

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1247-2
(06/2009)

**Características técnicas y operacionales
de los sistemas del servicio fijo para
facilitar la compartición con los servicios
de investigación espacial, operaciones
espaciales y exploración de la Tierra por
satélite que funcionan en las bandas
2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz**

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	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
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, 2009

© UIT 2009

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.1247-2*

Características técnicas y operacionales de los sistemas del servicio fijo para facilitar la compartición con los servicios de investigación espacial, operaciones espaciales y exploración de la Tierra por satélite que funcionan en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz

(Cuestiones UIT-R 118/7 y UIT-R 113/5)

(1997-2000-2009)

Cometido

Esta Recomendación proporciona las características operacionales de los sistemas del servicio fijo por satélite para facilitar la compartición con sistemas de los servicios científicos espaciales que funcionan en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz. Indica, entre otras cosas, las posiciones orbitales de los satélites geostacionarios en dirección a los cuales deben limitarse las emisiones.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz están atribuidas en el RR a título primario a los servicios fijo, móvil, de investigación espacial (SIE), de operaciones espaciales (SOE) y de exploración de la Tierra por satélite (SETS);
- b) que hay diferentes sistemas punto a punto y punto a multipunto del servicio fijo que funcionan en la gama de frecuencias 1-3 GHz y se describen en las Recomendaciones UIT-R F.758, UIT-R F.759 y UIT-R M.1143;
- c) que, como resultado de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92), se atribuyó la gama de frecuencias 1-3 GHz a otros servicios, lo que creó condiciones de compartición incompatibles con el servicio fijo;
- d) que los servicios SIE, SOE y SETS han funcionado satisfactoriamente durante muchos años con el servicio fijo en las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz, pero que si se introduce un gran número de sistemas del servicio fijo, resultará importante identificar las características técnicas y operacionales preferidas del servicio fijo para garantizar la compatibilidad a largo plazo;
- e) que los servicios SIE, SOE y SETS explotan enlaces de radiocomunicaciones espacio-espacio en las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz, además de los enlaces Tierra-espacio y espacio-Tierra, respectivamente;
- f) que estos enlaces, particularmente los enlaces espacio-espacio de la red de satélites de retransmisión de datos (DRS, *data relay satellite*) están diseñados para funcionar con márgenes del orden de 2 dB a 4 dB;

* Esta Recomendación fue elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 7 y 5 de Radiocomunicaciones y se encargarán también conjuntamente de cualquier futura revisión.

- g) que los criterios de protección para los enlaces Tierra-espacio y espacio-Tierra pueden verse en las Recomendaciones UIT-R SA.363 y UIT-R SA.609, mientras que los criterios de protección para los enlaces del DRS figuran en la Recomendación UIT-R SA.1155;
- h) que el número de sistemas del servicio fijo en estas bandas puede aumentar hasta un nivel en que podría requerirse criterios de compartición prácticos menos restrictivos que los previstos en la Recomendación UIT-R SA.1155 y que figuran en la Recomendación UIT-R SA.1274;
- j) que los enlaces de satélite pueden experimentar la interferencia ocasionada por las emisiones de los sistemas del servicio fijo dentro de un campo de visibilidad de grandes dimensiones geográficas;
- k) que en la Recomendación UIT-R SA.1275 se enumera un número limitado de redes de satélite de retransmisión de datos (DRS) que se describen en la Recomendación UIT-R SA.1018, las cuales funcionan o está previsto desplegar en la órbita de los satélites geoestacionarios;
- l) que la especificación de determinadas ubicaciones de órbita para su protección en lugar del arco orbital correspondiente impondrá una carga menor al servicio fijo en lo que concierne a la compartición de la banda, especialmente en el caso de las estaciones situadas en latitudes elevadas;
- m) que los estudios que se resumen en el Anexo 1 han mostrado que el servicio fijo puede utilizar medios técnicos para reducir el potencial de interferencia inaceptable a los servicios SIE, SOE y SETS,

recomienda

1 que, en la medida de lo posible, las estaciones del servicio fijo en las bandas 2025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz utilicen:

- 1.1** un control automático de la potencia del transmisor (CAPT) tal que la potencia media sea inferior como mínimo en 10 dB a la potencia máxima del transmisor;
- 1.2** la densidad espectral de potencia del transmisor práctica más baja;
- 1.3** antenas de transmisión con adecuados diagramas de radiación, teniendo en cuenta la Recomendación UIT-R F.699;

2 que, en la medida de lo posible, las estaciones punto a punto del servicio fijo que funcionen en la banda 2 200-2 290 MHz eviten radiar una densidad espectral de p.i.r.e. superior a +8 dB(W/MHz) en dirección de las ubicaciones de los satélites geoestacionarios de retransmisión de datos que se especifican en la Recomendación UIT-R SA.1275;

2.1 que, como una excepción del *recomienda 2*, la densidad espectral de la p.i.r.e. de las estaciones del servicio fijo que utilizan CAPT pueda aumentar en más de +8 dB(W/MHz) en dirección de las ubicaciones especificadas de los satélites geoestacionarios de retransmisión de datos durante un máximo del 0,1% del mes (véanse las Notas 7 y 8);

2.2 que las estaciones del servicio fijo que no puedan observar el *recomienda 2* funcionen hacia la parte inferior de la banda 2 200-2 290 MHz;

3 que, en la medida de lo posible, las estaciones punto a multipunto del servicio fijo en las bandas 2025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz:

3.1 eviten radiar una densidad de p.i.r.e. por enlace superior a 5 dB(W/MHz) para las estaciones central y exteriores de los sistemas de elevada potencia/baja densidad durante más del 0,1% del mes, teniendo en cuenta el CAPT (véase la Nota 7);

3.2 utilicen en la estación central antenas de transmisión omnidireccionales cuya ganancia mínima esté situada por arriba del plano horizontal.

NOTA 1 – El *recomienda 2* se aplica también a los enlaces punto a punto entre sistemas punto a multipunto o dentro de éstos.

