

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2450-0
(06/2019)

Estudios de compartición y compatibilidad entre los servicios móvil terrestre, fijo y pasivos en la gama de frecuencias 275-450 GHz

Serie SM
Gestión del espectro



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de los Informes UIT-R

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

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

Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2020

© UIT 2020

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

INFORME UIT-R SM.2450-0

Estudios de compartición y compatibilidad entre los servicios móvil terrestre, fijo y pasivos en la gama de frecuencias 275-450 GHz

(2019)

Visión general

En el presente informe se proporcionan varios estudios para evaluar la compartición de frecuencias entre los servicios pasivos (SETS y SRA) y los servicios fijo y móvil terrestre en la gama 275-450 GHz¹. El objetivo de los estudios de compatibilidad, basados en la información técnica sobre las características del servicio móvil terrestre (SMT) y el servicio fijo (SF), disponible en los Informes UIT-R M.2417-0 y UIT-R F.2416-0, es identificar espectro que las aplicaciones del SMT y el SF puedan utilizar sin necesidad de establecer restricciones específicas para proteger las aplicaciones de los servicios pasivos (SRA y SETS (pasivo)). Las características del servicio pasivo se basan en los Informes UIT-R RA.2189 1 y UIT-R RS.2431-0.

Según se desprende de los resultados de la mayoría de los estudios, en las bandas 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz y 356-450 GHz no es necesario establecer condiciones específicas para proteger el SETS, en relación con los sistemas cuyo funcionamiento se rige por los parámetros que se proporcionan en los Informes del UIT-R referidos. Dichos estudios no tuvieron como objeto determinar condiciones (tales como límites de potencia, requisitos de protección y/o restricciones de ángulo de elevación) que pudieran facilitar la compartición con el SETS en otras bandas de frecuencias.

En los estudios de compatibilidad se llega a la conclusión de que la atenuación atmosférica independiente de las pérdidas en el espacio libre para la gama 275-450 GHz no basta para propiciar la compatibilidad entre las operaciones del SF y el SRA, a falta de otras consideraciones. A ese respecto, cabe tener en cuenta las distancias de separación y/o los ángulos de evitación entre las estaciones del SRA y las del SF, en función del entorno de implantación de las estaciones del SF.

¹ Si bien en el número **5.565** del RR se identifican asimismo varias bandas de frecuencias para aplicaciones del servicio de investigación espacial (pasivo), no se ha llevado a cabo ningún estudio al respecto.

ÍNDICE

Página

1	Introducción.....	6
	1.1 Enfoque.....	6
	1.2 Organización del informe	6
2	Recomendaciones e Informes del UIT-R conexos	7
3	Lista de acrónimos y abreviaturas	8
4	Información reglamentaria por encima de 275 GHz	9
5	Características de los sistemas.....	9
	5.1 Características de los sistemas de las aplicaciones del servicio móvil terrestre que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz	9
	5.1.1 Sistemas móviles de proximidad inmediata.....	9
	5.1.2 Comunicaciones entre dispositivos	13
	5.1.3 Enlaces inalámbricos en centros de datos	14
	5.2 Características de los sistemas de las aplicaciones del servicio fijo que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz	15
	5.2.1 Conexiones punto a punto frontales y con la red de retroceso.....	15
	5.3 Características de los sistemas del servicio de radioastronomía que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz	19
	5.4 Características de los sistemas del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz.....	23
6	Aspectos relativos a los estudios sobre compartición y compatibilidad	29
	6.1 SRA.....	29
	6.2 SETS (pasivo).....	31
7	Casos de interferencia de aplicaciones de los servicios móvil terrestre y fijo que funcionan en la banda 275-450 GHz a aplicaciones del servicio pasivo que utilizan el espectro identificado con arreglo al número 5.565 del RR	34
	7.1 Casos de interferencia de aplicaciones del SMT que funcionan en la banda 275-450 GHz al SETS (pasivo) y al SRA	34
	7.2 Casos de interferencia de las aplicaciones del SF que funcionan en la banda 275-450 GHz al SETS (pasivo) y al SRA	35

Página

8	Estudios sobre compartición y compatibilidad sobre el SETS (pasivo).....	36
8.1	Estudios sobre compartición y compatibilidad entre aplicaciones del SMT y aplicaciones del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo)	36
8.2	Estudios sobre compartición y compatibilidad entre aplicaciones del SF y aplicaciones del SETS (pasivo)	37
8.3	Resumen de los estudios sobre compartición y compatibilidad en relación con el SETS (pasivo).....	37
9	Estudios sobre compartición y compatibilidad relativos al SRA	38
9.1	Estudios sobre compartición y compatibilidad entre aplicaciones del SMT y el servicio de radioastronomía	38
9.2	Estudios sobre compartición entre las aplicaciones del SF y el servicio de radioastronomía	38
9.3	Resumen de los estudios sobre compartición y compatibilidad relativos al SRA	39
	Anexo 1	40
	Anexo 2 – Extrapelación de los valores de pérdidas por penetración en edificios y de pérdidas por ecos parásitos que figuran en las Recomendaciones UIT-R P.2108 y UIT-R P.2109 a los efectos de estudios de compartición y compatibilidad.....	42
	Anexo 3 – Resultados de la medición del diagrama de radiación de antena a 300 GHz.....	45
	Anexo 4 – Estudios de compartición entre aplicaciones del SMT y el SF y el servicio de exploración de la Tierra por satélite	47
	A4.1 Introducción.....	47
	A4.2 Estudio 1: Análisis estático entre el SF/SMT y el SETS (pasivo).....	47
	A4.2.1 Niveles máximos admisibles de emisión de una sola fuente de interferencia.....	47
	A4.2.2 Niveles máximos de emisión de una sola fuente de interferencia de sistemas del SF.....	51
	A4.2.3 Síntesis del estudio 1	51
	A4.3 Estudio 2: Evaluación de la interferencia del SF al SETS (pasivo)	52
	A4.3.1 Evaluación de una sola fuente de interferencia del SF al SETS (pasivo).....	52
	A4.3.2 Evaluación de la interferencia combinada del SF al SETS (pasivo)....	55
	A4.3.3 Resumen.....	58

A4.4	Estudio 3: Análisis de la compatibilidad entre el SETS (pasivo) y el SF/SMT en la gama de frecuencias 275-450 GHz	58
A4.4.1	Metodología de análisis.....	58
A4.4.2	Características de los sistemas del SETS (pasivo).....	59
A4.4.3	Características de las aplicaciones del SF y del SMT.....	62
A4.4.4	Resultados de las simulaciones	63
A4.4.5	Resumen del estudio 3	75
A4.5	Estudio 4: Análisis de la interferencia combinada sobre compartición entre estaciones del SF/SMT y el SETS (pasivo) en la gama 275-325 GHz.....	75
A4.5.1	Introducción	75
A4.5.2	Nivel de potencia recibida en el sensor pasivo del EESS	75
A4.5.3	Despliegue de CPMS	76
A4.5.4	Despliegue del SF	77
A4.5.5	Nivel de potencia recibida en los sensores del SETS (pasivo)	77
A4.5.6	Resumen del estudio 4	82
A4.6	Estudio 5: Análisis de compatibilidad entre el SETS (pasivo) y el SF en la gama de frecuencias 275-450 GHz (caso de interferencia combinada)	82
A4.6.1	Características del SETS (pasivo).....	82
A4.6.2	Características y despliegue del SF.....	83
A4.6.3	Máxima p.i.r.e. del SF en sentido al satélite del SETS (pasivo).....	85
A4.6.4	Estudios de compartición con sistemas específicos (ICI) del SETS (pasivo).....	90
A4.6.5	Análisis general relativo a todas las bandas del SETS (pasivo).....	91
A4.6.6	Resumen del estudio 5	99
A4.6.7	Anexo 1 del Estudio 5 – Metodología utilizada para obtener la cantidad de enlaces del SF para un despliegue basado en la población	100
Anexo 5 – Estudios de compartición entre las aplicaciones del SF y el servicio de radioastronomía		102
A5.1	Introducción	102

	<i>Página</i>
A5.2 Estudio 1: Compatibilidad entre el SRA y el funcionamiento del SF en la banda de espectro 275-450 GHz	102
A5.2.1 Hipótesis y parámetros geométricos	102
A5.2.2 Resultados	104
A5.2.3 Resumen.....	107
A5.3 Estudio 2: análisis de compatibilidad entre el SF y el SRA en la banda 275-325 GHz	108
A5.3.1 Emplazamientos del SRA	108
A5.3.2 Protección de las estaciones del SRA frente a las estaciones del SF que funcionan en la banda 275-350 GHz.....	109
A5.3.3 Resumen del estudio 2	111
A5.4 Estudio 3: protección de las estaciones del SRA frente a las estaciones del SF que funcionan en la banda 275-450 GHz	111

1 Introducción

En el marco del punto 1.15 del orden del día de la CMR-19 se pide la realización de estudios sobre identificación de bandas de frecuencias para su utilización por las administraciones para las aplicaciones de los servicios móvil terrestre y fijo que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz, de conformidad con la Resolución **767 (CMR-15)**. En virtud de la Resolución **767 (CMR-15)**, se invita al UIT-R a llevar a cabo estudios de compatibilidad entre las aplicaciones del servicio móvil terrestre (SMT) y del servicio fijo (SF) y las de los servicios pasivos cuyo funcionamiento está previsto en la gama de frecuencias 275-450 GHz, y a identificar posibles bandas de frecuencias para su utilización por sistemas de las aplicaciones del SMT y el SF, sin perjuicio de que se mantenga la protección de las aplicaciones de los servicios pasivos que se identifican en el número **5.565** del RR.

En el presente Informe se proporcionan los resultados de los estudios de compartición y compatibilidad entre las aplicaciones del SMT y del SF cuyo funcionamiento está previsto en la gama de frecuencias 275-450 GHz y las aplicaciones de servicios pasivos (servicio de radioastronomía y servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo)).

1.1 Enfoque

El enfoque adoptado en los citados estudios consiste en analizar la utilización de la banda de frecuencias 275-450 GHz, o de partes de esta, que podrían utilizarse para aplicaciones de los servicios móvil terrestre o fijo sin condiciones específicas, sobre la base de las características del sistema identificadas previamente.

1.2 Organización del informe

En los § 2 a 4 se proporciona información de base sobre Recomendaciones e Informes del UIT-R conexos, acrónimos y abreviaturas utilizados e información pertinente del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), respectivamente.

En el § 5 se resumen las características de las aplicaciones de los servicios móvil terrestre, fijo, de radioastronomía y de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) identificadas previamente.

En el § 6 se describen aspectos específicos sobre estudios de compartición y compatibilidad en relación con el SRA y el SETS (pasivo).

En el § 7 se describen las hipótesis en materia de interferencia que se tienen en cuenta en este Informe.

En los § 8 y 9 se sintetizan los resultados de los estudios de compartición y compatibilidad relacionados con el SETS (pasivo) y el SRA, respectivamente.

Los análisis pormenorizados se presentan en los Anexos del Informe, en particular:

- En el Anexo 1 se resumen las bandas de interés para el SETS (pasivo).
- En el Anexo 2 se evalúan el valor medio de las pérdidas por penetración en edificios y las pérdidas por ecos parásitos que se han tenido en cuenta.
- En el Anexo 3 se proporciona el diagrama de radiación de antena utilizado en determinados estudios de los Anexos 4 y 5.
- En el Anexo 4 figuran los estudios de compartición entre las aplicaciones del SMT y del SF y las aplicaciones del servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS pasivo).
- En el Anexo 5 figuran los estudios de compartición entre las aplicaciones del SF y las del servicio de radioastronomía (SRA).

2 Recomendaciones e Informes del UIT-R conexos

Recomendación UIT-R F.699	Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas inalámbricos fijos para utilizarlos en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 100 MHz a 70 GHz
Recomendación UIT-R F.1245	Modelo matemático de diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas inalámbricos fijos punto a punto con visibilidad directa para aplicarlo en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz
Recomendación UIT-R P.452	Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,1 GHz
Recomendación UIT-R P.525	Cálculo de la atenuación en el espacio libre
Recomendación UIT-R P.619	Datos de propagación necesarios para evaluar la interferencia, en su caso, entre estaciones en el espacio y estaciones sobre la superficie de la Tierra
Recomendación UIT-R P.676	Atenuación debida a los gases atmosféricos
Recomendación UIT-R P.840	Atenuación debida a las nubes y a la niebla
Recomendación UIT-R P.2108	Predicción de las pérdidas debidas a ecos parásitos
Recomendación UIT-R P.2109	Predicción de las pérdidas por penetración en edificios
Recomendación UIT-R RA.314	Bandas de frecuencias idóneas para mediciones de radioastronomía. Ello permite asignar las frecuencias de las rayas espectrales de mayor importancia a servicios de radioastronomía en la banda 275-450 GHz. A tal efecto, las rayas espectrales del monóxido de carbono (CO) de 345,777 GHz y 330,588 GHz revisten suma importancia para la radioastronomía
Recomendación UIT-R RA.769	Criterios de protección utilizados para las mediciones radioastronómicas
Recomendación UIT-R RA.1031	Protección del servicio de radioastronomía en las bandas de frecuencias compartidas con otros servicios
Recomendación UIT-R RA.1272	Protección de las mediciones radioastronómicas por encima de 60 GHz frente a la interferencia provocada por equipos situados en tierra
Recomendación UIT-R RA.1513	Niveles de las pérdidas de datos en las observaciones de radioastronomía y criterios sobre el porcentaje de tiempo como resultado de la degradación causada por la interferencia en las bandas de frecuencias atribuidas a título primario al servicio de radioastronomía

Recomendación UIT-R RS.1813	Diagrama de antena de referencia para sensores pasivos que funcionan en el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) que debe utilizarse en los análisis de compatibilidad en la gama de frecuencias 1,4-100 GHz
Recomendación UIT-R RS.2017	Criterios de calidad e interferencia para la teledetección pasiva por satélite
Informe UIT-R F.2239	Coexistencia entre el servicio fijo en las bandas de frecuencias 71-76 GHz, 81-86 GHz y 92-94 GHz y los servicios pasivos
Informe UIT-R F.2416	Características técnicas y operacionales y aplicaciones del servicio fijo que funcionan en la banda de frecuencias 275-450 GHz
Informe UIT-R M.2417	Características técnicas y operacionales y aplicaciones del servicio móvil terrestre que funcionan en la banda de frecuencias 275-450 GHz
Informe UIT-R RA.2189	Compartición entre el servicio de radioastronomía y servicios activos en la gama de frecuencias 275-3 000 GHz
Informe UIT-R RS.2194	Bandas pasivas de interés científico para el SETS y el SIE de 275 a 3 000 GHz
Informe UIT-R RS.2431	Características técnicas y operacionales de los sistemas del SETS (pasivo) en la gama de frecuencias 275-450 GHz
Informe UIT-R SM.2352	Tendencias tecnológicas de los servicios activos en la gama de frecuencias 275-3 000 GHz

3 Lista de acrónimos y abreviaturas

BBU	Unidad de banda de base (<i>base band unit</i>)
CPMS	Sistema móvil de proximidad inmediata (<i>close proximity mobile system</i>)
CPMS MT	Terminal móvil de sistema móvil de proximidad inmediata (<i>close proximity mobile system mobile terminal</i>)
CPMS FS	Estación fija de sistema móvil de proximidad inmediata (<i>close proximity mobile system fixed station</i>)
FS IFOV	Campo instantáneo de visión del servicio fijo (<i>fixed service instantaneous field of view</i>)
MIMO	Entradas múltiples, salidas múltiples (antena) (<i>multiple-input and multiple-output (antenna)</i>)
RRH	Cabecera de radiocomunicación distante (<i>remote radio head</i>)
SETS	Servicio de exploración de la Tierra por satélite
SMT	Servicio móvil terrestre
SRA	Servicio de radioastronomía

4 Información reglamentaria por encima de 275 GHz

En el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) no figura ninguna atribución de frecuencia por encima de 275 GHz.

Las bandas de frecuencias destinadas a aplicaciones del servicio pasivo se identifican en el número **5.565** del RR, como se señala a continuación:

5.565 Se han identificado las siguientes bandas de frecuencias en la gama 275-1 000 GHz para que las administraciones las utilicen en aplicaciones de servicios pasivos:

- Servicio de radioastronomía: 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz, 426-442 GHz, 453-510 GHz, 623-711 GHz, 795-909 GHz y 926-945 GHz.
- Servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) y servicio de investigación espacial (pasivo): 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz, 439-467 GHz, 477-502 GHz, 523-527 GHz, 538-581 GHz, 611-630 GHz, 634-654 GHz, 657-692 GHz, 713-718 GHz, 729-733 GHz, 750-754 GHz, 771-776 GHz, 823-846 GHz, 850-854 GHz, 857-862 GHz, 866-882 GHz, 905-928 GHz, 951-956 GHz, 968-973 GHz y 985-990 GHz.

La utilización de frecuencias de la gama 275-1 000 GHz por los servicios pasivos no excluye la utilización de esta gama por los servicios activos. Se insta a las administraciones que deseen poner a disposición las frecuencias en la gama 275-1 000 GHz para aplicaciones de los servicios activos a que adopten todas las medidas posibles para proteger los citados servicios pasivos contra la interferencia perjudicial hasta la fecha en que se establezca el Cuadro de atribución de frecuencias en la gama de frecuencias 275-1 000 GHz antes mencionada.

Todas las frecuencias en la gama 1 000-3 000 GHz pueden ser utilizadas por los servicios activos y pasivos. (CMR-12)

5 Características de los sistemas

5.1 Características de los sistemas de las aplicaciones del servicio móvil terrestre que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz

5.1.1 Sistemas móviles de proximidad inmediata

Los sistemas móviles de proximidad inmediata (CPMS) facilitan la transmisión de archivos de gran tamaño en pocos segundos. Cabe citar, en particular, los sistemas de quiosco o de venta de entradas, que pueden utilizarse para la compra de una película mediante descarga a través de un dispositivo móvil. Por lo general, dichos sistemas se conectan a redes alámbricas y suministran datos inalámbricos a dispositivos móviles en zonas públicas, tales como estaciones de tren o aeropuertos. La distancia entre el usuario y el terminal de compra de que se trate suele ser inferior a 10 cm.

En el Cuadro 1 se muestra la gama prevista de características técnicas y operacionales de los sistemas móviles de proximidad inmediata cuyo funcionamiento se prevé en las bandas 275-325 GHz y 275-450 GHz.

CUADRO 1

**Características técnicas y operacionales previstas para las aplicaciones CPMS
del servicio móvil terrestre en la gama de frecuencias 275-450 GHz**

Parámetros	Valores	
	Aplicación CPMS	Aplicación CPMS mejorada
Banda de frecuencias (GHz)	275-325	275-450
Densidad de despliegue ⁽¹⁾	0,6 dispositivos/km ²	0,6 dispositivos/km ²
Densidad de potencia de salida del transmisor (dBm/GHz)	-3,8...6,9	-10,1...6,7
Densidad máxima de p.i.r.e. (dBm/GHz)	26,2...36,9	19,9...36,7
Método dúplex	FDD/TDD	FDD/TDD
Modulación	OOK/MDP-2/MDP-4/ MAQ-16/MAQ-64 MDP-2-MDFO/ MDP-4-MDFO/ MAQ-16-MDFO/ MAQ-32-MDFO/ MAQ-64-MDFO	OOK/MDP-2/MDP-4/ MAQ-16/MAQ-64/ MDP-8/MDPA-8 MDP-2-MDFO/ MDP-4-MDFO/ MAQ-16-MDFO/ MAQ-32-MDFO/ MAQ-64-MDFO
Distancia media entre dispositivos CPMS fijos y móviles (m)	0,1	0,1
Distancia máxima entre dispositivos CPMS fijos y móviles (m)	1	1
Altura de la antena (m)	1...2	–
Anchura de haz de la antena (grados)	3...10	5...90
Elevación de la antena (grados)	±90	±90
Reutilización de frecuencias	1	1
Tipo de antena	Bocina	Bocina
Diagrama de antena	Gaussiano	Gaussiano
Polarización de antena	Lineal	Lineal
Despliegue de dispositivos CPMS fijos en interiores (%)	100	90
Pérdidas en el alimentador (dB)	2	2
Máxima potencia de salida del dispositivo CPMS fijo/móvil (dBm)	10	10
Ancho de banda de canal (GHz)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,8	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,84/69,12/103,68
Máscara espectral del transmisor	Véanse la Fig. 1 y el Cuadro 2	Véanse la Fig. 1 y el Cuadro 2
Máxima ganancia de antena del dispositivo CPMS fijo: (dBi)	30	30
Máxima ganancia de antena del dispositivo CPMS móvil: (dBi)	15	15

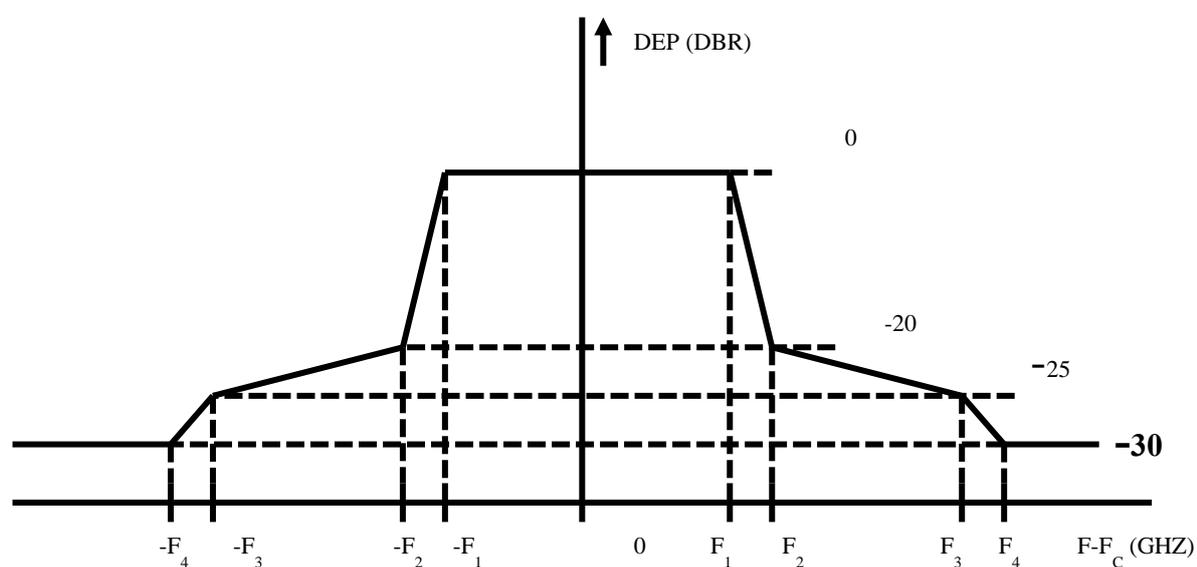
CUADRO 1 (fin)

Parámetros	Valores	
	Aplicación CPMS	Aplicación CPMS mejorada
Máxima potencia de salida del dispositivo CPMS fijo (p.i.r.e.) (dBm)	40	40
Máxima potencia de salida del dispositivo CPMS móvil (p.i.r.e.) (dBm)	25	25
Factor de actividad media (%)	0,76	0,2
Potencia media del dispositivo CPMS fijo (dBm (p.i.r.e.))	20	20
Factor de ruido típico del receptor (dB)	15	15

⁽¹⁾ A continuación se ofrece información pormenorizada sobre densidad de despliegue.

La siguiente máscara espectral, que se ajusta a la Norma 802.15.3d-2017 del IEEE, como se muestra en la Fig. 1 y en el Cuadro 2, es la utilizada en el estudio sobre CPMS.

FIGURA 1
Máscara espectral de transmisión genérica



CUADRO 2

Parámetros de la máscara espectral de transmisión

Ancho de banda de canal (GHz)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)	f_4 (GHz)
2,160	0,94	1,10	1,60	2,20
4,320	2,02	2,18	2,68	3,28
8,640	4,18	4,34	4,84	5,44
12,960	6,34	6,50	7,00	7,60
17,280	8,50	8,66	9,16	9,76
25,920	12,82	12,98	13,48	14,08
51,840	25,78	25,94	26,44	27,04
69,120	34,42	34,58	35,08	35,68

Densidad de despliegue y factor de actividad de estaciones CPMS (sistemas de descarga en quioscos)

El sistema de descarga en quioscos, que se despliega principalmente en interiores, se utilizará en estaciones, terminales de aeropuertos y tiendas multiservicio. Puesto que la cantidad de estaciones y aeropuertos es mucho menor que la de tiendas, la densidad de despliegue de terminales de quiosco en tiendas debería utilizarse en los estudios sobre compartición y compatibilidad, e ignorarse los despliegues en estaciones y aeropuertos. Si bien en Japón hay 55 129 tiendas multiservicio, 19 571 de ellas, a saber, el 35%, se sitúan en la zona Kanto, cuyo tamaño es 32 420 km², como se muestra en el Cuadro 3. En consecuencia, cabe concluir que la densidad de despliegue en Kanto es 0,6 tiendas/km² y en Tokio 3,28 tiendas/km², que es la máxima densidad de tiendas multiservicio en Japón.

En promedio, las principales tiendas multiservicio en Japón cuentan con unos 1 000 clientes diarios, pero las tiendas más concurridas, situadas cerca de estaciones de Tokio, poseen la mayor cantidad de clientes diarios, a saber, 2 000. A los efectos de cálculo del factor de actividad de las estaciones CPMS de quiosco, cabe realizar las hipótesis siguientes:

1	Cantidad promedio de clientes de tiendas multiservicio	1 000/día
2	Proporción de clientes que traen dispositivos CPMS	20%
3	Películas de 2 h. descargadas por cliente CPMS	2
4	Caudal de los dispositivos CPMS	6,9 Gb/s (véase el Cuadro 4)
5	Tiempo intrínseco de descarga por cliente	2,2 seg.
6	Tiempo total de descarga	440 seg.
7	Horario de abertura habitual de las tiendas	7 am – 11 pm (57 600 seg.)
8	Factor de actividad estimado por tienda	0,76%

CUADRO 3

Cantidad de tiendas multiservicio y de estaciones en la zona de Kanto

Zona metropolitana y prefectura	Tiendas multiservicio	Tamaño (km ²)
Tokio	7 183	2 190
Kanagawa	3 765	2 415
Saitama	2 833	3 797
Chiba	2 637	5 157
Ibaraki	1 315	6 096
Gunma	950	6 362
Tochigi	888	6 408
Zona de Kanto ⁽¹⁾	19 571	32 425

⁽¹⁾ Kanto es el nombre de la región que comprende la zona metropolitana de Tokio y las seis prefecturas anteriormente enumeradas.

CUADRO 4

Tiempo estimado de descarga de una revista y una película

Tipo de contenido	Tamaño de archivo (MB)	Tiempo de descarga (seg.)		
		Caudal: 4,6 Gb/s	Caudal: 6,9 Gb/s	Caudal: 66 Gb/s*
Revista	300	0,5	0,3	0,03
Película (2 horas) H.265 (Alta definición)	900	1,6	1,1	0,11

5.1.2 Comunicaciones entre dispositivos

En las comunicaciones entre dispositivos, los enlaces inalámbricos de alta velocidad en terahercios permiten conectar al menos dos PCB, o varios chips de la misma PCB de un dispositivo, con objeto de simplificar, en particular, el diseño de placa o el cableado entre módulos. Por lo general, esos dispositivos deberían contar con apantallamiento para evitar la entrada y salida de señales de THz. Al elaborar el presente informe no se disponía de información sobre el grado de apantallamiento y la proporción de dispositivos que tendrían que apantallarse. En futuros estudios se debería tener en cuenta esta información, de disponerse de la misma.

En el Cuadro 5 se enumeran los valores esperados de las características técnicas y operacionales de los enlaces inalámbricos en THz entre dispositivos cuyo funcionamiento se prevé en la banda 275-450 GHz. La máscara espectral y los parámetros de transmisión son los que se proporcionan para las aplicaciones CPMS en la Fig. 1 y el Cuadro 2.

CUADRO 5

**Características técnicas y operacionales previstas para enlaces inalámbricos en THz
entre dispositivos en la banda de frecuencias de 275-450 GHz**

Parámetro	Valor
Banda de frecuencias (GHz)	275-450
Densidad de despliegue	0,23/km ² ⁽¹⁾
Máxima potencia de salida del dispositivo (dBm)	10
Máxima potencia de salida del dispositivo (p.i.r.e.) (dBm)	30
Máxima densidad de potencia de salida del transmisor (dBm/GHz)	-10,1...6,7
Máxima densidad de p.i.r.e. (dBm/GHz)	19,9...36,7
Despliegue en interiores (%)	50
Método dúplex	TDD, FDD, SDD
Modulación	OOK/MDP-2/MDP-4/MAQ-16/MAQ-64 MDP-8/MDPA-8
Distancia máxima entre dispositivos	< 1 m
Altura de la antena (m)	1...3
Anchura de haz de la antena (grados)	15...180 (previsto)
Reutilización de frecuencias	1
Diagrama de antena	Gaussiano
Polarización de antena	Lineal
Ancho de banda de canal (GHz)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28// 25,92/51,84/69,12/103,68
Máxima ganancia de antena del dispositivo (dBi)	20
Ganancia de antena típica esperada del dispositivo (dBi)	6
Actividad máxima del dispositivo (%)	100
Factor de ruido típico del receptor (dB)	10 ⁽²⁾

⁽¹⁾ La densidad de despliegue se calcula como valor promedio con arreglo a la hipótesis de que un ciudadano de cada mil en Alemania utiliza un dispositivo de ese tipo. En ciudades muy pobladas, dicha densidad podría aumentar hasta 3,95/km², por ejemplo, con respecto a la misma hipótesis.

⁽²⁾ En diversas publicaciones se mencionan asimismo sistemas cuyo factor de ruido es 8 dB. Este valor corresponde al caso más desfavorable de los parámetros publicados.

5.1.3 Enlaces inalámbricos en centros de datos

La utilización de enlaces inalámbricos en centros de datos tiene por objeto proporcionar mayor flexibilidad mediante rutas reconfigurables para un centro de datos determinado, sin tener que volver a desplegar un gran cableado. En el Cuadro 6 se enumeran los valores previstos de las características técnicas y operacionales relativas a los enlaces inalámbricos para centros de datos que se prevé que funcionen en la banda 275-450 GHz. Esta aplicación se destina a uso exclusivamente en interiores. Sin embargo, no se conoce plenamente el grado de pérdidas de atenuación en edificios que se tendrá en cuenta en los estudios. Véase la información que figura en el Anexo 2 en lo que respecta a las pérdidas de atenuación en edificios.

Con objeto de lograr una velocidad de transmisión de datos de al menos 100 Gbit/s con modulación MDP-4 sin perjuicio de impedir la compatibilidad con enlaces Ethernet de 100 Gbit/s, es necesario un ancho de banda de 50 GHz. La máscara espectral y los parámetros de transmisión son los que se proporcionan para las aplicaciones CPMS en la Fig. 1 y el Cuadro 2.

CUADRO 6

Características técnicas y operacionales previstas para enlaces inalámbricos en centros de datos en la banda de frecuencias de 275-450 GHz

Parámetro	Valor
Banda de frecuencias (GHz)	275-450
Densidad de despliegue	0,07/km ²
Máxima potencia de salida del dispositivo (dBm)	10
Máxima potencia de salida del dispositivo (p.i.r.e.) (dBm)	40
Densidad de potencia de salida del transmisor (dBm/GHz)	-10,1...6,7
Densidad de p.i.r.e. (dBm/GHz)	9,9...26,7
Método dúplex	TDD, FDD, SDD
Modulación	OOK/MDP-2/MDP-4/MAQ-16/MAQ-64 MDP-8/MDPA-8
Distancia máxima entre dispositivos	100 m
Anchura de haz de la antena (grados)	< 25 (previsto)
Reutilización de frecuencias	1
Diagrama de antena	Gaussiano
Polarización de antena	Lineal
Despliegue en interiores (%)	100
Ancho de banda de canal (GHz)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,84/69,12/103,68
Máxima ganancia de antena del dispositivo (dBi)	30
Actividad máxima del dispositivo (%)	100
Factor de ruido típico del receptor (dB)	10

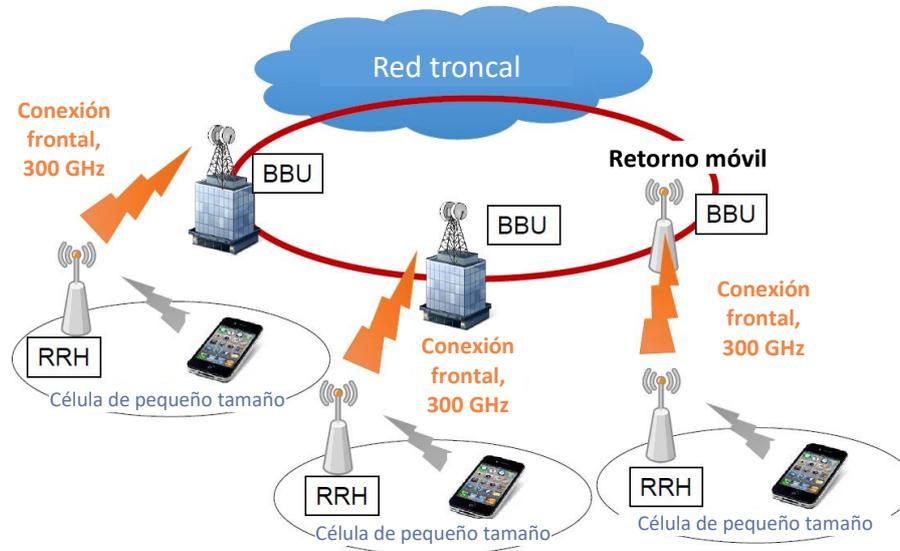
5.2 Características de los sistemas de las aplicaciones del servicio fijo que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz

5.2.1 Conexiones punto a punto frontales y con la red de retroceso

En la Fig. 2 se muestra la arquitectura de red de los sistemas móviles que permiten una transmisión de gran capacidad entre una estación base y un terminal móvil. Las conexiones frontales se establecen como conexiones de enlace entre la unidad de banda de base (BBU) de la estación base y la cabecera de radiocomunicación distante (RRH), al tiempo que el enlace con la red de retroceso se establece entre la estación base y los elementos de red de nivel superior. De conformidad con la Recomendación UIT-R M.2083 y el Informe UIT-R M.2376, las conexiones frontales y con la red de retroceso dificultan la adaptación al aumento del caudal de datos del tráfico de datos móviles que se produzcan en el futuro. Con objeto de alcanzar el valor de cresta de la velocidad de transmisión de datos de 10 a 20 Gb/s de los terminales móviles en una célula de pequeño tamaño, la capacidad de transmisión

de las conexiones frontales y con la red de retroceso puede superar ampliamente varias decenas de Gb/s.

FIGURA 2
Conexiones frontales y con la red de retroceso para su utilización en redes de sistemas móviles



La gama 275-450 GHz brinda la posibilidad de lograr un corto alcance, un gran ancho de banda y una elevada velocidad de transmisión de datos en sistemas inalámbricos que soportan terminales móviles.

Las características técnicas y operacionales que se proponen para conexiones punto a punto frontales y con la red de retroceso de sistemas fijos, cuyo funcionamiento está previsto en las bandas 275-325 GHz y 380-450 GHz, figuran en el Cuadro 7; a tal efecto, se realiza la hipótesis de que el análisis de la compartición pondrá de manifiesto que el SF puede coexistir con los servicios pasivos. La máscara espectral y los parámetros de transmisión son los que se proporcionan para las aplicaciones CPMS en la Fig. 1 y el Cuadro.

CUADRO 7

Características técnicas y operacionales de las aplicaciones del servicio fijo previstas

Banda de frecuencias (GHz)	275-325	380-445
Método dúplex	FDD/TDD	FDD/TDD NOTA: Son posibles otros métodos dúplex
Modulación	MDP-2/MDP-4/ MDP-8/MDPA-8 MAQ-16/MAQ-32/ MAQ-64 MDP-2 MDFO/ MDP-4-MDFD/ MAQ-16-MDFD/ MAQ-32-OFDM/ MAQ-64-OFDM	MDP-2/MDP-4/ MDP-8/MDPA-8/ MAQ-16/MAQ-32/ MDP-8/MDPA-8 MDP-2 MDFO/ MDP-4-MDFD/ MAQ-16-OFDM/ MAQ-32-OFDM
Ancho de banda de canal (GHz)	2.....25 (FDD) 2.....50 (TDD)	2.....32,5 (FDD) 2.....65 (TDD)

CUADRO 7 (*fin*)

Banda de frecuencias (GHz)	275-325	380-445
Máscara espectral	Véase § 5.1.1	Véase § 5.1.1
Gama de potencia de salida de transmisión (dBm)	0....20	-10....10
Gama de densidad de potencia de salida de transmisión (dBm/GHz)	-17.....17	-28....7
Gama de valores de pérdidas en el alimentador/multiplexor (dB)	0 ... 3	0 ... 3
Gama de valores de ganancia de antena (dBi)	24 ... 50	24 ... 50
Gama de valores de p.i.r.e. (dBm)	44.....70	37.....60
Gama de valores de densidad de p.i.r.e. (dBm/GHz)	30.....67	19.....57
Diagrama de antena	Rec. UIT-R F.699 (para una única fuente) Rec. UIT-R F.1245 (agregación)	Rec. UIT-R F.699 (para una única fuente) Rec. UIT-R F.1245 (agregación)
Tipo de antena	Reflector parabólico	Reflector parabólico
Altura de la antena (m)	6-25	10-25
Elevación de antena (grados)	±20 (valor típico)	±20 (valor típico)
Factor de ruido típico del receptor (dB)	15	15
Densidad de potencia de ruido típica del receptor (dBm/GHz)	-69	-69
Nivel de entrada normalizado del receptor para una BER de 1×10^{-6} (dBm/GHz)	-61 ... -54	-61 ... -54
Longitud del enlace (m)	100 ... 300	100 ... 300
Densidad de despliegue	Véase la información que se proporciona a continuación	Véase la información que se proporciona a continuación
Criterios de protección I/N	Rec. UIT-R F.758	Rec. UIT-R F.758

Determinación de los enlaces de máxima densidad del SF

De conformidad con la Recomendación UIT-R M.2101, el despliegue de redes de acceso radioeléctrico para las IMT puede realizarse con arreglo a cuatro tipos de emplazamiento de las estaciones base, a saber, rural, suburbano, urbano o en interiores. Los emplazamientos suburbano y urbano pueden clasificarse a su vez en macro o micro ubicaciones, con zonas de cobertura diferenciadas. Las zonas de cobertura relativa a las micro ubicaciones se incluyen en el área relativa a las macro ubicaciones.

Cabe prever que las aplicaciones de servicios fijos, en particular las conexiones frontales y con la red de retroceso, proporcionen un enlace de gran capacidad entre la BBU y la RRH. La ubicación de la BBU puede corresponder a la estación base macrocelular y la de la RRH a la estación base microcelular, tanto en zonas urbanas como suburbanas. Sin embargo, habida cuenta de la distancia entre estaciones base en zonas suburbanas, cabe esperar que los enlaces del servicio fijo que funcionan en la gama 275-450 GHz se utilicen únicamente en entornos urbanos, y que los demás enlaces se establezcan en otras bandas de RF ya atribuidas al servicio fijo.

Se realiza la hipótesis de que la densidad de EB en zonas urbanas es 30 EB/km² para cada gama de frecuencias prevista para las IMT-2020 (a saber, 24,25-33,4 GHz, 37-43,5 GHz, 45,5-52,6 GHz y 66-86 GHz)². El enlace del SF en la gama 275-450 GHz se utilizará para enlaces de capacidad muy elevada únicamente en zonas urbanas de alta densidad de población. Si bien el porcentaje de zonas urbanas de alta densidad de población por km² no se indica específicamente en ninguna publicación del UIT-R, cabe realizar la hipótesis de una proporción del 7% de EB en dichas zonas urbanas de alta densidad de población.

Con arreglo a esa hipótesis, la cantidad total de EB en el distrito metropolitano de Tokio se calcula por medio del 7% de 120 EB multiplicado por 619 km², es decir, 5 200, como se muestra en el Cuadro 8, para toda la banda 275-450 GHz. La otra gran ciudad de Japón también figura en el Cuadro 8. Este cálculo pone de manifiesto que cabe esperar una densidad de 8,4 enlaces del SF/km² en toda la gama 275-450 GHz, de ahí que se considere una densidad de 4,2 enlaces del SF/km² para las bandas 275-325 GHz y 380-445 GHz para la evaluación del efecto combinado de la emisión a través de los enlaces del SF.

Aunque esa hipótesis se refiera únicamente a algunas ciudades muy pobladas de Japón, se considera que la densidad de 4,2 enlaces del SF/km² es representativa a escala mundial. Otra forma de analizar la distribución de los enlaces del SF puede consistir en utilizar valores de densidad de población junto con la proporción anteriormente citada de 0,0007 enlaces/habitante (para toda la gama 275-450 GHz), es decir, una densidad de 0,00035 enlaces del SF/habitante en las bandas 275-325 GHz y 380-445 GHz.

CUADRO 8

**Determinación de los enlaces del SF en la gama 275-450 GHz
para varias ciudades de Japón de elevada población**

Ciudad	Tamaño (km ²)	Población (M)	Enlaces del SF	Enlaces del SF/km ² (¹)	Enlaces del SF/habitante
Distrito de Tokio	619	9,37	5 200	8,4	0,0006
Yokohama	437,4	3,73	3 674	8,4	0,0010
Osaka	223	2,70	1 873	8,4	0,0007
Nagoya	326,4	2,30	2 742	8,4	0,0012
Total	1 605,8	18,1	13 489	8,4	0,0007

(¹) La densidad de enlaces del SF se determina con arreglo a la condición de que las cuatro ondas milimétricas propuestas se regulen para su uso en los servicios de las IMT-2020.

Ángulos de elevación de antena

Cabe realizar la hipótesis de que la altura de las antenas de las estaciones base en zonas urbanas oscila entre 6 y 25 m. Los ángulos de elevación de antena se calculan con arreglo a la altura de la antena de las estaciones del SF y la distancia entre los enlaces del SF. Si bien se señala asimismo que la distancia entre estaciones de base en zonas urbanas de elevada densidad de población es 200 m, cabe suponer que a los efectos de cálculo del ángulo de elevación de antena se utiliza la gama de distancias 100-300 m.

² Véase el Documento 5-1/36, «Características de los sistemas terrenales de las IMT utilizados para la compartición de frecuencias y la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 24,25 GHz a 86 GHz».

Para la zona metropolitana de Tokio se considera que el ángulo de elevación es inferior a ± 12 grados, habida cuenta de los parámetros anteriormente citados y la desviación superficial relativa a la zona de Tokio.

Para tener en cuenta las zonas urbanas de todo el mundo, cabe considerar una elevación típica de ± 20 grados.

Disposición de canales y necesidades de espectro

Habida cuenta de las necesidades de espectro de los sistemas de las IMT en la gama de frecuencias de 24,5 GHz a 86 GHz, de uno de los estudios se desprende la necesidad de contar con 18,7 GHz de espectro, al tiempo que en otro estudio se señalan 27,4 GHz, incluido el sistema de puntos de acceso en interiores³.

Sobre la base de los resultados de esos estudios, un ancho de banda de canal de 24,5 GHz será suficiente para proporcionar un enlace de alta capacidad en conexiones frontales y con la red de retroceso en los sistemas de las IMT. Con requisitos análogos, un ancho de banda de alrededor de 25 GHz puede ser adecuada para los despliegues típicos iniciales.

A tenor de ese análisis, un ancho de banda de espectro íntegro a largo plazo de alrededor de 50 GHz será suficiente para soportar la evolución del tráfico de las IMT entre la BBU y la RRH. Las bandas de frecuencias 275-325 GHz y 380-445 GHz podrían utilizarse para aplicaciones que requieran aplicaciones frontales y con la red de retroceso. La banda 330-370 GHz también podría considerarse en un futuro, siempre y cuando se dispusiera de los parámetros correspondientes para la misma.

5.3 Características de los sistemas del servicio de radioastronomía que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz

En los Cuadros 9 y 10 se proporcionan valores umbral de interferencia para servicios de radioastronomía análogos a los que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769, pero con respecto a bandas de frecuencias de interés actual. Se proporciona valores únicamente por debajo y por encima de la gama 275-450 GHz a los efectos de interpolación. En el Cuadro 11 se especifica el emplazamiento de once estaciones de radioastronomía que llevan a cabo operaciones en la banda 275-450 GHz, y un sitio propuesto para realizar esas operaciones. La altitud media de estos emplazamientos es 3 500 m, y la mayor parte de los mismos se sitúa por encima de 4 000 m. Sus parámetros geográficos a escala local, entre otra información, figuran en el mapa mundial de radiotelescopios y zonas de silencio radioeléctrico del IUCAF en <http://tinyurl.com/yrvszk>.

³ Véase el Documento 5-1/36 «Declaración de coordinación al Grupo de Tareas Especiales 5/1 – Necesidades de espectro para la componente terrenal de las IMT en la gama de frecuencias 24,25-86 GHz».

