

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1509-4
(01/2018)

**Requisitos técnicos y de explotación
que facilitan la compartición entre
los sistemas punto a multipunto
del servicio fijo y el servicio
entre satélites en la banda
25,25-27,5 GHz**

Serie F
Servicio fijo



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

Series	Título
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	Radioastronomía
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
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2018

© UIT 2018

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

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1509-4*

Requisitos técnicos y de explotación que facilitan la compartición entre los sistemas punto a multipunto del servicio fijo y el servicio entre satélites en la banda 25,25-27,5 GHz

(Cuestión UIT-R 118/7)

(2001-2009-2013-2015-2018)

Cometido

Esta Recomendación proporciona la máxima densidad de p.i.r.e. de las estaciones centrales transmisoras y las estaciones de abonado punto a multipunto del servicio fijo dirigidas hacia la órbita de los satélites geoestacionarios para permitir la compartición con el servicio entre satélites de la banda de frecuencias 25,25-27,5 GHz. La densidad de p.i.r.e. de referencia en esta Recomendación tiene en cuenta la necesidad de transmitir con el mínimo nivel necesario considerando además la utilización de control automático de potencia del transmisor (CAPT) en el servicio fijo (SF) para eventos de precipitación.

Palabras clave

Densidad espectral, p.i.r.e., posiciones orbitales, satélites de retransmisión de datos

Abreviaturas

CAPT Control automático de la potencia del transmisor

SRD Satélite de retransmisión de datos

p.i.r.e. Potencia isotrópica radiada equivalente

SF Servicio fijo

OSG Órbita de los satélites geoestacionarios

POCS Sistema de comunicaciones con funcionamiento en proximidad (*proximity operations communication system*)

Recomendaciones de la UIT conexas

Recomendación UIT-R F.758 Parámetros de sistema y consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición o la compatibilidad entre los sistemas inalámbricos fijos digitales del servicio fijo y sistemas de otros servicios y otras fuentes de interferencia

Recomendación UIT-R F.1249 Requisitos técnicos y de explotación que facilitan la compartición entre los sistemas inalámbricos punto a punto del servicio fijo y el servicio entre satélites en la banda 25,25-27,5 GHz

Recomendación UIT-R F.1336 Diagramas de radiación de referencia de antenas omnidireccionales, sectoriales y otros tipos de antenas de los servicios fijo y móvil para su utilización en estudios de compartición en la gama de frecuencias de 400 MHz a aproximadamente 70 GHz

* Esta Recomendación fue elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 7 y 5, y las futuras revisiones se realizarán de forma conjunta.

Recomendación UIT-R SA.609	Criterios de protección para los enlaces de radiocomunicación con satélites de investigación espacial, tripulados o no tripulados, próximos a la Tierra
Recomendación UIT-R SA.1018	Sistema ficticio de referencia para los sistemas que comprenden satélites de retransmisión de datos en la órbita geoestacionaria y vehículos espaciales de usuario en órbitas bajas
Recomendación UIT-R SA.1155	Criterios de protección relativos a la explotación de los sistemas de satélites de retransmisión de datos
Recomendación UIT-R SA.1276	Posiciones orbitales de los satélites de retransmisión de datos que han de protegerse contra las emisiones de los sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 25,25-27,5 GHz

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda 25,25-27,5 GHz está atribuida a título primario a los servicios fijo, móvil y entre satélites;
- b) que además de los sistemas del servicio fijo punto a punto también está previsto que funcionen en la banda 25,25-27,5 GHz los sistemas del servicio fijo punto a multipunto (P-MP);
- c) que en la banda 25,25-27,5 GHz funcionan enlaces de radiocomunicaciones espacio-espacio del servicio entre satélites;
- d) que los enlaces espacio-espacio funcionan entre satélites de usuario en órbita baja y satélites de retransmisión de datos (SRD) geoestacionarios y también sistemas de comunicaciones con funcionamiento en proximidad (POCS, *proximity operations communication system*) entre usuarios cerca de estaciones espaciales en órbita baja;
- e) que estos enlaces, especialmente los enlaces espacio-espacio de una red SRD, están diseñados para funcionar con márgenes del orden de 2 dB a 4 dB;
- f) que los enlaces de satélites pueden interferir con las emisiones de los sistemas del servicio fijo dentro de un campo de visión de una gran amplitud geográfica;
- g) que si se especifican las posiciones orbitales particulares que deben protegerse en vez del arco orbital se impondrá menos obstáculos al servicio fijo para la compartición de la banda, especialmente en el caso de estaciones situadas en latitudes elevadas,

reconociendo

- a) que las antenas de protección para los enlaces POCS figuran en la Recomendación UIT-R SA.609 y los criterios de protección para enlaces SRD aparecen en la Recomendación UIT-R SA.1155;
- b) que, según describe la Recomendación UIT-R SA.1018 existe un número limitado de redes SRD ya instaladas o en fase de implementación en la órbita de los satélites geoestacionarios, en las posiciones orbitales indicadas en la Recomendación UIT-R SA.1276-5 (véase la Nota 1);
- c) que la Recomendación UIT-R F.758 proporciona una gran variedad de parámetros de sistemas inalámbricos fijos generalizados mediante sistemas representativos para gama de frecuencias específicas,

recomienda

1 que para cada transmisor de una estación central de una red del servicio fijo P-MP que funcione en la banda 25,25-27,5 GHz (véase en el Anexo 1 las consideraciones generales sobre los límites de p.i.r.e.):

1.1 la densidad espectral de p.i.r.e. de la emisión en dirección de cualquier emplazamiento en la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) especificado en la Recomendación UIT-R SA.1276 no rebase los siguientes valores en cualquier banda de 1 MHz para un ángulo de elevación θ por encima del plano horizontal local (véanse las Notas 1, 2 y 3):

+8	dBW	para	$0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$
+14 - 10 log($\theta/5$)	dBW	para	$20^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.2 la densidad espectral de p.i.r.e. de la emisión no rebase los siguientes valores en cualquier banda de 1 MHz para un ángulo de elevación θ por encima del plano horizontal local (véase la Nota 3):

+14	dBW	para	$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
+14 - 10 log($\theta/5$)	dBW	para	$5^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.3 en condiciones de atenuación por precipitación entre las estaciones transmisoras centrales del servicio fijo y las estaciones receptoras, la estación central transmisora utilice control automático de potencia del transmisor (CAPT) para aumentar su potencia transmitida en una cantidad que no rebase la atenuación por precipitación de manera que su densidad espectral de p.i.r.e. en dirección de cualquier emplazamiento OSG especificado en la Recomendación UIT-R SA.1276 no supere el valor de +17 dBW en cualquier banda de 1 MHz;

2 que la densidad espectral de p.i.r.e. de la emisión de cada estación de abonado de una red del servicio fijo P-MP que funciona en la banda 25,25-27,5 GHz satisfaga los *recomienda* 3 y 4 de la Recomendación UIT-R F.1249;

3 las siguientes Notas 1, 2 y 3 forman parte de esta Recomendación:

NOTA 1 – La Recomendación UIT-R SA.1276-5 identifica las siguientes posiciones orbitales de SRD geoestacionarios: 9° E, 10,6° E, 16,4° E, 16,8° E, 20,4° E, 21,5° E, 47° E, 59° E, 77° E, 80° E, 85° E, 89° E, 90,75° E, 95° E, 113° E, 121° E, 133° E, 160° E, 167°E, 171° E, 176,8° E, 177,5° E, 12° W, 16° W, 32° W, 41° W, 44° W, 46° W, 49° W, 62° W, 139° W, 160° W, 164.2° W, 167.5° W, 170° W, 171° W, y 174° W.

Cuando se revise la Recomendación UIT-R SA.1276 de manera que se añadan nuevas posiciones orbitales de SRD, la protección de las estaciones espaciales en estos nuevos segmentos orbitales se aplica únicamente a las estaciones del SF instaladas tras la fecha de aplicación de la citada Recomendación UIT-R SA.1276.

NOTA 2 – La densidad espectral de p.i.r.e. radiada hacia un emplazamiento de un SRD geoestacionarios puede calcularse como el producto de la densidad espectral de potencia transmitida por la ganancia de la antena omnidireccional o sectorial en dirección del SRD. En ausencia de un diagrama de radiación para la antena de la estación central debe utilizarse el diagrama de radiación de referencia que aparece en la Recomendación UIT-R F.1336. En el cálculo hay que tener en cuenta los efectos de la refracción atmosférica y el horizonte local. En el Anexo 2 aparece un método para calcular los ángulos de separación.

NOTA 3 – En caso de que una estación central recurra al modo de funcionamiento monofrecuencia y en el marco de éste utilice la misma frecuencia para la transmisión y la recepción con división en el tiempo, el límite de la densidad espectral de p.i.r.e. en el *recomienda* 1.1 puede rebajarse en $7 \log(1/\delta)$ dB, siendo δ ($0 < \delta < 1$) la parte del tiempo en que la estación central transmite señales. Sin embargo, esta reducción no sobrepasará los 3 dB incluso para un valor pequeño de δ .

Anexo 1

Evaluación de la distribución espacial y temporal de la interferencia causada a los sistemas SRD y POCS por las emisiones procedentes de las estaciones centrales P-MP del servicio fijo en la banda 25,25-27,5 GHz

1 Introducción

Este Anexo proporciona una evaluación obtenida mediante simulación por ordenador de la distribución espacial y temporal de la interferencia causada a los SRD en posiciones orbitales específicas y a los POCS producida por las emisiones de una instalación general de estaciones centrales de sistemas del servicio fijo P-MP en la banda 25,25-27,5 GHz. Estos sistemas del servicio fijo P-MP se denominan frecuentemente sistemas de distribución multipunto local (LMDS). En este análisis, se ha supuesto un valor de +8 dB(W/MHz) para la densidad espectral de p.i.r.e. de cresta de haz en cada estación central que se indica como valor típico para las estaciones centrales de los sistemas punto a multipunto en el Informe UIT-R F.2108. Una sola estación transmisora del LMDS que funcione con una densidad espectral de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) no debe rebasar el nivel de protección indicado en la Recomendación UIT-R SA.1155, independientemente de su situación geográfica con respecto al emplazamiento orbital de un SRD. El nivel de protección de -148 dB(W/MHz) no debe superarse durante más del 0,1% de un periodo orbital. Sin embargo, el efecto combinado de múltiples estaciones transmisoras del LMDS cocanal dentro de un centro de población urbano puede, bajo ciertas condiciones geográficas, provocar una interferencia que rebase el nivel de protección del SRD.

El § 2 describe el método utilizado y las hipótesis efectuadas para evaluar la distribución espacial y temporal de la interferencia causada al SRD. En este Anexo, se presentan dos estudios (estudio A y estudio B) en los § 3 y 4, respectivamente. En el estudio A, se supone una densidad espectral de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) y en el estudio B se utiliza una densidad espectral de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz). El § 3 presenta la distribución espacial de la interferencia causada a los SRD situados en emplazamientos orbitales específicos. Demuestra que la densidad espectral de p.i.r.e. de las emisiones en el plano horizontal local procedente de una zona de servicio que contiene 29 estaciones centrales visibles al SRD y funcionando a +8 dB(W/MHz), puede provocar una interferencia a dicho SRD que puede llegar a superar hasta en 9 dB el nivel de interferencia recomendado. En el § 3 también aparecen los resultados de simulaciones dinámicas para determinar las características temporales de la interferencia causada al SRD mientras realiza el seguimiento de un satélite de usuario en órbita baja con las características orbitales de la Estación Espacial Internacional. Se demuestra que para un pequeño número de órbitas con nodos ascendentes que dan lugar a que el satélite de usuario quede alineado con los centros de población urbanos que aparecen en el limbo de la Tierra o cerca del mismo, la duración de la interferencia puede ser superior al 0,1% de un periodo orbital del satélite de usuario. El § 4 presenta los resultados del estudio B. En el § 5 se describe un método sencillo para ampliar los resultados de este estudio a las instalaciones LMDS que utilizan células más pequeñas. El § 6 discute la interferencia causada a los POCS. Los resultados demuestran que, basándose en una densidad espectral de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz), la interferencia combinada causada por las estaciones centrales del LMDS a las antenas receptoras de los POCS es netamente inferior al criterio de protección de -147 dB(W/MHz) en todo instante. En el § 7 aparecen las conclusiones del estudio y se proponen las características para facilitar la compartición entre los sistemas de los servicios científicos espaciales y del servicio entre satélites y los sistemas del servicio fijo P-MP.