NOTA 2 – La densidad espectral de p.i.r.e. radiada hacia un DRS geoestacionario debe calcularse como el producto de la densidad espectral de potencia transmitida y la ganancia de la antena en la dirección del DRS. En ausencia de un diagrama de radiación para la antena del servicio fijo, habrá que utilizar el diagrama de radiación de referencia de la Recomendación UIT-R F.699. En el cálculo se tomarán en consideración los efectos de la refracción atmosférica y el horizonte local. El Anexo 2 de la Recomendación UIT-R F.1249 ofrece un método para calcular los ángulos de separación.

NOTA 3 – El *recomienda 2* se aplica también a las estaciones exteriores de los sistemas punto a multipunto que utilizan antenas direccionales con una ganancia máxima superior a 14 dBi.

NOTA 4 – En los sistemas punto a multipunto de elevada potencia/baja densidad que funcionan en modos de transmisión intermitentes tales como el de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT), las estaciones exteriores pueden acrecentar sus niveles de densidad de p.i.r.e. por un factor correspondiente al número de abonados conectados a las estaciones externas de una estación central hasta un máximo de 9 dB(W/MHz) (véase el § 3.7 del Anexo 1).

NOTA 5 – El *recomienda 3.1* se aplica básicamente a los sistemas de baja densidad. En el caso de sistemas de densidad elevada, los niveles de potencia apropiados son más bajos. Por ejemplo, los parámetros para un sistema de baja potencia utilizados por al menos una administración que funciona en densidades típicas de la p.i.r.e. sin desvanecimiento son del orden de -5 dB(W/MHz) por enlace para estaciones centrales y de -14 dB(W/MHz) para estaciones exteriores, habida cuenta, en lo posible, del CAPT.

NOTA 6 – De conformidad con la Recomendación UIT-R SA.1275-2, las actuales ubicaciones orbitales que requieren protección son:

16,4° E, 21,5° E, 47° E, 59° E, 85° E, 89° E, 90,75° E, 95° E, 113° E, 121° E, 133° E, 160° E y 177,5° E, 12° W, 16° W, 32° W, 41° W, 44° W, 46° W, 49° W, 62° W, 79° W 139° W, 160° W, 170° W, 171° W y 174° W.

NOTA 7 – Hay que señalar que los porcentajes del tiempo consignados en los *recomienda 2.1* y *3.1* no guardan relación directa con los criterios de compartición en porcentaje de tiempo del DRS que figuran en la Recomendación UIT-R SA.1274.

NOTA 8 – Cuando una estación del servicio fijo que emplea el CAPT no sea capaz de satisfacer el requisito del *recomienda 2.1* debería, toda vez que sea posible, dirigirse a la parte inferior de la banda 2 200-2 290 MHz, de preferencia 2 200-2 245 MHz, mientras que la densidad espectral de p.i.r.e. (en el sentido de la posición del DRS geoestacionario especificado) de dicha estación podrá aumentar por encima de $+8$ dB(W/MHz) durante menos del 5% del mes, con el fin de recuperar la calidad de funcionamiento durante eventos de desvanecimiento ligero, siempre que el porcentaje de tiempo en que se sobrepase $+11$ dB(W/MHz) sea inferior al 0,1%.

NOTA 9 – El Anexo 2 contiene informaciones que facilitan la aplicación de la presente Recomendación para la planificación y el diseño de nuevos sistemas en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz.

Anexo 1

Características técnicas de los sistemas del servicio fijo para facilitar la compartición con los servicios espaciales en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz

1 Introducción

Los estudios efectuados revelan que las emisiones de los sistemas del servicio fijo pueden ocasionar interferencia a las redes espaciales que funcionan en los servicios de investigación espacial, operaciones espaciales y exploración de la Tierra por satélite (los servicios de ciencias espaciales) en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz (las bandas de 2 GHz). La red espacial consta de enlaces espacio-espacio entre un DRS situado en la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) y un satélite en órbita baja. El DRS transmite a un satélite en órbita baja en la banda 2 025-2 110 MHz y recibe transmisiones de este último en la banda 2 200-2 290 MHz. En consecuencia, el satélite en órbita baja puede experimentar interferencia causada por emisiones en la banda 2 025-2 110 MHz y los satélites geoestacionarios DRS pueden experimentar interferencia de emisiones en la banda 2 200-2 290 MHz. Asimismo, los satélites en órbita baja pueden también comunicar con estaciones en el suelo de la red en tierra que utilizan enlaces Tierra-espacio. Estos enlaces, que se utilizan en la banda 2 025-2 110 MHz para la transmisión a un satélite en órbita baja y en la banda 2 200-2 290 MHz para la recepción de un satélite en órbita baja, no son tan susceptibles a la interferencia como los enlaces de los satélites en órbita baja que funcionan en la red espacial.

En el § 2 se resume el entorno de interferencia que pueden encontrar los satélites en órbita baja y los satélites OSG DRS, en caso de que el servicio fijo utilice intensamente las bandas de 2 GHz. En el § 3 se resumen las técnicas de reducción de la interferencia que puede emplear el servicio fijo para disminuir los niveles de la interferencia potencial. En el § 4 se presenta un resumen de la eficacia de las diferentes técnicas de atenuación para reducir el nivel de interferencia potencial a los satélites que funcionan en la red espacial.

2 Interferencia potencial a los satélites que funcionan en la red espacial

Se han utilizado simulaciones de Monte Carlo para evaluar la interferencia que puede ocasionar a los sistemas de los servicios de ciencias espaciales un número potencialmente alto de sistemas del servicio fijo. Se supuso que los sistemas del servicio fijo eran sistemas punto a punto con visibilidad directa consistentes en 13 estaciones por sección, que utilizaban técnicas de modulación digital y empleaban antenas de elevada ganancia.

