

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1154^{*,**}

**Disposiciones para proteger los servicios de investigación espacial (IE),
operaciones espaciales (OE) y exploración de la Tierra por
satélite (ETS) y facilitar la compartición con el
servicio móvil en las bandas 2 025-2 110 MHz
y 2 200-2 290 MHz**

(1995)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz están atribuidas a título primario a tres de los servicios científicos espaciales (IE, OE, ETS), al servicio fijo y al servicio móvil, con sujeción a las disposiciones de los números 5.391 y 5.392 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- b) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (CAMR-92) (Málaga-Torremolinos, 1992), en su Resolución N.º 211, invitó al ex CCIR a seguir estudiando disposiciones idóneas para proteger a los servicios espaciales que funcionan en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz de la interferencia perjudicial causada por emisiones de estaciones del servicio móvil y a informar de los resultados de esos estudios a la próxima conferencia competente;
- c) que las estaciones espaciales en órbita terrestre baja (OTB) utilizan cada vez más los servicios IE, OE y ETS en estas bandas de frecuencias;
- d) que la introducción de futuros sistemas móviles terrestres de alta densidad o convencionales en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz ocasionaría interferencias inadmisibles a los servicios IE, OE y ETS (en el Anexo 1 se proporciona más amplia información a este respecto);
- e) que estudios efectuados indican que determinados sistemas móviles de baja densidad, como los descritos en el Anexo 2, podrían compartir las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz con los servicios IE, OE y ETS;
- f) que en algunos países los servicios científicos espaciales han compartido frecuencias con éxito, durante muchos años, con los sistemas móviles de periodismo electrónico de baja densidad (véase el Anexo 3) y los sistemas móviles de telemedida aeronáutica (véase el Anexo 4) sin restricciones, pero que éstas pueden necesitarse en el futuro habida cuenta de la tasa de crecimiento prevista de estos sistemas;
- g) que las actividades de los servicios científicos espaciales en la banda 2 200-2 290 MHz son más vulnerables a la interferencia que las desarrolladas en la banda 2 025-2 110 MHz dadas las antenas de elevada ganancia de los satélites geoestacionarios de retransmisión de datos (data relay satellite – DRS) que están orientadas hacia la Tierra en las operaciones de seguimiento de un satélite en órbita terrestre baja;
- h) que de los tres servicios científicos espaciales, el servicio IE es el que requiere criterios de protección más estrictos, que proporcionan también protección suficiente a los servicios OE y ETS;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 8 y 9 de Radiocomunicaciones.

** La Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2003 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

- j) que en la Recomendación UIT-R SA.609 (§ 1, 1.1, 1.2 y 2) se especifican los criterios de protección para el servicio IE;
- k) que los criterios de protección de la Recomendación UIT-R SA.609 se han aplicado repetidamente en los estudios de compartición y gozan de amplia aceptación;
- l) que los servicios IE, OE y ETS utilizan las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz para radiocomunicaciones Tierra-espacio, espacio-Tierra y espacio-espacio. Los enlaces espacio-espacio incluyen típicamente el uso de un DRS, según lo descrito en el sistema ficticio de referencia de Recomendaciones UIT-R SA.1020 y UIT-R SA.1018. Los criterios de compartición han de tener en cuenta las necesidades de protección de los enlaces de radiocomunicaciones DRS que funcionen en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz;
- m) que para la protección de los servicios IE, OE y ETS en los enlaces Tierra-espacio y espacio-Tierra, se estima suficiente, en la mayoría de los casos, una relación N/I de 6 dB, resultante en una degradación de 1 dB;
- n) que, dados los márgenes típicamente bajos de los enlaces espacio-espacio, de 2 dB e inferiores, se estima necesaria para los enlaces espacio-espacio de los DRS una relación N/I de 10 dB, resultante en una degradación de 0,4 dB;
- o) que las bandas de que se trata son compartidas con el servicio fijo y el servicio móvil. Se supone que cada servicio contribuye la mitad de la interferencia total al satélite. Dada la coordinación prevista, se supone asimismo que sólo uno de los servicios interferirá con una estación terrena;
- p) que los satélites DRS están generalmente situados en la órbita de los satélites geoestacionarios (OGE);
- q) que la banda 2 025-2 110 MHz se emplea para los enlaces Tierra-espacio de IE, OE y ETS establecidos tanto con satélites de órbita terrestre baja como con satélites geoestacionarios. Esta banda se utiliza también para enlaces IE, OE y ETS espacio-espacio, generalmente para radiocomunicaciones de satélites DRS a satélites de órbita terrestre baja;
- r) que la banda 2 200-2 290 MHz se utiliza para enlaces espacio-Tierra de los servicios IE, OE y ETS procedentes tanto de satélites de órbita terrestre baja como de satélites geoestacionarios. Esta banda es también empleada para enlaces espacio-espacio de los tres servicios citados, típicamente para radiocomunicaciones procedentes de satélites de órbita terrestre baja a satélites DRS;
- s) que los términos relativos a la densidad de los sistemas móviles se refieren al número de sistemas y a la distribución de la población de éstos,

reconociendo

1 que la especificación de un número máximo de estaciones móviles que funcionen en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz en todo el mundo, de modo tal que el nivel total de interferencia no rebase los criterios de compartición, puede constituir una solución técnica válida. No obstante, la aplicación de esa solución podría no resultar práctica,

reconociendo asimismo

1 que lo que facilita la compartición es una combinación particular de características técnicas y de explotación de determinados sistemas móviles, y que la compartición entre tales sistemas y los servicios IE, OE y ETS puede describirse tanto en términos cualitativos como cuantitativos,

recomienda

1 que para proteger a los servicios IE, OE y ETS de la interferencia total causada por las emisiones de los sistemas móviles en la banda 2025-2110 MHz, se consideren apropiadas las siguientes disposiciones:

1.1 que la interferencia total en los terminales de entrada del receptor de un satélite, no ha de rebasar, excepto en el caso de un enlace espacio-espacio, -180 dB(W/kHz) durante más del 0,1% del tiempo;

1.2 que en el caso de los enlaces espacio-espacio la interferencia total en los terminales de entrada del receptor del satélite no ha de rebasar -184 dB(W/kHz) durante más del 0,1% del tiempo;

2 que para proteger a los servicios IE, OE y ETS de la interferencia total causada por las emisiones de sistemas móviles en la banda 2200-2290 MHz, se consideren apropiadas las siguientes disposiciones:

2.1 que la interferencia total en los terminales de entrada del receptor de una estación terrena no ha de rebasar -216 dB(W/Hz) durante más del 0,1% del tiempo;

2.2 que la interferencia total en los terminales de entrada del receptor de un satélite DRS no ha de rebasar -184 dB(W/kHz) durante más del 0,1% del tiempo;

3 que no se introduzcan en las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz, sistemas móviles de alta densidad o de tipo convencional dado que causaría interferencia inadmisibles a los servicios IE, OE y ETS, como se confirma en el Anexo 1;

4 que los nuevos sistemas móviles se introduzcan de manera tal que su implantación a largo plazo en todo el mundo no cause niveles totales de interferencia superiores a los valores indicados en los § 1 y 2 anteriores;

5 que para la introducción de nuevos sistemas móviles, se prefieran parámetros técnicos y de explotación tales como bajas densidades espectrales de potencia, bajas densidades de la población de equipos en todo el mundo y transmisiones intermitentes (véase el Anexo 2);

6 que al examinar nuevos sistemas móviles de baja densidad para su introducción en la banda 2025-2110 MHz, se utilicen como orientación características técnicas y de explotación similares a las descritas en el Anexo 3;

7 que al examinar nuevos sistemas móviles de baja densidad para su introducción en la banda 2200-2290 MHz, se utilicen como orientación características técnicas y de explotación similares a las descritas en el Anexo 4.

Anexo 1

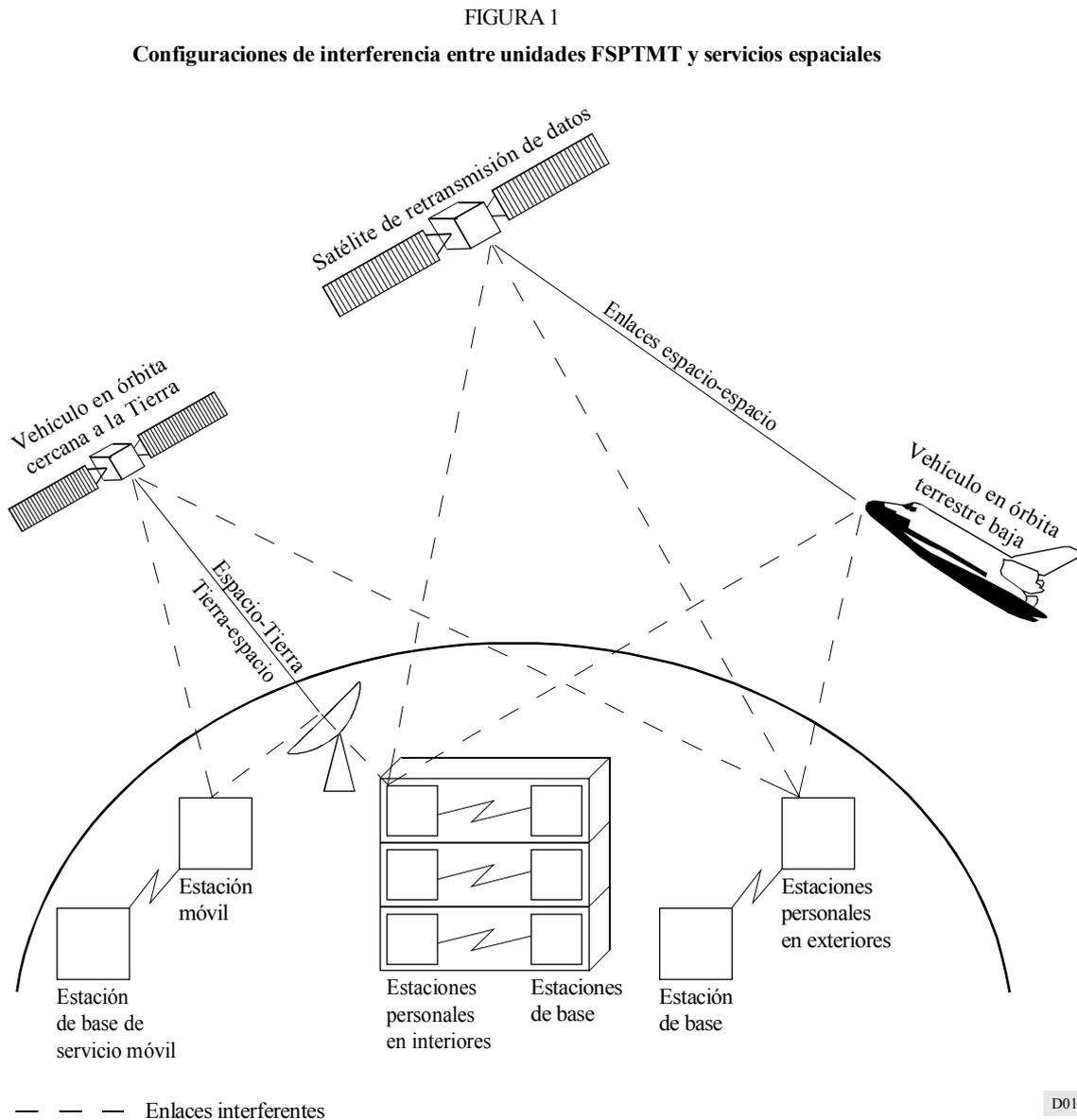
Estudio de la compatibilidad de los sistemas de investigación espacial/operaciones espaciales con los sistemas móviles terrestres de alta densidad

1 Introducción

No es viable la compartición entre los sistemas móviles terrestres de alta densidad y convencionales, por una parte, y los servicios espaciales, por otra. El presente anexo se basa en contribuciones que conducen a esta conclusión y proporcionan el análisis que la fundamenta. El sistema móvil considerado en este estudio es el futuro sistema público de comunicaciones móviles terrestres (FSPTMT). El modelo utilizado es también aplicable a los sistemas móviles de tipo convencional.