2 Método

Se han realizado simulaciones por ordenador para evaluar la distribución espacial y temporal de la interferencia causada a los sistemas SRD por las emisiones de un posible número muy elevado de sistemas del servicio fijo P-MP de alta densidad que funcionan en la banda 25,25-27,5 GHz. El enfoque básico utilizado en la simulación fue la instalación de un cierto número de estaciones centrales del LMDS en centros de población urbanos y a continuación el cálculo de la interferencia espacial y temporal resultante de esta instalación. A fin de evaluar la distribución espacial, la interferencia combinada causada a un SRD en un emplazamiento orbital especificado se calcula explorando la antena receptora de alta ganancia del SRD en balanceo y cabeceo. El método se describe en el § 2.1. En el § 2.2 aparece el método empleado para determinar las características temporales de la interferencia. En ambos casos, la simulación tiene en cuenta los siguientes parámetros: la densidad espectral de p.i.r.e. y la ganancia de la estación transmisora del LMDS en dirección del SRD, la absorción atmosférica, la pérdida en el trayecto y la ganancia de la antena receptora del SRD en dirección de la estación interferente del LMDS.

2.1 Distribución espacial

Cabe esperar que las estaciones del LMDS se instalen en configuración celular en centros de población urbanos para ofrecer a los sectores comerciales, gubernamentales y privados servicios de comunicaciones digitales interactivos o de radiodifusión o interactivos de capacidad media a alta. Estos servicios pueden incluir acceso Internet, voz, datos y vídeo. A efectos de este análisis, se supone que las emisiones cocanal combinadas procedentes de una zona de servicio del LMDS pueden asimilarse a una sola estación que utilice un transmisor con una densidad espectral de potencia igual a la suma de la densidad espectral de potencia a la entrada de cada una de las estaciones centrales del LMDS en la zona de servicio y que una sola antena transmisora proporciona una representación aceptable de la distribución de la densidad espectral de p.i.r.e. por encima del plano horizontal local.

Se ha supuesto en estas simulaciones que la densidad espectral de p.i.r.e. de las emisiones de cada estación central es +8 dB(W/MHz)¹ y que las emisiones del LMDS combinadas procedentes de una sola zona de servicio es proporcional al número de estaciones centrales en el centro de población urbano.

El modelo específico utilizado en la simulación es el siguiente. La potencia recibida de una estación transmisora distante es:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{l_1 l_2 l_3} \quad (1)$$

siendo:

P_r : la densidad espectral de potencia recibida a la salida de una antena en una banda de frecuencia especificada (expresada como densidad espectral de potencia a efectos de este análisis (W/MHz))

P_t : la potencia transmitida a la entrada de una antena en la misma banda de frecuencias especificada para la potencia recibida (expresada como densidad espectral a efectos de este análisis (W/MHz))

¹ En este análisis, se ha supuesto un valor de cresta de haz de la emisión de la estación central de +8 dB(W/MHz) para un ángulo de elevación de 0° en todos los acimutes desde la estación central. También se ha supuesto que los sectores de antenas adyacentes funcionan en la misma frecuencia utilizando polarizaciones lineales ortogonales.

- G_t : la ganancia de la antena transmisora en dirección a la estación receptora con respecto a un radiador isótropo (numérica)
- G_r : la ganancia de la antena receptora en dirección a la estación transmisora con respecto a un radiador isótropo (numérica)
- l_1 : las pérdidas de propagación en espacio libre (numéricas)
- l_2 : las pérdidas en exceso en espacio libre debidas a varios efectos atmosféricos permanentes y dependientes del tiempo (numéricas)
- l_3 : las pérdidas de acoplamiento de polarización (numéricas), que son iguales a la unidad si las antenas de transmisión y recepción tienen la misma polarización².

Las pérdidas de propagación en espacio libre son:

$$l_1 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

siendo:

d : distancia entre las estaciones transmisora y receptora (m)

λ : longitud de onda (m).

Cada estación transmisora cofrecuencia constituye un radioenlace con el receptor. Las potencias recibidas de cada uno de los n enlaces, que se supone que transmiten señales sin correlación, se suman para constituir una potencia recibida combinada que responde a la siguiente expresión:

$$P_r = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ti} G_{ti} G_{ri}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}} \quad (3)$$

cuyos parámetros se han definido previamente, añadiéndose el subíndice i para referirse a cada uno de los enlaces.

La interferencia combinada es la suma de la interferencia procedente de cada estación transmisora. La interferencia causada por cada estación se determina basándose en las ganancias de las antenas transmisora y receptora, teniendo en cuenta el ángulo con respecto al eje de las antenas respectivas.

Para agilizar el cálculo y teniendo presente que algunos términos presentan un valor casi constante para una sola zona de instalación, la ecuación (3) puede expresarse también como sigue:

$$P_r = \sum_{i=1}^m \frac{G_{ti} G_{ri} \sum_{j=1}^q P_{tij}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}} \quad (4)$$

siendo:

q : número de estaciones centrales en la zona de instalación específica

m : número de zonas de instalación.

Análisis posteriores demostraron que para los casos de interferencia simulados, el error introducido por la simplificación efectuada en la ecuación (4) es inferior a 1 dB.

² Para el alineamiento del haz principal entre una antena transmisora con polarización lineal (como se utiliza normalmente en el servicio fijo) y las antenas receptoras de satélite con polarización circular, se supone que l_3 toma un valor igual a 2.

La instalación de sistemas LMDS se supone que corresponde a los emplazamientos de 431 centros de población urbanos con una población estimada por las Naciones Unidas superior a las 750 000 personas en 2015 (véase Urban Agglomerations, 1950-2015 (revisión de 1996), United Nations Population Division, Nueva York, Estados Unidos de América, 1996 (disponible en disquete)).

A continuación se indica una relación empírica entre el radio R_p (km) de una zona circular equivalente que contiene una población total, P :

$$R_p = \alpha \times P^\beta \quad (5)$$

Para Estados Unidos de América se ha determinado que unos valores de $\alpha = 0,035$ y $\beta = 0,44$ proporcionan resultados satisfactorios. Para otras zonas del mundo pueden obtenerse estimaciones satisfactorias con $\alpha = 0,0155$ y $\beta = 0,44$.

La ecuación (5) se utilizó en la estimación del número de estaciones centrales necesarias para dar servicio a una zona que englobe la población total en una aglomeración urbana. Suponiendo que cada estación central dé servicio a una zona circular de radio R_h , el número de estaciones centrales en N será:

$$N = \text{Int} \left(\eta \left(\frac{R_p}{R_h} \right)^2 + 0,5 \right) \quad (6)$$

siendo:

N : número de estaciones centrales para el radio supuesto de la célula

$\text{Int}()$: valor entero del argumento

R_p : radio equivalente de la zona urbana (km)

R_h : radio de una célula LMDS típica (km)

η : factor de instalación ($0 < \eta \leq 1$).

En las simulaciones, se supuso que el radio de la célula era de 5 km y que el factor de instalación era 0,30. Este valor no tiene en cuenta factores económicos, demográficos y geográficos y el hecho de que algunas administraciones pueden tomar la decisión de que la banda correspondiente no sea utilizada por los sistemas del servicio fijo P-MP. El número calculado más elevado de estaciones centrales obtenido utilizando la base de datos de población de las Naciones Unidas y las ecuaciones (5) y (6) fue de 35 para Nueva York (Estados Unidos de América) y de 11 para Tokio (Japón). Con esta metodología se obtiene una instalación en todo el mundo de 944 estaciones centrales cofrecuencia. Obsérvese que en este Anexo se consideran únicamente las instalaciones en todo el mundo de estaciones centrales cofrecuencia.

El diagrama de radiación de referencia para las antenas de la estación central se basa en la Recomendación UIT-R F.1336. El diagrama omnidireccional se obtiene utilizando cuatro antenas sectoriales, cada una de ellas con una ganancia de 15 dBi y una anchura de haz de 3 dB a 90° en el plano horizontal. Además, se ha supuesto una discriminación por polarización de 3 dB para tener en cuenta la antena transmisora de la estación central con polarización lineal y la antena receptora del SRD con polarización circular para un acoplamiento de eje de puntería a eje de puntería. El diagrama de radiación de referencia de la antena transmisora en el plano vertical, ignorando toda inclinación hacia abajo es el siguiente:

$$G(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\Phi_3} \right)^2 \quad \text{para } |\theta| \leq \Phi_3 \quad (7a)$$

$$G(\theta) = G_0 - 12 - 10 \log \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right) \quad \text{para } |\theta| > \varphi_3 \quad (7b)$$

siendo:

$G(\theta)$: ganancia relativa con respecto a una antena isótropa (dBi)

G_0 : ganancia máxima en el plano horizontal (dBi)

θ : ángulo de elevación medido en el plano vertical (grados)

φ_3 : anchura de haz a 3 dB en el plano vertical (grados).

$$\varphi_3 = \frac{31\,000 \times 10^{-0,1G_0}}{90} \quad (7c)$$

La absorción atmosférica a lo largo del trayecto LMDS-SRD se tuvo en cuenta utilizando las siguientes ecuaciones que se aplican a una frecuencia de 27,5 GHz de acuerdo con la Recomendación UIT-R F.1404:

$$A_{LatBaja} = 22,73 / \left[1 + 0,9463\theta + 0,03455\theta^2 + h(0,3232 + 0,4519\theta) + h^2(0,2486 + 0,1317\theta) \right] \quad (8a)$$

$$A_{LatMedia} = 11,96 / \left[1 + 0,8121\theta + 0,03055\theta^2 + h(0,2619 + 0,4728\theta) + 0,1409h^2 \right] \quad (8b)$$

$$A_{LatAlta} = 8,77 / \left[1 + 0,8259\theta + h(0,2163 + 0,3037\theta) + 0,1067h \right] \quad (8c)$$

siendo:

$A_{LatBaja}$: absorción atmosférica en zonas de latitud baja (comprendida entre $\pm 22,5^\circ$) (dB)

$A_{LatMedia}$: absorción atmosférica en zonas de latitud media (comprendida entre $22,5^\circ$ y 45°) (dB)

$A_{LatAlta}$: absorción atmosférica en zonas de latitud elevada (superior a 45°) (dB)

θ : ángulo de elevación (grados), $0 \leq \theta \leq 90^\circ$

h : altura de la antena transmisora sobre el nivel medio del mar (km), $h \leq 3$ km.

Se supuso una altura de la antena transmisora para cada estación LMDS de 0,50 km por encima del nivel medio del mar.

Los SRD utilizan antenas receptoras orientables de alta ganancia para realizar un seguimiento de los satélites de usuario en órbita baja. Para el análisis espacial, las variables independientes son la posición orbital del SRD geostacionaria (se supone que la inclinación orbital es cero) y los ángulos de balanceo y cabeceo de las antenas orientables. Dichos ángulos se definen en un sistema de coordenadas específicas centrado en el propio SRD. El eje x está dirigido hacia el centro de la Tierra, el eje y apunta en dirección del vector velocidad del satélite y el eje z es paralelo al eje de rotación de la Tierra. Definiendo el sistema de coordenadas local de esta forma, la rotación en torno al eje x se denomina guiñada, la rotación en torno al eje y se denomina balanceo y la rotación en torno al eje z se denomina cabeceo.

La distribución espacial del entorno de interferencia viene determinada por la exploración de la antena receptora del SRD en balanceo y cabeceo en incrementos de $0,2^\circ$. En cada posición de puntería de la antena del SRD, la interferencia combinada procedente de las emisiones de cada estación LMDS a la vista del SRD se calcula teniendo en cuenta el ángulo de elevación hacia el SRD, la densidad espectral de p.i.r.e. de las emisiones LMDS en dirección del SRD, la absorción atmosférica, el alcance y la ganancia de la antena receptora del SRD en dirección de la estación LMDS. Se supuso un valor de la ganancia en el eje de puntería de la antena receptora del SRD

de 58 dBi con un diagrama de radiación conforme al diagrama de radiación de referencia de la Recomendación UIT-R S.672 para una antena con simetría circular y un nivel del primer lóbulo lateral de -20 dB.

$$G(\varphi) = G_0 - 12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_3} \right)^2 \quad \text{para } 0 \leq \varphi \leq 1,29 \varphi_3 \quad (9a)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 \quad \text{para } 1,29 \varphi_3 < \varphi \leq 3,16 \varphi_3 \quad (9b)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 - 25 \log \left(\frac{\varphi}{3,16 \varphi_3} \right) \quad \text{para } 3,16 \varphi_3 < \varphi \text{ y } G(\varphi) \geq 0 \quad (9c)$$

$$G(\varphi) = 0 \quad \text{para cualquier otro valor} \quad (9d)$$

siendo:

G_0 : máxima ganancia en el eje (dBi)

$G(\varphi)$: ganancia fuera del eje (dBi)

φ : ángulo con respecto al eje (grados)

