

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1557

Requisitos de explotación y características de los sistemas del servicio fijo por satélite que funcionan en las bandas de 50/40 GHz para su utilización en estudios de compartición entre el servicio fijo por satélite y el servicio fijo*

(Cuestión UIT-R 250-1/4)

(2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones,

considerando

- a) que la banda 37,5-42,5 GHz está atribuida al servicio fijo y al servicio fijo por satélite (SFS) (espacio-Tierra) a título igualmente primario;
- b) que algunos sistemas del SFS tienen previsto proporcionar velocidades de transmisión de datos desde un modo de transferencia síncrono (STM-1) o superior hasta 10 STM-4;
- c) que la mayoría de los sistemas del SFS proponen utilizar pequeñas antenas de estación terrena, de menos de 1 m de diámetro, para el enlace del usuario a fin de lograr una disponibilidad del enlace de extremo a extremo de al menos el 99,7%;
- d) que los sistemas del SFS pueden necesitar utilizar antenas de estación terrena terminal de mayor tamaño, hasta 3 m de diámetro, para aplicaciones de estación de cabecera en las que intervienen estaciones terrenas coordinadas de forma individual con estaciones centrales dispersas geográficamente o puntos de acceso a fibra óptica y que estas aplicaciones exigirán una disponibilidad del enlace de extremo a extremo de al menos el 99,9%;
- e) que es necesario determinar la posibilidad de utilizar antenas de mayor tamaño, con diámetros superiores a 2,4 m ($D/\lambda \gg 300$), teniendo en cuenta los efectos de la distorsión del reflector principal, las irregularidades de la superficie, la atenuación de la cubierta protectora y los dispositivos de autoseguimiento capaces de minimizar las pérdidas de puntería en esta banda;
- f) que algunos sistemas del SFS propuestos que funcionan en esta banda utilizan el procesamiento a bordo para usuarios de pequeñas estaciones terrenas terminales y emplean un transpondedor transparente para aplicaciones de estación de cabecera o de estación central/punto de acceso a fibra óptica;
- g) que en esta gama de frecuencias las degradaciones de propagación son muy severas;
- h) que la mayoría de los sistemas del SFS tienen previsto proporcionar una proporción de bits erróneos (BER) en condiciones de cielo despejado del orden de 1×10^{-7} a 1×10^{-10} ;
- j) que los actuales sistemas planificados del SFS utilizan modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (MDP-4) y los futuros sistemas del SFS pueden utilizar esquemas de modulación de orden más elevado, tales como MDP-8 o modulación de amplitud en cuadratura, MAQ-16,

* Esta Recomendación, debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 7, 8 y 9 de Radiocomunicaciones y del Grupo de Trabajo Mixto 4-9S de Radiocomunicaciones.

recomienda

- 1 que en los estudios de diseño y compartición de los sistemas del SFS en la banda 37,5-42,5 GHz se tengan en cuenta los requisitos de funcionamiento que aparecen en los Anexos 1 y 2;
- 2 que se tengan en cuenta las características del SFS que aparecen en los Anexos 3 a 6 donde figura información técnica sobre algunos de los sistemas del SFS que funcionan en la banda 37,5-42,5 GHz, cuando se realicen estudios de compartición entre el SFS en la banda 50/40 GHz y servicios cofrecuencia y con atribuciones también a título primario;
- 3 que las administraciones que tengan previsto introducir modificaciones en estos sistemas o que propongan futuras redes de satélites en las bandas de 50/40 GHz comuniquen al UIT-R las características técnicas de la red del SFS a fin de actualizar los Anexos.

ANEXO 1

Valores necesarios de los parámetros del enlace descendente en los sistemas del SFS que funcionan en la banda 37,5-42,5 GHz**1 Introducción**

Este Anexo presenta los datos sobre la mínima densidad de flujo de potencia (dfp) del enlace descendente requerida en la banda 37,5-42,5 GHz para permitir a los sistemas del SFS explotados en esta banda el funcionamiento con varios tamaños de antena de estación terrena terminal. El estudio se basa en el funcionamiento del SFS propuesto en las bandas de 50/40 GHz.

Según los ficheros de la UIT, un número considerable de sistemas del SFS que tienen previsto funcionar en las bandas 37,5-42,5 GHz y 47,2-50,2 GHz ha sido recibido. Estos sistemas tienen previsto ofrecer velocidades de transmisión de datos desde calidad de videoconferencia, hasta transmisiones a muy alta velocidad de STM-1 (155 Mbit/s) o superiores a 10 STM-1, dirigidas a antenas de estación terrena terminal con un diámetro comprendido entre 1 m y 3 m. La mayoría de los sistemas del SFS proponen utilizar pequeñas estaciones terrenas terminales, con antenas de menos de 1 m de diámetro, para proporcionar una disponibilidad del enlace del 99,7%; los sistemas que utilizan tamaños de antena de estación terrena terminal más grandes, de 1,5 a 3 m de diámetro, para aplicaciones de estación de cabecera a estación de cabecera o de estación central a estación central, exigirán una disponibilidad del enlace más elevada. Como las degradaciones de la propagación son muy intensas en las bandas de 40/50 GHz, la mayoría de los sistemas propuestos proporcionarán servicio con unos mínimos ángulos de elevación superiores a los de los sistemas del SFS que funcionan en bandas de frecuencias por debajo de 30 GHz. El mínimo ángulo de funcionamiento típico en la banda de 40/50 GHz es de 20°; sin embargo, algunos sistemas, como el GSO SV tienen previsto proporcionar servicio con un ángulo de elevación mínimo de 15°. En la Recomendación UIT-R S.1328 se han incluido las características técnicas de varios sistemas del SFS propuestos cuyo funcionamiento está previsto en estas bandas.

El objeto del presente Anexo es proporcionar las características técnicas adicionales de los sistemas del SFS que funcionan en las bandas de 40/50 GHz para su utilización en futuros estudios de compartición realizadas por el UIT-R.

2 Tamaño de antena necesario de la estación terrena terminal en función de la dfp del enlace descendente

Este punto contiene los cálculos de los niveles de dfp del enlace descendente necesarios para permitir a las redes de satélites del SFS explotadas en la banda de 40/50 GHz que funcionen con varios tamaños de antena de la estación terrena terminal y con las disponibilidades del enlace deseadas.

La dfp en la superficie de la Tierra puede expresarse mediante la fórmula:

$$dfp = S - G_{rxE/S} + 21,45 + 20 \log(f) + 10 \log\left(\frac{1}{BW = sps}\right)$$

siendo:

dfp : densidad de flujo de potencia (dB(W/(m² · MHz))

S : intensidad de la señal recibida (dBW)

BW : anchura de banda transmitida (anchura de banda necesaria) (MHz)

sps : velocidad de transmisión de símbolo (Msímbolos/s)

f : frecuencia (GHz)

$G_{rxE/S}$: ganancia en el eje de la estación terrena de recepción (dBi).

El valor de la relación $E_b/(N_0 + I_0)$ recibida en el receptor puede calcularse de la forma siguiente:

$$\frac{E_b}{(N_0 + I_0)_\downarrow} = \frac{S}{N_0 + I_0} - 10 \log(bps)$$

y

$$\left(\frac{S}{N_0 + I_0}\right) = S - (N_0 + I_0) = S - G_{rxE/S} + (20,4 + 20 \log(D) + 20 \log(f) + 10 \log(\eta)) - (N_0 + I_0)$$

y

$$(N_0 + I_0) = 10 \log\left(10^{\left(\frac{N_0}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{I_0}{10}\right)}\right)$$

siendo:

$N_0 = -228,6 + 10 \log(T)$ (dB(W/Hz)), densidad de potencia de ruido térmico

T : temperatura de ruido del receptor de la estación terrena + incremento de la temperatura de ruido debido a la lluvia (K)

I_0 : autointerferencia + interferencia provocada por otros sistemas del SFS que funcionan en la misma banda (dB(W/Hz))

D : diámetro de la antena de la estación terrena (m)

f : frecuencia (GHz)

η : eficacia de la antena de la estación terrena

bps : velocidad binaria.

Es importante observar que el enlace descendente del SFS debe satisfacer los límites de dfp para todas las distancias oblicuas y ángulos de elevación, mientras que el valor de E_b/N_0 de interés para el diseñador es el valor mínimo de E_b/N_0 para las distancias oblicuas, ángulos de elevación y posiciones dentro de un haz. Además, el valor calculado de la dfp en la superficie de la Tierra se basa en condiciones de propagación en espacio libre. El valor de E_b/N_0 del enlace descendente recibido en el receptor del SFS puede expresarse mediante la ecuación:

$$\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\downarrow} = dfp + 10 \log \left(\frac{sps}{bps} \right) + 20 \log(D) + 10 \log(\eta) - (N_0 + I_0) - 61,05 - L_{atm/cent} - L_p - EOC - M_{desv} - M_{sistema}$$

siendo:

$L_{atm/cent}$: las pérdidas atmosféricas y las pérdidas por centelleo. En esta banda, tanto unas como otras son de 1,2 dB aproximadamente

L_p : parámetro que depende del tamaño de la antena (dB)

EOC : valor típico en el borde de la zona de cobertura, 3,5 dB

M_{desv} : margen de desvanecimiento debido a la lluvia necesario para lograr la disponibilidad del enlace (dB)

$M_{sistema}$: margen del sistema. Se atribuyen 2 dB al margen del sistema.

A partir de las expresiones anteriores puede demostrarse que el tamaño de la antena de la estación terrena terminal, (m), es:

$$D = 10 \left(\frac{1}{20} \right)^{\left(\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\downarrow} - dfp - 10 \log \left(\frac{sps}{bps} \right) - 10 \log(\eta) + (N_0 + I_0) + 61,05 + L_{atm/cent} + L_p + EOC + M_{desv} + M_{sistema} \right)}$$

2.1 $E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace descendente

El valor de la relación $E_b/(N_0 + I_0)$ recibida necesaria depende de la modulación (MDP-4, MDP-8, MAQ-16, etc.), de la BER, de la codificación y de las pérdidas de realización. La mayoría de los sistemas propuestos en estas bandas tienen previsto utilizar MDP-4 y proporcionar una BER del orden de 1×10^{-7} a 1×10^{-9} . El valor de la relación $E_b/(N_0 + I_0)$, requerido, incluidas las pérdidas de realización, se encuentra en una gama de 7 dB a 9 dB dependiendo de la codificación. Si se utilizan modulaciones de grado más elevado, tales como MDP-8, MAQ-16, etc., la $E_b/(N_0 + I_0)$ requerida es notablemente superior. En este estudio se utiliza MDP-4 y MDP-8.