Las bandas 2025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz se utilizan intensamente en todo el mundo para las operaciones espaciales, la exploración de la Tierra por satélite y la investigación espacial, y existe gran número de acuerdos de apoyo recíproco entre los organismos espaciales en el ámbito internacional. Debido a las largas distancias entre los transmisores y los receptores, los niveles de las señales en estos últimos son muy bajos. Estos servicios son por ello muy sensibles a la interferencia y requieren elevados niveles de protección, especificados en el RR y en las Recomendaciones UIT-R.

En la Fig. 1 pueden verse los distintos enlaces considerados y las configuraciones de interferencia resultantes. Para las estaciones personales y móviles sólo se consideran los servicios vocales. La interferencia adicional que puedan causar las estaciones de base aún no ha sido estudiada.



Actualmente representa ya un reto para los encargados de la gestión de frecuencias la tarea de satisfacer nuevas solicitudes de asignación para los servicios espaciales con las atribuciones actuales, de manera de reducir al mínimo los efectos de interferencia a las asignaciones existentes. Así pues, la compartición dentro de un mismo servicio con usuarios adicionales es cada vez más difícil.

En el caso de los servicios móviles, los diagramas de antena son casi omnidireccionales y las decenas de millones de transmisores móviles que se prevén crearán un nivel de interferencia acumulativa muy elevado. Dado que las unidades FSPTMT son «móviles» por definición, la coordinación no es posible por razones obvias. Puede demostrarse, que para prácticamente todas las configuraciones consideradas, la compartición con estos sistemas móviles no es viable.

2 Aspectos relacionados con la reglamentación de las radiocomunicaciones y la ocupación de las bandas

Las bandas 2025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz están atribuidas a título primario en igualdad de condiciones a los servicios IE, OE y ETS y al servicio móvil en todas las regiones de la UIT.

Los niveles de interferencia máximos admisibles para las estaciones terrenas están definidos en el Cuadro 8b del Apéndice 7 al RR y en las Recomendaciones UIT-R SA.363 y UIT-R SA.609. Los diagramas de antena para las estaciones terrenas se basan en los diagramas de radiación especificados en el Anexo III del Apéndice 8 al RR. Los ángulos mínimos de elevación de las antenas de las estaciones terrenas se ajustan a lo dispuesto en los números 21.15 y 21.14 del RR. Los niveles de interferencia para los receptores de satélite se especifican en las Recomendaciones UIT-R SA.609 y UIT-R SA.363.

En la banda 2025-2 110 MHz existen actualmente más de 300 asignaciones. En la banda 2 200-2 290 MHz, el número de asignaciones es superior a 350. Para los enlaces espacio-espacio, hay en la actualidad seis atribuciones destinadas al sistema de retransmisión de datos, y varias adicionales en trámite para el programa internacional de estaciones espaciales, así como para los programas europeo y japonés de satélites de retransmisión de datos.

Es evidente que las bandas de que se trata son intensamente utilizadas por los servicios espaciales y que gran número de satélites y de estaciones terrenas resultarían afectados por servicios móviles terrestres que funcionasen en esas bandas de frecuencias.

3 Supuestos relativos a los sistemas de los servicios móviles terrestres (FSPTMT)

Se prevé una amplia variedad de servicios para los futuros sistemas de comunicaciones móviles. Uno de los servicios contemplados para su funcionamiento en las bandas próximas a 2 GHz es el futuro sistema público de telecomunicaciones móviles terrestres (FSPTMT). La anchura de banda prevista para estos servicios es de 230 MHz.

El FSPTMT se encuentra en la fase de planificación, y sólo se cuenta con cifras preliminares sobre las tasas de abonados, la densidad de tráfico y los niveles de potencia. La Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones formuló supuestos relativamente detallados sobre niveles de potencia, necesidades de anchura de banda, densidad de tráfico, etc. Se resumen los supuestos referentes a los sistemas en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Resumen de los supuestos referentes a los sistemas

	Estación móvil en exteriores	Estación personal en exteriores	Estación personal en edificios
Altura de la antena de la estación de base (m)	50	< 10	< 3
Densidad de tráfico en zona urbana (E/km ²)	500 (0,25)	1 500 (1,2)	20 000 (1,2)
Superficie de la célula (km ²)	0,94	0,016	0,0006
Anchura de banda dúplex por canal (kHz)	25	50	50
Tráfico por célula (E)	470	24	12
Número de canales por célula	493	34	23
Anchura de banda para los servicios vocales (MHz)	111	27	24
Gama de potencia de las estaciones (W)	1-5	0,02-0,05	0,003-0,01
Velocidad de codificación de las señales vocales (kbit/s)	8	(16)	(16)
Relación valor de cresta/valor medio del tráfico	(3)	3	(3)
Densidad de tráfico máxima por estación (E)	0,1 (0,04)	0,04 (0,1)	0,2 (0,1)
Tasa de abonados (penetración) (%)	50 (10)	80 (20)	(20)

En algunos casos, se halló que para una evaluación de la interferencia media, los supuestos del FSPTMT eran demasiado optimistas, en particular por lo que se refería a la densidad de tráfico y a la tasa de abonados. En su lugar se utilizaron los valores que figuran entre paréntesis. Con los datos originales del FSPTMT los valores de interferencia excesiva serían mayores. En los casos en los que no se disponía de datos se utilizaron para el cálculo las cifras que figuran entre paréntesis.

Sólo se tuvieron en cuenta los servicios vocales pero se prevé que los servicios no vocales producirán valores muy similares.

Los supuestos de densidad de tráfico para los análisis se basaron en cifras disponibles para Europa. La población del conjunto de países del Mercado Común se encuentra actualmente en torno a los 323 millones, en una superficie de 2,3 millones de km². Esto da un promedio de 140 habitantes por km², utilizado como base para el cálculo de la interferencia a las estaciones terrenas.

Los supuestos de densidad de tráfico para el escenario de interferencia a los receptores de satélite pueden obtenerse de manera análoga. Un satélite geoestacionario «ve» la superficie indicada en la Fig. 3, que tendrá aproximadamente 4 mil millones de habitantes en el año 2000. La altitud mínima de la órbita de un satélite es de 250 km. En la Fig. 4 se han señalado las superficies vistas por satélites en órbita a altitudes de 250 y 750 km, respectivamente. La zona de recepción de la interferencia para una órbita de 250 km es ya de 9,6 millones de km². La población de esta zona se estima en más de 600 millones de habitantes. En la Fig. 5 se indican las zonas de recepción de interferencia para órbitas de inclinación baja, en torno a los 29° que son características de las órbitas del tipo de la que recorre el transbordador espacial.

Se ha tenido en cuenta para todos los servicios FSPTMT la atenuación ambiental en los trayectos de transmisión a través de ventanas, paredes, tejados, edificios y árboles. Se han supuesto cifras de atenuación típicas para las ventanas (6,6 dB), las paredes y los tejados (27 dB). Se supuso que resultaría atenuada la señal de la mayoría de las unidades personales empleadas dentro de los

edificios, pero no de todas. Habrá un pequeño porcentaje de terminales que radiarán a través de ventanas abiertas o en balcones, terrazas u otros lugares al aire libre. Para este estudio, se supuso que la señal de alrededor del 5% de las unidades apenas resultaría atenuada y que la del 25% de las unidades sería atenuada por cristales. La interferencia causada por el restante 70% de las unidades se consideró insignificante. Se computó, por tanto, una atenuación media de 10 dB para las unidades personales en el interior de los edificios. Las señales procedentes de unidades personales en exteriores y de unidades móviles sólo resultarán atenuadas si atraviesan edificios y árboles. Esto sucede a menudo con ángulos de elevación bajos, pero es menos importante con ángulos mayores. Habida cuenta de que la principal interferencia procede de unidades próximas al punto subsatélite, lo que implica grandes ángulos de elevación, se prevé una atenuación media no mayor de 3 dB.

La interferencia causada por estaciones de base no se estudia en la presente Recomendación, ya que no se ha dispuesto de información técnica suficiente. Es evidente que debe preverse una adición del mismo orden de magnitud.

4 Protección necesaria para los servicios espaciales

4.1 Protección necesaria para las estaciones terrenas

Los niveles máximos de interferencia a los receptores de las estaciones terrenas dependen del servicio de que se trata y se ajustan a los valores del Cuadro 8b del Apéndice 7 al RR y a la Recomendación UIT-R SA.363. Estos valores y los ángulos de elevación mínimos correspondientes Θ_r son los siguientes:

1. Operaciones espaciales: $-184,0 \text{ dB(W/kHz)}$, $\Theta_r = 3^\circ$
2. Investigación espacial: $-216,0 \text{ dB(W/Hz)}$, $\Theta_r = 5^\circ$

Para las funciones típicas de apoyo general a las operaciones espaciales y a las misiones de investigación espacial hasta la altitud de la OSG y distancias mayores, se están empleando antenas con un diámetro comprendido entre 5,5 y 15 m. En la Fig. 2 pueden verse las características de ganancia de las antenas de las estaciones consideradas. Los diagramas de radiación se basan en el Anexo III del Apéndice 8 del RR.

4.2 Protección necesaria para los receptores de vehículos espaciales

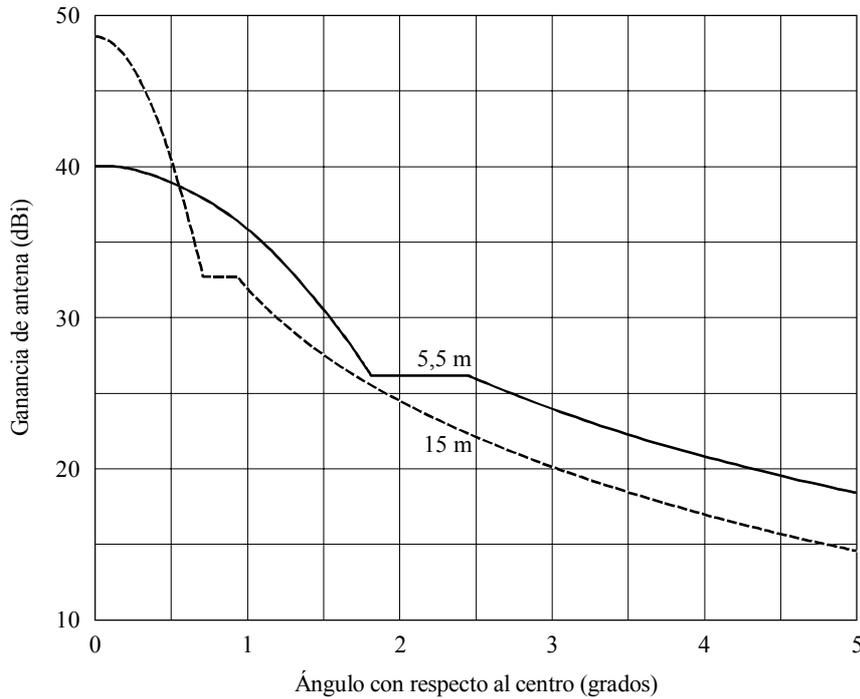
Las temperaturas de ruido típicas de los receptores de vehículos espaciales se sitúan en torno a 800 K lo que resulta en una densidad espectral de ruido de alrededor de -200 dB(W/Hz) . Algunas misiones críticas de investigación espacial requieren temperaturas de ruido limitadas a 600 K.