Se supuso que el despliegue de los sistemas del servicio fijo correspondía a las ubicaciones de unas 1 245 importantes ciudades del mundo. Se excluyó de esta lista a las ciudades de Estados Unidos de América, dado que las bandas se utilizan ampliamente para otras aplicaciones. Según estas hipótesis se llegaba a un despliegue de más de 16 000 estaciones punto a punto en todo el mundo.

Hay 13 estaciones por ruta. Se supone que las rutas tienen por centro cada una de estas ciudades. Se establece una línea de tendencia uniformemente distribuida entre 0° y 360°. A partir de este punto se genera el vector de posición geográfica y el vector de puntería de la antena en cada estación de la ruta, suponiendo que entre las estaciones hay una distancia de 50 km. El ángulo acimutal en cada estación es la suma del ángulo de la línea de tendencia y de un ángulo aleatorio uniformemente distribuido entre $\pm 12,5^\circ$. En cada una de las otras estaciones que no sea una estación de extremo, se supone que hay dos antenas transmisoras cocanal: una de ellas apuntando a la estación precedente en la ruta y la otra a la siguiente estación en la ruta. Las antenas de las estaciones de extremo

apuntan hacia la estación adyacente. Cada antena tiene un ángulo de elevación de 0° , una ganancia en el eje de 33 dBi y un diagrama de radiación fuera del eje conforme con el diagrama mejorado de la Recomendación UIT-R F.699. Se supone que la densidad espectral de potencia del transmisor en cada estación transmisora es de -35 dB(W/kHz), en línea con la de los sistemas digitales MAQ-64.

El efecto del despliegue global de estas 13 secciones de estación de las rutas de radioenlace en los satélites en órbita baja que funcionan en la banda 2025-2110 MHz se determina calculando la potencia de interferencia combinada recibida por estos satélites en función de la latitud y la longitud del punto subsatelital del vector de posición del satélite. Se supone que la interferencia ocasionada al satélite en órbita baja se acopla al sistema de recepción a través de los lóbulos laterales de la antena que presentan una ganancia de 0 dBi.

En la Fig. 1 puede verse un diagrama de contorno de los resultados de la simulación de Monte Carlo para un satélite a una altitud de 300 km. Se representa la intensidad de la interferencia recibida en función de la latitud y la longitud del satélite que alcanza un valor máximo de $-151,7$ dB(W/kHz). Del diagrama de contorno se deduce que la interferencia se presenta sobre masas de tierra y que la interferencia es estática, esto es, cada punto subsatelital tiene asociado un nivel de interferencia que no varía.

Se ha utilizado un método de simulación de Monte Carlo similar para determinar la interferencia ocasionada a los satélites de retransmisión de datos que reciben en la banda 2200-2290 MHz. Se utilizaron hipótesis idénticas en lo que concierne a las características y el despliegue de los sistemas de radioenlace punto a punto que utilizan antenas de elevada ganancia. El punto de partida del análisis es la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios por el DRS y el empleo en éste de antenas receptoras orientables de elevada ganancia. Por lo que hace al análisis, las variables independientes son la longitud del punto subsatelital del DRS geoestacionario (se supone que la inclinación orbital es nula) y los ángulos de balanceo y cabeceo de las antenas orientable. (Los ángulos de cabeceo y balanceo se definen en un sistema de coordenadas esféricas centrado en el DRS. El eje x se dirige hacia el centro de la Tierra, el eje y apunta en la dirección del vector de velocidad del satélite y el eje z es paralelo al eje de rotación de la Tierra. Definiendo el sistema de coordenadas locales de esta forma, la rotación en torno al eje x se denomina guiñada, la rotación en torno al eje y balanceo y la rotación en torno al eje z cabeceo.)

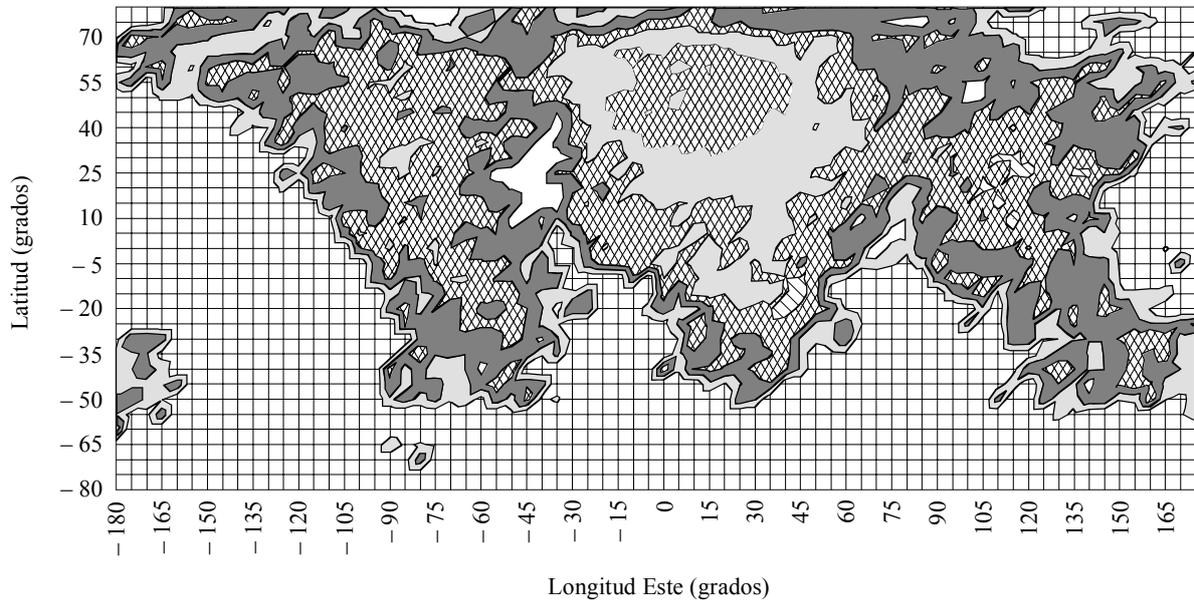
La red de DRS explotada por Estados Unidos de América consta de varios satélites DRS operacionales y de reserva en órbita situados entre otras posiciones orbitales en 41° , 46° , 171° y 174° de longitud Oeste. Estos satélites utilizan dos tipos de antenas de seguimiento de elevada ganancia: antena de acceso múltiple en banda S (SMA, *S-multiple access antenna*) con una ganancia en el eje de 28,0 dBi; y una antena de acceso único en banda S (SSA, *S-single access antenna*) con una ganancia en eje de 36,8 dBi.