φ_3 : anchura de haz a 3 dB (grados)

$$\varphi_3 = \sqrt{27\,000 \times 10^{-0,1G_0}} \quad (9e)$$

2.2 Distribución temporal

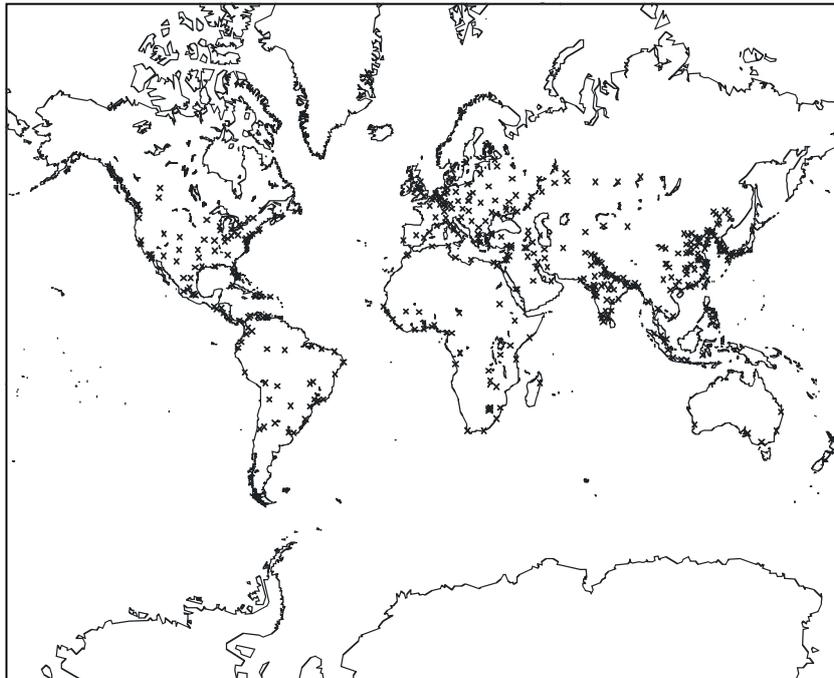
Las características temporales de la interferencia causada a un sistema receptor del SRD también se determinan mediante simulación por ordenador pero en este caso se emplea una simulación dinámica. En el § 2.1 se describen las características técnicas y de explotación de las estaciones centrales del LMDS y su instalación supuesta. Se supone que un SRD con las características del sistema de recepción descritas en el § 2.1 está situado en el emplazamiento orbital geoestacionario indicado y se encuentra realizando el seguimiento de un satélite en órbita baja que está transmitiendo al SRD. El satélite en órbita baja se encuentra en una órbita de 400 km de altitud y 51,6° de inclinación con respecto al plano ecuatorial, características orbitales que son típicas de la estación espacial internacional. En el § 4, también se considerará una órbita del satélite de observación de la Tierra (EOS, *earth observing satellite*) con una altitud de 800 km y un ángulo de inclinación de 98,6°. La antena receptora del SRD se supone que realiza un seguimiento sin error del satélite en órbita baja en incrementos de 1 s a lo largo de su órbita. En cada emplazamiento de la órbita, la interferencia causada al sistema receptor del SRD por las emisiones combinadas de todas las estaciones centrales del LMDS en el campo de visión se determina para cada periodo orbital a lo largo de un periodo de 10 días. El periodo orbital se define como el tiempo transcurrido entre dos cruces consecutivos del plano ecuatorial en sentido Sur-Norte.

3 Resultados del estudio A

La distribución global de las 431 áreas de instalación aparece en la Fig. 1. Los resultados de la distribución espacial se han obtenido para dos conjuntos de emplazamientos orbitales SRD y se presentan en el § 3.1. Las características temporales de la interferencia figuran en el § 3.2.

FIGURA 1

Emplazamientos supuestos de los sistemas LMDS



1509-01

3.1 Distribuciones espaciales

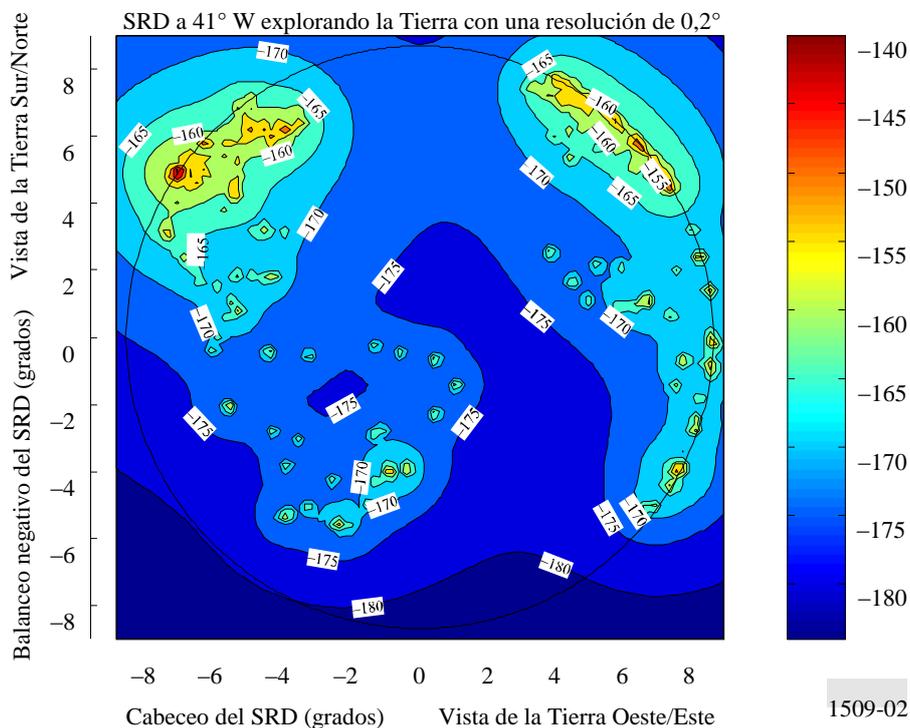
Se han determinado dos conjuntos. El primero de ellos contiene los emplazamientos orbitales de los SRD que van a funcionar en Estados Unidos de América. La distribución espacial de la interferencia causada a los SRD situados en estas posiciones orbitales se determina en incrementos de $0,2^\circ$ de balanceo y cabeceo. El segundo conjunto contiene todos los emplazamientos orbitales de los SRD indicados en la Recomendación UIT-R SA.1276 como emplazamientos orbitales que deben protegerse contra las emisiones de los sistemas del servicio fijo.

3.1.1 Posiciones orbitales de los SRD en 41° W, 174° W y 85° E de longitud

La Fig. 2 muestra los contornos de la distribución espacial de la interferencia causada a un SRD geoestacionario situado a una longitud de 41° W. El gráfico se basa en una densidad espectral de p.i.r.e. de $+8$ dB(W/MHz) en el plano horizontal local procedente de cada estación central de LMDS a la vista del SRD. Un aumento de 1 dB en la densidad espectral de p.i.r.e. de todas las estaciones centrales dará lugar a un incremento de 1 dB en la interferencia causada a un SRD. El máximo nivel de interferencia de -139 dB(W/MHz) aparece para una antena del SRD orientada en un ángulo de 5° en balanceo y $-7,2^\circ$ en cabeceo; el mínimo nivel de interferencia inferior a -180 dB(W/MHz) se produce cuando la antena receptora del SRD está orientada hacia el polo Sur. Estos niveles se encuentran en la gama comprendida entre 9 dB más y 32 dB menos que el nivel de protección indicado en la Recomendación UIT-R SA.1155. Suponiendo que la densidad espectral de p.i.r.e. de todas las estaciones centrales es $+8$ dB(W/MHz), la interferencia causada al SRD se producirá fundamentalmente cuando se realice un seguimiento de los satélites en órbita baja cerca del limbo de la Tierra en el Hemisferio Norte. Obsérvese que el área que rebasa el nivel de protección del SRD es relativamente pequeña y que para la mayoría de las posiciones de exploración se satisface el nivel de protección del SRD.

FIGURA 2

Distribución espacial de la interferencia (dB(W/MHz)) causada a un SRD situado a una longitud de 41° W suponiendo 944 estaciones centrales que funcionan a +8 dB(W/MHz) en 431 ciudades de todo el mundo. El círculo grande es el disco de la Tierra. Obsérvese las dos zonas en América del Norte y una zona en Europa en las cuales la interferencia rebasa el nivel de protección del SRD



Las Figs. 3 y 4 muestran la distribución espacial de la interferencia en las posiciones orbitales del SRD de 174° W y 85° E, respectivamente. Son similares a los resultados correspondientes a 41° W. Para la posición orbital del SRD de 174° W, la interferencia total de cresta es -144,9 dB(W/MHz). Para la posición orbital del SRD de 85° E, la máxima interferencia es -146,0 dB(W/MHz). Al igual que el caso para la posición orbital del SRD de 41° W, los máximos niveles de interferencia se producen cuando la antena receptora del SRD está apuntada hacia centros de población urbanos que se encuentran en el limbo de la Tierra o cerca del mismo.

FIGURA 3

Distribución espacial de la interferencia (dB(W/MHz)) causada a un SRD situado a una longitud de 174° W suponiendo 944 estaciones centrales que funcionan con una p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) en 431 ciudades de todo el mundo. El círculo grande corresponde al disco de la Tierra

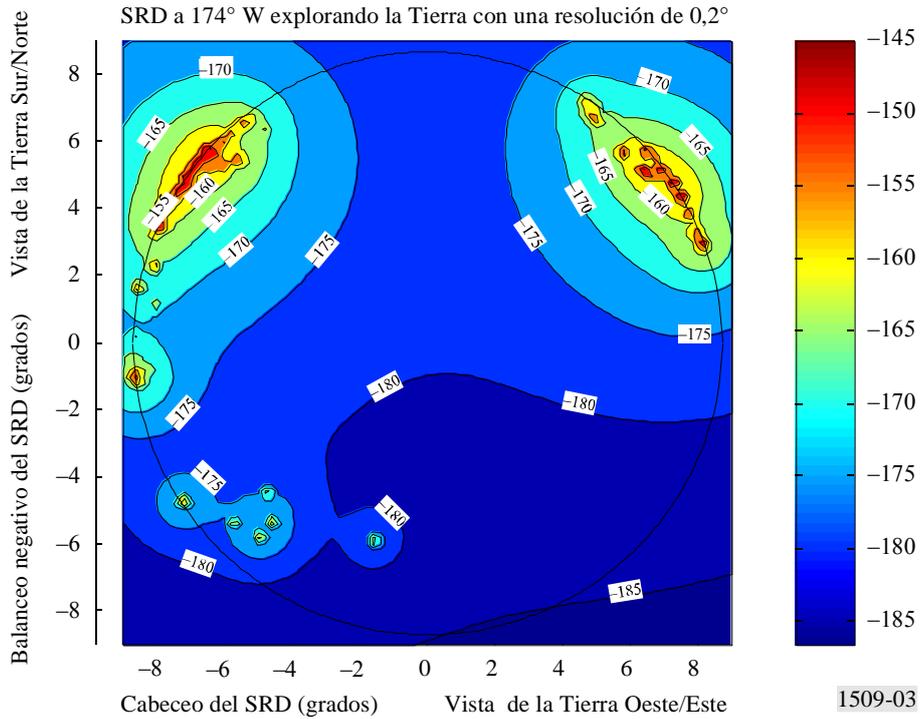
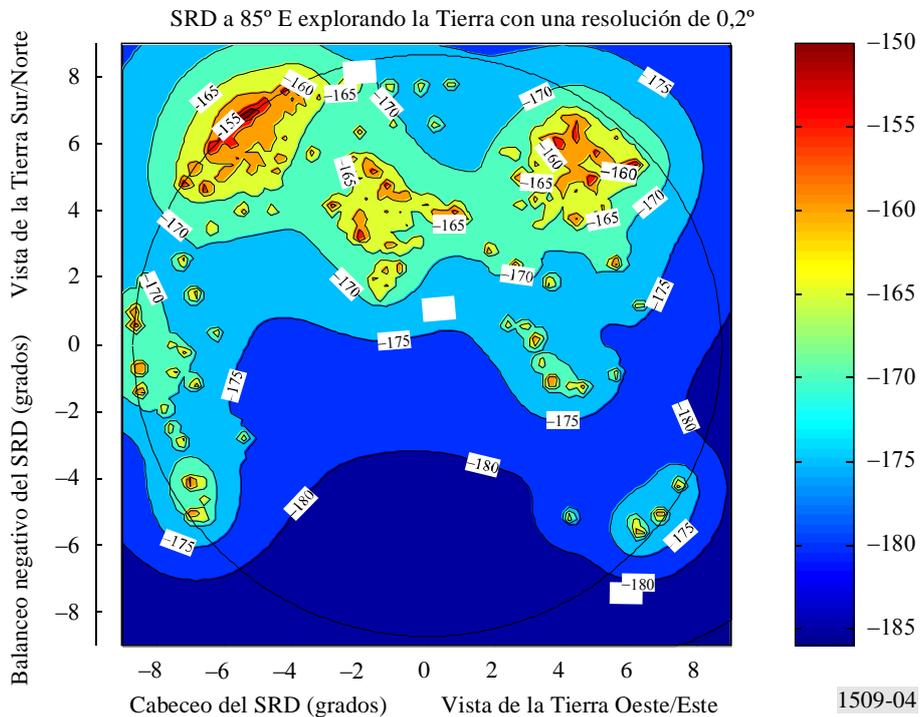


FIGURA 4

Distribución espacial de la interferencia (dB(W/MHz)) causada a un SRD situado a una longitud de 85° E suponiendo 944 estaciones centrales que funcionan con una p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) en 431 ciudades de todo el mundo. El círculo grande corresponde al disco de la Tierra



3.1.2 Posiciones orbitales del SRD indicadas en la Recomendación UIT-R SA.1276

La Recomendación UIT-R SA.1276 indica 23 posiciones orbitales del SRD que deben protegerse, en la medida de lo posible (Recomendación UIT-R F.1249), contra la interferencia en exceso del nivel de protección del SRD por los sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 25,25-27,5 GHz. El Cuadro 1 resume los valores de cresta de la interferencia que han resultado de las simulaciones para cada una de las posiciones orbitales identificadas en la citada Recomendación UIT-R SA.1276. Se utilizó una resolución de exploración de $0,2^\circ$ en balanceo y cabeceo. El Cuadro 1 también indica que la variabilidad de los niveles de interferencia de cresta medidas por la desviación típica es inferior a 4 dB desde todas las posiciones orbitales. Esta observación implica que la variación de la interferencia de cresta de una posición orbital a otra es relativamente pequeña.