En la Recomendación UIT-R SA.609 se especifica que la interferencia no ha de rebasar un valor de -177 dB(W/kHz) en los terminales de entrada del receptor durante más del 0,1% del tiempo. Con los servicios fijo, móvil y espacial en esta banda, se supone que cada servicio contribuye la tercera parte de la interferencia total. Esto arroja -182 dB(W/kHz) , equivalentes a -212 dB(W/Hz) , como contribución de interferencia admisible de los servicios móviles. Esta cifra está en armonía con los criterios de protección recomendados en los § 1.1, 1.2 y 2.2.

La ganancia media de una antena cuasiomnidireccional se sitúa en torno a 0 dBi con mínimos que ocasionalmente rebasan -6 dBi . Esa antena debe poder establecer un enlace con el vehículo espacial en caso de emergencia o cuando no sea posible utilizar otras antenas por razones técnicas o de explotación, como sucede durante el lanzamiento y las primeras fases en órbita. Esto se aplica también a los satélites de comunicaciones. Con una antena de 0 dBi la interferencia causada por unidades móviles que puede admitirse a la entrada de la antena es, por tanto, de -212 dB(W/Hz) .

FIGURA 2

Características típicas de las antenas de las estaciones terrenas de sistemas de satélite



Frecuencia = 2,25 GHz

 $G_{min} = -6$ y -10 dBi

D02

Los requisitos son más estrictos para un enlace espacio-espacio, en el cual, por ejemplo, un satélite de retransmisión de datos orienta una antena de elevada ganancia a un satélite en órbita terrestre baja. Si se aplican los mismos supuestos antes indicados, pero se toma una ganancia de antena típica de 35 dBi, el nivel de interferencia admisible es de -247 dB(W/Hz) a la entrada de la antena.

En la Recomendación UIT-R SA.363 se especifica una relación de protección C/I de 20 dB para las operaciones espaciales. En los últimos años muchos organismos espaciales han introducido técnicas de codificación de canal a fin de reducir la potencia de transmisión, y reducir también, de tal manera, la interferencia a otros sistemas. Han de distinguirse dos casos, según que las transmisiones estén o no codificadas:

- Las transmisiones no codificadas requieren una relación E_s/N_0 de 9,6 dB para una tasa de errores en los bits de 10^{-5} . Si se añade un margen típico de 3 dB, la relación C/N necesaria es de 12,6 dB. La relación interferencia/ruido total I/N , es por consiguiente de $-7,4$ dB. Si se asigna un tercio de la interferencia total a los servicios móviles, se obtiene una relación I_m/N de $-12,4$ dB. Para una densidad de potencia de ruido típica de -200 dB(W/Hz), la interferencia admisible es $-212,4$ dB(W/Hz).
- Las transmisiones codificadas requieren una relación E_s/N_0 de 1,5 dB para una tasa de errores en los bits de 10^{-5} con la codificación de canal convolucional ordinaria. Si se añade un margen típico de 3 dB, la relación C/N necesaria es de 4,5 dB. La relación I/N es, por consiguiente, de $-15,5$ dB. Si se asigna un tercio de la interferencia total a los servicios móviles, se obtiene una relación I_m/N de $-20,5$ dB. Para una densidad de potencia de ruido típica de -200 dB(W/Hz), la interferencia admisible es $-217,5$ dB(W/Hz), es decir, 5 dB inferior al valor de protección de la Recomendación UIT-R SA.609.

Aunque las transmisiones codificadas exigen niveles de protección más elevados, a los efectos de este estudio se ha adoptado un criterio de protección de -212 dB(W/Hz), ya que es coherente con los valores especificados en las Recomendaciones UIT-R SA.609 y UIT-R SA.363.

5 Análisis de la interferencia

5.1 Enlace Tierra-espacio (2025-2 110 MHz)

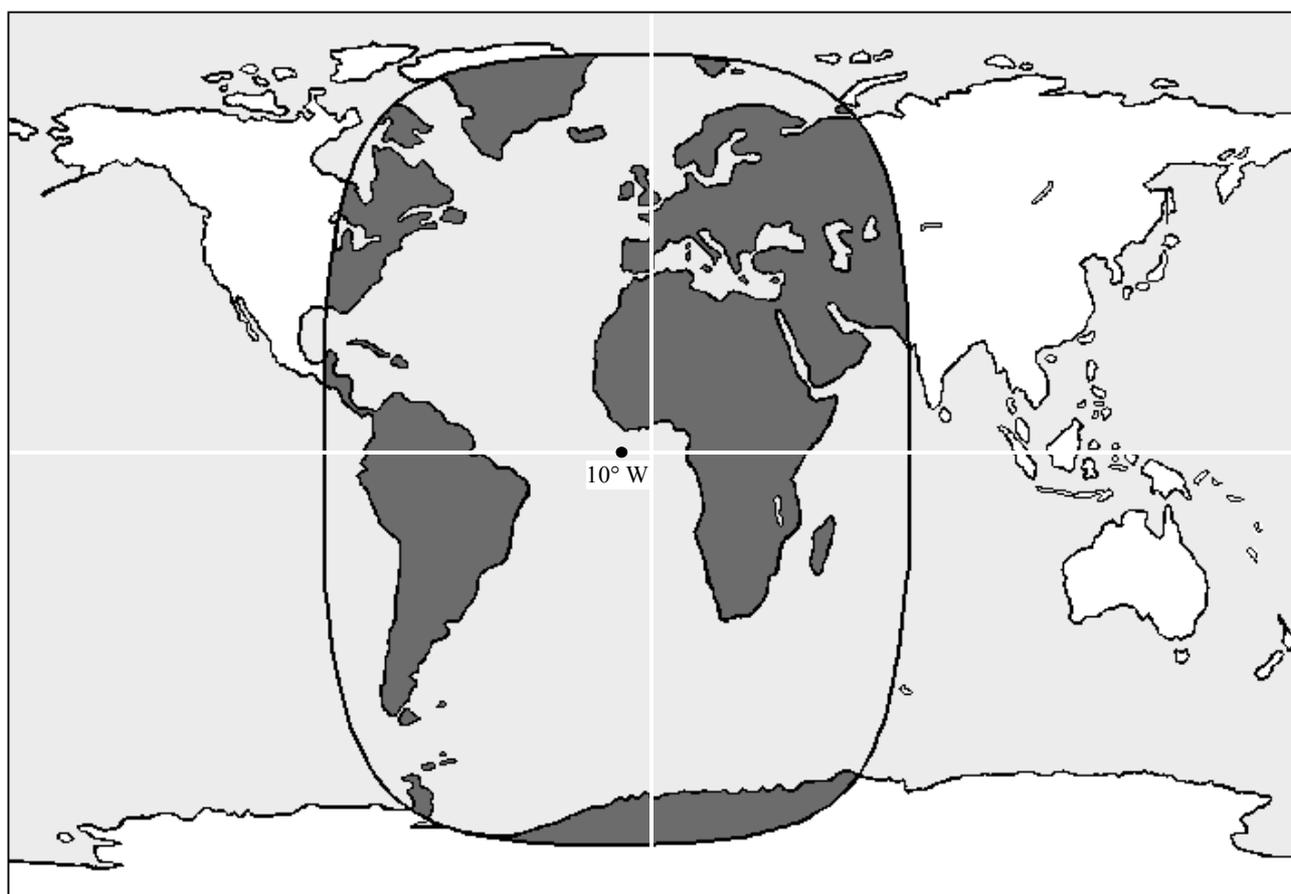
5.1.1 Interferencia causada al vehículo espacial

Los enlaces Tierra-espacio considerados en este análisis se basan en alturas orbitales de entre 250 y 36 000 km, ya que más del 90% de los vehículos espaciales funcionan en la órbita geoestacionaria o a altitudes menores.

En la Fig. 3 puede verse la zona de la que recibirá señales un satélite geoestacionario recibirá señales por medio de una antena cuasiomnidireccional. La posición del satélite, arbitrariamente elegida, es 10° W. Se estima que, en el caso más desfavorable, el satélite podría ver una zona en la que se encuentren el 70% de todos los terminales móviles de la Tierra.

FIGURA 3

Zona de recepción de interferencia para los satélites geoestacionarios

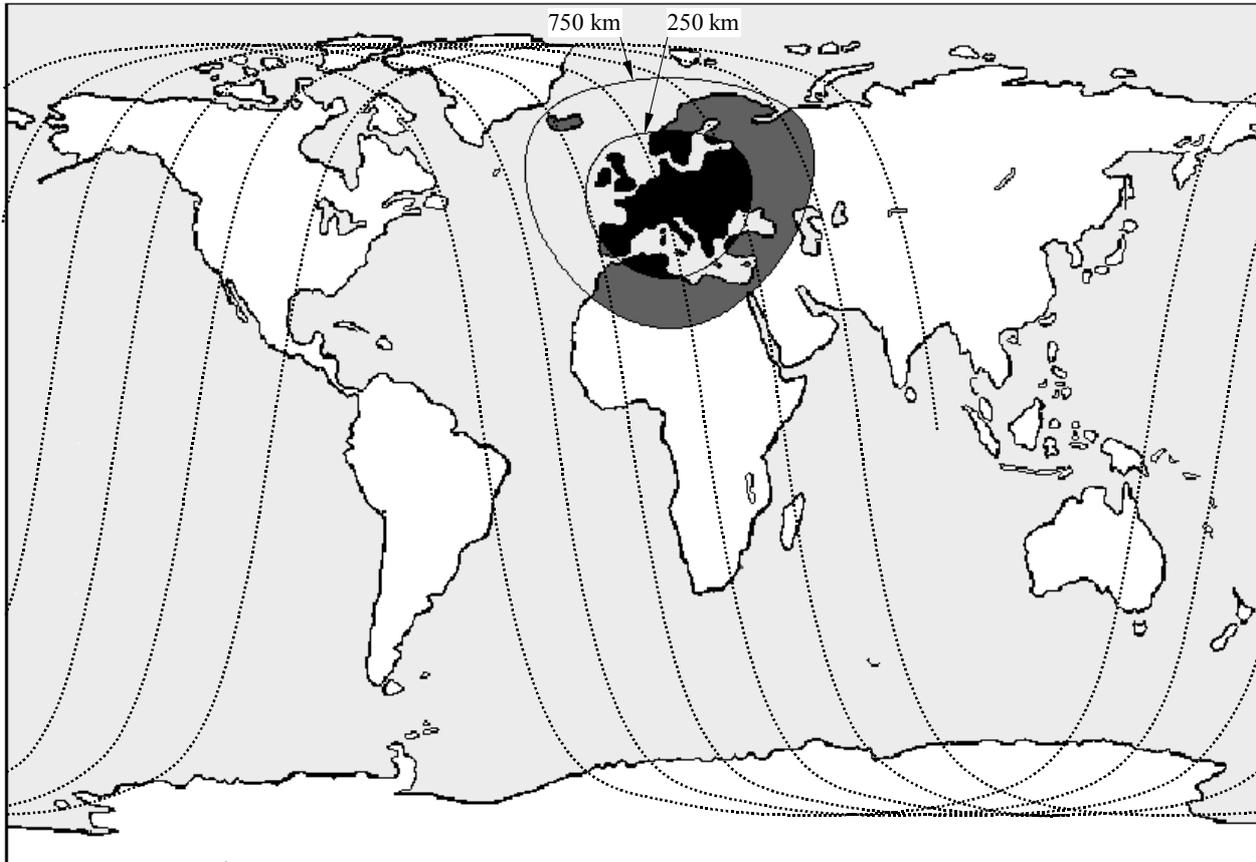


D03

En la Fig. 4 se indica la zona de la que recibirá señales un satélite en órbita terrestre baja, de una altitud comprendida entre 250 y 750 km. En este caso se ha supuesto que el satélite se encuentra encima del centro del continente europeo. La «ventana» resultante se desplaza a lo largo de una traza indicada por las líneas discontinuas. Es evidente que podría verse desde el satélite una zona muy extensa, donde podrían haber millones de estaciones móviles que estén transmitiendo.