Se supone que las antenas del DRS tienen diagramas de radiación fuera del eje conformes con los de la Recomendación UIT-R S.672 para antenas de satélite con simetría circular y niveles de primer lóbulo lateral inferiores en 20 dB a la ganancia máxima en el eje.

Las estaciones del servicio fijo se despliegan como se ha descrito anteriormente. La interferencia ocasionada a las antenas SMA y SSA por un DRS situado en una ubicación orbital específica se determina para cada ángulo de puntería de la antena dentro del intervalo de $\pm 13^\circ$ en balanceo y $\pm 11^\circ$ en cabeceo, en incrementos de un grado. La interferencia combinada de las emisiones de las estaciones de radioenlace visibles se calcula para cada posición del haz de SMA o SSA. La Fig. 2 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos para la antena SSA de un DRS en una ubicación orbital de 41° de longitud Oeste. En la Figura puede verse que se recibirá un nivel máximo de interferencia de $-150,7$ dB(W/kHz) y que la interferencia excederá de -170 dB(W/kHz) en un arco relativamente amplio de los ángulos de exploración. Hay que señalar una vez más que la distribución temporal de la interferencia no varía. Cada ángulo de puntería de la antena lleva asociado un determinado nivel de interferencia.

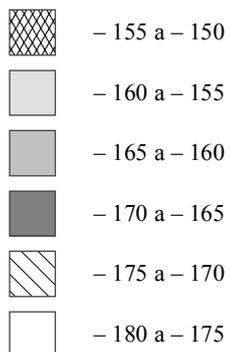
FIGURA 1

Diagrama de contorno de la distribución geográfica de la interferencia para satélites en altitudes orbitales de 300 km



1247-01

Altitud del vehículo espacial = 300 km
 Ganancia de antena del servicio fijo = 33,0 dB
 Densidad espectral de potencia en transmisión del servicio fijo = -35 dB(W/kHz)
 Densidad de potencia de interferencia máxima = -151,7 dB(W/kHz)



3 Técnicas de reducción de interferencias

Se han evaluado varias técnicas de reducción de interferencias que podría utilizar el servicio fijo. Las técnicas aplicables a las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz son las siguientes:

- control automático de la potencia del transmisor (CAPT),
- densidad espectral de potencia transmitida mínima posible,
- emplazamiento de la antena de transmisión,
- antenas de transmisión con diagramas de radiación adecuados.

Las técnicas aplicables a la banda superior (es decir, 2 200-2 290 MHz) son las siguientes:

- limitación de la densidad espectral de p.i.r.e. radiada hacia las ubicaciones orbitales de los satélites del DRS,
- asignación a estaciones del servicio fijo de canales para gran potencia en la parte inferior de la banda 2 200-2 290 MHz.

Actualmente están en estudio técnicas adecuadas de reducción de interferencias para los DRS.

3.1 Control automático de la potencia del transmisor

El CAPT es uno de los medios más eficaces para reducir el entorno de interferencias de los satélites que funcionan en una red del DRS. Cada reducción (dB) en la potencia nominal del transmisor transmitida a la antena da como resultado una reducción (dB) de la interferencia. Se ha comprobado que la utilización de hasta 20 dB de CAPT por todos los tipos de estaciones del servicio fijo produce una reducción importante y necesaria de las interferencias.

3.2 Densidad espectral de potencia transmitida

Los sistemas de recepción de las redes DRS son particularmente sensibles a las interferencias debido a sus pequeños márgenes de enlace (por ejemplo, 2 dB a 4 dB) utilizados en los enlaces espacio-espacio. Una pequeña densidad espectral de potencia transmitida constituye un medio eficaz para reducir el grado de interferencia.

3.3 Emplazamiento de la antena de transmisión

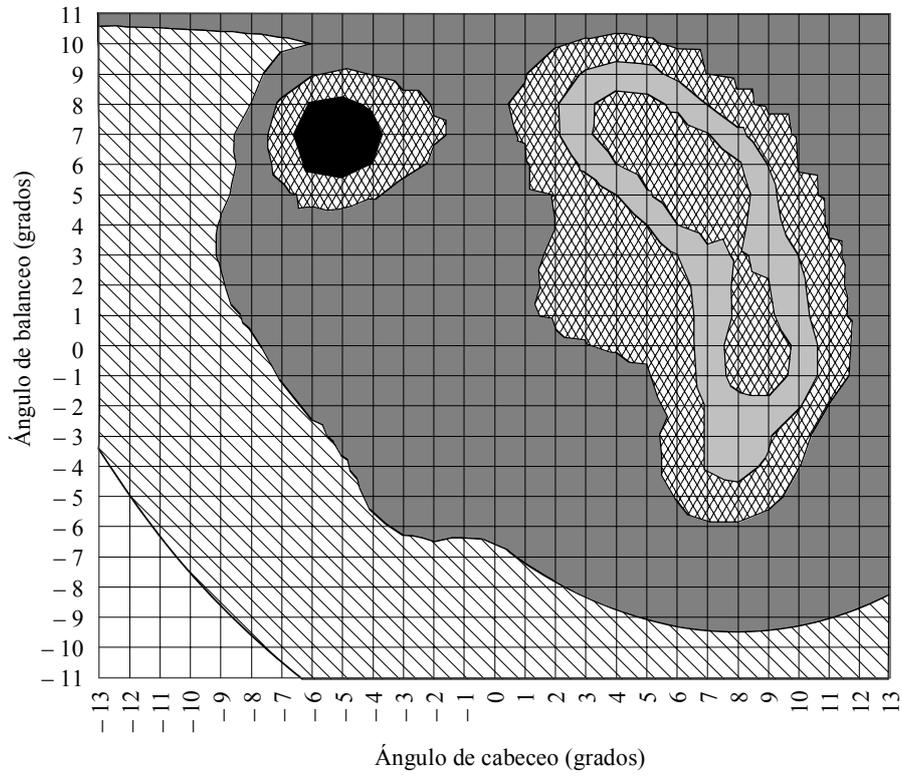
En un cierto número de casos, en particular en los sistemas punto a multipunto, las estaciones del servicio fijo estarán ubicadas en zonas de terrenos bajos, encerradas por edificios adyacentes o rodeadas de follaje. Estos factores tienden a introducir un exceso de pérdidas en el trayecto de propagación para ángulos de elevación bajos. En un estudio se ha estimado que existe una atenuación adicional de 20 dB para la elevación de 0°, que disminuye linealmente hasta 0 dB en 10°. Se supone que este mecanismo se aplica únicamente a las estaciones exteriores multipunto, en las cuales todos los demás enlaces están ubicados en medios elevados o no obstruidos.

