

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1016

**CONSIDERACIONES SOBRE LA COMPARTICIÓN EN RELACIÓN
CON LA INVESTIGACIÓN DEL ESPACIO LEJANO**

(Cuestión UIT-R 210/7)

(1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que en el anexo 1 se estudia la posibilidad de compartición de frecuencias entre las estaciones de investigación del espacio lejano y las estaciones de otros servicios,

recomienda

1. que, mediante coordinación, el servicio de investigación del espacio lejano comparta bandas de frecuencias en el sentido Tierra-espacio con estaciones de otros servicios salvo con:

- estaciones móviles aeronáuticas de recepción, estaciones de satélite receptoras y satélites con sensores de microondas, cuando alguna de estas estaciones entre en la línea de visibilidad;
- estaciones móviles de recepción que se encuentren a una distancia inferior a la distancia de separación necesaria para la protección contra la interferencia;
- estaciones terrenales de transmisión con una p.i.r.e. media superior a 81 dBW en las bandas próximas a 2 GHz y a 84 dBW en las bandas próximas a 7 GHz;

2. que, mediante coordinación, el servicio de investigación del espacio lejano comparta bandas de frecuencias en sentido espacio-Tierra con estaciones de otros servicios salvo con:

- estaciones del servicio de radioastronomía;
- estaciones móviles aeronáuticas de transmisión, estaciones de satélite transmisoras y satélites con sensores de microondas activos, cuando alguna de estas estaciones entre en la línea de visibilidad;
- estaciones móviles de transmisión que se encuentren a una distancia inferior a la distancia de separación necesaria para la protección contra la interferencia.

ANEXO 1

**Consideraciones sobre la compartición en relación
con la investigación del espacio lejano**

1. Consideraciones de compartición: bandas Tierra-espacio para el espacio lejano

En el cuadro 1 y en los puntos siguientes se considera la posibilidad de interferencia en las bandas Tierra-espacio para investigación del espacio lejano.

CUADRO 1

Posibilidades de interferencia en las bandas Tierra-espacio

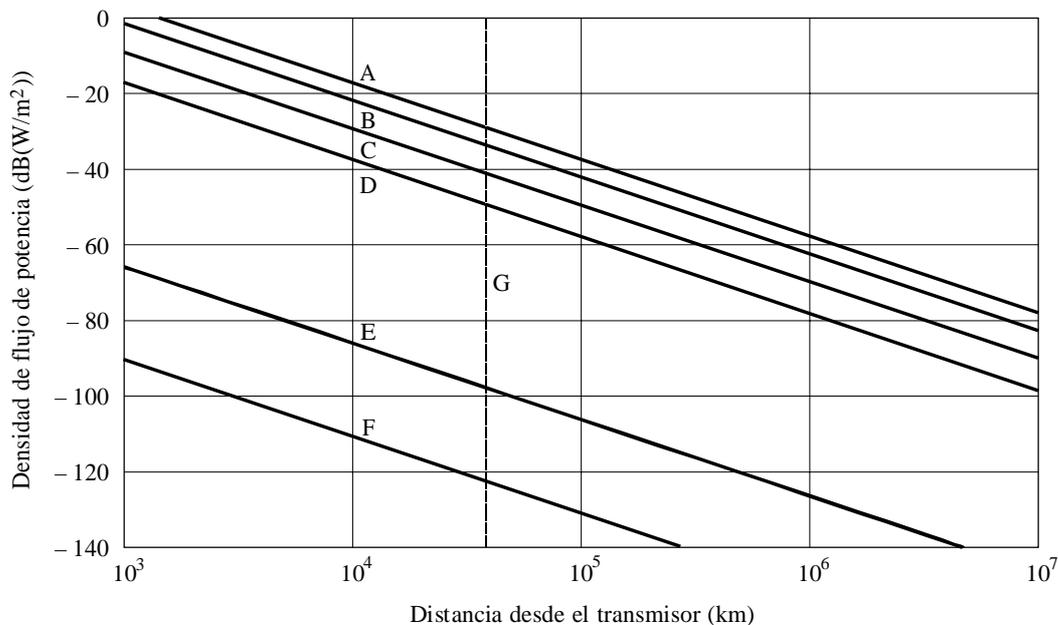
Fuente	Receptor
Estación terrena para el espacio lejano	Estación terrenal o estación terrena
Estación terrena para el espacio lejano	Satélite en órbita terrestre
Estación terrenal o estación terrena	Estación del espacio lejano
Satélite cercano a la Tierra	Estación del espacio lejano