En la Fig. 5 se ha representado la zona total desde la que recibirá interferencia un vehículo espacial tipo transbordador con una inclinación característica de 29° .

FIGURA 4
Zona de recepción de interferencia para los vehículos en órbita terrestre baja ($i = 98^\circ$)



D04

La zona de interferencia A_i está determinada por:

$$A_i = \frac{2\pi R^2 h}{R + h}$$

donde:

R : radio de la Tierra (6378 km)

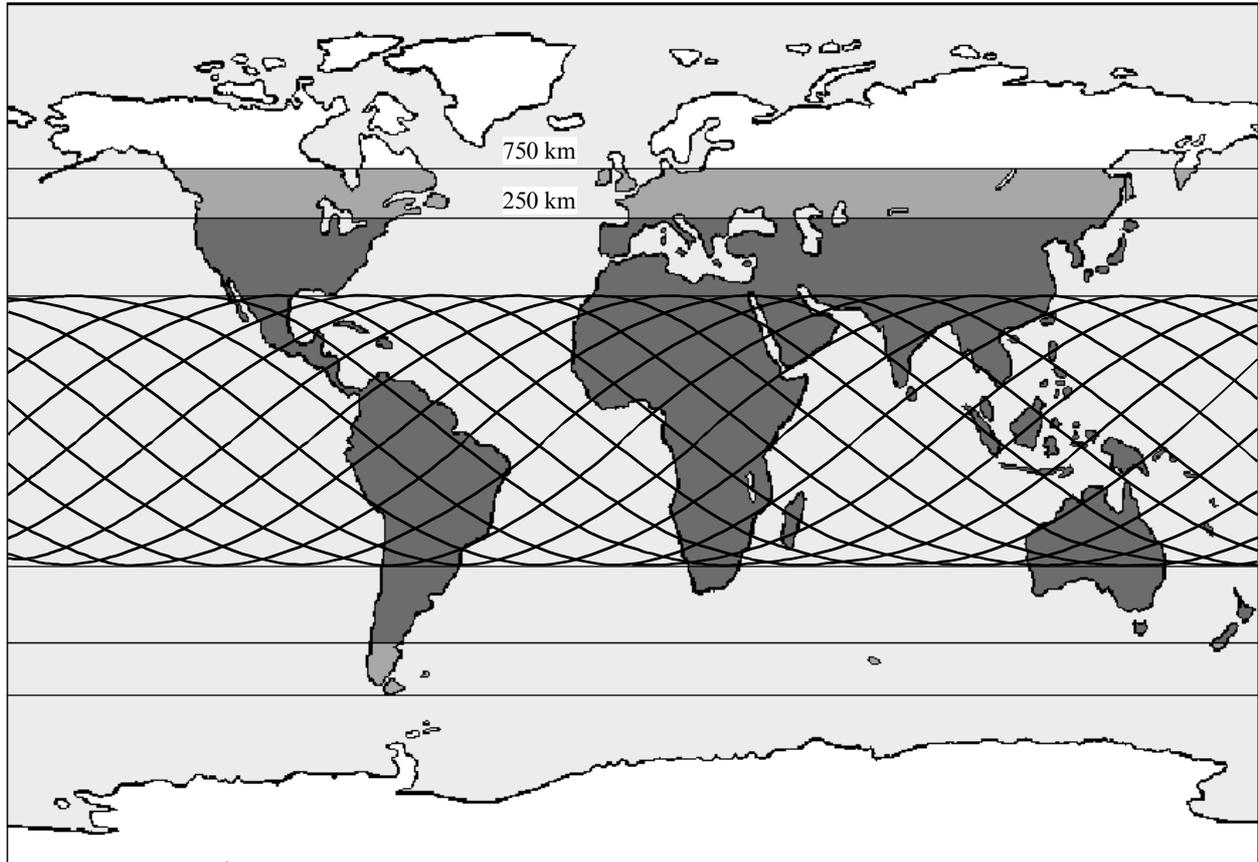
h : altitud de la órbita (250 a 36 000 km).

A una altitud de 250 km el vehículo espacial recibirá interferencia de una zona de 9,6 millones de km^2 . Esta cifra aumenta a 27 millones de km^2 en el caso de una altitud orbital de 750 km. La superficie máxima vista por un satélite geoestacionario es de 217 millones de km^2 .

El nivel de densidad espectral de interferencia, P_i , recibido por una antena espacial desde un transmisor móvil único puede calcularse del modo siguiente:

$$P_i = \frac{E_i c^2}{B_i (4\pi x f)^2}$$

FIGURA 5
Zona de recepción de interferencia para los vehículos en órbita terrestre baja ($i = 29^\circ$)



La interferencia acumulativa $P_{\Sigma i}$ de todos los transmisores móviles de la zona de interferencia viene dada por:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=h}^{d_m} \frac{n_a P_i B_i h^2 dA(x)}{B_m A_i x^2} dx = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m A_i} \int_{x=h}^{d_m} \frac{dA(x)}{x^2} dx$$

$$A(x) = \frac{\pi R (x^2 - h^2)}{R + h}$$

$$\frac{dA(x)}{dx} = \frac{2\pi R}{R + h} x$$

$$d_m = \sqrt{(R + h)^2 - R^2}$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m R h} [\ln(d_m) - \ln(h)]$$

donde:

P_i : densidad de potencia del transmisor interferente

E_i : p.i.r.e. del interferente

x : distancia al interferente

- f : frecuencia de transmisión
 n_a : número de transmisores móviles activos
 c : velocidad de la luz
 B_i : anchura de banda de un transmisor móvil
 B_m : anchura de banda del servicio móvil
 d_m : distancia máxima al transmisor interferente.

Para simplificar, se ha supuesto una distribución uniforme de los terminales activos en la anchura de banda disponible y en la zona de interferencia. En el Cuadro 2 se indican los supuestos detallados adoptados y los niveles de interferencia resultantes. Debe concluirse que la compartición es imposible para estos enlaces, ya que los niveles de interferencia son varios órdenes de magnitud mayores que los niveles admisibles.

5.1.2 Interferencia causada a las unidades móviles

Las unidades móviles recibirán interferencia perjudicial de una estación terrena transmisora si funcionan dentro de un radio determinado de esa estación. Los niveles máximos de la p.i.r.e. para las funciones de apoyo a satélites próximos a la Tierra están situados típicamente entre 66 y 78 dBW.

Teniendo en cuenta las ganancias de antena en la dirección horizontal indicadas en la Fig. 2 y el hecho de que una antena radia en principio en todas direcciones, con la especificación de ganancia más baja de -10 dBi hacia atrás (-6 dBi para una antena de 5,5 m), deben preverse en la dirección horizontal los niveles de p.i.r.e. en torno a la antena que se indican más adelante. Los niveles de densidad de p.i.r.e. dependen en gran medida de la velocidad de transmisión de datos. Para el servicio de operaciones espaciales, la velocidad de datos máxima es típicamente de algunos kbit/s mientras que en el servicio de investigaciones espaciales deben tenerse en cuenta por lo menos la gama de 1 kbit/s a 100 kbit/s.

Diámetro de la antena (m)	Gama de la p.i.r.e. (dBW)	Gama de la densidad de p.i.r.e. (dB(W/4 kHz))
5,5 (3°)	20-50	14-47
15 (3°)	19-50	13-47

Los niveles de protección de las unidades FSPTMT no se conocen, pero el sistema estará limitado por la autointerferencia y no por el ruido. Si se supone que son admisibles niveles de interferencia de alrededor de -150 dB(W/4 kHz), y suponiendo cierta pérdida adicional debida a la difracción de la señal, puede necesitarse una zona de protección de hasta 100 km para permitir el funcionamiento satisfactorio de las unidades móviles.

5.2 Enlace Tierra-espacio (2 200-2 290 MHz)

Para estos enlaces, debe distinguirse entre los distintos servicios espaciales. El más crítico es el de investigación espacial, pero los resultados en el caso de las operaciones espaciales y de la exploración de la Tierra son en realidad muy similares.

Es difícil formular supuestos sobre la distribución de los transmisores móviles en torno a una estación terrena de satélite, ya que éstos dependen en gran medida del emplazamiento de la estación. Se ha supuesto una distribución media basada en el número de habitantes de los países del Mercado Común Europeo. La densidad de población media es de 140 habitantes por km², con lo cual 323 millones de personas viven en 2,3 millones de km². La densidad de tráfico media resultante es de 2,8 E/km² para las estaciones personales y de 0,56 E/km² para las estaciones móviles.

CUADRO 2
Enlaces Tierra-espacio (2 025-2 110 MHz)

	Estación personal en interior		Estación personal en exterior		Estación móvil	
Altitud de la órbita del satélite (km)	250	36 000	250	36 000	250	36 000
p.i.r.e. de una unidad FSPTMT única (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,00	1,00
Anchura de banda del canal para las comunicaciones vocales (kHz)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
Densidad de p.i.r.e. de una unidad FSPTMT (dB(W/Hz))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Pérdida en el espacio (dispersión) (dB)	146,7	189,8	146,7	189,8	146,7	189,8
Interferencia causada por una unidad (dB(W/Hz))	-218,9	-262,1	-210,7	-253,8	-190,7	-233,8
Densidad de interferencia admisible (dB(W/Hz))	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0
Exceso de interferencia causada por una unidad (dB)	-6,9	-50,1	1,3	-41,8	21,3	-21,8
Zona de interferencia vista por el satélite (mill./km ²)	9,64	217,13	9,64	217,13	9,64	217,13
Número total de habitantes de la zona (mill.)	600	4 000	600	4 000	600	4 000
Porcentaje de abonados al servicio (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Número total medio de unidades por km ²	12,4	3,7	12,4	3,7	6,2	1,8
Porcentaje de unidades activas en la zona (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
Unidades activas simultáneamente en la zona (mill.)	12,0	80,0	12,0	80,0	2,4	16,0
Número medio de unidades activas por km ² (E/km ²)	1,24	0,37	1,24	0,37	0,25	0,07
Anchura de banda de servicio prevista (canales vocales) (MHz)	24	24	27	27	111	111
Número de unidades activas por canal	25 000	166 667	22 222	148 148	541	3 604
Atenuación ambiental (edificios, árboles) (dB)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Interferencia acumulativa de todas las unidades activas (dB(W/Hz))	-196	-221	-181	-206	-177	-202
Exceso medio sobre la interferencia admisible (dB)	16,0	-8,5	30,7	6,2	34,6	10,1
Aumento de la interferencia durante las crestas de actividad (dB)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Aumento de la interferencia con niveles de potencia más elevados (dB)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
Aumento de la interferencia en zonas de alta densidad (dB)	5,3	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0
Exceso sobre la interferencia admisible, en el caso más desfavorable (dB)	31,5	1,7	45,0	15,2	51,8	22,1

La interferencia se integra sobre una distancia que abarca de 1 a 10 km en torno a la estación para la que puede suponerse una conexión de visibilidad directa. Para la mayoría de los emplazamientos de la estación, no puede excluirse que las estaciones móviles se aproximen incluso a menos de 1 km. Es evidente que se recibirá interferencia adicional de terminales móviles más distantes pero para simplificar éstas no se toman en cuenta aquí. La ganancia de antena varía con el ángulo azimutal y se ha integrado sobre 360° a fin de obtener un valor medio.