El valor necesario de la relación $E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace descendente depende de que la carga útil del satélite funcione como un sistema con procesamiento a bordo (OBP, *on-board processing*) o un transpondedor transparente. En el primer caso, la $E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace descendente es la misma que la $E_b/(N_0 + I_0)$ necesaria para lograr su BER. Cuando la carga útil del satélite funciona como un transpondedor transparente, la $E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace descendente puede calcularse de la forma siguiente:

$$\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\downarrow} = -10 \log \left(10^{\left((-0,1) \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{necesaria}} - 10^{\left((-0,1) \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\uparrow}} \right)$$

En este estudio, se supone que $E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace descendente es igual a la $E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace ascendente. Por lo tanto, la $E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace descendente es 3 dB superior que la $E_b/(N_0 + I_0)$ recibida necesaria.

2.2 Densidad de ruido térmico, N_0 , y densidad de ruido de interferencia, I_0

La densidad de ruido térmico, N_0 , puede expresarse como:

$$N_0 = -228,6 + 10 \log(T_{rx} + T_{lluvia}) \quad \text{dB(W/Hz)}$$

siendo:

T_{rx} : la temperatura de ruido del sistema de recepción de la estación terrena (K). La temperatura típica del sistema de la antena de la estación en tierra es 800 K (temperatura de ruido de la antena = 70 K; factor de ruido del Rx = 4,5 dB; filtro/diplexor = 0,7 dB; pérdida del cable = 0,3 dB)

T_{lluvia} puede calcularse como:

$$T_{lluvia} = 280 (1 - 10^{-0,1 (\text{margen de desvanecimiento debido a la lluvia})})$$

Por ejemplo, si el margen de desvanecimiento debido a la lluvia es 18 dB, el aumento de la temperatura de ruido debido a la lluvia es 275 K.

Densidad de ruido de interferencia, I_0 : La densidad de ruido de interferencia calculada debe incluir la densidad de ruido dentro del sistema y entre sistemas. En este estudio, se atribuye 1,5 dB a la interferencia dentro del sistema. La interferencia entre sistemas calculada procedente de otros sistemas del SFS que funcionan en la misma banda de frecuencias depende del régimen de caída de la antena de la estación terrena y de la dfp del enlace descendente procedente de otros sistemas del SFS. En este estudio, se supone que todos los sistemas del SFS funcionan con la misma dfp y se supone igualmente que la órbita de satélites geoestacionarios (OSG) está ocupada a intervalos de 4°. Por ejemplo, si todos los sistemas del SFS OSG funcionan con una dfp del enlace descendente de $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$, la densidad de ruido de interferencia recibida en la estación terrena terminal con una antena de 1 m de diámetro funcionando en la banda de 40 GHz es de $-203,44 \text{ dB(W/Hz)}$.

2.3 Margen de desvanecimiento debido a la lluvia necesario

Como se ha indicado anteriormente, la mayoría de los sistemas propuestos tienen previsto proporcionar una disponibilidad del enlace del 99,7% a los usuarios de terminales de muy pequeña apertura (VSAT) y ofrecer una disponibilidad de enlace aún mayor a los usuarios de estación de cabecera a estación de cabecera o de estación central a estación central. En la Fig. 1 aparece el margen de desvanecimiento necesario debido a la lluvia. Para el cálculo, se ha supuesto una disponibilidad del enlace del 99,7% y un ángulo de elevación de 25°. La Fig. 2 muestra la disponibilidad del enlace de los sistemas del SFS que funcionan en la banda de 40 GHz con un margen de desvanecimiento debido a la lluvia de 18 dB.

La Fig. 2 muestra que con un margen de desvanecimiento debido a la lluvia de 18 dB no se logrará la disponibilidad del enlace del 99,7% en la mayoría de los emplazamientos de todo el mundo. Además, los sistemas que tengan previsto proporcionar servicio con ángulos de elevación inferiores a 25° deben utilizar técnicas de reducción de la interferencia tales como velocidades de transmisión de datos variables, diversidad de emplazamientos, diversidad de frecuencias, fuerte codificación, etc. para lograr la deseada disponibilidad del enlace.

FIGURA 1

Margen de desvanecimiento necesario debido a la lluvia
 (Banda de frecuencia = 40 GHz; ángulo de elevación = 25°;
 disponibilidad del enlace = 99,7%)

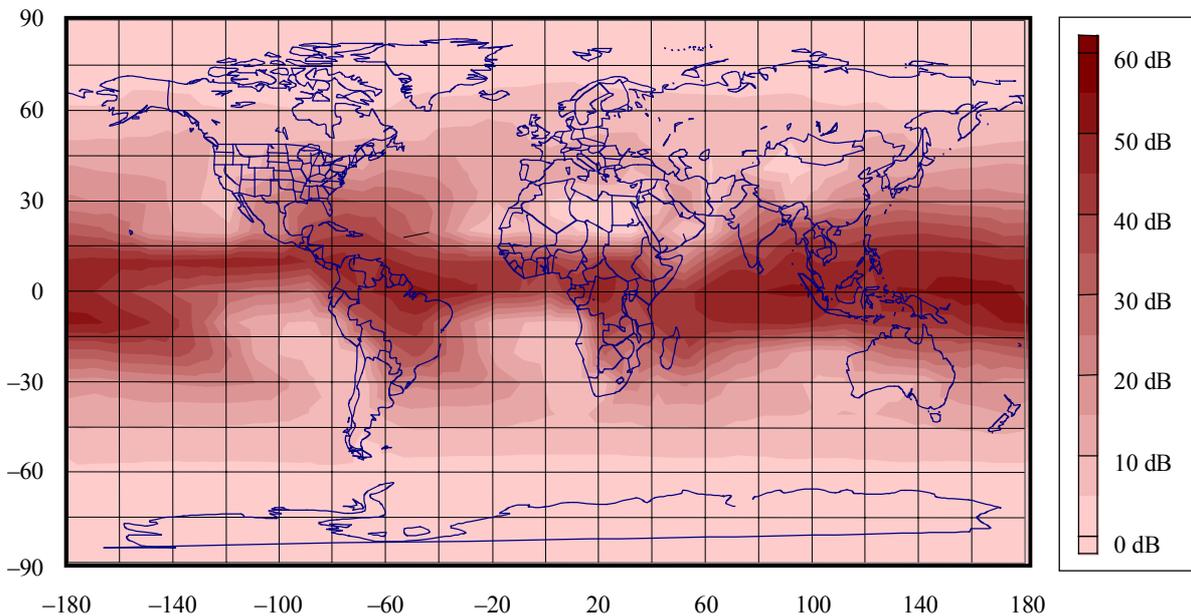
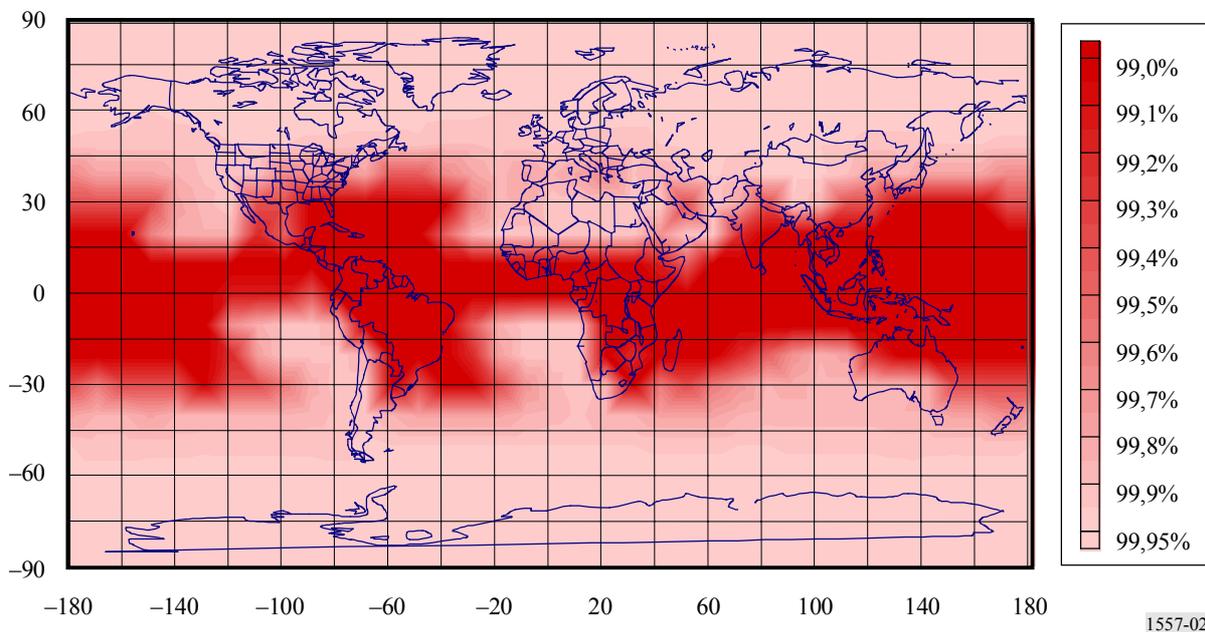


FIGURA 2

Disponibilidad del enlace
 (Banda de frecuencia = 40 GHz; ángulo de elevación = 25°;
 margen de desvanecimiento debido a la lluvia = 18 dB)