CUADRO 9

Valores umbral de interferencia perjudicial a la observación radioastronómica del continuum

Frecuencia central ⁽¹⁾ f_c (MHz)	Hipótesis sobre ancho de banda Δf (MHz)	Temperatura de ruido mínima de la antena T_A (K)	Temperatura de ruido del receptor T_R (K)	Sensibilidad del sistema (fluctuaciones del ruido)		Valores umbral de interferencia		
				Temperatura ΔT (mK)	Densidad espectral de potencia, ΔP (dB(W/Hz))	Potencia de entrada ΔP_H (dBW)	dfp $S_H \Delta f$ (dB(W/m ²))	Densidad espectral de flujo de potencia (dfp) S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
265 000	8 000	20	75	0,024	-274,8	-185,8	-115,9	-214,9
345 000	8 000	30	100	0,032	-273,5	-184,5	-112,2	-211,3
405 000	8 000	60	215	0,069	-270,2	-181,2	-107,6	-206,6
432 000	8 000	73	275	0,087	-269,2	-180,2	-106,0	-205,0
500 000	8 000	110	385	0,124	-267,7	-178,6	-103,2	-202,2

CUADRO 10

Valores umbral de interferencia perjudicial a la observación radioastronómica de rayas espectrales

Frecuencia f (MHz)	Hipótesis sobre ancho de banda de canal de la raya espectral Δf (kHz)	Temperatura de ruido mínima de la antena T_A (K)	Temperatura de ruido del receptor T_R (K)	Sensibilidad del sistema (fluctuaciones del ruido)		Valores umbral de interferencia		
				Temperatura ΔT (mK)	Densidad espectral de potencia ΔP_S (dB(W/Hz))	Potencia de entrada ΔP_H (dBW)	dfp $S_H \Delta f$ (dB(W/m ²))	Densidad espectral de flujo de potencia (dfp) S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
265 000	1 000	20	75	2,12	-255,3	-205,3	-135,4	-195,4
345 000	1 000	30	100	2,91	-254,0	-204,0	-131,8	-191,8
405 000	1 000	60	215	6,15	-250,7	-200,7	-127,1	-187,1
432 000	1 000	73	275	7,78	-249,7	-199,7	-125,5	-185,5
500 000	1 000	110	385	11,07	-248,2	-198,2	-122,7	-182,7

CUADRO 11

Emplazamientos de radioastronomía que utilizan la gama de frecuencias 275-450 GHz

Región 1 del UIT-R

Nombre, lugar y administración del observatorio	Longitud (E), Latitud (N), Elevación (m, sobre el nivel medio del mar)	Elevación mínima (grados)	Altura del receptor (por encima del terreno): (m)	Características geográficas
IRAM-NOEMA agrupación de 12 telescopios de 15 m, Plateau de Bure, Francia	5,9079173°, 44,633889° (2553)	0	15	Planicie aislada en cima montañosa con vista parcial a instalaciones públicas
IRAM-30 m, Pico de Veleta, España	-3,392778°, 37,06611° (2850)	0	31	Ladera de montaña con vistas a una cercana estación de esquí y la ciudad de Granada

Región 2 del UIT-R

Nombre, lugar y administración del observatorio	Longitud (E), Latitud (N), Elevación (m, sobre el nivel medio del mar)	Elevación mínima (grados)	Altura del receptor (por encima del terreno) (m)	Características geográficas
LMT 50 m, Sierra Negra, Puebla, México	-97,313333°, 18,985000° (4660)	7	51	Cima montañosa con vistas a varias ciudades, a 15 km de la autopista México D.F.-Puebla-Veracruz
APEX 12 m – Experimento Pathfinder Atacama, Chajnantor, Chile	-67,75888°, -23,00583° (4850)	0	13	Amplia planicie elevada rodeada de montañas, accesible por carretera
ASTE 12 m – Experimento con telescopio submilimétrico en Atacama, Chajnantor, Chile	-67,7033°, -22,97158° (4775)	0	13	Amplia planicie elevada rodeada de montañas, accesible por carretera
ALMA, 54×12 m+12×7 m Chajnantor, Chile	-67,754928°, -23,022911° (4800)	0	13	Amplia planicie elevada rodeada de montañas, accesible por carretera, en zona circular de 35 km de diámetro con centro situado en las coordenadas que se proporcionan

CUADRO 11 (*fin*)

Nombre, lugar y administración del observatorio	Longitud (E), Latitud (N), Elevación (m, sobre el nivel medio del mar)	Elevación mínima (grados)	Altura del receptor (por encima del terreno): (m)	Características geográficas
NANTEN2 4 m, Pampa La Bola, Chile	-67,702222° -22,296306° (4750)	0	7	Amplia planicie elevada accesible por vía pública
ARO SMT 10 m, Mt. Graham, AZ, Estados Unidos	-109,89201° 32,701303° (3200)	7	11	Cima montañosa aislada y boscosa
JCMT 15 m, SMA 6×6 m & CSO 12 m; Mauna Kea, HI, Estados Unidos	-155,47500° 19,821667° (4300)	6	17	Cima montañosa muy elevada y aislada
Telescopio de 10 m en el Polo Sur, Estación de investigación del Polo Sur de la NSF -90° (2820)	0	8	Emplazamiento en el Polo Sur
Agrupación de telescopios Simons y Observatorio Simons, Chile	-67,7875°, -22,95861° (5200)	0	6	Amplia planicie elevada rodeada de montañas, accesible por carretera

Región 3 del UIT-R

Nombre, lugar y administración del observatorio	Longitud (E), Latitud (N), Elevación (m, sobre el nivel medio del mar)	Elevación mínima (grados)	Altura del receptor (por encima del terreno) (m)	Características geográficas
CCOSMA, 3m, Yangbajing, Tibet China	90,5258°, 30,1033° (4319)	0	4	Amplia planicie elevada rodeada de montañas, accesible por carretera
HEAT, 5m, Dome A, Polo sur, China (propuesta)	70,116111°, -80,416944° (4087)	0	6	Cima montañosa en una amplia y aislada llanura

FIGURA 3

Temperatura del sistema hacia el cenit y transmisión atmosférica en el observatorio ALMA

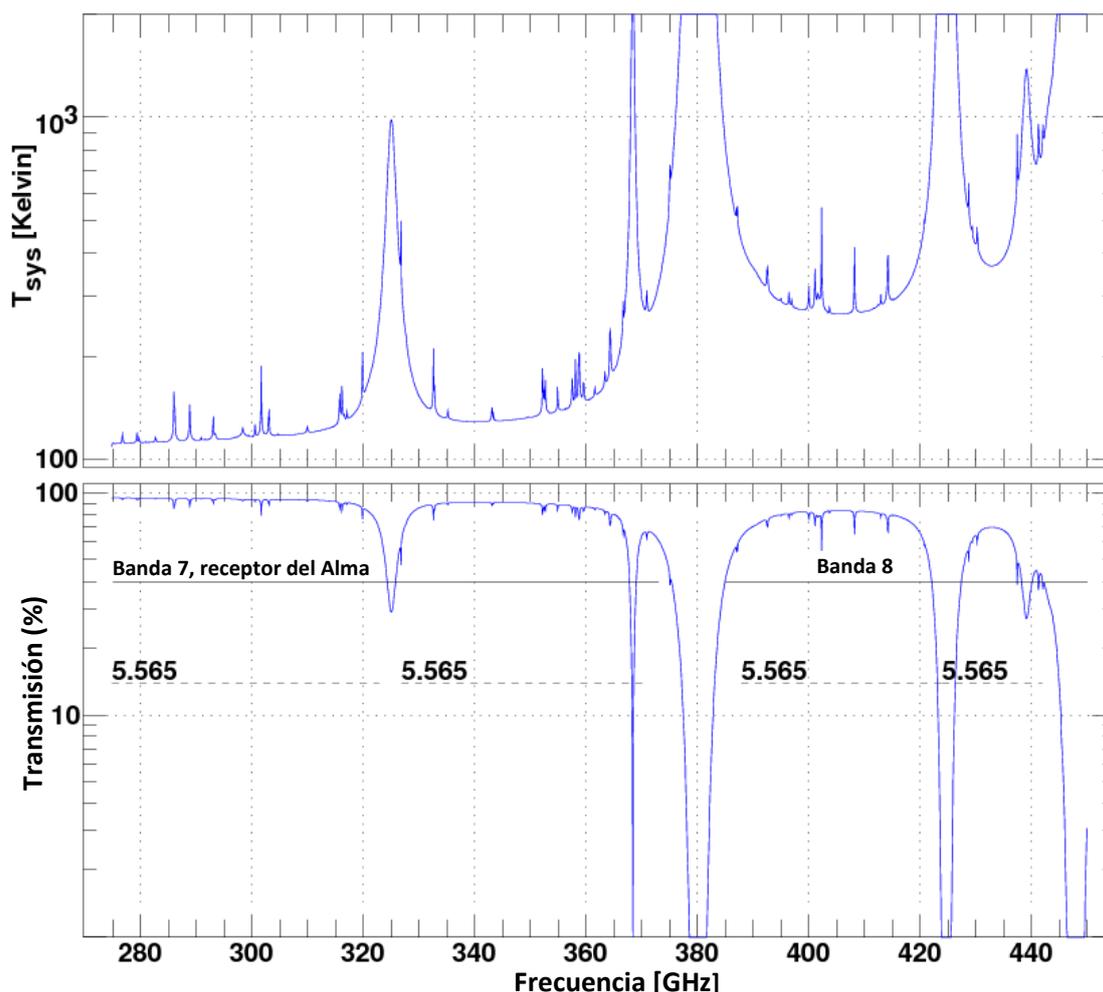


Gráfico superior: variación de la temperatura del sistema en el observatorio ALMA con respecto a la frecuencia, incluida la influencia del cielo, la atmósfera y el receptor. La temperatura del sistema que se representa en el gráfico se obtiene mediante la suma de los valores T_A y T_R de los Cuadros 1 y 2 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769, y corresponde al valor T en la ecuación (3) de la Recomendación UIT-R RA.769 ($T = T_A + T_R = T_{\text{sys}}$).

Gráfico inferior: transmisión atmosférica en función de la frecuencia. Se representan las gamas de sintonía de las bandas 7 y 8 del receptor Alma, así como las gamas de frecuencias que figuran en el número 5.565 del RR.

5.4 Características de los sistemas del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz

En el Anexo 1 al presente informe se enumeran las bandas de frecuencias de interés científico que se han identificado en la gama 275-450 GHz para estudios de meteorología o climatología y el análisis de la composición química de la atmósfera. Las actividades de detección en meteorología o en climatología se basan principalmente en las rayas de resonancia del vapor de agua y del oxígeno y las ventanas de frecuencia conexas, con objeto de obtener los parámetros físicos pertinentes, al tiempo que las actividades de detección de la composición química de la atmósfera permiten analizar la gran cantidad de rayas espectrales de menor tamaño de los componentes químicos de la atmósfera. En determinados casos, una molécula se detecta en varias bandas de frecuencias, en particular debido a

la sensibilidad de varias bandas de frecuencias con respecto a esa molécula específica a altitudes diferentes.

En la Recomendación UIT-R RS.2017 se proporcionan los niveles de interferencia admisibles para los sistemas de teledetección pasivos del SETS. El Cuadro 12 contiene un extracto de esa Recomendación que abarca la gama de frecuencias 275-450 GHz. Cabe señalar que los criterios de protección que se proporcionan son niveles combinados relativos al máximo valor de interferencia y que deben distribuirse entre todas las fuentes, en la misma banda y en bandas adyacentes. Con arreglo al punto 1.15 del orden del día de la CMR-19, esos criterios, cuando proceda, deben distribuirse entre el SF, el servicio móvil (SM) y, en su caso, las emisiones no deseadas del SF y el SM.

CUADRO 12

Extracto de la Recomendación UIT-R RS.2017 en el que figuran los criterios de interferencia aplicables a la teledetección pasiva por satélite en la gama de frecuencias 275-450 GHz

Banda(s) de frecuencias (GHz)	Ancho de banda de referencia (MHz)	Nivel máximo de interferencia (dBW)	Porcentaje de zona o tiempo en que puede rebasarse el nivel de interferencia admisible⁽¹⁾ (%)	Modo de exploración (N, C, L)⁽²⁾
275-285,4	3	-194	1	L
296-306	200/3 ⁽³⁾	-160/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
313,5-355,6	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L
361,2-365	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
369,2-391,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
397,2-399,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
409-411	3	-194	1	L
416-433,46	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
439,1-466,3	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L

⁽¹⁾ Para el nivel de 0,01%, la zona de medición tiene forma cuadrada, de 2 000 000 km², sobre la superficie de la Tierra, a menos que se justifique otro valor; para el nivel del 0,1%, la zona de medición tiene forma cuadrada, de 10 000 000 000 km², sobre la superficie de la Tierra, a menos que se justifique otro valor.

⁽²⁾ N: Nadir. L: Limbo, C: Cónico.

⁽³⁾ La primera cifra se refiere a los modos de exploración de nadir y cónica, y la segunda a las aplicaciones de sondeo de limbo por microondas.

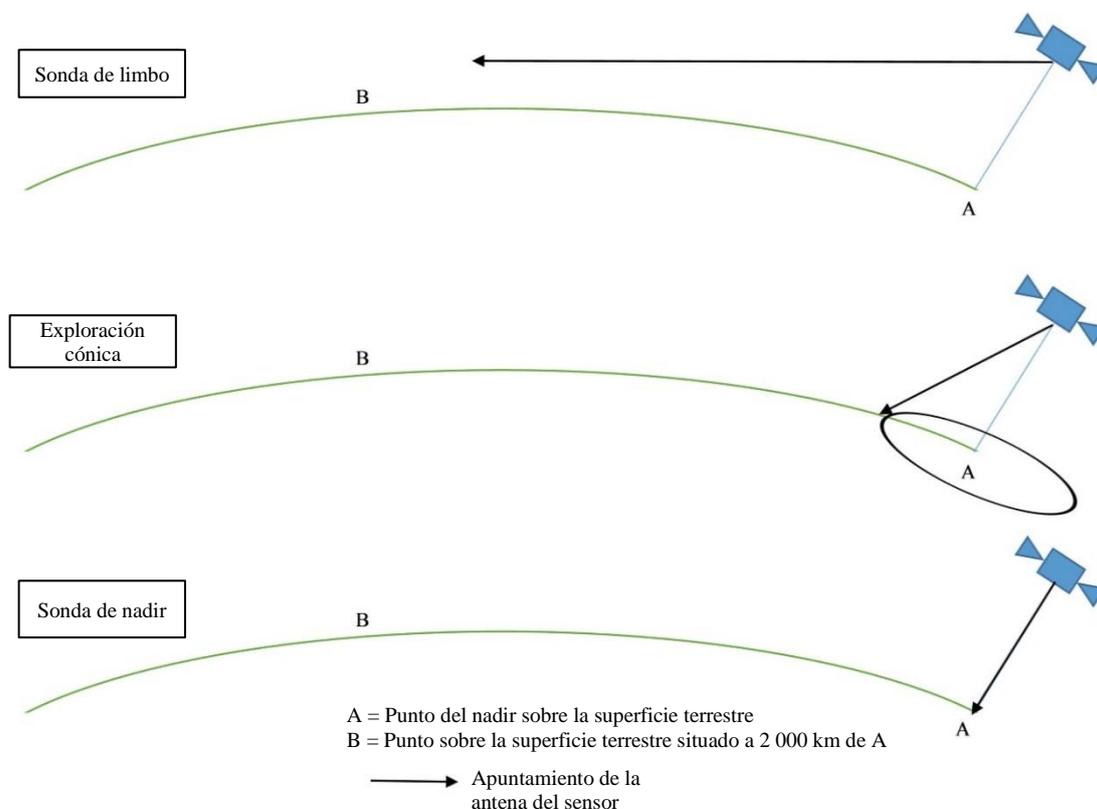
Los tipos de sensores del SETS (pasivo) que deben considerarse en esos estudios se definen de la siguiente manera:

- *N* – los modos de exploración respecto del nadir se concentran en el sondeo o la observación de la superficie de la Tierra para ángulos de incidencia casi perpendicular. La exploración termina en la superficie o a diversos niveles en la atmósfera, de acuerdo con las funciones de ponderación utilizadas para evaluar parámetros atmosféricos específicos.
- *L* – los modos de exploración respecto del limbo permiten realizar observaciones del «borde» de la atmósfera que terminan en el espacio, en vez de en la superficie de la Tierra, y en consecuencia, poseen un valor de función de ponderación cero en la superficie y un valor máximo a la altura del punto de la tangente.
- *C* – los modos de exploración cónica permiten observar la superficie de la Tierra mediante el giro de la antena con arreglo a un ángulo de desplazamiento con respecto a la dirección del Nadir.

En la Fig. 4 se representan esos tres tipos de sensores. Cabe destacar además que el tipo de sensores nadir incluye todas las aplicaciones de sensores que poseen, por lo menos, un componente de visualización respecto del nadir, en particular la exploración transversal a la trayectoria y el barrido transversal.

FIGURA 4

Modos de exploración Nadir, Limbo y Cónico relativos a la detección del SETS (pasivo)



En el Cuadro 13 se presenta un resumen relativo a cada banda de los sistemas del SETS (pasivo) que se deben tener en cuenta en los estudios de compartición para la gama de frecuencias 275-450 GHz. En el Cuadro 14 se sintetizan los parámetros necesarios para llevar a cabo esos estudios. Las características pormenorizadas de esos sistemas del SETS (pasivo) figuran en el Informe UIT-R RS.2431.

CUADRO 13
Sistemas de teledetección pasiva por satélite para las bandas
de la gama de frecuencias 275-450 GHz⁴

Banda(s) de frecuencias (GHz)		Modo de exploración	
		Nadir, Cónico	Limbo
275-285,4	<i>L</i>	-----	Considérense características análogas a STEAMR (Nota 1)
296-306	<i>N, L</i>	Considérense características análogas a STEAMR (Nota 1)	MASTER (órbita LEO, § 6.9)
313,5-355,6	<i>N, C, L</i>	ICI (órbita LEO, § 6.1) SSM (órbita LEO, § 6.3) GEM (órbita GEO, § 6.5)	STEAMR (órbita LEO, § 6.4) CAMLS (órbita LEO, § 6.7) MASTER (órbita LEO, § 6.9)
361,2-365	<i>N, L</i>	Considérense características análogas a ICI (Nota 1)	Considérense características análogas a STEAMR (Nota 1)
369,2-391,2	<i>N, L</i>	TWICE (órbita LEO, § 6.2) GEM (órbita GEO, § 6.5) GOMAS (órbita GEO, § 6.6)	
397,2-399,2	<i>N, L</i>	Considérense características análogas a ICI (Nota 1)	
409-411	<i>L</i>	-----	
416-433,46	<i>N, L</i>	GOMAS (órbita GEO, § 6.6)	
439,1-466,3	<i>N, C, L</i>	ICI (órbita LEO, § 6.1)	

NOTA 1 – Con respecto a las bandas para las que no se dispone de ningún parámetro relativo a los sistemas en funcionamiento actualmente, o planificados, se utilizarán características basadas en sistemas que utilizan el mismo modo de exploración que en el caso de otras bandas.

⁴ Las referencias a secciones de este cuadro guardan relación con las secciones del Informe UIT-R RS.2431.

CUADRO 14

**Resumen de las características técnicas de los sistemas del SETS (pasivo) en la gama de frecuencias de 275-450 GHz
(véase el Informe UIT-R RS.2431)**

Instrumento	ICI	TWICE	SMM	STEAMR	GOMAS	GEM	CAMLS	MASTER	GMS
Tipo de órbita	SSO LEO	SSO LEO	SSO LEO	SSO LEO	GSO	GSO	LEO	SSO LEO	GSO
Altitud (km)	817	400	No disponible	817	35 684	35 684	No disponible	817	35 684
Inclinación (grados)	98,7	Gran inclinación	Gran inclinación	98,7	0	0	No disponible	98,7	0
Modo de exploración	Cónico (Fig. 10)	Cónico (Fig. 11)	Cónico o transversal a la trayectoria (Fig. 13)	Limbo (Fig. 15)	Cónico (Fig. 17)	Cónico	Limbo	Limbo	Exploración basada en una amplia franja amplia y un círculo de pequeño tamaño (Fig. 9)
Ángulo de observación cenital (OZA) (grados) para el modo de exploración cónica, o altitud mínima de apuntamiento (km), para modo de exploración respecto del limbo	Cónico: 53 ± 2	Cónico: 53	No disponible	Limbo: 6	No disponible	No disponible	Limbo: 10	Limbo: 3	N/A
Frecuencia central de RF (GHz)	325,15 448	310 380,2	325	319,5 349,6	380,197 424,763	380,197 425,763	340	299,75 320,0 345,6	338 380,197 424,763
Ancho de banda de RF (GHz)	3,2-6 2,4-6 (Cuadro 4)	10 7,2	No disponible	12 12	0,3-4 0,06-1 (Cuadro 12)	0,05-18 (LSB)	16	11,5 9,0 6,5	0,03-8 0,01-1
Tipo de antena	Reflector de foco desplazado, varios alimentadores	Bocina múltiple de banda ancha	No disponible	Antena de reflector	Exploración de apertura íntegra	Exploración de apertura íntegra	No disponible	Reflector de foco desplazado elíptico	Antena de reflector
Ganancia de cresta de la antena (dBi)	55	46-48 (por definir)	No disponible	70	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	76

CUADRO 14 (*fin*)

Instrumento	ICI	TWICE	SMM	STEAMR	GOMAS	GEM	CAMLS	MASTER	GMS
Diámetro de la antena (m)	~ 0,5	No disponible	No disponible	No disponible	3	2	No disponible	1 × 2	3
Anchura de haz de la antena (grados)	No disponible	0,64° 0,56°	No disponible	Véase la Fig. 15	0,019° 0,017°	0,029° 0,026°	No disponible	No disponible	0,027°
FOV (km) Superficie de la huella (km ²)	16 Superficie ≈ 200 km ² (Cuadro 3)	FOV: 6,5 × 9,9 Superficie ≈ 50 km ² FOV: 5,8 × 8,7 Superficie ≈ 40 km ² (Fig. 6,2-2)	No disponible	N/A (Véase la Fig. 15)	IFOV: 12 Superficie ≈ 110 km ² IFOV: 10 Superficie ≈ 75 km ²	FOV: 20,5 Superficie ≈ 330 km ² FOV: 16,4 Superficie ≈ 210 km ²	N/A (Véase el Cuadro 13)	N/A (Véase el Cuadro 17)	IFOV: 16

Cabe señalar que la Recomendación UIT-R RS.1813 se limita actualmente a la gama 1,4-100 GHz respecto de sus ecuaciones de referencia del diagrama de antena del SETS (pasivo). No obstante, el grupo de trabajo de expertos del UIT-R pertinente recomienda que las ecuaciones relativas al diagrama de antena que figuran en la Recomendación UIT-R RS.1813 se utilicen asimismo para la gama 275-450 GHz en esos estudios.

6 Aspectos relativos a los estudios sobre compartición y compatibilidad

6.1 SRA

La capacidad de la utilización del servicio activo propuesto en la banda de frecuencias 275-450 GHz para provocar interferencia a los servicios de radioastronomía difiere de otros casos de interferencia entre servicios debido a las propiedades específicas de la absorción atmosférica (véanse las Figs. 3, 4 y A5-1) y a la ubicación geográfica de las estaciones de radioastronomía que utilizan dicha banda (véase el Cuadro 11). Esas estaciones se sitúan, por lo general, en emplazamientos de 3 a 5 km de elevación en zonas áridas, en las que pueden reducirse todo lo posible los efectos de las precipitaciones y de la absorción atmosférica del entorno, así como por encima de la antena de radioastronomía.

En la banda de frecuencias 275-450 GHz, las antenas de tamaño pequeño o mediano de los servicios activos poseen anchuras de haz reducidas, que no son viables en bandas de frecuencias inferiores. Si bien se prevén anchuras de haz pequeñas y ángulos de elevación bajos, en la mayor parte de los casos, para aplicaciones del SF, podría ser necesario escoger las antenas adecuadas y planificar meticulosamente la orientación de los enlaces para evitar la interferencia perjudicial a los servicios de radioastronomía.

Para frecuencias superiores a 275 GHz, la propagación a través de la atmósfera terrestre se ve fuertemente incluida por las características de absorción de las moléculas atmosféricas, en particular el oxígeno y el vapor de agua. Si bien la atenuación atmosférica puede ofrecer protección suplementaria al funcionamiento del SRA en determinadas frecuencias, debido a la gran variación de las moléculas atmosféricas en función de la altura, existen determinadas «ventanas» de transmisión cuyas características a mayor altitud corresponden prácticamente a las de pérdidas en espacio libre.

Según se desprende de los resultados del Informe UIT-R RA.2189-1, para los niveles de potencia de emisión que se considera en ellos, la compartición entre servicios de radioastronomía y servicios activos en la gama 275-3 000 GHz es posible si se tienen en cuenta las propiedades atmosféricas en función de la altura sobre el nivel del mar, así como la directividad de la antena del transmisor. La interferencia perjudicial a las instalaciones de radioastronomía puede evitarse mediante la designación de zonas geográficas de exclusión alrededor de las instalaciones de los servicios del SRA. La iluminación directa de los observatorios del SRA, principalmente a altitudes equiparables o superiores a las de dichos observatorios, podría provocar interferencia a los sistemas del SRA.

Además de la designación de zonas de exclusión, cabe aplicar dos posibles estrategias fundamentales para proteger al SRA en esas bandas de las emisiones del servicio fijo. La primera de ellas conlleva una reducción de potencia y la utilización de antenas de haz estrecho, y la segunda consiste en evitar el apuntamiento hacia las instalaciones del SRA. Aunque ello debería ser sencillo en la mayoría de las aplicaciones punto a punto del servicio fijo, no es viable en el caso de otras aplicaciones terrenales, en particular las del servicio móvil.

FIGURA 5

Atenuación atmosférica calculada para trayectos horizontales de 1 km y cinco valores de altura sobre el nivel del mar, con condiciones de observación promediadas anualmente y relativas al 10° percentil en el emplazamiento de los observatorios de radioastronomía ALMA y LMT/GTM, con arreglo a las propiedades atmosféricas que figuran en el Cuadro 1 de RA.2189-1

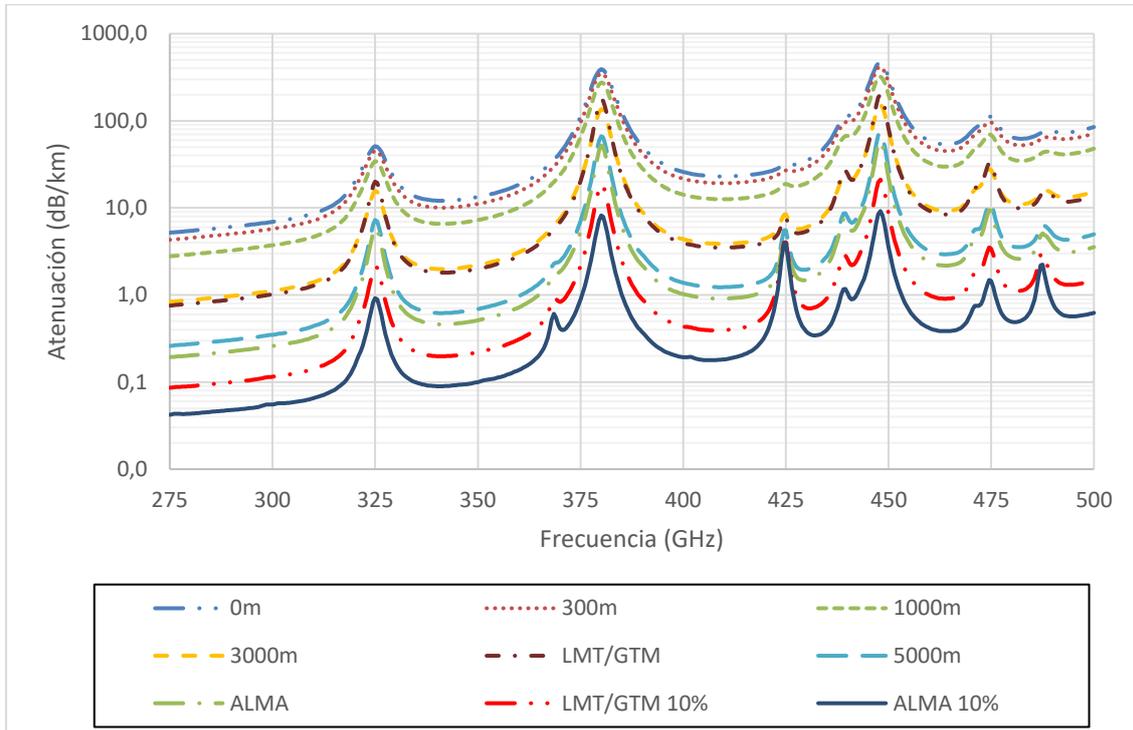
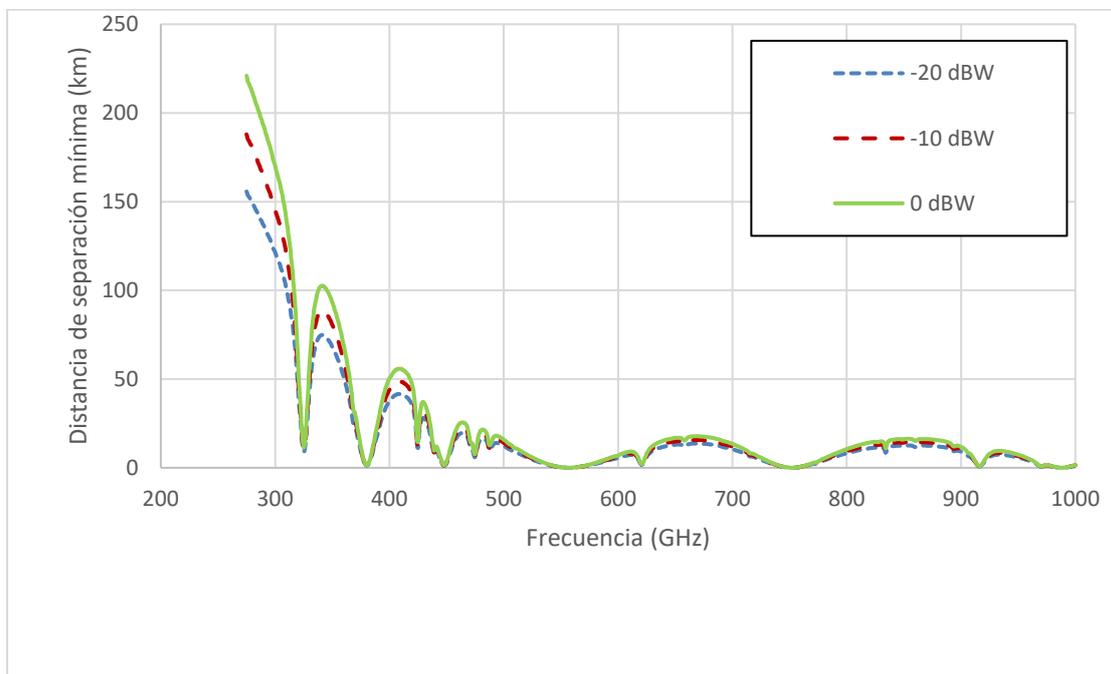


FIGURA 6

Distancia horizontal a 5 000 m sobre el nivel del mar, más allá de la cual una señal transmitida en frecuencias que oscilan entre 275 y 1 000 GHz no rebasaría los umbrales de interferencia a los servicios de radioastronomía que figuran en el Informe UIT-R RA.2189-1, lo que pone de relieve la necesidad de designar zonas de exclusión geográfica y de evitar la iluminación directa para proteger el funcionamiento del SRA



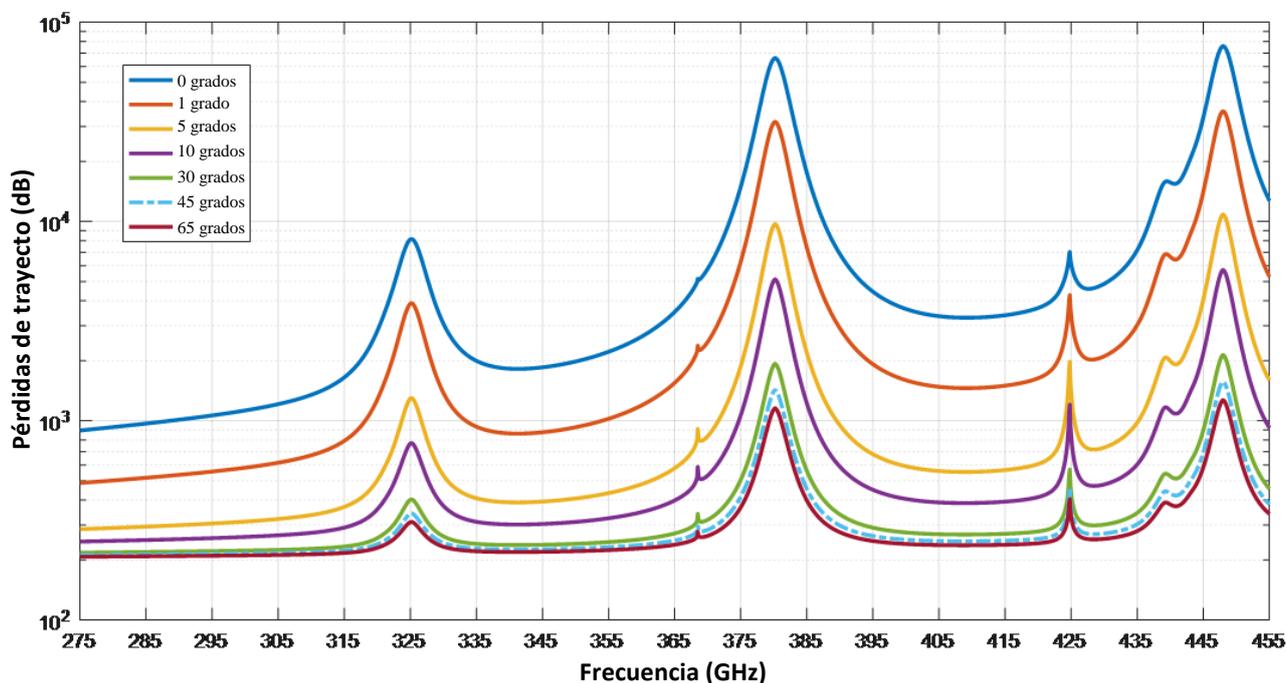
6.2 SETS (pasivo)

El cálculo de las pérdidas totales a lo largo del trayecto desde un enlace del servicio fijo con bajo ángulo de elevación hasta un satélite no OSG del SETS que se eleva sobre el horizonte con arreglo al acimut de dicho enlace del servicio fijo es complejo, debido a la refracción a lo largo del trayecto de la señal a medida que varía la altura de esta respecto del terreno, y a la variación de la atenuación con respecto a la presión atmosférica, la temperatura y el vapor de agua. En el § 2.2 del Anexo 1 a la Recomendación P.676-11 se proporciona un algoritmo adecuado para efectuar ese cálculo. Sin embargo, en este no se tiene en cuenta la influencia de obstáculos naturales o de edificios, que en determinados casos podrían reducir o suprimir la interferencia a los sensores del SETS (pasivo). En consecuencia, en las simulaciones dinámicas de la interferencia provocada por el SF y el servicio móvil terrestre a los sensores del SETS (pasivo) es necesario tener en cuenta la probabilidad de que existan obstáculos naturales o artificiales, que reducirían la interferencia en esos casos. Análogamente, en el cálculo de la interferencia combinada provocada por sistemas del servicio fijo, será necesario tener en cuenta la influencia de varias fuentes, susceptibles de reducir la interferencia.

En las Figs. 7 y 8 se muestran las pérdidas medias de trayecto desde un transmisor terrenal del SF para varios ángulos de elevación hasta un satélite en órbita a una altura de 817 km⁵.

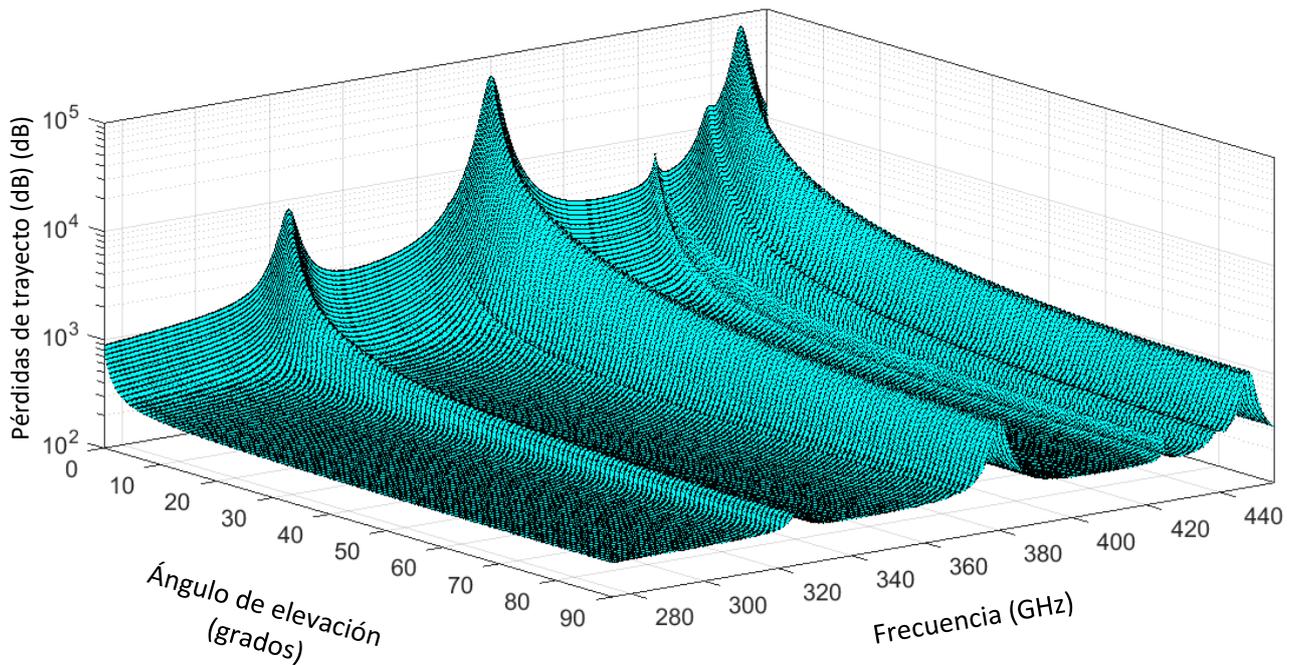
FIGURA 7

Pérdidas medias de trayecto desde un punto situado sobre la superficie terrestre hasta un satélite (H = 817 km) en función del ángulo de elevación



⁵ La altitud de 817 km es habitual para órbitas del SETS no OSG. Los resultados con respecto a otros valores de altitud no variarán sustancialmente.

FIGURA 8
Representación tridimensional de la Fig. 7



En las Figs. 7 y 8 se representa la suma de dos tipos de pérdidas «permanentes» (siempre presentes), a saber:

- las pérdidas medias debidas a gases atmosféricos; y
- las pérdidas por dispersión geométrica de la energía (pérdidas de trayecto en el espacio libre).

El cálculo de las pérdidas debidas a gases atmosféricos se basa en el método de «raya por raya» que figura en el Anexo 1 y el § 2.2 de la Recomendación UIT-R P.676-11, con arreglo a la atmósfera de referencia mundial anual definida en la Recomendación UIT-R P.835. Sobre la base de esa atmósfera de referencia, en la superficie de la Tierra la presión del aire seco es 1013,25 hPa, la temperatura 288,15 K y la densidad del vapor de agua 7,5 g/m³.

Las pérdidas por dispersión geométrica de la energía (pérdidas de trayecto en el espacio libre), L_{sp} , se calculan en dB en función de la frecuencia f (GHz) y la distancia de propagación d (km), mediante la fórmula siguiente:

$$L_{sp} = 92,45 + 20\log(f \cdot d) \quad (1)$$

Para un satélite a altitud H con un ángulo de elevación φ , la distancia de propagación d puede obtenerse mediante la ecuación (2).

$$d = \sqrt{(a \sin \varphi)^2 + 2aH + H^2} - a \sin \varphi \quad (2)$$

siendo a es el radio equivalente de la Tierra, de valor 6 371 km.

Además de las pérdidas anteriormente mencionadas, cabe considerar asimismo las pérdidas por dispersión o absorción debidas a la precipitación.

La restricción de los enlaces del SF a enlaces con ángulos de elevación reducidos puede constituir una eficaz técnica de mitigación de la interferencia a los sensores del SETS; no obstante, toda restricción del ángulo de elevación de las estaciones del SF tendría que basarse en una disposición reglamentaria obligatoria para que esa técnica de mitigación de la interferencia sea eficaz. La utilización de varios tipos de sensores del SETS, cada uno de ellos con diferentes características haz-Tierra, hace que la situación sea más compleja. En determinados casos, dichos sensores poseen orientación frontal, lo que permite alinear el haz principal entre enlaces fijos de ángulo reducido y los sensores del SETS (aunque con cierta desviación para tener en cuenta el aumento de atenuación atmosférica). Esos casos de interferencia y sus repercusiones han de verificarse en el marco de compartición y compatibilidad.

Con respecto a las aplicaciones del servicio fijo y del servicio móvil terrestre en las que no puede garantizarse una transmisión con arreglo a un ángulo de elevación reducido, es necesario aplicar estrategias de protección alternativas para lograr la compatibilidad con los servicios pasivos identificados en el número 5.565 del RR. Ello puede requerir una pormenorizada selección de bandas para aplicaciones de los servicios activos, si se han identificado para su utilización en el SETS (pasivo). Muchas de las bandas identificadas para la utilización del SETS (pasivo) con arreglo al número 5.565 del RR poseen un ancho de banda moderado entre esas bandas identificadas. Por ejemplo, las bandas 286-296 GHz y 399-409 GHz son dos bandas de 10 GHz que se encuentran entre bandas identificadas para su utilización por el SETS (pasivo). En consecuencia, ambas bandas pueden ser útiles para su utilización activa en determinados tipos de sistemas, en los que no es posible utilizar antenas de haz estrecho con pequeño ángulo de elevación. En teoría, se pueden diseñar antenas de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO) conforme a los balances de enlace relativos a la utilización prevista que también limiten las emisiones para ángulos de elevación elevados. Sin embargo, esa tecnología no está aún disponible y, en consecuencia, el acceso al espectro no puede regirse por la tecnología MIMO existente actualmente.

Otro método para proteger el funcionamiento de los sensores pasivos del SETS no OSG con respecto al cual podría producirse un acoplamiento entre haces principales y servicios terrenales activos para ángulos de gran elevación sería análogo a las técnicas utilizadas en la gestión de la compartición OSG/no OSG en relación con los satélites de comunicaciones del SFS. Dicho método permitiría prever los eventos de alineación susceptibles de mermar la calidad de funcionamiento de los satélites del SETS no OSG y alterar los parámetros del sistema terrenal durante el periodo de posible interferencia. No obstante, ese método atribuye todas posibilidades de fallo al SETS (pasivo) y requeriría la utilización de una base de datos mundial cuyos detalles no se han definido. Por otro lado, el método aún no se ha aplicado satisfactoriamente a ningún par de servicios, ni a ninguna escala geográfica o gama de frecuencias.

Por último, con respecto a los estudios de compatibilidad entre el SETS (pasivo) y los servicios fijo y móvil terrestre, cabe subrayar la necesidad de tener en cuenta la interferencia combinada de varios sistemas activos desplegados en las mismas bandas y que transmiten en estas. En esos estudios sobre interferencia combinada han de considerarse asimismo los obstáculos naturales del terreno o de los edificios con respecto a las emisiones del SF y del SMT.

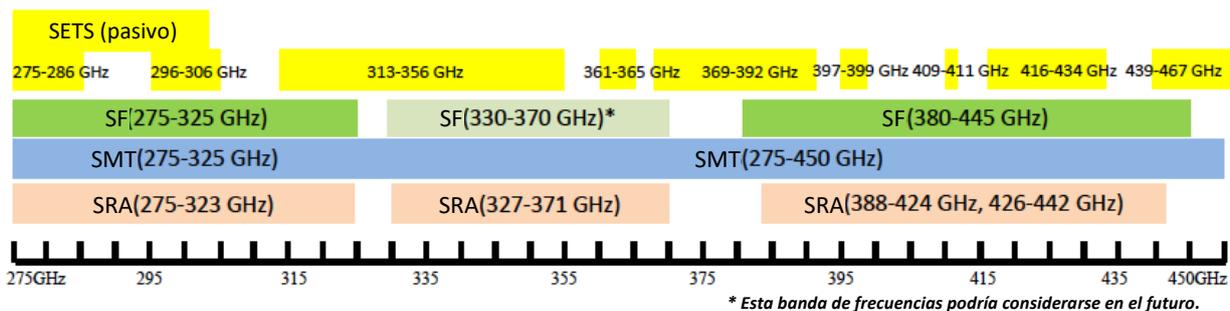
7 Casos de interferencia de aplicaciones de los servicios móvil terrestre y fijo que funcionan en la banda 275-450 GHz a aplicaciones del servicio pasivo que utilizan el espectro identificado con arreglo al número 5.565 del RR

Las bandas de frecuencias 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz y 426-442 GHz se han identificado, con arreglo al número 5.565 del RR, para su utilización por aplicaciones del SRA, al tiempo que las bandas 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz y 439-467 GHz se han identificado para su utilización por aplicaciones del SETS (pasivo). A tal efecto, cabe destacar los siguientes estudios sobre compartición y compatibilidad:

- 1) Aplicación del SMT que funciona en la banda 275-450 GHz con respecto a la protección de las estaciones del SETS que funcionan en las bandas 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz y 439-467 GHz.
- 2) Aplicación del SF que funciona en la banda 275-450 GHz con respecto a la protección de las estaciones del SETS que funcionan en las bandas de frecuencias 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz y 439-450 GHz.
- 3) Aplicación del SF que funciona en la banda 275-450 GHz con respecto a la protección de las estaciones del SRA que funcionan en las bandas 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz y 426-442 GHz.

FIGURA 9

Bandas de frecuencia consideradas en los estudios de compartición



7.1 Casos de interferencia de aplicaciones del SMT que funcionan en la banda 275-450 GHz al SETS (pasivo) y al SRA

Los dos casos de interferencia enumerados en el Cuadro 15 se representan en la Fig. 10 y podrían darse entre aplicaciones del SMT y servicios pasivos.

CUADRO 15

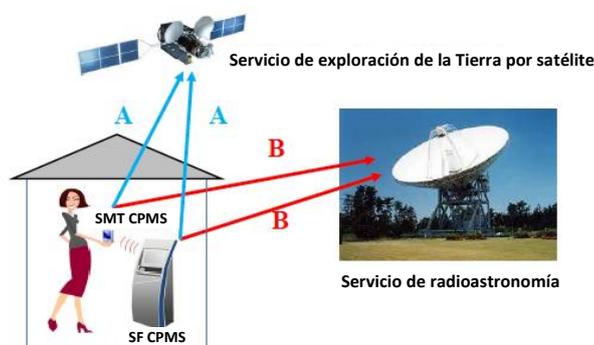
Casos de interferencia

Caso	Interferente	Interferencia a	Modelo de propagación (véase el Anexo 2)
A	Terminal móvil y estación fija del SMT	Sensor del SETS	Rec. UIT-R P.619, Rec. UIT-R P.2108 ⁽¹⁾ , Rec. UIT-R P.2109 ⁽²⁾
B	Terminal móvil y estación fija del SMT	Estación del SRA	Rec. UIT-R P.452, Rec. UIT-R P.2108 ⁽³⁾ , Rec. UIT-R P.2109 ⁽²⁾

- ⁽¹⁾ Las pérdidas por ecos parásitos de 0 dB a lo largo del trayecto del satélite en la banda de 300 GHz se extrapolan sobre la base de esta Recomendación.
- ⁽²⁾ Las pérdidas por penetración en edificios de 73 dB en la banda de 300 GHz se extrapolan sobre la base de esta Recomendación.
- ⁽³⁾ Las pérdidas por ecos parásitos de 47 dB a lo largo del trayecto terrenal en la banda de 300 GHz se extrapolan sobre la base de esta Recomendación.

FIGURA 10

Representación de casos de interferencia entre aplicaciones del SMT y servicios pasivos



7.2 Casos de interferencia de las aplicaciones del SF que funcionan en la banda 275-450 GHz al SETS (pasivo) y al SRA

Los dos casos de interferencia que se enumeran en el Cuadro 16 se consideran entre aplicaciones del SF (de conexión frontal o con la red de retroceso) y servicios pasivos.