1.1 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de estaciones terrenas para investigación del espacio lejano a receptores terrenales o de estación terrena

La potencia máxima total de las estaciones terrenas para el espacio lejano es normalmente de 50 dBW. Para un ángulo de elevación mínimo de 10° , la p.i.r.e. dirigida hacia el horizonte no es superior a 57 dB(W/4 kHz), suponiendo el diagrama de radiación de antena de estación terrena de referencia de la Recomendación UIT-R SA.509. Para situaciones de emergencia del vehículo espacial, la potencia máxima total puede aumentarse a 56 dBW, lo que produce no más de 63 dB(W/4 kHz) en el horizonte. Estos valores de p.i.r.e. cumplen las prescripciones del número 2540 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).

Las estaciones de aeronaves dentro de la línea de visibilidad de una estación terrena para el espacio lejano pueden encontrar las densidades totales de flujo de potencia indicadas en la fig. 1. Para una altitud de aeronave de 12 km, la distancia máxima en la línea de visibilidad hacia una estación terrena es de 391 km, y la densidad total de flujo de potencia en la aeronave nunca puede ser inferior a -83 dB(W/m²), suponiéndose también en este caso el diagrama de radiación de la Recomendación UIT-R SA.509. Según la distancia y la dirección de la antena de estación terrena, la estación de aeronave puede experimentar densidades de flujo y niveles de interferencia mucho más elevados. Generalmente, no puede efectuarse la coordinación con estaciones de aeronaves.

FIGURA 1
Densidad de flujo de potencia en función de la distancia desde la estación terrena



Transmisor: Estación terrena del espacio lejano de 100 kW (diámetro de la antena 70 m)

- A: Haz principal, 34,5 GHz
- B: Haz principal, 17 GHz
- C: Haz principal, 7 170 MHz
- D: Haz principal, 2 115 MHz
- E: 5° con respecto al eje del haz principal (ganancia: 14,5 dBi, Recomendación UIT-R SA.509)
- F: $>48^\circ$ con respecto al eje del haz principal (ganancia: -10 dBi, Recomendación UIT-R SA.509)
- G: Altitud de la órbita de los satélites geoestacionarios: 35 800 km

DOI

La superrefracción, la propagación por conductos y la dispersión debida a las precipitaciones, pueden acoplar emisiones provenientes de transmisores de estaciones terrenas para el espacio lejano con receptores terrenales y con receptores de otras estaciones terrenas. Con excepción de los receptores terrenales de aeronave, en general es posible efectuar la coordinación en esas condiciones. Véase el § 2.3 referente a la interferencia causada por transmisores de aeronave, y el § 3 con respecto a los procedimientos de coordinación.