2.4 Pérdidas de puntería

Las pérdidas de puntería de la antena fuera del eje (dB) para una apertura circular ideal uniformemente iluminada pueden obtenerse acudiendo a fórmulas de la óptica física:

$$\text{Pérdidas} = 10 \log \left(\frac{2J_1(x)}{x} \right)^2$$

donde:

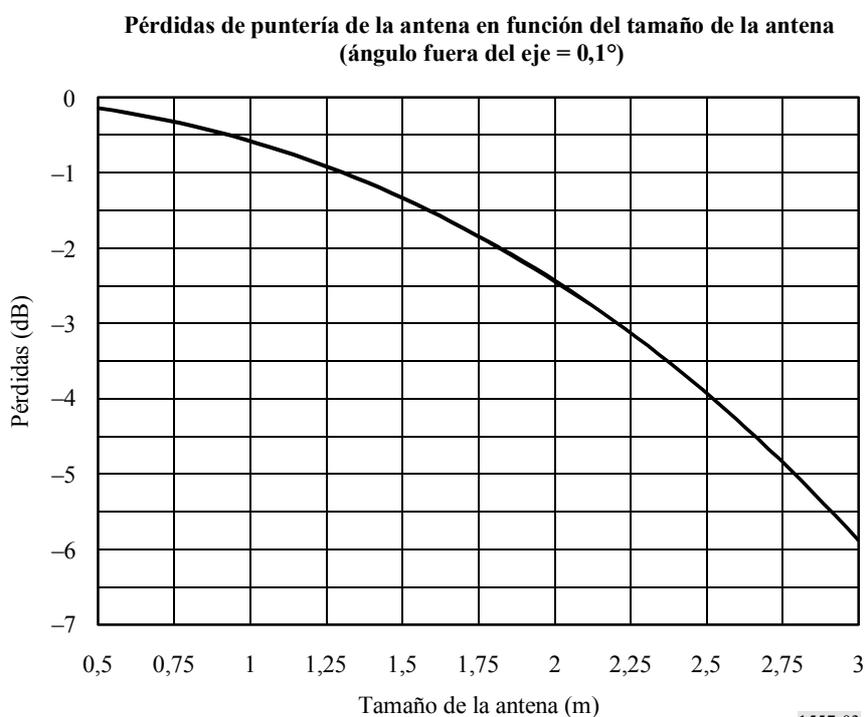
$$x = \frac{\pi f D}{c} \text{sen}(\varphi)$$

y

- f : frecuencia
- D : diámetro de la antena
- c : velocidad de la luz
- φ : ángulo fuera del eje
- $J_1(x)$: función de Bessel de primer orden.

En la Fig. 3 se representan las pérdidas de puntería en función del tamaño de la antena de la estación terrena terminal para un ángulo fuera del eje de $0,1^\circ$. En este estudio, se ha atribuido un valor de $0,7$ dB a las pérdidas de puntería de la antena de la estación terrena terminal.

FIGURA 3



2.5 Resultados

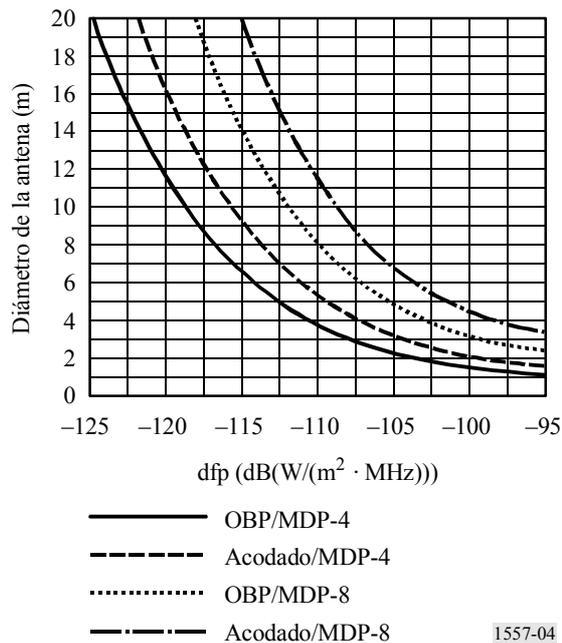
La Fig. 4 muestra el tamaño de la antena de la estación terrena terminal en función del nivel de dfp del enlace descendente. Los cálculos se han basado en las siguientes hipótesis:

- Margen de desvanecimiento debido a la lluvia = 18 dB
- Temperatura de ruido del receptor de la estación terrena terminal = 800 K
- Pérdidas de puntería = $0,7$ dB
- Pérdidas atmosféricas y por centelleo = $1,2$ dB
- Degradación debida a la autointerferencia = $1,5$ dB
- Borde de la zona de cobertura = $3,5$ dB
- Eficacia de la antena = 70%
- Frecuencia = 40 GHz
- Margen del sistema = 2 dB

- E_b/N_0 requerida
 - OBP
 - MDP-4 = 7,0 dB
 - MDP-8 = 10,5 dB
 - Transpondedor transparente
 - MDP-4 = 10,0 dB
 - MDP-8 = 13,5 dB.

FIGURA 4

Tamaño de la antena de la estación terrena terminal en función de los niveles de d_{fp} del enlace descendente



1557-04

3 Discusión de los resultados

La mayoría de los sistemas del SFS propuestos que funcionan en la banda de 40/50 GHz utilizan OBP para los usuarios VSAT y emplean un transpondedor transparente o acodado para los usuarios de estación de cabecera a estación de cabecera o de estación central a estación central. El diámetro de antena típico de los usuarios VSAT se encuentra en la gama de 0,5 m a 1 m y el diámetro de antena de los usuarios de estación de cabecera a estación de cabecera o de estación central a estación central está en la gama de 1 m a 3 m. La mayoría de los sistemas del SFS propuestos en la banda 40/50 GHz no tienen previsto utilizar antenas de estación terrena terminal mayores de 3 m de diámetro debido a la elevada complejidad que supone construir una antena con autoseguimiento capaz de minimizar las pérdidas de puntería en estas bandas de frecuencias.

La Fig. 4 muestra que para un sistema con MDP-4 un nivel de d_{fp} del enlace descendente de -95 dB(W/(m² · MHz)) permitirá la utilización de un terminal de usuario VSAT de 1 m funcionando en esta banda. Una antena de estación de cabecera a estación de cabecera con un tamaño de 3 m de diámetro puede cerrar el enlace con un nivel de d_{fp} de -105 dB(W/(m² · MHz)). Si se utiliza el tamaño de antena más pequeño, la d_{fp} debe ser mayor de -95 dB(W/(m² · MHz)) para VSAT y -105 dB(W/(m² · MHz)) para usuarios de estación de cabecera. Sin embargo, los niveles de d_{fp} del enlace descendente necesarios pueden ser distintos dependiendo de la región hidrometeorológica. Además, si se utilizan modulaciones de nivel más elevado, tales como MDP-8 y MAQ-16, aumentarán significativamente los niveles requeridos de d_{fp} del enlace descendente.

4 Resumen

Este Anexo demuestra que para el ejemplo de sistema descrito, a fin de permitir a los usuarios de estación de cabecera a estación de cabecera o de estación central a estación central de 3 m de diámetro funcionar en la banda de 40/50 GHz, el nivel de dfp del enlace descendente debe ser mayor o igual que $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$. Este Anexo también demuestra que el nivel de dfp del enlace descendente debe ser mayor o igual que $-95 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ para poder explotar un VSAT con antena de 1 m de diámetro en la misma banda. Incluso con estos niveles, se ha demostrado que aun con un margen de desvanecimiento debido a la lluvia de 18 dB, los sistemas del SFS aún no serían capaces de lograr el valor deseado del 99,7% de disponibilidad del enlace en todos los emplazamientos del mundo. Sin embargo, los niveles de dfp de enlace descendente requeridos pueden ser distintos, dependiendo de la región hidrometeorológica. Por último, un sistema que prevea funcionar con modulaciones de orden más elevado y/o con ángulos de elevación bajos y/o con antenas más pequeñas debe utilizar niveles de dfp superiores o técnicas de reducción de la interferencia tales como la diversidad en el espacio o diversidad de frecuencias, para lograr esta disponibilidad del enlace.

ANEXO 2

Examen de los valores necesarios de dfp del Cuadro 21-4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) para que los satélites OSG del SFS puedan funcionar con enlaces descendentes dirigidos a estaciones terrenas de cabecera en las bandas de frecuencias 37,5-40 GHz y 42-42,5 GHz

1 Introducción

Este estudio examina las limitaciones impuestas por la dfp del enlace descendente y el efecto del ángulo de elevación de la estación terrena de cabecera receptora del SFS en las bandas de frecuencias 37,5-40 GHz y 42-42,5 GHz. Los enlaces descendentes del SFS que cumplen los límites de dfp del Cuadro 21-4 del RR, y con diversas formas de modulación y características de codificación, se examinan calculando las disponibilidades del enlace en los enlaces descendentes del SFS OSG con estaciones terrenas de cabecera de antenas comprendidas entre 1,8 y 3 m de diámetro para una cierta gama de ángulos de elevación y de intensidades de lluvia. Además, hay que señalar que son necesarios más estudios para determinar, de conformidad con el *invita al UIT-R 7* de la Resolución 84 (CMR-2000), las condiciones bajo las cuales los límites de dfp proporcionarán niveles aceptables de protección al servicio fijo.

