

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1716*

Objetivos en cuanto a calidad de funcionamiento y disponibilidad para los sistemas de teledida, seguimiento y telemando del servicio fijo por satélite

(Cuestión UIT-R 262/4)

(2005)

Cometido

Esta Recomendación es el resultado de estudios realizados durante varios años por el Grupo de Trabajo 4B de Radiocomunicaciones y contiene orientación para los diseñadores de sistemas del servicio fijo por satélite en relación con los aspectos técnicos y operacionales de los sistemas de seguimiento, teledida y telemando.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que todos los satélites del SFS plantean requisitos de teledida, seguimiento y telemando (TT&C);
- b) que las operaciones de TT&C se efectúan en los satélites del SFS cuando están en órbita de transferencia y durante el funcionamiento en la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG);
- c) que la información de la señal TT&C se genera y se termina por control del operador del satélite;
- d) que las portadoras de TT&C han de estar sujetas a objetivos de calidad de funcionamiento y fiabilidad superiores a los de las portadoras de tráfico normal;
- e) que la pérdida de las portadoras de telemando en el enlace ascendente hacia el satélite y de las portadoras de teledida y de medición de la distancia en el enlace descendente durante las maniobras orbitales o durante los periodos de eclipse solar pueden traducirse en una pérdida del satélite;
- f) que algunos satélites con enlaces de servicio en banda superiores a 17 GHz pueden también explotar enlaces de servicio en bandas inferiores a 17 GHz;
- g) que algunos operadores del SFS OSG pueden co-ubicar sus satélites que funcionan por encima de 17 GHz con satélites que funcionan por debajo de 17 GHz;
- h) que debe darse cierta flexibilidad a los operadores del SFS OSG para explotar las funciones de TT&C en la banda de frecuencia más adecuada;
- j) que los requisitos en cuanto a espectro de las operaciones de TT&C de satélites que funcionan por encima de 17 GHz pueden repercutir en los sistemas de satélite que funcionan por debajo de 17 GHz,

* La presente Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones.

recomienda

1 que los operadores de satélites del SFS diseñen sus sistemas de TT&C basándose en las consideraciones técnicas y operacionales del Anexo 1.

NOTA 1 – Se alienta a los operadores de satélite a facilitar más información sobre sus operaciones de TT&C.

Anexo 1**Características técnicas y operacionales de los sistemas de TT&C del SFS****1 Descripción de las operaciones de TT&C**

Esta Recomendación ofrece las características técnicas y operacionales de los sistemas de TT&C del SFS incluyendo sus objetivos en cuanto a calidad de funcionamiento y disponibilidad del enlace los cuales deben tener en cuenta un operador de satélite. Esta Recomendación ofrece directrices a los operadores del SFS en cuanto al diseño y la elección de la frecuencia para sus sistemas de TT&C, basándose en sus requisitos particulares.

Debe señalarse, que en la industria de satélites comerciales, la sigla TT&C se ha sustituido por la TC&R correspondiente a teledistancia, teledistancia y medición de la distancia. Como la teledistancia, el seguimiento y el teledistancia espaciales se definen en el Artículo 1 del Reglamento de Radiocomunicaciones, en esta Recomendación se ha venido utilizando la sigla TT&C, aun cuando se refiere a las funciones de tipo TC&R.

El subsistema de TT&C de un vehículo espacial se diseña para realizar tres funciones primarias:

- El teledistancia que permite a los controladores en tierra gobernar las diversas unidades electrónicas a bordo del vehículo espacial.
- La teledistancia que permite a los controladores en tierra supervisar la salud operativa de las diversas unidades electrónicas a bordo del vehículo espacial.
- El seguimiento/midición de la distancia que permite a los controladores en tierra determinar la posición y la orientación del vehículo espacial.

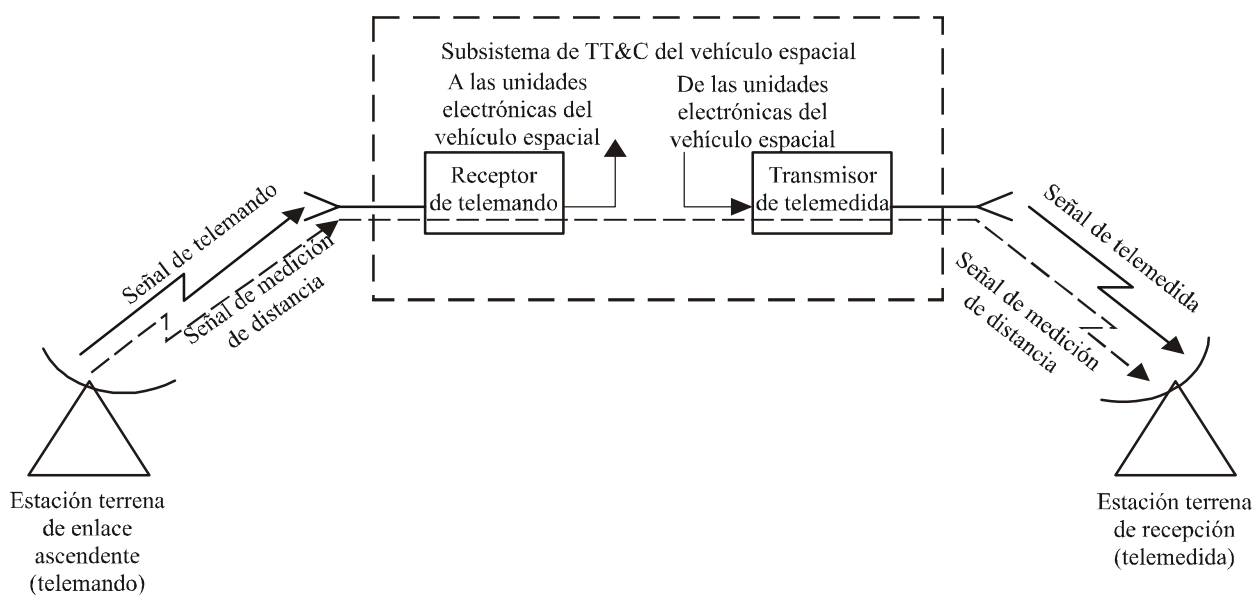
La Fig. 1 muestra un subsistema de TT&C típico.

Para el teledistancia, se transmite una señal de instrucciones de mando desde la estación terrena de enlace ascendente. Esta señal se recibe y a su vez se procesa en el receptor de teledistancia a bordo del vehículo espacial y se encamina hacia las unidades electrónicas apropiadas.

Para la teledistancia, las unidades designadas del vehículo espacial ofrecen una señal de estado al transmisor de teledistancia. El transmisor modula y amplifica a su vez estas señales introduciéndolas en la portadora principal de teledistancia. Desde el transmisor, la señal portadora modulada se encamina a la antena de teledistancia, por donde se transmite al suelo y es recibida por la estación terrena.

Para la medición de la distancia, se transmite por el enlace ascendente una señal de teledistancia al receptor de teledistancia del vehículo espacial. Esta señal se encamina acto seguido al transmisor de teledistancia para devolverla a tierra. La distancia entre la estación en tierra y el vehículo espacial se determina midiendo simplemente la variación de fase entre las señales transmitida y recibida.