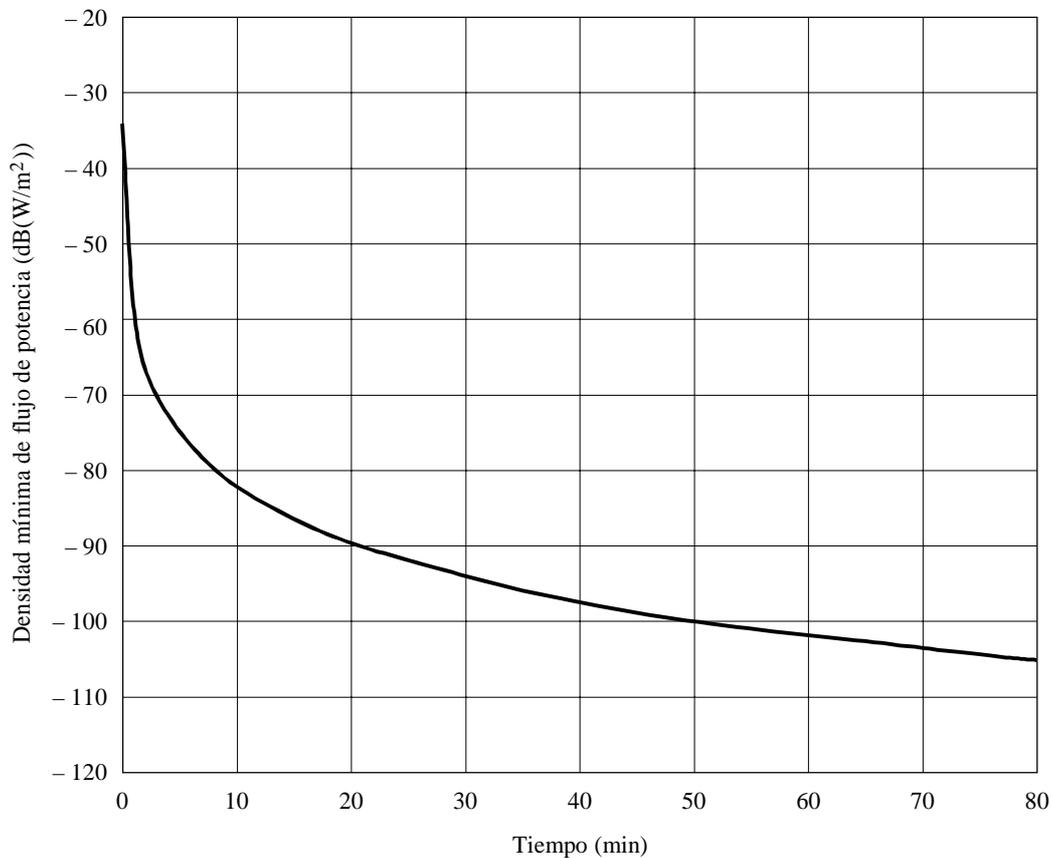
1.2 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de estaciones terrenas para el espacio lejano a receptores de satélite

Los satélites que entran en el haz de la estación terrena para el espacio lejano encuentran las densidades de flujo de potencia que se indican en la fig. 1. Cuando la estación terrena está siguiendo a un vehículo espacial cuya dirección es tal que el haz de la antena atraviesa la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG), la densidad de flujo en ese punto de la órbita variará en función del tiempo, como se indica en la fig. 2. Por ejemplo, la densidad total de flujo de potencia será $-95 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ o más durante 32 min. En la figura se ha supuesto una potencia del transmisor de 50 dBW, una antena de 70 m y un diagrama de radiación de estación terrena de referencia conforme a la Recomendación UIT-R SA.509. Una observación importante es que la densidad de flujo mínima en la OSG dentro de la línea de visibilidad directa de una estación terrena para el espacio lejano es de $-122 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ como mínimo, independientemente de la dirección en que está apuntada la antena.

La duración y la magnitud de las señales procedentes de transmisores de estación terrena para el espacio lejano que pueden causar interferencia a satélites no geoestacionarios en órbita dependen de la propia órbita y de la dirección en que está apuntando la antena de la estación terrena.

FIGURA 2

Tiempo durante el cual la densidad de flujo de potencia en un punto de la OSG puede ser superior a la densidad mínima de flujo de potencia



Transmisor: Estación terrena del espacio lejano de 100 kW,
diámetro de la antena 70 m, 34,5 GHz