El Cuadro 1 muestra un resumen de la interferencia de cresta desde la dirección de exploración con la interferencia de cresta total para cada posición orbital del satélite. La interferencia de cresta total tiene un valor medio de $-144,3$ dB(W/MHz). La máxima interferencia total recibida en cualquier posición orbital y en cualquier dirección de exploración fue de -139 dB(W/MHz). También se indica la contribución a la interferencia de la zona de instalación que más contribuye al valor de cresta de la interferencia total.

Las simulaciones muestran que la interferencia de cresta procedente de instalaciones muy extendidas de sistemas LMDS es unos 3 dB superior a la interferencia causada por una sola zona de instalación. En el Cuadro 1 también aparece un factor de ganancia agregada, definida aquí como la diferencia en dB entre la interferencia de cresta total y la interferencia procedente de la fuente de interferencia dominante. La ganancia agregada media es 2,5 dB. La simulación sugiere que como valor medio, la interferencia combinada total de cresta difiere menos de 2,5 dB de la interferencia procedente del centro de población urbano que más contribuye a la interferencia. Se llega a la conclusión de que la p.i.r.e. combinada de un centro de población urbano (es decir, la suma de la p.i.r.e. de la estación central individual dirigida hacia un emplazamiento orbital del SRD específico) puede utilizarse para predecir la interferencia de cresta que probablemente se produzca en la mayoría de los emplazamientos del SRD añadiendo 2,5 dB a la p.i.r.e. combinada de la ciudad.

Del Cuadro 1 puede deducirse que el valor medio del ángulo de elevación dirigido hacia el satélite de la fuente de interferencia dominante es aproximadamente 7° . En ningún caso la interferencia de cresta fue causada por una zona de instalación con un ángulo de elevación observado inferior a $1,5^\circ$.

Del Cuadro 1 también se deduce que si la antena de transmisión de la estación central del LMDS presenta unas pérdidas adicionales para ángulos de elevación por encima de unos 5° , la interferencia total recibida en varios emplazamientos orbitales se reduce aproximadamente al valor de las pérdidas de antena adicionales. Por consiguiente, la conformación en el plano de elevación de la antena transmisora del LMDS puede ser un método útil en algunas zonas de instalación para reducir la interferencia dirigida a emplazamientos orbitales del SRD específicos.

El Cuadro 1 también incluye las regiones hidrometeorológicas (zonas de lluvia), definidas en la Recomendación UIT-R P.837, de la fuente de interferencia dominante. Cabe esperar que la potencia de funcionamiento de la estación central dependa de los objetivos de disponibilidad del enlace, de la distancia del enlace y de la zona hidrometeorológica en la que está situado el sistema. La Recomendación UIT-R F.758 contiene observaciones específicas para los equipos en la banda 25,25-27,5 GHz. En el Cuadro 17 de dicha Recomendación, Nota 8, se indica que los sistemas que funcionan en un alcance de 5 km y una densidad espectral de p.i.r.e. de $+8$ dB(W/MHz) por estación central proporcionan una capacidad de margen del enlace de 37 dB. La Recomendación UIT-R F.755, concretamente en el Cuadro 8, indica que un margen del enlace de 37 dB a 5 km es suficiente para ofrecer una disponibilidad del enlace de 0,9999 en la zona hidrometeorológica K. Un margen del enlace de 37 dB es insuficiente para lograr una disponibilidad del enlace de 0,9999 en zonas hidrometeorológicas que presentan un índice de pluviosidad superior al de la zona K. Se llegó a la conclusión provisional de que los sistemas LMDS en zonas hidrometeorológicas con un índice

de pluviosidad inferior al que presenta la zona hidrometeorológica K pueden funcionar a distancias de 5 km con una p.i.r.e. de la estación central inferior a 8 dB(W/MHz) y podría reducirse la interferencia causada al SRD. También se llegó a la conclusión de que los sistemas en zonas hidrometeorológicas con un índice de pluviosidad superior al de la zona hidrometeorológica K podría sufrir restricciones de funcionamiento, en algunas instalaciones, si la densidad de p.i.r.e. de la estación central se limitase a 8 dB(W/MHz) para facilitar la compartición con el SRD.

CUADRO 1

Resumen de las interferencias de cresta sobre el campo de visión del SRD en las posiciones orbitales de los SRD indicadas en la Recomendación UIT-R SA.1279, suponiendo 944 estaciones centrales funcionando a +8 dB(W/MHz) en 431 ciudades de todo el mundo

Emplazamiento orbital del satélite, Longitud E (grados)	Fuente de interferencia predominante, Latitud N (grados)	Fuente de interferencia predominante, Longitud E (grados)	Fuente de interferencia predominante Estaciones centrales/ zona hidrometeorológica		p.i.r.e. de la zona de la fuente de interferencia predominante dirigida hacia el SRD (dB(W/MHz))	Ángulo de elevación observado por la fuente de interferencia predominante hacia el SRD (grados)	Interferencia procedente de la fuente de interferencia predominante (dB(W/MHz))	Interferencia de cresta total cuando la antena está orientada hacia la fuente de interferencia predominante (dB(W/MHz))	Ganancia agregada (dB)
-174	32,833	-96,833	10	M	17,7	2,4	-144,6	-144,3	0,3
-171	32,833	-96,833	10	M	16,8	4,8	-143,0	-142,8	0,2
-170	39,133	117,200	5	H	13,8	4,8	-146,0	-142,0	4,0
-160	41,830	-87,750	16	K	18,9	4,6	-143,1	-141,1	2,0
-139	40,750	-74,000	35	K	17,9	10,2	-143,1	-140,9	2,2
-62	51,467	6,983	3	E	11,7	4,4	-148,3	-142,7	5,6
-49	34,000	-118,167	29	E	18,6	8,6	-140,2	-139,3	0,9
-46	34,000	-118,167	29	E	20,6	6,2	-140,3	-139,0	1,3
-44	34,000	-118,167	29	E	21,5	4,6	-140,2	-139,3	0,9
-41	34,000	-118,167	29	E	22,4	2,2	-140,3	-139,0	1,3
-32	40,750	-74,000	35	K	13,0	26,5	-145,7	-145,4	0,3
-16	42,330	-83,080	10	K	14,4	8,2	-145,7	-140,8	4,9
16,4	23,700	90,367	7	N	14,4	6,1	-146,6	-145,0	1,6
21,5	23,700	90,367	7	N	10,2	10,8	-149,3	-147,7	1,6
47	31,250	121,500	7	M	15,3	4,7	-145,6	-143,4	2,2
59	34,400	135,270	4	M	13,6	2,9	-151,1	-145,6	5,5
85	48,130	16,220	1	K	6,4	5,5	-153,9	-146,7	7,3
90	52,250	18,983	2	H	10,3	3,6	-150,2	-147,8	2,4
95	41,033	28,950	5	K	10,3	9,3	-151,6	-149,3	2,3
113	36,200	44,017	2	K	7,3	8,3	-154,9	-150,1	4,8
121	36,200	44,017	2	K	10,8	2,1	-151,4	-148,4	3,0
160	37,750	-122,500	10	D	17,9	1,5	-145,3	-143,8	1,5
177,5	34,000	-118,167	29	E	14,2	12,6	-146,4	-145,3	1,1
Máxima					14,2	26,5	-140,2	-139,0	7,2
Media					14,7	6,7	-146,4	-144,3	2,5
Desviación típica					4,4	5,3	4,4	3,4	1,9
Mínima					6,4	1,5	-154,9	-150,1	0,2

3.2 Distribución temporal

Las características temporales de la interferencia causada a un SRD cuando realizan seguimiento de satélites de usuarios en órbita baja ha sido evaluada para tres posiciones orbitales del SRD indicadas en la Recomendación UIT-R SA.1276; a saber, 41° W, 174° W y 85° E. La estación espacial internacional es el supuesto satélite de usuario en órbita baja que funciona a una altitud de 400 km con una inclinación de $51,6^\circ$ con respecto al plano ecuatorial.

La simulación dinámica se llevó a cabo durante 10 días de tiempo orbital en incrementos de 1 s. Para cada intervalo, se calculó la interferencia combinada procedente de las emisiones de todas las estaciones centrales del LMDS dentro del campo de visión y estos datos se utilizaron para determinar la función de distribución acumulativa de la fuente de interferencia para ese periodo orbital en particular. Como hubo 145 órbitas durante el periodo de 10 días, se generaron 145 funciones de distribución acumulativas por cada simulación dinámica. La Fig. 5 muestra, para un SRD situado a 41° W, una familia de curvas de probabilidades de rebasamiento de la interferencia para órbitas individuales y consecutivas del satélite de usuario en órbita baja. Las curvas corresponden a niveles de interferencia rebasados durante el 99%, el 20% y el 0,1% de un periodo orbital. Esta familia de probabilidades de rebasamiento se representa en un sistema de coordenadas cuya abscisa es el nivel de interferencia y cuya ordena son los instantes de inicio en los que el satélite se encuentra a la vista del SRD. En la Figura también aparece una línea vertical correspondiente a un nivel de interferencia de -148 dB(W/MHz). En la Figura puede verse que existen 11 órbitas que experimentan niveles de interferencia superiores a -148 dB(W/MHz). Además, de la Figura puede deducirse que el tiempo entre órbitas en que el nivel de interferencia rebasa dicho valor oscila entre un mínimo de 7,7 h y un máximo de 71 h. La Fig. 6 muestra las series de tiempo individuales de la interferencia para periodos de tiempo en que el nivel de interferencia rebasa el citado valor de -148 dB(W/MHz). En la Figura puede verse que la duración de la interferencia por encima del nivel de protección va desde menos de 10 s a menos de 60 s.

FIGURA 5

Características temporales de la interferencia causada a un SRD situado a 41° W mientras realiza el seguimiento de un satélite de usuario en órbita baja en una órbita de tipo estación espacial internacional

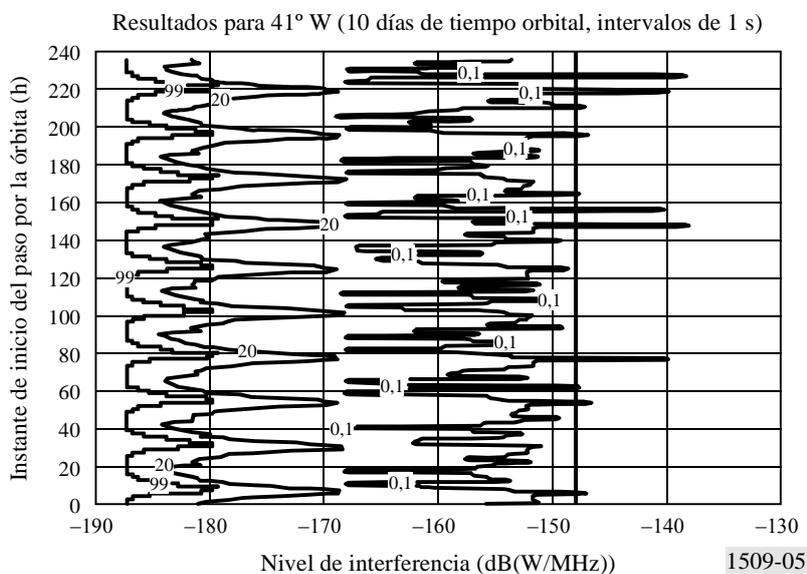
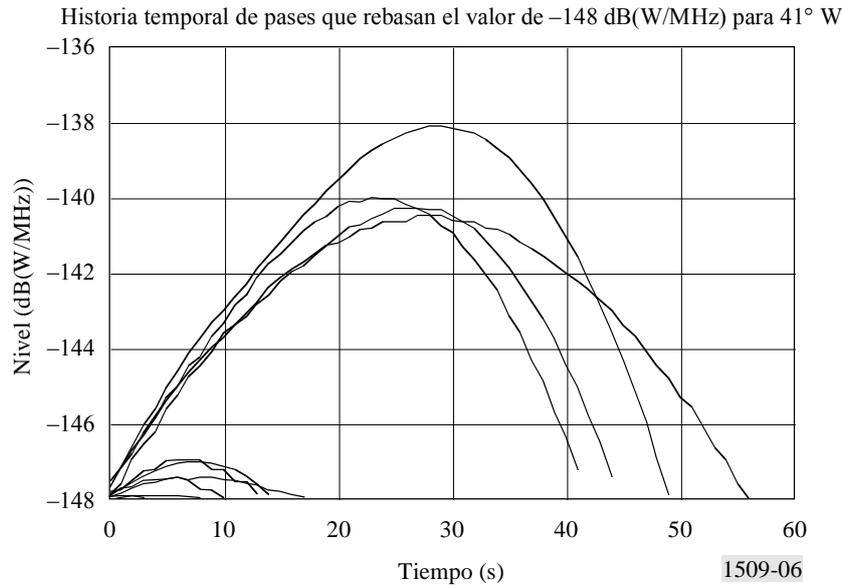