FIGURA 1
Enlace típico TT&C



1716-01

1.1 Operaciones en la órbita de transferencia y en órbita

El subsistema de TT&C de la mayoría de los satélites que se utilizan hoy en día tiene dos modos de funcionamiento: el modo en estación y el modo en órbita de transferencia/emergencia (en adelante denominado modo de emergencia). La órbita de transferencia de los satélites del SFS OSG constituye una fase crucial en la vida de un satélite comercial. Como el satélite pasa de una órbita de Tierra baja a la OSG, los canales de telemando y telemetria deben estar disponibles continuamente, y muchos operadores han desarrollado redes de gran fiabilidad de estaciones terrenas en el suelo que pueden seguir un satélite durante el lanzamiento y la fase de primera órbita (LEOP, *launch and early orbit phase*) con al menos dos estaciones terrenas en todo momento.

En general, una vez que un satélite llega a su posición en la órbita OSG, el receptor de TT&C se conmuta pasando de la antena omnidireccional a una antena de bocina con una apertura de haz amplia. Como resultado de ello, los requisitos para las operaciones en estación y en modo de emergencia suelen ser diferentes.

Para determinar la disponibilidad de un enlace TT&C, se han de conocer los parámetros operativos de la estación terrestre en el suelo, así como de la estación espacial. En el lado del telemando, se ha de saber el emplazamiento de la estación terrestre de enlace ascendente y su p.i.r.e. operativa, así como el umbral de telemando del satélite, a fin de determinar el margen real del enlace. Dependiendo de las características de la lluvia en la región en la que se sitúa la estación terrestre de enlace ascendente, puede calcularse la disponibilidad del enlace de telemando, expresado en porcentaje.

Para la telemetria, se ha de conocer el emplazamiento de la estación terrestre receptora y su umbral correspondiente del receptor, así como la p.i.r.e. de telemetria del vehículo espacial, a fin de determinar el margen real de este enlace. También aquí, dependiendo de las características de la lluvia de la región en la que se sitúa la estación terrestre de recepción, puede determinarse la disponibilidad del enlace de telemetria.

2 Sistemas de TT&C en 6/4 GHz

Las portadoras de TT&C para un operador de satélite del SFS se sitúan en la banda de 18 MHz, en las gamas de 6 166-6 184 MHz y 3 941-3 959 MHz. Dependiendo de la serie específica de satélites, puede haber en esta banda cinco portadoras de TT&C, utilizándose cuatro para el telemando y la telemida y una como baliza del enlace descendente. Los Cuadros 1 y 2 ofrecen más información técnica sobre los balances de enlace y características de los sistemas de TT&C en 6/4 GHz que se utilizan en satélites típicos. Como los operadores de satélite suelen reubicar sus satélites en nuevos tramos orbitales, dependiendo del tráfico y del estado de funcionamiento de los satélites, la flexibilidad operativa del mantenimiento de un conjunto común de parámetros básicos de TT&C hacen que la red sea más eficaz y rentable.

Cada una de las estaciones terrenas de TT&C se conecta normalmente con un centro de control de satélites (SCC, *satellite control centre*) a través de facilidades terrenales y de satélites especializadas. La disponibilidad y la calidad de las señales de TT&C es fundamental para el mantenimiento de la posición del satélite y de su estado (potencia, estabilidad, temperatura, etc.), y los datos enviados al satélite y desde éste deben contar con la disponibilidad y calidad máximas, especialmente por lo referente al telemando.

CUADRO 1

Balances del enlace para portadoras típicas de telemida en la banda de 6/4 GHz

Telemida y medida de distancia típicas en la órbita de transferencia, en banda C	
<i>Parámetro</i>	
Frecuencia de la portadora del enlace descendente	3 950 MHz
Potencia del Tx	13 dBW
Pérdidas del Tx	-9,5 dB
Ganancia de antena	1,9 dBi
p.i.r.e. (típica)	1,6 dBW
Pérdidas del trayecto (40 671 km), 10° de elevación	-196,6 dB
G/T del Rx	35 dB/K
C/N_0	68,2 dB-Hz
<i>Subportadora (S/C) normal y secundaria</i>	
S/N_0 disponible de la S/C	58,6 dB-Hz
S/N_0 requerida	50,2
Margen de la subportadora	8,4 dB
<i>S/C de medida de distancia</i>	
S/N_0 Disponible del enlace descendente	58,6 dB-Hz
S/N_0 del enlace ascendente	60
S/N_0 total	56,2
S/N_0 requerida	41 dB-Hz
Margen de la función de medida de la distancia	15,2 dB

CUADRO 2

Balances del enlace de portadoras típicas de telemando y medida de distancia

Parámetro	Órbita de transferencia	OSG	Unidades
Frecuencia portadora	6 175	6 175	(MHz)
p.i.r.e.	90	73,2	(dBW)
Factor de dispersión en la OSG	-163,2	-163,2	(dB/m ²)
d _{fp} en el satélite	-73,2	-90	(dB(W/m ²))
Pérdidas diversas	-0,5	-0,4	(dB)
Ganancia 1 m ²	-37,3	-37,3	(dBi)
Potencia isotrópica incidente	-111	-127,7	(dBW)
Ganancia de la antena del satélite	-5,1	7,3	(dBi)
Pérdidas del alimentador y de división	-6,5	-6,6	(dB)
Potencia de entrada al Rx	-122,6	-127	(dBW)
Potencia umbral del Rx	-142	-142	(dBW)
Margen	19,4	15	(dB)

2.1 Disponibilidades de TT&C

Los operadores del SFS en 6/4 GHz pueden mantener sus márgenes de enlace de TT&C para garantizar que la disponibilidad del enlace esté comprendida entre 99,99% y 99,999% del tiempo. Estas disponibilidades son comparables a la disponibilidad del segmento espacial de una red de satélite. En el caso de un operador de satélite, la disponibilidad media del transpondedor de sus satélites fue de 99,9996% durante el año 2000. Sus estaciones terrenas de TT&C han sido capaces de lograr disponibilidades mejores del 99,95% y con su cobertura de antena de satélite de apertura amplia suele haber dos estaciones terrenas de TT&C visibles para cada satélite. Una infraestructura de red terrenal/satélite de trayecto redundante conecta el SCC con la estación terrena de TT&C. El objetivo en cuanto a disponibilidad de la red para este trayecto terrenal/satélite es del 99,99%. Por tanto, una disponibilidad del enlace de TT&C comprendida entre el 99,99% y 99,999% constituye un objetivo razonable.

Los Cuadros 1 y 2 muestran objetivos típicos en cuanto al balance del enlace de TT&C para un satélite en 6/4 GHz. Se ha especificado una calidad similar del enlace de TT&C en 6/4 GHz para la mayoría de los sistemas de TT&C de satélite. Debe además señalarse que los valores de la p.i.r.e. del enlace ascendente y del enlace descendente son típicos y que pueden variar conforme a las estaciones terrenas de TT&C que funcionan con dicho satélite. En estos valores no se tiene en cuenta el envejecimiento de los receptores de satélite de los amplificadores de potencia, ni las características del enlace ascendente de la estación terrena de TT&C. La disponibilidad de un enlace de TT&C puede calcularse conforme al margen disponible y a la elevación operativa y las condiciones climáticas de lluvia para cada estación terrena de TT&C. Los Cuadros 3 a 5 muestran ejemplos de las disponibilidades que se pueden lograr con estos balances de enlace típicos, suponiendo las probabilidades de atenuación debida a la propagación en tres emplazamientos de TT&C. A partir de los datos anteriores de atenuación de la propagación, puede verse que para lograr una disponibilidad mejor del 99,999% en la banda de 6/4 GHz, se requiere un margen mínimo de 6,5 dB en el enlace ascendente, y un margen mínimo de 1,9 dB en el descendente.