Las antenas de ganancia baja, como las de placa plana, utilizadas en sistemas multipunto de baja potencia se instalarán generalmente sobre la pared de un edificio. Para estos casos, se supuso que la pérdida adicional debida a la obstrucción causada por los edificios se aplicaría a las fuentes interferentes ubicadas detrás del plano de la antena. Este caso se hace equivalente a una pérdida adicional de 20 dB para ángulos de llegada mayores de 90° a partir del eje de puntería.

Cuando la obstrucción causada por los edificios y las pérdidas debidas al follaje se producen simultáneamente, el aislamiento adicional estará limitado por los efectos de dispersión y difracción. En este caso, se supone que la pérdida total debida a ambos mecanismos está limitada a 30 dB.

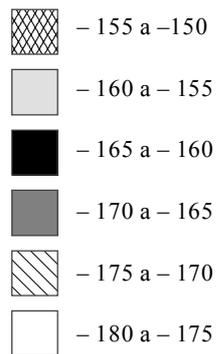
FIGURA 2

**Diagrama de contorno de la interferencia causada a la antena del DRS
en función de los ángulos de balanceo y cabeceo:
DRS a 41° longitud Oeste; y la SSA**



Longitud del DRS = $-41,0^\circ$
 Latitud del DRS = $0,0^\circ$
 Ganancia de antena del servicio fijo = 33,0 dB
 Interferencia máxima causada a la SSA = $-150,7$ dB(W/kHz)

1247-02



3.4 Diagramas de radiación de la antena de transmisión

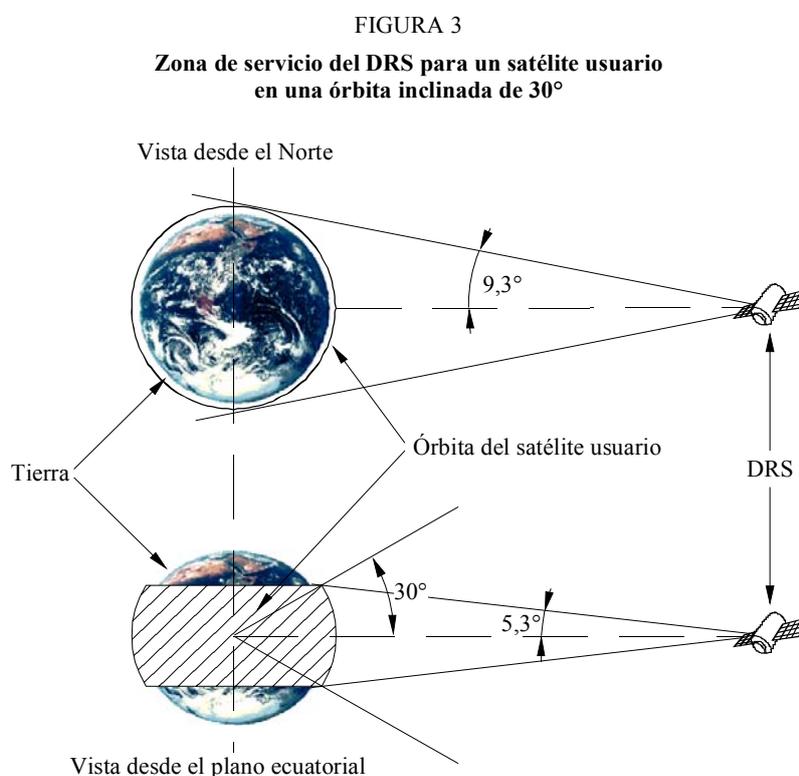
Los diagramas de radiación de la antena de transmisión de las estaciones del servicio fijo afectan la magnitud de las interferencias. La utilización de antenas que cumplan o mejoren lo especificado en la Recomendación UIT-R F.699 reducirá la presencia de interferencias.