CUADRO 16

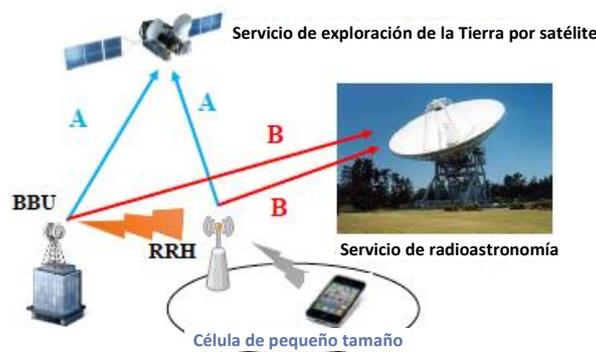
Casos de interferencia

Caso	Interferente	Interferencia a	Modelo de propagación (véase el Anexo 2)
A	Conexión frontal o con la red de retroceso	Sensor del SETS	Rec. UIT-R P.619, Rec. UIT-R P.2108 ⁽¹⁾
B	Conexión frontal o con la red de retroceso	Estación del SRA	Rec. UIT-R P.452, Rec. UIT-R P.2108 ⁽²⁾

- ⁽¹⁾ Las pérdidas por ecos parásitos de 16 dB a lo largo del trayecto del satélite en la banda de 300 GHz con arreglo a un ángulo de elevación de 12 grados se extrapolan sobre la base de esta Recomendación.
- ⁽²⁾ Las pérdidas por ecos parásitos de 47 dB a lo largo del trayecto terrenal en la banda de 300 GHz se extrapolan sobre la base de esta Recomendación.

FIGURA 11

Representación de casos de interferencia entre aplicaciones del SF y servicios pasivos



8 Estudios sobre compartición y compatibilidad sobre el SETS (pasivo)

8.1 Estudios sobre compartición y compatibilidad entre aplicaciones del SMT y aplicaciones del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo)

En el Anexo 4 se proporciona información pormenorizada sobre los estudios de compartición entre aplicaciones del SMT y el SETS (pasivo).

En el estudio 3 se analiza la posible interferencia que pueden provocar las aplicaciones del SMT que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz a los sistemas del SETS (pasivo). El enfoque adoptado en dicho análisis consistió en realizar un único estudio del IFOV para cada tipo de sensor pasivo. De los resultados del estudio se desprende que es posible lograr compatibilidad sin necesidad de contar con disposiciones reglamentarias obligatorias para las bandas de frecuencias 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz y 356-450 GHz. En este estudio también se señala que, en la banda 275-286 GHz, las aplicaciones del SMT podrían causar problemas a los sensores de exploración cónica y de nadir, si bien esa banda solo se utiliza actualmente para sondas de limbo.

En el marco del estudio 4 se llega a la conclusión de que las bandas 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz y 356-450 GHz pueden utilizarse para aplicaciones del SMT sin ninguna condición específica. Por otro lado, se analizaron asimismo varios casos de utilización en entornos interiores y exteriores a fin de identificar posibles gamas de frecuencia para aplicaciones CPMS en el SMT.

8.2 Estudios sobre compartición y compatibilidad entre aplicaciones del SF y aplicaciones del SETS (pasivo)

Se llevaron a cabo varios estudios sobre compartición y compatibilidad con objeto de determinar bandas de frecuencias que pudieran utilizarse en aplicaciones del SF. Dichos estudios se describen pormenorizadamente en el Anexo 4.

En el estudio 2 se hizo hincapié en el análisis de una sola fuente de interferencia para estaciones del SF y una aplicación del SETS (pasivo) con arreglo a tres casos de apuntamiento en la gama de frecuencias 275-450 GHz, así como en el análisis combinado llevado a cabo para distribuciones del ángulo de elevación del SF de ± 20 y ± 12 grados. Dicho estudio puso de manifiesto una posible compatibilidad en las bandas de frecuencias 275-286 GHz, 318-334 GHz, 350-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz y 439-450 GHz.

En el estudio 3 se analiza la posible interferencia que pueden provocar las aplicaciones del SF que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz a los sistemas del SETS (pasivo). El enfoque adoptado en esos análisis consistió en realizar un único estudio del campo instantáneo de visión (IFOV) instantáneo para cada tipo de sensor pasivo. De los resultados del estudio se desprende que es posible lograr compatibilidad para las bandas de frecuencias 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz y 356-450 GHz. En este estudio también se señala que, en la banda 275-286 GHz, las aplicaciones del SF podrían causar problemas a los sensores de exploración cónica y de nadir, si bien esa banda solo se utiliza actualmente para sondas de limbo.

En el estudio 4 se proporciona un análisis agregado para la gama de frecuencias 275-450 GHz. En dicho análisis se evaluó la compatibilidad entre estaciones del SF y sensores del SETS (pasivo). En el marco del estudio se llegó a la conclusión de que las estaciones del SF no son susceptibles de provocar interferencia a los sensores del SETS (pasivo) en las bandas de frecuencias 275-296 GHz, 306-313 GHz, 318-336 GHz y 348-450 GHz. Si bien la gama de frecuencias 275-450 GHz se divide en cuatro segmentos de frecuencias, pueden lograrse resultados satisfactorios en una banda contigua de 50 GHz.

De los resultados del estudio 5 se desprende que las bandas enumeradas a continuación, actualmente identificadas para el SETS (pasivo) con arreglo al número **5.565** del RR, no pueden utilizarse para el SF: 296-306 GHz, 313-320 GHz y 331-356 GHz. Cabe prever la utilización de las demás partes de la gama 275-450 GHz para el SF. Esas bandas bastarían para satisfacer las necesidades de espectro del SF de 50 GHz.

8.3 Resumen de los estudios sobre compartición y compatibilidad en relación con el SETS (pasivo)

En el Cuadro 17 se sintetizan las bandas cuya utilización se propone para aplicaciones de los servicios fijo y móvil terrestre en el marco de los estudios 2, 3, 4 y 5. En dichos estudios se llega a la conclusión de que determinadas bandas de frecuencias podrían destinarse a los servicios móvil terrestre y fijo. Si bien cada estudio arroja resultados ligeramente diferentes (según se muestra en el cuadro siguiente), la conclusión general con respecto a todos ellos es que las bandas de frecuencias que figuran a continuación podrían utilizarse para aplicaciones del SF/SMT sin condiciones específicas, al tiempo que se protegen los servicios pasivos:

- Aplicaciones del SF/SMT: 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz y 356-450 GHz.

Estos resultados no incluyen la compatibilidad con el servicio de radioastronomía, que se aborda en el apartado siguiente.

CUADRO 17

Resumen de los resultados de los estudios llevados a cabo

Estudio	Servicio de la aplicación	Bandas compatibles para el SF/SMT (para las que no se requiere ninguna condición específica para proteger el SETS (pasivo))			
		Banda 1 (GHz)	Banda 2 (GHz)	Banda 3 (GHz)	Banda 4 (GHz)
2	SF y SMT	275-296	306-313	318-333	356-450
3	SF y SMT	275-296	306-313	320-330	356-450
4	SF y SMT	275-296	306-313	319-332	356-450
5	SF y SMT	275-296	306-313	318-333	356-450

9 Estudios sobre compartición y compatibilidad relativos al SRA

9.1 Estudios sobre compartición y compatibilidad entre aplicaciones del SMT y el servicio de radioastronomía

No se ha efectuado ningún estudio sobre compartición y compatibilidad entre aplicaciones del SMT y el servicio de radioastronomía. Sin embargo, los resultados del Informe UIT-R RA.2189-1 son independientes del tipo de servicio de que se trate, puesto que en dicho informe sólo se tiene en cuenta el nivel de potencia de un solo transmisor, así como su distancia del emplazamiento del SRA. En el Informe UIT-R RA.2189-1 se llega a la conclusión de que es necesario realizar estudios sobre compartición en emplazamientos geográficos específicos para cada caso. Con respecto a las aplicaciones del SMT, cabe tener en cuenta la interferencia combinada.

9.2 Estudios sobre compartición entre las aplicaciones del SF y el servicio de radioastronomía

Se llevaron a cabo varios estudios sobre compartición y compatibilidad con objeto de determinar bandas de frecuencias que pudieran utilizarse en aplicaciones del SF. Dichos estudios se describen pormenorizadamente en el Anexo 5.

En el estudio 1 figuran dos ejemplos de condiciones habituales que se dan en las cercanías de los emplazamientos utilizados para la realización de observaciones radioastronómicas. Los dos casos analizados fueron las siguientes: enlace del SF y el SRA en el mismo plano horizontal, con variación del ángulo de acimut y la potencia del enlace del SF; y enlace del SF y el SRA a alturas diferentes, con el haz del SF fijado en el acimut de la operación del SRA y variación de su distancia y ángulo de elevación. En los estudios se utilizan tres frecuencias, a saber, 275 GHz, 345 GHz y 412 GHz. En los estudios se llegó a la conclusión de que los valores de separación, así como los ángulos de evitación del acimut y de elevación, pueden ser necesarios para proteger los emplazamientos del SRA, puesto que las pérdidas atmosféricas por sí solas no son suficientes para garantizar la compatibilidad.

En el estudio 2 se incluyen varios cálculos de los valores de separación necesarios al considerar la estación del SF y el emplazamiento del SRA a altitudes diferentes. En el estudio se subraya la necesidad de contar con una separación de 150 km, y se pone de manifiesto que se logran distancias mínimas para valores de cresta de la absorción atmosférica. Esa separación puede reducirse si se tienen en cuenta las pérdidas por ecos parásitos.

9.3 Resumen de los estudios sobre compartición y compatibilidad relativos al SRA

En los estudios de compatibilidad entre el SRA y aplicaciones del SF se concluye que, en la gama 275-450 GHz, la atenuación atmosférica por sí sola, con independencia de las pérdidas en el espacio libre, no basta para propiciar la compatibilidad entre las operaciones del SF y el SRA, a falta de otras consideraciones. En las bandas identificadas para aplicaciones del SRA en el número **5.565** del RR (275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz y 426-442 GHz), la separación y/o los ángulos de evitación entre las estaciones del SRA y las del SF deberían considerarse en función del entorno de despliegue de las estaciones del SF.

Con respecto a las operaciones a la misma elevación geográfica, es necesario que los haces del SF no apunten demasiado cerca de un emplazamiento del SRA. El valor del ángulo de evitación dependerá del tipo específico del diagrama de haz del SF que se utilice en una situación determinada, entre otras variables. En el caso de operaciones del SRA a gran elevación con viabilidad directa de operaciones del SF que tienen lugar a una elevación mucho más baja, los haces del SF pueden apuntarse, con respecto al acimut, hacia el emplazamiento del SRA a frecuencias cercanas al extremo superior de la banda, o con suficiente separación horizontal, pero deberán estudiarse para cada caso específico en función del nivel de potencia del transmisor.

Si existe interferencia combinada provocada por el despliegue de sistemas del servicio fijo con varias fuentes, deberá establecerse un modelo pormenorizado para cada situación y llevarse a cabo una evaluación específica en cada caso.

Anexo 1

CUADRO A1-1

Bandas de interés respecto del SETS (pasivo) de 275 a 450 GHz
(extractos del Informe UIT-R RS.2194)

Banda(s) de frecuencias (GHz)	Ancho de banda total necesario (MHz)	Raya(s) espectral (GHz)	Medición			Modo de exploración habitual	Instrumento(s) existente(s) o previsto(s)	Información suplementaria
			Meteorología – Climatología	Ventana (GHz)	Composición química			
275-285,4	10 400	276,33 (N ₂ O), 278,6 (ClO)		276,4-285,4	N ₂ O, ClO	Limbo		Composición química (275-279,6), ventana (276,4-285,4)
296-306	10 000	Ventana para 325,1, 298,5 (HNO ₃), 300,22 (HOCl), 301,44 (N ₂ O), 303,57 (O ₃), 304,5 (O ¹⁷ O), 305,2 (HNO ₃),	Canal lateral para sonda de temperatura	296-306	OXÍGENO, N ₂ O, O ₃ , O ¹⁷ O, HNO ₃ , HOCl	Nadir, Limbo		Ventana (296-306), composición química (298-306)
313,5-355,6	42 100	313,8 (HDO), 315,8, 346,9, 344,5, 352,9 (ClO), 318,8, 345,8, 344,5 (HNO ₃), 321,15, 325,15 (H ₂ O), 321, 345,5, 352,3, 352,6, 352,8 (O ₃), 322,8, 343,4 (HOCl), 345,0, 345,4 (CH ₃ Cl), 345,0 (O ¹⁸ O), 345,8 (CO), 346 (BrO), 349,4 (CH ₃ CN), 351,67 (N ₂ O), 354,5 (HCN),	PERFIL DE VAPOR DE AGUA, NUBE, Canal lateral para sonda de temperatura	339,5-348,5	H ₂ O, CH ₃ Cl, HDO, ClO, O ₃ , HNO ₃ , HOCl, CO, O ¹⁸ O, HCN, CH ₃ CN, N ₂ O, BrO	Nadir, Cónico, Limbo	STEAMR (PREMIER), CLOUDICE, MWI (ICI), GOMAS, GEM	Raya del vapor de agua a 325,15 (314,15-336,15, ancho de banda: 3 GHz, desviación máx.: 9,5 GHz), Mediciones en nubes (331,65-337,65, 314,14-348, 339-348, 314,14-317,15, 320,45-324,45, 325,8-329,85, 336-344, 339-348), CLOUDICE (314,15-336,15), MWI (ICI) (313,95-336,35) Ventana (339,5-348,5), Composición química GEM (342-346), STEAMR ⁽⁴⁾ (PREMIER) Composición química (310,15-359,85)
361,2-365	3 800	364,32 (O ₃)	Canal lateral para el perfil de vapor de agua		O ₃	Nadir, Limbo	GOMAS	GOMAS Vapor de agua (361-363), Composición química (363-365)

CUADRO A1-1 (*fin*)

Banda(s) de frecuencias (GHz)	Ancho de banda total necesario (MHz)	Raya(s) espectral (GHz)	Medición			Modo de exploración habitual	Instrumento(s) existente(s) o previsto(s)	Información suplementaria
			Meteorología – Climatología	Ventana (GHz)	Composición química			
369,2-391,2	22 000	380,2 (H ₂ O)	PERFIL DE VAPOR DE AGUA			Nadir, Limbo	GEM, GOMAS	Raya del vapor de agua (369,2-391,2, ancho de banda: 3 GHz, desviación máx.: 9,5 GHz), Sonda de vapor de agua GEM (379-381), Perfil de vapor de agua (371-389), Satélites en órbita polar u OSG (FY4) para precipitación sobre montañas y planicies cubiertas de nieve (casi 380) GOMAS (370,2-390,2)
397,2-399,2	2 000		PERFIL DE VAPOR DE AGUA				GOMAS	GOMAS (397,2-399,2)
409-411	2 000		Sonda de temperatura			Limbo		
416-433,46	17 460	424,7 (O ₂)	OXIGENO, Perfil de temperatura			Nadir, Limbo	GEM, GOMAS	Raya del oxígeno (416,06-433,46, ancho de banda: 3 GHz, desviación máx.: 7,2 GHz), Oxígeno GEM (416-433) GOMAS (420,26-428,76)
439,1-466,3	27 200	442 (HNO ₃), 443,1, 448 (H ₂ O), 443,2 (O ₃),	PERFIL DE VAPOR DE AGUA, NUBE	458,5-466,3	O ₃ , HNO ₃ , N ₂ O, CO	Nadir, Limbo, Cónico	MWI (ICI), CLOUDICE	Raya hídrica (439,3-456,7, ancho de banda: 3 GHz, desviación máx.: 7,2 GHz), Mediciones en nubes (452,2-458,2, 444-447,2, 448,8-452, 459-466), CLOUDICE (439,3-456,7), MWI (ICI) (439,1-456,9), Composición química (442-444), Ventana (458,5-466,64),

⁽⁴⁾ A raíz de las necesidades de índole instrumental para la sintonización del oscilador local con objeto de lograr la precisión más elevada posible en la medición, la banda de frecuencias señalada para este instrumento (STEAMR) rebasa la que figura en la primera columna correspondiente.

Anexo 2

Extrapolación de los valores de pérdidas por penetración en edificios y de pérdidas por ecos parásitos que figuran en las Recomendaciones UIT-R P.2108 y UIT-R P.2109 a los efectos de estudios de compartición y compatibilidad

En el presente Anexo se determina el valor promedio de las pérdidas por penetración en edificios (BEL) y las pérdidas por ecos parásitos en la banda de 300 GHz mediante extrapolación de los resultados que figuran en las Recomendaciones UIT-R P.2109 y UIT-R P.2108. En la Fig. A2-1 se representan los valores extrapolados de las pérdidas por penetración en edificios en la banda de 300 GHz, de alrededor de 73 dB para edificios térmicamente eficientes, y de 27,7 dB para los demás tipos de edificios, sin tener en cuenta pérdidas suplementarias en la fachada de los edificios por motivos de simplificación. No obstante, si bien el valor medio de BEL puede extrapolarse mediante este modelo, sería necesario disponer de la distribución íntegra de los valores BEL para utilizar esa información en los estudios de compartición; el actual modelo BEL sólo permite distribuciones BEL para frecuencias de hasta 100 GHz. En el futuro, podría disponerse de información más exhaustiva sobre pérdidas por penetración en edificios en esas frecuencias, y fin de evitar la necesidad de extrapolar valores.

En la Fig. A2-2 se representa el valor promedio extrapolado de pérdidas por ecos parásitos a lo largo de un trayecto de satélite para $p = 50\%$ con varios ángulos de elevación. Sin embargo, el valor promedio de dichas pérdidas no puede utilizarse en estudios de compartición y compatibilidad; sería necesario basarse en la distribución íntegra de los valores de las pérdidas por ecos parásitos para una frecuencia y elevación determinadas. Esa distribución puede calcularse mediante el modelo *Clutter*. Puesto que las pérdidas por ecos parásitos a lo largo del trayecto del satélite para un ángulo de elevación de 90 grados son cercanas a cero, el valor de dichas pérdidas no se tiene en cuenta en estudios relativos a aplicaciones del SMT y el SETS (pasivo). En la Fig. A2-3 se muestran los valores extrapolados relativos a pérdidas por ecos parásitos en trayectos terrenales sobre la base de la Recomendación UIT-R P.2109.

FIGURA A2-1

Extrapolación de valores promedio de pérdidas por penetración en edificios sobre la base de la Recomendación UIT-R P.2109

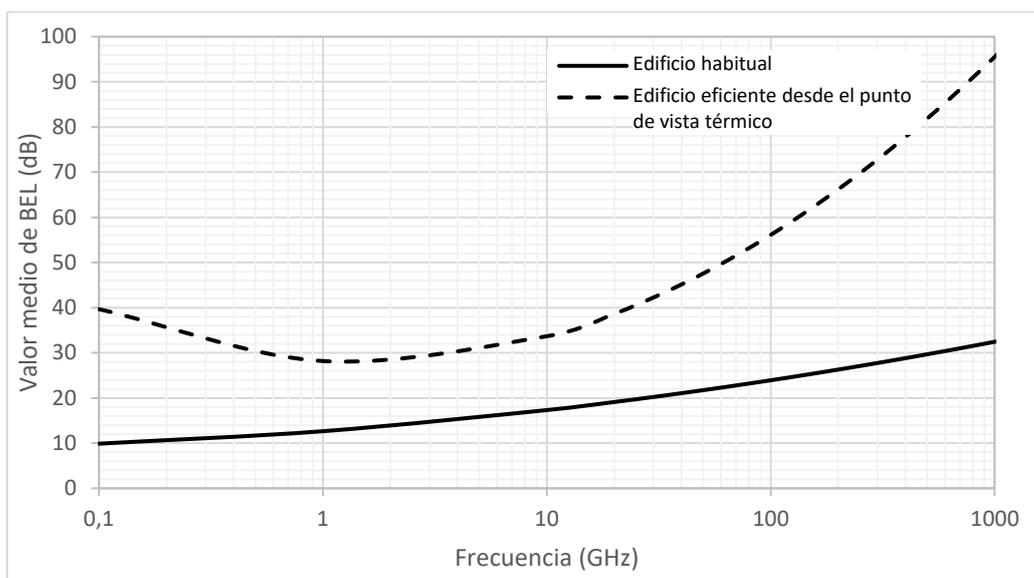
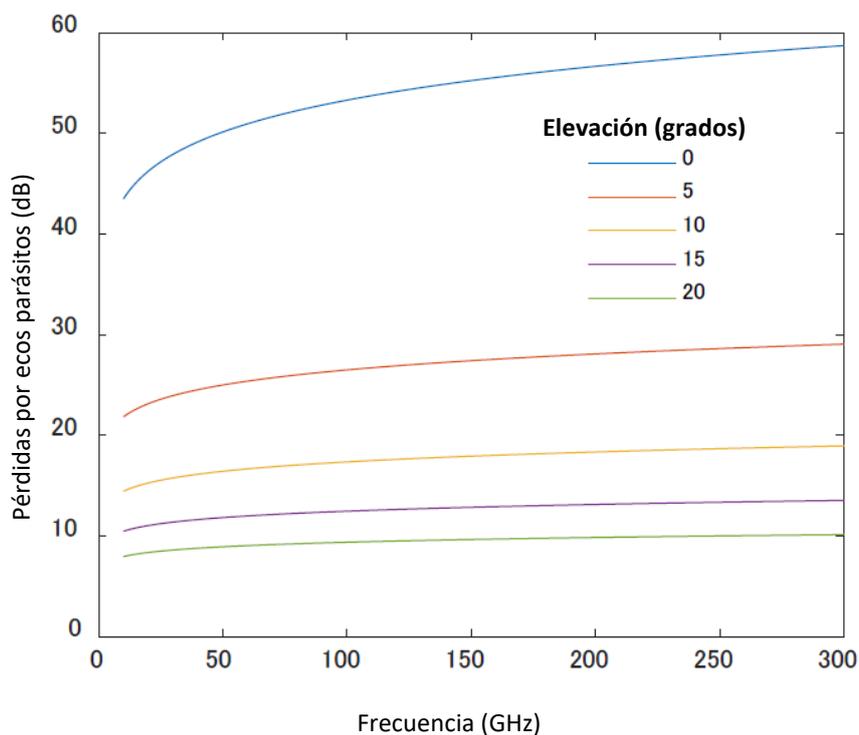


FIGURA A2-2

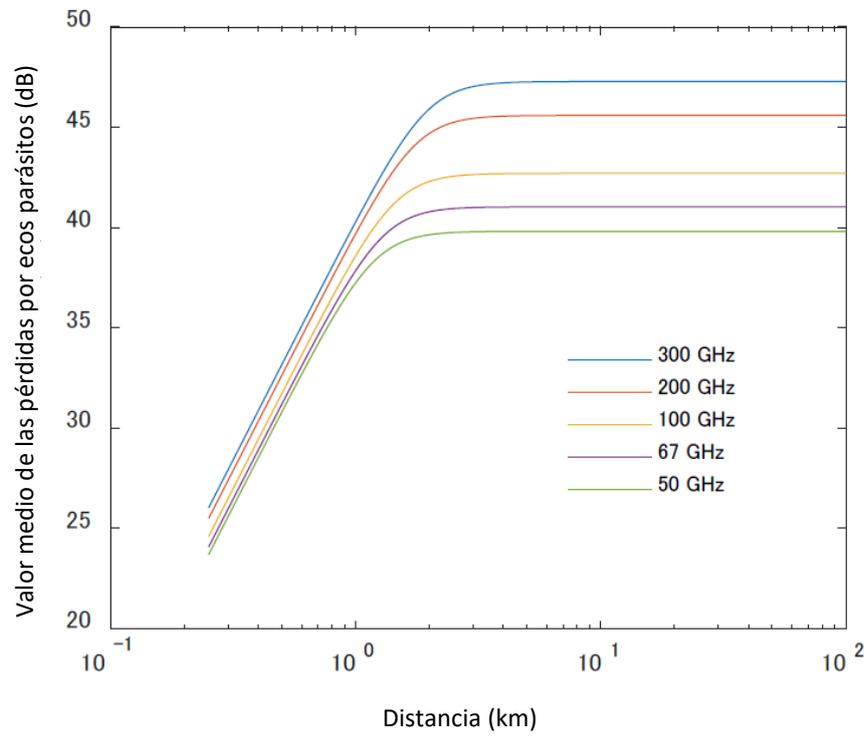
Extrapolación de los valores promedio de pérdidas por ecos parásitos a lo largo de un trayecto de satélite sobre la base de la Recomendación UTT-R P.2108



NOTA – Sería necesario utilizar la distribución íntegra de los valores del modelo de pérdidas por ecos parásitos a los efectos de análisis en los estudios sobre compartición y compatibilidad.

FIGURA A2.3

Extrapolación de los valores de pérdidas por ecos parásitos en trayecto terrenal sobre la base de la Recomendación UIT-R P.2108



Anexo 3

Resultados de la medición del diagrama de radiación de antena a 300 GHz

En el presente Anexo se presenta el diagrama de radiación de la antena utilizado en varios estudios que figuran en el Anexo 4.

FIGURA A3-1

Medición de las características de antenas de 30-dBi y 15-dBi

a) Antena de bocina, 30-dBi

b) Antena CPMS, 15-dBi CPMS

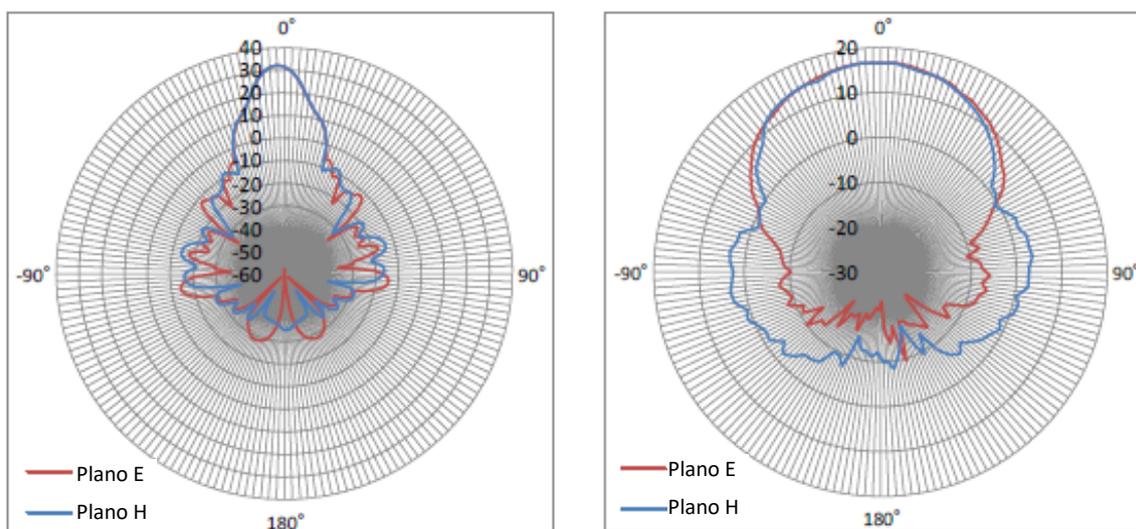
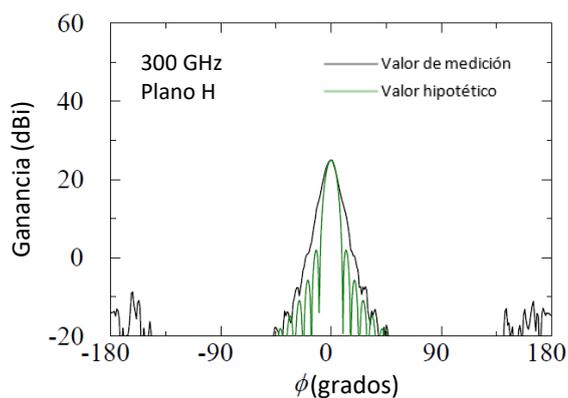


FIGURA A3-2

Resultados de la medición del diagrama de antena de bocina de 25 dBi de ganancia

a) Plano H



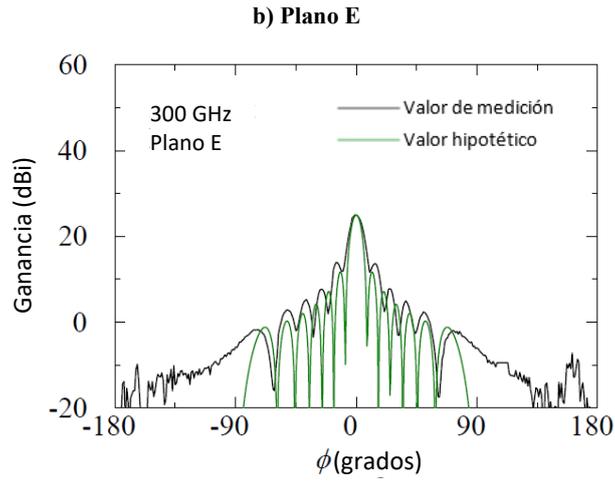


FIGURA A3-3

Medición de las características de una antena de parábola de foco desplazado de 49 dBi de ganancia máxima

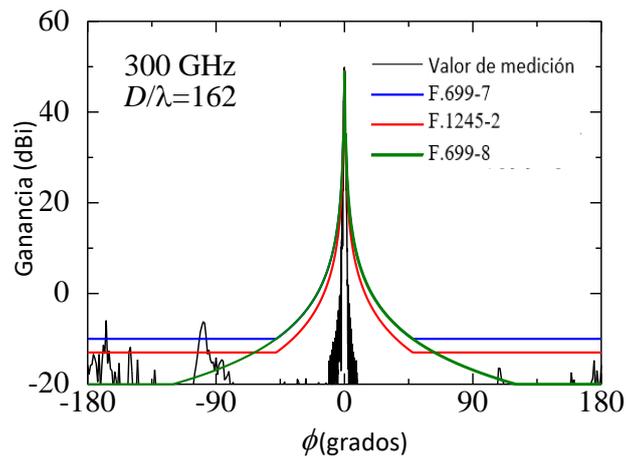
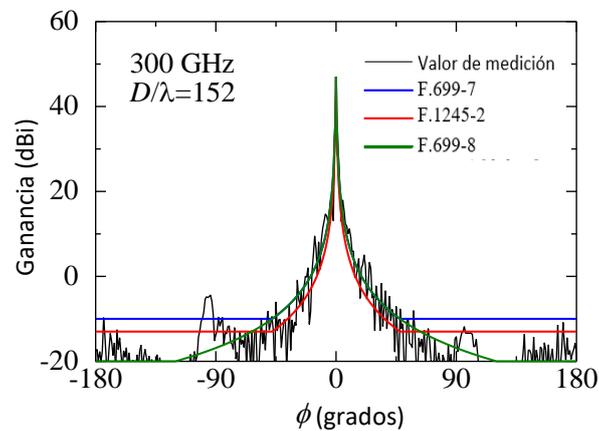


FIGURA A3-4

Medición de las características de una antena Cassegrain de 47 dBi de ganancia máxima



Anexo 4

Estudios de compartición entre aplicaciones del SMT y el SF y el servicio de exploración de la Tierra por satélite

A4.1 Introducción

En el presente Anexo se presentan los resultados de cuatro estudios de compartición (estudios 2, 3, 4 y 5) entre el SETS (pasivo) y aplicaciones del SF y del SMT en las bandas identificadas para el SETS (pasivo) en la gama de frecuencias 275-450 GHz.

Las bandas de frecuencias objeto de estudio figuran en el número **5.565** del RR, a saber, 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz y 439-467 GHz.

Cabe señalar que, debido a que las bandas 275-286 GHz y 409-411 GHz se limitan a la utilización de las sondas de limbo del SETS (pasivo), cabe realizar la hipótesis, por principio, de que se utilizarán para aplicaciones de los servicios móvil terrestre y fijo.

También conviene señalar que en el estudio 1 se describe el análisis estático inicial de compartición entre el SF y el SETS (pasivo) y que se realizó antes de que se establecieran las características del SF. No obstante, se consideró que podría ser útil mantenerlo como estudio de referencia.

A4.2 Estudio 1: Análisis estático entre el SF/SMT y el SETS (pasivo)

En este estudio se aborda el análisis estático entre una estación del SF/SMT que apunta directamente a un satélite del SETS (pasivo) y se calcula la interferencia máxima de una sola fuente al sensor del SETS (pasivo).

A4.2.1 Niveles máximos admisibles de emisión de una sola fuente de interferencia

Al considerar las emisiones de una fuente del SF/SMT en un punto determinado de la Tierra, la atenuación compuesta en el sensor del SETS (pasivo) puede calcularse sobre la base de tres factores:

- la atenuación en el espacio libre Att_{FS} , que viene dada por la distancia de trayecto oblicuo entre el satélite y el citado punto en la Tierra;
- la atenuación debida a los gases Att_{GAS} (véase la Recomendación UIT-R P.676), que viene dada por la elevación a la que se ve el satélite desde el citado punto de la Tierra;
- la ganancia relativa G_{discr} de la antena del sensor, que viene dada por el ángulo con el que se ve el punto en la Tierra desde el satélite, con respecto al ángulo de apuntamiento del sensor.

Cabe observar que la atenuación de una señal emitida desde la superficie de la Tierra hacia un sensor del SETS (pasivo) puede ser mayor, en función del tiempo, que la suma de los elementos de atenuación compuesta anteriormente enumerados si se tiene en cuenta la refracción atmosférica. Sin embargo, conviene destacar que el trayecto de transmisión desde un emisor en la superficie de la Tierra dirigido a un sensor del SETS (pasivo) tiene tantas probabilidades de ser refractado hacia el sensor del SETS (pasivo) como de ser refractado lejos dicho sensor. En consecuencia, la refracción atmosférica no influye en los resultados del análisis estático llevado a cabo, ni en la realización de los análisis dinámicos que pudieran precisarse.

Habida cuenta de ello, la interferencia al receptor del sensor del satélite provocada por un solo transmisor terrenal (de potencia radiada P en el sentido del satélite) en un punto determinado de la Tierra se calculará de la siguiente manera:

$$I = P - Att_{FS} - Att_{GAS} + G_{discr} = P - Att_{composite}$$

siendo:

$$Att_{composite} = Att_{FS} + Att_{GAS} - G_{discr} = \text{«Atenuación compuesta»}.$$

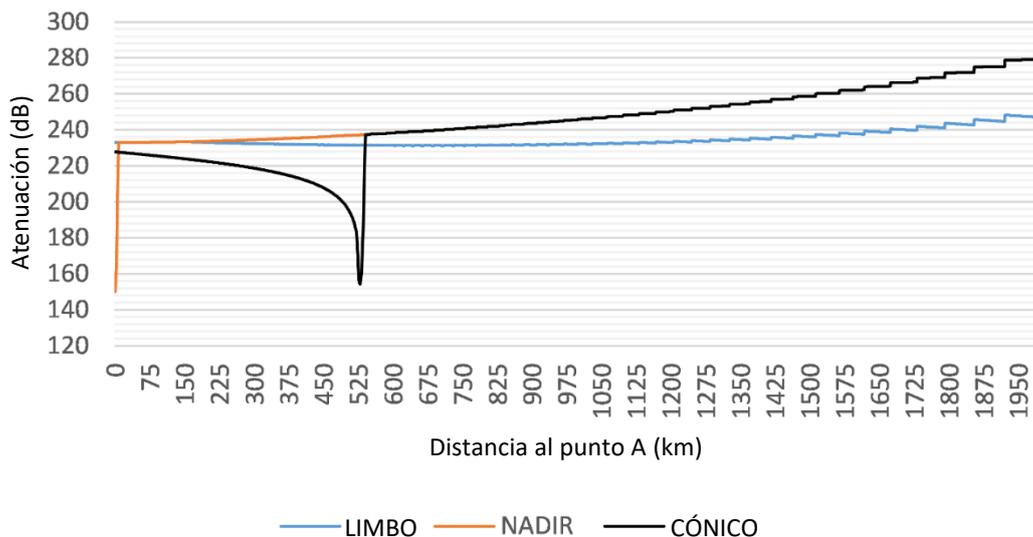
Con arreglo al ejemplo de la banda 296-306 GHz, en la Fig. A4-1 se proporcionan los resultados de los cálculos de atenuación compuesta entre un punto de la Tierra y los tres tipos de sensores pasivos del SETS.

El análisis se realiza desde el punto A (nadir del satélite) hasta el punto B, situado a 2 000 km de A, la mayor distancia a la que puede situarse una fuente interferente del nadir de un satélite a 817 km de altitud si se tiene en cuenta la zona de medición que figura en la Recomendación UIT-R RS.2017.

- Altitud del satélite = 817 km
- Ganancia de la antena del sensor del satélite = 60 dBi
- Diagrama de antena del sensor de satélite (Recomendación UIT-R RS.1813)
- Atenuación debida a los gases a 301 GHz (Recomendación UIT-R P.676, Anexo 2 (modelo simplificado))
- Altitud de apuntamiento del sensor de limbo = 25 km
- Ángulo con respecto al nadir del sensor cónico = 32,2°.

FIGURA A4-1

Atenuación compuesta de emisiones del SF/SMT hacia el SETS (pasivo) para los modos N, L y C



Habida cuenta de las citadas hipótesis, en la figura anterior cabe destacar que:

- los valores de atenuación compuesta al tener en cuenta los sensores de limbo se sitúan siempre entre 230 y 250 dB;
- la atenuación compuesta al tener en cuenta los sensores de nadir y cónico alcanza valores mínimos para el ángulo de incidencia de la antena del sensor en la Tierra de 150 dB y 154 dB, respectivamente.

La atenuación compuesta aumentará en función de la frecuencia y con el aumento de la distancia al nadir (para ángulos de elevación menores con respecto a la ubicación del dispositivo y del sensor del SETS). Sin embargo, puesto que los sensores del SETS (pasivo) se despliegan en satélites no OSG, el ángulo de elevación del dispositivo con respecto al sensor variará a medida que el satélite avanza en su órbita y la interferencia total vendrá determinada principalmente por los dispositivos situados cerca del punto en el que el haz del SETS se interseca con la superficie de la Tierra con arreglo al ángulo de incidencia del sensor.

En la práctica, la interferencia total al sensor del SETS (pasivo) será la suma de todas las señales interferentes calculadas para todas las fuentes de interferencia respecto de la visibilidad del satélite, incluidas las fuentes de interferencia al sensor a través de los lóbulos laterales de su antena. Habida cuenta del elevado valor de atenuación compuesta calculada para los sensores de limbo, la experiencia pone de manifiesto que, a los efectos de cálculo del haz principal, es suficiente para determinar la interferencia que se produciría a los sensores de nadir y Cónico, puesto que puede considerarse que la interferencia a través de los lóbulos laterales es inexistente, debido al nivel de discriminación de la antena.

Habida cuenta de ello, y con arreglo al diseño típico de los sensores del SETS (pasivo) que figura en el Cuadro A1-1, en el cuadro siguiente se proporcionan los resultados del cálculo de los niveles de emisión admisibles de una sola fuente de interferencia del SF o del SMT hacia el sensor del SETS (pasivo) en una zona de referencia que sería necesaria para garantizar la protección de los sensores del SETS (pasivo) en la banda 296-306 GHz.

Cabe destacar que las conclusiones sobre los estudios de compartición entre el SETS (pasivo) y el SF y el SMT en la banda 275-450 GHz deben abarcar la interferencia combinada que provocan el SF y el SMT en una huella (zona de referencia) del SETS (pasivo), así como los criterios sobre disponibilidad de datos que figuran en la Recomendación UIT-R RS.2017 en la zona de medición prescrita. En el Cuadro A4-1 no se tienen en cuenta los efectos de la interferencia combinada provocada por el SF y el SMT, ni dichos criterios sobre disponibilidad de datos.

CUADRO A4-1

Niveles máximos admisibles de emisión de una sola fuente de interferencia del SF/SMT hacia el SETS (pasivo)⁶

Parámetro	Unidad	Idx	Nadir	Cónico	Limbo
Órbita del satélite	km		817	817	817
Ángulo de incidencia de la antena con respecto a la Tierra	°		0	53	N/A
Distancia del trayecto oblicuo (centro de la huella)	km		817	991	
Pérdidas en el espacio libre, Att_{FS}	dB	a	200,3	201,9	
Pérdidas atmosféricas (P.676), Att_{GAS}	dB	b	9,8	12,2	
Ganancia de antena del sensor	dBi	c	60	60	
Atenuación compuesta, $Att_{composite}$	dB	$d = a + b - c$	150,1	154,1	230 a 250
Criterios de protección agregada (RS.2017)	dBW	e	-160	-160	-194
Ancho de banda de referencia	MHz		200	200	3
Distribución de los criterios sobre protección (50% SF y 50% SMT)	dB	f	3	3	3
Máximo nivel de emisión de una sola fuente de interferencia hacia el SETS (pasivo) en la zona de referencia	dBW/200 MHz	$= e - f + d$	-12,9	-8,9	33 a 53 dBW/3 MHz
Zona de referencia (tamaño de la huella para los modos de nadir y cónico, visibilidad respecto del limbo)	km ²		10(N)/20(C)	10(N)/20(C)	29,5 M

⁶ Los niveles máximos admisibles de emisión de una sola fuente de interferencia del SF/SMT al SETS (pasivo) se basan en la hipótesis de interferencia más desfavorable del SF/SMT al sensor del SETS (pasivo).

A4.2.2 Niveles máximos de emisión de una sola fuente de interferencia de sistemas del SF

Los parámetros del SF para la gama 275-450 MHz figuran en el Informe UIT-R F.2416 y se incluyen en el Cuadro 7 del presente informe.

Habida cuenta de una p.i.r.e. del transmisor del SF de 0 dBW, en el Cuadro A4-2 se facilita el resultado de los cálculos de la densidad de la p.i.r.e. del SF (dBW/200 MHz) para los dos valores extremos de ganancia de antena del SF y las anchuras de banda que se proponen en los Cuadro 7 y A4-2.

CUADRO A4-2

Densidad de p.i.r.e. del SF (dBW/200 MHz)

Ancho de banda del SF (GHz)	Factor de ancho de banda con respecto a 200 MHz	Densidad de p.i.r.e. (dBW/200 MHz) para una antena de 24 dBi	Densidad de p.i.r.e. (dBW/200 MHz) para una antena de 50 dBi
2,16	-10,3	13,7	39,7
4,32	-13,3	10,7	36,7
8,64	-16,4	7,6	33,6
12,96	-18,1	5,9	31,9
17,28	-19,4	4,6	30,6
25,92	-21,1	2,9	28,9
51,84	-24,1	-0,1	25,9
69,12	-25,4	-1,4	24,6

Los resultados que figuran en los Cuadros A4-2 y A4-1 ponen de manifiesto que la densidad de p.i.r.e. del SF para 200 MHz rebasa los límites de emisión admisibles de una sola fuente de interferencia del SF, con arreglo a los valores siguientes:

- Instrumentos cónicos (límite de -8,9 dBW/200 MHz):
 - 7,5 a 22,6 dB (para una antena de 24 dBi);
 - 33,5 a 48,6 dB (para una antena de 50 dBi).
- Instrumentos de nadir (límite de -12,9 dBW/200 MHz):
 - 11,5 a 26,6 dB (para una antena de 24 dBi);
 - 37,5 a 52,6 dB (para una antena de 50 dBi).

A4.2.3 Síntesis del estudio 1

En este estudio se señala que las emisiones de un solo transmisor del SF/SMT apuntado directamente a un satélite del SETS (pasivo) con un sensor de nadir o cónico rebasarían el umbral de interferencia. Ello pone de manifiesto que al tener en cuenta únicamente las características de la emisión de una sola fuente de interferencia del SF/SMT y la compartición de la atenuación compuesta entre el SF/SMT y los instrumentos de nadir y cónicos del SETS (pasivo) para la banda 296-306 GHz (así como en las demás bandas de la gama 275-450 GHz utilizadas por los instrumentos de nadir y cónicos), la compartición podría dar lugar a problemas. En este estudio inicial no se ha tenido en cuenta la interferencia combinada asociada a la densidad de despliegue tanto del SMT como del SF. Las pérdidas en el trayecto varían sustancialmente con la frecuencia y el ángulo de elevación y, por lo general, son mayores para frecuencias más elevadas y ángulos de elevación menores. En

consecuencia, en análisis ulteriores deberían tenerse en cuenta los ángulos de elevación operacionales de dichos sistemas del SF.

Por otro lado, en nuevos estudios relativos a los sensores de limbo debería abordarse el análisis del caso de interferencia combinada. Ello requerirá, en consecuencia, la descripción de los casos de despliegue del SF, incluidas las densidades de equipos por km² en diversos entornos (rurales, suburbanos y urbanos).

La compartición entre el SF y el SETS (pasivo) en la gama de 275-450 GHz requerirá la realización de nuevos estudios, en los que se aborden tanto los casos de fuente de interferencia única como los de interferencia combinada para varios tipos de sensores del SETS (pasivo) y gamas de frecuencias.

No obstante, antes de formular conclusiones definitivas, es necesario arrojar luz sobre los aspectos enumerados a continuación:

- la descripción de la distribución de la elevación del SF prevista para la banda por encima de 275 GHz;
- la descripción del diagrama o de los diagramas de antena del SF;
- la descripción de las hipótesis de despliegue del SF (densidad de equipos por km²) en diversos entornos (rurales, suburbanos y urbanos).

También se precisará información análoga al abordar la compartición entre el SMT y el SETS (pasivo).

Por último, habrá que tener en cuenta la compatibilidad del SETS (pasivo) en bandas adyacentes respecto de las operaciones propuestas del SF y el SMT, en particular si se trata de sistemas de gran ancho de banda. A tal efecto, también se necesitará información sobre las máscaras de emisión pertinentes del SF y del SMT.