Se han calculado los márgenes del enlace de propagación en estos emplazamientos para la calidad del enlace de TT&C con los mismos porcentajes de tiempo en las bandas de 14/11-12 GHz, 30/20 GHz y 50/40 GHz. Si las redes de satélite que funcionan por encima de 17 GHz pretenden lograr objetivos similares, tendrán que situar sus estaciones terrenas de TT&C en regiones secas y con ángulos de elevación superiores.

CUADRO 3

Emplazamiento de TT&C de Clarksburg (ángulo de elevación 23,2°)

<i>Clarksburg</i>					
Frecuencia del enlace ascendente	Atenuación (dB)				
	6,17 GHz	14,50 GHz	30,00 GHz	50,00 GHz	
Porcentaje de tiempo					
1	0,32	1,64	7,14	17,93	
0,1	0,68	5,49	22,92	47,84	
0,01	1,77	14,98	55,97	105,61	
0,001	4,17	29,9	98,05	171,73	
Frecuencia del enlace descendente					
	3,95 GHz	11,70 GHz	20,20 GHz	40,00 GHz	
Porcentaje de tiempo					
1	0,22	1,08	4,03	11,19	
0,1	0,35	3,61	12,01	34,7	
0,01	0,59	10,18	30,18	81,51	
0,001	1,17	21,12	55,88	137,36	

CUADRO 4

Emplazamiento de TT&C de Raisting (ángulo de elevación 15,8°)

<i>Raisting</i>					
Frecuencia del enlace ascendente	Atenuación (dB)				
	6,17 GHz	14,50 GHz	30,00 GHz	50,00 GHz	
Porcentaje de tiempo					
1	0,38	1,35	5,32	16,07	
0,1	0,69	4,32	16,73	38,37	
0,01	1,56	11,94	41,59	83,06	
0,001	3,52	24,37	74,92	136,85	
Frecuencia del enlace descendente					
	3,95 GHz	11,70 GHz	20,20 GHz	40,00 GHz	
Porcentaje de tiempo					
1	0,28	0,92	3,22	8,77	
0,1	0,43	2,81	9,19	26,49	
0,01	0,67	7,95	23,27	63,05	
0,001	1,17	16,86	44,05	108,76	

CUADRO 5

Emplazamiento de TT&C de Beijing (ángulo de elevación 13,5°)

<i>Beijing</i>					
Frecuencia del enlace ascendente	Atenuación (dB)				
	6,17 GHz	14,50 GHz	30,00 GHz	50,00 GHz	
Porcentaje de tiempo					
1	0,53	2,59	10,47	26,53	
0,1	1,13	8,5	32,04	66,45	
0,01	2,9	22,46	75,49	140,73	
0,001	6,5	43,11	128,06	221,49	
Frecuencia del enlace descendente					
	3,95 GHz	11,70 GHz	20,20 GHz	40,00 GHz	
Porcentaje de tiempo					
1	0,36	1,65	6,19	16,1	
0,1	0,58	5,39	17,35	47,61	
0,01	0,99	14,74	41,72	108,07	
0,001	1,9	29,5	74,5	176,64	

2.2 Resumen

La información técnica precedente sobre las características del enlace de TT&C en 6/4 GHz de un operador del SFS ponen de relieve los objetivos en cuanto a calidad y disponibilidad que se han tenido en cuenta al diseñar los enlaces de TT&C.

3 Sistemas de TT&C en 14/10-11 GHz**3.1 Descripción del sistema**

Para este estudio, se calculan las disponibilidades de los enlaces de telemando y teledida de operadores de un satélite que funciona en las bandas de 14/12-11 GHz. Los Cuadros 6 y 7 ofrecen información sobre el enlace de telemando y sobre los balances de dichos enlaces para estos vehículos espaciales en el modo de mantenimiento en estación y en el modo de emergencia, respectivamente. Los Cuadros 8 y 9 ofrecen información del enlace de teledida y los balances de dichos enlaces para estos vehículos espaciales en el modo de funcionamiento en estación y en el modo de emergencia, respectivamente.

Los datos enumerados en estas presentaciones se separan en cuatro grupos:

- características generales de la señal;
- parámetros operativos del vehículo espacial;
- parámetros operativos de la estación terrena de enlace ascendente/descendente;
- balance del enlace del canal de telemando/teledida.

Para el enlace de telemando, se han previsto dos porcentajes de disponibilidad. La primera cifra de disponibilidad se basa en la p.i.r.e. actual operativa de la estación terrena y puede considerársela como la «disponibilidad operacional» del enlace. La segunda disponibilidad se basa en la p.i.r.e. máxima que puede lograrse mediante la estación terrena y se denomina «disponibilidad máxima del enlace». Durante el modo de funcionamiento de emergencia, cuando la actitud/orientación del satélite puede ser desconocida, se supone que la estación terrena de telemando funciona con la p.i.r.e. máxima disponible, a fin de garantizar que se establece y mantiene un enlace estable con el vehículo espacial.

Para los balances del enlace presentados en los Cuadros 6 a 9, se supuso una pérdida adicional general del sistema de 1 dB, a fin de tener en cuenta las pequeñas pérdidas diversas, tales como las de falta de alineación de la antena, las pérdidas del trayecto debidas a la absorción atmosférica, etc. Se supuso que las pérdidas primarias del trayecto eran debidas a la dispersión de la señal, la atenuación de la lluvia y el aumento en la temperatura de ruido de la estación terrena receptora debido a la lluvia. La disponibilidad del enlace se determinaba utilizando los mapas del índice (y la probabilidad) de precipitación que figuran en la Recomendación UIT-R P.618 y los márgenes calculados del enlace en cielo despejado.

3.2 Disponibilidades de TT&C

Como se enumera en el Cuadro 6, durante el funcionamiento normal en estación, la «disponibilidad operacional» del enlace de telemando oscila entre 99,97650% y 99,99856%, con un valor medio de 99,99125%. De forma similar, durante el funcionamiento en estación de la teledida, la disponibilidad del enlace oscila entre 99,9846% y 99,9997% con un valor promedio de 99,99562% (véase el Cuadro 8).

En condiciones de funcionamiento en modo de emergencia, cuando la orientación del vehículo espacial puede ser desconocida, es razonable suponer que la señal de telemando se transmite con la p.i.r.e. máxima disponible de la estación en el suelo, a fin de asegurar un enlace fiable con el vehículo espacial. En consecuencia, en este modo de funcionamiento, la «disponibilidad máxima» del enlace es el factor pertinente y aplicable. Del Cuadro 7, puede verse que la disponibilidad máxima del enlace de telemando durante el modo de funcionamiento de emergencia oscila entre 99,193% y 99,99915%, con un valor medio de 99,82411%. Para el enlace de teledida (véase el Cuadro 9), la disponibilidad oscila entre 99,9526% y 99,9913%, con un valor promedio de 99,98026%.

Para la medición de la distancia, no se ha obtenido ninguna medida directa. No obstante, puede llegarse a una buena estimación de la disponibilidad multiplicando la disponibilidad de los enlaces de telemando y de teledida para cada caso expuesto. Usando esta metodología, la disponibilidad de este enlace oscila entre 99,9611% y 99,99716%, con un valor promedio de 99,98687% (véase el Cuadro 10), cuando se supone que el vehículo espacial funciona en el modo normal para los enlaces de telemando y teledida. Las disponibilidades correspondientes para el modo de emergencia (en telemando y teledida) oscilan entre 99,18437% y 99,98965%, con un valor promedio de 99,8044%.