D02

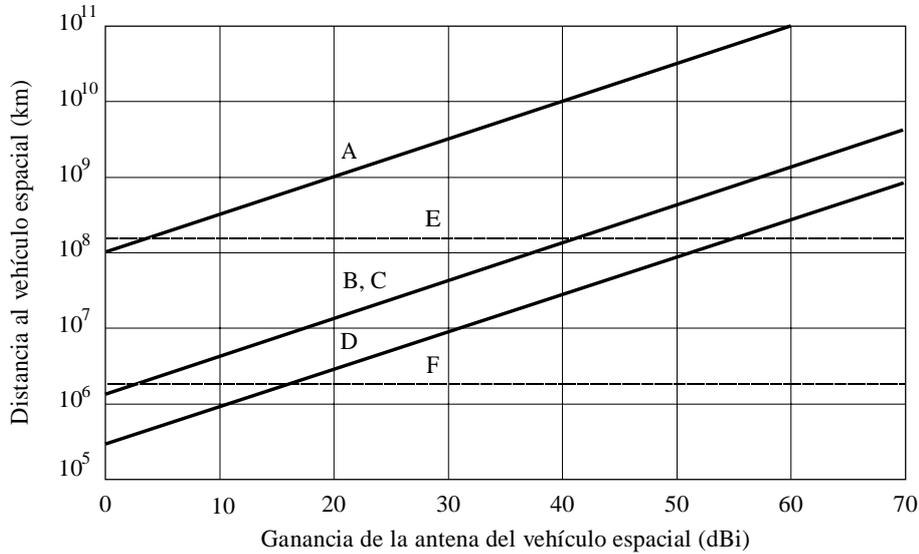
1.3 Posibilidad de interferencia causada por transmisores terrenales o de estación terrena a receptores de estaciones espaciales para la investigación del espacio lejano

Los transmisores terrenales o de estación terrena dentro de la línea de visibilidad de una estación para la investigación del espacio lejano son posibles fuentes de interferencia. La fig. 3 muestra la distancia a que debe estar una estación espacial, con respecto a un transmisor de los mencionados, para que la densidad de potencia de la señal interferente procedente del transmisor terrenal sea igual a la densidad de potencia de ruido del receptor. Por ejemplo, una estación transhorizonte con una p.i.r.e. de 93 dB(W/10 kHz) en la banda de 2,1 GHz podría causar interferencia a un receptor de estación espacial a distancias de hasta $4,1 \times 10^9 \text{ km}$ (temperatura de ruido de 600 K, antena del vehículo

espacial de 3,7 m). La posibilidad de interferencia a una distancia tan grande constituye una amenaza para las misiones espaciales a planetas muy alejados, como Urano. Las estaciones con una p.i.r.e. menor, o con antenas que apuntan hacia direcciones apartadas del plano de la eclíptica tienen menos posibilidades de causar interferencia.

FIGURA 3

Distancia necesaria entre el vehículo espacial y transmisor terrenal para que la potencia de la señal interferente sea igual a la potencia de ruido del receptor



- A: Transmisor transhorizonte: 2 115 MHz
p.i.r.e.: 93 dB(W/10 kHz)
potencia de ruido del receptor: -191 dB(W/20 Hz)
- B: Transmisor de la radiolocalización: 34,5 GHz
p.i.r.e.: 48,8 dB(W/Hz)
potencia de ruido del receptor: -182,6 dB(W/20 Hz)
- C: Transmisor de la radiolocalización: 17 GHz
p.i.r.e.: 40,9 dB(W/Hz)
potencia de ruido del receptor: -186 dB(W/20 Hz)
- D: Transmisor de radioenlace: 7 170 MHz
p.i.r.e.: 55 dB(W/10 kHz)
potencia de ruido del receptor: -189 dB(W/20 Hz)
- E: 1 UA = $1,5 \times 10^8$ km
- F: Límite interior del espacio lejano: 2×10^6 km

D03

1.4 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de satélites cercanos a la Tierra a receptores de estaciones en el espacio lejano

Los satélites cercanos a la Tierra suelen tener antenas dirigidas hacia la Tierra o hacia otros satélites. La interferencia a receptores de estaciones destinadas a la investigación del espacio lejano puede producirse durante los breves periodos de tiempo en que la antena del satélite está orientada de forma que permita el acoplamiento del haz principal. Las señales procedentes de satélites, recibidas en las estaciones espaciales para la investigación del espacio lejano, serán por lo general, más débiles que las procedentes de estaciones terrenas.