FIGURA 6

Ejemplos de la interferencia causada a un SRD situado a 41° W mientras realiza el seguimiento de un satélite de usuario en órbita baja en una órbita de tipo estación espacial internacional (véase el § 3.2)



La Fig. 7 representa resultados comparables para un emplazamiento orbital del SRD de 174° W. En este emplazamiento existen 12 órbitas que experimentan una interferencia superior al nivel de protección durante más del 0,1% del periodo orbital. Además, esta Figura indica que el tiempo entre órbitas en que la interferencia rebasa el valor de -148 dB(W/MHz) oscila entre un mínimo de 6,1 h y un máximo de 30,9 h. La Fig. 8 muestra las series de tiempo de cada periodo de interferencia. Para este emplazamiento orbital, la duración de un valor de la interferencia mayor que el nivel de protección de -148 dB(W/MHz) varía aproximadamente entre 5 s y 50 s.

FIGURA 7

Características temporales de la interferencia causada a un SRD situado a 174° W mientras realiza el seguimiento de un satélite de usuario en órbita baja en una órbita de tipo estación espacial internacional

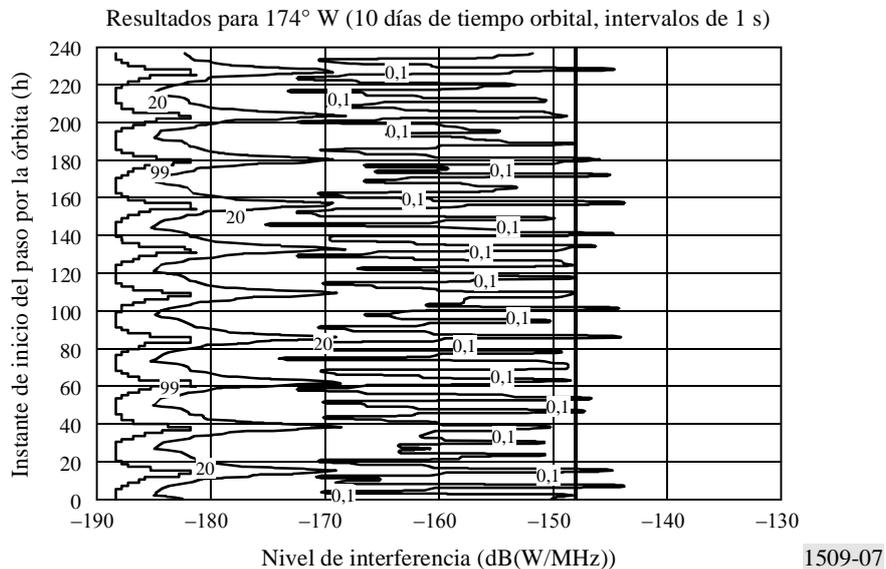
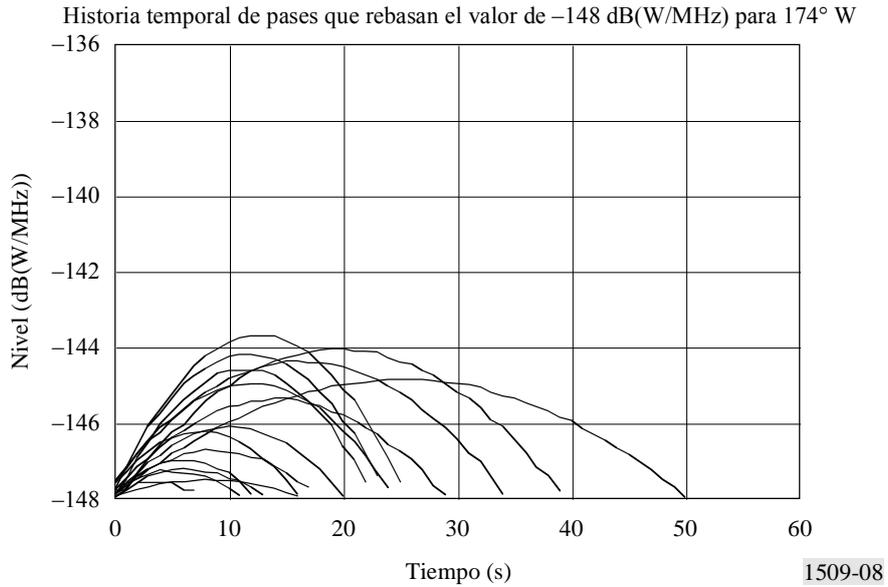


FIGURA 8

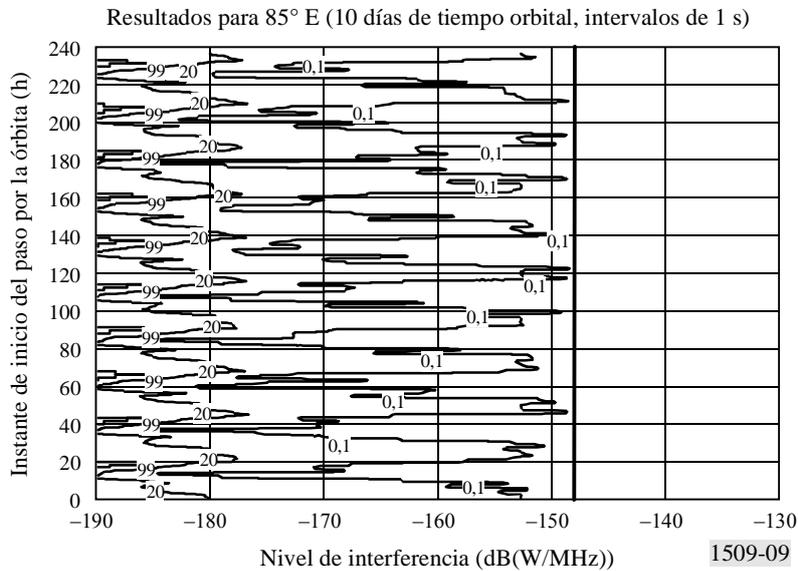
Ejemplos de la interferencia causada a un SRD situado a 174° W mientras realiza el seguimiento de un satélite de usuario en órbita baja situado en una órbita de tipo estación espacial internacional (véase el § 3.2)



La Fig. 9 muestra las características temporales de la interferencia para el emplazamiento orbital de SRD de 85° E. Esta Figura muestra que los criterios de protección indicados en la Recomendación UIT-R SA.1155 se satisfacen para cada órbita de un satélite en una órbita del tipo de la estación espacial internacional.

FIGURA 9

Características temporales de la interferencia causada a un SRD situado a 85° E mientras realiza el seguimiento de un satélite de usuario en órbita baja en una órbita de tipo estación espacial internacional



El Cuadro 2 resume los resultados de la interferencia temporal.

CUADRO 2

Resumen de los resultados de la interferencia temporal, I

Posición orbital del SRD	Número total de órbitas de satélite (~1,6 h/órbita)	Duración entre órbitas donde $I < -148$ dB(W/MHz) (h)	Número de órbitas de satélite en donde $I > -148$ dB(W/MHz)	Para órbitas en las que $I > -148$ dB(W/MHz)		
				Duración de $I > -148$ dB(W/MHz) (s)	Porcentaje de órbita en que $I > -148$ dB(W/MHz)	I de cresta ⁽¹⁾ (dB(W/MHz))
174° W	145	6,1 a 30,9	12	5 a 50	0,1 a 0,8	-143,8
41° W	145	7,7 a 71	11	10 a 60	0,2 a 1,0	-137,8
85° E	145	No disponible	0	No disponible	No disponible	-148,3

⁽¹⁾ Las pequeñas diferencias en los niveles de cresta que aparecen en los análisis temporal y espacial son debidas a los efectos de muestreo entre los análisis espacial y temporal, a las pequeñas diferencias en el modelo del diagrama de elevación de la antena de la estación central con anchura de 3 dB, a las diferencias en la contribución del lóbulo lateral al ángulo de elevación superior, a la frecuencia de funcionamiento y a la inclusión de los efectos de curvatura atmosférica (Recomendación UIT-R F.1333) en el modelo espacial.

Se llega a la conclusión de que durante las pocas órbitas en las que el nivel de interferencia rebasa el valor de -148 dB(W/MHz), el nivel de protección es superado algo más del 0,1% hasta aproximadamente el 1% del tiempo en el caso más desfavorable para un SRD situado a 41° W y 174° W. En el caso de un SRD situado a 85° E, se satisface el criterio de protección indicado en la Recomendación UIT-R SA.1155.

4 Resultados del estudio B

Los puntos siguientes presentan los resultados de los análisis temporal y espacial basados en otro estudio. En dicho estudio, se supuso una densidad espectral de p.i.r.e. de $+14$ dB(W/MHz) por cada estación central, teniendo en cuenta que algunos sistemas pueden necesitar densidades de p.i.r.e. superiores a $+8$ dB(W/MHz). Se consideraron dos satélites de usuario, la Estación Espacial Internacional (a una altitud orbital de 400 km con un ángulo de inclinación de 51,6°) y el EOS (a una altitud orbital de 800 km con un ángulo de inclinación de 98,6°). Se consideró un criterio de compartición de -142 dB(W/MHz) en vez del valor anterior de -148 dB(W/MHz).

4.1 Resultados del análisis temporal

A efectos de este análisis, se presenta la hipótesis de interferencia en el caso más desfavorable, que es el SRD situado a 41° W. La Fig. 10 ilustra las emisiones combinadas procedentes de las estaciones centrales LMDS recibidas por el SRD mientras realiza el seguimiento de la estación espacial internacional a lo largo de un periodo de 30 días en incrementos de 5 s. La Fig. 11 representa un gráfico similar para el caso de que el SRD realice el seguimiento del EOS.