CUADRO 6

Disponibilidad del telemando en el modo normal (en estación)

Vehículo espacial: Nombre Vehículo espacial: Emplazamiento orbital (° Elevación)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Información de la señal de telemando</i>					
Vehículo espacial: Frecuencia de telemando (GHz) Vehículo espacial: Polarización del telemando (vertical, horizontal, dextrógira, levógira) Vehículo espacial: Modo operacional (modo en estación o modo de emergencia, o ambos)	14,0-14,5 VERTICAL EN ESTACIÓN	13,5-14,0 VERTICAL EN ESTACIÓN	13,5-14,0 HORIZONTAL EN ESTACIÓN	13,5-14,0 DEXTRÓGIRA EN ESTACIÓN	13,5-14,0 DEXTRÓGIRA EN ESTACIÓN
<i>Información del telemando del vehículo espacial</i>					
Vehículo espacial: Descripción del diagrama de la antena de recepción de telemando (global o no global) Vehículo espacial: dfp en recepción en el umbral del telemando procedente de la dirección del emplazamiento de la estación terrena de telemando (dB(W/m ²))	GLOBAL -105,00	GLOBAL -97,00	GLOBAL -108,00	GLOBAL -87,00	GLOBAL -87,00
<i>Información de la estación terrena de telemando</i>					
Estación terrena de telemando: Identificador del emplazamiento Estación terrena de telemando: Altitud del emplazamiento (metros sobre el nivel medio del mar) Estación terrena de telemando: Tamaño de la antena transmisora (m) Estación terrena de telemando: Ganancia máxima de la antena de transmisión (dBi) Estación terrena de telemando: p.i.r.e. máxima disponible (dBW) Estación terrena de telemando: p.i.r.e. (dBW) Estación terrena de telemando: Intensidad de la lluvia en el emplazamiento para el 0,01% de un año medio (mm/h)	ATLANTA, GA 236,22 9,30 61,26 86,00 68,00 80,00	FILMORE, CA 306,00 6,10 56,80 85,00 77,57 25,00	ATLANTA, GA 236,22 13,00 63,80 89,50 78,00 80,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 85,90 25,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 84,70 25,00
<i>Balance del enlace</i>					
p.i.r.e. del enlace ascendente procedente de la estación terrena de telemando (dBW) Ángulo de elevación de la estación terrena (grados sobre el horizonte) Distancia entre la estación terrena de telemando y el satélite (m) Pérdidas de dispersión (dB) Pérdidas debidas a los efectos atmosféricos (dB) Pérdidas adicionales del sistema (dB) dfp del canal de telemando en el enlace ascendente (dB(W/m ²)) dfp en el umbral del telemando del vehículo espacial (dB(W/m ²)) Margen del telemando (dB) Disponibilidad del canal de telemando (%)	68,00 50,19 37 066 125,27 162,37 0,00 1,00 -94,37 -105,00 10,63 99,97650	77,57 42,54 37 588 473,28 162,49 0,00 1,00 -84,92 -97,00 12,08 99,99856	78,00 32,81 38 365 626,21 162,67 0,00 1,00 -84,67 -108,00 23,33 99,99597	85,90 27,33 38 853 188,51 162,78 0,00 1,00 -76,88 -87,00 10,12 99,99432	84,70 25,13 39 057 710,39 162,83 0,00 1,00 -78,13 -87,00 8,87 99,99090

NOTA 1 – Todos los valores del umbral de telemando del vehículo espacial son valores especificados.

CUADRO 7

Disponibilidad del telemando en modo de emergencia

Vehículo espacial: Nombre Vehículo espacial: Emplazamiento orbital (° Elevación)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Información de la señal de telemando</i>					
Vehículo espacial: Frecuencia de telemando (GHz) Vehículo espacial: Polarización del telemando (vertical, horizontal, dextrógira, levógira) Vehículo espacial: Modo operacional (modo en estación o modo de emergencia, o ambos)	14,0-14,5 VERTICAL EMERGENCIA	13,5-14,0 VERTICAL EMERGENCIA	13,5-14,0 HORIZONTAL EMERGENCIA	13,5-14,0 DEXTRÓGIRA EN ESTACIÓN	13,5-14,0 DEXTRÓGIRA EMERGENCIA
<i>Información del telemando del vehículo espacial</i>					
Vehículo espacial: Descripción del diagrama de la antena de recepción de telemando (global o no global) Vehículo espacial: dfp en recepción en el umbral del telemando procedente de la dirección del emplazamiento de la estación terrena de telemando (dB(W/m ²))	GLOBAL -105,00	GLOBAL -78,00	GLOBAL -108,00	GLOBAL -82,00	GLOBAL -82,00
<i>Información de la estación terrena de telemando</i>					
Estación terrena de telemando: Identificador del emplazamiento Estación terrena de telemando: Altitud del emplazamiento (metros sobre el nivel medio del mar) Estación terrena de telemando: Tamaño de la antena transmisora (m) Estación terrena de telemando: Ganancia máxima de la antena de transmisión (dBi) Estación terrena de telemando: p.i.r.e. máxima disponible (dBW) Estación terrena de telemando: p.i.r.e. (dBW) Estación terrena de telemando: Intensidad de la lluvia en el emplazamiento para el 0,01% de un año medio (mm/h)	ATLANTA, GA 236,22 9,30 61,26 86,00 68,00 80,00	FILMORE, CA 306,00 6,10 56,80 85,00 77,57 25,00	ATLANTA, GA 236,22 13,00 63,80 89,50 78,00 80,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 85,90 25,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 84,70 25,00
<i>Balance del enlace</i>					
p.i.r.e. del enlace ascendente procedente de la estación terrena de telemando (dBW) Ángulo de elevación de la estación terrena (grados sobre el horizonte) Distancia entre la estación terrena de telemando y el satélite (m) Pérdidas de dispersión (dB) Pérdidas debidas a los efectos atmosféricos (dB) Pérdidas adicionales del sistema (dB) dfp del canal de telemando en el enlace ascendente (dB(W/m ²)) dfp en el umbral del telemando del vehículo espacial (dB(W/m ²)) Margen del telemando (dB) Disponibilidad del canal de telemando (%)	86,00 50,19 37 066 125,27 162,37 0,00 1,00 -76,37 -105,00 28,63 99,99884	85,00 42,54 37 588 473,28 162,49 0,00 1,00 -77,49 -78,00 0,51 99,19300	89,50 32,81 38 365 626,21 162,67 0,00 1,00 -73,17 -108,00 34,83 99,99915	85,90 27,33 38 853 188,51 162,78 0,00 1,00 -76,88 -82,00 5,12 99,97633	84,70 25,13 39 057 710,39 162,83 0,00 1,00 -78,13 -82,00 3,87 99,95327

NOTA – Todos los valores del umbral de telemando del vehículo espacial son valores especificados.