2. Consideraciones de compartición: bandas en el sentido espacio-Tierra

En el cuadro 2 y los puntos siguientes se considera la posibilidad de interferencia en las bandas espacio-Tierra para investigación del espacio lejano:

CUADRO 2

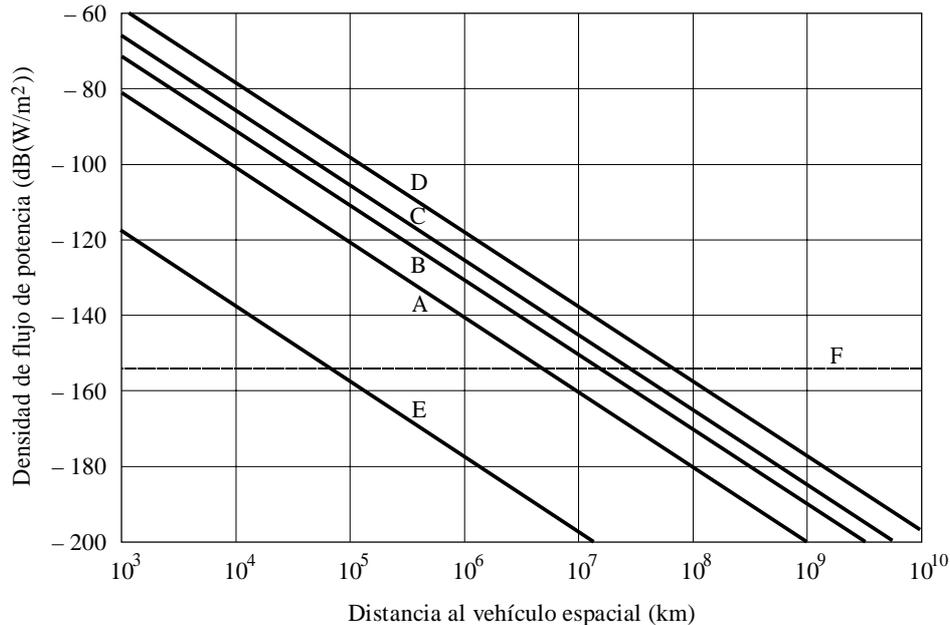
Posibilidades de interferencia en las bandas en el sentido espacio-Tierra

Fuente	Receptor
Estación del espacio lejano	Estación terrenal o estación terrena
Estación del espacio lejano	Satélite en órbita terrestre
Estación terrenal o estación terrena	Estación terrena para el espacio lejano
Satélite cercano a la Tierra	Estación terrena para el espacio lejano

2.1 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de estaciones espaciales para la investigación del espacio lejano a receptores terrenales o de estación terrena

La fig. 4 muestra la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra causada por estaciones espaciales para la investigación del espacio lejano típicas. Estas estaciones suelen utilizar, cuando están cerca de la Tierra, antenas de poca ganancia y haz ancho. A las seis horas de haber sido lanzadas, a lo sumo, han alcanzado generalmente una distancia suficiente para que la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra sea menor que la máxima permitida por el RR para la protección de los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa.

FIGURA 4
Densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra
en función de la distancia al vehículo espacial



- A: Transmisor de 13 dBW, ganancia de antena: 37 dBi, a 2 295 MHz
 B: Transmisor de 13 dBW, ganancia de antena: 48 dBi, a 8 425 MHz
 C: Transmisor de 13 dBW, ganancia de antena: 52 dBi, a 13 GHz
 D: Transmisor de 13 dBW, ganancia de antena: 60 dBi, a 32 GHz
 E: Transmisor de 13 dBW, ganancia de antena: 0 dBi
 F: Densidad de flujo de potencia: $-154 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, número 2557 del RR

D04

Cuando la estación espacial transmisora está utilizando una antena direccional de ganancia más elevada, existe la posibilidad de interferencia a receptores terrenales sensibles si sus antenas están dirigidas de forma que permitan el acoplamiento del haz principal. Una estación espacial que funciona a 2,3 GHz con una p.i.r.e. de 51 dBW a una distancia de 5×10^8 km podría causar un nivel de entrada de -168 dBW en un receptor transhorizonte (antena de 27 m, haz principal). La duración del tal interferencia sería del orden de algunos minutos cada día, debido a la rotación de la Tierra.