FIGURA 10
Interferencia causada a un SRD situado a 41° W mientras realiza el seguimiento de la estación espacial internacional

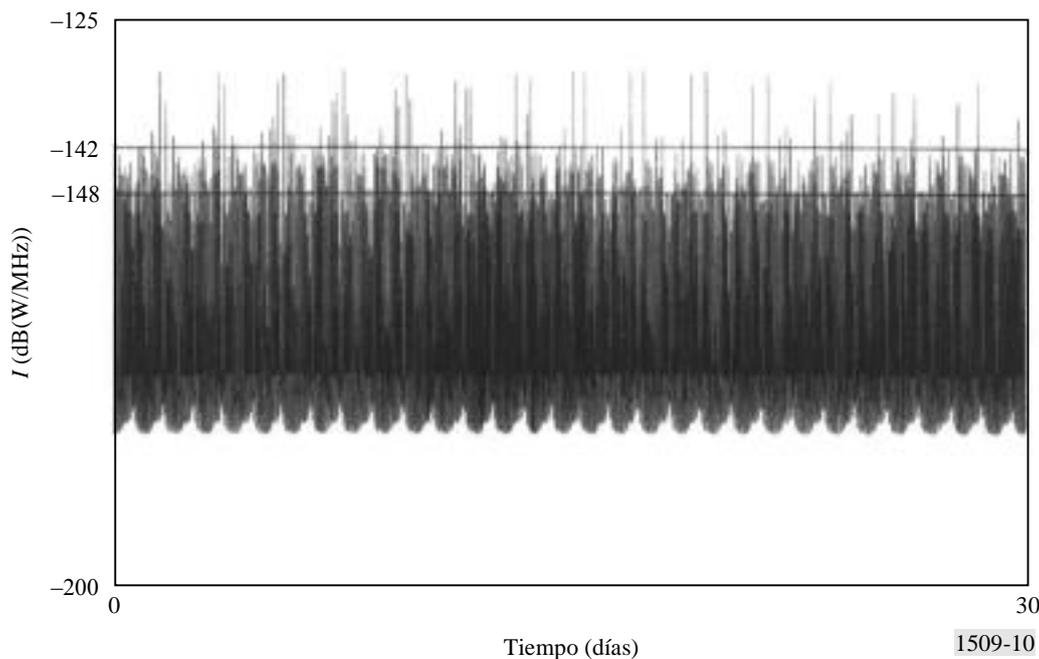
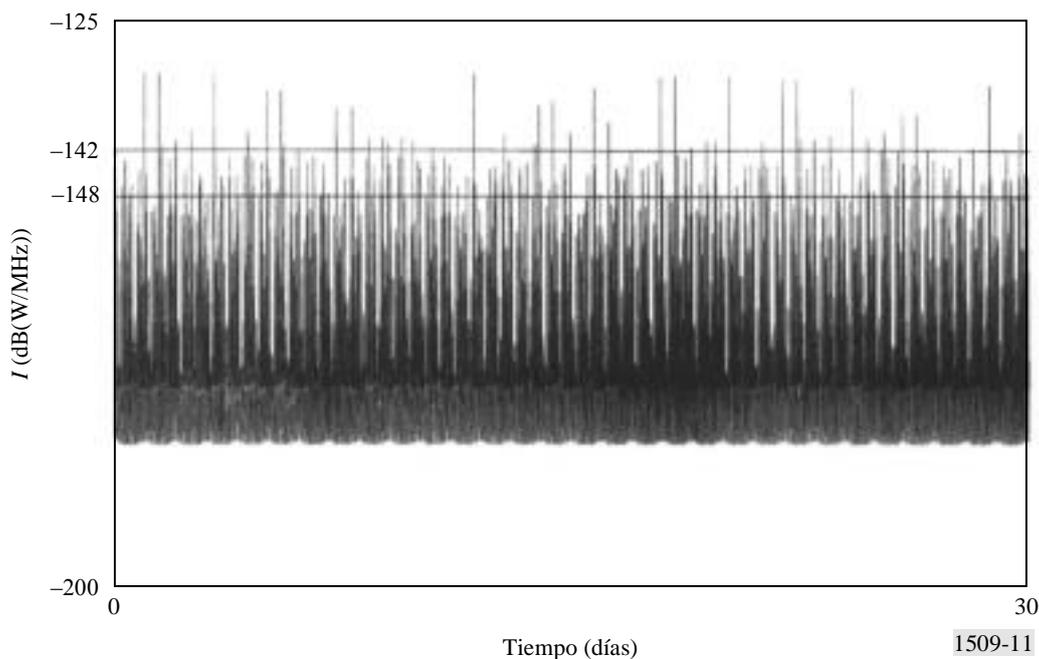


FIGURA 11
Interferencia causada a un SRD situado a 41° W mientras realiza el seguimiento del EOS



Como puede verse en ambas Figuras, las emisiones procedentes de las instalaciones del LMDS que funcionan con una p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz) por cada estación central se encuentran fundamentalmente por debajo del criterio de protección de -142 dB(W/MHz). Si el SRD realiza el seguimiento de la estación espacial internacional, las emisiones acumulativas que rebasan el criterio de protección suponen sólo aproximadamente el 0,1% del tiempo del periodo total de 30 días. Esto se refleja en la Fig. 12. En la Fig. 13 puede verse que las emisiones acumulativas recibidas por el SRD cuando realiza el seguimiento del EOS rebasan el criterio de protección aproximadamente

el 0,06% del tiempo. Cabe señalar que estos sucesos se originan desde emplazamientos en la Tierra conocidos predecibles, que pueden identificarse fácilmente mediante simulación.

FIGURA 12
Interferencia acumulativa causada al sistema SRD situado a 41° W mientras realiza el seguimiento de la estación espacial internacional a lo largo de 30 días

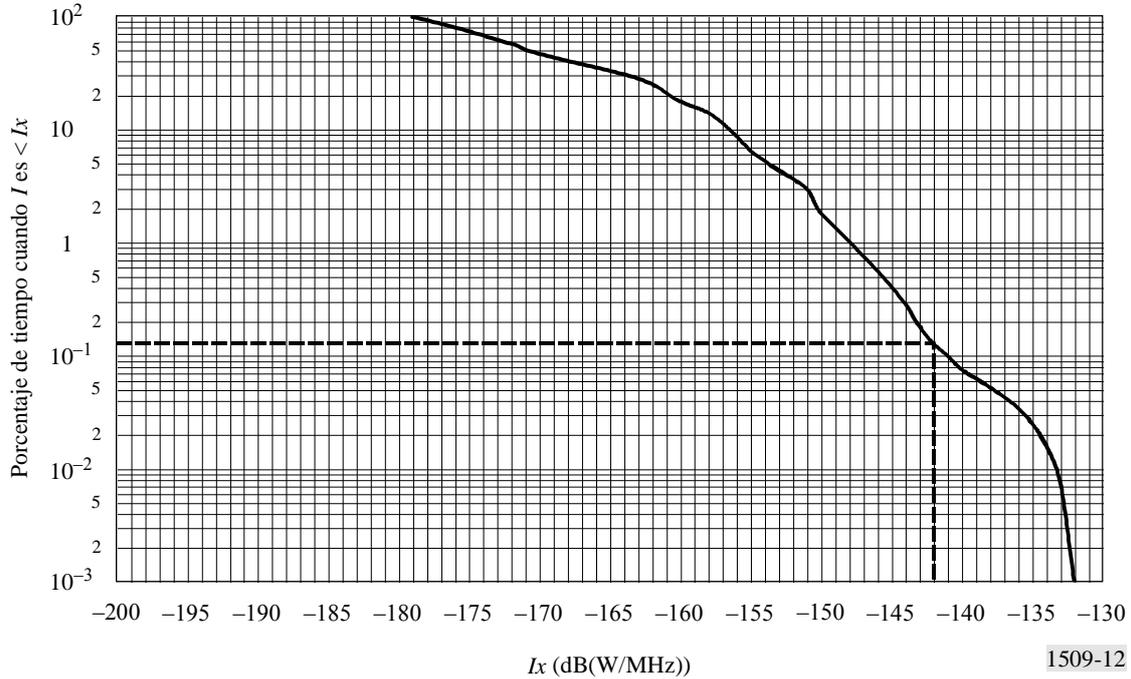
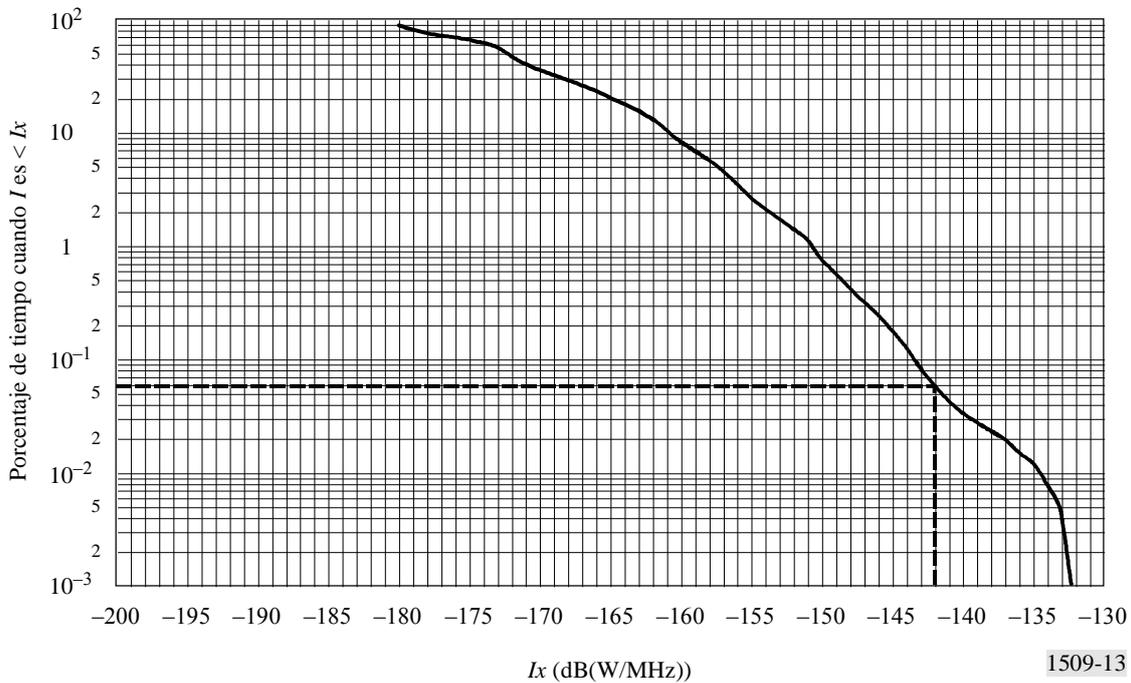


FIGURA 13
Interferencia acumulativa causada al sistema SRD situado a 41° W mientras realiza el seguimiento del EOS a lo largo de 30 días



Los anteriores resultados son coherentes con los del análisis espacial que se discute a continuación.

4.2 Resultados del análisis espacial

Los resultados del análisis espacial se dan para tres posiciones orbitales del SRD, a saber 41° W, 174° W y 85° E. Las posiciones de 41° W y 174° W representan el caso más desfavorable y la longitud de 85° E es un caso típico en el que aparece interferencia. Cabe indicar que para muchos intervalos orbitales no se rebasa en absoluto el criterio de compartición.

La Fig. 14 ilustra el perfil de interferencia espacial causada por las emisiones del LMDS al SRD situado a 41° W. Como puede observarse, las emisiones que rebasan el criterio de compartición de -142 dB(W/MHz) están concentradas en torno a emplazamientos predecibles específicos. Las Figs. 15 y 16 presentan gráficos similares para las posiciones orbitales de 174° W y 85° E.

FIGURA 14

Perfil de la interferencia espacial causada a un SRD situado a 41° W

SRD geoestacionario a 41° W, $k = 0$, resolución = 0,2, 8 dB(W/MHz), 431 zonas de servicio del LMDS, 944 estaciones centrales en todo el mundo

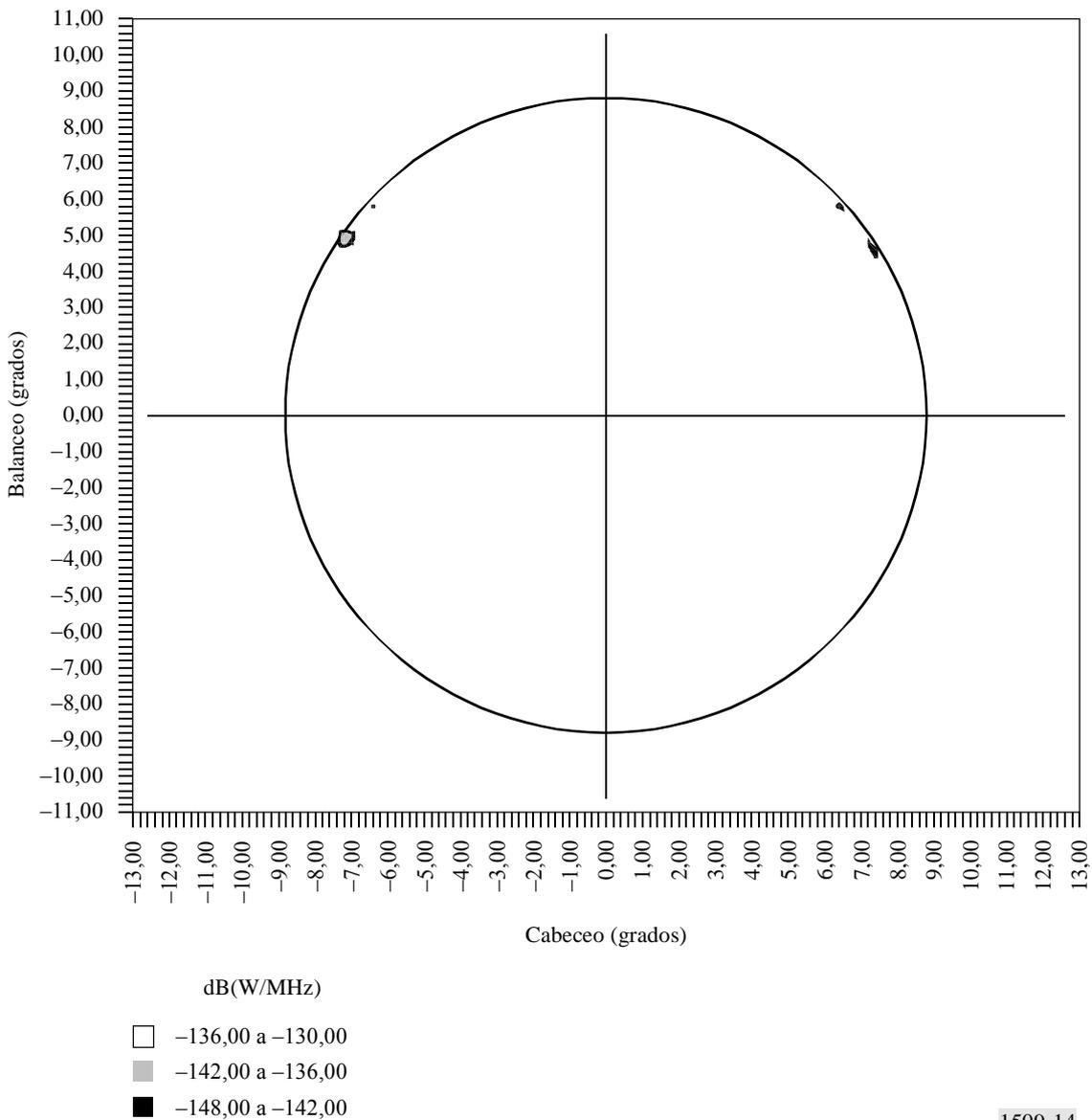


FIGURA 15

Perfil de la interferencia espacial causada a un SRD situado a 174° W

SRD geostacionario a 174° W, $k = 0$, resolución = 0,2, 8 dB(W/MHz), 431 zonas de servicio del LMDS, 944 estaciones centrales en todo el mundo