CUADRO 8

Disponibilidad de la teled medida en modo normal (en estación)

Vehículo espacial: Nombre Vehículo espacial: Emplazamiento orbital (° Elevación)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Información de la señal de teled medida</i>					
Vehículo espacial: Frecuencia de la teled medida (GHz) Vehículo espacial: Polarización de la teled medida (vertical, horizontal, dextrógira, levógira) Vehículo espacial: Modo operacional (modo en estación o modo de emergencia, o ambos) Vehículo espacial: Modo de teled medida (teled medida en modo normal o secundario, o ambos)	11,7-12,2 VERTICAL NORMAL AMBOS	11,45-11,7 DEXTRÓGIRA NORMAL AMBOS	11,45-11,7 VERTICAL NORMAL AMBOS	11,45-11,7 HORIZONTAL NORMAL AMBOS	12,5-12,75 HORIZONTAL NORMAL AMBOS
<i>Información de teled medida del vehículo espacial</i>					
Vehículo espacial: Descripción del diagrama de la antena de teled medida (global o no global) Vehículo espacial: p.i.r.e. del canal de teled medida del enlace descendente hacia la estación terrena receptora (dBW)	GLOBAL 5,00	GLOBAL 10,00	GLOBAL 11,26	GLOBAL 12,50	GLOBAL 12,50
<i>Información de la estación terrena de teled medida</i>					
Estación terrena de teled medida: Identificador del emplazamiento Estación terrena de teled medida: Altitud del emplazamiento (m) Estación terrena de teled medida: Tamaño de la antena transmisora (m) Estación terrena de teled medida: Ganancia máxima de la antena de recepción (dBi) Estación terrena de teled medida: <i>G/T</i> (dB/K) Estación terrena de teled medida: <i>C/N₀</i> mínima requerida para la recepción de la teled medida del vehículo espacial (dB) Estación terrena de teled medida: Intensidad de la lluvia en el emplazamiento durante el 0,01% de un año medio (mm/h)	ATLANTA, GA 236,22 9,30 60,01 37,50 48,50 80,00	FILMORE, CA 306,00 6,10 55,30 34,00 48,50 25,00	ATLANTA, GA 236,22 13,00 62,20 40,40 48,50 80,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 60,00 38,50 48,50 25,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 60,00 38,50 48,50 25,00
<i>Balance del enlace</i>					
p.i.r.e. del enlace descendente en la dirección de la estación terrena (dBW) Ángulo de elevación de la estación terrena (grados sobre el horizonte) Distancia entre el satélite y la estación terrena receptora (m) Pérdidas de trayecto (dB) Pérdidas debidas a los efectos atmosféricos (dB) Pérdidas adicionales del sistema (dB) <i>G/T</i> de la estación terrena – Cielo despejado (dB/K) Degradación de la <i>G/T</i> de la estación terrena debida a la lluvia (dB) <i>G/T</i> de la estación terrena – Lluvia (dB/K) Constante de Boltzman <i>C/N₀</i> (dB) <i>C/N₀</i> requerida (dB) – @ 4 000 bit/s Margen Disponibilidad (%)	5,00 50,19 37 066 125,27 205,19 0,00 1,00 37,50 -3,48 34,02 -228,60 62,43 54,50 7,93 99,9846	10,00 42,54 37 588 473,28 205,13 0,00 1,00 34,00 -4,30 29,71 -228,60 63,18 54,50 8,68 99,9986	11,26 32,81 38 365 626,21 205,49 0,00 1,00 40,40 -4,31 36,09 -228,60 70,46 54,50 15,96 99,9962	12,50 27,33 38 853 188,51 205,41 0,00 1,00 38,50 -4,49 34,01 -228,60 69,70 54,50 15,20 99,9997	12,50 25,13 39 057 710,39 206,39 0,00 1,00 38,50 -4,47 34,04 -228,60 68,75 54,50 14,25 99,9990

NOTA 1 – Todos los valores de la p.i.r.e. de teled medida del vehículo espacial son valores previstos.

NOTA 2 – La *C/N₀* de la estación terrena corresponde a una velocidad binaria demodulada de 4 000 bit/s y a una tasa de errores binarios de 10⁻⁶.

CUADRO 9

Disponibilidad de la teledida en modo de emergencia

Vehículo espacial: Nombre Vehículo espacial: Emplazamiento orbital (° Elevación)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Información de la señal de teledida</i>					
Vehículo espacial: Frecuencia de teledida (GHz) Vehículo espacial: Polarización de la teledida (vertical, horizontal, dextrógira, levógira) Vehículo espacial: Modo operacional (modo en estación o modo de emergencia, o ambos) Vehículo espacial: Modo de teledida (teledida en modo normal o secundario, o ambos)	11,7-12,2 VERTICAL EMERGENCIA AMBOS	11,45-11,7 DEXTRÓGIRA EMERGENCIA AMBOS	11,45-11,7 VERTICAL EMERGENCIA AMBOS	11,45-11,7 HORIZONTAL EMERGENCIA AMBOS	12,5-12,75 HORIZONTAL EMERGENCIA AMBOS
<i>Información de teledida del vehículo espacial</i>					
Vehículo espacial: Descripción del diagrama de la antena de teledida (global o no global) Vehículo espacial: p.i.r.e. del canal de teledida del enlace descendente hacia la estación terrena receptora (dBW)	GLOBAL 5,00	GLOBAL 5,00	GLOBAL 6,73	GLOBAL 0,00	GLOBAL 0,00
<i>Información de la estación terrena de teledida</i>					
Estación terrena de teledida: Identificador del emplazamiento Estación terrena de teledida: Altitud del emplazamiento (m) Estación terrena de teledida: Tamaño de la antena transmisora (m) Estación terrena de teledida: Ganancia máxima de la antena de recepción (dBi) Estación terrena de teledida: G/T (dB/K) Estación terrena de teledida: C/N_0 mínima requerida para la recepción de la teledida del vehículo espacial (dB) Estación terrena de teledida: Intensidad de la lluvia en el emplazamiento para el 0,01% de un año medio (mm/h)	ATLANTA, GA 236,22 9,30 60,01 37,50 48,50 80,00	FILMORE, CA 306,00 6,10 55,30 34,00 48,50 25,00	ATLANTA, GA 236,22 13,00 62,20 40,40 48,50 80,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 60,00 38,50 48,50 25,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 60,00 38,50 48,50 25,00
<i>Balance del enlace</i>					
p.i.r.e. del enlace descendente en la dirección de la estación terrena de telemando (dBW) Ángulo de elevación de la estación terrena (grados sobre el horizonte) Distancia entre el satélite y la estación terrena receptora (m) Pérdidas de trayecto (dB) Pérdidas debidas a los efectos atmosféricos (dB) Pérdidas adicionales del sistema (dB) G/T de la estación terrena – Cielo despejado (dB/K) Degradación de la G/T de la estación terrena debida a la lluvia (dB) G/T de la estación terrena – Lluvia (dB/K) Constante de Boltzman C/N_0 (dB) C/N_0 requerida (dB) – @ 4 000 bit/s Margen Disponibilidad (%)	5,00 50,19 37 066 125,27 205,19 0,00 1,00 37,50 -3,48 34,02 -228,60 62,43 54,50 7,93 99,9846	5,00 42,54 37 588 473,28 205,13 0,00 1,00 34,00 -3,53 30,47 -228,60 58,95 54,50 4,45 99,9913	6,73 32,81 38 365 626,21 205,49 0,00 1,00 40,40 -4,18 36,22 -228,60 66,06 54,50 11,56 99,9905	0,00 27,33 38 853 188,51 205,41 0,00 1,00 38,50 -3,25 35,25 -228,60 58,44 54,50 3,94 99,9823	0,00 25,13 39 057 710,39 206,39 0,00 1,00 38,50 -2,97 35,53 -228,60 57,74 54,50 3,24 99,9526

NOTA 1 – Todos los valores de la p.i.r.e. de teledida del vehículo espacial son valores previstos.

NOTA 2 – La C/N_0 de la estación terrena corresponde a una velocidad binaria demodulada de 4 000 bit/s y a una tasa de errores binarios de 10^{-6} .