3.5 Densidad espectral de p.i.r.e. radiada hacia las ubicaciones orbitales de los DRS

Es necesario especificar la densidad espectral de p.i.r.e. de una estación de transmisión del servicio fijo radiada hacia una antena de recepción del DRS geostacionario que funcione en la banda 2200-2290 MHz para asegurar que la interferencia no excede los criterios de compartición indicados en la Recomendación UIT-R SA.1274 (es decir, -147 dB(W/MHz) durante no más del 0,1% del tiempo). El valor adecuado de la densidad espectral de p.i.r.e. puede determinarse del modo siguiente. Supongamos que la zona de servicio de un haz de antena del DRS está limitada a un rectángulo de 20° en la dirección Este-Oeste y de 12° en la dirección Norte-Sur, como se indica en la Fig. 3. Suponiendo que sea uniforme la probabilidad de que el satélite usuario ocupe cualquier posición dentro de la zona de servicio, el porcentaje del tiempo durante el que una antena DRS apuntará hacia una estación específica del servicio fijo es la relación entre la zona puntual del haz de antena del DRS y el área de la zona de servicio del mismo. Una probabilidad de interferencia de 0,1% implica una anchura de banda de antena DRS de $0,3^\circ$. Para una antena del DRS con una ganancia de 36 dBi, la ganancia a $0,3^\circ$ con respecto al eje de puntería será aproximadamente la misma que la ganancia en el eje de puntería. Teniendo en cuenta ambas hipótesis, la densidad espectral de p.i.r.e. radiada hacia un DRS geostacionario por una única estación del servicio fijo no debe exceder:

$$p.i.r.e. \leq -147 + 191 - 36 + 3 - 3 = +8 \text{ dB(W/MHz)}$$

donde -147 dB(W/MHz) es el valor del criterio de compartición, 191 dB es la pérdida en el espacio libre, 36 dBi es la ganancia en el eje de puntería de la antena del DRS y 3 dB es un margen para la discriminación de polarización entre las antenas del DRS y del servicio fijo. Se ha supuesto que la interferencia básica de los sistemas del servicio fijo y móvil son iguales a la interferencia procedente de una sola fuente en el caso más desfavorable y se ha incluido un factor de 3 dB.



3.6 Asignaciones de canales a estaciones del servicio fijo en la banda 2 200-2 290 MHz

Los sistemas DRS están diseñados para aceptar la anchura de banda total entre 2 200 y 2 290 MHz. La mayoría de los vehículos espaciales del DRS funcionan actualmente en la parte superior de la banda, unos pocos en la mitad y al menos uno en la parte inferior. Se prevé que en el próximo decenio a la mayoría de los usuarios, que no necesiten un enlace de acceso múltiple, se les asignarán frecuencias en la parte media de la banda. (La distribución de las asignaciones de frecuencia para satélites que funcionan en la red en tierra es bastante diferente.)

Se espera que sólo unos pocos usuarios del DRS ocuparán la parte inferior de la banda. Esto podría ofrecer cierta flexibilidad al asignar transmisiones del servicio fijo de gran potencia que de otro modo serían incompatibles con los criterios de compartición del DRS para la parte inferior de la banda.

3.7 Consideraciones relativas a la densidad espectral de p.i.r.e. para sistemas punto a multipunto

Se ha recibido un cierto número de contribuciones relativas a las características de transmisión de los sistemas punto a multipunto (P-MP). En un país se han fabricado por lo menos 400 sistemas con un total de unas 10 000 estaciones que funcionan en densidades espectrales de p.i.r.e. comprendidas entre 4 y 7 dB(W/MHz) para las estaciones centrales y entre 11 y 19 dB(W/MHz) para las estaciones exteriores. Estos sistemas funcionan en las bandas de frecuencias 1 427-1 530 MHz (25%), 2 025-2 300 MHz (5%) y 2 300-2 655 MHz (70%) y se prevé que las características de los nuevos sistemas de 2 GHz serán similares. Otras contribuciones relativas a las características de los sistemas P-MP especifican valores entre -10 y 12 dB(W/MHz) para estaciones centrales y entre 8 y 12 dB(W/MHz) para estaciones exteriores. Por consiguiente, sin la técnica CAPT, la gama de densidad de p.i.r.e. para las estaciones centrales está comprendida entre -10 y 12 dB(W/MHz) y para las estaciones exteriores entre 8 y 19 dB(W/MHz). Con un CAPT mínimo de 10 dB, los valores de densidad de p.i.r.e. de aproximadamente 5 dB(W/MHz) cumplirían sin duda los requisitos de potencia para transmisión de estaciones centrales y también, en gran medida, para estaciones exteriores.

Con respecto a los sistemas AMDT de baja densidad y alta potencia, se prevé que la carga media en las estaciones exteriores sea del orden del 40% de su capacidad, lo cual permitiría incrementar la densidad de p.i.r.e. máxima en una estación exterior en unos 4 a 9 dB(W/MHz). Para un exceso de carga media de 4%, el incremento aceptable puede basarse en la relación entre el número real de abonados por estación central y el número máximo de abonados.

4 Resumen

La presencia acumulada de interferencias que experimentan los vehículos espaciales, teniendo en cuenta las técnicas de reducción identificadas, adquiere un interés esencial. El Cuadro 1 ofrece un panorama general de la situación de compartición en la banda 2 025-2 110 MHz para un satélite en órbita de 300 km y del efecto de diversas técnicas de reducción de interferencias. Los sistemas de relevadores radioeléctricos punto a punto (P-P) tienen niveles de potencia similares en comparación con los sistemas P-MP de alta potencia y los resultados, suponiendo que existe casi el mismo número de estaciones, serán aproximadamente los mismos. La situación respecto a las interferencias es menos importante si aumentan las alturas orbitales.

CUADRO 1

Resumen de la eficacia de las técnicas de reducción de interferencias aplicables a satélites en órbita baja que funcionan en la red espacial, a una altitud orbital de 300 km, y que reciben en la banda 2 025-2 100 MHz

	Sistemas de relevadores radioeléctricos P-P	Sistemas de alta potencia ⁽¹⁾ P-MP	Sistemas de baja potencia ⁽²⁾ P-MP
Número previsto de instalaciones en el próximo decenio por MHz (en todo el mundo)	5 000	5 000	500 000
Nivel de interferencia media acumulada (dB(W/MHz))	-139	-39	-132
Exceso respecto a los criterios de compartición (-147 dB(W/MHz))	8	8	15
Efecto previsto de la reducción media de potencia debida al CAPT (dB)	10	10	10
Efecto del aumento de la densidad de flujo de potencia del DRS hacia el satélite en órbita baja (dB)	6	6	6
Exceso del nivel de compartición previsto utilizando las medidas precedentes (dB)	-8	-8	-1

(1) Baja densidad.