2 Hipótesis sobre los parámetros del sistema del SFS OSG

Cabe prever que los sistemas del SFS OSG que utilizan las bandas de frecuencias 37,5-40 GHz y 42-42,5 GHz tengan los parámetros del sistema básicos comprendidos en la gama de valores de los parámetros mínimos y máximos indicados en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Parámetros del sistema del SFS OSG e hipótesis utilizadas en el análisis

Parámetros del sistema	Valor del parámetro y unidades			
Ángulo de elevación hacia el vehículo espacial en la OSG (grados)	17,5	20,0	22,5	25,0
Tamaño del haz puntual de la antena del vehículo espacial (grados)	0,3	0,4	0,5	0,5
Densidad espectral de flujo de potencia en el centro del haz (dB(W/(m ² · MHz)))	-111,5	-109	-107	-105,5
Configuración del transpondedor	Transparente «acodado» o con remodulación OBP			
Velocidades de transmisión de datos	Varias			
Modulación, corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC)	MDP-4 índice 5/6 con codificación Reed Solomon (RS) transpondedor transparente o acodado o MDP-8 índice 2/3 con codificación RS 188,204 OBP			
Umbral de calidad de funcionamiento del demodulador (C/N)	7,1 dB(MDP-4, índice 5/6, RS 188,204) 9,3 dB(MDP-8, índice 2/3, RS 188,204)			
Enlace usuario a central de cabecera – Característica de la BER y disponibilidad mínima debida al desvanecimiento en el trayecto espacio-Tierra (deseable/marginal)	Casi sin errores (correspondiente a una BER ≤ 2 × 10 ⁻⁴ antes de decodificación RS) mejor que el 99,95/99,90% del tiempo			
Diámetro de la antena de la estación terrena receptora (se supone que se utiliza un reflector principal de forma parabólica) (m)	1,8; 2; 2,4 y 3 ⁽¹⁾			
Eficacia de la antena (%)	64			
Pérdidas de alimentación (dB)	2,5			
Diagrama de la antena fuera del eje supuesto (a efectos de estimación de la interferencia del satélite adyacente)	32 – 25 log φ (2° < φ < 8°)			
Precisión en el seguimiento de la antena (grados)	± 0,05			
Contribución del ruido del enlace ⁽²⁾	La contribución relativa real depende de un cierto número de factores tales como el tamaño de la antena de recepción y si en el enlace se utiliza un transpondedor transparente o con remodulación C/I _{Enlace} = 20 dB (transparente) C/I _{Enlace} = 30 dB (con remodulación)			
Contribución del ruido del enlace ascendente	C/(N + I) _{Total} = 20 dB (transparente) C/(N + I) _{Total} → ∞ (con remodulación)			
Temperatura de ruido del sistema (dependiente del ángulo de elevación)	460 K (valor típico para un ángulo de elevación de 25°) con un factor de ruido ABR/LNB de 3 dB			

(1) Véase el § 4.1.

(2) El ruido del enlace incluye las contribuciones de polarización cruzada, canal adyacente y producto de intermodulación.

ABR: Amplificador de bajo nivel de ruido

LNB: Bloque de bajo nivel de ruido.

Se ha supuesto que la estación espacial OSG del SFS por satélite tiene el siguiente diagrama de antena:

Ganancia (dB) con respecto al haz principal:

$$\begin{aligned} & -12 (\varphi/\varphi_0)^2 && \text{para } 0 \leq (\varphi/\varphi_0) \leq 1,45 \\ & -(22 + 20 \log (\varphi/\varphi_0)) && \text{para } 1,45 < (\varphi/\varphi_0) < 4,5 \end{aligned}$$

siendo:

- φ : ángulo fuera del eje (grados)
- φ_0 : anchura de haz de potencia unidad (grados)

2.1 Hipótesis sobre el balance del enlace

Las siguientes hipótesis comunes se utilizaron en todos los cálculos del enlace tanto en el caso de satélites con transpondedor transparente como en el de satélites con transpondedor con remodulación:

- Se supone que la estación terrena de «cabecera» está situada en el borde del haz puntual del satélite que se encuentra 2 dB por debajo del centro del haz.
- Se utiliza la misma frecuencia del enlace descendente por otros 4 haces del satélite que tienen la misma polarización. Existe suficiente aislamiento geográfico entre cada haz de forma que el valor de la relación C/I debida a cada haz cofrecuencia/copolarización es de 30 dB y el valor combinado es de 24 dB.
- Todos los haces del enlace del satélite tienen polarización circular.
- En la atribución de la interferencia terrenal se supone que la contribución de la interferencia terrenal es apenas suficiente para disminuir el margen del sistema de manera que la disponibilidad del enlace se degrada hasta tal punto que la indisponibilidad en presencia de interferencia terrenal es un 10% superior a la indisponibilidad que aparecería si no hubiese este tipo de interferencia.
- En condiciones de desvanecimiento debido a la lluvia, en el trayecto oblicuo desde el satélite únicamente resulta afectada la relación C/N . En condiciones de desvanecimiento, dicha relación disminuye una cantidad que es la suma de:
 - el desvanecimiento debido a la lluvia A_p (dB) determinado según la Recomendación UIT-R P.618 y
 - la degradación debida al ruido térmico durante un desvanecimiento debido a la lluvia de A_p .

En el caso de atribuciones de ruido del enlace, C/I_{Enlace} , se trataron de distinta forma los casos de transpondedor transparente y transpondedor con remodulación. En el caso de transpondedor transparente, se supuso que la portadora recibida era una de las muchas en el transpondedor con un acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF). Para modelar esta situación, se supuso una atribución del ruido del enlace en el enlace descendente de 20 dB teniendo en cuenta que los productos de intermodulación dominarían el enlace descendente. Además, suponiendo que las antenas de usuario pequeñas transmitirían con apenas suficiente margen en condiciones de cielo despejado para facilitar la utilización del control de potencia en el enlace ascendente, el valor de la relación C/I total en el enlace ascendente probablemente no sería mejor que 20 dB. En el caso del transpondedor con remodulación, se supuso que el satélite transmitía hacia las estaciones terrenas de cabecera utilizando una sola portadora por transpondedor. Para modelar esta situación, se supuso una atribución de ruido del enlace de la relación C/I en el enlace descendente de 30 dB. Teniendo en cuenta que en el caso de los transpondedores con remodulación el enlace ascendente no contribuye a la C/N_{Total} , se asignó un valor elevado (100 dB) a la relación C/I del enlace ascendente total para representar esta situación.

3 Perfil de límite de dfp utilizado en el análisis

Se utilizó un perfil de dfp como base para limitar la máxima dfp obtenible con un haz puntual procedente de la órbita de los satélites OSG y dirigido hacia un punto en la superficie de la Tierra para su recepción por una estación terrena de cabecera. Se orientó un haz puntual hacia un punto a partir del cual el ángulo de llegada de dicho satélite al punto se supuso que era el valor mínimo dentro de la zona de servicio pretendida y, por consiguiente, constituía el caso de borde de la zona de cobertura. El perfil del límite de dfp del Cuadro 21-4 del RR se reproduce en el Cuadro 2. Aunque no se realizó ningún análisis utilizando los límites de dfp del Cuadro 21-4 del RR aplicables a la banda 40,5-42,0 GHz, teniendo en cuenta la gama de ángulos de elevación considerados en el análisis, los límites de dfp del Cuadro 21-4 del RR son muy similares y, por consiguiente, cabe esperar un comportamiento muy parecido en una estación terrena de un tamaño determinado con un ángulo de elevación concreto y en un emplazamiento dado.

CUADRO 2

Perfiles del límite de dfp considerados en el análisis

Cuadro 21-4/perfiles de dfp para las bandas 37,5-40 GHz y 42-42,5 GHz	
Densidad espectral de flujo de potencia (dB(W/(m ² · MHz)))	Ángulo de llegada δ por encima del plano horizontal
-127	$0 \leq \delta \leq 5^\circ$
$-127 + (4/3) (\delta - 5)$	$5^\circ \leq \delta \leq 20^\circ$
$-107 + (2/5) (\delta - 20)$	$20^\circ \leq \delta \leq 25^\circ$
-105	$25^\circ \leq \delta$

En todos los casos se supuso que la estación terrena se encontraba en una latitud de 45° y el modelo de lluvia utilizado para calcular la disponibilidad fue el de la Recomendación UIT-R P.618. A continuación se enumeran otros elementos comunes a los grupos de enlaces:

Frecuencia: 38,75 GHz

Latitud: 45° N

Altura de la estación terrena: 0 m (por encima del nivel medio del mar)

Presión barométrica: 1018,9 hPa

Isoterma media de 0° en condiciones de lluvia (h_R): 2,45 km (en coherencia con los emplazamientos geográficos en América del Norte y Europa al Oeste de la longitud 60° E como se indica en la Recomendación UIT-R P.839)

Factor de ruido de ABR/LNB en la antena de la estación terrena: 3,0 dB

Absorción atmosférica: Se utilizó la Recomendación UIT-R P.676. Teniendo en cuenta que la densidad de vapor de agua puede tomar una amplia gama de posibles valores a 45° N de latitud, se supuso que las regiones con climas más húmedos (es decir, con mayores índices de pluviosidad) presentarían mayores concentraciones de vapor de agua. Además, son necesarias temperaturas más elevadas para soportar mayores densidades de vapor de agua. Como el objeto de este análisis es demostrar el efecto de los diversos parámetros atmosféricos (y otros parámetros) sobre la disponibilidad del enlace se eligieron los siguientes valores:

Temperatura del aire, densidad de vapor de agua (índice de pluviosidad rebasado durante el 0,01% del tiempo):

15° C, 5 g/m³ (para $R_{0,01} = 25$ mm/h), clima seco

18° C, 7,5 g/m³ (para $R_{0,01} = 37,5$ mm/h), clima medio

21° C, 10 g/m³ (para $R_{0,01} = 50$ mm/h), clima húmedo

3.1 Perfil de dfp utilizado

En todos los casos estudiados se utilizaron los límites de dfp del Cuadro 21-4 del RR. Los niveles de dfp son producidos por haces puntuales de un tamaño entre 0,3° y 0,5° (55 a 50,5 dBi de ganancia, respectivamente). Estos tamaños del haz puntual son típicos de algunos de los haces con ganancia más elevada en los sistemas OSG del SFS de la banda de 50/40 GHz considerados para su utilización y sobre los cuales se han registrado en la UIT los datos del Apéndice 4 del RR. La Fig. 11 muestra los niveles de dfp emitidos desde una estación espacial que utiliza haces puntuales de 0,3°, 0,4°, 0,5° y 0,6° de tamaño situados con unos ángulos de llegada de 17,5°, 20°, 22,5° y 25°, respectivamente. Cabe señalar que cuanto más bajo sea el ángulo de elevación del haz puntual en la antena de la estación terrena menor será el tamaño que deberá tener dicho haz puntual para satisfacer los límites de dfp del Cuadro 21-4 del RR para ángulos de llegada bajos.

Teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por el perfil de dpf del Cuadro 21-4 del RR, los balances de enlace se calcularon para enlaces descendente a antenas de cabecera con tamaños de 1,8 a 3,0 m de diámetro con ángulos de elevación comprendidos entre 25° y 17,5° en decrementos de 2,5° para cada uno de los tres conjuntos de parámetros climáticos distintos. Los resultados de disponibilidad calculados para los casos de 25 mm/h, 37,5 mm/h y 50 mm/h se representan en las Figs. 5, 6 y 7, respectivamente, para los cuatro tamaños de antena en el caso de transpondedor transparente. De forma similar, en las Figs. 8, 9 y 10 se representan los resultados para el caso de transpondedor con remodulación. Obsérvese que en las Figs. 5, 6 y 7 se utiliza MDP-4 y en las Figs. 8, 9 y 10 se emplea MDP-8.

FIGURA 5

Transpondedor transparente, índice de pluviosidad = 25 mm/h

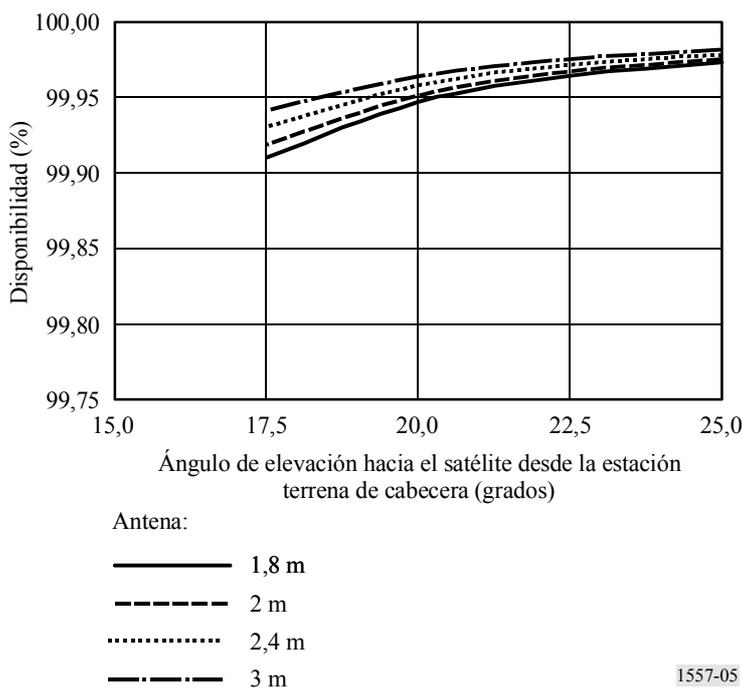


FIGURA 6

Transpondedor transparente, índice de pluviosidad = 37,5 mm/h

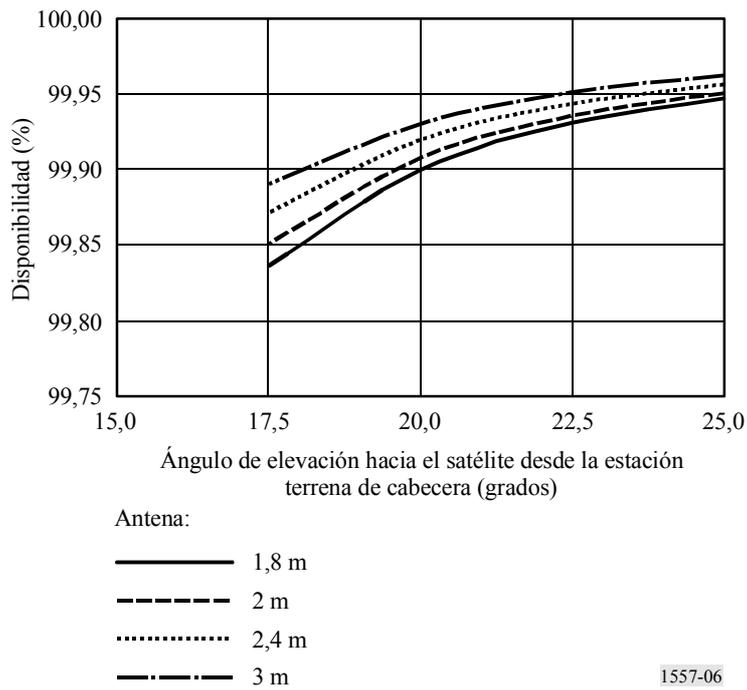


FIGURA 7

Transpondedor transparente, índice de pluviosidad = 50 mm/h

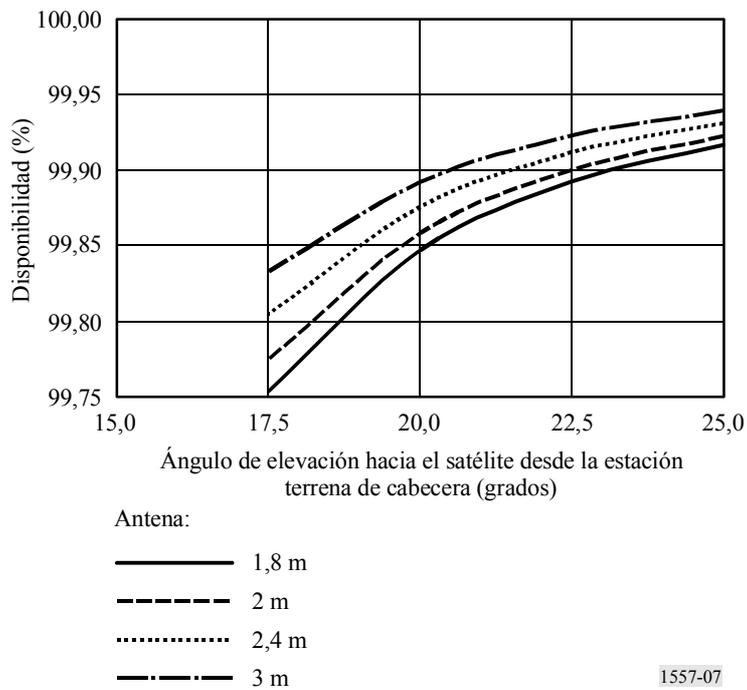


FIGURA 8
Transpondedor con remodulación, índice de pluviosidad = 25 mm/h

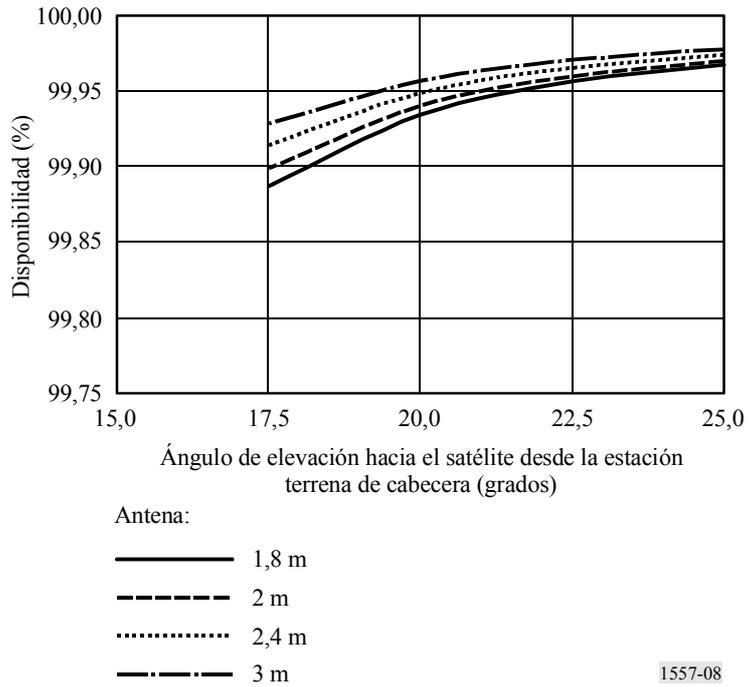


FIGURA 9
Transpondedor con remodulación, índice de pluviosidad = 37,5 mm/h

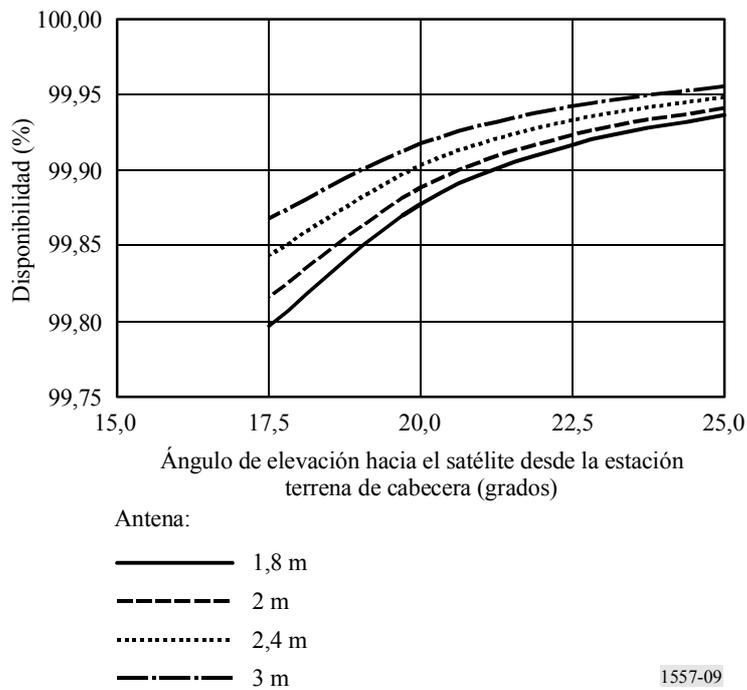


FIGURA 10
Transpondedor con remodulación, índice de pluviosidad = 50 mm/h

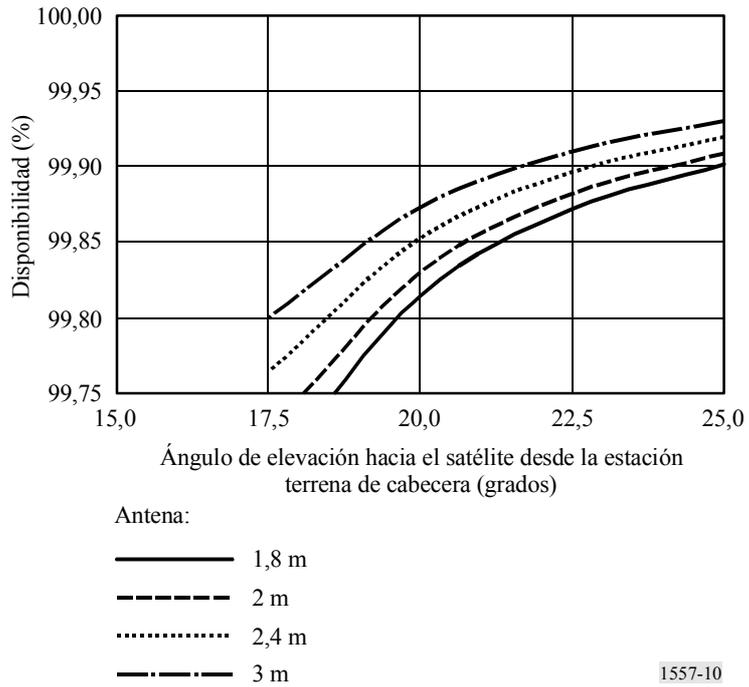
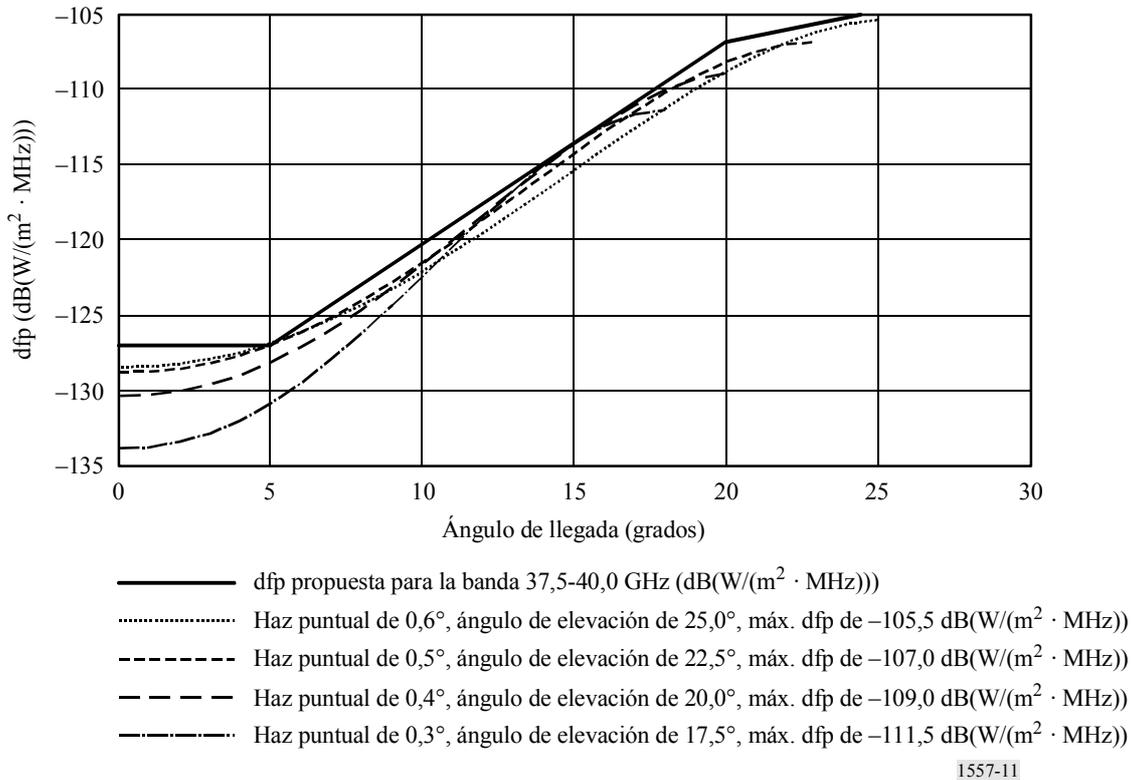


FIGURA 11
Tamaños de los haces del enlace descendente del SFS OSG y máximos niveles de dfp que satisfacen el límite de dfp propuesto en la banda 37,5-40,0 GHz



4 Temas que requieren más estudios técnicos

4.1 Tamaño de la antena de la estación terrena en la banda de frecuencias 50/40 GHz

La posibilidad de utilizar antenas de mayor tamaño (es decir, $D > 2,4$ m siendo $D/\lambda \gg 300$) a frecuencias por encima de 30 GHz exige más estudios relativos a los efectos que tiene la distorsión del reflector principal, las irregularidades de la superficie y la precisión de un sistema de seguimiento por pasos sobre la calidad de funcionamiento de la antena. Un aumento de la ganancia de antena para mejorar el valor de la relación C/N en condiciones de cielo despejado vendrá parcialmente compensado por el incremento en el error de puntería de la antena de la estación terrena con una precisión de seguimiento típica de $0,05^\circ$.

Aún debe estudiarse la posibilidad de utilizar en estas frecuencias antenas de gran tamaño. Para una frecuencia de recepción de 39 GHz, un diámetro de antena de 3,7 m, por ejemplo, daría lugar a una relación diámetro/longitud de onda de 481. Además, suponiendo que la antena transmitiese a 49 GHz, la anchura de haz a 3 dB de esta antena sería de $0,11^\circ$ y la relación diámetro/longitud de onda sería de 605.

4.2 Requisitos de una cubierta protectora y posible repercusión sobre el comportamiento en clima despejado

Debido a que el tamaño de las gotas de lluvia en las bandas de frecuencias de 50/40 GHz es superior a $1/4$ de longitud de onda, las pérdidas por dispersión debida a la lluvia serán significativas. La utilización de recubrimientos hidrofóbicos en el reflector eliminaría la necesidad de emplear cubiertas protectoras y, en consecuencia, se obtendría un mejor comportamiento en clima despejado. No se conoce el valor de la atenuación de la señal deseada en condiciones de cielo despejado resultante de la utilización de una cubierta protectora en estas frecuencias. En los balances de enlace presentados se ha supuesto que no se utiliza ninguna cubierta de protección.

5 Discusión de los resultados