CUADRO 10
Disponibilidad del enlace de visión de la distancia

Vehículo espacial: Nombre Vehículo espacial: Emplazamiento orbital (° Elevación)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
Vehículo espacial: Modo operacional (modo normal en estación o modo de emergencia, o ambos)	EN ESTACIÓN	EN ESTACIÓN	EN ESTACIÓN	EN ESTACIÓN	EN ESTACIÓN
Disponibilidad del canal de telemando (%)	99,97650	99,99856	99,99597	99,99432	99,99090
Disponibilidad del canal de teled medida (%)	99,9846	99,9986	99,9962	99,9997	99,9990
Disponibilidad del canal de medida de la distancia (%)	99,96110	99,99716	99,99217	99,99402	99,98990
Vehículo espacial: Nombre Vehículo espacial: Emplazamiento orbital (° Elevación)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
Vehículo espacial: Modo operacional (modo normal en estación o modo de emergencia, o ambos)	EMERGENCIA	EMERGENCIA	EMERGENCIA	EMERGENCIA	EMERGENCIA
Disponibilidad del canal de telemando (%)	99,99884	99,19300	99,99915	99,97633	99,95327
Disponibilidad del canal de teled medida (%)	99,9846	99,9913	99,9905	99,9823	99,9526
Disponibilidad del canal de medida de la distancia (%)	99,98344	99,18437	99,98965	99,95863	99,90589

3.3 Limitaciones en el tamaño de la antena de telemando

A fin de asegurar un funcionamiento fiable de las operaciones de TT&C en la gama 14/11-12 GHz, el enlace ascendente de telemando hacia el vehículo espacial debe ser fiable y, en consecuencia, el receptor de telemando a bordo del vehículo espacial debe ser sensible y capaz de funcionar en una amplia gama dinámica, a fin de aceptar amplios márgenes de desvanecimiento debido a la lluvia en el enlace ascendente. Dichos receptores de telemando sensibles lo son también a la interferencia procedente de otras portadoras en la misma frecuencia que pueden dar lugar a instrucciones falsas en el receptor de TT&C a bordo del vehículo espacial. A fin de garantizar que la interferencia en el enlace ascendente y en el descendente procedente de portadoras de comunicación y telemando de redes de satélite adyacentes tenga una repercusión despreciable en la reducción del margen disponible contra el desvanecimiento, se utilizan normalmente antenas transmisoras de estación terrena grandes y muy direccionales para enviar una instrucción al vehículo espacial y recibir la telemada de éste. El factor más limitativo al determinar el tamaño del diámetro de la antena de TT&C es la separación mínima entre satélites requerida para reutilizar la misma frecuencia de telemando en un vehículo espacial adyacente.

A fin de establecer un modelo de la situación de los satélites adyacentes que reutilizan la misma frecuencia para establecer el enlace ascendente de telemando, se considera la interferencia combinada procedente de estaciones terrenas de enlace ascendente que transmiten a las cuatro redes de satélite adyacente más próximas. Se calculó este nivel de interferencia y se comparó con el criterio de interferencia del receptor de telemando. Se suponía que todos los satélites estaban igualmente separados en un número entero múltiplo de 2° . Con esta hipótesis, los dos satélites más próximos están separados de φ° y los siguientes satélites más próximos están separados de $2\varphi^\circ$ de la red de satélite deseada. Dado un nivel de sensibilidad a la interferencia del receptor de telemando del satélite de $-125 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ más 1 dB de margen adicional para el sistema analizado, el tamaño de la antena de la estación terrena de telemando se varió en incrementos de unos 2 m a partir de un mínimo de 9 m y hasta un máximo de 15 m, a fin de evaluar el efecto del diámetro de la antena en la separación entre los satélites con la misma frecuencia.

El Cuadro 11 da la separación orbital resultante en función del diámetro de la antena de enlace ascendente. Como cabía prever, los resultados muestran que a medida que aumenta el diámetro de la antena de enlace ascendente desde 9 m a 15 m, la separación entre satélites puede disminuirse desde 12° a 8° . En el caso de una red de satélite con un criterio de interferencia del receptor de telemando muy sensible, la separación del satélite se rige por la protección del receptor de telemando. Dado que la relación C/I en el enlace ascendente y en el descendente para enlaces ascendentes de telemando y descendentes de telemada típicos resultantes de la separación son superiores a 50 dB, la componente de interferencia del satélite adyacente en el ruido total del enlace ascendente de telemando es despreciable, y por dicho motivo, no se consideró la interferencia del satélite adyacente en el cálculo de la disponibilidad para el enlace ascendente de telemando o la disponibilidad para el enlace descendente de telemada.

Los operadores que utilicen antenas más grandes podrán reducir la separación orbital entre sus satélites que puedan emplear la misma frecuencia de telemando. Además, algunos receptores de telemando tienen requisitos de protección más suaves y de esta manera pueden reutilizar las frecuencias con una separación entre satélites reducida.

A pesar de utilizar un criterio de interferencia combinada de $-125 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, este nivel no impedirá el funcionamiento en la misma frecuencia de portadoras digitales de enlace ascendente en el satélite adyacente que pudieran traducirse en requisitos menores de separación entre satélite a los del caso en que el enlace ascendente de telemando se coordine con una portadora similar.

CUADRO 11

Ejemplo de separación orbital mínima requerida para satélites adyacentes que utilizan la misma frecuencia de telemando en el enlace ascendente en función del diámetro de la antena, para 14 GHz

Diámetro de la antena del enlace ascendente de telemando (m)	9	11,3	13	15
Ganancia de la antena del enlace ascendente (dBi)	60,19	62,17	63,38	64,63
Separación orbital, X (grados)	12	10	10	8
C/I procedente de la combinación de los cuatro satélites más próximos (dB)	52,41	52,39	53,61	52,41
dfp combinada en el satélite deseado procedente de los cuatro satélites interferentes más próximos $dB(W/m^2)$	-126,1	-126,1	-127,3	-126,1

NOTA 1 – Se supone que cada red de satélite utiliza parámetros homogéneos de estación terrena. Se supone que cada estación terrena transmite con una p.i.r.e. del enlace ascendente de telemando de 89 dBW en la misma frecuencia y que la anchura de banda ocupada de cada portadora de telemando es la misma.

NOTA 2 – Se supone que los diámetros de la antena del enlace ascendente son los mismos para cada red de satélite. La envolvente del diagrama de radiación para los ángulos de interés de cada antena de estación terrena transmisora era:

$$\begin{array}{llll}
 29 - 25 \log(\varphi) & \text{dBi} & \text{para} & 2^\circ < \varphi \leq 7^\circ \\
 7,9 & \text{dBi} & \text{para} & 7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ \\
 32 - 25 \log(\varphi) & \text{dBi} & \text{para} & 9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ
 \end{array}$$

donde φ es el ángulo de separación topocéntrico a partir del satélite interferente.

3.4 Comparación de las disponibilidades del sistema de TT&C para redes del SFS por encima y por debajo de 17 GHz

Se realizó un análisis de sensibilidad de los enlaces ascendentes de telemando y descendentes de teledida del sistema de TT&C en las bandas de 30/20 GHz y 50/40 GHz, utilizando el diseño del enlace de TT&C en la banda 14/12 GHz como objetivo de calidad básico. El Cuadro 12 da una relación de los parámetros básicos del sistema para las tres bandas de frecuencias diferentes, junto con sus enlaces asociados de telemando y teledida. Véase que la utilización de los diferentes parámetros supuestos para los enlaces en las bandas de 30/20 GHz y de 50/40 GHz puede producir resultados distintos que los obtenidos en este análisis. Los niveles de potencia del transmisor, las ganancias de antena de estación terrena, las temperaturas de ruido de estación terrena y de estación espacial para las bandas de 30/20 GHz y de 50/40 GHz y las ganancias de antena del satélite se basaron en valores típicos o representativos tomados de la información disponible. Para todos los tipos, las estaciones terrenas de TT&C estaban situadas en 44,2° N, 80,9° W.