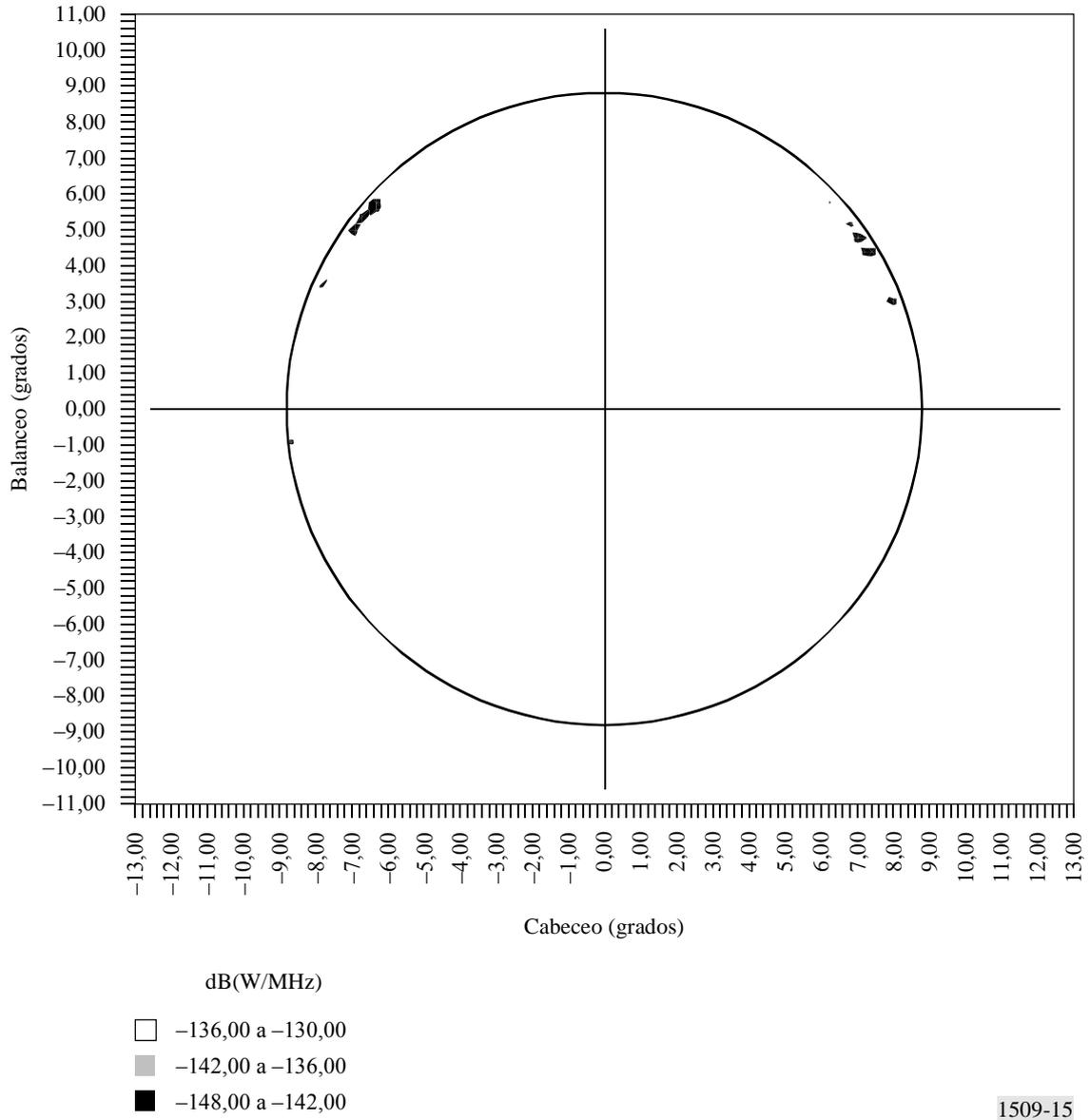
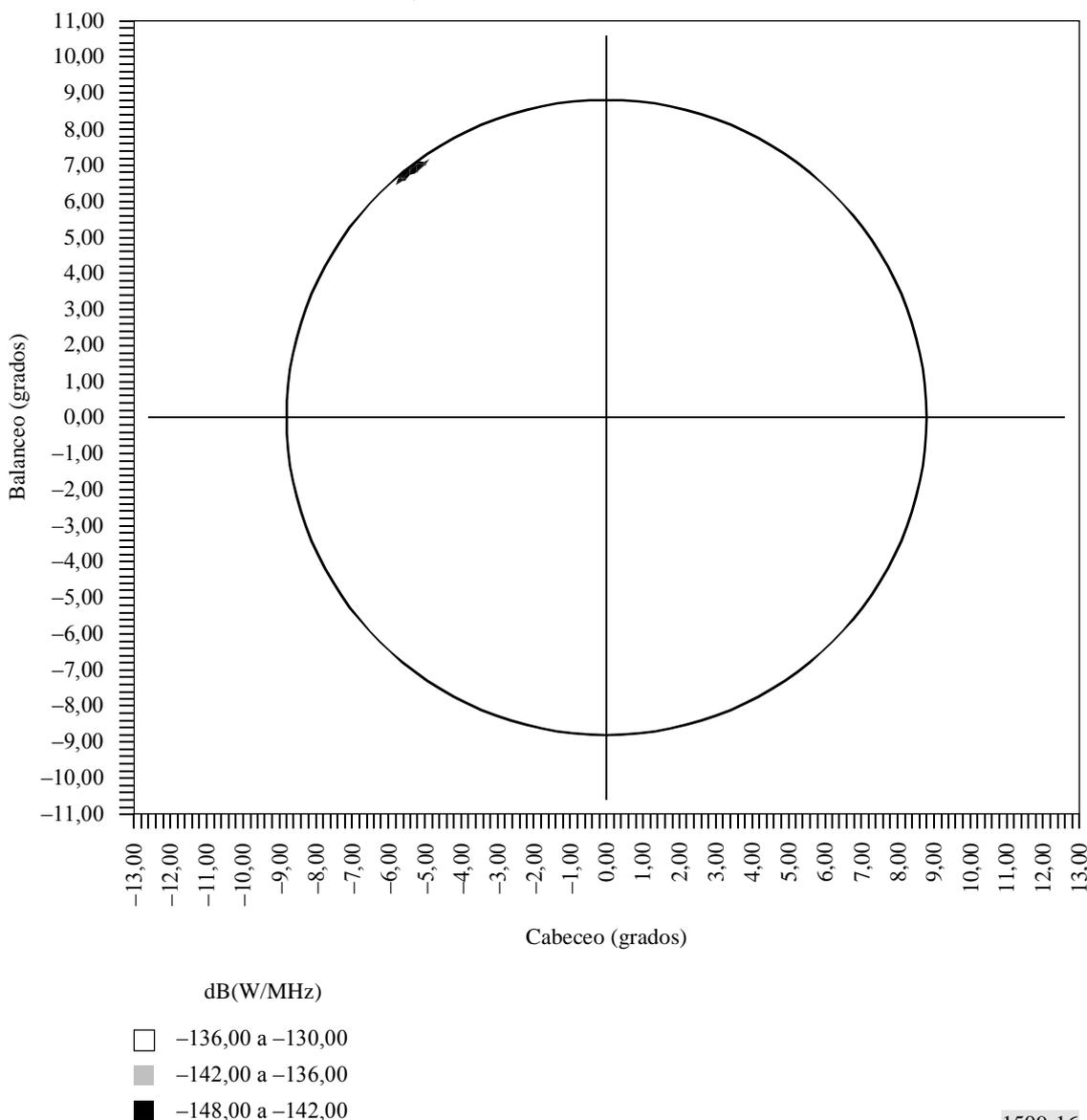


FIGURA 16

Perfil de la interferencia espacial causada a un SRD situado a 85° E

SRD geostacionario a 85° E, $k = 0$, resolución = 0,2, 8 dB(W/MHz), 431 zonas de servicio del LMDS, 944 estaciones centrales en todo el mundo



1509-16

Hay que indicar que los gráficos anteriores se basan en simulaciones realizadas utilizando el valor de $k = 0$ en los diagramas de radiación de antena de la Recomendación UIT-R F.1336. También se efectuaron simulaciones utilizando valores de $k = 1$ (lóbulos laterales más elevados) y se observó que el perfil de interferencia global permanecía relativamente constante, lo que hace suponer que las contribuciones del lóbulo lateral son despreciables.

4.3 Discusión de los resultados (§ 4)

Como se indica en el análisis anterior, un criterio de compartición de -142 dB(W/MHz) permite la compartición entre dos servicios sin imponerles excesivas restricciones a ninguno de ellos. Los criterios de compartición, a diferencia de los criterios de protección, deben reconocer la naturaleza específica de los servicios en la banda y reflejar la necesidad de acomodar dichos servicios. En el caso del SRD compartiendo la banda 25,25-27,5 GHz con sistemas del servicio fijo P-MP existe un cierto número de factores de reducción de la interferencia que favorecerían la implantación de un criterio de protección de -142 dB(W/MHz), por ejemplo:

- Como se ha indicado, la utilización de sistemas de antenas por sectores con una inclinación descendente será habitual en las instalaciones P-MP. Los sistemas requerirán un nivel significativo de sectorización para controlar la interferencia dentro de los sistemas y lograr unos niveles de reutilización de frecuencias que puedan soportar los casos comerciales.
- Las emisiones que rebasan el criterio de compartición proceden de emplazamientos predecibles en la Tierra, lo cual permite tomar medidas a priori para evitar la interferencia.
- La utilización de la banda 25,25-27,5 GHz por el servicio fijo varía según las administraciones. En algunos países, hay operadores autorizados para los sistemas punto a punto, en otros los operadores utilizan una combinación de sistemas punto a punto y P-MP (algunos operadores de banda ancha emplean sistemas múltiples punto a punto desde un emplazamiento central). Además, los actuales planes de la banda soportan una cierta gama de sistemas punto a punto y P-MP. En consecuencia, el nivel de emisiones combinadas procedentes de sistemas multipunto en sistemas de SRD es probable que sea muy inferior al indicado en este estudio.

5 Extensión a otras instalaciones del LMDS

Los resultados descritos en los § 3 y 4 se basan en hipótesis específicas relativas al radio de la célula LMDS. Este punto describe un medio sencillo para ampliar los resultados a instalaciones del LMDS que utilizan células más pequeñas.

Por lo general, las células más pequeñas darán lugar a un mayor número de células en una instalación ya realizada de sistemas LMDS en centros de población urbanos. Como consecuencia del menor tamaño de la célula, la p.i.r.e. de la estación central necesaria para lograr el mismo margen del enlace en el abonado más alejado disminuirá con el cuadrado de la distancia, suponiendo propagación con visibilidad directa. Por consiguiente, la reducción relativa de la densidad espectral de p.i.r.e. para células más pequeñas que la de referencia viene dada por la expresión:

$$\Gamma_i = 20 \log \left(\frac{r_i}{r_0} \right) \quad (10)$$

siendo:

Γ_i : factor de reducción de la densidad espectral de p.i.r.e. para la i -ésima célula (dB)

r_i : radio de la i -ésima célula (km)

r_0 : radio de la célula de referencia, es decir, 5 km.

La aplicación del factor de reducción es directa. Por ejemplo, suponiendo que la densidad espectral de p.i.r.e. de la célula de referencia de 5 km es +8 dB(W/MHz), si el tamaño de la célula se reduce a 2,5 km, la densidad espectral de p.i.r.e. disminuirá hasta +2 dB(W/MHz).