A4.3 Estudio 2: Evaluación de la interferencia del SF al SETS (pasivo)

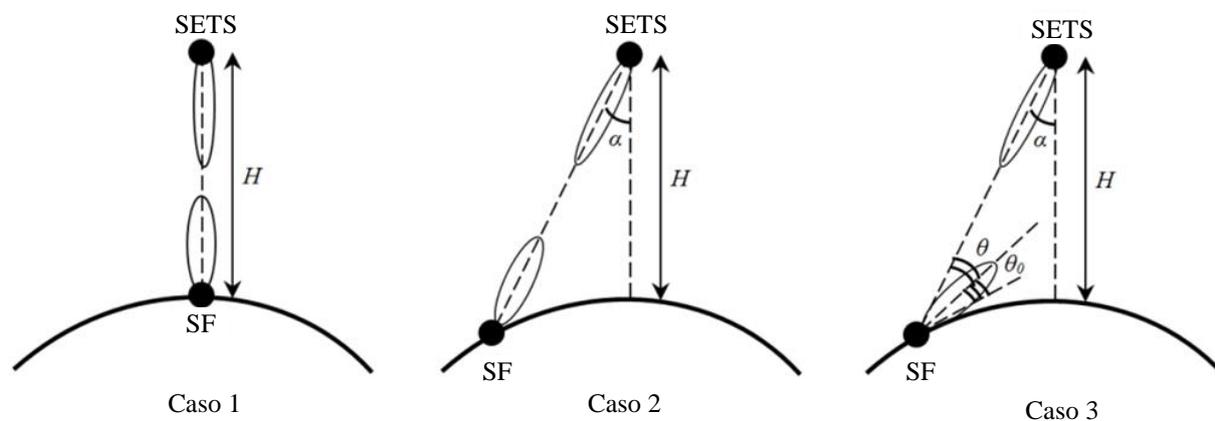
A4.3.1 Evaluación de una sola fuente de interferencia del SF al SETS (pasivo)

En este estudio se proporcionan los resultados de un análisis estático relativo a una estación del SF y un satélite del SETS (pasivo) para tres casos de apuntamiento en la gama de frecuencias 275-450 GHz.

Los tres casos que se abordan en el análisis se representan en la Fig. A4-2. En el caso 1, el valor máximo de la ganancia de antena del SF coincide con el valor máximo de la ganancia de antena del satélite del SETS que funciona en modo de nadir. En el caso 2, el valor máximo de la ganancia de antena del SF coincide con el valor máximo de ganancia de antena del satélite del SETS que funciona en modo de exploración cónica. Por último, en el caso 3, una estación del SF utiliza los ángulos de elevación típicos que figuran en el Cuadro 7 del Informe, y se tiene en cuenta un determinado grado de discriminación de la antena.

FIGURA A4-2

Casos de interferencia entre un transmisor del SF y el SETS



CUADRO A4-3

Parámetros del SF utilizados en el estudio con fuente de interferencia única

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
p.i.r.e. de la estación del SF (dBm)	20	20	20
Ganancia del SF respecto del satélite del SETS	24/50	24/50	10,8/-2,4
Ancho de banda del SF (GHz)	2/25	2/25	2/25
Altitud del SETS (km)	400	400	400
Ángulo α de apuntamiento del SETS (grados)	0	45	45

En las Figs. A4-3 a A4-5 se representan los niveles de interferencia de una sola fuente para la gama de frecuencias 275 a 450 GHz. En dichas Figuras, las frecuencias resaltadas en azul únicamente se utilizan para sondas de limbo del SETS (pasivo). El máximo nivel de interferencia admisible se indica mediante una línea roja discontinua.

FIGURA A4-3

Interferencia entre una estación del SF y un satélite del SETS que funciona en modo de nadir (Caso 1)

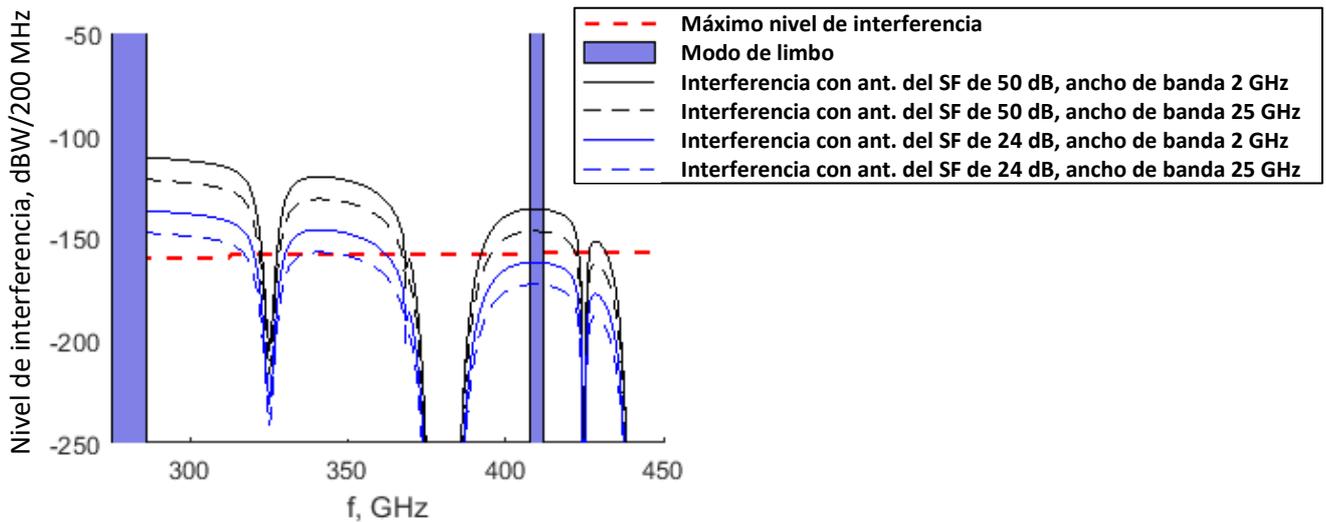
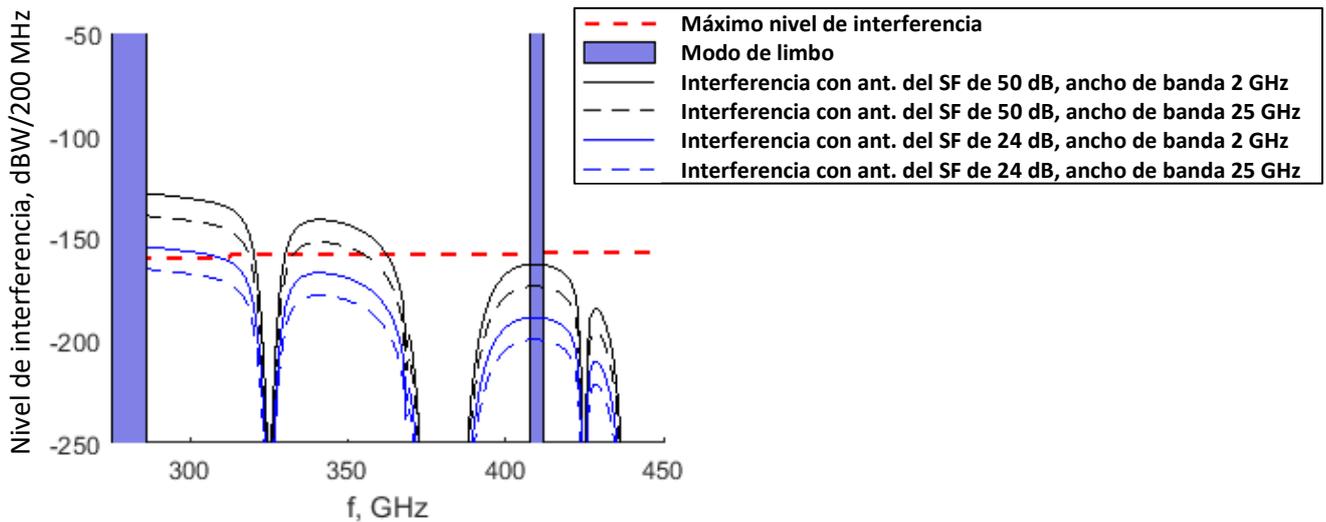


FIGURA A4-4

Interferencia entre una estación del SF y un satélite del SETS que funciona en modo de exploración cónica (Caso 2)



En la Fig. A4-5 se representa el análisis de la interferencia entre una estación del SF y un sensor cónico del SETS para el caso 3, de manera análoga a la representación de la Fig. A4-4, pero para un ángulo de elevación de la estación del SF de 20 grados ($\theta_0 = 20^\circ$), es decir, con un ángulo de discriminación de la antena de 21 grados (con arreglo a la ecuación (1)).

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{(a+H)\sin\alpha}{a}\right) - \theta_0, \quad (1)$$

siendo:

a : Radio de la Tierra

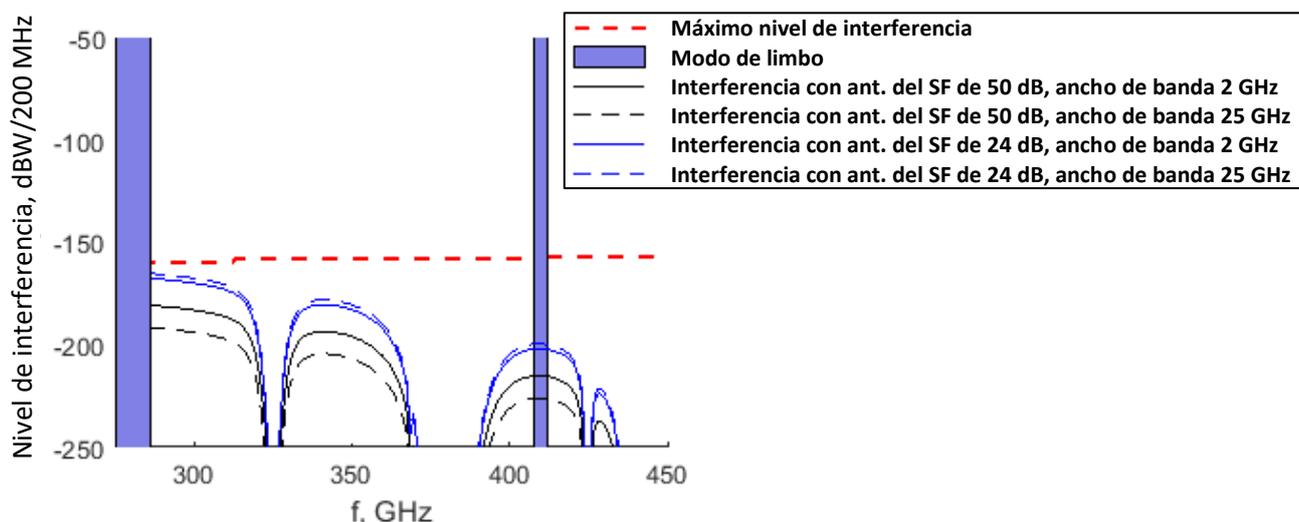
H : Altitud del satélite del SETS

α : ángulo con respecto a la dirección del nadir

θ_0 : ángulo de elevación del SF.

Habida cuenta de ello, la ganancia de antena hacia el satélite es 2,4 dBi para una antena de 50 dBi, y 10,8 dBi para una antena de 24 dBi, en consonancia con el diagrama de radiación de referencia de la actual versión de la Recomendación UIT-R F.699.

FIGURA A4-5
Interferencia entre una estación del SF y un satélite del SETS que funciona en modo de exploración cónica (caso 3) con discriminación de antena



Los resultados para una sola fuente de interferencia relativos a los tres casos que se han tenido en cuenta permiten llegar a una conclusión preliminar sobre la posibilidad de lograr compartición entre el SF y el SETS (pasivo) en varias bandas de frecuencias sobre la base de las condiciones de propagación.

A4.3.2 Evaluación de la interferencia combinada del SF al SETS (pasivo)

Con respecto al cálculo de la interferencia combinada, se escogieron las frecuencias 399 GHz, 416 GHz y 429 GHz.

Se utilizaron los siguientes parámetros del satélite del SETS: anchura del haz, 0,64 grados; ganancia de antena del satélite del SETS, 60 dBi; y altitud del satélite, 400 km.

Por otro lado, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros del sistema del SF: ganancia de antena de 24 y 50 dBi (diagramas de radiación de referencia relativos a la versión actual de la Recomendación UIT-R F.1245), ancho de banda de 2 GHz y potencia de transmisión de 20 dBm. La densidad del SF corresponde a la establecida en el § 5.2.1 (densidad prevista para las IMT-2020). La distribución del ángulo de elevación tenida en cuenta fue ± 20 grados (véase el Cuadro 7) y ± 12 grados. El porcentaje de estaciones en funcionamiento simultáneo a la misma frecuencia fue del 100%.

En la Fig. A4-6 se representan los resultados de los cálculos relativos a tres frecuencias y dos distribuciones del ángulo de elevación (± 20 grados y ± 12 grados) para una antena del SF de 24 dBi, y en la Fig. A4-7 para una antena del SF de 50 dBi.

Con arreglo a la versión actual de la Recomendación UIT-R F.1245, para una antena de 50 dBi la ganancia en dirección ortogonal a la de valor máximo es -13 dBi, y para la antena de 24 dBi, es -7,07 dBi.

FIGURA A4-6

Interferencia combinada del SF con ganancia de antena del SF de 24 dBi
respecto de un satélite del SETS que funciona en modo nadir

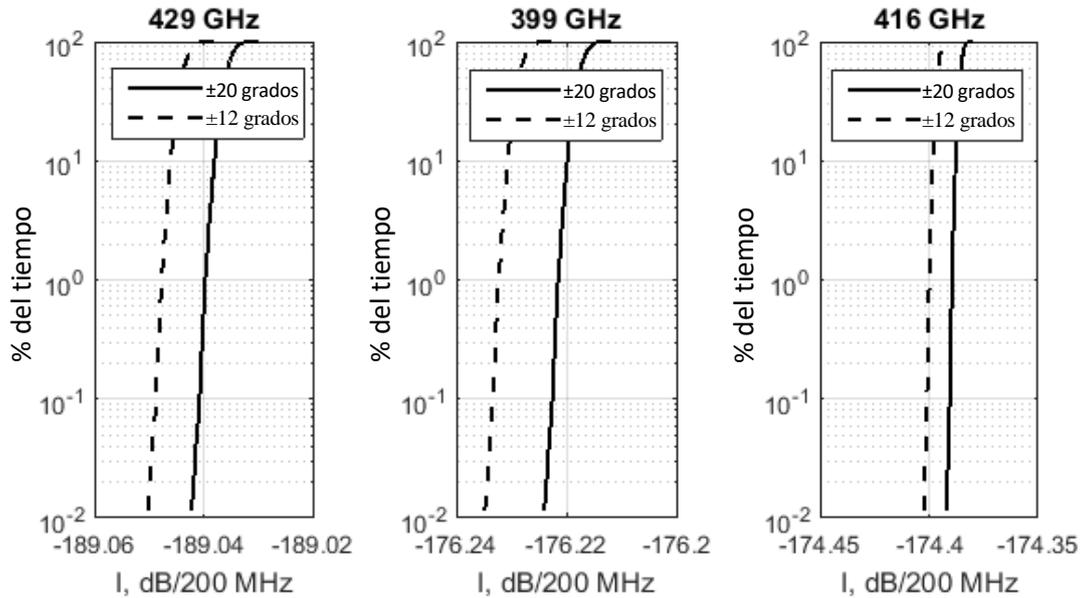
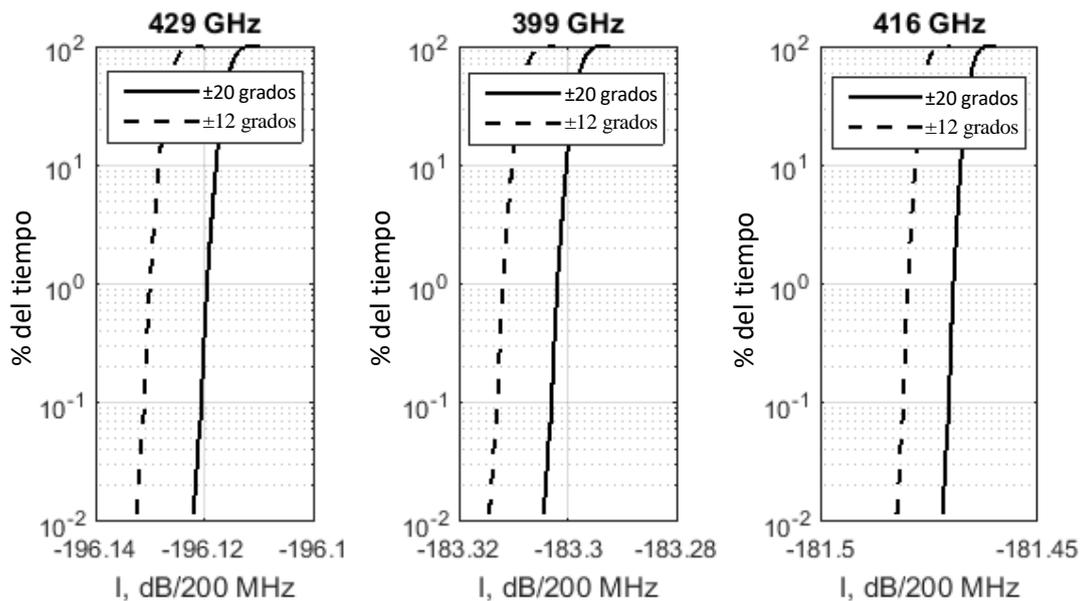


FIGURA A4-7

Interferencia combinada del SF con ganancia de antena del SF de 50 dBi
respecto de un satélite del SETS que funciona en modo nadir



Con arreglo a la información que figura en el Cuadro 12 del presente informe, los niveles máximos de interferencia para estas frecuencias poseen el valor siguiente:

429 GHz: -157 dBW/200MHz;

399 GHz: -158 dBW/200MHz;

416 GHz: -157 dBW/200MHz.

En consecuencia, para ambas antenas del SF el nivel de interferencia no se rebasa respecto de las frecuencias elegidas para todos los valores de tiempo.

La evaluación de las bandas de frecuencias en las que es posible la compartición puede realizarse con arreglo a la información de las Figs. A4-8 y A4-9, en las que se representan los valores aproximados de los niveles de interferencia combinada teniendo en cuenta las bandas identificadas para el SETS (pasivo). Esos valores se calcularon mediante la fórmula siguiente:

$$I_{aggr} = I_{single}(\theta_0 = 0) + 10 \lg N \quad (2)$$

siendo N la cantidad de estaciones del SF.

FIGURA A4-8

Interferencia combinada aproximada del SF a un satélite del SETS (pasivo) que funciona en modo de nadir, con ganancia de antena del SF de 24 dBi

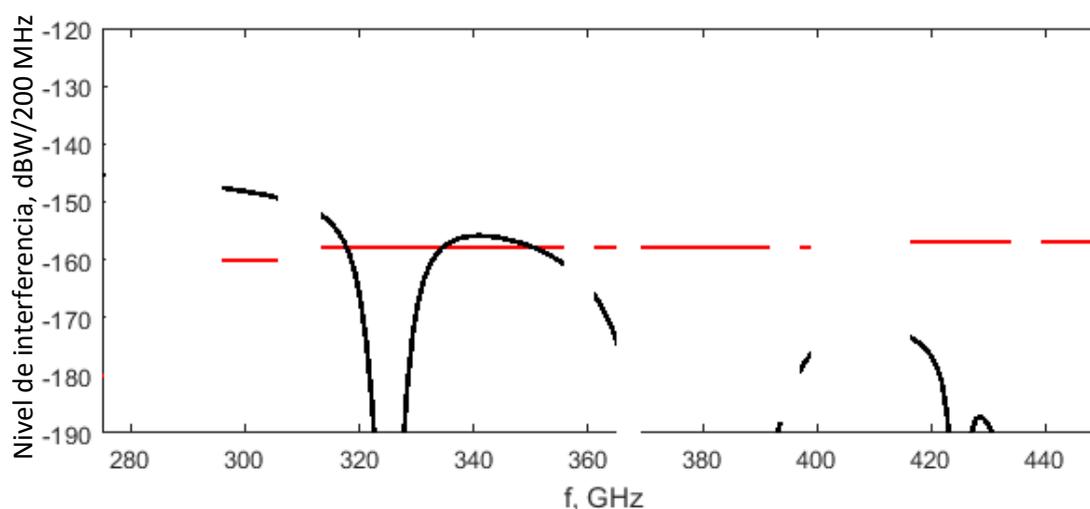
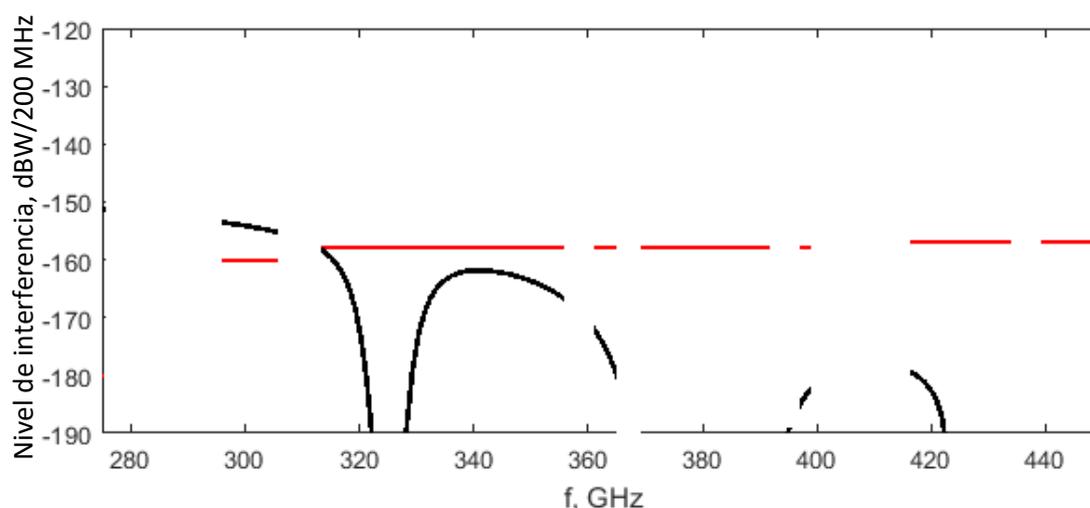


FIGURA A4-9

Interferencia combinada aproximada del SF a un satélite del SETS (pasivo) que funciona en modo de nadir, con ganancia de antena del SF de 50 dBi



Según se desprende de las Figs. A4-8 y A4-9, en las bandas de frecuencias 275-286 GHz, 318-334 GHz, 350-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz, 439-450 GHz, la compartición sería posible.

A4.3.3 Resumen

Según los resultados del estudio 2, en las bandas de frecuencias 275-286 GHz, 318-334 GHz, 350-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz, 439-450 GHz es posible la compartición entre el SETS (pasivo) y el SF.

Las bandas 286-296 GHz, 356-361 GHz, 365-369 GHz, 392-397 GHz, 399-409 GHz, 411-416 GHz y 434-439 GHz no se han identificado para su utilización por el SETS (pasivo) y, en consecuencia, pueden utilizarse para aplicaciones de los servicios móvil terrestre y fijo sin condiciones.

A4.4 Estudio 3: Análisis de la compatibilidad entre el SETS (pasivo) y el SF/SMT en la gama de frecuencias 275-450 GHz

En los análisis que se abordan en la presente sección se examina la capacidad de interferencia de las aplicaciones del SF y del SMT que funcionan en la gama de frecuencias 275-450 GHz a los sistemas del SETS (pasivo) que funcionarían también en esa gama de frecuencias.

A4.4.1 Metodología de análisis

A continuación se describe el enfoque adoptado en los análisis:

- 1) selección de las características de aplicación del SF y SMT para el caso más desfavorable;
- 2) determinación de la distribución de la interferencia entre las aplicaciones del SF y del SMT descritas;
- 3) realización de un único análisis FOV para cada tipo de sensor pasivo considerado para las bandas de frecuencias del SETS (pasivo) identificadas con arreglo al número **5.565** del RR. El objetivo de dicho análisis es determinar la densidad de despliegue de dispositivos de las aplicaciones del SF y del SMT que sería necesaria para rebasar el umbral de protección frente a la interferencia que figura en la Recomendación UIT-R RS.2017;
- 4) análisis de los valores de densidad de despliegue resultantes para determinar su viabilidad; y
- 5) mejora de los estudios, de ser necesario, en función de los resultados obtenidos.

Sondas de limbo

Las sondas de limbo no apuntan a la Tierra, sino tangencialmente a través de la atmósfera. En consecuencia, la disposición geométrica más desfavorable en materia de interferencia para las sondas de limbo se produce cuando las fuentes interferentes se sitúan en el nadir del sensor. A los efectos del análisis se desplegaron emisores del SF y del SMT en el nadir del sensor y se aumentaron progresivamente los valores de densidad de manera uniforme para analizar su sensibilidad con respecto a la densidad de los dispositivos.

Sensores de exploración cónica y de nadir

La metodología utilizada para los sensores de exploración cónica y de nadir es análoga a la empleada para los análisis relativos a las sondas de limbo. El sensor de exploración cónica posee un ángulo de nadir fijo, y en consecuencia, una trayectoria oblicua fija desde un IFOV hacia el sensor. Para los sensores de exploración cónica se desplegaron fuentes interferentes del SF/SMT con respecto a dicho IFOV. El sensor de exploración de nadir posee un ángulo de nadir variable, si bien la disposición geométrica relativa al caso más desfavorable se da cuando el haz se sitúa en el nadir del sensor, de ahí que se desplegaran fuentes interferentes con respecto al IFOV del nadir del sensor. La interferencia registrada en el sensor de exploración cónica o reticular puede producirla principalmente un solo emisor del SF al darse una alineación de haces principales entre el sensor y el emisor del SF. Si bien este tipo de interferencia se describe en el § A4-2 para sensores de exploración cónica, es aplicable asimismo a sensores de exploración reticular. Habida cuenta de ello, en los análisis se examina el valor de la densidad de despliegue de emisores del SF para el que rebasa el límite de disponibilidad de datos que figura en la Recomendación UIT-R RS.2017.

Se realiza la hipótesis de que el apuntamiento de la elevación de antena del SF varía uniformemente para los valores de elevación de la antena definida. En el Cuadro A4-3 se indica el ángulo de haz incidente para el sensor de exploración cónica en una banda determinada. La variación del ángulo de haz incidente del sensor de exploración reticular puede oscilar entre unos 18 y 60 grados. Puesto que se ha realizado la hipótesis de que el ángulo de elevación de la antena para una aplicación del SF varía uniformemente entre 0 y 67 grados en el caso más desfavorable, la probabilidad de alineación de haces principales entre la antena del SF y la antena del sensor de exploración reticular es la misma para cualquier ángulo incidente de la antena de exploración reticular; en consecuencia, a los efectos de análisis en esta sección, se considera un ángulo incidente de 60 grados para el sensor de exploración reticular. No obstante, podrían aplicarse políticas reglamentarias específicas a nivel administrativo con objeto de limitar los ángulos de elevación de las fuentes del SF para las bandas en las que los ángulos de elevación elevados no son compatibles con la utilización del SETS (pasivo).

Cabe destacar que se realizan simulaciones Monte Carlo del despliegue en la zona de huella de un sensor con arreglo a valores de densidad de despliegue que aumentan progresivamente, hasta que el resultado señala que se han rebasado los criterios sobre disponibilidad de datos que figuran en la Recomendación UIT-R RS.2017. Esa densidad de despliegues para la que se rebasan dichos criterios se examina posteriormente como densidad de emisores que puede lograrse. Si se considera que se trata de una densidad de emisores que puede lograrse, cabe seguir mejorando ulteriormente el despliegue de las aplicaciones del SF.

Al examinar la repercusión de la interferencia que producen las aplicaciones del SMT a los sensores de exploración cónica y reticular, la densidad de despliegue de emisores del SMT en la huella de un sensor se aumenta hasta que se rebasen los criterios relativos al umbral de interferencia que figuran en la Recomendación UIT-R RS.2017. Esa densidad de despliegues para la que se rebasan dichos criterios se examina posteriormente como densidad de emisores que puede lograrse. Si se considera que se trata de una densidad de emisores que puede lograrse, cabe seguir mejorando ulteriormente el despliegue de las aplicaciones del SMT. No se considera necesario realizar simulaciones Monte Carlo del despliegue de SMT, habida cuenta de la gran anchura de haz de las antenas del SMT.

A4.4.2 Características de los sistemas del SETS (pasivo)

Los sensores del SETS (pasivo) que han de utilizarse en estudios de compartición en las bandas de frecuencias identificadas para su utilización por el SETS (pasivo) con arreglo al número **5.565** del RR se enumeran en el Cuadro 12 del presente informe. Las características de esos sensores figuran en el Cuadro 13. En el Cuadro A4-4 se proporciona un resumen de las características de los sensores del SETS (pasivo) que han de utilizarse en los análisis.

La Recomendación UIT-R RS.1813, «Diagrama de antena de referencia para sensores pasivos que funcionan en el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) que debe utilizarse en los análisis de compatibilidad en la gama de frecuencias 1,4-100 GHz», se utiliza para obtener los parámetros de antena del sensor del SETS (pasivo) en la gama de frecuencias 275-450 GHz, de precisarse esos parámetros para la realización del análisis pertinente.

CUADRO A4-4

Características del SETS (pasivo) para las bandas de frecuencias identificadas con arreglo al número 5.565 del RR

Parámetros	Banda de frecuencias (GHz)																	
	275-286		296-306		313-356			361-365		369-392		397-399		409-411	416-434		439-467	
	Limbo ²	Limbo ³	Cónico ⁴	Limbo ⁵	Nadir ⁶	Cónico ⁷	Limbo ⁸	Cónico ^{9,10}	Limbo ¹¹	Reticular ^{12,13}	Limbo ¹⁴	Cónico ^{15,16}	Limbo ¹⁷	Limbo ¹⁸	Reticular ^{19,20}	Limbo ²¹	Nadir ⁶	Cónico ²²
Altitud (km)	817	817	817	817	817	817	817	817	817	35 684	817	817	817	817	35 684	817	–	817
Ángulo de nadir	–	–	45°	–	0°	45°	–	45°	–	–	–	45°	–	–	–	–	0°	45°
Ángulo de haz incidente	–	–	–	–	–	–	–	–	–	~18°–60°	–	–	–	–	~18°–60°	–	–	–
Altitud mínima de apuntamiento (km)	6	3	–	3	–	–	6	–	6	–	6	–	6	6	–	6	–	–
Frecuencia central (GHz)	280,5	299,75	301	320,0	–	325,15	363,0	363,0	370,5	380,197	398,0	398,0	410,0	425,0	424,76	453,0	–	448,0
Ancho de banda	11,0	11,5	5	9,0	3	3	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0	3,0	2,0	12,0	1,0	12,0	3	3
Ganancia de cresta de la antena	70	80 ²³	55	80 ²³	55	55	70	55	70	(3m día.)	70	55	70	70	(3m día.)	70	55	55
FOV (km)	h = 5 v = 2,5	2,3 × 4,6	~200 km ²	2,3 × 4,6	~30 km ²	~200 km ²	h = 5 v = 2,5	~200 km ²	h = 5 v = 2,5	12 km ²	h = 5 v = 2,5	~200 km ²	h = 5 v = 2,5	h = 5 v = 2,5	10 km ²	h = 5 v = 2,5	~30 km ²	~200 km ²

² Obtenidos de las características STEAMR

³ MASTER

⁴ Obtenidos de las características ICI

⁵ MASTER

⁶ Obtenidos del estudio 5 en el presente informe

⁷ ICI

⁸ Obtenidos de las características STEAMR

⁹ Enumerado como nadir en el Cuadro 12, si bien se alude a exploración cónica.

¹⁰ Obtenidos de ICI

¹¹ Obtenidos de las características STEAMR

¹² Enumerado como nadir, si bien se alude a exploración reticular OSG

¹³ Obtenidos de las características GOMAS

¹⁴ Obtenidos de las características STEAMR

¹⁵ Enumerado como nadir en el Cuadro 12, si bien se alude a exploración cónica.

¹⁶ Obtenidos de ICI

¹⁷ Obtenidos de las características STEAMR

¹⁸ Obtenidos de las características STEAMR

¹⁹ Enumerado como nadir, si bien se alude a exploración reticular OSG

²⁰ Obtenidos de las características GOMAR

²¹ Obtenidos de las características STEAMR

²² ICI

²⁴ Extrapolación sobre la base de la ganancia de antena y el FOV STEAMR

A4.4.2.1 Criterios de protección frente a la interferencia del SETS (pasivo)

En el Cuadro A4-5 se proporciona el nivel de interferencia y los valores umbral sobre disponibilidad de datos que han de utilizarse al evaluar la compatibilidad de las aplicaciones propuestas del SF y del SMT con el SETS (pasivo) en la gama de frecuencias 275-450 GHz. En el caso de los sensores de exploración reticular del SETS (pasivo), al utilizar los valores umbral de los sensores de exploración de nadir y cónica con respecto al funcionamiento del sensor de exploración reticular, los productos de datos resultantes son equiparables a los de dichos sensores.

CUADRO A4-5

Extracto de la Recomendación UIT-R RS.2017 en el que figuran los criterios de interferencia aplicables a la teledetección pasiva por satélite en la gama de frecuencias 275-450 GHz

Banda(s) de frecuencias (GHz)	Ancho de banda de referencia (MHz)	Nivel máximo de interferencia (dBW)	Porcentaje de zona o tiempo en que puede rebasarse el nivel de interferencia admisible ⁽¹⁾ (%)	Modo de exploración (N, C, L) ⁽²⁾
275-285,4	3	-194	1	L
296-306	200/3 ⁽³⁾	-160/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
313,5-355,6	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L
361,2-365	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
369,2-391,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
397,2-399,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
409-411	3	-194	1	L
416-433,46	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
439,1-466,3	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L

⁽¹⁾ Para el nivel de 0,01%, la zona de medición tiene forma cuadrada, de 2 000 000 km², sobre la superficie de la Tierra, a menos que se justifique otro valor; para el nivel del 0,1%, la zona de medición tiene forma cuadrada, de 10 000 000 000 km², sobre la superficie de la Tierra, a menos que se justifique otro valor.

⁽²⁾ N: Nadir. L: Limbo, C: Cónico.

⁽³⁾ La primera cifra se refiere a los modos de exploración de nadir y cónica, y la segunda a las aplicaciones de sondeo de limbo por microondas.

A4.4.2.2 Zona de medición

La zona de medición que ha de utilizarse para evaluar la interferencia a los sensores que funcionan en la banda 275-450 GHz debe evaluarse para determinar el tamaño del campo de visión instantáneo (IFOV) del sensor del SETS. Esa evaluación está en consonancia con la expresión «a menos que se justifique otro valor» que figura en la Recomendación UIT-R RS.2017, Cuadro 1, Nota 1.

A4.4.3 Características de las aplicaciones del SF y del SMT

En el Cuadro A4-6 se sintetizan las características de las aplicaciones del SF y el SMT utilizadas en los análisis de esta sección. Con respecto a todos los análisis realizados se realiza la hipótesis de un 100% de superposición en la utilización de frecuencias respecto de la del SETS (sensor) que se utiliza en el análisis específico.

CUADRO A4-6

Resumen de las características de las aplicaciones del SF y del SMT (275-450 GHz)

	CPMS mejorado (dispositivo fijo)	Entre dispositivos	Centro de datos	Conexión punto a punto (frontal/con red de retroceso)	
				275-325 GHz	380-445 GHz
Máxima p.i.r.e. del transmisor (dBm/GHz)	40	36,7	40	67	57
Anchura de haz de antena (grados)	90	180	Menos de 25	-	
Elevación de antena (grados)	90	0	45	0-65	
Gama de ganancia de ante (dBi)	30	Hasta 20	Hasta 30 dBi	24-50	
Diámetro de antena	[por definir]*	[por definir]* ⁽¹⁾	[por definir]*	[por definir]*	
Diagrama de antena	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano	Rec. UIT-R F.699-7 (una sola fuente) Rec. UIT-R F.1245-2 (combinada)	
Pérdidas por penetración en edificios (en su caso)	-	-	[por definir]*	-	
Grado de superposición de ancho de banda con el SETS (sensor) (%)	100	100	100	100 ⁽²⁾	

¹ El diámetro de la antena se basa en una ganancia típica de 6 dBi.

² Las aplicaciones punto a punto (con conexión frontal/con red de retroceso) funcionan en las gamas de frecuencias 275-325 GHz y 380-445 GHz. Para dichas gamas de frecuencias, esta aplicación del SF funcionará en una parte de las gamas de frecuencias 313-365 GHz y 369-392 GHz identificadas con arreglo al número **5.565** del RR como bandas de frecuencias en las que funcionará el SETS (pasivo). Sin embargo, la gama de frecuencias mencionada para el funcionamiento de esas aplicaciones del SF permitirá evitar una superposición de frecuencias del 100% con los sensores del SETS (pasivo) que se han identificado como sensores representativos que funcionan en dichas gamas de frecuencias. Con respecto a los análisis que figuran en el § 3, la frecuencia central de los sensores del SETS (pasivo) que funcionan en las gamas de frecuencias 313-365 GHz y 369-392 GHz se modificará para que exista una superposición de frecuencias de funcionamiento del 100% en relación con esa aplicación del SF cuando no se indique explícitamente el valor del 100%. Ello permite que el posible funcionamiento de los sensores del SETS (pasivo) a una frecuencia central diferente en esas dos gamas de frecuencias pueda tenerse en cuenta en los resultados de los estudios.

* Nota de la Secretaría: El término [por definir] indica que no se disponía de valores para estos parámetros en el momento de preparar del Informe UIT-R SM.2450-0, que fue aprobado en la inteligencia de que estos valores pueden obtenerse a partir de otros parámetros indicados en el cuadro o que se proporcionarán en una versión futura del Informe, según proceda.

A4.4.3.1 Sistema móvil de proximidad inmediata mejorado (dispositivo fijo)

Las aplicaciones del Sistema Móvil de Proximidad Cercana (CPMS) descritas en el § 5.1.1 abarcan dos subsistemas, a saber, las aplicaciones CPMS y las aplicaciones CPMS mejoradas. A los efectos de los análisis que figuran en el § 3, únicamente se tiene en cuenta el dispositivo fijo de las aplicaciones CPMS mejoradas, puesto que:

- 1) su funcionamiento está previsto para toda la gama de frecuencias 275-450 GHz;
- 2) su potencia de funcionamiento es la misma que la de la aplicación CPMS;
- 3) se realiza la hipótesis de que el dispositivo fijo funciona simultáneamente con el dispositivo móvil, y que el dispositivo fijo transmite con una p.i.r.e. 15 dB superior a la del dispositivo móvil; habida cuenta de ello, se considera que la contribución de la interferencia del dispositivo móvil es prácticamente cero con respecto a la interferencia total resultante de esta aplicación.

A4.4.3.2 Comunicación entre dispositivos

Las aplicaciones de comunicaciones entre dispositivos se describen pormenorizadamente en el § 5.1.2. Si bien se señala que dichas aplicaciones, por lo general, están apantalladas, no hay ninguna indicación de que su implantación lo esté, ni las circunstancias bajo las cuales podría estarlo. Por otro lado, no se dispone de información sobre el grado de atenuación que cabe esperar en relación con dicho apantallamiento. Otro aspecto que ha de tenerse en cuenta es que, sobre la base de la descripción de las aplicaciones que figura en el § 5.1.2, cabe esperar que el 50% de estos dispositivos se desplieguen en un entorno exterior. De ahí que se considerara necesario evaluar la posible interferencia asociada a un despliegue en exteriores de estos dispositivos, bajo la hipótesis de que no se hubiera implementado ningún blindaje al fabricarse los productos de las aplicaciones entre dispositivos. La anchura de haz de antena proporcionada para las aplicaciones entre dispositivos es 180°. No se ha facilitado información alguna sobre apuntamiento de antena en la descripción de dichas aplicaciones en el § 5.1.2; en consecuencia, a los efectos de los análisis que figuran en el § A4.3, cabe suponer que el ángulo de elevación de antena de las aplicaciones entre dispositivos es 0°.

A4.4.3.3 Enlaces inalámbricos en centros de datos

Las aplicaciones de enlaces inalámbricos en centros de datos se describen en el § 5.1.3. Cabe observar que se trata de aplicaciones destinadas exclusivamente a entornos interiores, de ahí que sea necesario tener en cuenta la atenuación por pérdidas en penetración en edificios al analizar la posible interferencia del despliegue de esas aplicaciones. No se dispone de esa información en la Recomendación UIT-R P.2109 para la citada gama de frecuencias. Sin embargo, según el asesoramiento proporcionado por expertos en propagación del UIT-R, esa información podría extrapolarse a partir de los valores de la Recomendación UIT-R P.2109.

A4.4.3.4 Conexiones punto a punto (frontales/con red de retroceso)

Las aplicaciones de conexiones punto a punto frontales/con la red de retroceso se describen en el § 5.2.1. En el § 5.2.1 se señala que el ángulo de elevación de antena máximo es 20°, sobre la base de la variación de la elevación del terreno en Tokio (Japón). Con objeto de evaluar la repercusión del despliegue de estas aplicaciones a escala mundial, se tiene en cuenta un ángulo de elevación de antena máximo de 65°. Cabe señalar que en el Informe UIT-R F.2239, que trata del SF en las bandas 76-86 y 92-95 GHz, se consideran ángulos de elevación del SF de hasta 65°.

A4.4.4 Resultados de las simulaciones

En la sección siguiente se presentan los resultados de los análisis de la interferencia entre el SETS y varios tipos de aplicaciones del SF y del SMT que se propusieron en el marco del punto 1.15 del orden del día de la CMR-19.

A4.4.4.1 Análisis de la interferencia de CPMS mejorados (dispositivos fijos)

Con respecto a este análisis, la zona de medición del satélite del SETS correspondió al IFOV del sensor específico objeto de simulación. En el IFOV del sensor del SETS se desplegaron varios dispositivos CPMS de forma aleatoria y la densidad de esos dispositivos aumentó paramétricamente sobre la base de la densidad de despliegues que se especifica en el Cuadro 1. Conviene señalar que en dicho análisis no se proporciona el porcentaje de tiempo para el que se rebasaron los criterios de protección.

Las características de CPMS mejorados y del SETS que se tuvieron en cuenta en este estudio figuran en los Cuadros A4-4 y A4-6. En el marco del correspondiente análisis, el ángulo de acimut de los dispositivos CPMS mejorados se distribuyó uniformemente entre 0 y 360°. No obstante, cabe observar que la anchura de haz de antena de los CPMS mejorados se considera 90°, y la elevación $\pm 90^\circ$. A los efectos del análisis, se realizó la hipótesis de que el ángulo de elevación de cada dispositivo CPMS mejorado estaba en consonancia con el ángulo de incidencia del haz del sensor en la Tierra, puesto que ello corresponde al caso más desfavorable, por ejemplo, 90° para los sensores de exploración de nadir, y 37° para los sensores de exploración cónica con un ángulo de 45° con respecto al nadir. Esa hipótesis se volverá a examinar si los resultados iniciales no demuestran que puede lograrse compatibilidad entre las aplicaciones CPMS mejoradas y el funcionamiento de los sensores del SETS (pasivo).

FIGURA A4-10

Interferencia al sensor de exploración cónica del SETS producida por dispositivos CPMS

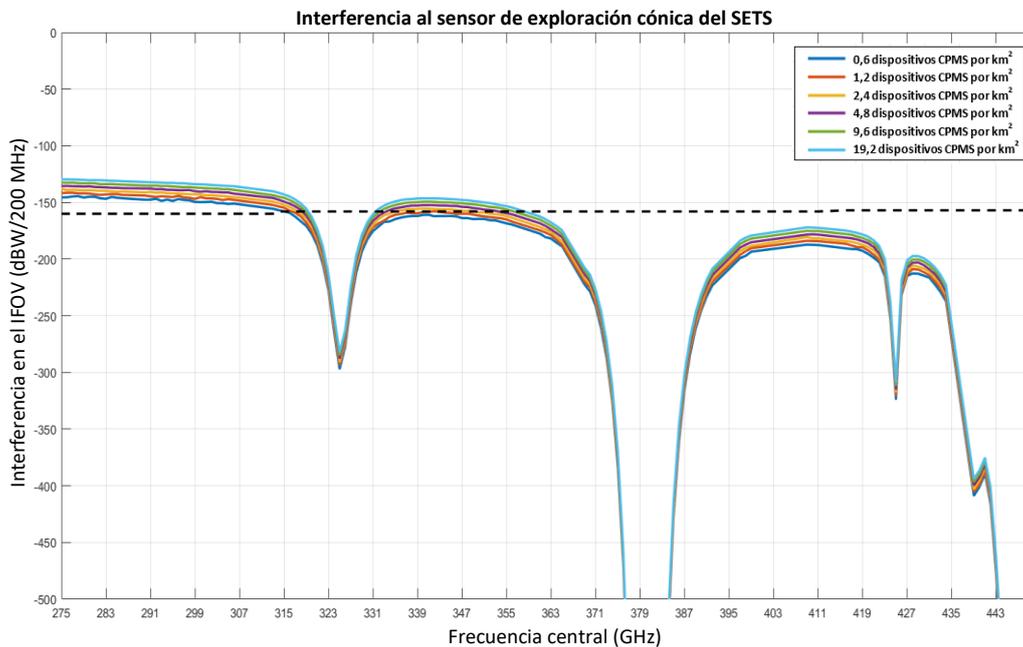


FIGURA A4-11

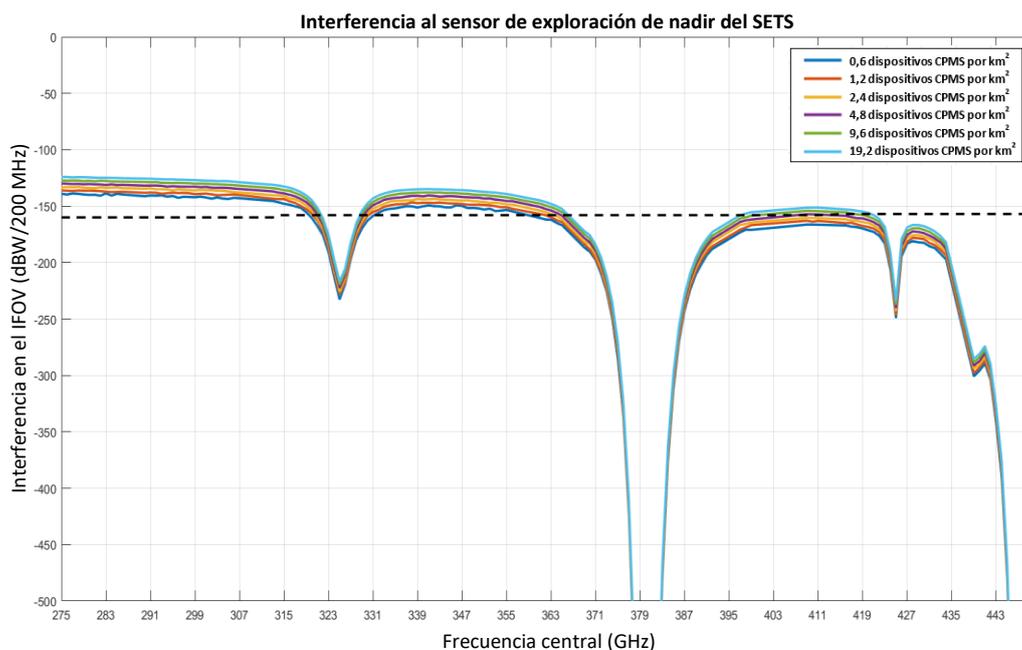
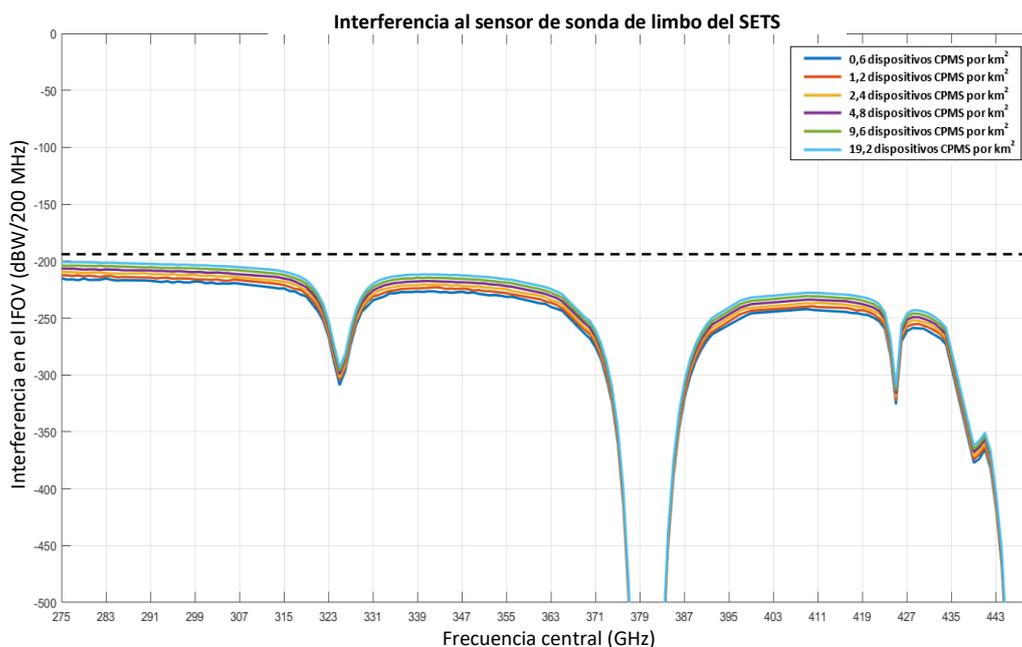
Interferencia al sensor de exploración de nadir del SETS producida por dispositivos CPMS

FIGURA A4-12

Interferencia al sensor de sonda de limbo del SETS producida por dispositivos CPMS

Estos resultados ponen de manifiesto que puede existir incompatibilidad entre los dispositivos CPMS y el SETS (pasivo) en determinadas bandas identificadas para la utilización del SETS (pasivo). Habida cuenta de ello, se realizó un análisis suplementario mediante un nuevo examen del apuntamiento de los dispositivos CPMS mejorados. En el siguiente análisis, el acimut de dichos dispositivos se distribuyó de forma aleatoria de 0 a 360°, y los ángulos de elevación se distribuyeron también aleatoriamente de 0 a 90°.