CUADRO 12

Parámetros del sistema de red de satélite

Banda de frecuencias	(GHz)	50/40	30/20	14/12
Vehículo espacial: posición orbital	(grados E)	-107,3	-107,3	-107,3
Ángulo de elevación de la estación terrena	(grados)	32,7	32,7	32,7
Índice de precipitación en la estación terrena rebasado durante el 0,01% del año	(mm/h)	35,7	35,7	35,7
Altura del emplazamiento de la estación terrena sobre el nivel medio del mar	(km)	0,3	0,3	0,3
<i>Balance del enlace ascendente</i>				
Frecuencia del enlace ascendente	(GHz)	50,0	30,0	14,0
Polaridad del enlace ascendente		C	C	C
Diámetro de la antena de la estación terrena	(m)	2,4	6,3	9,0
Ganancia de la antena de la estación terrena	(dBi)	60,1	64,0	60,5
p.i.r.e. de la estación terrena	(dBW)	77,0	91,8	89,0
Absorción atmosférica	(dB)	4,4	1,6	0,4
Error de puntería de la estación terrena	(dB)	0,2	0,4	0,1
Anchura de banda del enlace ascendente	(kHz)	1 300,0	1300,0	1 300,0
C/N térmica en el enlace ascendente (cielo despejado nominal)	(dB)	44,2	60,5	55,2
<i>Niveles operativos nominales en el enlace ascendente</i>				
Potencia en la recepción del enlace ascendente en el vehículo espacial	(dBW)	-99,3	-99,3	-99,3
Umbral de la dfp en el enlace ascendente en el vehículo espacial	(dB(W/m ²))	-96,2	-94,8	-90,0
dfp en el enlace ascendente (cielo despejado nominal)	(dB(W/m ²))	-90,2	-72,9	-74,2
Margen del alcance en el enlace ascendente	(dB)	6,0	21,9	15,8
Disponibilidad del alcance en el enlace ascendente	(%)	98,476	99,965	99,998
<i>Balance del enlace descendente</i>				
Frecuencia del enlace descendente	(GHz)	40,0	20,2	11,7
Polaridad del enlace descendente		C	C	C
Diámetro de la antena de la estación terrena	(m)	2,4	6,3	9,0
Ganancia de la antena de la estación terrena	(dBi)	58,1	60,6	58,9
<i>Niveles operativos nominales en cielo despejado</i>				
Temperatura de ruido del amplificador de bajo nivel de ruido de la estación terrena	(K)	300,0	200,0	160,0
Temperatura de ruido del sistema de la estación terrena	(K)	447,7	367,8	242,1
G/T de la estación terrena (cielo despejado)	(dB/K)	31,6	34,9	35,1
Anchura de banda del enlace descendente	(kHz)	300,0	300,0	300,0
C/N térmica del enlace descendente (cielo despejado nominal)	(dB)	19,7	22,4	18,0
Umbral de la C/N	(dB)	5,0	5,0	3,3
<i>Parámetros del vehículo espacial</i>				
p.i.r.e. del vehículo espacial	(dBW)	32,4	26,5	15,0
Ganancia de la antena de transmisión del vehículo espacial	(dBi)	52,4	46,5	35,3
Potencia de transmisión del vehículo espacial	(dBW)	-20,0	-20,0	-20,3
G/T del vehículo espacial (cielo despejado)	(dB/K)	22,4	17,0	6,5
<i>Degradaciones en el enlace descendente debidas a la lluvia</i>				
Absorción atmosférica	(dB)	1,8	2,4	0,2
Pérdidas del sistema alimentador	(dB)	1,0	1,0	1,0
Error de puntería de la estación terrena	(dB)	0,1	0,2	0,1
Desvanecimiento debido a la lluvia A1(p1)	(dB)	13,7	16,3	12,4
Degradación térmica de la C/N	(dB)	1,0	1,0	2,4
Margen del enlace descendente	(dB)	14,7	17,4	14,8
Disponibilidad del enlace descendente	(%)	99,771	99,987	99,999

En el enlace ascendente, se utilizó el «umbral» de la dfp de referencia de la red de satélite en la banda de 14/12 GHz para calcular el nivel de la potencia recibida a la entrada del receptor de telemando a bordo del vehículo espacial. Este nivel de potencia recibida es el mínimo necesario para las operaciones nominales. El nivel «umbral» de la dfp en la banda 14/12 GHz era de $-90 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$.

Se realizó un análisis de sensibilidad en la banda de 14/12 GHz para mostrar el efecto del emplazamiento de la estación terrena de TT&C (ángulos de elevación e índice de lluvia) en la calidad lograda para enlaces descendentes de telemando y enlaces descendentes de teledida. Sobre la base de los enlaces típicos en la banda de 14/12 GHz, las disponibilidades obtenidas en los enlaces ascendentes de telemando y en los enlaces descendentes de teledida para satélites son generalmente del orden de 99,98%. Esta disponibilidad, lograda en el funcionamiento normal, se utilizó como guía para determinar los niveles o la calidad que pueden lograrse en otras bandas de frecuencia, tales como la de 30/20 GHz y la de 50/40 GHz. Véase que en el análisis de sensibilidad sólo se considera el modo de funcionamiento «normal».

A fin de lograr un método válido de comparación entre datos, se utilizó una latitud constante de 18° N . Esta latitud ofrece una gama amplia de índices de precipitación a lo largo de un intervalo mínimo de longitud, comprendido entre -20° W y -70° W . Se eligió también ésta porque exige la interpolación mínima de los coeficientes digitalizados necesarios para los cálculos de índice de precipitación, altura de la lluvia y absorción atmosférica a los que se hace referencia en las Recomendaciones UIT-R P.837, UIT-R P.839 y UIT-R P.676, respectivamente.

En general, cuando el índice de precipitación local aumenta para un ángulo de elevación determinado, la disponibilidad disminuye. La disponibilidad de las operaciones de TT&C para un índice de precipitación determinado disminuye también al disminuir el ángulo de elevación. En este ejemplo, se consideró un índice de precipitación máximo de 100 mm/h. La Fig. 2 muestra el ángulo de elevación mínimo requerido en función de diversas intensidades de lluvia para lograr una disponibilidad del 99,98%. La Fig. 3 muestra los índices de precipitación máximos permitidos al variar los ángulos de elevación, necesarios para lograr una disponibilidad del 99,98%. Estas cifras muestran datos para las bandas de frecuencias de 14/12 GHz y 30/20 GHz. No se indican datos para la banda de 50/40 GHz, pues no podía lograrse la disponibilidad del 99,98% con ninguna combinación de índice de precipitación y elevación.