Cabe señalar que la aplicación de este método tenderá a limitar la densidad espectral de p.i.r.e. combinada procedente de cualquier centro de población urbano a un nivel independiente del tamaño de la célula.

Obsérvese que el objetivo de instalación para muchas instalaciones del servicio fijo será mantener constante la disponibilidad del enlace y no el margen del enlace, pues la distancia al abonado más alejado varía. Utilizando los métodos de la Recomendación UIT-R P.530 y para una disponibilidad del enlace determinada, el margen del enlace necesario disminuye a medida que lo hace la distancia del enlace. Por consiguiente, la ecuación (10) proporciona una estimación conservadora de la reducción de la densidad espectral de p.i.r.e. en función de la disminución del tamaño de la célula.

6 Interferencia causada a los POCS

El caso de interferencia para los POCS es similar al del SRD en el sentido de que las emisiones del LMDS cocanal alcanzan a las antenas receptoras del POCS a medida que el satélite describe órbitas en torno a la Tierra.

6.1 Características de los sistemas LMDS

Para el análisis de los POCS se supusieron las mismas características de los LMDS descritos en el § 2.1.

Sin embargo, se consideró una densidad espectral de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz).

6.2 Características de los POCS

Se consideraron dos usuarios de POCS en este análisis, incluyendo la estación espacial internacional y la lanzadera espacial. Cada POCS se supone que utiliza dos antenas con una variante de ganancia elevada y baja. En el Cuadro 3 aparece un resumen de las características del POCS.

CUADRO 3
Características del POCS

Usuario	Órbita		Antena receptora	
	Altitud (km)	Inclinación (grados)	Ganancia (dBi)	Orientación
Estación espacial internacional	400	51,6	3,5	Nadir
			23,5	A lo largo del vector velocidad
Lanzadera espacial	530	57	3,5	Nadir
			23,5	A lo largo del vector velocidad

Para la variante de baja ganancia, se supuso la utilización de una antena omnidireccional en vez de un cono con un ángulo en el vértice de 244° como anchura de haz a potencia mitad, para representar el caso más desfavorable. Para la antena de alta ganancia, se utilizó una antena receptora fija con anchura de haz a potencia mitad de 8° con el diagrama de radiación de referencia indicado en la Recomendación UIT-R S.672 ($L_s = -20$ dB). Para el POCS se consideró una polarización circular.

El criterio de protección para el receptor es -147 dB(W/MHz) durante no más del 0,1% del tiempo, como se especifica en la Recomendación UIT-R SA.609.

6.3 Metodología

Para el POCS se realizó únicamente un análisis temporal a lo largo de un periodo de simulación de 30 días. Los datos se recogieron cada 5 s.

De forma similar al análisis del SRD, la absorción atmosférica se calculó basándose en la Recomendación UIT-R P.676. También se incluyó una pérdida de 3 dB para tener en cuenta la diferencia en la polarización.

6.4 Resultados

Las Figuras siguientes muestran los niveles de emisión en las dos antenas receptoras de ambos POCS causados por los sistemas LMDS a lo largo de un periodo de 30 días.

FIGURA 17
Interferencia acumulativa causada en la estación espacial internacional del POCS a lo largo de 30 días

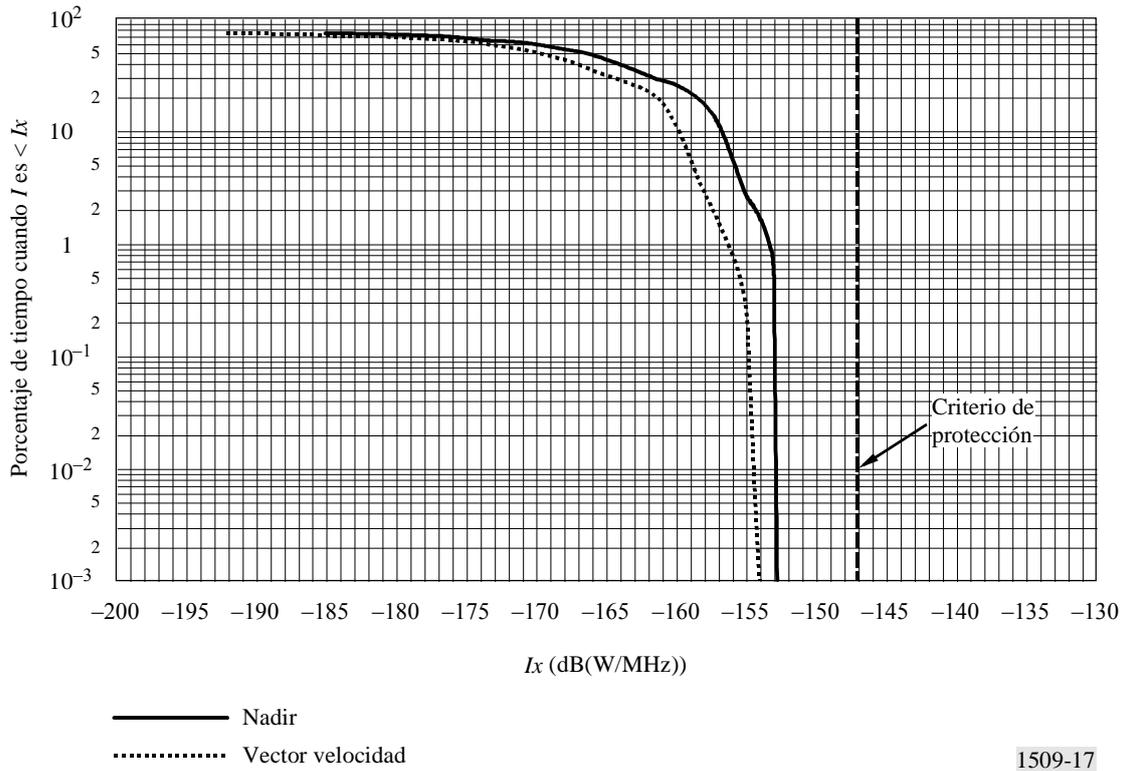
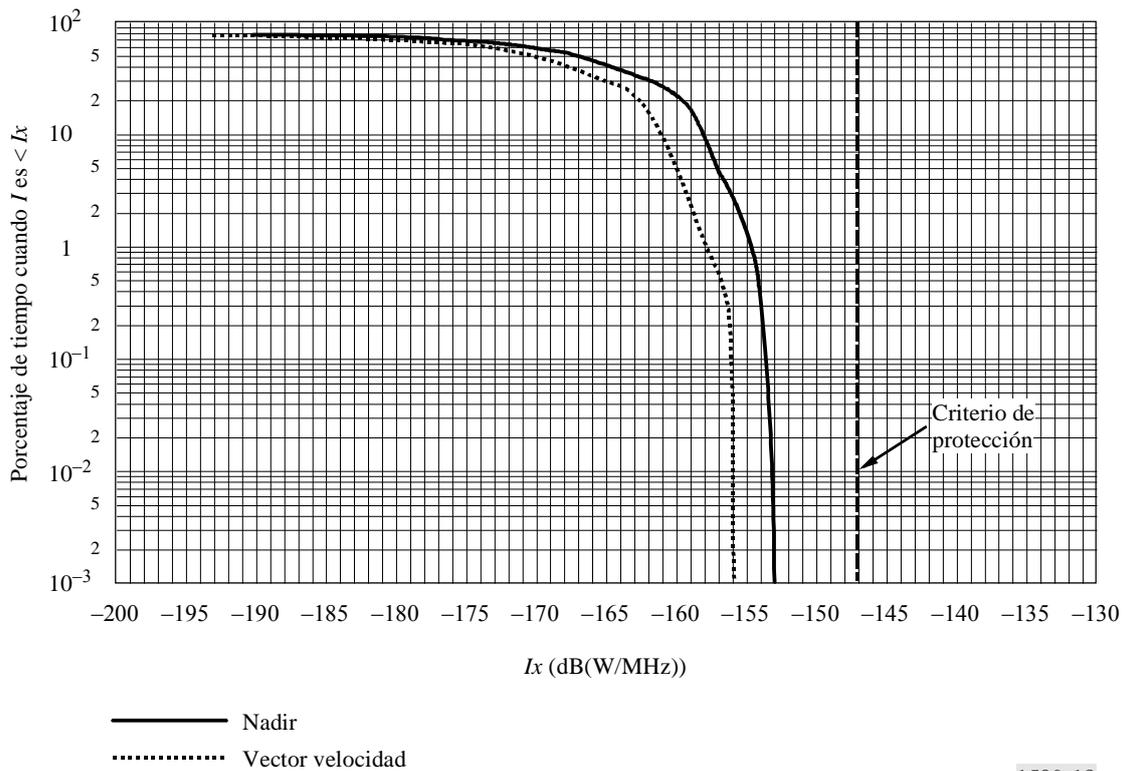


FIGURA 18
Interferencia acumulativa causada a la lanzadera espacial del POCS a lo largo de 30 días



Como puede observarse, el nivel de interferencia en cualquiera de las antenas receptoras del POCS tiene un valor muy inferior al criterio de protección de -147 dB(W/MHz) en todo instante.

7 Resumen y conclusiones del Anexo 1

De los resultados del estudio A que aparece en el § 3 puede predecirse que la mayoría de los SRD situados en los emplazamientos orbitales señalados en la Recomendación UIT-R SA.1276 recibirá una interferencia de cresta total que rebasa el nivel de protección indicado en la Recomendación UIT-R SA.1155 un valor medio de aproximadamente 4 dB procedente de unas pocas zonas de instalación del LMDS. Ello se basa en la hipótesis de que la densidad espectral de p.i.r.e. de cada estación central es +8 dB(W/MHz) y que la zona de servicio de cada estación central tiene un radio de 5 km. La interferencia total de cresta para todas las posiciones orbitales fue de -139 dB(W/MHz).

De forma temporal, el nivel de protección que figura en la Recomendación UIT-R SA.1155 se satisface para la mayoría de las órbitas. En las pocas órbitas en que se rebasa el nivel de protección, se supera desde algo más del 0,1% del periodo orbital hasta aproximadamente el 1% del periodo orbital en el caso más desfavorable para los SRD situados a 41° W y 174° W. Además, en estos emplazamientos, el tiempo en que los periodos orbitales en los que el nivel de interferencia rebasa el valor de -148 dB(W/MHz) va desde 6,1 h hasta 71 h. Para un SRD situado a 85° E, la interferencia es tal que el criterio de protección señalado en la Recomendación UIT-R SA.1155 se satisface para todas las órbitas de los satélites que se encuentren en una órbita del tipo de la estación espacial internacional.

Para poder determinar los límites de densidad espectral de p.i.r.e. en el caso de células cuyo tamaño sea menor que el de la célula de referencia, es decir 5 km en este caso de estudio, se ha introducido un factor de reducción (véase la ecuación (10)) que supone un margen del enlace constante.

Como se indica en el § 3 y mediante las Figs. 2 a 4, los centros de población urbanos con varias estaciones centrales cofrecuencia que aparecen en el limbo de la Tierra o próximas al mismo son fuentes primarias de interferencia para los SRD. Sin embargo, en las instalaciones de estaciones centrales P-MP del LMDS obtenidas utilizando la metodología descrita en el § 3 y que funcionan con una densidad espectral de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) por cada sector de estación central, el nivel de protección se rebasa únicamente en unas pocas zonas geográficas y es posible la compartición.

Los resultados del estudio B indicados en el § 4 muestran que bajo la hipótesis de una densidad espectral de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz) por estación central, lo cual supone 6 dB más que la hipótesis del estudio A, el nivel de interferencia es también unos 6 dB superior al que aparece en los resultados del estudio A. Por lo tanto, dos estudios distintos han dado resultados casi equivalentes.

Anexo 2

Método para calcular los ángulos de separación entre los haces de antena de la estación central y las direcciones hacia los SRD geostacionarios

El Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1249 proporciona un método para calcular los ángulos de separación entre los haces de las antenas transmisoras del servicio fijo punto a punto y las direcciones hacia los SRD geostacionarios situados en las posiciones especificadas en la Nota 1 del texto principal de dicha Recomendación, teniendo en cuenta los efectos de la refracción atmosférica y el horizonte local. Una estación central en una red del servicio fijo P-MP adopta una antena omnidireccional o sectorial. En este caso, la ganancia de la antena debe considerarse independiente de la dirección acimutal del SRD. En el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1249, ε_r es el ángulo de elevación de máxima ganancia (en el plano de elevación) de la antena de la estación central (obsérvese que $\varepsilon_r = 0^\circ$ si no se adopta inclinación del haz y ε_r es negativo si se adopta una inclinación del haz hacia abajo).

El ángulo de elevación ε_s del SRD aparece en las ecuaciones (8a), (8b) y (8c) del Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1249. Cuando el SRD es visible, el valor absoluto de $\varepsilon_s - \varepsilon_r$ es el ángulo de separación entre el haz de la antena de la estación central y la dirección hacia el emplazamiento del SRD.