En los Cuadros 3 a 8 se resumen y comparan las condiciones bajo las cuales pueden lograrse distintos niveles de calidad de funcionamiento del enlace descendente. Los Cuadros 3, 4 y 5 corresponden a las Figs. 5, 6 y 7 y los Cuadros 6, 7 y 8 corresponden a las Figs. 8, 9 y 10. La siguiente guía puede utilizarse para realizar una comparación aproximada de las disponibilidades del enlace descendente que pueden lograrse con la gama de tamaños de antena, ángulos de elevación y parámetros climáticos examinados para cada uno de los transpondedores transparentes (Cuadros 3 a 5) y de los transpondedores con remodulación (Cuadros 6 a 8).

Guía para la interpretación de resultados

Calidad de la señal recibida de acuerdo con la disponibilidad del enlace descendente.

0: Disponibilidad $< 99,90\%$ (Inaceptable)

1: $99,90\% \leq$ Disponibilidad $< 99,925\%$ (Deficiente)

2: $99,925\% \leq$ Disponibilidad $< 99,95\%$ (Aceptable)

3: $99,95\% \leq$ Disponibilidad $< 99,975\%$ (Adecuada)

4: Disponibilidad $> 99,975\%$ (Rebasa el objetivo)

CUADRO 3

**Transpondedor transparente (MDP-4, índice 5/6, RS 188,204
(índice de pluviosidad = 25 mm/h))**

Diámetro de la antena receptora de la estación terrena de cabecera (m) \ Ángulo de elevación (grados)	1,8	2	2,4	3
17,5	1	1	2	2
20	2	3	3	3
22,5	2	3	3	4
25	3	3	4	4

CUADRO 4

**Transpondedor transparente (MDP-4, índice 5/6, RS 188,204
(índice de pluviosidad = 37,5 mm/h))**

Diámetro de la antena receptora de la estación terrena de cabecera (m) \ Ángulo de elevación (grados)	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	1	1	2
22,5	2	2	2	3
25	2	3	3	3

CUADRO 5

**Transpondedor transparente (MDP-4, índice 5/6, RS 188,204
(índice de pluviosidad = 50 mm/h))**

Diámetro de la antena receptora de la estación terrena de cabecera (m) \ Ángulo de elevación (grados)	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	0	0	0
22,5	0	1	1	1
25	1	1	2	2

CUADRO 6

**Transpondedor con remodulación (MDP-8, índice 2/3, RS 188,204
(índice de pluviosidad = 25 mm/h))**

Ángulo de elevación (grados)	Diámetro de la antena receptora de la estación terrena de cabecera (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	1	2
20	2	2	2	3
22,5	3	3	3	3
25	3	3	3	4

CUADRO 7

**Transpondedor con remodulación (MDP-8, índice 2/3, RS 188,204
(índice de pluviosidad = 37,5 mm/h))**

Ángulo de elevación (grados)	Diámetro de la antena receptora de la estación terrena de cabecera (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	0	1	1
22,5	1	1	2	2
25	2	2	2	3

CUADRO 8

**Transpondedor con remodulación (MDP-8, índice 2/3, RS 188,204
(índice de pluviosidad = 50 mm/h))**

Ángulo de elevación (grados)	Diámetro de la antena receptora de la estación terrena de cabecera (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	0	0	0
22,5	0	0	0	1
25	1	1	1	2

5.1 Interpretación de los resultados resumidos

Utilizando el perfil de dfp del Cuadro 21-4 del RR, es posible obtener disponibilidades del enlace descendente del orden del 99,95% para ángulos de elevación tan bajos como 20° utilizando antenas con diámetros comprendidos entre 1,8 m y 3 m. El tamaño de antena necesario para lograr una

calidad de funcionamiento aceptable depende de la zona hidrometeorológica y del ángulo de elevación. Es posible lograr una disponibilidad marginalmente aceptable en enlaces descendentes con ángulos de elevación tan bajos como $17,5^\circ$ en las zonas hidrometeorológicas más secas únicamente cuando se utilizan antenas de mayor tamaño. Con antenas de 1,8 m de diámetro sólo será posible lograr una calidad de funcionamiento aceptable en los climas más secos y funcionando con ángulos de elevación más elevados. Es necesario realizar más estudios sobre la posibilidad de utilizar antenas de estaciones terrenas del SFS mayores de 2,4 m de diámetro en las bandas de 50/40 GHz (véase el § 4.1).