(2) Alta densidad.

El control automático de la potencia de las estaciones del servicio fijo tiene un efecto positivo importante sobre los niveles de interferencia acumulada en los satélites. La reducción de la interferencia es prácticamente proporcional al nivel medio por el cual se reduce la potencia en todos los enlaces. Por consiguiente, se recomienda vivamente la utilización, siempre que sea posible del control automático de potencia. En general, los niveles de potencia deben ser tan bajos como sea técnicamente posible, dado que existe un efecto directo sobre los niveles de interferencia.

La relajación de los requisitos de protección de los DRS en 4 dB tiene evidentemente el mismo efecto para todos los tipos de sistemas del servicio fijo y contribuye significativamente a establecer un entorno de compartición razonable.

El Cuadro 2 ofrece un panorama general de la situación de compartición de los DRS geostacionarios y los efectos previstos de las diversas técnicas de reducción de interferencias. Los sistemas de relevadores radioeléctricos P-P tienen niveles de potencia similares a los de los sistemas P-MP de alta potencia, pero su número es significativamente más alto.

El control automático de la potencia de las estaciones del servicio fijo reduce significativamente los niveles de interferencia acumulada en los satélites y debe aplicarse siempre que sea posible. En general, los niveles de potencia deben ser tan bajos como sea técnicamente posible dado que existe un efecto directo sobre los niveles de interferencia. La densidad espectral de potencia debe ser lo más baja posible. Desde el punto de vista de la interferencia, son preferibles las transmisiones de alta velocidad de datos.

La relajación de los requisitos de protección de los DRS en 4 dB contribuye también a un posible aumento de la compartición.

CUADRO 2

**Resumen de la eficacia de las técnicas de reducción de interferencias aplicables
a los DRS geoestacionarios y que reciben en la banda 2 200-2 290 MHz**

	Sistemas de relevadores radioeléctricos P-P	Sistemas de alta potencia ⁽¹⁾ P-MP	Sistemas de baja potencia ⁽²⁾ P-MP
Número previsto de instalaciones en el próximo decenio por MHz (en todo el mundo)	12 000	5 000	500 000
Nivel de interferencia media acumulada (dB(W/MHz))	-132	-136	-129
Exceso respecto a los criterios de compartición (-147 dB(W/MHz))	15	11	18
Efecto previsto de la reducción media de potencia debida al CAPT (dB)	10	10	10
Efecto del aumento de la densidad de flujo de potencia del satélite de órbita baja hacia el DRS (dB)	3	3	3
Efecto de la variación de puntería de la antena respecto a la órbita geoestacionaria	3	2	1
Exceso del nivel de compartición previsto utilizando las medidas precedentes (dB)	-1	-4	4

(1) Baja densidad.

(2) Alta densidad.

El cambio de puntería de la antena puede reducir el nivel de interferencia hasta en 35 dB para la antena de 2,4 m. Debe considerarse como mínimo un ángulo de desviación de 4° lo que da como resultado una atenuación de la interferencia en 12 dB respecto al nivel máximo. Se evita así la interferencia del haz principal de una estación P-P típica del servicio fijo de 2,4 m. Es evidente que conviene aumentar el desplazamiento de la antena, aunque la atenuación adicional en función del ángulo de desviación se reduce significativamente. No obstante, se reconoce que el desplazamiento tiene sólo un efecto limitado dado que, en muchos casos, no será posible aplicarlo en sistemas punto a multipunto. Las estaciones centrales suelen tener un diagrama de antena omnidireccional y las estaciones exteriores no tienen otra alternativa que apuntar hacia la estación central, independientemente de la constelación resultante.

El caso más importante parece ser el del sistema P-MP de alta densidad y baja potencia. Cabe destacar que el efecto de la atenuación a lo largo del trayecto y del emplazamiento de estaciones P-MP (véase el § 3.3) reducirá más en la práctica la posible interferencia de dichos sistemas. Puede considerarse que la banda 2 200-2 290 MHz es más vulnerable que la banda 2 025-2 110 MHz.

Cabe destacar también que los sistemas del servicio fijo precedentes se han evaluado de forma exclusiva. Al calcular el nivel general de interferencias es necesario tener en cuenta el efecto acumulado.

Anexo 2

Aplicación de la Recomendación en la planificación y el diseño de nuevos sistemas en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz

1 Introducción

Este Anexo tiene por objeto presentar informaciones que faciliten la aplicación de esta Recomendación para planificar y diseñar nuevos sistemas en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz, compartidas con los SIE, SOE y SETS (servicios científicos espaciales).

2 Requisitos generales

El *recomienda* 1 de esta Recomendación especifica los requisitos generales aplicables al servicio fijo en lo que se refiere al CAPT, densidad espectral de potencia transmitida y diagramas de radiación de la antena de transmisión. Dichos requisitos contemplan la difícil situación de compartición producida entre el servicio fijo y los servicios científicos espaciales en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz.

2.1 CAPT

Toda vez que sea posible, el transmisor del sistema del servicio fijo debería utilizar un CAPT tal que la potencia media se encuentre por lo menos 10 dB por debajo de la potencia transmisora máxima.

Ha de observarse que el *recomienda* 2.1 se aplica a los transmisores que emplean CAPT como una excepción del *recomienda* 2.

2.2 Densidad espectral de potencia transmitida

El transmisor del sistema del servicio fijo debería utilizar la menor densidad espectral de potencia transmitida posible. Este requisito puede aplicarse a cualquier transmisor del servicio fijo, pero es particularmente importante en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz.

2.3 Diagramas de radiación de la antena de transmisión

Toda vez que sea posible, el sistema del servicio fijo debería utilizar antenas de transmisión con buenos diagramas de radiación, teniendo en cuenta las disposiciones de la Recomendación UIT-R F.699.