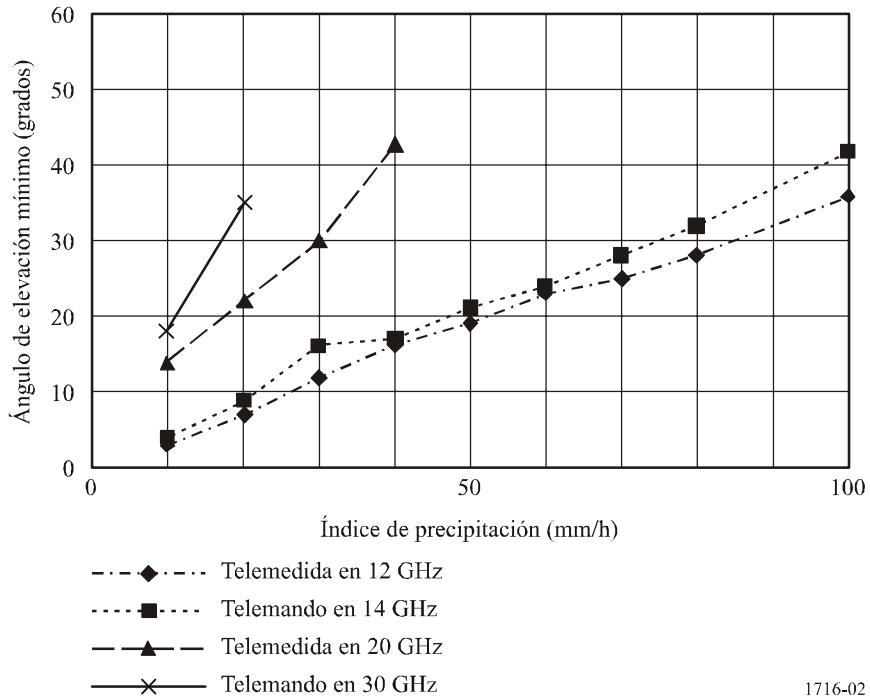
4 Objetivos en cuanto a disponibilidad de la función TT&C de una red del SFS en 30/20 GHz

Una red nacional del SFS en 30/20 GHz ha notificado sus portadoras de telemando en el enlace ascendente de TT&C para funcionamiento en el extremo inferior de la banda 29,5-30 GHz y se han diseñado sus enlaces para obtener un objetivo de disponibilidad comprendido entre 99,98 y 99,95% en condiciones de funcionamiento normal o en estación, dependiendo de la configuración de la antena de recepción del satélite, y de 99,97% durante el funcionamiento en órbita de transferencia.

Las portadoras del enlace descendente de teledida están también situadas en el extremo inferior de la banda 19,7-20,2 GHz con un objetivo de disponibilidad del 99,95% durante el funcionamiento normal o en estación y un objetivo de disponibilidad del 99,9% durante la órbita de transferencia. El objetivo en cuanto a la BER del demodulador de los datos en la estación terrena de recepción de TT&C era de 1×10^{-6} .

FIGURA 2

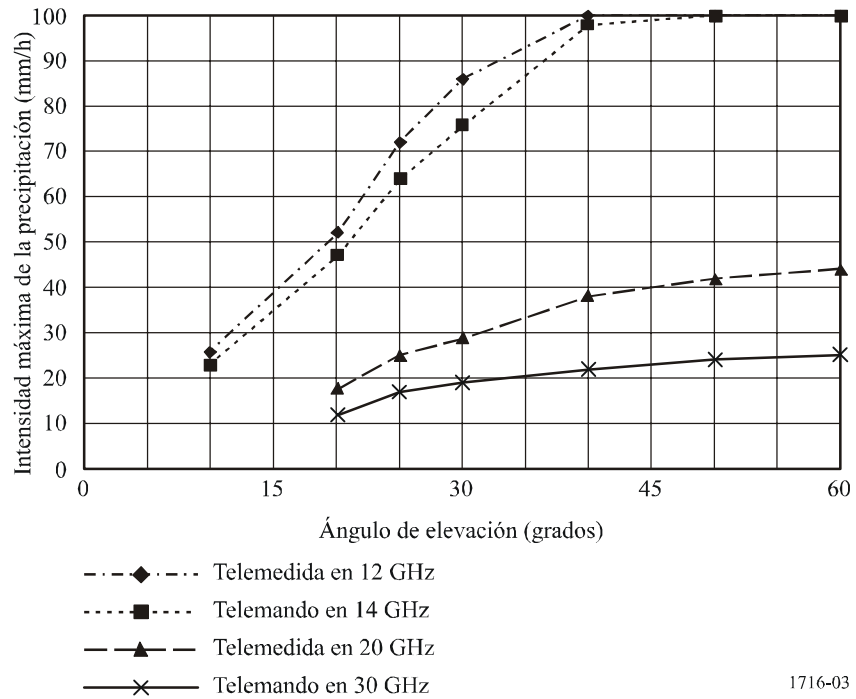
Ángulo de elevación mínimo que permite lograr una disponibilidad del 99,98% en función del índice de precipitación



1716-02

FIGURA 3

Índice de precipitación máxima que permite lograr una disponibilidad del 99,98% en función del ángulo de elevación



1716-03

5 Resumen

En los puntos anteriores se han presentado datos típicos de calidad de la función TT&C. Tras examinar los datos, queda claro que la disponibilidad del enlace varía en una amplia gama, siendo en general la disponibilidad del enlace de telemando inferior a la del enlace de teledistancia. No obstante, debe tenerse presente que en la mayoría de los vehículos espaciales modernos, el tren de teledistancia suele ser continuo. En el enlace de telemando, el operador no da un tren continuo de instrucciones al vehículo espacial y, en consecuencia, el operador guarda el control durante los periodos y el número de veces en los que se envía una instrucción. Cabe prever que las señales medias de teledistancia, telemando y medida de la distancia tienen una fiabilidad, en la práctica, muy superior a los valores de disponibilidad que se enumeran en los Cuadros 6 y 7.

Comparando la calidad y las disponibilidades de los sistemas de TT&C que funcionan en las bandas de 30/20 GHz y 50/40 GHz, con parámetros de diseño del enlace de TT&C similares a los de las bandas 14/11-12 GHz, se demuestra que la calidad de los enlaces de TT&C por encima de 17 GHz queda limitada por una serie de factores.

Además, en la Carta Circular CA/99 de la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) se solicitaba a las administraciones y a los Miembros de Sector que facilitasen características técnicas y operacionales de sus sistemas de TT&C del SFS. La BR ha creado un banco de datos en el sitio de la UIT en la Red: <http://web.itu.ch/brsg/srg4/info/wp4b/index.html>. El Cuadro 13 ofrece un análisis resumido de los datos recopilados en respuesta a la Carta Circular CA/99 de la BR.

CUADRO 13

Resumen de los datos de disponibilidad y de márgenes del enlace obtenidos de la Carta Circular CA/99 de la BR

Disponibilidad del enlace (%)	6/4 GHz			14/11 GHz			20 GHz		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
Medida de la distancia	99,7	99,998	99,76859	94,9981	99,9923	99,14992	99,42525	99,97716	99,70121
Teledistancia	99,7	99,999	99,80755	99,9	99,999	99,96253	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Telemando	99,7	99,999	99,83424	99,3403	99,99874	99,89163	99,9	99,99511	99,94756

Margen del enlace (dB)	6/4 GHz			14/11 GHz			20 GHz		
	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio	Mínima	Máxima	Promedio
Medida de la distancia	0,7	42,31633	13,07245	0,48482	30,9111	16,26529	1,306482	7,30482	4,305651
Teledistancia	0,5	39,45	24,40857	6	30,8	19,41385	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Telemando	0,5	24,5	7,307692	2,38	22,2	10,97929	13,7	19,6	16,65