Comparando los resultados obtenidos para los satélites con transpondedor transparente con los obtenidos para satélites con transpondedor con remodulación, es evidente que la calidad de funcionamiento lograda en los satélites que utilizan transpondedor con remodulación es menos sensible al tamaño de la antena. Esto se debe al hecho de que hay una menor contribución de otros ruidos del enlace. En el caso de transpondedores con remodulación, sin embargo, aumenta la sensibilidad al índice de pluviosidad debido al mayor umbral del demodulador (9,3 dB en comparación con 7,1 dB) asociado con el esquema de modulación de orden más elevado utilizado por la red de satélites que emplean transpondedores con remodulación. A medida que aumenta el índice de pluviosidad se produce una importante disminución en la calidad de la señal.

De forma general, pueden lograrse niveles de calidad de funcionamiento comprendidos entre marginales y aceptables utilizando antenas con diámetros entre 2 m y 2,4 m en zonas hidrometeorológicas con índices de pluviosidad inferiores a 37,5 mm/h.

ANEXO 3

Características técnicas de los sistemas del SFS OSG V1

El sistema OSG V1 tiene previsto utilizar las bandas 37,5-40,0 GHz y 42,0-42,5 GHz para un pequeño número de aplicaciones con estaciones de cabecera coordinadas individualmente en centros dispersos geográficamente de puntos de acceso a fibra óptica. El sistema OSG V1 proporcionará una disponibilidad del enlace de extremo a extremo de al menos el 99,9% a los enlaces de estaciones de cabecera o estaciones centrales. Dependiendo de los emplazamientos de la estación central/puntos de acceso a fibra óptica, el diámetro de la antena de recepción puede ser de hasta 3,0 m. El sistema tiene previsto proporcionar velocidades de transmisión de datos desde calidad de videoconferencia hasta transmisión de muy alta velocidad de STM-1 (155 Mbit/s) a 10 STM-4 (6,22 Gbit/s). Las degradaciones de propagación en esta banda son muy importantes. Para lograr la disponibilidad de enlace deseada sin rebasar los niveles de dfp especificados en el Cuadro 21-4 del RR y en el *resuelve* 2 de la Resolución 84 (CMR-2000), el sistema OSG V1 utilizará una velocidad de transmisión de datos, una modulación y una codificación ajustables. La intensidad de las degradaciones de propagación junto con los requisitos de protección del servicio fijo en las bandas 37,5-40 GHz y 42-42,5 GHz afectará la posibilidad de realizar sistemas del SFS con los parámetros ideales.

El sistema OSG V1 prevé utilizar la banda 40,0-42,0 GHz para la instalación de VSAT ubicuos. La disponibilidad de extremo a extremo del enlace de usuario VSAT es de al menos el 99,7%. El diámetro de la antena de los usuarios VSAT se encuentra en la gama de 0,5 m a 1,0 m. La velocidad de transmisión de datos de recepción se encuentra entre STM-1 (155 Mbit/s) y $4 \times$ STM-1 (4×155 Mbit/s) dependiendo del emplazamiento del usuario, del tamaño de la antena y de la disponibilidad del enlace. La BER de estos enlaces en condiciones de cielo despejado es del orden de 1×10^{-7} a 1×10^{-10} .

Los parámetros del sistema del enlace descendente del sistema del SFS OSG V1 propuesto que funciona en la banda 37,5-42,5 GHz aparecen en los Cuadros 9 y 10.

CUADRO 9

Parámetros del enlace descendente del sistema OSG V1 que funciona en las bandas 37,5-40,0 GHz y 42,0-42,5 GHz (enlace descendente)

Parámetros	Estación central	
	Condición de funcionamiento nominal	Utilización de técnicas de compensación del desvanecimiento en el enlace
Frecuencia (GHz)	37,5-40 y 42-42,5	
Carga útil	Transpondedor transparente	
Disponibilidad de enlace (%)	De extremo a extremo hasta el 99,9	
Velocidad de transmisión de datos ⁽¹⁾	$N \times 622$ Mbit/s; $N = 1$ a 10 hasta 6,22 Gbit/s (una sola portadora)	$N \times 155$ Mbit/s; $N = 1$ a 10 hasta 1,55 Gbit/s (una sola portadora)
Método de acceso	AMDF/MDT o MDT	
Modulación	MDP-8	MDP-4 descentrada
Codificación	RS	Código concatenado
Velocidad de codificación	0,90	0,45
Anchura de banda del canal	250 MHz por cada 622 Mbit/s; 2,5 GHz para 10×622 Mbit/s 2,5 GHz para $1 \times 6,22$ Gbit/s	250 MHz por cada 155 Mbit/s; 2,5 GHz para 10×155 Mbit/s 2,5 GHz para $1 \times 1,55$ Gbit/s
Ganancia de la antena de recepción (dBi)	58,57	
Anchura de haz de la antena (grados)	0,19	
Polarización	Circular	
Temperatura de ruido del receptor (K)	800	
Degradación por interferencia/atribución (dB) ⁽²⁾	1,5	
Otras pérdidas (dB) ⁽³⁾	2,0	
Margen del sistema (dB)	1,0	
BER	1×10^{-9} o mejor	
E_b/N_0 necesaria en el receptor (dB) ⁽⁴⁾	9,37	4,88
E_b/N_0 del enlace descendente necesaria (dB) ⁽⁵⁾	12,37	7,88

MDT: Múltiplex por división en tiempo

- (1) N se selecciona basándose en las condiciones de propagación o ajustando la velocidad de transmisión de datos para lograr la disponibilidad del enlace deseada.
- (2) Degradación debida a la interferencia dentro del sistema o entre sistemas.
- (3) Incluida la pérdida de puntería, las pérdidas atmosféricas y las pérdidas por centelleo.
- (4) Incluidas las pérdidas de realización.
- (5) La relación C/N (o E_b/N_0) del enlace ascendente se supone que es igual a C/N (o E_b/N_0) del enlace descendente. Por lo tanto, la E_b/N_0 del enlace descendente debe ser 3 dB superior a la E_b/N_0 requerida.

CUADRO 10

**Parámetros de enlace descendente del sistema OSG V1
que funciona en la banda 40,0-42,0 GHz**

Parámetros	Parámetros del sistema del SFS que funciona en la banda 40,0-42,0 GHz			
	Transpondedor transparente		Carga útil de procesamiento	
Modulación	MDP-8	MDP-4 descentrada	MDP-8	MDP-4 descentrada
Frecuencia (GHz)	41		41	
Borde de la zona de cobertura (dB)	3,5		3,5	
Disponibilidad del enlace (%) ⁽¹⁾	99,7 o superior		99,7 o superior	
Velocidad de transmisión de datos (Mbit/s) ⁽²⁾	Hasta 622	Hasta 465	Hasta 622	Hasta 465
Método de acceso	MDT		MDT	
Codificación/velocidad de codificación ⁽³⁾	Código concatenado/velocidad de código ajustable			
Anchura de banda del canal	250 MHz para 622 Mbit/s	250 MHz para 155 Mbit/s	250 MHz para 622 Mbit/s	250 MHz para 155 Mbit/s
Diámetro de la antena (m) ⁽⁴⁾	0,5		0,5	
Ganancia de la antena de recepción (dBi)	45		45	
Anchura de haz a 3 dB (grados)	0,98		0,98	
Polarización	Circular		Circular	
Temperatura de ruido del receptor (K)	800		800	
Degradación por interferencia (dB) ⁽⁵⁾	2,0		2,0	
Otras pérdidas (dB) ⁽⁶⁾	2,0		2,0	
Margen del sistema (dB)	1,0		1,0	
BER	1×10^{-10}		1×10^{-10}	
E_b/N_0 requerida (dB) ⁽⁷⁾	9,36	7,0	9,36	7,0
E_b/N_0 del enlace descendente requerida (dB) ⁽⁸⁾	12,36	10,0	9,36	7,0

(1) Dependiendo del emplazamiento del usuario.

(2) Dependiendo del emplazamiento del usuario y del índice de pluviosidad.

(3) Dependiendo del margen de desvanecimiento debido a la lluvia requerido.

(4) El tamaño real de la antena depende del emplazamiento del usuario, de la velocidad de transmisión de datos necesaria y de la disponibilidad del enlace.

(5) Degradación debida a la interferencia dentro del sistema y entre sistemas.

(6) Incluidas las pérdidas de puntería, las pérdidas atmosféricas y las pérdidas por centelleo.

(7) Incluidas las pérdidas de realización.

(8) Se supone que la C/N (o E_b/N_0) del enlace ascendente es igual a la C/N (o E_b/N_0) del enlace descendente. Por lo tanto, la E_b/N_0 del enlace descendente necesaria debe ser 3 dB superior a la E_b/N_0 necesaria.