FIGURA A4-13

Interferencia al sensor de exploración cónica del SETS producida por dispositivos CPMS

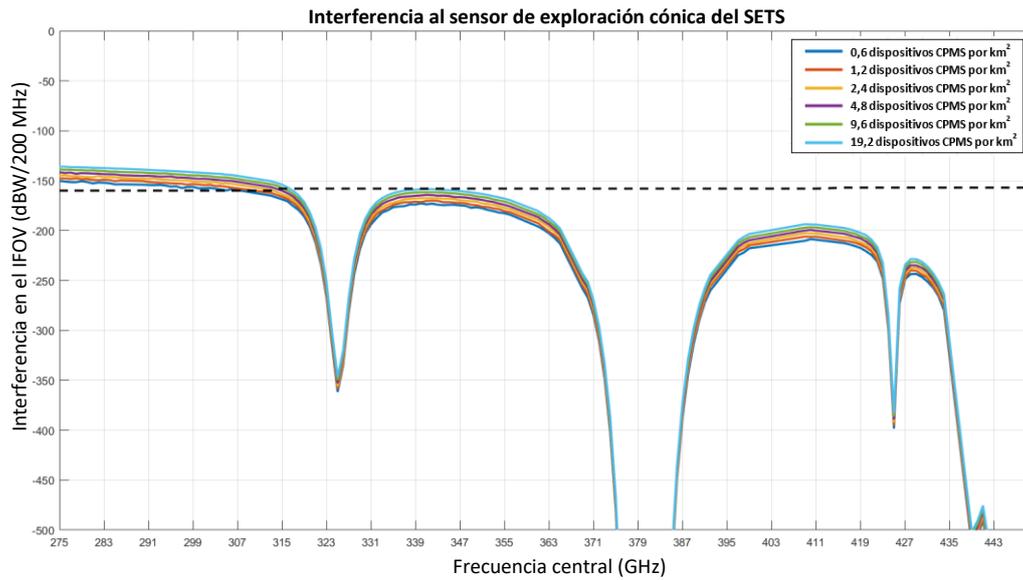


FIGURA A4-14

Interferencia al sensor de exploración de nadir del SETS producida por dispositivos CPMS

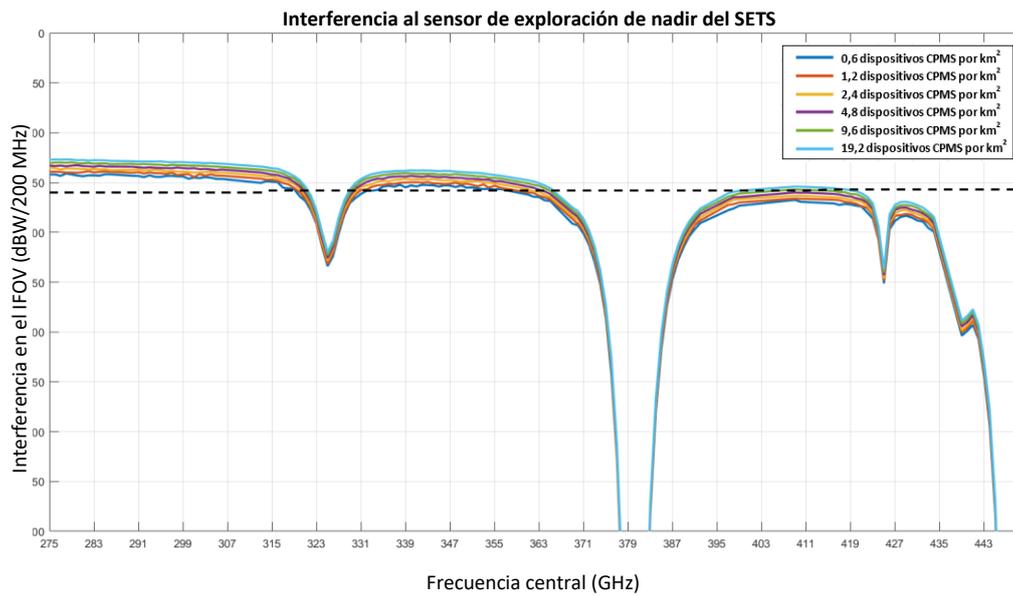
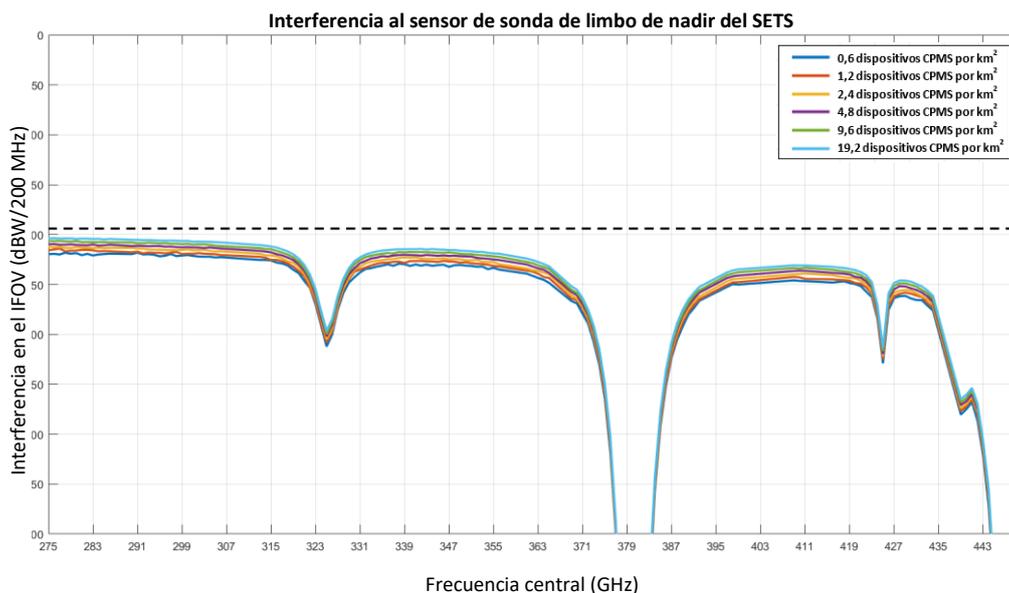


FIGURA A4-15

Interferencia al sensor de sonda de limbo del SETS producida por dispositivos CPMS

Sobre la base del análisis anteriormente descrito, las bandas que se enumeran a continuación no pueden utilizarse para aplicaciones del SMT sin restricciones específicas:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

A4.4.4.2 Análisis de la interferencia en las comunicaciones entre dispositivos

Con respecto a este análisis, la zona de medición del satélite del SETS correspondió al campo de visión instantáneo (IFOV) del sensor específico objeto de simulación. En el IFOV del sensor del SETS se desplegaron varios enlaces entre dispositivos de forma aleatoria y la densidad de esos enlaces aumentó paramétricamente sobre la base de la densidad de despliegues que se especifica en el Cuadro 1.

Los enlaces entre dispositivos y las características del SETS que se tuvieron en cuenta en este estudio figuran en los Cuadros A4-6 y A4-4. Cabe observar que la anchura de haz de antena de los enlaces entre dispositivos se considera 180° y la elevación 0°. A los efectos del análisis, se realizó la hipótesis de que el valor de los ángulos de elevación de los enlaces entre dispositivos se fijó en 0°; los ángulos de acimut se distribuyeron aleatoriamente de 0 a 360°.

FIGURA A4-16

Interferencia al sensor de exploración cónica del SETS producida por enlaces entre dispositivos

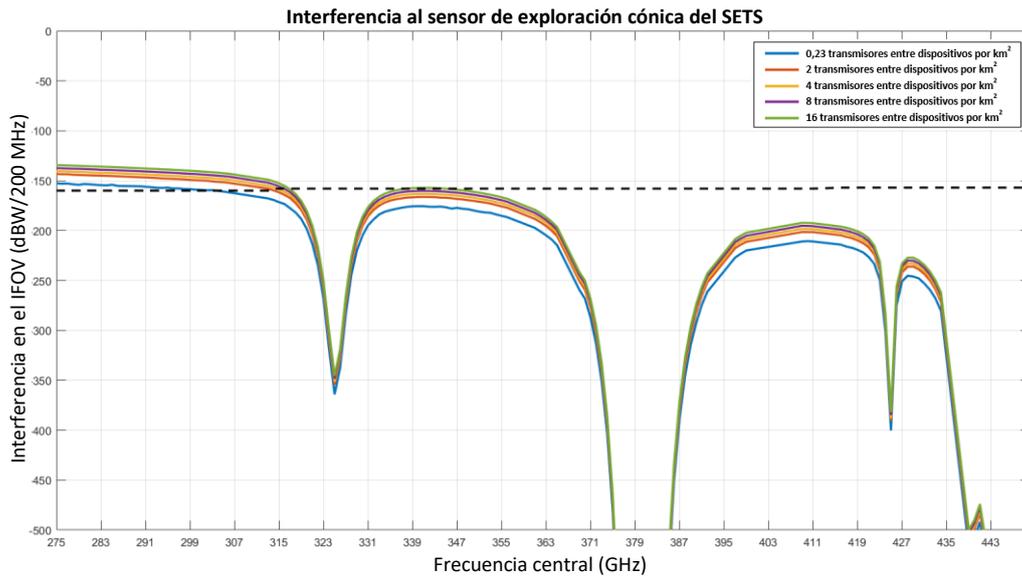


FIGURA A4-17

Interferencia al sensor de exploración de nadir del SETS producida por enlaces entre dispositivos

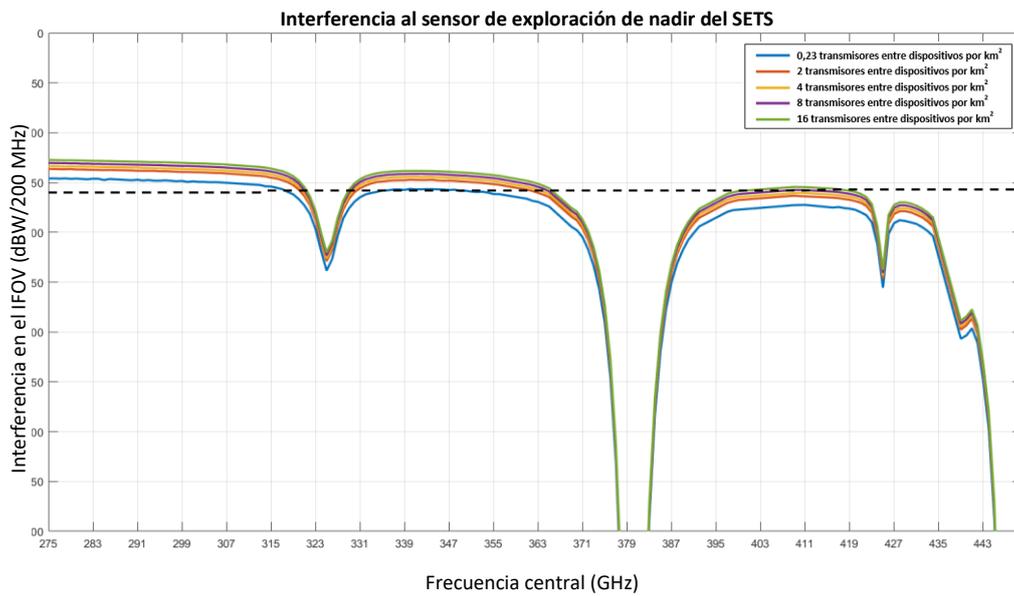
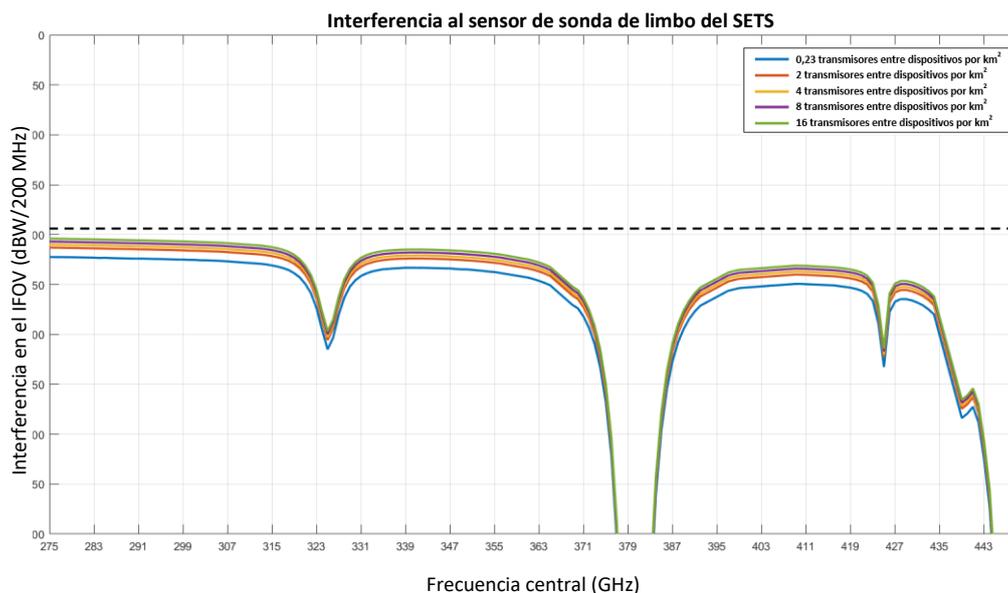


FIGURA A4-18

Interferencia al sensor de sonda limbo del SETS producida por enlaces entre dispositivos

Sobre la base del análisis anteriormente descrito, las bandas que se enumeran a continuación no pueden utilizarse para aplicaciones del SMT sin información pormenorizada sobre valores reales de las pérdidas por penetración en edificios y apantallamiento:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

A4.4.4.3 Análisis de la interferencia de enlaces inalámbricos en centros de datos

Con respecto a este análisis, la zona de medición del satélite del SETS correspondió al campo de visión instantáneo (IFOV) del sensor específico objeto de simulación. En el IFOV del sensor del SETS se desplegaron varios enlaces en centros de datos de forma aleatoria y la densidad de esos enlaces aumentó paramétricamente sobre la base de la densidad de despliegues que se especifica en el Cuadro 1.

Los enlaces en centros de datos y las características del SETS que se tuvieron en cuenta en este estudio figuran en los Cuadros A4-6 y A4-4. A los efectos del análisis, se realizó la hipótesis de que el valor de los ángulos de elevación de los enlaces en centros de datos se distribuyó de forma aleatoria entre 0 y 360°.

FIGURA A4-19

Interferencia al sensor de exploración cónica del SETS producida por enlaces de centros de datos

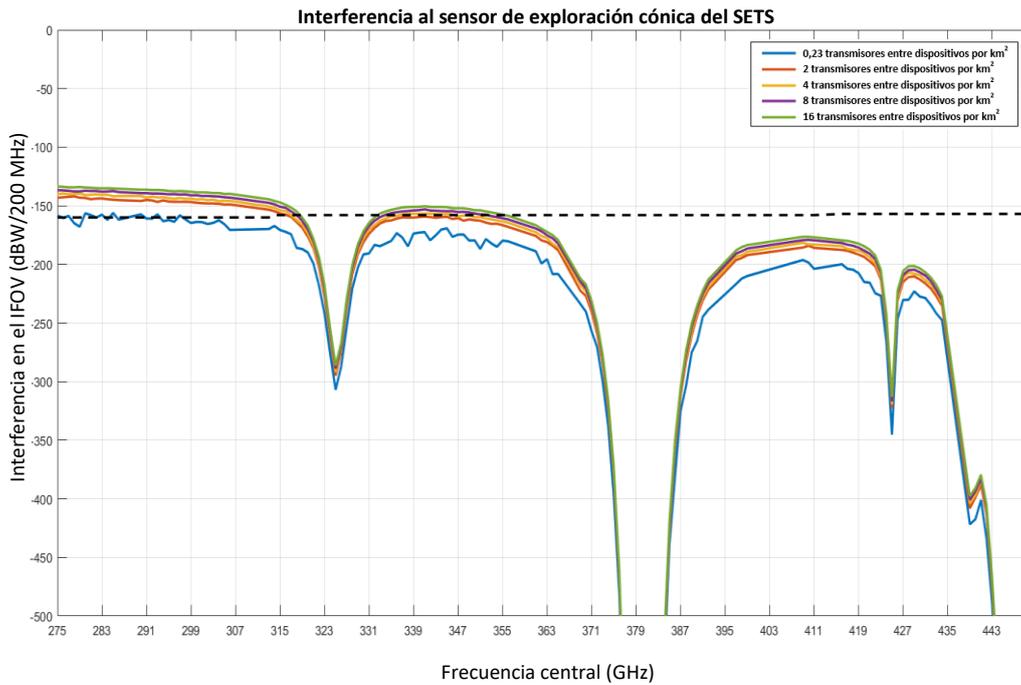


FIGURA A4-20

Interferencia al sensor de exploración de nadir del SETS producida por enlaces de centros de datos

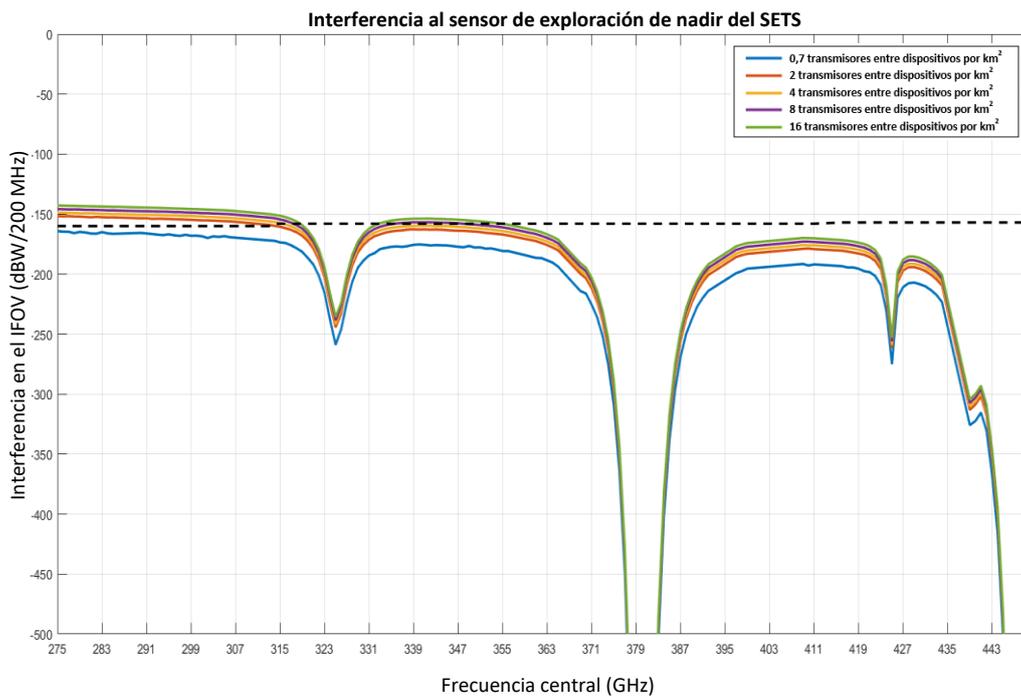
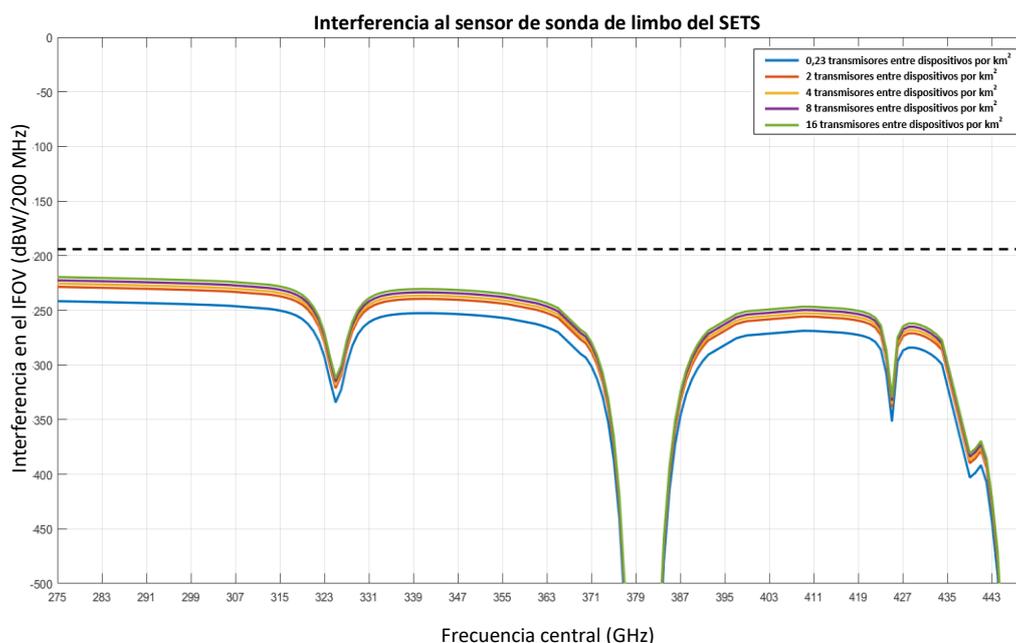


FIGURA A4-21

Interferencia al sensor de sonda de limbo del SETS producida por enlaces de centros de datos



Sobre la base del análisis anteriormente descrito, las bandas que se enumeran a continuación no pueden utilizarse para aplicaciones del SMT sin información pormenorizada sobre valores reales de las pérdidas por penetración en edificios y apantallamiento:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

Cabe señalar que en la banda superior 330-356 GHz no se logró compatibilidad sin restricciones reglamentarias al considerar densidades de cuatro enlaces por km^2 . Si bien la densidad mínima de despliegue facilitada por el grupo de trabajo de expertos fue de siete enlaces/ km^2 , cuatro enlaces/ km^2 no se considera un valor inalcanzable.

A4.4.4.4 Análisis de la interferencia en conexiones punto a punto frontales/con la red de retroceso

Con respecto a este análisis, la zona de medición del satélite del SETS correspondió al campo de visión instantáneo (IFOV) del sensor específico objeto de simulación. En el IFOV del sensor del SETS se desplegaron varios enlaces del SF de forma aleatoria y la densidad de estaciones del SF aumentó paramétricamente sobre la base de la densidad de despliegues que se especifica en el § 5.2.1. Conviene señalar que en dicho análisis no se proporciona el porcentaje de tiempo para el que se rebasaron los criterios de protección.

Las características del SF y del SETS que se tuvieron en cuenta en este estudio figuran en los Cuadros A4-4 y A4-6. A los efectos del análisis, se realizó la hipótesis de que el ángulo de elevación de las estaciones del SF se distribuyó de forma aleatoria de -20 y $+20^\circ$ y los ángulos de acimut se distribuyeron también aleatoriamente de 0 a 360° .

FIGURA A4-22

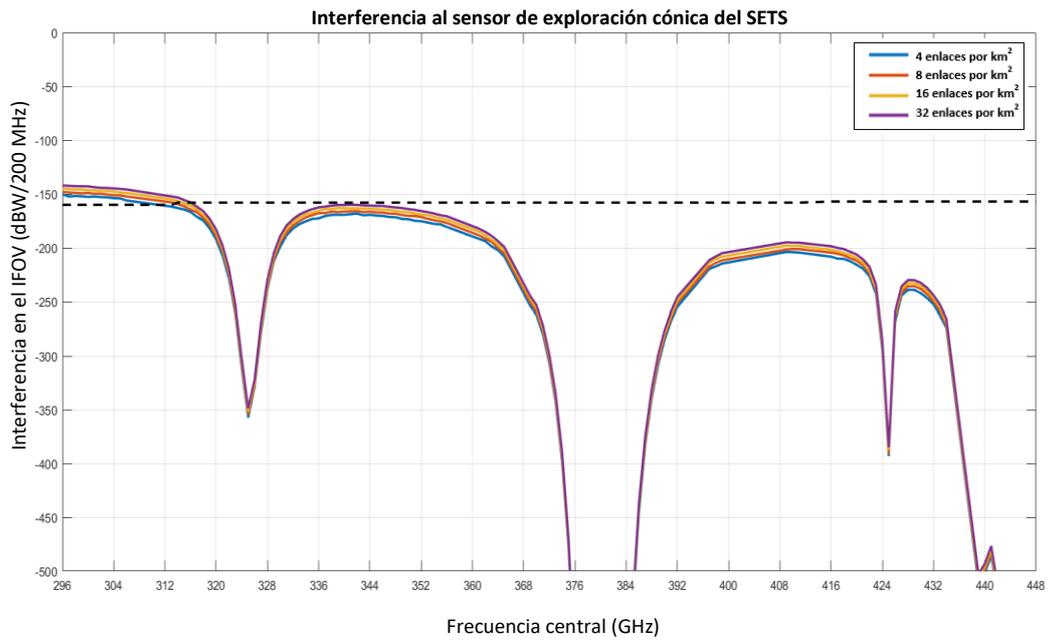
Interferencia al sensor de exploración cónica del SETS producida por enlaces del SF

FIGURA A4-23

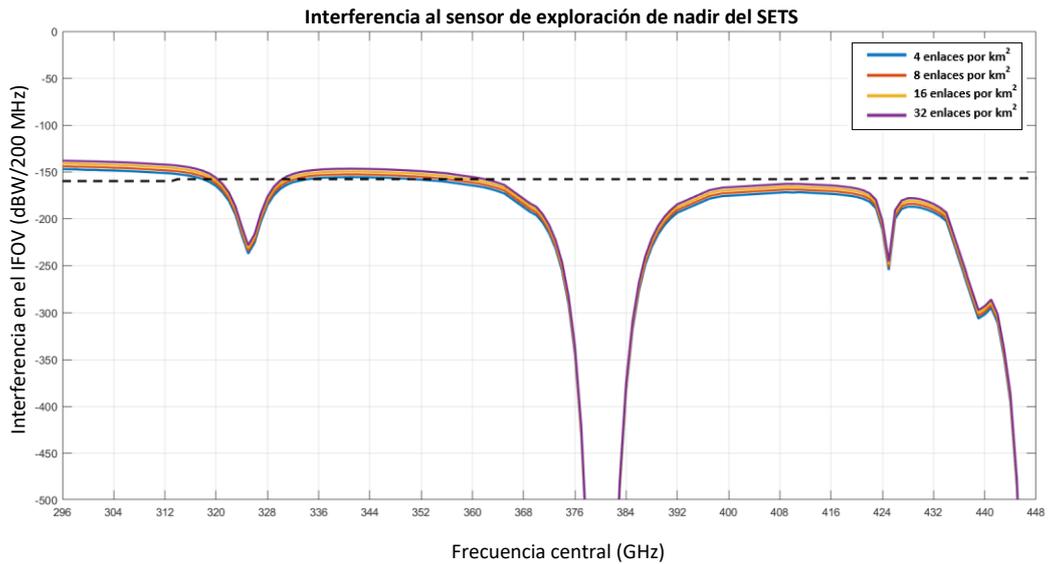
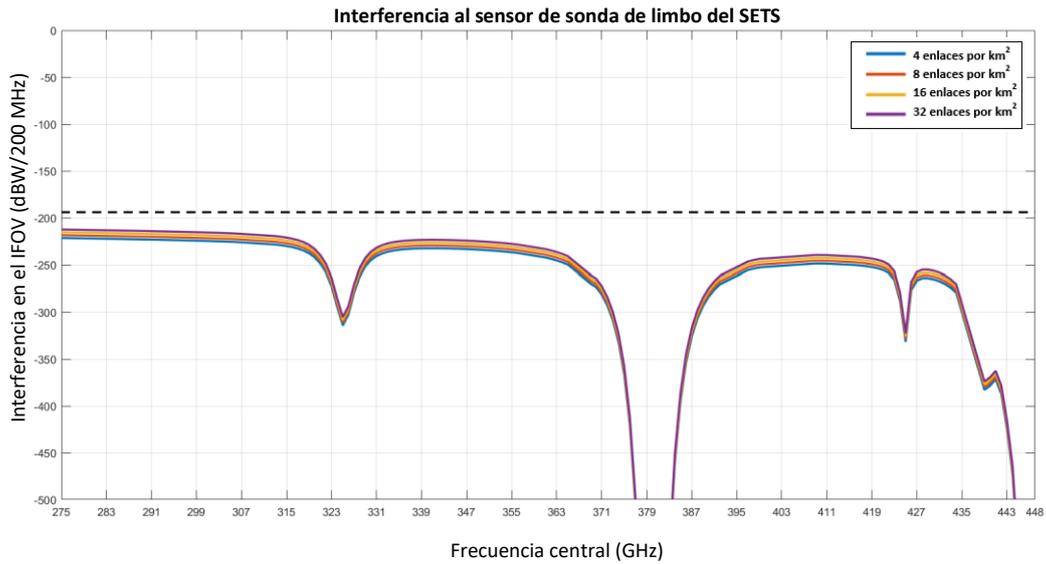
Interferencia al sensor de exploración de nadir del SETS producida por enlaces del SF

FIGURA A4-24

Interferencia al sensor de sonda de limbo del SETS producida por enlaces del SF



La distribución de referencia de los ángulos de elevación (20° como máximo) utilizada en el análisis anteriormente descrito la proporcionó el grupo de trabajo de expertos. No obstante, la elevación máxima de los enlaces del SF en la gama 275-450 GHz no se regulará hasta que se efectúen las atribuciones propiamente dichas, de ahí la necesidad de considerar que un determinado porcentaje de enlaces del SF podría funcionar con arreglo a ángulos de mayor elevación. A tal efecto, el análisis que figura a continuación se realizó con arreglo a la siguiente distribución de ángulos de elevación:

- distribución del 90% de -20 a 25°
- distribución del 10% del 25 al 65°

FIGURA A4-25

Interferencia al sensor de exploración cónica del SETS producida por enlaces del SF

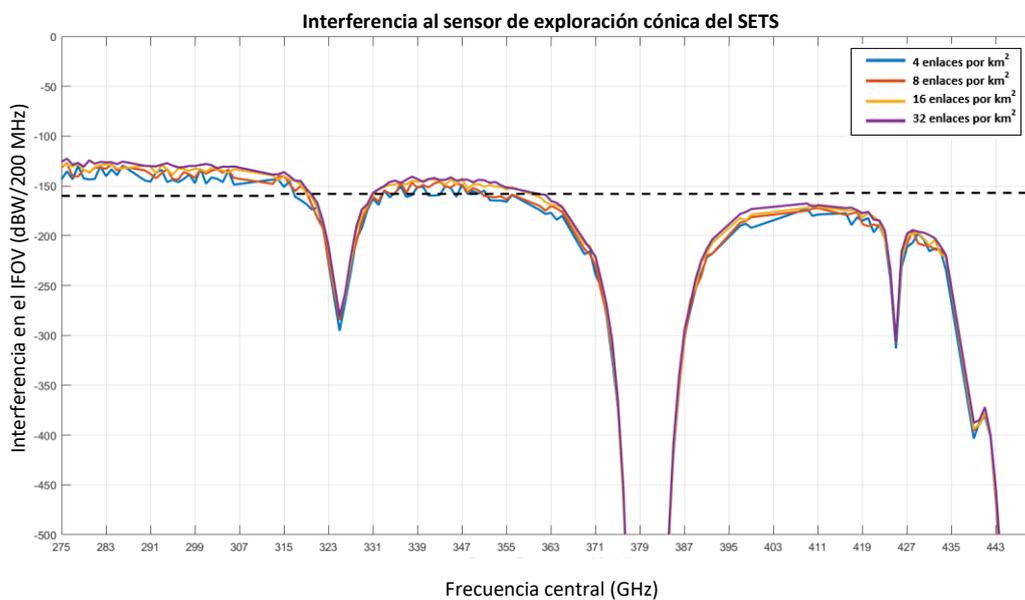


FIGURA A4-26

Interferencia al sensor de exploración de nadir del SETS producida por enlaces del SF

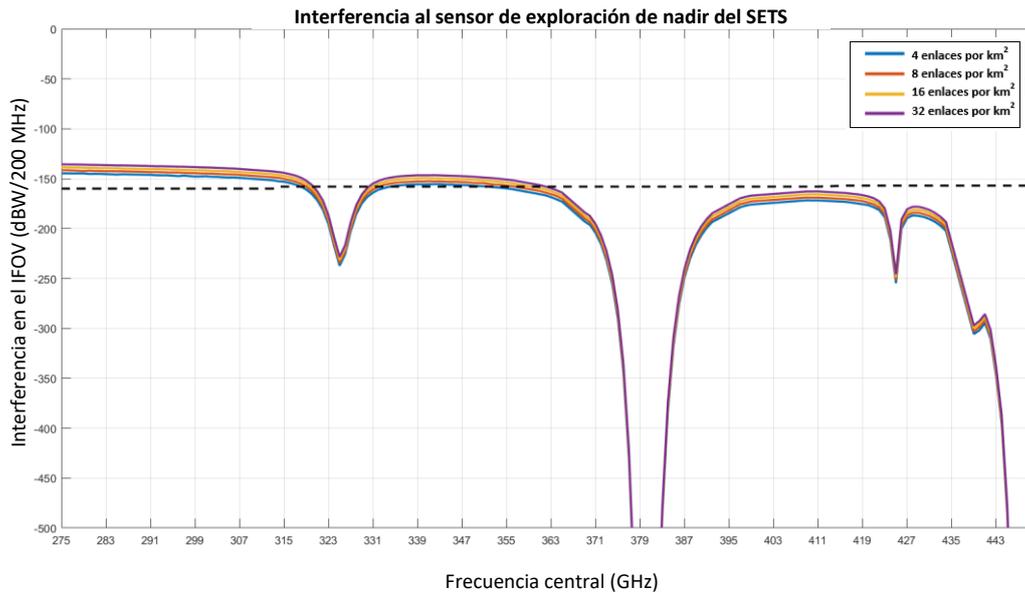
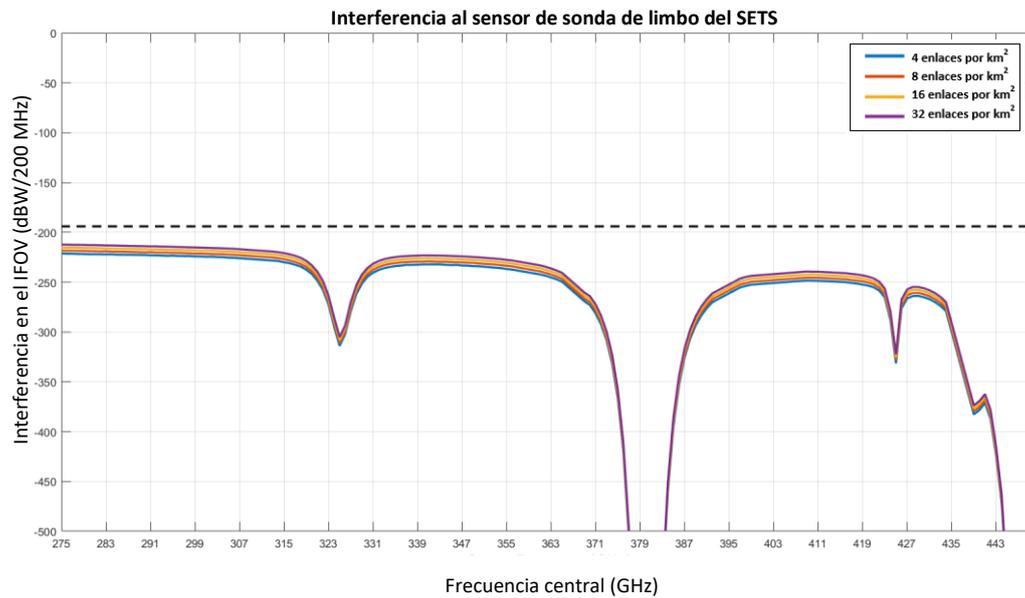


FIGURA A4-27

Interferencia al sensor de sonda de limbo del SETS producida por enlaces del SF



Sobre la base del análisis anteriormente descrito, las bandas que se enumeran a continuación no pueden utilizarse para aplicaciones del SF sin restricciones específicas:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

A4.4.5 Resumen del estudio 3

Sobre la base del análisis anteriormente descrito, las bandas que se enumeran a continuación pueden utilizarse para aplicaciones del SF/SMT sin condiciones específicas:

- 275-296 GHz
- 306-313 GHz
- 320-330 GHz
- 356-450 GHz

Cabe señalar que en la banda 275-286 GHz, las aplicaciones del SF/SMT plantearon dificultades respecto de los sensores de exploración cónica y de nadir, aunque esta banda sólo se utilice actualmente para sondas de limbo. A raíz de ello, se determinó que las aplicaciones del SF/SMT son compatibles en esta banda; no obstante, si en el futuro se despliegan otros sensores del SETS (pasivo) en esta banda, esta conclusión deberá revisarse y habrán de tenerse en cuenta los tipos de sensores de exploración cónica y de nadir si se estudia realizar atribuciones en esta banda.

Estos resultados se basan en los parámetros específicos proporcionados por el Grupo de Trabajo de Expertos; sin embargo, en el futuro, si se requieren atribuciones en la banda 275-450 GHz, podrían realizarse nuevos estudios para identificar las disposiciones reglamentarias (en particular sobre límites de potencia y/o restricciones del ángulo de elevación) que garantizarían la compartición entre el SF y el SETS (pasivo).

A4.5 Estudio 4: Análisis de la interferencia combinada sobre compartición entre estaciones del SF/SMT y el SETS (pasivo) en la gama 275-325 GHz

A4.5.1 Introducción

Se han identificado las bandas de frecuencias 275-286 GHz, 296-306 GHz y 313-356 GHz para su utilización en el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo); el funcionamiento de muchos sistemas de teledetección pasiva por satélite se representa en Cuadro 13 del presente informe. En esta sección se presentan los resultados de los estudios de compartición entre estaciones del SF y sensores pasivos del SETS, y entre aplicaciones específicas del SMT y sistemas de quiosco CPMS.

A4.5.2 Nivel de potencia recibida en el sensor pasivo del EESS

La potencia recibida por la antena del SETS viene dada por la ecuación siguiente:

$$P_R = P_T + G_T + G_R - L_{BW} - PL - A$$

siendo:

- P_R : potencia en el puerto de salida de la antena de recepción
- P_T : potencia en el puerto de entrada de la antena de transmisión
- G_T : ganancia de la antena de transmisión en sentido de la antena de recepción
- G_R : ganancia de la antena receptora en sentido de la antena de transmisión
- L_{BW} : factor limitante de ancho de banda
- PL : pérdidas de trayecto «tradicionales» entre las antenas de transmisión y de recepción por dispersión geométrica y obstáculos en el terreno
- A : factor de pérdidas adicionales por absorción atmosférica.

Los parámetros en la banda de frecuencias 275-325 GHz que figuran en los Cuadros 7 y 8 se utilizan para el cálculo del nivel de potencia recibida en el SETS (pasivo), cuyas características se basan en los valores ICI incluidos en el Cuadro 14. Se realiza la hipótesis de que la ganancia de la antena del SF en sentido del cenit es -13 dBi, de conformidad con la Recomendación UIT-R F.1245. Las pérdidas de trayecto desde un punto terrenal hasta el SETS (pasivo), a 817 km de altitud, se indican en la Fig. 6. Aunque a los efectos de los análisis de compartición y compatibilidad se consideran tres altitudes de 0 m y 1 000 m a las que están situadas las antenas del SMT/SF, los resultados de los estudios se sintetizan mediante la utilización de una altitud inferior a 1 000 m, puesto que las principales ciudades de todo el mundo cuya población rebasa 10 millones de habitantes se sitúan de 0 m a 1 000 m.

A4.5.3 Despliegue de CPMS

En esta sección se proporcionan las características técnicas y operacionales de las aplicaciones CPMS que deben utilizarse en los estudios de compatibilidad entre aplicaciones CPMS y el SETS (pasivo), de conformidad con el Informe UIT-R M.2417. Las aplicaciones CPMS se utilizan en entornos de interiores y casi todos los ángulos de elevación de antena de dispositivos fijos CPMS para los sistemas móviles de descarga en kioscos y taquillas son de $+90^\circ$. Esos dispositivos fijos CPMS empiezan a funcionar cuando el dispositivo CPMS móvil se sitúa en su proximidad inmediata. Los dispositivos móviles CPMS también se pueden utilizar para proporcionar apantallamiento parcial frente a la potencia radiada por los dispositivos CPMS fijos en el entorno, al estar situados muy cerca. Aunque dos dispositivos estén muy próximos, es posible que haya fuga de potencia a través del espacio situado entre ambos dispositivos. Sin embargo, esa potencia de fuga no deseada no se ha tenido en cuenta en este estudio. Aunque el ángulo de elevación de antena de los dispositivos móviles CPMS en funcionamiento es de -90 grados, en los estudios se tiene en cuenta el caso más desfavorable que corresponde a un ángulo de elevación de $+90$ grados. En el Cuadro A4-7 se sintetizan los parámetros técnicos y operacionales utilizados en los estudios de compartición entre las aplicaciones de SMT cuyas características de funcionamiento y despliegue corresponden a las de los sistemas móviles de descarga en quiscos y el SETS (pasivo). Para los estudios se tuvo en cuenta un valor de BEL de 28 dB para edificios tradicionales, a fin de no sobreestimar el valor de BEL en la banda de 300 GHz.

CUADRO A4-7

**Resumen de los parámetros técnicos y operacionales de las aplicaciones CPMS
que se deben utilizar en estudios de compartición**

Parámetros	Valores	Observación
Gama de frecuencias (GHz)	275-450	Aplicación CPMS que figura en el Informe UIT-R M.2417
Elevación de antena (grados)	+90	Ganancia de antena del dispositivo CPMS fijo: 30 dBi (véase el Anexo 3)
	+90	Ganancia de antena del dispositivo CPMS móvil: 15 dBi (véase el Anexo 3)
Despliegue del dispositivo CPMS fijo de interiores (%)	90	Se aplica el valor de la aplicación CPMS mejorada del Informe UIT-R M.2417.
Atenuación por penetración en edificios (dB)	28	Valor extrapolado sobre la base de la Rec. UIT-R P.2109 (véase el Anexo 2)

A4.5.4 Despliegue del SF

Los ángulos de elevación de antena se calculan sobre la base de la altura de las antenas de las estaciones del SF y de las distancias de los enlaces del SF. En el Informe UIT-R F.2417-0 se especifica un ángulo de elevación de ± 20 grados para las estaciones del SF en zonas urbanas en las que la altura de las estaciones del SF oscila entre 6 y 25 metros y la distancia entre estaciones del SF entre 100 y 300 metros. No obstante, en el caso más desfavorable, se debe considerar la posibilidad de enlaces con ángulos de elevación de hasta 30 grados en el caso de enlaces de corta distancia en zonas urbanas densamente pobladas y con ángulos de elevación elevados, como se propone en el Informe UIT-R F.2239-0.

Aunque, de conformidad con el Informe UIT-R F.2417-0, se especifica una densidad de enlaces del SF de 4,2/km² para las gamas de frecuencias 275-325 GHz y 380-445 GHz, dicha densidad de enlaces del SF se utiliza en estudios de compartición para toda la banda de frecuencias 275-450 GHz.

A4.5.5 Nivel de potencia recibida en los sensores del SETS (pasivo)

En el Cuadro A4-8 se resumen los parámetros que se utilizan para calcular la potencia combinada recibida por los sensores del SETS (pasivo). Todas las bandas en la gama de frecuencias 275-450 GHz identificadas para la utilización de los sensores del SETS (pasivo) se evalúan de conformidad con el § 5.2.