La interferencia acumulativa está determinada por:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{md_a P_i B_i dA_{(x)}}{B_m} dx = \frac{md_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m} \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{dA_{(x)}}{x^2} dx$$

$$A_{(x)} = \pi x^2$$

$$\frac{dA_{(x)}}{dx} = 2\pi x$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{md_a E_i c^2}{8\pi f^2 B_m} [\ln(d_2) - \ln(d_1)]$$

donde:

md_a : densidad media de estaciones móviles

d_1 : radio mínimo en torno a la estación

d_2 : radio máximo en torno a la estación.

En los Cuadros 3a y 3b se proporcionan los resultados detallados para los servicios espaciales considerados. El caso más desfavorable se da cuando una unidad móvil transmite en la dirección del haz principal. Se supuso que una estación única que transmitiese a una distancia de 10 km era representativa, aunque es posible una distancia mucho menor. La conclusión principal es que, ya con una especificación de ganancia de antena media de algunos dBi en torno a su posición y con el cálculo de interferencia simplificado, desfavorable para los servicios espaciales, los niveles de interferencia excesiva son varios órdenes de magnitud mayores que los niveles admisibles, lo que hace imposible la compartición.

5.3 Enlace espacio-espacio (2 025-2 110 MHz)

El caso más crítico de esta categoría es el enlace entre un satélite geoestacionario, por ejemplo de retransmisión de datos, y un satélite en órbita baja. La altitud de la órbita de estos últimos se sitúa típicamente entre 250 y 1 000 km.

Tal enlace es, por ejemplo, representativo de un transbordador espacial tripulado situado en una órbita de alrededor de 400 km de altitud. Es imperativo que este vehículo cuente con una antena omnidireccional a fin de permitir instrucciones y comunicaciones seguras en todas las fases del vuelo y en particular en situaciones de urgencia.

Debido a las limitaciones de la densidad de flujo de potencia en la Tierra, existe también un límite para la p.i.r.e. que el satélite de retransmisión de datos puede radiar hacia ésta, es decir, hacia el satélite de órbita baja. Esto conduce a márgenes muy estrechos para el enlace. La interferencia, incluso de bajo nivel, es extremadamente crítica.

Los niveles de interferencia calculados son tan elevados que todos los enlaces de datos o comunicaciones a satélites de órbita baja quedarían totalmente interrumpidos. No es viable un aumento de la p.i.r.e. en el satélite geoestacionario transmisor debido a las restricciones de la densidad de flujo de potencia. Por consiguiente, la compartición con estaciones móviles terrestres es imposible.

En el Cuadro 4 pueden verse los resultados detallados.

CUADRO 3

Enlaces espacio-Tierra (2 200-2 290 MHz)

Cuadro 3a: Servicio de operaciones espaciales	Estación personal en interiores		Estación personal en exteriores		Estación móvil	
Ganancia horizontal media de la estación terrena (5,5 m) (dBi)		7,5		7,5		7,5
Ganancia horizontal máxima de la estación terrena (3°) (dBi)	24,0		24,0		24,0	
Unidades activas por km ² (E/km ²)		2,800		2,800		0,560
Densidad de unidades activas por canal por km ²		0,0058		0,0052		0,0001
p.i.r.e. de una unidad FSPTMT (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
Densidad de p.i.r.e. de una unidad FSMTPT (dB(W/Hz))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Densidad de interferencia admisible a la entrada del receptor (dB(W/kHz))	-184,0	-184,0	-184,0	-184,0	-184,0	-184,0
Densidad de interferencia admisible a la entrada de la antena (dB(W/kHz))	-208,0	-191,5	-208,0	-191,5	-208,0	-191,5
Interferencia de unidades entre 1 y 10 km (dB(W/kHz))		-152,4		-144,7		-140,9
Interferencia de una unidad a 10 km de distancia (visibilidad directa) (dB(W/kHz))	-161,5		-153,3		-133,3	
Exceso sobre la interferencia admisible (dB)	46,5	39,1	54,7	46,8	74,7	50,6

Cuadro 3b: Investigación espacial	Estación personal en interiores		Estación personal en exteriores		Estación móvil	
Ganancia horizontal media de la estación terrena (15 m) (dBi)		2,4		2,4		2,4
Ganancia horizontal máxima de la estación terrena (5°) (dBi)	14,5		14,5		14,5	
Unidades activas por km ² (E/km ²)		2,800		2,800		0,560
Densidad de unidades activas por canal por km ²		0,0058		0,0052		0,0001
p.i.r.e. de una unidad FSPTMT (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
Densidad de p.i.r.e. de una unidad FSMTPT (dB(W/Hz))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Densidad de interferencia admisible a la entrada del receptor (dB(W/Hz))	-220,0	-220,0	-220,0	-220,0	-220,0	-220,0
Densidad de interferencia admisible a la entrada de la antena (dB(W/Hz))	-234,5	-222,4	-234,5	-222,4	-234,5	-222,4
Interferencia de unidades entre 1 y 10 km (dB(W/Hz))		-182,4		-174,7		-170,9
Interferencia máxima de una unidad a 10 km de distancia (dB(W/Hz))	-191,5		-183,3		-163,3	
Exceso sobre la interferencia admisible (dB)	43,0	40,0	51,2	47,7	71,2	51,5

CUADRO 4
Enlaces espacio-espacio (2 025-2 110 MHz)

	Estación personal en interiores		Estación personal en exteriores		Estación móvil	
	250	750	250	750	250	750
Altitud de la órbita del satélite (km)	250	750	250	750	250	750
p.i.r.e. de una unidad FSMTPT (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,00	1,00
Anchura de banda de canal para las comunicaciones vocales (kHz)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
Densidad de p.i.r.e. de una unidad FSMTPT (dB(W/Hz))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Pérdida en el espacio (dispersión) (dB)	146,7	156,2	146,7	156,2	146,7	156,2
Interferencia de una unidad (dB(W/Hz))	-218,9	-228,4	-210,7	-220,2	-190,7	-200,2
Densidad de interferencia admisible (dB(W/Hz))	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0
Exceso de interferencia de una unidad (dB)	-6,9	-16,4	1,3	-8,2	21,3	11,8
Zona de interferencia vista por el satélite (mill./km ²)	9,64	26,89	9,64	26,89	9,64	26,89
Número total de habitantes de la zona (mill.)	600	800	600	800	600	800
Porcentaje de abonados al servicio (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Número total medio de unidades por km ²	12,4	5,9	12,4	5,9	6,2	3,0
Porcentaje de unidades activas en la zona (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
Unidades activas simultáneamente en la zona (mill.)	12,0	16,0	12,0	16,0	2,4	3,2
Número medio de unidades activas por km ² (E/km ²)	1,24	0,59	1,24	0,59	0,25	0,12
Anchura de banda del servicio prevista (canales vocales) (MHz)	24	24	27	27	111	111
Número de unidades activas por canal	25 000	33 333	22 222	29 630	541	721
Atenuación ambiental (edificios, árboles) (dB)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Interferencia acumulativa de todas las unidades activas (dB(W/Hz))	-196,0	-200,9	-181,3	-186,2	-177,4	-182,3
Exceso medio sobre la interferencia admisible (dB)	16,0	11,1	30,7	25,8	34,6	29,7
Aumento de la interferencia durante las crestas de actividad (dB)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Aumento de la interferencia con mayores niveles de potencia (dB)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
Aumento de la interferencia en zonas de alta densidad (dB)	5,3	3,0	5,3	3,0	5,3	3,0
Exceso sobre la interferencia admisible, en el caso más desfavorable (dB)	31,5	24,3	45,0	37,8	51,8	44,6

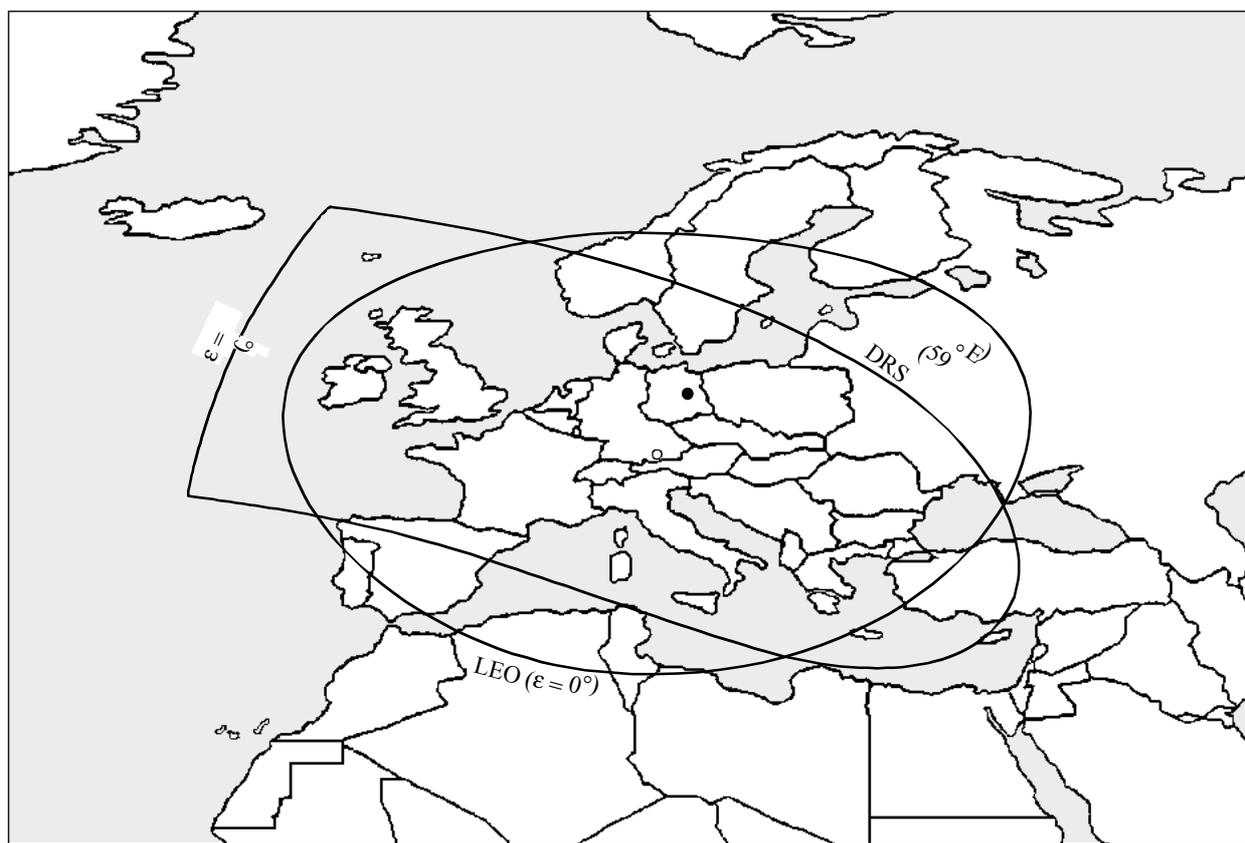
5.4 Enlace espacio-espacio (2 200-2 290 MHz)

Esta banda de frecuencias se utiliza para los enlaces de datos de satélites en órbita baja a satélites geoestacionarios de retransmisión de datos y para comunicaciones de corta distancia entre satélites de órbita baja y eventualmente también entre astronautas. Por consiguiente, deben tomarse en cuenta altitudes orbitales de entre 250 y 36 000 km.

