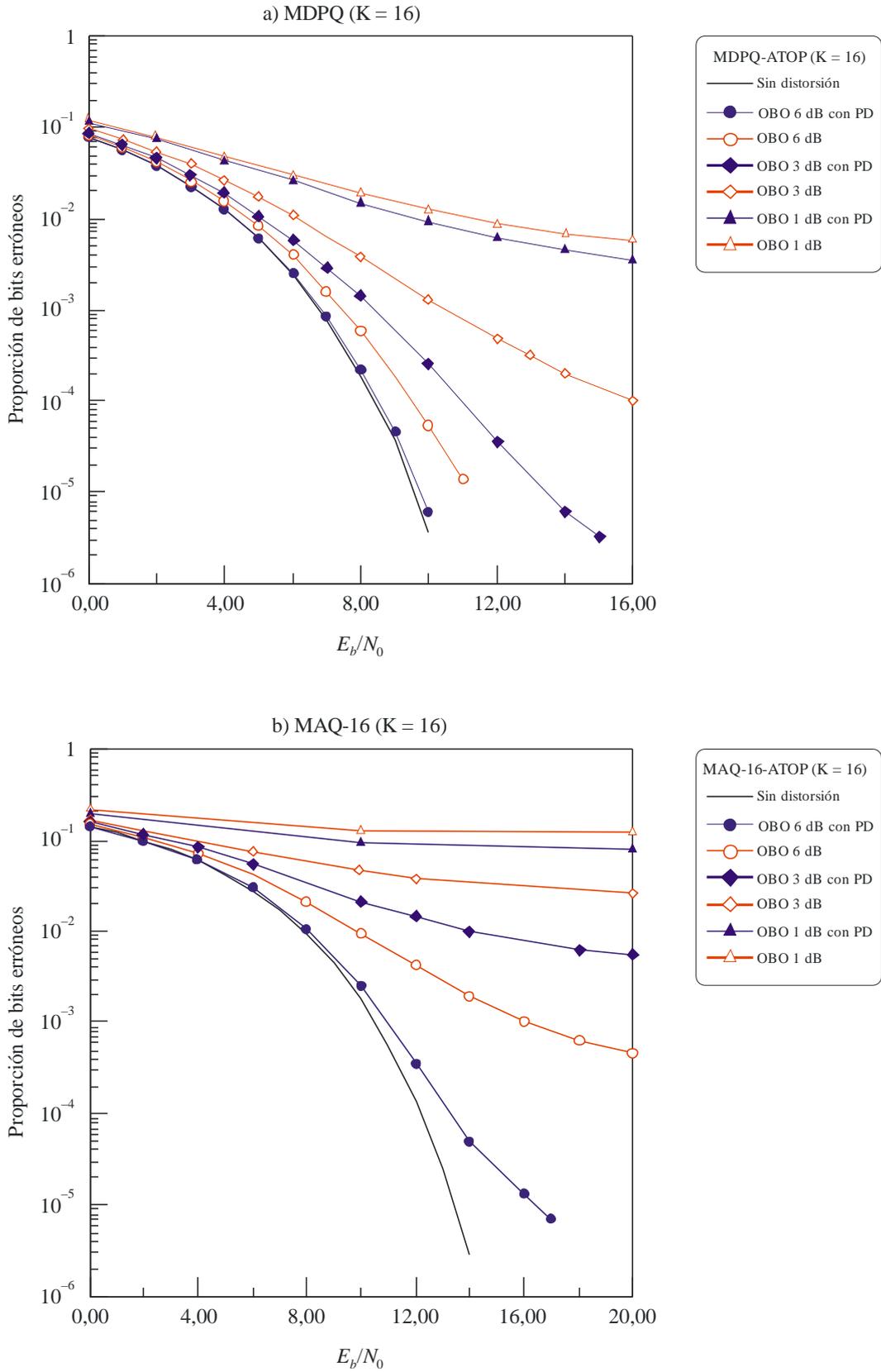
<sup>8</sup> Para más información sobre el canal por satélite móvil en la banda suburbana de 30/20 GHz consúltese la referencia [Fontán y otros, 2001] en el § 10.4.3 del Informe UIT-R S.2173.

<sup>9</sup> Para más información sobre las BTC véase el § 7.3.3 del Informe UIT-R S.2173.

<sup>10</sup> Definiendo en este contexto la eficacia espectral como la eficacia espectral media determinada promediando los resultados del Cuadro 5 a lo largo de todas las realizaciones de canal instantáneas generadas utilizando el modelo de canal que figura en la referencia [Fontán y otros, 2001] que aparece en el § 10.4.3 del Informe UIT-R S.2173.

FIGURA 8

Comportamiento de la BER del AMDC-MC con un ATOP-L con predistorsionador ideal



## 4 Resumen

El Anexo 2 demuestra que el ADCC-MC adaptativo puede proporcionar una eficacia espectral mejorada y un mejor comportamiento de la BER en una sistema del SMS. El esquema AMDC-MC adaptativo puede utilizarse para ofrecer servicios de paquetes IP a través de un sistema de satélites multihaz sincronizado.

### Lista de abreviaturas

ACM	Codificación y modulación adaptativas ( <i>adaptive coding and modulation</i> )
AMDC-MC	Acceso múltiple por división de código multiportadora
AMDFO	Multiplexión por división de frecuencia ortogonal – Acceso múltiple por división de frecuencia
AMDT-MF	AMDT multifrecuencia
ATOP	Amplificador de tubo de ondas progresivas
ATOP-L	ATOP linealizados
C/N	Relación portadora/ruido
DT	Degradación total
ETF	Estación terrena fija
FFT	Transformada rápida de Fourier ( <i>fast Fourier transform</i> )
HPA	Amplificadores de alta potencia ( <i>high-power amplifiers</i> )
IBO	Reducción de potencia de entrada ( <i>input back-off</i> )
IFFT	Transformada rápida de Fourier inversa ( <i>inverse fast Fourier transform</i> )
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura
MCSS	Sistema de satélites multiportadora ( <i>multi-carrier satellite system</i> )
MDAP	Modulación por desplazamiento de amplitud y fase
MDFO	Multiplexión por división de frecuencia ortogonal
MDFOC	Multiplexión por división de frecuencia ortogonal codificada
MDFO-CI	Multiplexión por división de frecuencia ortogonal con interferencia de portadora
MDP	Modulación por desplazamiento de fase
MDPQ	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
MODCOD	Combinación de modulación y codificación
MPU	Unidad de procesamiento multiportadora ( <i>multi-carrier processing unit</i> )
MSG	Generador de señal multiportadora ( <i>multi-carrier signal generator</i> )
OBO	Reducción de potencia de salida ( <i>output back-off</i> )
PAPR	Relación potencia de cresta/potencia media ( <i>peak to average power ratio</i> )
PER	Tasa de errores en paquetes ( <i>packet error rate</i> )
RF	Radio frecuencia
SCSS	Sistema de satélites de una sola portadora ( <i>single-carrier satellite system</i> )
SFS	Servicio fijo por satélite

SMS	Servicio móvil por satélite
U/C	Convertidor ascendente ( <i>up-converter</i> )
UW	Palabra única ( <i>unique word</i> )
VSA	Analizador de señal de vector ( <i>vector signal analyser</i> )
VSG	Generador de señal de vector ( <i>vector signal generator</i> )

---