CUADRO A4-8

Parámetros del SETS (pasivo) que deben utilizarse para los estudios de compartición

Sensores del SETS (pasivo)	Ancho de banda de recepción de los sensores (MHz)	Ángulo de nadir (grados)	Efecto combinado	
Limbo	3	0	N/A Apuntamiento de la antena de 30 dBi del dispositivo fijo CPMS al sensor del SETS (pasivo) (Caso más desfavorable)	N/A Apuntamiento de la antena de 50 dBi de la estación del SF al sensor del SETS (pasivo) (Caso más desfavorable)
Nadir ⁽¹⁾	200	90	Densidad de dispositivos = 0,6/km ² IFOV = 30 km ² (ICI), 10 km ² (TWICE), 110 km ² (GOMAS) Número de dispositivos = 18 (ICI), 6 (TWICE), 66 (GOMAS) Factor de actividad = 0,76% Distribución de probabilidad acumulada < 0,01%	Densidad de enlaces del SF = 4,2/km ² IFOV = 30 km ² (ICI), 10 km ² (TWICE), 110 km ² (GOMAS) Número de transmisores = 252 (ICI), 84 (TWICE), 924 (GOMAS) Distribución de las estaciones del SF: distribución uniforme discreta Ganancia de antena media = 5,2 dB (ICI), 0,8 dB (TWICE), 10,7 dB (GOMAS)
Cónico	200	53	Densidad de dispositivos = 0,6/km ² IFOV = 200 km ² (ICI) Apuntamiento de las antenas de 30 dBi y de 15 dBi de los dispositivos CPMS fijo y móvil al sensor del SETS (pasivo) Ángulo de elevación = 25,7°	Apuntamiento de la antena de 50 dBi de la estación del SF al sensor del SETS (pasivo) Ángulo de elevación = 25,7°

⁽¹⁾ La potencia recibida por el sensor en modo de exploración de nadir se calcula únicamente para la dirección cenital de 90 grados.

A4.5.5.1 Nivel de potencia recibida de sistemas CPMS móviles

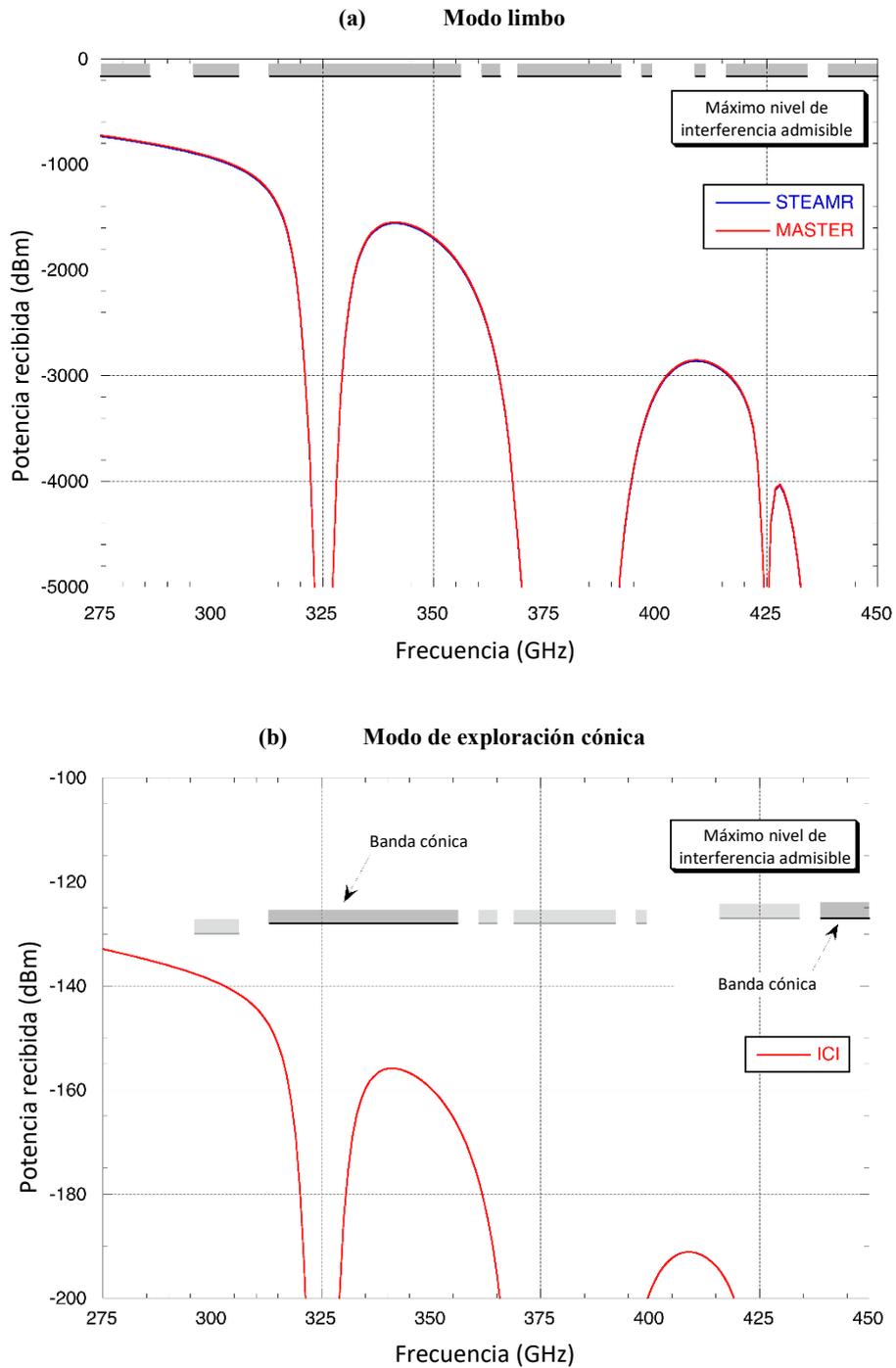
En la Fig. A4-28 se muestran los resultados de los estudios que indican que la banda 275-450 GHz está disponible para las aplicaciones del SMT si cabe considerar pérdidas adicionales, en particular de tipo BEL, y estas pueden tenerse en cuenta. En la Fig. A4-28 (c) se ponen asimismo de manifiesto los resultados siguientes:

- Toda la banda 275-450 GHz no puede utilizarse para aplicaciones CPMS bajo la hipótesis de un 10% de uso en exteriores, puesto que no habría que tener en cuenta pérdidas por penetración en edificios.
- Las bandas 296-306 GHz, 313-316 GHz y 332-356 GHz no pueden utilizarse para aplicaciones de CPMS si no se tienen en cuenta pérdidas suplementarias.

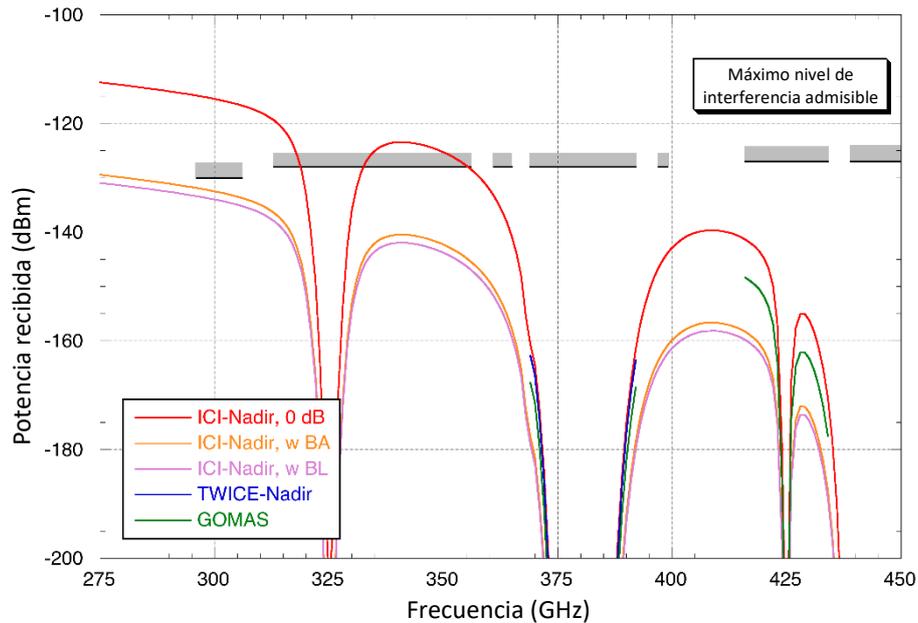
Habida cuenta de ello, las bandas 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz y 356-450 GHz pueden utilizarse para aplicaciones CPMS sin ninguna condición específica. Sin embargo, toda la banda 275-450 GHz podría utilizarse para aplicaciones de CPMS si determinadas condiciones específicas, en particular las pérdidas por penetración en edificios, son aplicables a los dispositivos de CPMS utilizados en interiores.

FIGURA A4-28

Nivel de potencia recibida por los sensores del SETS (pasivo) de aplicaciones CPMS



- (c) **Modo nadir (si en los estudios de compartición no se tiene en cuenta la atenuación de 17 dB en edificios, el nivel de potencia rebasa el nivel máximo de interferencia en las bandas 296-306 GHz, 313-319 GHz y 332-356 GHz)**

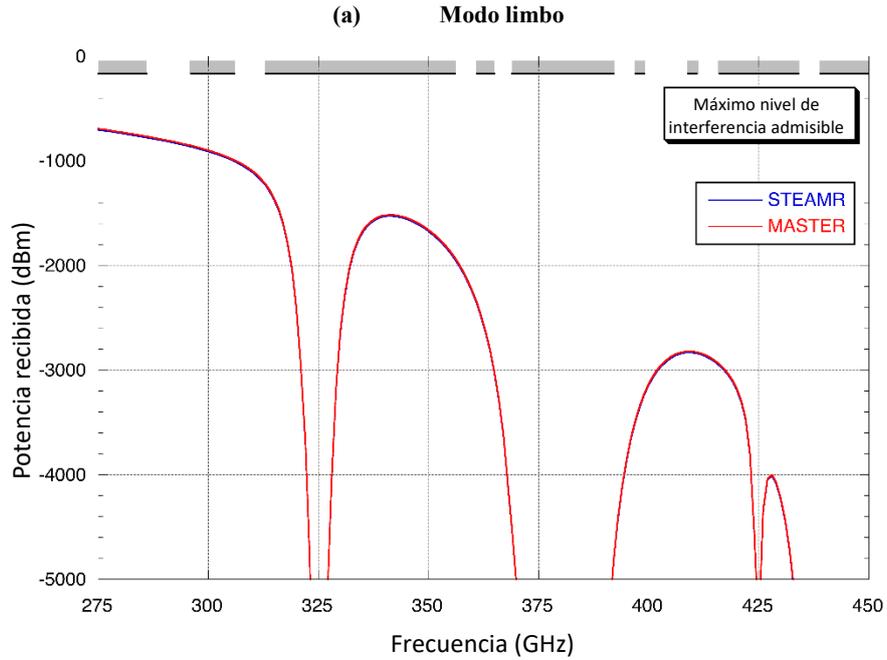


A4.5.5.2 Nivel de potencia recibida de conexiones punto a punto frontales y con la red de retroceso

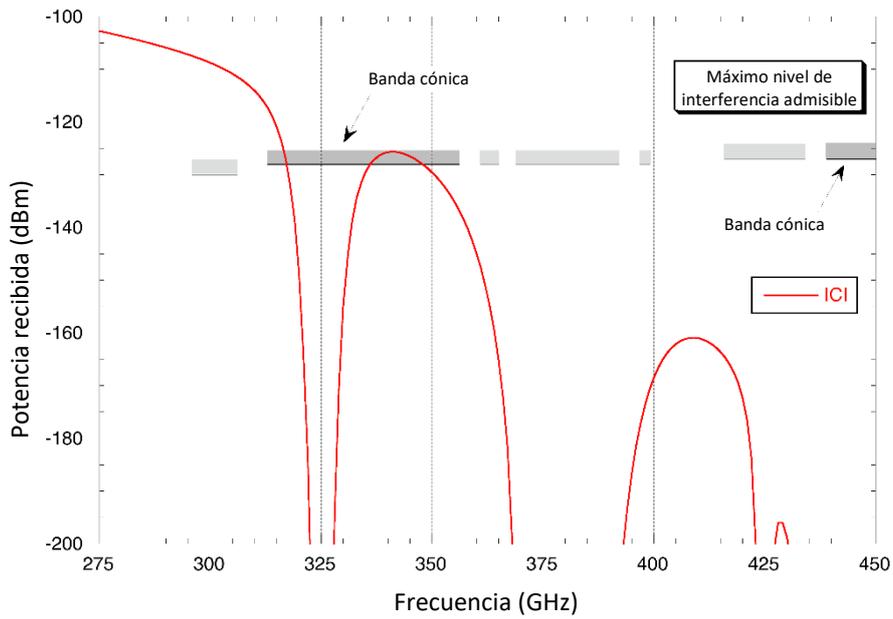
En la Fig. A4-29 se muestran los resultados del cálculo del nivel de potencia recibida en los sensores del SETS (pasivo). No cabe observar ninguna interferencia de las estaciones del SF en los sensores en modo limbo o nadir. No obstante, el nivel de potencia recibido rebasa el nivel máximo de interferencia en las bandas de barrido cónico 313-318 GHz y 336-348 GHz y en la banda de nadir 296-306 GHz, como muestra la Fig. 2 A4-29 (b). En resumen, las bandas 275-296 GHz, 306-313 GHz, 318-336 GHz y 348-450 GHz pueden utilizarse para las aplicaciones del SF sin ninguna condición específica.

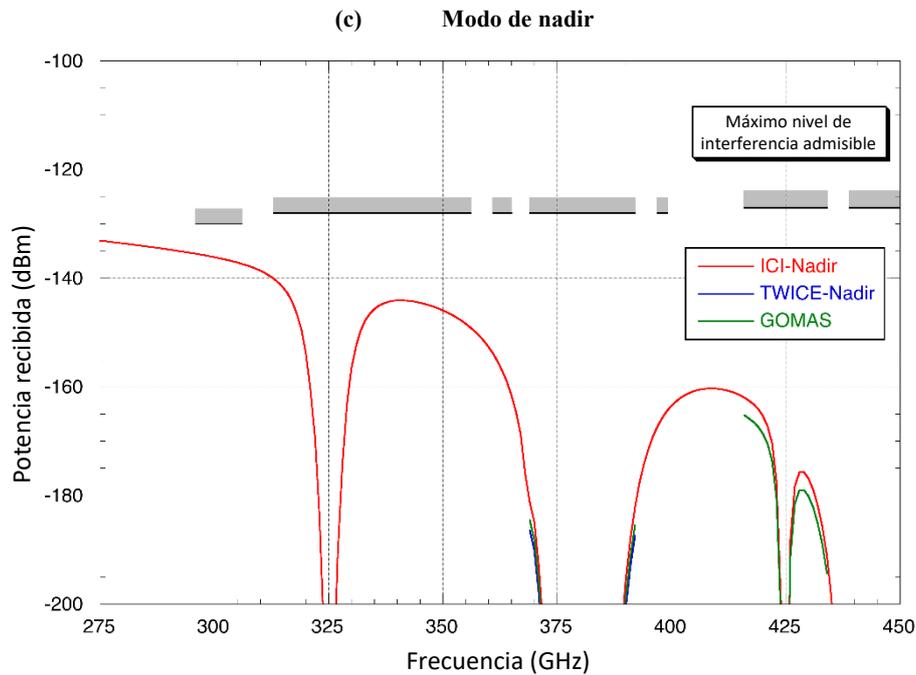
FIGURA A4-29

Nivel de potencia recibida por los sensores del SETS (pasivo) de las aplicaciones del SF



(b) Modo de exploración cónica (el nivel de potencia recibida rebasa el nivel máximo de interferencia en las bandas de exploración cónica 313-318 GHz y 336-348 GHz y en la banda de nadir 296-306 GHz)





A4.5.6 Resumen del estudio 4

Las bandas 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz y 356-450 GHz pueden utilizarse para aplicaciones CPMS sin ninguna condición específica. Las bandas 275-296 GHz, 306-313 GHz, 318-336 GHz y 348-450 GHz también pueden destinarse a aplicaciones del SF sin ninguna condición específica. A los efectos de compatibilidad de aplicaciones del SF/SMT con el SETS (pasivo), las bandas 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz y 356-450 GHz pueden utilizarse de manera compatible para aplicaciones del SF/SMT.

A4.6 Estudio 5: Análisis de compatibilidad entre el SETS (pasivo) y el SF en la gama de frecuencias 275-450 GHz (caso de interferencia combinada)

En este estudio figura un análisis de la interferencia combinada entre sistemas del SF y el SETS (pasivo) en la banda 275-450 GHz. El enfoque utilizado en este análisis fue determinar la potencia de interferencia combinada máxima generada por las estaciones del SF desplegadas en el FOV del sensor del SETS y, a continuación, calcular la atenuación atmosférica mínima que se necesitaría para garantizar que no se incumplieran los criterios de protección del SETS. Esa atenuación atmosférica mínima se comparó posteriormente con los valores reales previstos en la Recomendación UIT-R P.676 para determinar qué bandas eran compatibles.

A4.6.1 Características del SETS (pasivo)

La descripción de los sistemas del SETS (pasivo) en la banda de 275-450 GHz figura en el § 5.4.

Para el sistema específico ICI, se requieren los siguientes parámetros para llevar a cabo el análisis de compartición:

CUADRO A4-9
Características ICI

	Sensor ICI
Tipo de órbita	No OSG
Altitud (km)	817
Ángulo con respecto al nadir (grados)	53
Elevación con respecto al terreno (grados)	25,7
IFOV (km ²)	200
Ganancia de antena (dBi)	55

Los canales ICI pertinentes son los siguientes:

- Canal 1: 314,15-317,15 GHz (3 GHz)
- Canal 2: 320,45-322,85 GHz (2,4 GHz)
- Canal 3: 323,65-324,45 GHz (1,6 GHz)
- Canal 4: 325,85-327,45 GHz (1,6 GHz)
- Canal 5: 327,45-329,85 GHz (2,4 GHz)
- Canal 6: 333,15-336,15 GHz (3 GHz)

Por otro lado, a fin de facilitar un análisis genérico en todas las bandas de frecuencias, se tuvieron en cuenta cinco sistemas genéricos, según se describe en el Cuadro A4-10.

CUADRO A4-10
Sistemas generales del SETS (pasivo)

	Tipo ICI	Tipo TWICE	Tipo NADIR	Tipo GOMAS (Nadir)	Tipo GOMAS (Poca elevación)
Tipo de órbita	No OSG	No OSG	No OSG	OSG	OSG
Altitud (km)	817	400	817	35 684	35 684
Ángulo con respecto al nadir (°)	53	53	0	0	8,5
Elevación con respecto al suelo (°)	25,7	31,9	90	90	12,7
IFOV (km ²)	200	50	30	110	890
Ganancia de antena (dBi)	55	48	55	79	79

NOTA – Los sensores transversales a la trayectoria pueden representarse mediante «el tipo nadir» y el «tipo ICI».

A4.6.2 Características y despliegue del SF

La descripción de los sistemas del SF en la banda 275-450 GHz se proporciona en el § 5.2.

Los siguientes parámetros técnicos son necesarios para llevar a cabo el análisis de compartición entre sistemas del SF y del SETS (pasivo):

- Valores de p.i.r.e. de 30 a 67 dBm/GHz.
- Valores de ganancia de antena de 24 a 50 dBi.
- Diagrama de antena del SF F.1245.

En relación con la cantidad de enlaces del SF, cabe realizar las hipótesis siguientes:

- Densidad de enlaces = 4,2 links/km².
- Población = 0,00035 enlaces/habitante.

Por último, con respecto a las distribuciones de elevación de los enlaces del SF, se ha utilizado el caso de referencia proporcionado en el Informe UIT-R F.2416, a saber, típicamente 20° (caso 1), lo que no conlleva que no se den elevaciones mayores.

Si se considera que no se regulará el valor de la elevación máxima de los enlaces del SF para la gama 275-450 GHz, en el presente estudio se tiene en cuenta asimismo la repercusión de un determinado porcentaje de enlaces del SF explotados a mayor elevación. A tal respecto, se ha tomado como referencia el ejemplo que figura en el Informe UIT-R F.2239, en el que se describen para los enlaces del SF en la banda 81-86 GHz los casos de elevación siguientes:

CUADRO A4-11

Casos de elevación de enlaces del SF relativos al Informe UIT-R F.2239

	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Enlaces de gran elevación	0,39% de enlaces de elevación superior a 20°	0,5% de enlaces de elevación comprendida entre 30° y 45°	± 30° (distribución normal)	Menos del 2% de enlaces de elevación comprendida entre 20° y 65°

NOTA – Cabe señalar que, como es más probable que las longitudes de salto de los enlaces del SF sean mayores en la banda 81-86 GHz que en la banda 275-450 GHz, los ángulos de elevación del SF en la banda 275-450 GHz pueden ser mayores.

Con objeto de determinar la repercusión general del despliegue del SF en los sensores del SETS (pasivo), se ha aplicado la metodología que se describe a continuación:

1ª etapa: determinación de la cantidad de enlaces del SF en la huella del SETS:

- Opción 1: con respecto a la densidad de enlaces (4,2 enlaces/km²).
- Opción 2: con respecto a la población (0,00035 enlaces/habitante) (véase la metodología que figura en el Anexo 1).

CUADRO A4-12

Cantidad de enlaces del SF en la huella del SETS (pasivo)

	Tipo ICI	Tipo TWICE	Tipo NADIR	Tipo GOMAS (Nadir)	Tipo GOMAS (Poca elevación)
IFOV (km ²)	200	50	30	110	890
Con respecto a la densidad de enlaces (cantidad de enlaces)	840	210	126	462	3 738
Con respecto a la población (cantidad de enlaces)	1 030	393	228	874	1 903

2ª etapa: despliegue aleatorio de la cantidad de enlaces del SF con arreglo a los parámetros siguientes, escogidos al azar:

- acimut (0 a 360°);
- elevación (sobre la base de las distribuciones anteriormente especificadas, casos 1 a 5);
- p.i.r.e. (30 a 67 dBm/GHz);
- ganancia de antena (24 a 50 dBi).

3ª etapa: realización de 1 000 despliegues aleatorios diferentes para cada caso a fin de determinar la distribución de la p.i.r.e. máxima en sentido del sensor del SETS (pasivo).

A4.6.3 Máxima p.i.r.e. del SF en sentido al satélite del SETS (pasivo)

En las secciones siguientes se determina el máximo valor de p.i.r.e. del SF al nivel del suelo en sentido a los satélites del SETS (pasivo) (en dBm/200 MHz).

a) Fuente de interferencia única

El valor máximo de p.i.r.e. del SF corresponde a 67 dBm/GHz. En consecuencia, si se expresa en dBm/200 MHz, el valor máximo de p.i.r.e. del SF relativo a una sola fuente en sentido de los satélites del SETS (pasivo) viene dado por la expresión siguiente:

$$\text{p.i.r.e. máx.} = 67 + 10 \times \log(200/1\ 000) = 60 \text{ dBm/200 MHz}$$

b) Caso de interferencia combinada para sensores de tipo ICI

FIGURA A4-30

p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo ICI
(con respecto a la densidad de enlaces)

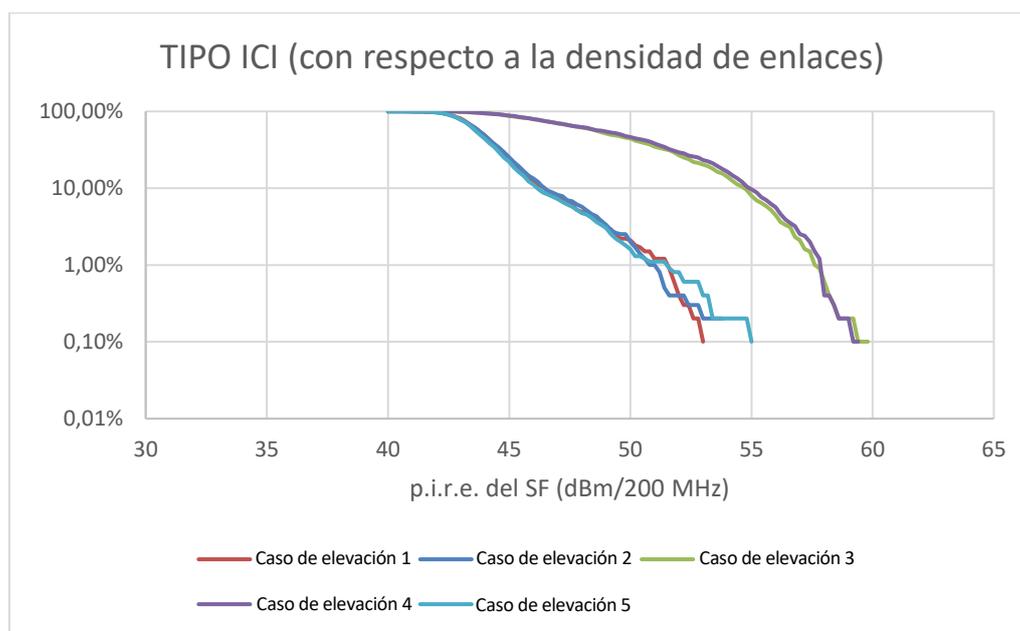
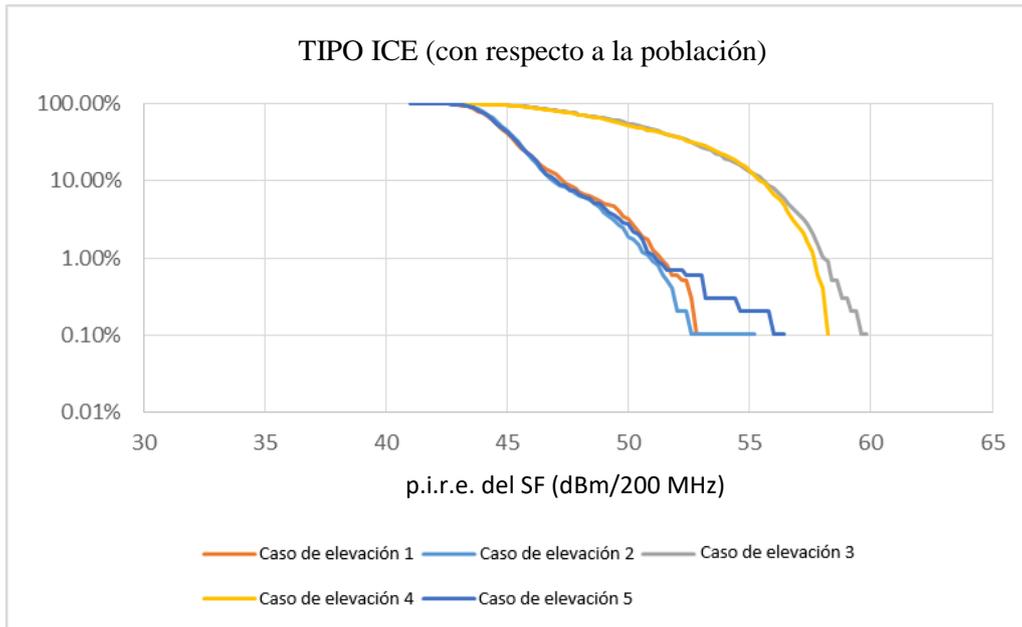


FIGURA A4-31
 p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo ICI
 (con respecto a la población)



p.i.r.e. máxima combinada relativa a las Figuras anteriormente enumeradas = 59,8 dBm/200 MHz.

c) **Caso de interferencia combinada para sensores de tipo TWICE**

FIGURA A4-32
 p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo TWICE
 (con respecto a la densidad de enlaces)

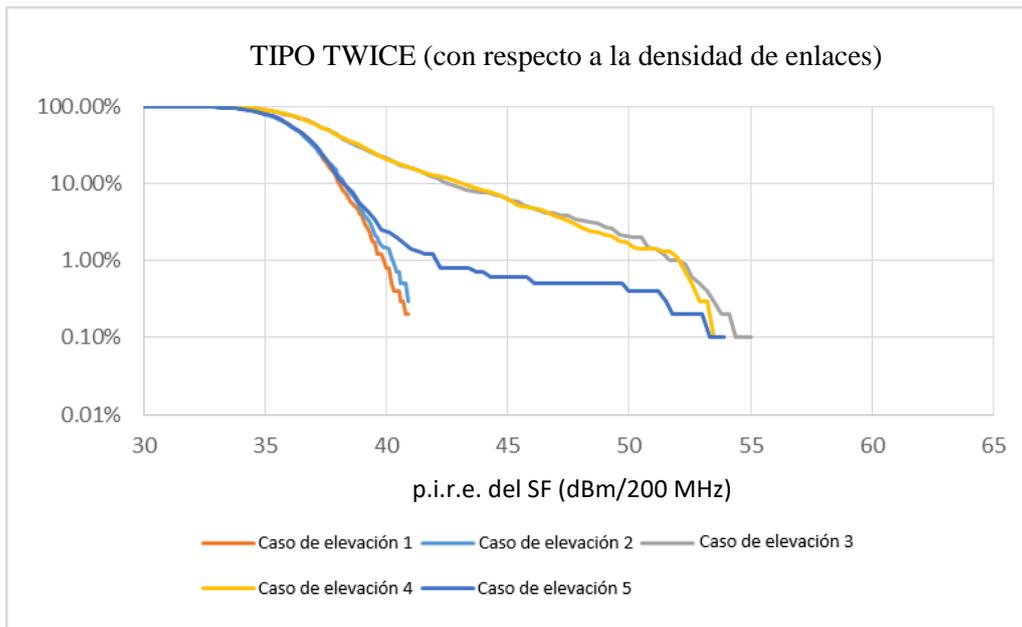
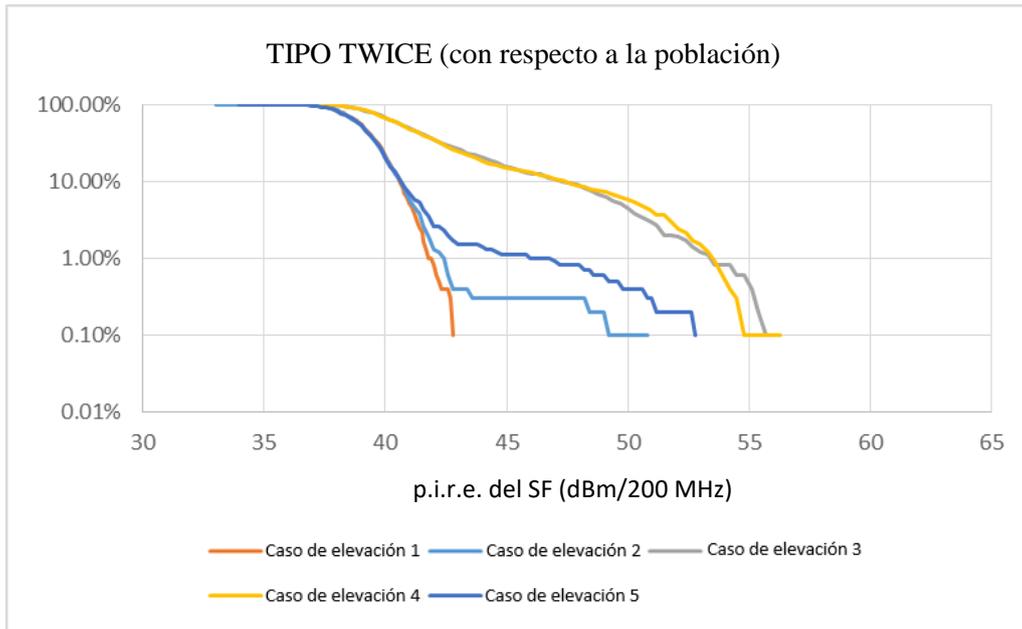


FIGURA A4-33
p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo TWICE
 (con respecto a la población)



p.i.r.e. máxima combinada relativa a las Figuras anteriormente enumeradas = 56,3 dBm/200 MHz.

d) Caso de interferencia combinada para sensores de tipo NADIR

FIGURA A4-34
p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo NADIR
 (con respecto a la densidad de enlaces)

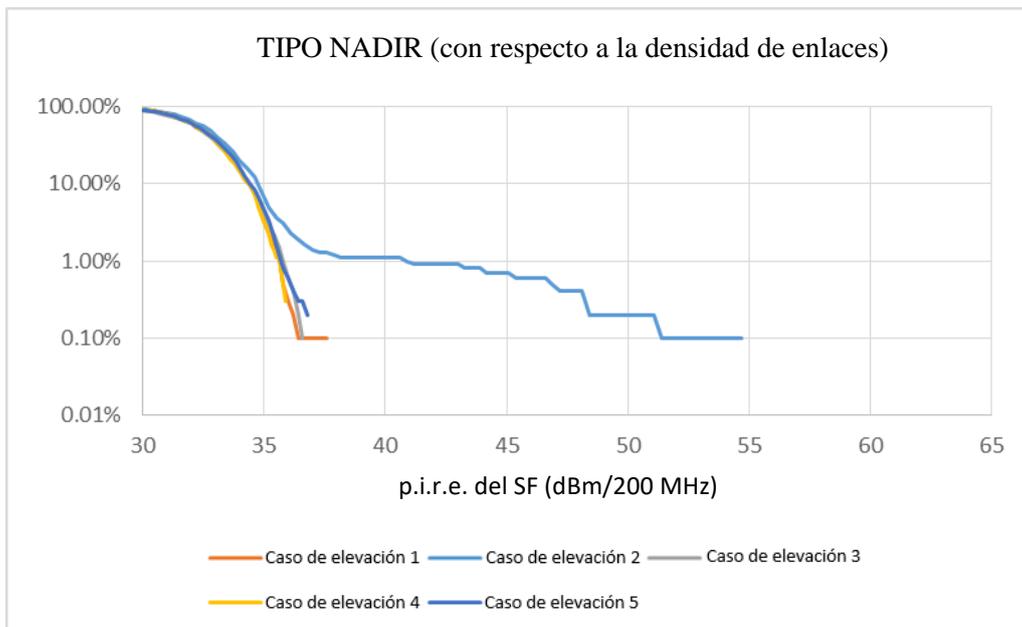
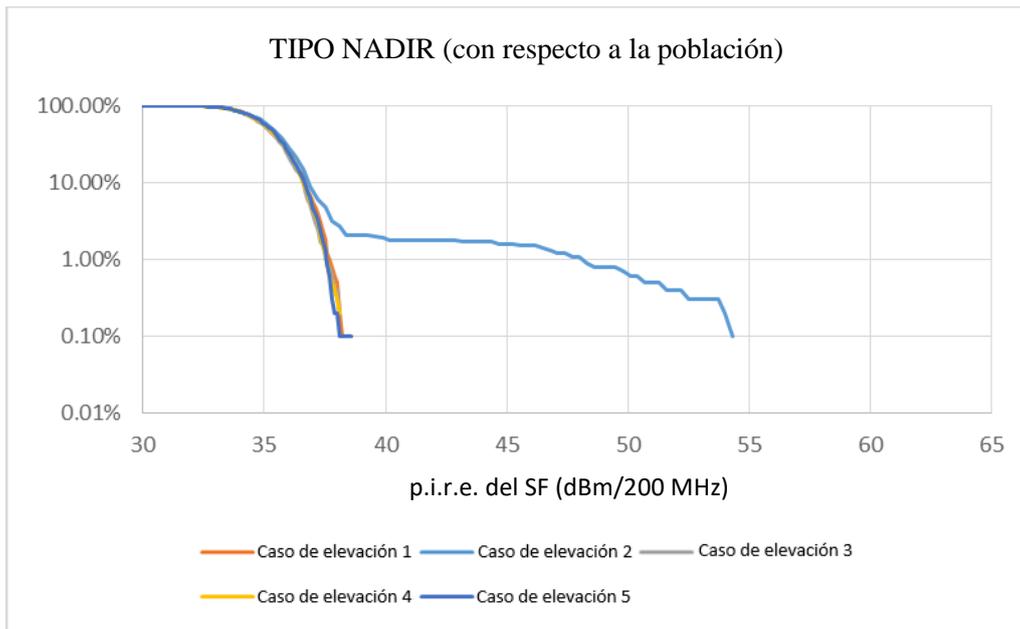


FIGURA A4-35

p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo NADIR (con respecto a la población)



p.i.r.e. máxima combinada relativa a las Figuras anteriormente enumeradas = 38,6 dBm/200 MHz (sin tener en cuenta el valor de cresta relativo al caso 2).

e) Caso de interferencia combinada para sensores (de nadir) de tipo GOMAS

FIGURA A4-36

p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo GOMAS
(con respecto a la densidad de enlaces)

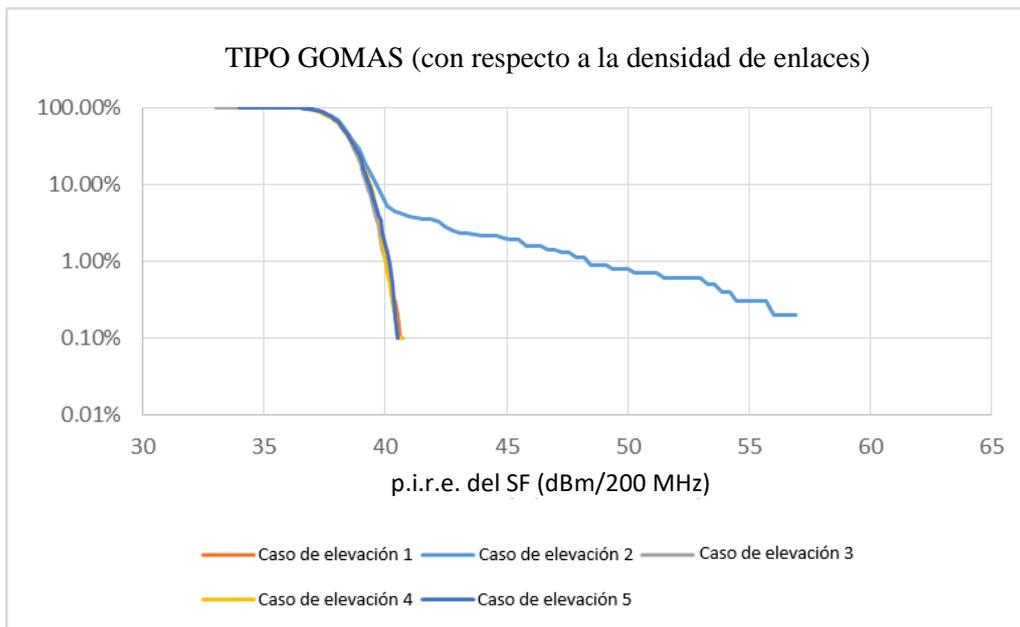
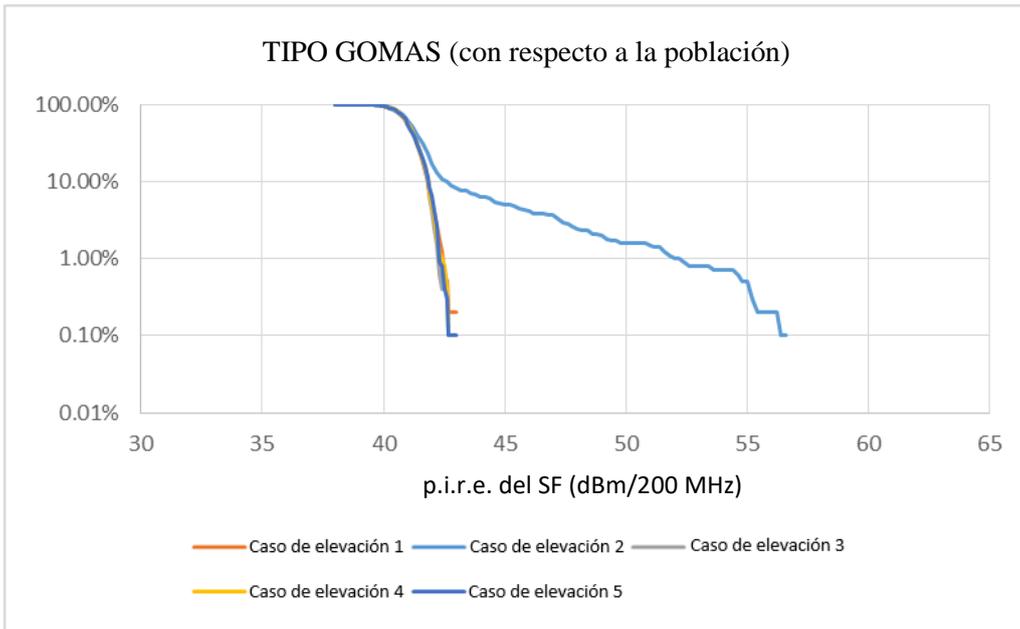


FIGURA A4-37
 p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo GOMAS
 (con respecto a la población)



p.i.r.e. máxima combinada relativa a las Figuras anteriormente enumeradas = 43 dBm/200 MHz (sin tener en cuenta el valor de cresta relativo al caso 2).

f) **Caso de interferencia combinada para sensores (de poca elevación) de tipo GOMAS**

FIGURA A4-38
 p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo GOMAS (de poca elevación)
 (con respecto a la densidad de enlaces)

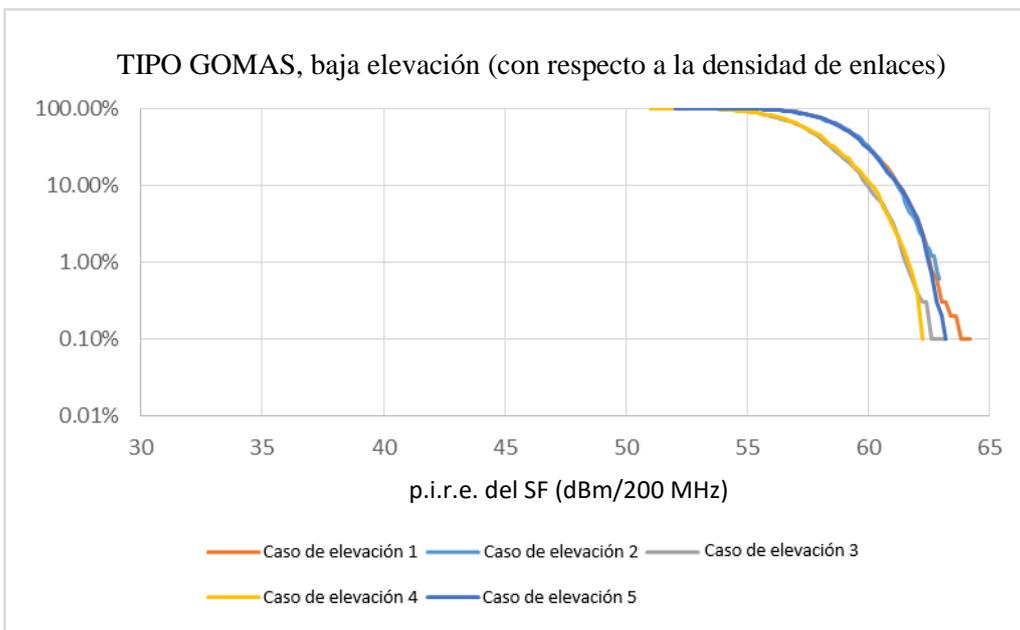
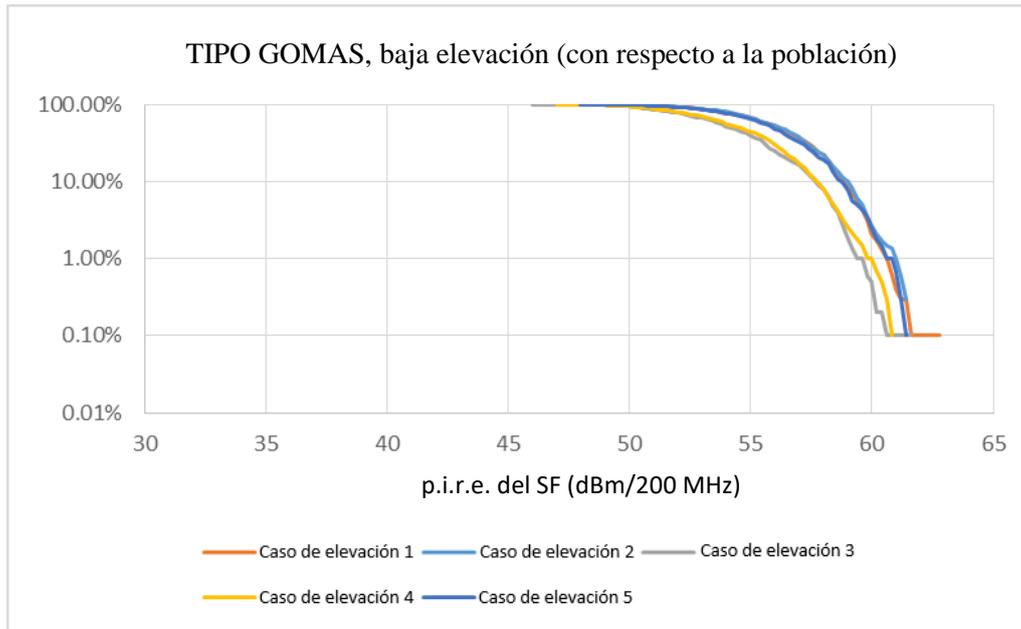


FIGURE A4-39

p.i.r.e. del SF a nivel del suelo para sensores de tipo GOMAS (de poca elevación)
(con respecto a la población)



p.i.r.e. máxima combinada relativa a las Figuras anteriormente enumeradas = 64,2 dBm/200 MHz.

A4.6.4 Estudios de compartición con sistemas específicos (ICI) del SETS (pasivo)

En el Cuadro A4-13 se proporciona la máxima p.i.r.e. a nivel del suelo en sentido de los satélites del SETS (pasivo) (en dBm/200 MHz) para garantizar la protección de los sensores ICI en la banda de frecuencias 313-356 GHz. Las pérdidas atmosféricas se han calculado con arreglo al modelo que figura en la Recomendación UIT-R P.676. La diferencia de atenuación atmosférica entre los canales descritos a continuación obedece a la variación del perfil de vapor de agua con respecto a la frecuencia.

CUADRO A4-13

Interferencia máxima a nivel del suelo para sistemas ICI

Sistema del SETS	ICI-1L	ICI-2L	ICI-3L	ICI-4L	ICI-5L	ICI-6L
Frecuencia (GHz)	315,65	321,65	323,65	326,65	327,45	334,65
Tipo de sensor	cónico	cónico	cónico	cónico	cónico	cónico
Altitud orbital (km)	817	817	817	817	817	817
Ángulo de nadir (grados)	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0
Distancia de trayecto oblicuo (km)	1 563	1 563	1 563	1 563	1 563	1 563
Pérdidas en el espacio libre (dB)	206,3	206,5	206,5	206,6	206,6	206,8
Elevación con respecto al suelo (grados)	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7
Pérdidas atmosféricas (dB)	22,4	48,4	90,3	92,5	65,2	28,1
Ganancia de antena (dBi)	55	55	55	55	55	55
Criterios de protección (dBW/200 MHz)	-158	-158	-158	-158	-158	-158
Distribución (dB)	3	3	3	3	3	3
Interferencia máxima a nivel del suelo (dBW/200 MHz)	42,7	68,9	110,8	113,1	85,8	48,9

De conformidad con el análisis que figura en el § A4.6.3, cabe esperar la siguiente p.i.r.e. máxima del SF a nivel del suelo:

- 1) Única fuente interferente = 60 dBm/200 MHz.
- 2) Interferencia combinada = 59,8 dBm/200 MHz.