En principio, son aplicables los mismos supuestos antes indicados, con la diferencia de que el satélite geoestacionario utiliza antenas de elevada ganancia para los enlaces dirigidos a los satélites de órbita baja. Se obtienen así niveles de interferencia admisible muy bajos a la entrada de la antena. La anchura del haz de la antena es típicamente de algunos grados, por lo que puede recibirse interferencia de una zona algo menor que en el caso de la órbita de 250 km. En la Fig. 6 se proporciona un ejemplo típico de la zona desde la cual recibirá interferencia un satélite de retransmisión de datos durante el seguimiento de un satélite de órbita baja.

FIGURA 6

Cobertura de una antena de satélite de retransmisión de datos y de un vehículo en órbita terrestre baja (OTB), 250 km



D06

En el Cuadro 5 pueden verse los resultados detallados. También en este caso la compartición es desafortunadamente imposible.

5.5 Casos más desfavorables para todos los enlaces

Los supuestos adoptados para los estudios anteriores de interferencia se basan en una distribución media de las estaciones móviles en la zona de interferencia, una actividad media, niveles de potencia mínimos para las unidades FSPTMT y una ocupación uniforme de todos los canales disponibles. Los valores de interferencia excesiva resultantes son por consiguiente cifras medias en la parte inferior de la gama.

CUADRO 5

Enlace espacio-espacio (2 200-2 290 MHz)

	Estación personal en interiores		Estación personal en exteriores		Estación móvil	
Altitud de la órbita del satélite (km)	250	36 000	250	36 000	250	36 000
p.i.r.e. de una unidad FSMTPT (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
Anchura de banda de canal para las comunicaciones vocales (kHz)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
Densidad de p.i.r.e. de una unidad FSMTPT (dB(W/Hz))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Pérdida en el espacio (dispersión) (dB)	146,7	189,8	146,7	189,8	146,7	189,8
Interferencia de una unidad (dB(W/Hz))	-218,9	-262,1	-210,7	-253,8	-190,7	-233,8
Densidad de interferencia admisible (dB(W/Hz))	-212,0	-247,0	-212,0	-247,0	-212,0	-247,0
Exceso de interferencia de una unidad (dB)	-6,9	-15,1	1,3	-6,8	21,3	13,2
Zona de interferencia vista por el satélite (mill./km ²)	9,64	8,00	9,64	8,00	9,64	8,00
Número total de habitantes de la zona (mill.)	600	500	600	500	600	500
Porcentaje de abonados al servicio (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Número total medio de unidades por km ²	62,2	62,5	62,2	62,5	62,2	62,5
Porcentaje de unidades activas en la zona (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
Unidades activas simultáneamente en la zona (mill.)	12,0	10,0	12,0	10,0	2,4	2,0
Número medio de unidades activas por km ² (E/km ²)	1,24	1,25	1,24	1,25	0,25	0,25
Anchura de banda del servicio prevista (canales vocales) (MHz)	24	24	27	27	111	111
Número de unidades activas por canal	25 000	20 833	22 222	18 519	541	450
Atenuación ambiental (edificios, árboles) (dB)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Interferencia acumulativa de todas las unidades activas (dB(W/Hz))	-196,0	-218,9	-181,3	-211,1	-177,4	-207,3
Exceso medio sobre la interferencia admisible (dB)	16,0	27,2	30,7	34,9	34,6	38,8
Aumento de la interferencia durante las crestas de actividad (dB)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Aumento de la interferencia con mayores niveles de potencia (dB)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
Aumento de la interferencia en zonas de alta densidad (dB)	5,3	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0
Exceso sobre la interferencia admisible, en el caso más desfavorable (dB)	31,5	37,4	45,0	43,9	51,8	50,8

Si el vehículo espacial pasa sobre grandes ciudades o zonas muy pobladas de Europa, la interferencia acumulativa aumentará considerablemente, debido a la más corta distancia a que se encontrarán del mismo un elevado número de estaciones móviles. Para tener en cuenta las grandes zonas urbanas y suburbanas se supuso que el 20% de todas las unidades móviles vistas desde el satélite se encuentran próximas al punto subsatélite. Esto es fácilmente posible sobre grandes ciudades como París o Londres, con densidades de tráfico de hasta 20 000 E/km² de superficie cubierta. Ello implica un aumento de la interferencia de entre 3 dB para una órbita de 750 km y 5 dB para una órbita de 250 km. En el caso de la órbita de los satélites geoestacionarios no se supuso ningún aumento, ya que es improbable que pueda encontrarse cerca del ecuador una concentración muy elevada de estaciones móviles.

También puede producirse a veces

es un aumento de la interferencia con las crestas de actividad. Cabe suponer que la densidad de tráfico puede llegar a triplicarse. Esto conduce a un posible aumento de la interferencia de entre 4 y 7 dB. Otra razón de una mayor interferencia sería la ocupación desigual de los canales, pero esto es difícil de estimar y no se ha tenido en cuenta en el presente estudio.

Es posible concluir que, para el enlace Tierra-espacio y los dos enlaces espacio-espacio, la interferencia del caso más desfavorable puede ser entre 9 y 16 dB mayor que el valor medio.

La situación para el enlace espacio-Tierra es ligeramente diferente. El caso más desfavorable sería el de un transmisor móvil en la vecindad de la estación, cerca de la dirección del haz principal. Si se supone una distancia de 10 km entre esa estación y la estación terrena, el nivel de interferencia correspondiente se situaría entre 43 y 75 dB por encima de los niveles de protección especificados.

6 Conclusiones

Seguidamente se proporciona un breve resumen de las cifras de exceso de interferencia para todos los enlaces analizados en el Cuadro 6. El valor inferior se basa en el exceso de interferencia medio. El valor superior tiene en cuenta los casos más desfavorables, a causa del aumento de la densidad de estaciones móviles en zonas muy pobladas, de límites más elevados de la potencia de funcionamiento especificada y del mayor número de comunicaciones en las crestas de actividad. No se ha considerado la ocupación desigual de los canales, aunque ésta es otra causa de aumento de la interferencia.

CUADRO 6

Resumen de la interferencia para todos los enlaces y todas las unidades móviles consideradas

Exceso de interferencia (dB)	Estación personal en interiores	Estación personal en exteriores	Estación móvil
Tierra-espacio (2 025-2 110 MHz)	16-32	31-45	35-52
Espacio-Tierra (2 200-2 290 MHz)	39-47	47-55	51-75
Espacio-espacio (2 025-2 110 MHz)	16-32	31-45	35-52
Espacio-espacio (2 200-2 290 MHz)	27-37	35-45	39-52

Se ha presentado un análisis de la interferencia entre sistemas móviles terrestres de tipo FSPTMT y los servicios de operaciones espaciales, investigación espacial y exploración de la Tierra. En ninguno de los tipos de enlaces considerados en la presente Recomendación, es posible la compartición con estos sistemas móviles de alta densidad u otros similares. Los niveles de interferencia resultantes son mayores en órdenes de magnitud que los niveles admisibles especificados en el RR y en las Recomendaciones UIT-R.

Anexo 2

Resumen de estudios de las características de los sistemas móviles que facilitan la compatibilidad de radiofrecuencias con los servicios científicos espaciales

1 Introducción

En el presente Anexo se resumen los resultados de estudios relativos a las características técnicas y de explotación de sistemas móviles que podrían ser compatibles con los sistemas de IE, OE y ETS que funcionan en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz.

Las características de los sistemas móviles que facilitan la compartición son las siguientes:

- emisiones de baja densidad espectral de potencia,
- transmisiones de naturaleza intermitente,
- utilización de antenas transmisoras directivas,
- número de estaciones móviles autolimitado por la naturaleza de la aplicación.

En los puntos siguientes se presentan estudios relativos a los diferentes conjuntos de supuestos y gamas de valores correspondientes a estas características generales. A fin de definir mejor el entorno de interferencia se necesitarían nuevos estudios de la compatibilidad entre sistemas móviles y sistemas científicos espaciales en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz.

2 Resumen de los estudios de la p.i.r.e. y de la ganancia de antena

El establecimiento de requisitos técnicos para el servicio móvil en las bandas 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz condujo a la propuesta de un límite de p.i.r.e. de 28 dBW, junto con una ganancia de antena mínima de 24 dBi a fin de facilitar la compartición con los servicios científicos espaciales. Se realizaron estudios del efecto de interferencia de tales sistemas sobre el servicio de investigación espacial.

El modelo utilizado en el estudio suponía una distribución global y uniforme de terminales móviles directivos con ganancias de antena situadas entre 22 y 26,5 dBi y p.i.r.e. de entre 28 y 37 dBW. Se tomaron en consideración altitudes orbitales de los satélites de entre 250 km y 36 000 km.

El estudio mostró que las actividades científicas espaciales en la banda 2 200-2 290 MHz son considerablemente más susceptibles a la interferencia que las realizadas en la banda 2 025-2 110 MHz. Se efectuó un análisis de sensibilidad de la ganancia de antena. Para el caso de niveles de p.i.r.e. constantes, la probabilidad de interferencia disminuye con el aumento de la ganancia de antena de la manera indicada en la Fig. 7. En la Fig. 7 se muestra también un incremento no lineal de la probabilidad de interferencia con el aumento lineal de la p.i.r.e.

En el estudio se llegó finalmente a la conclusión de que el límite de la p.i.r.e. propuesto, de 28 dBW, junto con una ganancia de antena superior a 24 dBi, constituyen disposiciones suficientes para permitir la compartición con alrededor de 1 000 sistemas móviles del tipo descrito en todo el mundo.

3 Resumen de un estudio de la interferencia causada por ciertos sistemas móviles

Se ha efectuado un estudio en el que se consideraron cuatro posibles escenarios relativos a la interferencia que se causaría a los sistemas de los servicios científicos espaciales, tal como se indica en el Cuadro 7.

Seguidamente se examinan las características de los sistemas utilizadas en el estudio.