ANEXO 4

Terminal de usuario: características técnicas del sistema del SFS OSG MULTIMEDIASAT

En la banda 37,5-42,5 GHz, el sistema MULTIMEDIASAT tiene prevista la instalación de VSAT ubicuos para ofrecer varios tipos de aplicaciones (vídeo por demanda, acceso IP, radiodifusión de datos, ...). La disponibilidad de extremo a extremo del enlace de usuario VSAT es de al menos 98%. El diámetro de antena del usuario VSAT es de 0,3 m o 0,6 m. La velocidad de transmisión de datos de recepción es de 25,4 Mbit/s, teniendo en cuenta las repercusiones de las degradaciones de propagación, ó 38,1 Mbit/s en condiciones de cielo despejado. La adaptabilidad de estas velocidades binarias a las condiciones de transmisión permite que algunos datos permanezcan constantes bajo casi cualquier condición de lluvia; de esa forma la BER de estos enlaces es de 1×10^{-10} , la anchura de banda de canal también es constante y la E_b/N_0 se mantiene a un valor de 7,0 dB. El mínimo ángulo de elevación operativo que se tiene en cuenta para este sistema es de 25°.

CUADRO 11

Parámetros del enlace descendente del sistema MULTIMEDIASAT que funciona en la banda 37,5-42,5 GHz

Parámetros	Estación central			
	Condiciones de funcionamiento nominal		Condiciones de lluvia	
Frecuencia (GHz)	37,5-42,5			
Carga útil	Transpondedor transparente			
Disponibilidad en el enlace (%)	De extremo a extremo hasta 98			
Velocidad de transmisión de datos (Mbit/s)	38,1		25,4	
Método de acceso	AMDF/MDT o MDT			
Modulación	MDP-8		MDP-4	
Codificación	RS y FEC			
Índice de los códigos	(204,188) para codificación RS y 1/2 para FEC			
Anchura de banda de canal (MHz)	36			
Diámetro de la antena (m)	0,3	0,6	0,3	0,6
Ganancia de la antena de recepción (dBi)	40	46	40	46
Anchura de haz de la antena (grados)	1,65	0,82	1,65	0,82
Polarización	Lineal (horizontal y vertical)			
Temperatura de ruido del receptor (K)	350			
Degradación entre sistemas y dentro del sistema (dB)	4,1	5,2	2,3	4,3
Otras pérdidas (dB) ⁽¹⁾	2,0			
Margen del sistema (dB)	1,0	1,7	1,0	4,0
BER	1×10^{-10}			
E_b/N_0 requerida (dB) ⁽²⁾	7,0			

(1) Incluidas las pérdidas de puntería, las pérdidas atmosféricas y las pérdidas por centelleo.

(2) El valor de E_b/N_0 tiene en cuenta las variaciones de la potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) durante el día.

Cabe señalar que los niveles de dfp operativos satisfacen los valores del Cuadro 21-4 del RR y que la posible utilización de límites de dfp inferiores (por ejemplo, disminuidos 12 dB) dejaría el sistema inutilizable bajo cualquier tipo de condición.

ANEXO 5

Terminal de usuario: características técnicas del sistema del SFS OSG de alta densidad

En el Cuadro 12 aparecen los parámetros de un sistema del SFS OSG dedicado a servicios por satélite de alta densidad. El sistema ha sido diseñado para ofrecer una zona de servicio regional que incluye Europa, Oriente Medio y el Norte de África. En el diseño, la zona de servicio resulta cubierta por un satélite OSG que dispone de una antena multihaz (72 haces puntuales) con una anchura de haz de $0,65^\circ$ para cada haz puntual. Los valores del enlace se calcularon para un enlace de ida y el emplazamiento del terminal de usuario se eligió en dos ubicaciones diferentes en Europa (el Oeste de Francia para el caso 1 y el Sur de Italia para el caso 2). Los resultados se presentan en el Cuadro 13. El sistema se diseñó teniendo en cuenta las limitaciones de dfp indicadas en el Cuadro 21-4 del RR en la banda 37,5-42,5 GHz para satélites OSG.

CUADRO 12

Parámetros del sistema (OSG, terminal de usuario)

Órbita	Geoestacionaria
Altitud (km)	35 785,8
Cobertura	Cobertura regional incluida Europa, Oriente Medio y el Norte de África
Número de haces	72 por satélite
Tamaño del haz (grados)	0,65 de diámetro
Frecuencias del enlace ascendente (GHz)	47,2 hasta 50,2
Frecuencia del enlace descendente (GHz)	37,5 hasta 42,5
Enlace entre satélites (sí o no)	No
Carga útil	Procesamiento a bordo
Disponibilidad del servicio (%)	99,50
Velocidad de transmisión de datos útil (Mbit/s)	2×55 por haz
Capacidad del satélite	$72 \times 2 \times 55 \text{ MHz} = 7,92 \text{ Gbit/s}$
Método de acceso al enlace de ida	Portadoras MDT
Método de acceso al enlace de retorno	FM-AMDT
Modulación	MDP-4
Codificación	Codificación turbo
Anchura de banda del canal (MHz)	60
Número de transpondedores activos	144
Potencia saturada en el ATOP (W)	120
Ganancia de la antena de transmisión (máxima) (dBi)	48,8
p.i.r.e. del satélite en saturación (dBW)	61 en el borde del haz
Ganancia de la antena receptora del terminal de usuario a 41 GHz	50,4 dBi para 1 m de diámetro (borde de la zona de cobertura) 44,4 dBi para 0,5 m de diámetro (centro de la zona de cobertura)
Anchura de haz a 3 dB de la antena de recepción a 41 GHz	$0,48^\circ$ para 1 m de diámetro $0,95^\circ$ para 0,5 m de diámetro
Polarización	Lineal
Temperatura de ruido de recepción del terminal de usuario (K)	532 en condiciones de cielo despejado
BER	1×10^{-9}
$E_b/(N_0 + I_0)$ del enlace descendente requerida (dB)	4,5

ATOP: amplificador de tubo de ondas progresivas

CUADRO 13

Parámetros del balance del enlace (OSG, terminal de usuario de 0,5 m), disponibilidad del 99,5%

	Cielo despejado	Caso 1	Caso 2
		Oeste de Francia	Sur de Italia
		Con lluvia	Con lluvia
Frecuencia del enlace descendente (GHz)	41,0	41,0	41,0
p.i.r.e. del satélite (dBW)	68,0	68,0	68,0
Dispersión espacial (dB/m ²)	162,6	162,6	162,6
Velocidad binaria de la información (Mbit/s)	55,0	36,0	20,0
Índice de modulación (MDP-4)	2	2	2
Velocidad de codificación	3/4	3/4	3/4
Velocidad de transmisión (Msímbolos/s)	40,7	26,7	14,8
d _{fp} (dB(W/m ²))	-96,6	-106,2	-108,6
Densidad espectral de flujo de potencia en la estación terrena (dB(W/(m ² · MHz)))	-112,7	-120,5	-120,3
Máxima densidad espectral de flujo de potencia (dB(W/(m ² · MHz)))	-110,7	-108,9	-106,3
E_b/N_0 (dB)	16,2	7,8	7,9
E_b/I_0 (dB)	14,3	14,3	14,3
$E_b/(N_0 + I_0)$ (dB)	11,1	5,9	6,0
Margen de realización del módem (dB)	0,8	0,8	0,8
E_b/N_0 requerida (dB)	4,5	4,5	4,5
Margen (dB)	5,8	0,6	0,7
Densidad espectral de flujo de potencia del ruido (dB(W/(m ² · MHz)))	-121,9	-114,8	-112,3
Densidad espectral de flujo de potencia total (dB(W/(m ² · MHz)))	-110,4	-107,9	-105,4

ANEXO 6

Estación de cabecera: características técnicas del sistema del SFS no OSG

El sistema es una constelación ecuatorial de órbita terrestre media (MEO) que proporciona a las estaciones de cabecera una conexión casi permanente de 155 Mbit/s entre un haz y cualquier otro en la Tierra mediante un anillo de enlace entre satélites (EES) de alta velocidad de transmisión de datos con capacidad de difusión. Cada satélite puede proporcionar hasta cinco haces puntuales independientes dirigidos a las principales zonas urbanas del mundo. En el Cuadro 14 aparecen los parámetros del sistema del SFS no OSG propuesto que funciona en el enlace descendente en la banda 37,5-42,5 GHz.

CUADRO 14

Parámetros del sistema (no OSG, estación de cabecera con antena de 3 m de diámetro)

	Cielo despejado
Órbita	MEO (ecuatorial)
Altitud (km)	12 000
Cobertura (grados)	± 56
Número de satélites	7
Número de haces	35 (5 por satélite)
Frecuencia (GHz) ⁽¹⁾	37,5-42,5
EES	Sí
Carga útil	Transpondedor transparente
Disponibilidad del servicio (%)	99,95
Velocidad de transmisión de datos (Mbit/s) ⁽²⁾	$N \times 155$ por haz; $N = 1$ a 6
Capacidad del satélite (sin EES) (Gbit/s) ⁽²⁾	4,65
Método de acceso	AMDF
Modulación	MDP-4
Codificación	3/4 convolucional y RS
Anchura de banda del canal (MHz)	160
Número de transpondedores (salvo EES) ⁽²⁾	15 (activos)
Ponencia saturada en el ATOP (W)	100
Ganancia de la antena de transmisión (máxima) (dB)	44,9
p.i.r.e. (dBW)	61,2
Ganancia de la antena de recepción	47,5 dB a 49 GHz y 45,6 dB a 38 GHz
Anchura de haz a 3 dB de la antena de recepción	0,476° a 49 GHz
Polarización	Lineal
Temperatura de ruido del receptor (K)	700
Margen del sistema (dB) ⁽³⁾	0,5
BER	1×10^{-9}
E_b/N_0 de extremo a extremo necesaria (dB)	5
E_b/N_0 del enlace descendente necesaria (dB) ⁽⁴⁾	8

(1) Enlace ascendente: 42,5-43,5 GHz y 47,2-50,2 GHz.

(2) Datos basados en unas frecuencias de 1,1 GHz en el transmisor y 1,1 GHz en el receptor.

(3) 0,6 dB en condiciones de lluvia.

(4) La C/N (o E_b/N_0) del enlace ascendente se supone igual a la C/N (o E_b/N_0) del enlace descendente. Por lo tanto, la E_b/N_0 del enlace descendente debe ser 3 dB superior a la E_b/N_0 de extremo a extremo necesaria.