Conclusiones relativas a los sistemas ICI en la banda 313-356 GHz

Los resultados anteriormente citados ponen de manifiesto que el despliegue del SF no será compatible con el funcionamiento de los sistemas ICI con respecto a sus canales 1 y 6.

Por otro lado, se demuestra que se puede lograr compatibilidad con respecto a sus canales 2 a 5.

A4.6.5 Análisis general relativo a todas las bandas del SETS (pasivo)

Para cada banda de frecuencias, cabe considerar la hipótesis de que la diferencia en materia de pérdidas en el espacio libre para las frecuencias límite inferior y superior no es significativa. En consecuencia, los análisis se realizan únicamente para la frecuencia central relativa a cada banda de frecuencias del SETS (pasivo).

Habida cuenta de ello, se propone calcular, para cada banda y los cinco sensores generales del SETS (pasivo), el valor neto de la interferencia máxima a nivel del suelo sin tener en cuenta la atenuación atmosférica.

Posteriormente, la comparación de ese valor neto con la potencia máxima del SF a nivel del suelo (con una sola fuente interferente o interferencia combinada) calculada en el § 4 permite determinar el nivel mínimo requerido de atenuación atmosférica (a la elevación correspondiente) para lograr la protección de los sensores del SETS (pasivo).

Dicho nivel puede utilizarse ulteriormente para determinar la atenuación atmosférica cenital mínima equivalente a los efectos de comparación con los niveles correspondientes a cada banda de frecuencias con arreglo a la Recomendación UIT-R P.676.

a) Banda de frecuencias 296-306 GHz

En el Cuadro A4-14 se proporcionan los valores de atenuación atmosférica cenital mínima necesaria para garantizar la protección de todos los tipos de sensores en la banda de 296-306 GHz.

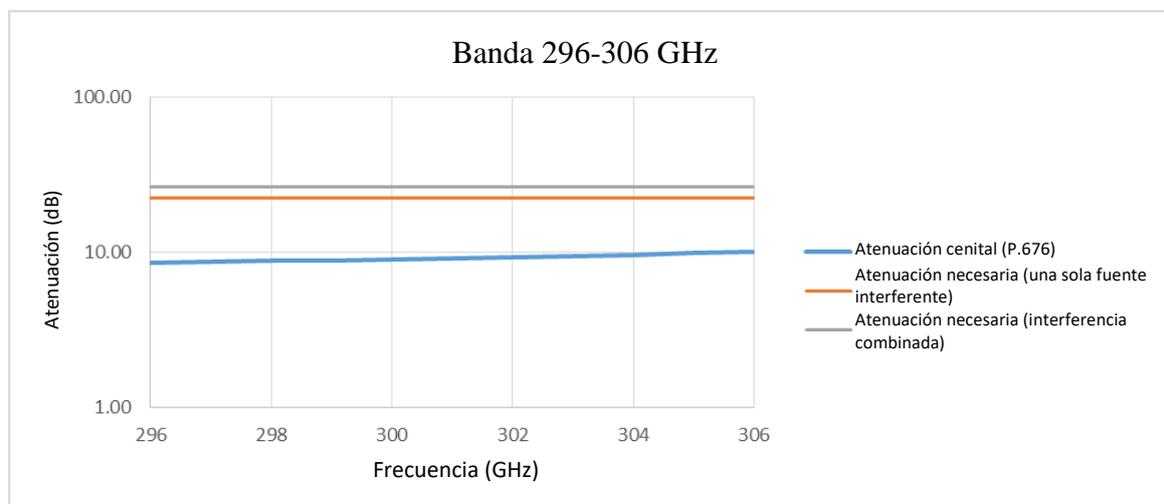
CUADRO A4-14

**Atenuación atmosférica cenital mínima
(296-306 GHz)**

Sistema del SETS		TIPO ICI	TIPO TWICE	TIPO NADIR	TIPO GOMAS	TIPO GOMAS	
Frecuencia central	GHz	301	301	301	301	301	
Altitud orbital	km	817	400	817	35684	35684	
Ángulo de nadir	°	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Distancia de trayecto oblicuo	km	1563	706	817	35684	40197	
Pérdidas en espacio libre	dB	205,9	199,0	200,3	233,1	234,1	
Elev. con respecto al suelo	°	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Pérdidas atmosféricas	dB						
Ganancia de antena	dBi	55	48	55	79	79	
Criterios de protección	dBW/200 MHz	-160	-160	-160	-160	-160	
Distribución	dB	3	3	3	3	3	
Máx. nivel de interferencia a nivel del suelo	dBm/200 MHz	17,9	18,0	12,3	21,1	22,1	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (una sola fuente interferente)	dBW/200 MHz	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (interferencia combinada)	dBm/200 MHz	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Atenuación atmosférica necesaria (una sola fuente interferente)	dB	42,1	42,0	47,7	38,9	37,9	
Atenuación atmosférica necesaria (interferencia combinada)	dB	41,9	38,3	26,3	21,9	42,1	MAX
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (una sola fuente interferente)	dB	18,3	22,2			8,3	22,2
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (interferencia combinada)	dB	18,2	20,3	26,3	21,9	9,2	26,3

FIGURA A4-40

Comparación entre los valores de atenuación necesaria y los que figuran en la Recomendación UIT-R P.676 (296-306 GHz)



En esta Figura se pone de manifiesto que la atenuación atmosférica en la banda 296-306 GHz no es suficiente para garantizar la protección del SETS (pasivo).

En consecuencia, la banda 296-306 GHz no puede utilizarse para el SF sin condiciones específicas.

b) Banda de frecuencias 313-356 GHz

En el Cuadro A4-15 se proporcionan los valores de atenuación atmosférica cenital mínima necesaria para garantizar la protección de todos los tipos de sensores en la banda 313-356 GHz.

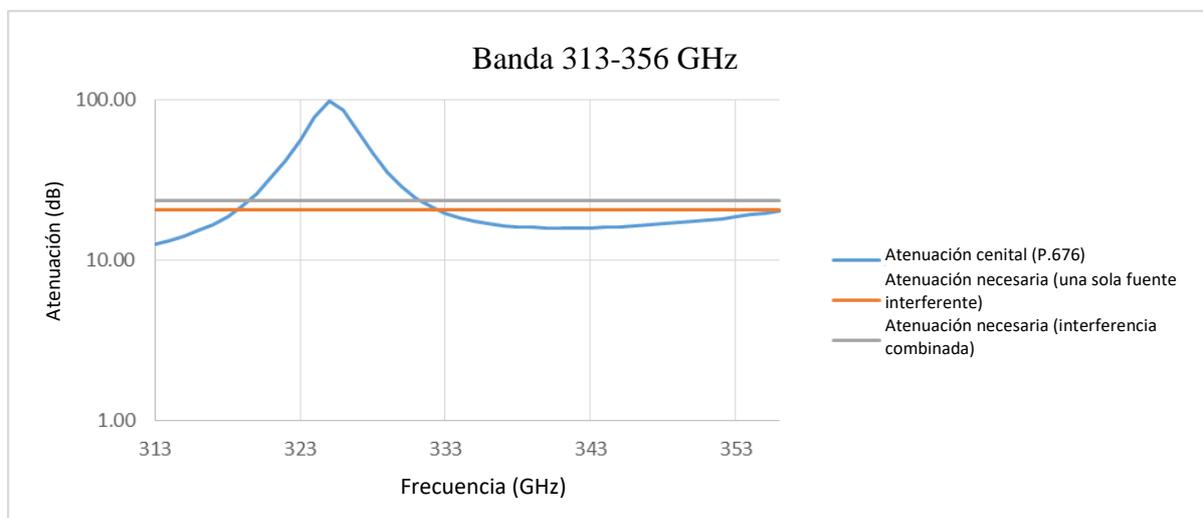
CUADRO A4-15

Atenuación atmosférica cenital mínima (313-356 GHz)

Sistema del SETS		TIPO ICI	TIPO TWICE	TIPO NADIR	TIPO GOMAS	TIPO GOMAS	
Frecuencia central	GHz	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5	
Altitud orbital	km	817	400	817	35684	35684	
Ángulo de nadir	°	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Distancia de trayecto oblicuo	km	1563	706	817	35684	40197	
Pérdidas en espacio libre	dB	206,8	199,9	201,2	234,0	235,0	
Elev. con respecto al suelo	°	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Pérdidas atmosféricas	dB						
Ganancia de antena	dBi	55	48	55	79	79	
Criterios de protección	dBW/200 MHz	-158	-158	-158	-158	-158	
Distribución	dB	3	3	3	3	3	
Máx. nivel de interferencia a nivel del suelo	dBm/200 MHz	20,8	20,9	15,2	24,0	25,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (una sola fuente interferente)	dBW/200 MHz	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (interferencia combinada)	dBm/200 MHz	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Atenuación atmosférica necesaria (una sola fuente interferente)	dB	39,2	39,1	44,8	36,0	35,0	
Atenuación atmosférica necesaria (interferencia combinada)	dB	39,0	35,4	23,4	19,0	39,2	MAX
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (una sola fuente interferente)	dB	17,0	20,7			7,7	20,7
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (interferencia combinada)	dB	16,9	18,7	23,4	19,0	8,6	23,4

FIGURA A4-41

Comparación entre los valores de atenuación necesaria y los que figuran en la Recomendación UIT-R P.676 (313-356 GHz)



En esta Figura se pone de manifiesto que la atenuación atmosférica en la mayor parte de la banda 313-356 GHz no es suficiente para garantizar la protección del SETS (pasivo).

No obstante, la banda 320-331 GHz (ancho de banda de 11 GHz) podría utilizarse para aplicaciones del SF.

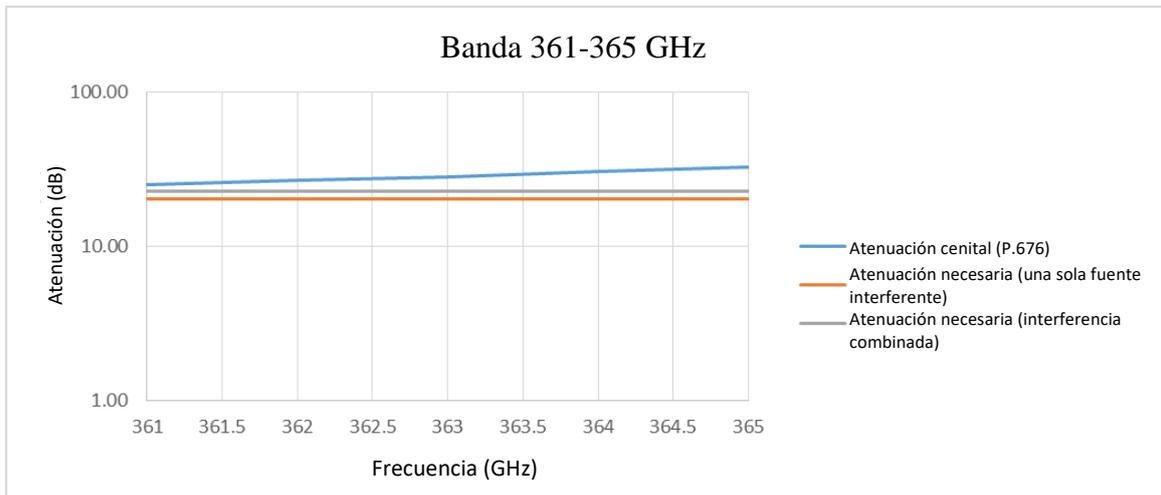
c) Banda de frecuencias 361-365 GHz

En el Cuadro A4-16 se proporcionan los valores de atenuación atmosférica cenital mínima necesaria para garantizar la protección de todos los tipos de sensores en la banda 361-365 GHz.

CUADRO A4-16
Atenuación atmosférica cenital mínima
(361-365 GHz)

Sistema del SETS		TIPO ICI	TIPO TWICE	TIPO NADIR	TIPO GOMAS	TIPO GOMAS	
Frecuencia central	GHz	363	363	363	363	363	
Altitud orbital	km	817	400	817	35684	35684	
Ángulo de nadir	°	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Distancia de trayecto oblicuo	km	1563	706	817	35684	40197	
Pérdidas en espacio libre	dB	207,5	200,6	201,9	234,7	235,7	
Elev. con respecto al suelo	°	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Pérdidas atmosféricas	dB						
Ganancia de antena	dBi	55	48	55	79	79	
Criterios de protección	dBW/200 MHz	-158	-158	-158	-158	-158	
Distribución	dB	3	3	3	3	3	
Máx. nivel de interferencia a nivel del suelo	dBm/200 MHz	21,5	21,6	15,9	24,7	25,7	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (una sola fuente interferente)	dBW/200 MHz	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (interferencia combinada)	dBm/200 MHz	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Atenuación atmosférica necesaria (una sola fuente interferente)	dB	38,5	38,4	44,1	35,3	34,3	
Atenuación atmosférica necesaria (interferencia combinada)	dB	38,3	34,7	22,7	18,3	38,5	MAX
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (una sola fuente interferente)	dB	16,7	20,3			7,5	20,3
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (interferencia combinada)	dB	16,6	18,3	22,7	18,3	8,4	22,7

FIGURA A4-42
Comparación entre los valores de atenuación necesaria y los que figuran en la Recomendación UIT-R P.676 (361-365 GHz)



En esta Figura se pone de manifiesto que la atenuación atmosférica en la banda 361-365 GHz es suficiente para garantizar la protección del SETS (pasivo).

La banda 361-365 GHz podría utilizarse para aplicaciones del SF.

d) Banda de frecuencias 369-392 GHz

En el Cuadro A4-17 se proporcionan los valores de atenuación atmosférica cenital mínima necesaria para garantizar la protección de todos los tipos de sensores en la banda 369-392 GHz.

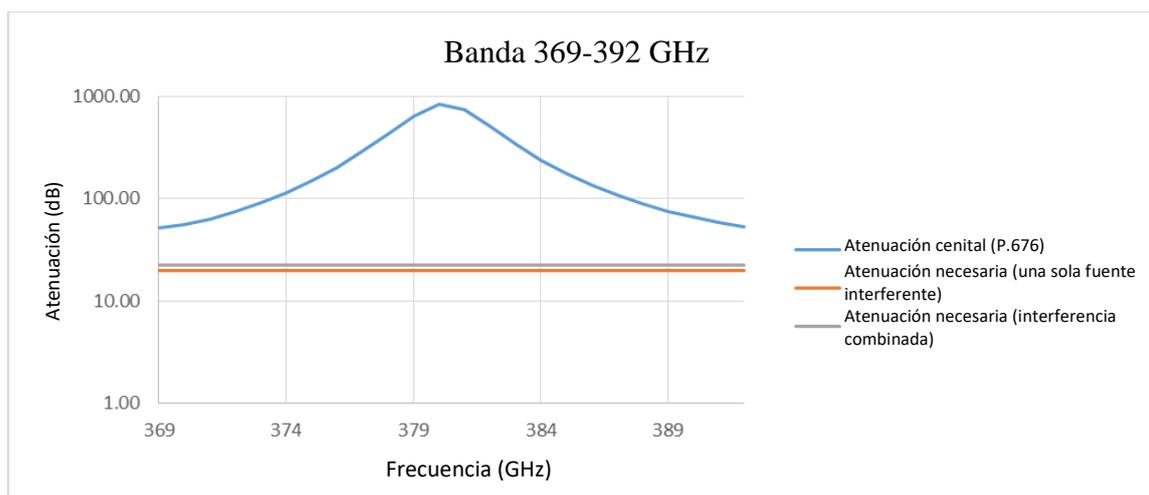
CUADRO A4-17

**Atenuación atmosférica cenital mínima
(369-392 GHz)**

Sistema del SETS		TIPO ICI	TIPO TWICE	TIPO NADIR	TIPO GOMAS	TIPO GOMAS	
Frecuencia central	GHz	380,5	380,5	380,5	380,5	380,5	
Altitud orbital	km	817	400	817	35684	35684	
Ángulo de nadir	°	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Distancia de trayecto oblicuo	km	1563	706	817	35684	40197	
Pérdidas en espacio libre	dB	207,9	201,0	202,3	235,1	236,1	
Elev. con respecto al suelo	°	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Pérdidas atmosféricas	dB						
Ganancia de antena	dBi	55	48	55	79	79	
Criterios de protección	dBW/200 MHz	-158	-158	-158	-158	-158	
Distribución	dB	3	3	3	3	3	
Máx. nivel de interferencia a nivel del suelo	dBm/200 MHz	21,9	22,0	16,3	25,1	26,1	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (una sola fuente interferente)	dBW/200 MHz	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (interferencia combinada)	dBm/200 MHz	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Atenuación atmosférica necesaria (una sola fuente interferente)	dB	38,1	38,0	43,7	34,9	33,9	
Atenuación atmosférica necesaria (interferencia combinada)	dB	37,9	34,3	22,3	17,9	38,1	MAX
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (una sola fuente interferente)	dB	16,5	20,1			7,4	20,1
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (interferencia combinada)	dB	16,4	18,1	22,3	17,9	8,3	22,3

FIGURA A4-43

Comparación entre los valores de atenuación necesaria y los que figuran en la Recomendación UIT-R P.676 (369-392 GHz)



En esta Figura se pone de manifiesto que la atenuación atmosférica en la banda 369-392 GHz es suficiente para garantizar la protección del SETS (pasivo).

La banda 369-392 GHz podría utilizarse para aplicaciones del SF.

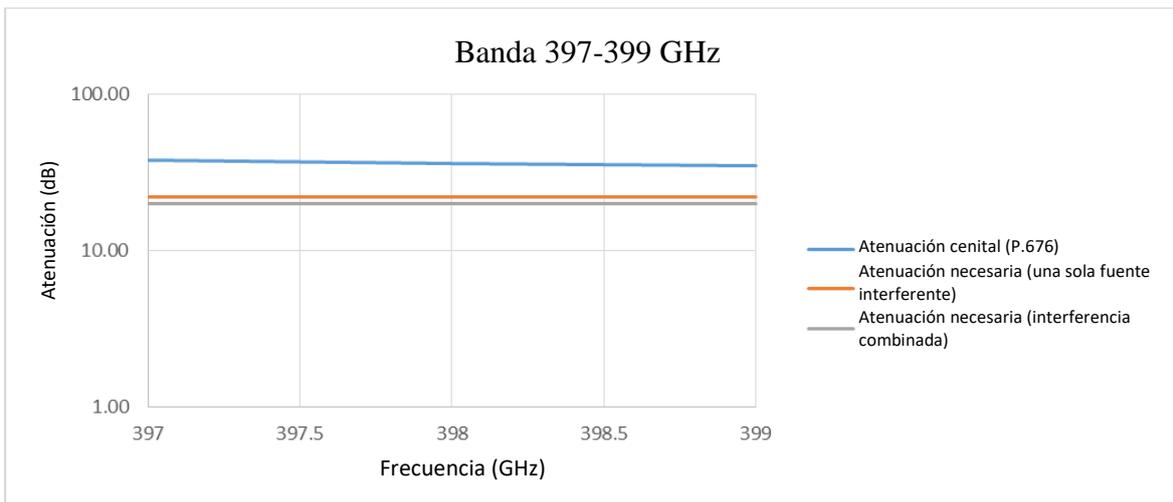
e) Banda de frecuencias 397-399 GHz

En el Cuadro A4-18 se proporcionan los valores de atenuación atmosférica cenital mínima necesaria para garantizar la protección de todos los tipos de sensores en la banda 397-399 GHz.

CUADRO A4-18
Atenuación atmosférica cenital mínima
(392-399 GHz)

Sistema del SETS		TIPO ICI	TIPO TWICE	TIPO NADIR	TIPO GOMAS	TIPO GOMAS	
Frecuencia central	GHz	398	398	398	398	398	
Altitud orbital	km	817	400	817	35684	35684	
Ángulo de nadir	°	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Distancia de trayecto oblicuo	km	1563	706	817	35684	40197	
Pérdidas en espacio libre	dB	208,3	201,4	202,7	235,5	236,5	
Elev. con respecto al suelo	°	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Pérdidas atmosféricas	dB						
Ganancia de antena	dBi	55	48	55	79	79	
Criterios de protección	dBW/200 MHz	-158	-158	-158	-158	-158	
Distribución	dB	3	3	3	3	3	
Máx. nivel de interferencia a nivel del suelo	dBm/200 MHz	22,3	22,4	16,7	25,5	26,5	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (una sola fuente interferente)	dBW/200 MHz	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (interferencia combinada)	dBm/200 MHz	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Atenuación atmosférica necesaria (una sola fuente interferente)	dB	37,7	37,6	43,3	34,5	33,5	
Atenuación atmosférica necesaria (interferencia combinada)	dB	37,5	33,9	21,9	17,5	37,7	MAX
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (una sola fuente interferente)	dB	16,3	19,9			7,3	19,9
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (interferencia combinada)	dB	16,3	17,9	21,9	17,5	8,3	21,9

FIGURA A4-44
Comparación entre los valores de atenuación necesaria y los que figuran en la Recomendación UIT-R P.676 (397-399 GHz)



En esta Figura se pone de manifiesto que la atenuación atmosférica en la banda 397-399 GHz es suficiente para garantizar la protección del SETS (pasivo).

La banda 397-399 GHz podría utilizarse para aplicaciones del SF.

f) Banda de frecuencias 416-434 GHz

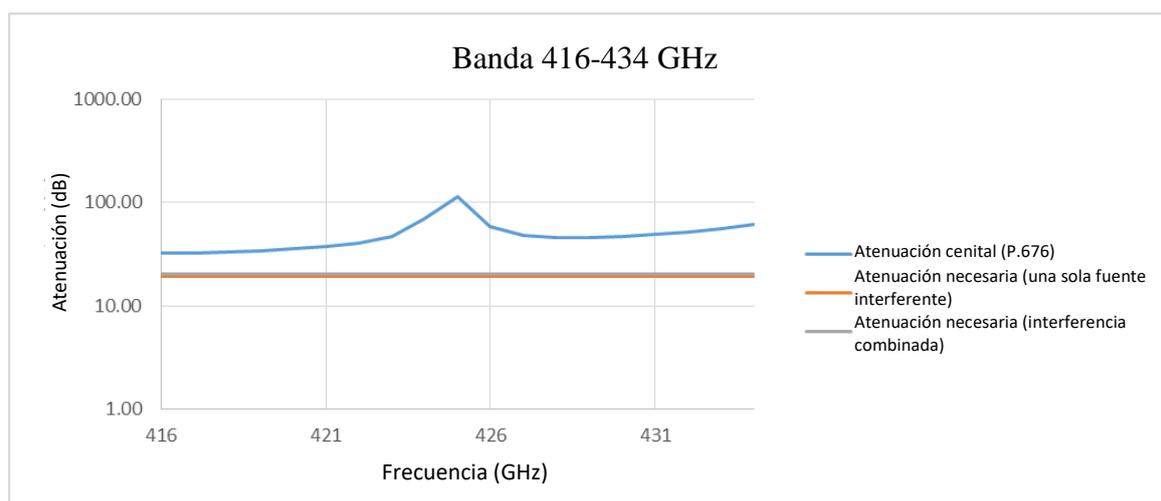
En el Cuadro A4-19 se proporcionan los valores de atenuación atmosférica cenital mínima necesaria para garantizar la protección de todos los tipos de sensores en la banda 416-434 GHz.

CUADRO A4-19
Atenuación atmosférica cenital mínima
(416-434 GHz)

Sistema del SETS		TIPO ICI	TIPO TWICE	TIPO NADIR	TIPO GOMAS	TIPO GOMAS	
Frecuencia central	GHz	425	425	425	425	425	
Altitud orbital	km	817	400	817	35684	35684	
Ángulo de nadir	°	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Distancia de trayecto oblicuo	km	1563	706	817	35684	40197	
Pérdidas en espacio libre	dB	208,9	202,0	203,3	236,1	237,1	
Elev. con respecto al suelo	°	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Pérdidas atmosféricas	dB						
Ganancia de antena	dBi	55	48	55	79	79	
Criterios de protección	dBW/200 MHz	-157	-157	-157	-157	-157	
Distribución	dB	3	3	3	3	3	
Máx. nivel de interferencia a nivel del suelo	dBm/200 MHz	23,9	24,0	18,3	27,1	28,1	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (una sola fuente interferente)	dBW/200 MHz	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (interferencia combinada)	dBm/200 MHz	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Atenuación atmosférica necesaria (una sola fuente interferente)	dB	36,1	36,0	41,7	32,9	31,9	
Atenuación atmosférica necesaria (interferencia combinada)	dB	35,9	32,3	20,3	15,9	36,1	MAX
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (una sola fuente interferente)	dB	15,7	19,0			7,0	19,0
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (interferencia combinada)	dB	15,6	17,1	20,3	15,9	7,9	20,3

FIGURA A4-45

Comparación entre los valores de atenuación necesaria y los que figuran en la Recomendación UIT-R P.676 (416-434 GHz)



En esta Figura se pone de manifiesto que la atenuación atmosférica en la banda 416-434 GHz es suficiente para garantizar la protección del SETS (pasivo).

La banda 416-434 GHz podría utilizarse para aplicaciones del SF.

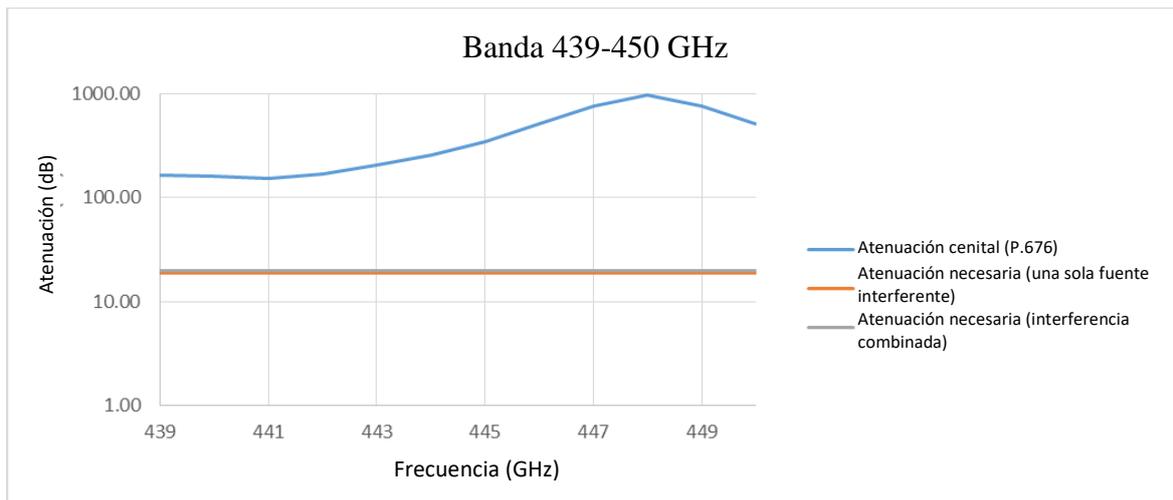
g) Banda de frecuencias 439-467 GHz

En el Cuadro A4-20 se proporcionan los valores de atenuación atmosférica cenital mínima necesaria para garantizar la protección de todos los tipos de sensores en la banda 439-467 GHz.

CUADRO A4-20
Atenuación atmosférica cenital mínima
(439-467 GHz)

Sistema del SETS		TIPO ICI	TIPO TWICE	TIPO NADIR	TIPO GOMAS	TIPO GOMAS	
Frecuencia central	GHz	453	453	453	453	453	
Altitud orbital	km	817	400	817	35684	35684	
Ángulo de nadir	°	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Distancia de trayecto oblicuo	km	1563	706	817	35684	40197	
Pérdidas en espacio libre	dB	209,4	202,5	203,8	236,6	237,6	
Elev. con respecto al suelo	°	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Pérdidas atmosféricas	dB						
Ganancia de antena	dBi	55	48	55	79	79	
Criterios de protección	dBW/200 MHz	-157	-157	-157	-157	-157	
Distribución	dB	3	3	3	3	3	
Máx. nivel de interferencia a nivel del suelo	dBm/200 MHz	24,4	24,5	18,8	27,6	28,6	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (una sola fuente interferente)	dBW/200 MHz	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Máxima potencia del SF a nivel del suelo (interferencia combinada)	dBm/200 MHz	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Atenuación atmosférica necesaria (una sola fuente interferente)	dB	35,6	35,5	41,2	32,4	31,4	
Atenuación atmosférica necesaria (interferencia combinada)	dB	35,4	31,8	19,8	15,4	35,6	MAX
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (una sola fuente interferente)	dB	15,4	18,7			6,9	18,7
Atenuación atmosférica cenital equivalente necesaria (interferencia combinada)	dB	15,3	16,8	19,8	15,4	7,8	19,8

FIGURA A4-46
Comparación entre los valores de atenuación necesaria y los que figuran en la Recomendación UIT-R P.676 (439-450 GHz)



En esta Figura se pone de manifiesto que la atenuación atmosférica en la banda 439-450 GHz es suficiente para garantizar la protección del SETS (pasivo).

La banda 439-450 GHz podría utilizarse para aplicaciones del SF.

A4.6.6 Resumen del estudio 5

Por lo general, en la banda 275-450 GHz, las bandas de frecuencias enumeradas a continuación, actualmente identificadas para el SETS (pasivo) con arreglo al número **5.565** del RR, no pueden utilizarse para el servicio fijo:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 331-356 GHz

En las demás partes de la gama 275-450 GHz, cabe prever la utilización del SF.

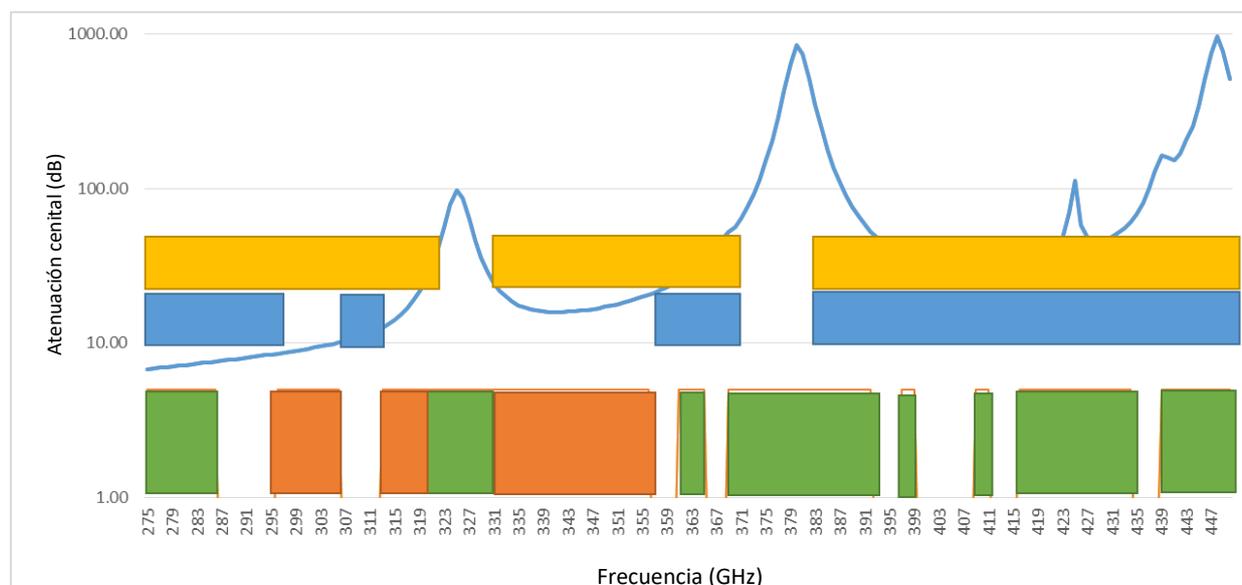
Habida cuenta de las bandas del SF objeto de estudio (275-320 GHz, 330-370 GHz y 380-445 GHz), podrían utilizarse las siguientes bandas para el SF:

- 275-296 GHz (ancho de banda de 21 GHz), que facilitaría un bloque de espectro del SF ininterrumpido de 44 GHz junto con la banda 252-275 GHz, ya atribuida al SF;
- 306-313 GHz (ancho de banda de 7 GHz);
- 356-370 GHz (ancho de banda de 14 GHz);
- 380-445 GHz (ancho de banda de 65 GHz).

Estas bandas estarían lo suficientemente alejadas como para cumplir los requisitos de espectro del SF (50 GHz).

Ello se sintetiza en la Fig. A4-47.

FIGURA A4-47



	Banda del SETS (pasivo) en la que la compartición con el SF no es posible
	Banda del SETS (pasivo) en la que la compartición con el SF es posible
	Bandas del SF objeto de análisis
	Bandas para las que la identificación del SF es posible

A4.6.7 Anexo 1 del estudio 5 – Metodología utilizada para obtener la cantidad de enlaces del SF para un despliegue basado en la población

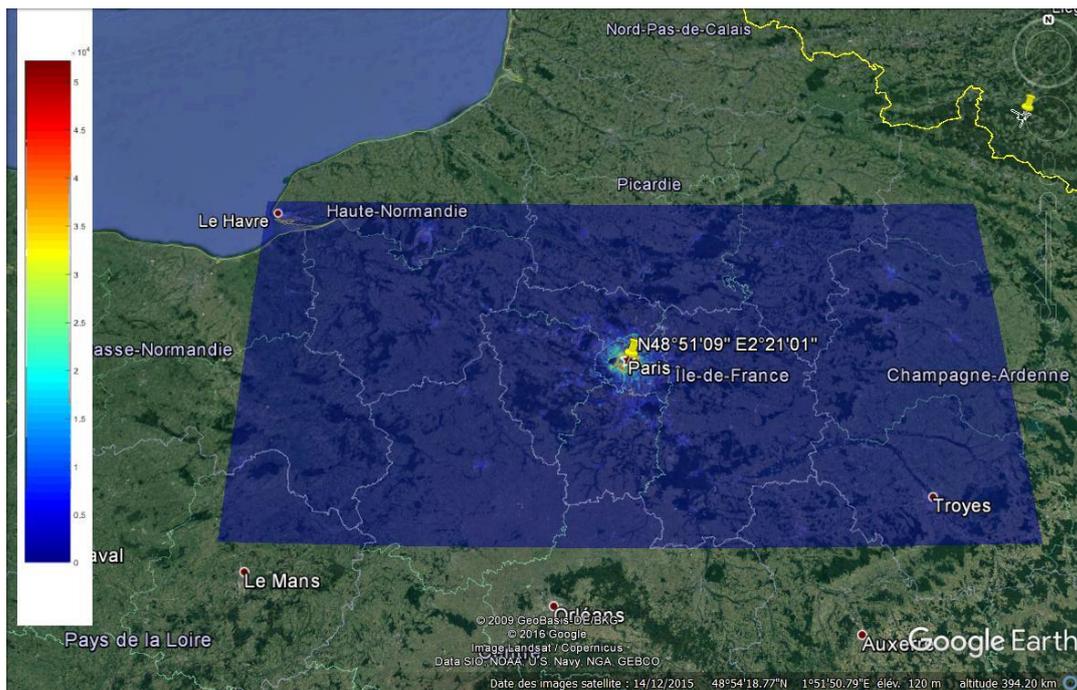
A4.6.7.1 Características de la zona de estudio

A continuación se enumeran las características de la zona de estudio:

- Zona con centro en París (Francia).
- Distancia de 340 km de este a oeste.
- Distancia de 161 km de sur a norte.
- Superficie total: 54 740 km².

La zona se representa en la Fig. A4-48 siguiente.

FIGURA A4-48



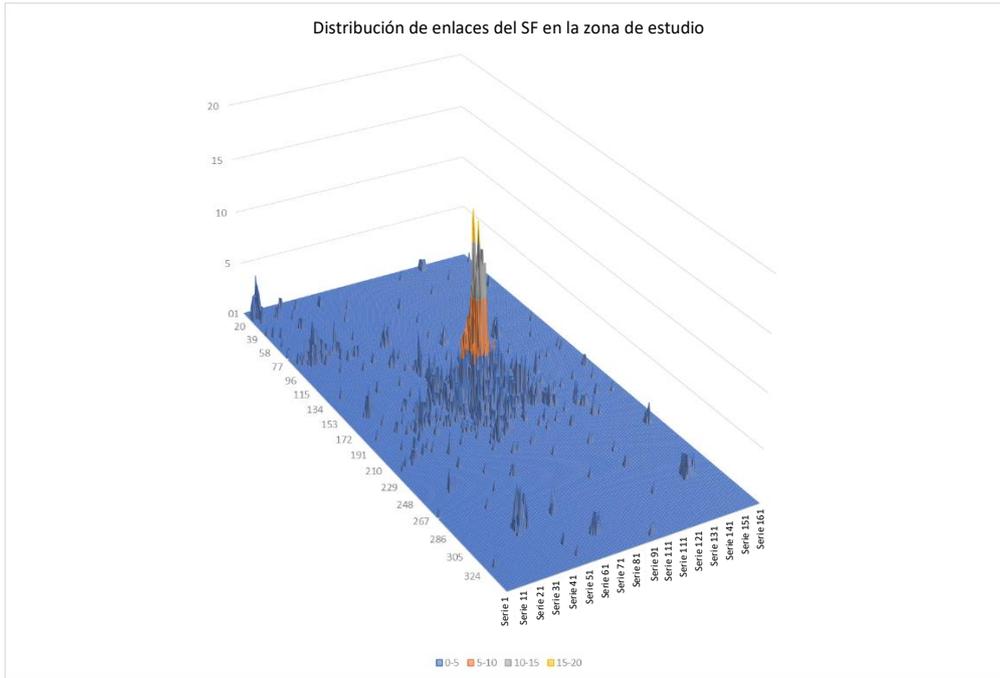
A4.6.7.2 Distribución espacial de los enlaces del SF

Los enlaces del SF se distribuyen en la zona de estudio con arreglo a la información anteriormente reseñada.

Por cada km², la cantidad de enlaces del SF se determina multiplicando el número de habitantes por la densidad de enlaces del SF/habitante (a saber, 0,000351), redondeando el resultado final al entero más cercano.

En total, en la zona de estudio se distribuyen 4 415 enlaces del FS. En la Fig. A4-49 se representa la distribución espacial de dichos enlaces en la zona de estudio.

FIGURA A4-49

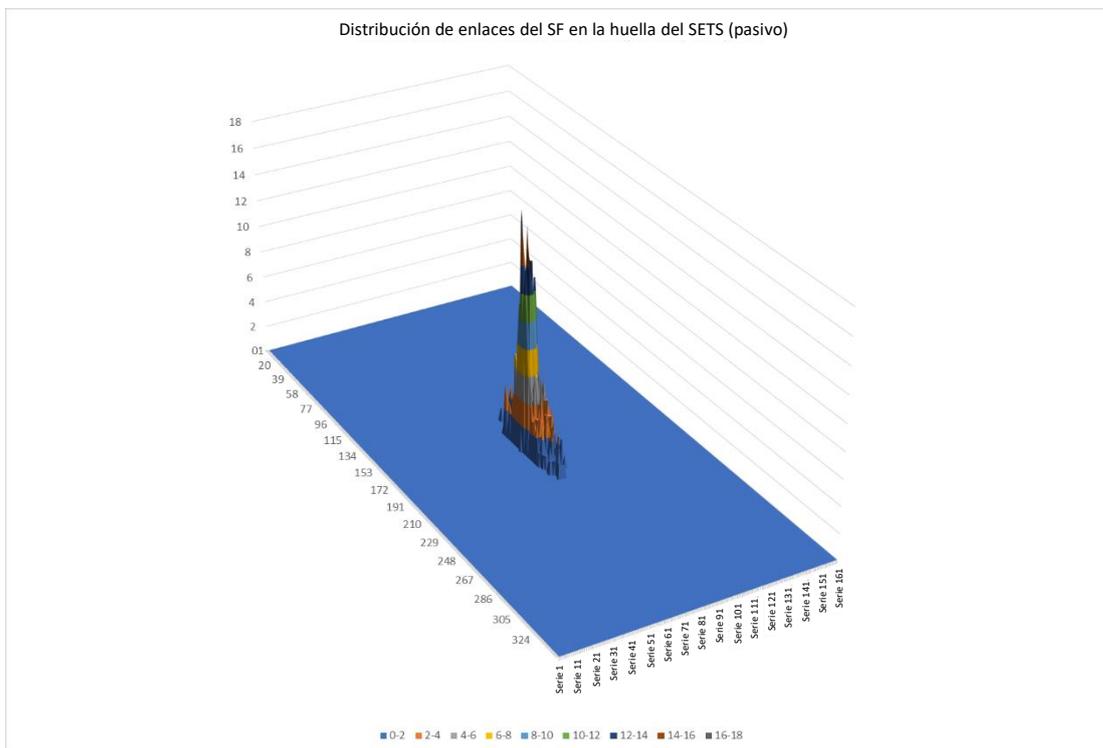


A4.6.7.3 Distribución de enlaces del SF en las huellas del SETS (pasivo)

Para cada sensor del SETS (pasivo), la cantidad de enlaces del SF en la huella se determina situando esta en el centro de la zona de estudio.

En la Fig. A4-50 se representa la distribución espacial de los enlaces del SF en la huella del SETS (pasivo), con arreglo al ejemplo del sistema «GOMAS (de poca elevación)». Ello da lugar al despliegue de 1 903 enlaces del SF en dicha huella.

FIGURA A4-50



En el Cuadro A4-21 se indica la cantidad de enlaces del SF en la huella de cada sistema del SETS (pasivo).

CUADRO A4-21

	Tipo ICI	Tipo TWICE	Tipo NADIR	Tipo GOMAS (Nadir)	Tipo GOMAS (baja elevación)
Ifov (km ²)	200	50	30	110	890
Con respecto a la población (cantidad de enlaces)	1 030	393	228	874	1 903

Anexo 5

Estudios de compartición entre las aplicaciones del SF y el servicio de radioastronomía

A5.1 Introducción

Según se desprende de los resultados del Informe UIT-R RA.2189-1, que trata sobre la compartición entre el servicio de radioastronomía y servicios activos en la gama de frecuencias 275-3 000 GHz, dicha compartición es posible si se tienen en cuenta las propiedades atmosféricas en función de la altura sobre el nivel del mar, así como la directividad de la antena del transmisor. En el citado informe se señala que los emplazamientos del SRA se sitúan, por lo general, a gran altitud, con atenuación atmosférica sustancialmente menor al nivel del mar, y se subraya la importancia de llevar a cabo una evaluación de las situaciones de compartición para cada caso específico. La iluminación directa de los emplazamientos de radioastronomía por transmisores situados a una altitud cercana a la del nivel del mar, de ser geoméricamente posible, probablemente conllevaría efectos de absorción atmosférica mucho más intensos y, en consecuencia, requisitos de menor separación geográfica para una potencia de transmisión determinada. En este Informe no se tuvieron en cuenta de forma independiente las aplicaciones del SMT y del SF, sino que sólo se consideró un único nivel de potencia de transmisión de un servicio activo general. Podría ser necesario realizar estudios de compartición más detallados, en particular sobre los efectos de la interferencia combinada, para valores mayores. En el presente Anexo se analiza la viabilidad de la compartición entre el SRA y las aplicaciones del SF y del SMT en las bandas de frecuencias identificadas para su utilización por el SRA con arreglo al número 5.565 del RR, sobre la base de los parámetros específicos que se proporcionan en el § 5 de este informe.

A5.2 Estudio 1: Compatibilidad entre el SRA y el funcionamiento del SF en la banda de espectro 275-450 GHz

A5.2.1 Hipótesis y parámetros geométricos

En relación con el SF (véase el Informe UIT-R SM.2450 («el Informe»)), Cuadro 7, § 5.2.1):

Potencia de salida del SF: 0-20 dBm

Ancho de banda del SF: 24 GHz

Diagrama de antena del SF: Recomendación UIT-R F.699-7, $D/\lambda > 100$, Valor de cresta de la ganancia 50 dBi

Valor de cresta de la p.i.r.e. del SF: 50-70 dBm

Hipótesis sobre propagación

En la Recomendación UIT-R P.676-11 se calculó la atenuación atmosférica por raya espectral (véase la Fig. A5-1).

Se utilizaron las propiedades medidas relativas al telescopio ALMA para $h = 4,8$ km con objeto de definir los parámetros de entrada de la Recomendación UIT-R P.676, a saber, $T = 273\text{K}$, $p_{\text{H}_2\text{O}} = 551$ y $e(p_{\text{H}_2\text{O}}) = 1,14$. La atenuación cenital medida a 345 GHz, conjugada con el procedimiento para determinar la atenuación cenital relativa a una determinada atenuación específica ambiental para frecuencias por debajo de 350 GHz (Recomendación UIT-R P.676, § 2.2) se utilizó para obtener la atenuación específica ambiental (dB/km) en el emplazamiento del ALMA, como se muestra en la Fig. A5-1.

Los resultados para $h = 2,8$ km y $h = 0$ se obtuvieron con respecto a una altura estándar de escala para el aire seco de 8,4 km y una altura de escala para H_2O de 2 km, como se indica en la Recomendación UIT-R P.676 para elevaciones inferiores.

Se utilizaron parámetros geométricos sobre visibilidad directa sin atenuación por ecos parásitos o pérdidas por penetración en edificios.

Criterios de protección del servicio de radioastronomía (véase § 5.3)

Valores umbral de potencia de entrada: véase el Cuadro 9, columna 8, con interpolación lineal respecto de la frecuencia.

Ancho de banda del receptor del SRA: 8 GHz; el SRA sólo recibe una tercera parte de la potencia del SF.

Nota: los criterios de protección del SRA son aplicables para una ganancia de 0 dBi y no dependen de la orientación o del diagrama de haz de la antena del SRA.

Elección de frecuencias

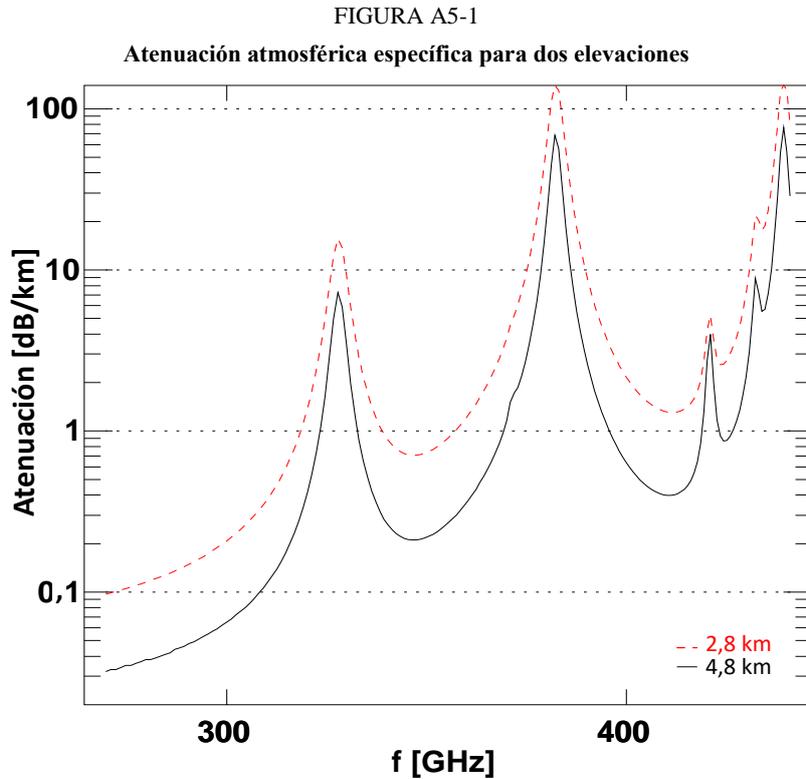
275 GHz: permite poner de relieve una elevada transparencia en el extremo inferior de la banda. Los aspectos que cabe tener en cuenta con respecto a esta frecuencia son aplicables asimismo a la compatibilidad con las operaciones del SRA en bandas inmediatamente adyacentes por debajo de 275 GHz (véase el § 7.2.7 del Informe).