3.1 Características de los sistemas

3.1.1 Características de recepción

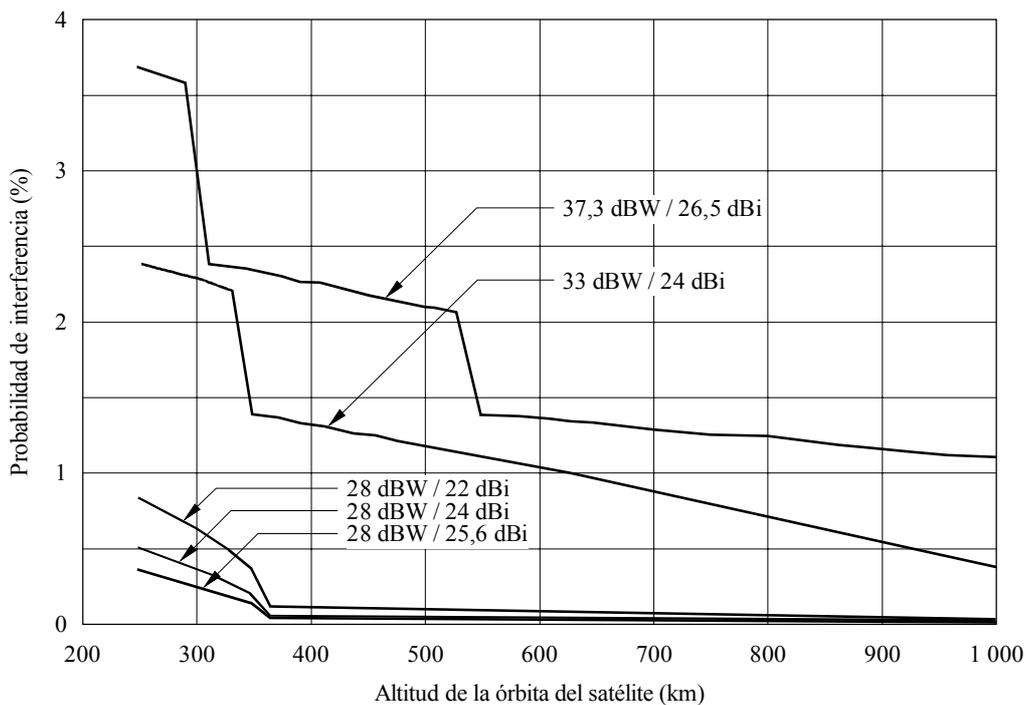
3.1.1.1 Satélite de retransmisión de datos

Antena receptora (que ha de efectuar el seguimiento de un satélite de órbita baja cuando esté visible):

- Ganancia de puntería = 34 dBi;
- Características fuera del eje según el diagrama de radiación de referencia para haces circulares de alimentación única (nivel de lóbulo lateral próximo de -20 dB) según lo definido en la Recomendación UIT-R S.672.

FIGURA 7

Probabilidad de interferencia para sistemas de periodismo electrónico de diferentes características



1 000 sistemas de periodismo electrónico
Actividad de 10 %

CUADRO 7

	2 025-2 110 MHz	2 200-2 290 MHz
Servicios espaciales de retransmisión de datos	Espacio-espacio (Ida) (1)	Espacio-espacio (Retorno) (3)
Servicios espaciales directos con la Tierra	Tierra-espacio (2)	Espacio-Tierra (4)
Móviles	Directivos (periodismo electrónico)	Omnidireccional

3.1.1.2 Satélite en órbita terrestre baja (que apunta al satélite de retransmisión de datos)

Antena receptora (que ha de efectuar el seguimiento del satélite geostacionario de retransmisión de datos cuando esté visible):

- Ganancia de puntería = 25 dBi;
- Características fuera del eje según el diagrama de radiación de referencia para haces circulares de alimentación única (nivel de lóbulo lateral próximo de -20 dB) según lo definido en la Recomendación UIT-R S.672;
- Altitud de la órbita = 300 km;
- Inclinación = 29° .

3.1.1.3 Satélite en órbita terrestre baja (que apunta a la Tierra)

Antena receptora omnidireccional (ganancia = 0 dBi);

- Altitud de la órbita = 300 km;
- Inclinación = 29° .

3.1.1.4 Estación terrena

Antena receptora (que ha de efectuar el seguimiento del satélite de órbita baja cuando esté visible):

- Ganancia de puntería = 45 dBi;
- Características fuera del eje según lo definido en los Apéndices 28 y 29 del RR.

3.1.2 Características de transmisión

3.1.2.1 Terminal móvil (directivo) – Periodismo electrónico

- Ganancia de puntería de la antena = 25 dBi;
- Densidad espectral de potencia en la antena = -38 dB(W/kHz);
- Características fuera del eje según lo definido en los Apéndices 28 y 29 del RR.

3.1.2.2 Terminal móvil (omnidireccional)

- Ganancia de antena = 0 dBi;
- Densidad espectral de potencia en la antena = -42 dB(W/kHz).

3.2 Resumen y conclusiones

Se evaluaron cuatro configuraciones geométricas (A-D) para los escenarios indicados en el Cuadro 7, con las características técnicas también indicadas. Los resultados de un análisis probabilístico se resumen en el Cuadro 8.

CUADRO 8

Referencia	Caso	Nivel máximo de interferencia relativo al criterio (dB)	Porcentaje de probabilidad de que se rebase el criterio (%)
1 A	Periodismo electrónico a satélite de órbita baja (que apunta hacia un satélite de retransmisión de datos)	+ 31,0	0,65
1 B		+ 7,5	0,20
1 C		+ 6,5	0,15
1 D		+ 6,5	0,15
2 A	Periodismo electrónico a satélite de órbita baja (que apunta hacia la Tierra)	+ 2,5	0,20
2 B		+ 2,5	0,04
2 C		+ 2,5	0,045
2 D		+ 2,5	0,035
3 A	Omni a satélite de retransmisión de datos	- 16,5	2,50 ⁽¹⁾
3 B		- 16,5	1,50 ⁽¹⁾
3 C		- 15,0	0,15 ⁽¹⁾
3 D		- 15,0	0,50 ⁽¹⁾
4 A	Omni a estación terrena	+ 48,5	1,00
4 B		+ 48,0	0,55

⁽¹⁾ Probabilidad de nivel máximo de interferencia.

3.2.1 Interferencia causada por estaciones móviles directivas a un satélite en órbita baja (que apunta hacia un satélite de retransmisión de datos) en la banda 2 025-2 110 MHz

Los valores del Cuadro 8 parecen indicar que un solo terminal de periodismo electrónico en distintas configuraciones geométricas puede rebasar los criterios de protección aplicables. No obstante, en la mayoría de las configuraciones, si la potencia del transmisor de periodismo electrónico se disminuyese en 1 dB, la probabilidad de rebasar los criterios de protección disminuiría al 0,1%. Esto, evidentemente, no se aplicaría a las configuraciones geométricas más críticas y, por tanto, puede haber que establecer ciertas limitaciones al emplazamiento de los terminales terrenales de periodismo electrónico.

3.2.2 Interferencia causada por estaciones móviles directivas a un satélite de órbita baja (que apunta hacia la Tierra) en la banda 2 025-2 110 MHz

Los resultados parecen indicar que serían admisibles dos o tres terminales en un mismo canal geográficamente separados. Esto se traduciría en una comunidad aceptable de entre 100 y 150 terminales de periodismo electrónico, si no se considera la geometría del caso más desfavorable.

3.2.3 Interferencia causada por estaciones móviles omnidireccionales a un satélite geostacionario de retransmisión de datos (que efectúa el seguimiento de un satélite de órbita baja) en la banda 2 200-2 290 MHz

Los valores indicados en el Cuadro 8 muestran que los niveles de potencia interferente causados por un terminal omnidireccional único se hallan claramente dentro de los criterios admisibles. No obstante, las probabilidades de que se produzcan estos niveles son elevadas y, por tanto, múltiples

terminales podrían crear niveles totales de interferencia que, aunque apenas rebasaran los niveles de potencia admisibles, los rebasarían gran número de veces en términos de probabilidad de ocupación.

3.2.4 Interferencia causada por estaciones móviles omnidireccionales a una estación terrena (que efectúe el seguimiento de un satélite de órbita baja) en la banda 2 200-2 290 MHz

Si se supone que no hay visibilidad directa, de modo que la pérdida básica de transmisión obedece a la ley inversa cúbica, un terminal omnidireccional puede funcionar dentro de un radio de 0,5 km de una estación terrena (con una elevación mayor de 5°).

Anexo 3

Descripción de ciertos sistemas de periodismo electrónico (PE) que funcionan en las bandas 2 025-2 110 MHz

1 Introducción

En el presente Anexo se proporciona información acerca de las particulares características técnicas y de explotación que presentan por determinados sistemas PE de una administración, y que pueden facilitar la compartición con los servicios IE, OE y ETS.

2 Características y descripción de los sistemas PE

Los sistemas PE comprenden tanto equipos portátiles - llamados de «punto de vista» – como equipos transportables, los que suministran imágenes de una variedad de lugares y actividades. Los sistemas PE se utilizan para la cobertura de sucesos o entrevistas in situ, o la transmisión en directo de eventos deportivos o de otra naturaleza. Dado el valor del vídeo directo, la mayoría de las estaciones locales de televisión de zonas urbanas de los Estados Unidos de América emplean equipos PE. Los sistemas PE transportables, utilizados para la cobertura in situ, van generalmente montados en furgonetas y funcionan en modo estacionario para la transmisión de vídeo a un lugar de recepción fijo. Estos sistemas proporcionan movilidad para la cobertura de noticias en toda una región.

3 Sistemas y entornos PE

Existen dos modos corrientes de explotación:

3.1 Equipos transportables

Los sistemas PE transportables descritos en la sección anterior se utilizan en reportajes vídeo transmitidos en directo o grabados, para la difusión de noticias, deportes y programas de esparcimiento. Van montados generalmente en furgonetas y utilizan transmisores con una potencia de alrededor de 10,8 dBW. Se sirven de antenas directivas con una ganancia de 20-22 dBi instaladas

en un mástil neumático de hasta 15 m de altura, y pueden emplear polarización lineal o circular para obtener protección adicional contra la interferencia recíproca. Muchos sistemas PE (probablemente del 30 al 50%) transmiten con una pérdida de línea de transmisión de hasta 5 dB.

3.2 Equipos de «punto de vista»

Se emplean también transmisores de microondas pequeños y livianos para los casos en que se requiere especial movilidad o proximidad, tanto por el deseo de transmitir imágenes en directo como por la dificultad de utilizar magnetoscopios que no cumplen los requisitos de tamaño y robustez. Estos transmisores funcionan generalmente con una potencia de hasta 5 dBW. Utilizan esencialmente antenas omnidireccionales con un ganancia de 0 a 3 dBi y también pueden emplear polarización lineal o circular.

Los pequeños sistemas de este tipo funcionan generalmente en lugar del sistema transportable, más bien que añadido a éste en el mismo canal. De ordinario no pueden funcionar simultáneamente con los equipos transportables, ya que éstos causan excesiva interferencia a sus receptores.

En el Cuadro 9 pueden verse las características de sistemas PE típicos que funcionan en la banda 2025-2110 MHz.

CUADRO 9

Sistemas PE a 2 GHz típicos utilizados en los Estados Unidos de América

Tipo de utilización	Ubicación del transmisor	Potencia de transmisión	Ganancia de antena (dBi)	Ubicación del receptor
PE transportable (furgoneta)	Mástil de la furgoneta	12 W	22	Torre
Enlace fijo temporal	Techo	12 W	25	Techo
Congresos	Piso de la sala de congresos	100 mW	0-5	Cambios de la sala
«Punto de vista» (por ejemplo, esquiador)	Sobre el cuerpo o el casco	100 mW	0	Ladera o helicóptero
Campos de deporte				
Terreno de juego	Campo	1 W	12	Tribuna de la prensa
Campo de golf (sistema 1)	En el campo	3 W	16	Globo amarrado
Campo de golf (sistema 2)	En el campo	12 W	12	Grúa
Pista de carreras	Automóvil	3 W	7	Helicóptero
Helicóptero	Helicóptero retransmisor	12 W	7	En tierra
Carreras de larga distancia				
Motocicleta	Motocicleta	3 W	7	Helicóptero
Vehículo retransmisor	Camioneta	12 W	12	Helicóptero
Helicóptero	Helicóptero retransmisor	12 W	7	Techo

4 Características de funcionamiento

Todos los sistemas PE no pueden funcionar simultáneamente. Dada su sensibilidad a la interferencia, sólo es posible generalmente una transmisión por canal para un mismo lugar de recepción. En la mayoría de los mercados de televisión de Estados Unidos de América existen múltiples lugares de recepción que permiten transmisiones simultáneas por un mismo canal, pero incluso en los mercados extensos, sólo son posibles por lo general seis transmisiones simultáneas por el canal más activo, y en la mayor parte de los mercados ese número no excede de dos. Raramente se efectúan más de dos transmisiones cocanal simultáneas. En realidad, sólo existen múltiples lugares de recepción de sistemas PE en los mercados de televisión mayores, por lo que de ordinario las regiones tienen poca o ninguna actividad cocanal simultánea de periodismo electrónico.