El *recomienda* 2.1 establece el máximo de densidad espectral de p.i.r.e. de las estaciones del sistema del servicio fijo P-P dirigidas a ciertas posiciones de DRS geoestacionarios. Los diagramas de radiación de antena son un elemento esencial para determinar dicha densidad espectral de p.i.r.e.

3 Estaciones del sistema del servicio fijo P-P

El *recomienda* 2 establece los límites de las estaciones del sistema del servicio fijo P-P que funcionan en la banda 2 200-2 290 MHz con el fin de proteger las posiciones de DRS geoestacionarios que se especifican como ubicaciones de DRS existentes o previstas en la Recomendación UIT-R SA.1275.

Este requisito se aplica también a los enlaces P-P entre sistemas P-MP o dentro de los mismos, así como a estaciones terminales de sistemas P-MP que emplean antenas direccionales con una ganancia máxima superior a 14 dBi (véanse las Notas 1 y 3 del texto principal).

Obsérvese también que el *recomienda 2* no se aplica al sistema del servicio fijo que funciona en la banda 2 025-2 110 MHz, ya que principalmente la utilización de la banda 2 200-2 290 MHz se prevé para la recepción en los DRS (véase la Recomendación UIT-R SA.1155).

3.1 Densidad espectral de p.i.r.e. radiada hacia las ubicaciones orbitales de los DRS

En la medida de lo posible, las estaciones del sistema del servicio fijo P-P que funcionan en la banda 2 200-2 290 MHz deberían evitar la radiación de una densidad espectral de p.i.r.e. mayor que +8 dB(W/MHz) hacia las posiciones de los DRS geostacionarios especificadas (véase el *recomienda 2*).

La densidad espectral de p.i.r.e. radiada hacia una posición DRS geostacionario debería calcularse como el producto de la densidad espectral de potencia transmitida (en la entrada de la antena) y la ganancia de la antena hacia la ubicación del DRS.

A los efectos de estimar dicha ganancia de antena, es necesario calcular los ángulos de separación entre los haces de la antena transmisora del servicio fijo y las posiciones de los DRS geostacionarios y suponer ciertos diagramas de radiación de antena.

El método de cálculo de los ángulos de separación se presenta en el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1249. Tiene en cuenta los efectos de la refracción atmosférica y el horizonte local.

De estar disponible, el diagrama de radiación de antena utilizado (que representa la envoltura de cresta de los lóbulos laterales) debería utilizarse para determinar la ganancia de antena correspondiente. En ausencia de estos datos, debería emplearse el diagrama de radiación de referencia de la Recomendación UIT-R F.699.

3.2 Transmisores que emplean CAPT

La densidad espectral de p.i.r.e. de las estaciones del sistema del servicio fijo que funcionan en la banda 2 200-2 290 MHz y emplean CAPT puede aumentar por encima de +8 dB(W/MHz) hacia la posición del DRS geostacionario especificado durante menos de 0,1% del mes (véase el *recomienda 2.1*).

No obstante, la Nota 8 del texto principal reconoce que algunos sistemas que utilizan activación del CAPT por condiciones del desvanecimiento profundo pueden tener dificultades para cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento en condiciones de desvanecimiento ligero, ya que el restablecimiento de la calidad de funcionamiento durante esos desvanecimientos ligeros puede exigir la activación del CAPT durante porcentajes de tiempo superiores al 0,1% del mes. Por consiguiente, la Nota 8 establece un requisito tolerante de que la densidad espectral de p.i.r.e. (hacia la posición del DRS geostacionario especificado) de las estaciones al sistema del servicio fijo en la parte inferior de la banda 2 200-2 290 MHz, de preferencia en la gama 2 200-2 245 MHz, que emplean CAPT, podría aumentar por encima de +8 dB(W/MHz) durante menos del 5% del mes, a fin de restaurar la calidad de funcionamiento durante eventos de desvanecimiento ligero, siempre que el porcentaje de tiempo en que se sobrepase +11 dB(W/MHz) sea inferior a menos 0,1%.

3.3 Casos excepcionales

Las estaciones del sistema del servicio fijo que no están en condiciones de satisfacer el *recomienda 2* deberían dirigirse hacia la parte inferior de la banda 2 200-2 290 MHz (véase el *recomienda 2.2*).

Esto se debe principalmente a que la utilización de la parte superior de la banda 2 200-2 290 MHz se prevé para la recepción en los DRS.

4 Estaciones del sistema del servicio fijo P-MP

4.1 Densidad de p.i.r.e.

Las estaciones al sistema del servicio fijo P-MP en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz deberían, toda vez que sea posible, evitar la radiación de una densidad de p.i.r.e. por enlace que sobrepase 5 dB(W/MHz) para las estaciones centrales y terminales de alta potencia/sistemas de baja densidad durante más del 0,1% del mes, teniendo en cuenta el CAPT (véase el *recomienda 3.1*).

Ha de observarse que el *recomienda 2* se aplica a enlaces P-P entre sistemas P-MP o dentro de los mismos, así como a estaciones exteriores y sistemas P-MP que emplean antenas direccionales con una ganancia máxima superior a 14 dBi (véanse las Notas 1 y 3 del texto principal).

La Nota 4 del texto principal señala que, en un sistema de alta potencia/baja densidad P-MP que funcione en modos de transmisión intermitentes tales como AMDT, las estaciones exteriores pueden aumentar los niveles de densidad de p.i.r.e. por un factor correspondiente al número de abonados conectados a dichas estaciones exteriores pertenecientes a una estación central, hasta un máximo de 9 dB(W/MHz) (véase el § 3.7 del Anexo 1).

La Nota 5 del texto principal menciona los casos de sistemas de baja potencia/alta densidad.

4.2 Antenas transmisoras omnidireccionales de estaciones centrales

Los sistemas P-MP deberían utilizar en la estación central antenas transmisoras omnidireccionales con ganancia mínima por encima del plano del horizonte (véase el *recomienda 3.2*).