345 GHz: reviste suma importancia con respecto al SRA, al ser la frecuencia de reposo de la transición $J = 3-2$, relativa al monóxido de carbono, CO .

412 GHz: utilización de una frecuencia cercana al extremo superior de la banda en una ventana atmosférica.

Parámetros geométricos:

Cabe considerar dos parámetros geométricos. Como se representa en la parte izquierda de las Figs. A5-2 (parámetros geométricos) y A5-3 (resultados de propagación), las operaciones del SRA y del SF tienen lugar en el mismo plano sobre terreno plano, con haz del SF horizontal y ángulos acimutales del SF variables con respecto a la antena del SRA. Para cada ángulo acimutal se calcula la distancia mínima que está en consonancia con los criterios de protección del SRA, habida cuenta de las pérdidas de propagación, la ganancia de antena del SF y la atenuación específica en dB/km. En la parte derecha de las Figs. A5-2 y A5-3, las operaciones del SRA se desarrollan a altura h y las del SF a altura 0 . El haz del SF se fija con arreglo al acimut relativo al funcionamiento del SRA y se desplaza hacia arriba y hacia abajo. Para cada separación horizontal se calcula el máximo ángulo de elevación de la antena del SF, de conformidad con los criterios de protección del SRA. En los casos en los que no puede lograrse una solución compatible, no se representa ningún parámetro.



La curva para la elevación de 4,8 km se determinó sobre la base de la opacidad cenital medida en el telescopio ALMA a dicha elevación. La curva para la elevación de 2,8 km se obtuvo con arreglo al resultado del ALMA utilizando alturas estándar de escala atmosférica.

A5.2.2 Resultados

A5.2.2.1 Funcionamiento a la misma altitud

Los resultados pertinentes se muestran en la parte izquierda de la Fig. A5-3 para los parámetros geométricos de la Fig. A5-2, en la parte izquierda, teniendo en cuenta que el SF y el SRA funcionan a la misma altitud; los emplazamientos del ALMA y del Polo Sur son lo suficientemente amplios como para hacerlo posible, y su aridez evita la existencia de ecos parásitos. El cálculo es sencillo: la atenuación específica (en dB/km) es constante a lo largo de la línea de visibilidad directa que separa el funcionamiento del SRA y del SF, y para cada ángulo de haz acimutal del SF, la distancia para la que se cumplen los criterios de compatibilidad se determina mediante la solución de varias raíces matemáticas, habida cuenta del diagrama de haz pertinente que figura en la Recomendación UIT-R F.699.

Si el haz del SF se orienta a las operaciones del SRA, en todos los casos se requieren amplias distancias de separación. Los valores de dichas distancias inferiores a 10 km son posibles si el haz del SF se orienta por lo menos de 10 a 40°, aproximadamente, con respecto al funcionamiento del SRA.

En la Fig. A5-4 se representa el efecto de la variación de la potencia de entrada de la antenna del SF. Cuando el haz del SF se orienta cerca de las operaciones del SRA, las distancias de separación son amplias, las pérdidas de trayecto se producen principalmente por la atenuación atmosférica, y la distancia de separación necesaria disminuye a un ritmo lento a medida que la potencia se reduce.

A5.2.2.2 Funcionamiento a gran elevación solo en relación con el SRA

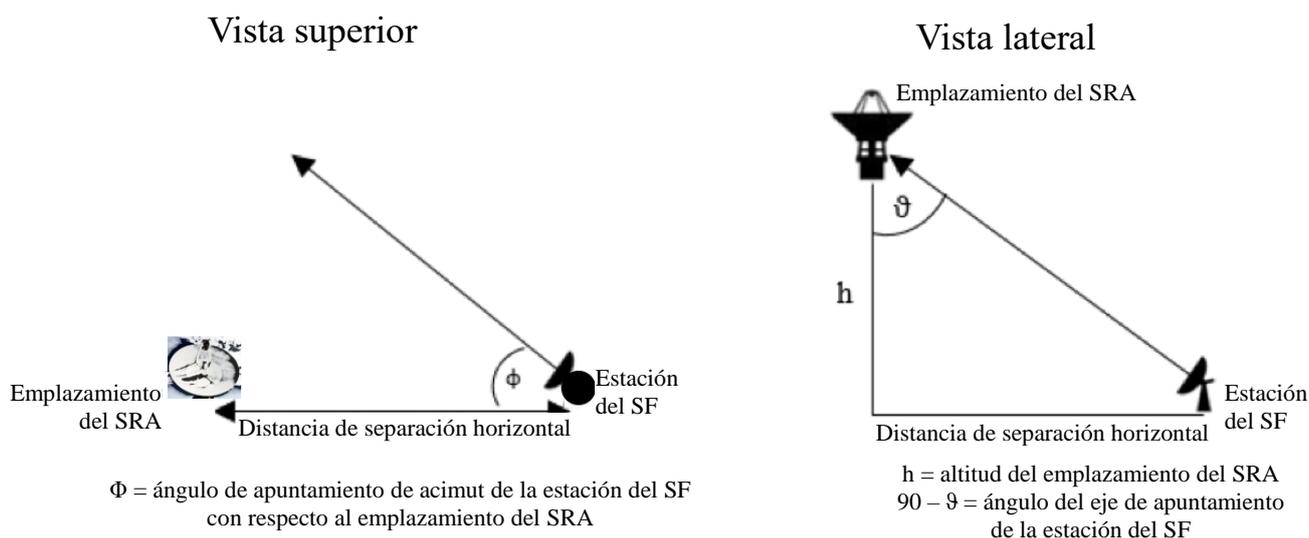
Los resultados pertinentes se muestran en la parte derecha de la Fig. A5-3, en relación con los parámetros geométricos de la Fig. A5-2, en la parte derecha. Con arreglo a esa disposición, el radiotelescopio se encuentra a una altitud $h = 2,8$ o $h = 4,8$ km, y el funcionamiento del SF tiene lugar a una altitud $h = 0$. El haz del SF se orienta con respecto al acimut al funcionamiento del SRA y la elevación del haz del SF se modifica hasta alcanzar un valor máximo que se determina numéricamente y se representa mediante el eje vertical en la parte derecha de la Fig. A5-3. La atenuación se calcula mediante una integración numérica a lo largo del trayecto oblicuo entre las operaciones del SF y las del SRA, con arreglo a los valores de altura de escala estándar para los componentes del aire seco y del vapor de agua de la atmósfera que figuran en la Recomendación UIT-R P.676.

A raíz del aumento de la separación horizontal, los efectos combinados del aumento de las pérdidas por dispersión en el espacio libre y la atenuación atmosférica se oponen entre sí, puesto que la operación del SRA se aproxima al eje de apuntamiento de un haz del SF orientado horizontalmente.

Las operaciones del SRA a gran elevación cuentan con apantallamiento frente a las operaciones del SF para elevación cero a 412 GHz; las operaciones del SF y del SRA son compatibles para todos los valores de separación horizontal y elevación del haz del SF. Para 275 GHz, las operaciones del SF y del SRA son compatibles sólo cuando la separación horizontal supera los 60 km. Para frecuencias intermedias, el funcionamiento del SF requiere una distancia de separación ligeramente superior a 1 km para el funcionamiento del SRA con elevación inferior a $h = 2,8$ km.

FIGURA A5-2

Representación de los parámetros geométricos utilizados en la Fig. A5-3

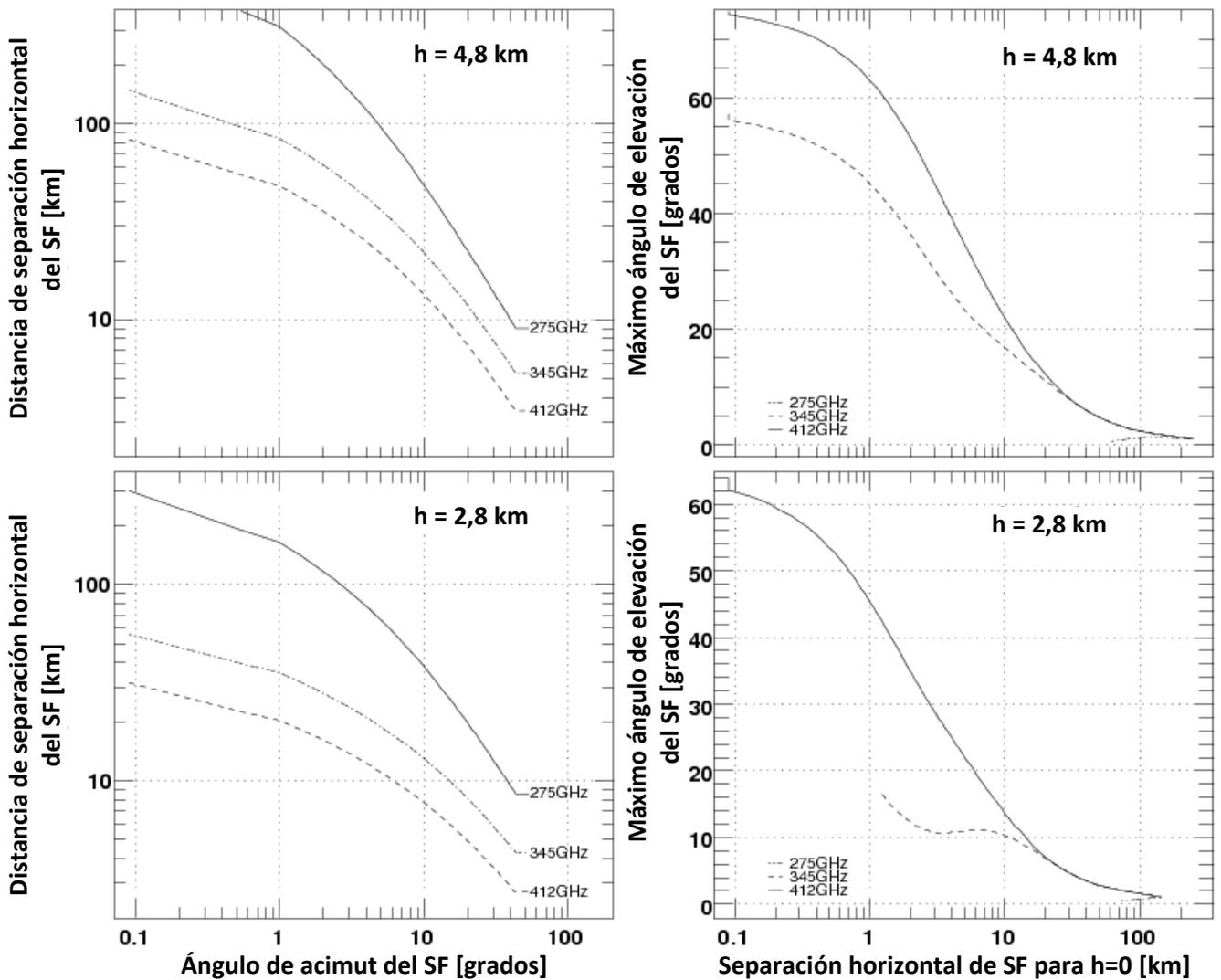


En la parte izquierda se representan, con vista superior, los parámetros geométricos utilizados en la Fig. A5-3, en la parte izquierda. Las operaciones del SRA y del SF tiene lugar a la misma elevación geográfica, el haz del SF es horizontal y se orienta con arreglo a un ángulo acimutal ϕ con respecto al radiotelescopio.

En la parte derecha, con vista lateral, se representan los parámetros geométricos de la ladera de la montaña relativa a la Fig. A5-3, en la parte derecha. Las operaciones del SRA tienen lugar a la altura h y las del SF a $h = 0$, el haz del SF se orienta al funcionamiento del SRA con respecto al acimut y el telescopio se ve con un ángulo $90 - \theta$ respecto del eje de apuntamiento si el haz del SF es horizontal.

FIGURA A5-3

Resultados de los cálculos de los parámetros geométricos relativos a la Fig. A5-2

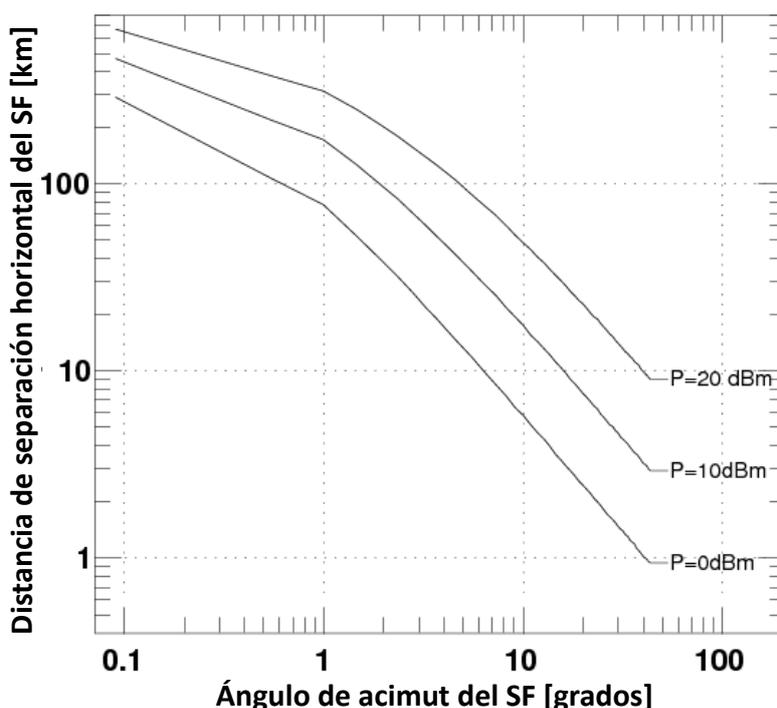


En la parte izquierda, se representan los parámetros geométricos que guardan relación con la Fig. A5-2, a la izquierda, para operaciones del SF y el RAS que tienen lugar a la misma elevación; el haz del SF se mantiene horizontal, pero variable con respecto al acimut. La distancia de separación necesaria se representa en función del ángulo acimutal del SF con respecto a la antena del SRA. Se muestran los resultados para una elevación de 4,8 km en la parte superior y una elevación de 2,8 km en la parte inferior, en ambos casos para las frecuencias 275, 345 y 412 GHz.

En la parte derecha, se representan los parámetros geométricos que guardan relación con la Fig. A5-2, a la derecha, para operaciones del SF que tienen lugar a la elevación geográfica 0; las operaciones del SRA tienen lugar a elevación $h = 4,8$ km (parte superior) o $h = 2,8$ km (parte inferior) y el ángulo acimutal de la antena del SF es 0 con respecto a las operaciones del SRA. Se representa asimismo el máximo ángulo de elevación admisible del haz del SF para cada valor de separación horizontal; cuando no es posible encontrar una solución compatible, no se representa nada. La frecuencia 275 GHz pone de relieve la utilización más restrictiva. Para $h = 2,8$ km, el ángulo de elevación del SF debería limitarse a 10 grados para una separación horizontal del SF superior a 11 km. Sin embargo, para $h = 4,8$ km, la altura puede variar de 45 grados (separación de 1 km) a unos 10 grados (separación de unos 20 km). A continuación se muestran resultados suplementarios de los cálculos relativos a los parámetros geométricos de la Fig. A5-2.

FIGURA A5-4

Resultados suplementarios de los cálculos relativos a los parámetros geométricos de la Fig. A5-2. Los cálculos de la parte superior izquierda de la Fig. A5-3 para $h = 4,8$ km y $f = 275$ GHz se repiten para una potencia de entrada del SF de 0, 10 y 20 dBm, con un valor de cresta de la ganancia de antena del SF de 50 dBi



El cálculo que se representa en la parte superior izquierda de la Fig. A5-3 para $h = 4,8$ km y $f = 275$ GHz se repite para valores de la potencia de entrada del SF de 0, 10 y 20 dBm y valor de cresta de la ganancia de antena del SF de 50 dBi.

A5.2.3 Resumen

La atenuación atmosférica independiente de las pérdidas en el espacio libre a 275-450 GHz no es suficiente para garantizar compatibilidad entre las operaciones del SF y del SRA, a falta de otras consideraciones.

Con respecto a las operaciones a la misma elevación geográfica, es necesario que los haces del SF no apunten demasiado cerca de un emplazamiento del SRA. El valor del ángulo de evitación dependerá del tipo específico del diagrama de haz del SF que se utilice en una situación determinada, entre otras variables. En el caso de operaciones del SRA a gran elevación con viabilidad directa de operaciones del SF que tienen lugar a una elevación mucho más baja, los haces del SF pueden apuntarse, con respecto al acimut, hacia el emplazamiento del SRA para todas las frecuencias siempre y cuando el ángulo máximo de elevación del SF sea 10 grados, hasta 11 km, o con distancias de separación horizontal suficientes.

Los casos de interferencia combinada de varios despliegues del SF requerirán el establecimiento de un modelo pormenorizado con respecto a cada situación.

A5.3 Estudio 2: Análisis de compatibilidad entre el SF y el SRA en la banda 275-325 GHz

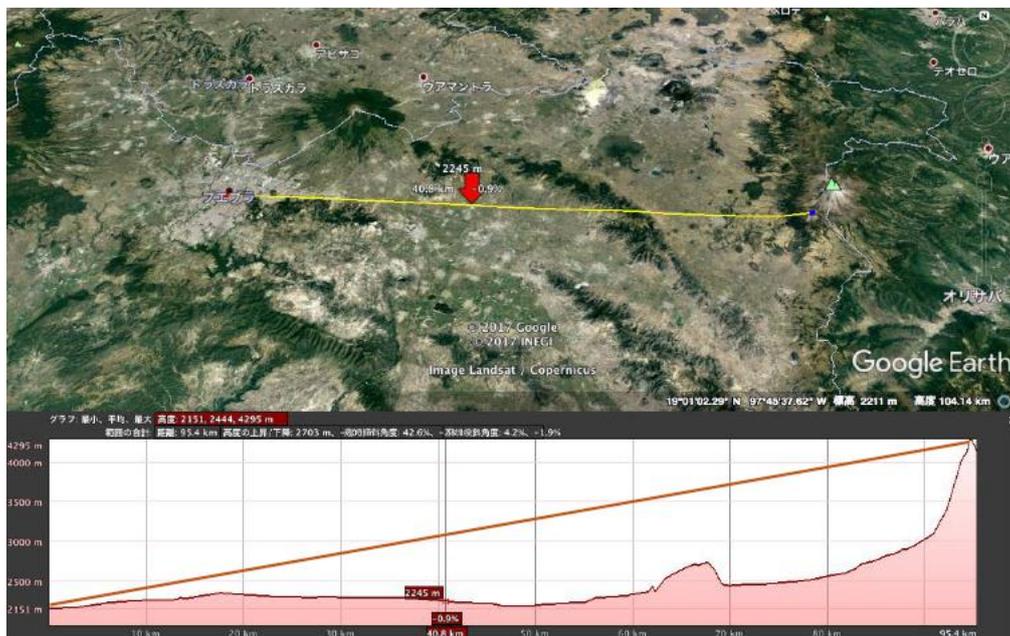
Como se indica en el Informe UIT-R RA.2189, el caso de interferencia más desfavorable consiste en que las antenas transmisoras de las estaciones del SMT o del SF apunten directamente a un radiotelescopio, y el transmisor y el telescopio estén a gran altura. Sin embargo, se prevé que la potencia de salida y la ganancia de antena de las estaciones del SMT sean muy inferiores a las de las aplicaciones del SF. Habida cuenta de ello, en el siguiente estudio de compartición se hace hincapié en la interferencia entre las estaciones del SF en exteriores y el servicio de radioastronomía.

A5.3.1 Emplazamientos del SRA

En el Cuadro 11 se sintetizan los emplazamientos del servicio de radioastronomía que, por lo general, se encuentran en la cima de montañas elevadas y en zonas aisladas. La distancia, por ejemplo, entre Granada (cuya población es de 0,24 M) y Pico de Veleta, Grenoble (cuya población es de 0,15 M) y la Meseta de Bure, Puebla (cuya población es de 2,5 M) y Sierra Negra es 20 km, 60 km y 90 km, respectivamente. En Granada y Grenoble, debido a la baja densidad de población, no cabe considerar conexiones frontales/con la red de retroceso de 300 GHz. Estas pueden desplegarse en la zona urbana de Puebla debido a su elevada densidad de población, pero no en las otras dos ciudades, por falta de tráfico. En la Fig. A5-5 se muestra el perfil del terreno entre Puebla y el Gran telescopio milimétrico de Sierra Negra. Existe la posibilidad de considerar un trayecto de propagación con visibilidad directa de unos 40 km.

FIGURA A5-5

Perfil de terreno entre Puebla y el SMT en Sierra Negra



A5.3.2 Protección de las estaciones del SRA frente a las estaciones del SF que funcionan en la banda 275-350 GHz

En la Fig. A5-6 se representan las distancias mínimas de separación entre la estación del SF cuya potencia de salida es 20 dBm y ganancia de antena 50 dB, como se muestra en el Cuadro 7, y un radiotelescopio. Un caso terrenal análogo «próximo a la situación más desfavorable» relativo a la interferencia al servicio de radioastronomía que figura en el Informe UIT-R RA.2189-1 se utiliza asimismo a los efectos de cálculo sin tener en cuenta la atenuación atmosférica por lluvia o niebla, si bien la altitud de las antenas del SF y del SRA pasa de ser 0 m a 4 000 m para la evaluación de la distancia de separación. La distancia de separación mínima se calcula mediante la ecuación (1) siguiente:

$$P_R = P_T + G_T + G_R - P_L - P_{clutter} - A \geq SH \quad (1)$$

siendo:

- P_R : potencia recibida en el emplazamiento del radiotelescopio
- P_T : potencia de transmisión del SF que se muestra en el Cuadro 2
- G_T : ganancia de antena del SF que se muestra en el Cuadro 2
- G_R : ganancia de antena del radiotelescopio en sentido del transmisor, bajo la hipótesis de que su valor es 0 dBi, de conformidad con la Recomendación UIT-R RA.769
- P_L : pérdidas en el espacio libre, de conformidad con la Recomendación UIT-R P.525
- $P_{clutter}$: pérdidas por ecos parásitos, de conformidad con la Fig. A2-3
- A : atenuación atmosférica, de conformidad con la Recomendación UIT-R P.676
- SH : Valor umbral de la interferencia perjudicial a las observaciones del servicio de radioastronomía, de conformidad con el Cuadro 9.

Los resultados de los cálculos ponen claramente de manifiesto que la distancia de separación inferior a 45 km, menor que la existente entre Puebla y Sierra Negra, o que la existente entre Grenoble y la Meseta de Bure, puede alcanzarse si se tienen en cuenta asimismo en los cálculos las pérdidas por ecos parásitos que figuran en el Anexo 2. No obstante, a los efectos de determinación de la distancia de separación es preferible tener en cuenta la distribución íntegra de las pérdidas por ecos parásitos. Puesto que los niveles de interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía para 265 GHz y 305 GHz sólo se especifican en el Cuadro 9, los niveles entre 265 GHz y 345 GHz se interpolan mediante aproximación lineal, como se muestra en el Cuadro A5-1. Cabe señalar que el apantallamiento del terreno y la desviación de la orientación de la antena del SF con respecto al sentido de la estación del SRA, así como el cambio de altitud de 3 000 m a 0 m de la estación del SF, pueden reducir aún más la distancia de separación. En la Fig. A5-7 se muestra la distancia de separación sin pérdidas por ecos parásitos.

FIGURA A5-6

Distancia de separación mínima, incluidas las pérdidas por ecos parásitos calculadas entre la estación del SF y el radiotelescopio, para la que no se rebasan los valores umbral de interferencia al servicio radioastronomía que figuran en el Cuadro A5-1

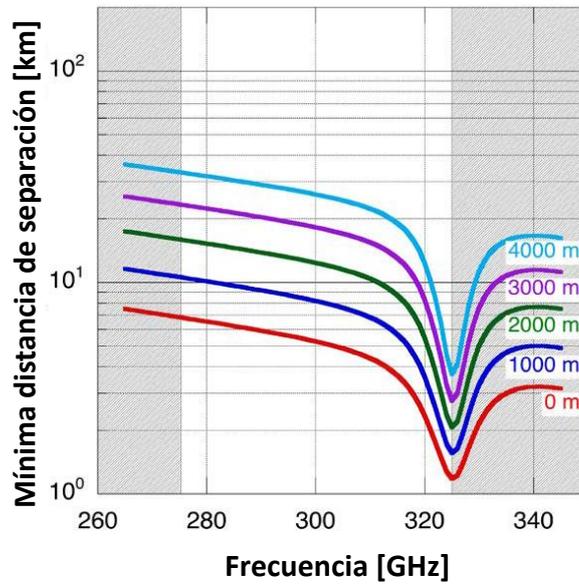
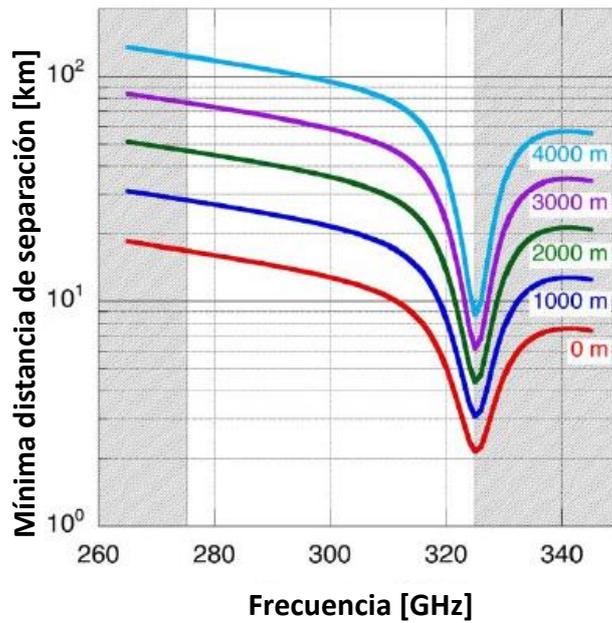


FIGURA A5-7

Distancia de separación mínima sin pérdidas por ecos parásitos entre una estación del SF y un radiotelescopio para la que no se rebasan los valores umbral de interferencia al servicio de radioastronomía que figuran en el Cuadro A5-1



CUADRO A5-1

Interpolación de los valores umbral de interferencia calculados sobre la base del Cuadro 9

Frecuencia (GHz)	S_H (dB(W/(m ² · Hz)))	Frecuencia (GHz)	S_H (dB(W/(m ² · Hz)))	Frecuencia (GHz)	S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
265	-195,4 ⁽¹⁾	295	-194,05	325	-192,7
270	-195,175	300	-193,825	330	-192,475
275	-194,95	305	-193,6	335	-192,25
280	-194,725	310	-193,375	340	-192,025
285	-194,5	315	-193,15	345	-191,8 ¹
290	-194,275	320	-192,925		

⁽¹⁾ Los valores umbral para 265 GHz y 345 GHz se obtuvieron sobre la base del Cuadro 9, y el resto mediante aproximación por interpolación lineal.

A5.3.3 Resumen del estudio 2

El valor de atenuación atmosférica no es suficiente para garantizar la compatibilidad entre las estaciones del SF y del SRA, a falta de otras técnicas. No obstante, el apantallamiento del terreno, la desviación de la orientación de la antena del SF con respecto a la dirección de apuntamiento a la estación del SRA y la modificación del valor de altitud de la estación del SF de 3 000 m a 0 m reducen aún más la distancia de separación. Esas condiciones específicas son necesarias para la protección de la estación del SRA para cada caso específico.

A5.4 Estudio 3: protección de las estaciones del SRA frente a las estaciones del SF que funcionan en la banda 275-450 GHz

Los cálculos se basaron en la ecuación (1) que figura en el estudio 2.

Los cálculos pormenorizados relativos a todas las hipótesis consideradas figuran en el Cuadro A5-2.

FIGURA A5-8

Distancia mínima de separación, incluidas las pérdidas por ecos parásitos calculadas entre la estación del SF y el radiotelescopio, para la que no se rebasan los valores umbral de la interferencia al servicio de radioastronomía que figuran en el Cuadro 9 (observación del continuum)

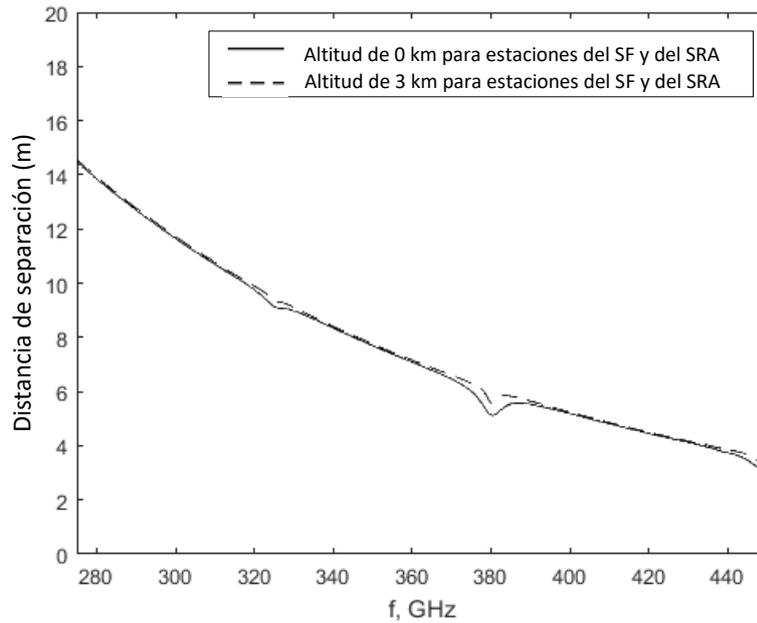


FIGURA A5-9

Distancia mínima de separación, incluidas las pérdidas por ecos parásitos calculadas entre la estación del SF y el radiotelescopio, para la que no se rebasan los valores umbral de la interferencia al servicio de radioastronomía que figuran en el Cuadro 10 (observación de la raya espectral)

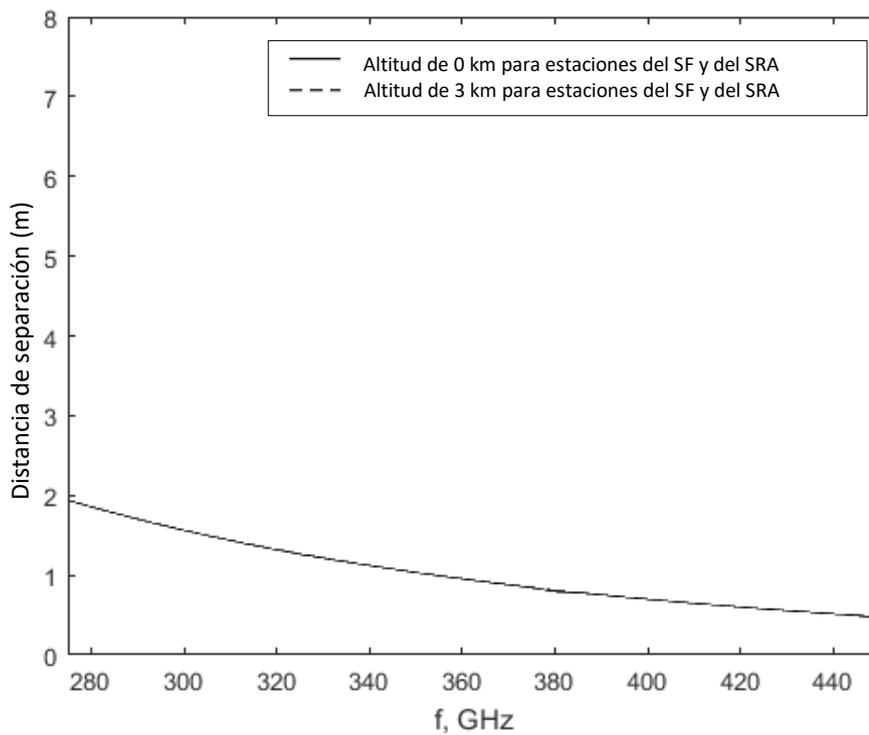


FIGURA A5-10

Distancia mínima de separación sin pérdidas por ecos parásitos calculadas entre la estación del SF y el radiotelescopio, para la que no se rebasan los valores umbral de la interferencia al servicio de radioastronomía que figuran en el Cuadro 9 (observación del continuum)

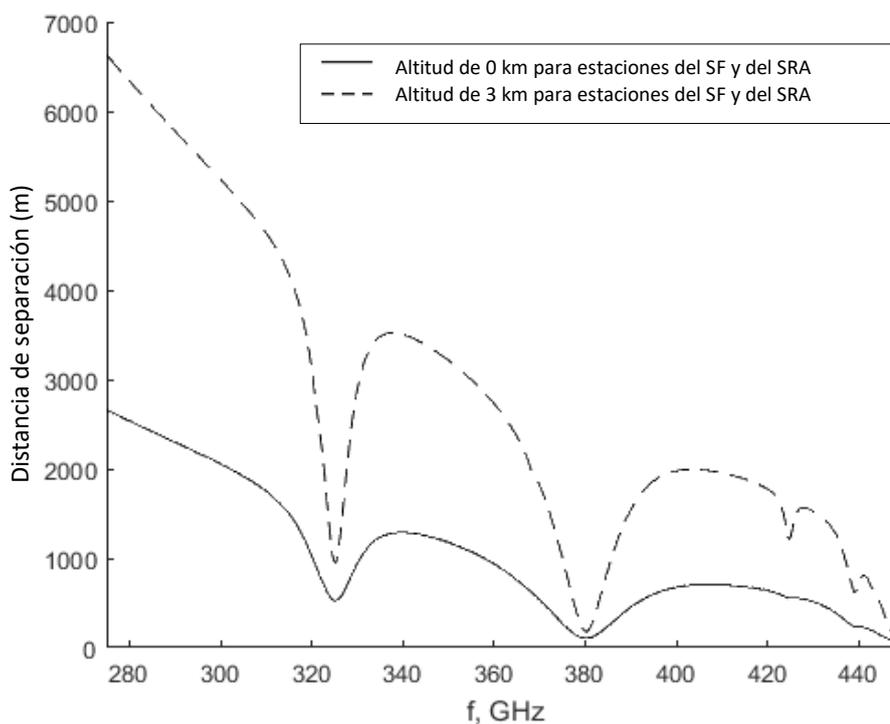
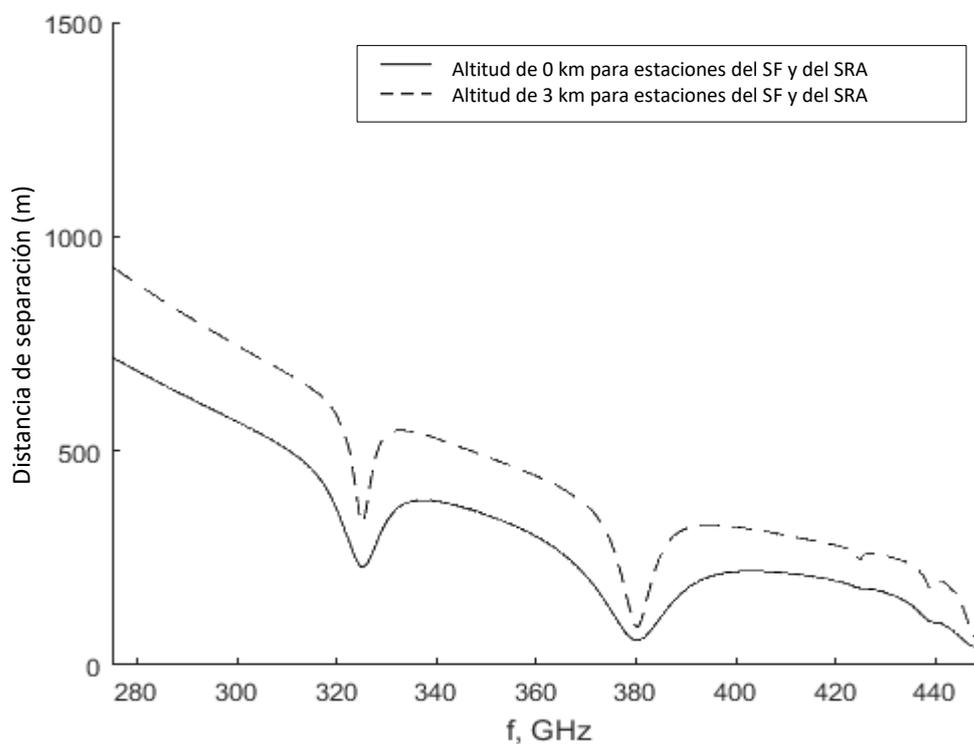


FIGURA A5-11

Distancia mínima de separación sin pérdidas por ecos parásitos calculadas entre la estación del SF y el radiotelescopio, para la que no se rebasan los valores umbral de la interferencia al servicio de radioastronomía que figuran en el Cuadro 10 (observación de la raya espectral)



CUADRO A5-2

Resultados del cálculo de la distancia de separación

Frecuencia (GHz)	Nivel máximo de interferencia (dBW/Hz)	PT + GT + GR (dBW/Hz)	Distancia de separación (m)	Pérdidas por ecos parásitos (dB)	Pérdidas en el espacio libre (dB)	Atenuación atmosférica (dB/km)
Observación del continuum						
275 (altitud 0 m)	-214,45	-53	14	47	102,69	3,6817
400 (altitud 0 m)	-208,8295	-53	5,1	47	97,31	9,3321
275 (altitud 3 km)	-214,45	-53	14	47	102,69	0,4274
400 (altitud 3 km)	-208,8295	-53	5,1	47	97,31	2,2811
275 (altitud 0 m)	-214,45	-53	2 660	0	149,68	3,6817
400 (altitud 0 m)	-208,8295	-53	680	0	141,09	9,3321
275 (altitud 3 km)	-214,45	-53	6 635	0	157,62	0,4274
400 (altitud 3 km)	-208,8295	-53	1 980	0	150,37	2,2811
Observación de la raya espectral						
275 (altitud 0 m)	-194,95	-53	2	47	83,98	3,6817
400 (altitud 0 m)	-189,3295	-53	0,8	47	78,42	9,3321
275 (altitud 3 km)	-194,95	-53	2	47	83,98	0,4274
400 (altitud 3 km)	-189,3295	-53	0,8	47	78,42	2,2811
275 (altitud 0 m)	-194,95	-53	720	0	138,33	3,6817
400 (altitud 0 m)	-189,3295	-53	218	0	131,21	9,3321
275 (altitud 3 km)	-194,95	-53	930	0	140,56	0,4274
400 (altitud 3 km)	-189,3295	-53	320	0	134,54	2,2811

Cabe tener en cuenta asimismo que la probabilidad de que el diagrama de radiación máximo de la antena del SF coincida con la dirección hacia la estación del SRA no es elevada (para una ganancia de antena de 50 dB, la anchura de haz de la antena es 0,53 grados, de conformidad con la Recomendación UIT-R F.699, y para una ganancia de antena de 24 dB, la anchura del haz es 10,6 grados).

Sobre la base de los resultados presentados, cabe concluir inicialmente que la compartición entre el SF y el SETS (pasivo) puede lograrse en la gama de frecuencias 275-450 GHz, teniendo en cuenta las condiciones de propagación y sobre la base de apantallamiento del terreno o desviación de la orientación de la antenna del SF con respecto a la dirección de apuntamiento a la estación del SRA.

También se debe tener en cuenta que la probabilidad de que el diagrama de radiación máximo de la antenna del SF coincida con la dirección hacia la estación del SRA no es elevada (para una ganancia de antenna de 50 dB, la anchura de haz de la antenna es 0,53 grados, de conformidad con la versión actual de la Recomendación UIT-R F.699, y para una ganancia de antenna de 24 dB, la anchura de haz es 10,6 grados). En las Figs. A5-12 y A5-13 se proporcionan las mismas curvas que en las Figs. A5-8 y A5-9, pero para tres ángulos de discriminación de la antenna del SF con respecto a la dirección en la estación del SRA (10, 20 y 30 grados).

FIGURA A5-12

Distancia mínima de separación, incluidas las pérdidas por ecos parásitos calculadas entre la estación del SF y el radiotelescopio, para la que no se rebasan los valores umbral de la interferencia al servicio de radioastronomía que figuran en el Cuadro 9 (observación del continuum), con discriminación de antenna

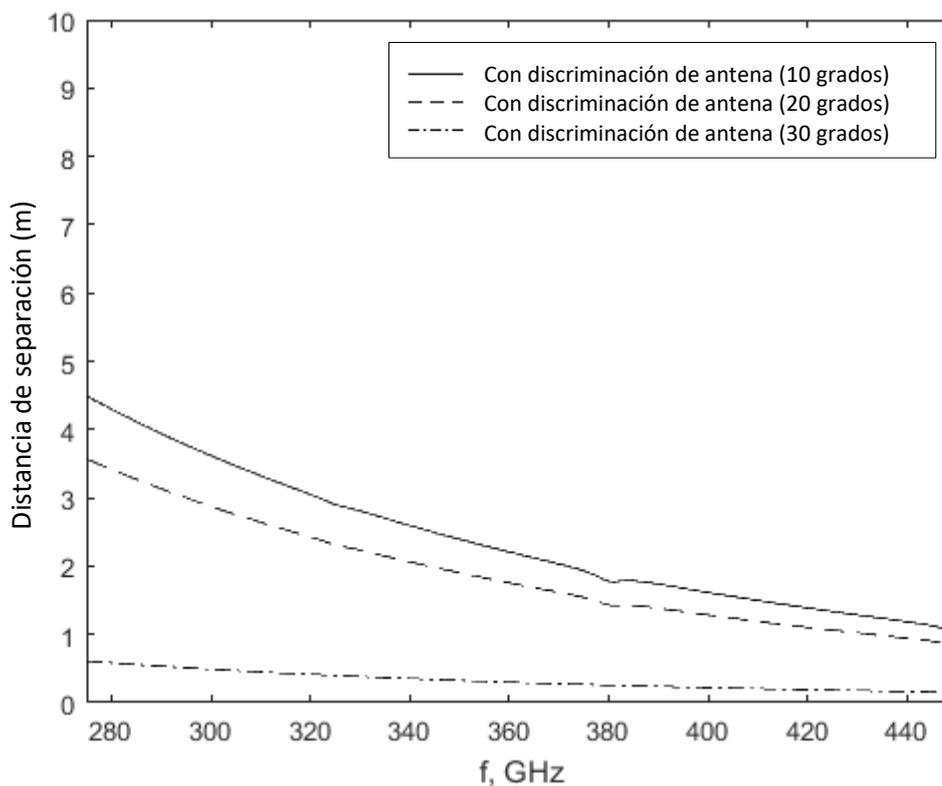
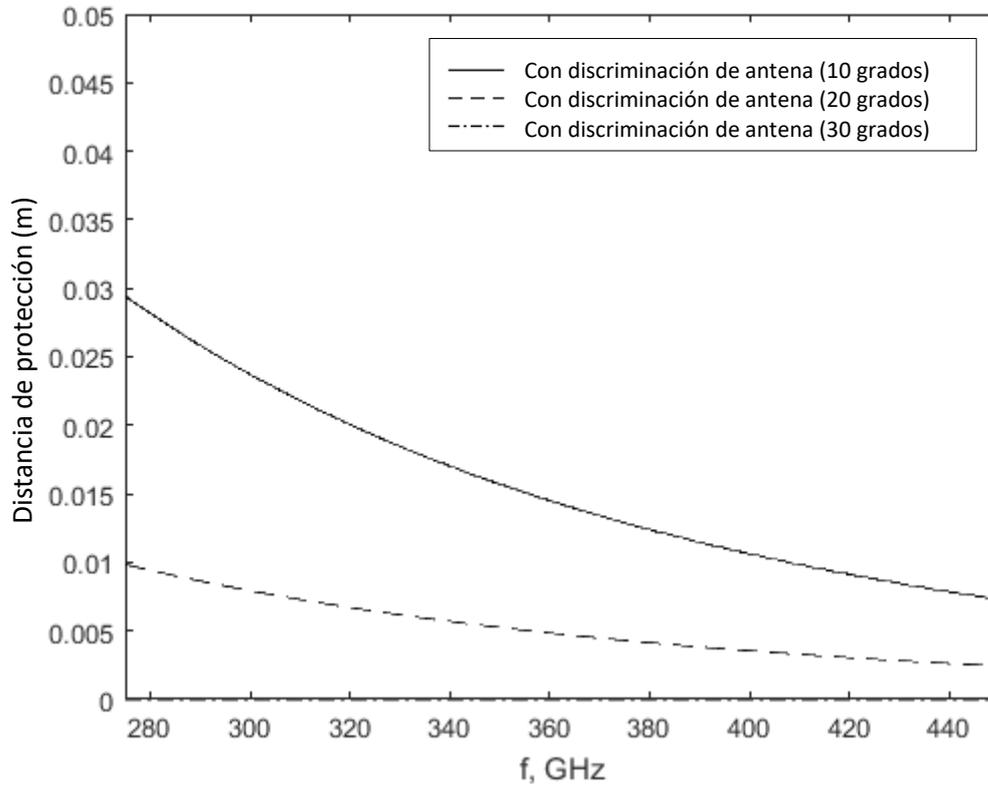


FIGURA A5-13

Distancia mínima de separación, incluidas las pérdidas por ecos parásitos calculadas entre la estación del SF y el radiotelescopio, para la que no se rebasan los valores umbral de la interferencia al servicio de radioastronomía que figuran en el Cuadro 10 (observación de la raya espectral), con discriminación de antena



Sobre la base de los resultados presentados, cabe concluir de forma preliminar que la compartición entre el SF y el SETS (pasivo) puede lograrse en la banda de frecuencias 275-325 GHz, así como en la banda 380-450 GHz, pero en la banda de frecuencias 380-450 GHz es más sencillo lograr la compartición si se tienen en cuenta las condiciones de propagación.