Aunque se utilizan durante todo el día, los sistemas PE transportables funcionan principalmente en el curso de los programas de noticias locales de los días de semana, que en general se transmiten aproximadamente de 1200 a 1230, de 1700 a 1900 y de 2300 a 2330, hora local. En la mayoría de los mercados el uso del PE es también considerable antes de los programas de noticias de la tarde de 1500 a 1700 horas aproximadamente. La popularidad de los programas locales matinales de espectáculos, de 0600 a 0900 está aumentando en varios mercados, y estos programas también utilizan sistemas PE. Los transmisores PE transportables funcionan aproximadamente dos veces por día. Los ingenieros de radiodifusión estiman que en promedio las transmisiones duran 15 min, aunque en algunos casos sólo son de 5 min y en otros quizás de hasta 5 h.

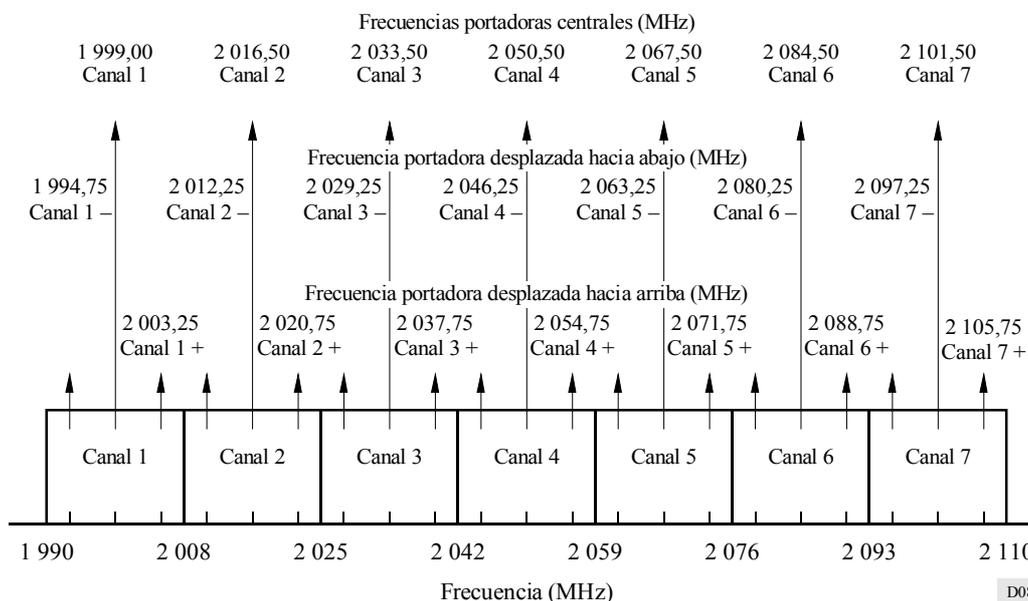
5 Características y utilización del espectro

La banda principal utilizada para el PE es 1990-2110 MHz, por sus favorables características de propagación. Entre éstas se cuentan niveles más bajos de atenuación por el follaje que los que se producen a frecuencias más elevadas y la capacidad de hacer «rebotar» una señal en un edificio a fin de establecer un enlace temporal con un lugar de recepción fijo, a pesar de un bloqueo inevitable del trayecto.

En los Estados Unidos de América la banda de frecuencias PE está dividida en 7 canales de 17 MHz cada uno, excepto el primero que es de 18 MHz, como se muestra en la Fig. 8. Los sistemas PE funcionan de ordinario en el centro de cada canal, pero también se utilizan canales desplazados hacia abajo y hacia arriba. Son posibles, por tanto, 21 frecuencias portadoras, pero no todas éstas pueden utilizarse simultáneamente. Los sistemas PE pueden funcionar en el canal central, en el canal inferior, en el canal superior, o en los canales inferior y superior simultáneamente, según las necesidades y la utilización del canal adyacente en ese momento. Dado que estos sistemas son sensibles a la interferencia, sólo es posible generalmente una transmisión por canal para un mismo lugar de recepción.

Los sistemas PE emplean modulación de frecuencia (MF) para la transmisión de vídeo. La portadora casi nunca se transmite sin modular en trama ráster.

FIGURA 8
Plan de canales PE en uso en los Estados Unidos de América



Anexo 4

Descripción de ciertos sistemas móviles aeronáuticos de teledirigida que funcionan en la banda 2 200-2 290 MHz

1 Introducción

Los sistemas móviles aeronáuticos de teledirigida que utiliza una administración consisten en un pequeño número de transmisores controlados, que funcionan durante breves periodos en un reducido número de zonas determinadas.

El número de sistemas transmisores que funcionan simultáneamente dentro de cualquier radio de 1 000 km raramente excede de 15. La p.i.r.e. máxima en la dirección de un satélite en cualquier anchura de banda de 3 MHz dentro de cualquier radio de 1 000 km, raramente excederá de 10 W.

2 Características técnicas de los sistemas móviles aeronáuticos de teledirigida

Desde los últimos años del decenio de 1960 la teledirigida aeronáutica viene utilizando la banda de 2 200-2 290 MHz para la prueba de cohetes, vehículos de lanzamiento espacial, vehículos aéreos y subsistemas de los mismos. La duración de la mayoría de estas pruebas es inferior a 10 min, aunque algunas pueden durar varias horas. Las operaciones de teledirigida pueden efectuarse a cualquier hora del día, aunque la utilización máxima corresponde a las horas de luz. La mayoría de las pruebas de vuelos se realizan en uno (o más) de los campos de pruebas utilizados por el Gobierno de los Estados Unidos de América.

Las características de los sistemas transmisores de telemetria se optimizan para el vehículo que se ha de probar. Por ello, varían considerablemente de un vehículo a otro. No existe un sistema de transmisión «típico». La potencia radiada aparente de esos sistemas es generalmente de entre 1 y 5 W. El nivel de potencia necesario está determinado por la cantidad de información que ha de transmitirse, la distancia máxima entre los sistemas transmisor y receptor, la calidad necesaria de los datos y la sensibilidad del sistema receptor. Las antenas transmisoras utilizan generalmente polarización lineal y se diseñan típicamente para una cobertura casi isótropa, ya que la orientación del vehículo probado con respecto a la antena receptora puede cambiar muy rápidamente. Dado que esta antena sigue al vehículo en vuelo, se produce grandes variaciones en los niveles de la señal en el receptor. Estos «desvanecimientos» son causados por los puntos de señal nula en el diagrama de la antena del vehículo y las anomalías de propagación, como los fenómenos de trayectos múltiples y de conductos. La disminución del nivel de la señal durante los desvanecimientos puede ser mayor de 30 dB. Es menester, pues, que la señal recibida esté considerablemente por encima del umbral durante las condiciones de vuelo óptimas, para evitar la pérdida de datos durante los desvanecimientos.

Los formatos y velocidades de los datos de telemetria varían considerablemente de un vehículo a otro. La mayoría de los sistemas utilizan modulación de frecuencia o de fase. La entrada al transmisor puede ser digital, analógica o una combinación de ambas técnicas. Las anchuras de banda correspondientes al 99% de potencia de los sistemas varían de menos de 1 MHz a más de 10 MHz.

La relación señal/ruido necesaria antes de la detección para que la calidad de datos sea aceptable, varía de 9 a 15 dB. La distancia máxima entre el vehículo probado y la estación receptora de telemetria es generalmente de entre 20 y 400 km (aunque en algunas pruebas supera los 3 000 km). Las anchuras de banda típicas del receptor van de 0,5 a 10 MHz (si bien estos valores están aumentando). Las temperaturas de ruido de los sistemas receptores oscilan entre 200 K y 500 K. Las ganancias del lóbulo principal de las antenas receptoras van de 6 dBi, en algunos sistemas móviles de corto alcance, a más de 50 dBi en el caso de las antenas de gran tamaño. Las antenas mayores siguen automáticamente el vehículo probado mientras que las más pequeñas (con un ganancia inferior a 20 dBi) generalmente deben orientarse en la dirección del transmisor. Los lóbulos laterales de las antenas receptoras dependen del tamaño y el diseño de ésta. La mayoría de esas antenas tienen diámetros de 2,44 a 10 m.

3 Consideraciones relativas al espectro

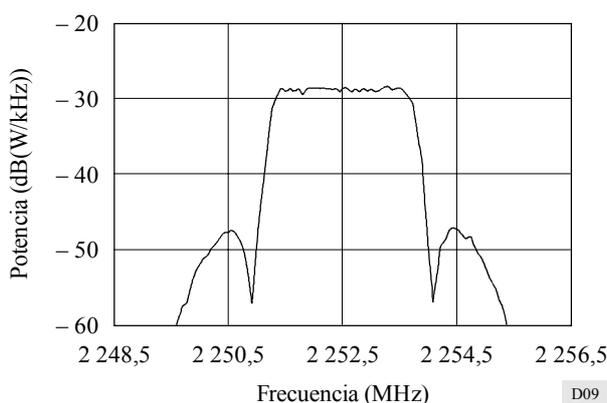
Los proveedores de sistemas móviles aeronáuticos de telemetria de los Estados Unidos de América han dividido esta banda en 90 canales, de 1 MHz de anchura cada uno. Cuando se necesita una anchura de banda mayor, se asignan juntos múltiples canales.

Las operaciones de telemetria aeronáutica están protegidas actualmente por la coordinación entre los distintos usuarios. El territorio de los Estados Unidos de América está dividido en zonas de coordinación. En cada zona, los coordinadores de las frecuencias asignan y programan la utilización de éstas.

Existe la posibilidad de una interferencia considerable con las estaciones terrenas que funcionan en el mismo lugar en que operan transmisores de telemetria aeronáutica en la banda 2 200-2 290 MHz. Este problema se atenúa controlando el tiempo, la frecuencia y el lugar de las transmisiones de cada servicio en esta banda. Los centros de control de la interferencia pueden introducir cambios en tiempo real y localizan e identifican cualquier transmisión no autorizada.

En la Fig. 9 puede verse una muestra de densidad espectral de potencia radiada. Esta corresponde a la densidad espectral de potencia nominal de un sistema de teledifusión, que no puede considerarse típica, ni representa el caso más favorable o más desfavorable, y sólo se incluye como ejemplo de las características espectrales del tipo más común de sistema móvil aeronáutico de teledifusión actualmente utilizado. Algunos sistemas móviles aeronáuticos de teledifusión pueden tener componentes espectrales discretos en algunas partes de un vuelo de prueba, por lo que las densidades espectrales máximas (dB(W/kHz)) pueden ser considerablemente mayores que los valores indicados en la Fig. 9.

FIGURA 9
Muestra de espectro



La potencia radiada total máxima radiada en cualquier dirección por los sistemas móviles aeronáuticos de teledifusión dentro de un radio de 1 000 km será inferior a 100 W en la banda 2 200-2 290 MHz. La potencia radiada total máxima en cualquier anchura de banda de 3 MHz raramente rebasará 10 W en cualquier dirección, en un radio cualquiera de 1 000 km.