2.2 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de estaciones espaciales para la investigación del espacio lejano a receptores de satélites cercanos a la Tierra

Las consideraciones con relación a esta interferencia son similares a las hechas en el § 2.1, para el caso de interferencia causada por una estación espacial a un receptor terrenal, salvo en lo que respecta a la geometría del trayecto. Según las condiciones cambiantes de esa geometría, se pueden producir interferencias ocasionales de corta duración.

2.3 Posibilidad de interferencia causada por transmisores terrenales o de estación terrena a receptores de estaciones terrenas para el espacio lejano

La interferencia causada a los receptores de estaciones terrenas para el espacio lejano puede provenir de estaciones terrenales o terrenas, a través de trayectos de visibilidad directa, por fenómenos de propagación troposférica o dispersión debida a la lluvia. Véanse en el § 3 algunas consideraciones sobre coordinación.

Los servicios terrenales con transmisores de gran potencia y antenas de ganancia elevada son posibles fuentes de interferencia. Es menos probable que los transmisores de estaciones terrenas sean fuentes de interferencia, pero ello depende de la p.i.r.e. en la dirección de la estación terrena para el espacio lejano. El procedimiento de coordinación debe proporcionar protección adecuada contra las estaciones de los sistemas de relevadores radioeléctricos.

Los transmisores de aeronave dentro de la línea de visibilidad directa de una estación terrena para el espacio lejano pueden causar interferencia grave. A una distancia máxima en línea de visibilidad directa en cualquier dirección (391 km para una aeronave a 12 km de altitud), una p.i.r.e. de -26 dB(W/Hz) (por ejemplo 10 dB(W/4 kHz) y antena de 0 dBi) rebasará el límite de interferencia de la estación terrena en, por lo menos, el valor indicado en el cuadro 3, suponiéndose el diagrama de radiación de estación terrena de referencia.

CUADRO 3

Interferencia causada por un transmisor de aeronave hipotético

Frecuencia (GHz)	Máxima densidad espectral de potencia de interferencia admisible (dB(W/Hz))	Cuánta en que el nivel de la señal de la aeronave rebasa la potencia de interferencia máxima admisible ⁽¹⁾ (dB)
2,3	-222,5	35,0
8,4	-220,9	22,1
13,0	-220,5	17,9
32,0	-217,3	6,9

⁽¹⁾ Nivel de la señal de la aeronave menos el límite de interferencia de la estación terrena para el espacio lejano.

Los transmisores de radionavegación instalados a bordo de aeronaves que pueden funcionar en la región de 32 GHz del espectro, constituyen un ejemplo concreto de las posibles fuentes de interferencia perjudicial causadas a los receptores de estaciones terrenas para el espacio lejano. Esta clase de transmisores abarca una amplia variedad de características: potencia de salida; onda continua, modulación por impulsos o modulación de frecuencia lineal en escalones («chirp»); antenas fijas o de barrido con diagramas de radiación de haz ancho y de haz estrecho. La probabilidad y el grado de interferencia producido por un determinado transmisor pueden determinarse sobre la base de casos particulares, lo cual está fuera del objeto de este anexo. No obstante, es generalmente cierto que si un transmisor de radionavegación de aeronave está dentro de la línea de visibilidad directa del receptor de la estación terrena, el nivel de interferencia máximo admisible puede ser rebasado durante un tiempo suficiente como para causar una degradación del servicio o la interrupción del mismo.

Generalmente no puede efectuarse la coordinación con estaciones de aeronaves.

2.4 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de satélites cercanos a la Tierra a receptores de estaciones terrenas para el espacio lejano

En el Informe 688 del ex CCIR (Ginebra, 1982) puede encontrarse un análisis de la posibilidad de interferencia en la banda 2 290-2 300 MHz causadas por satélites de gran excentricidad. Dicho Informe llega a la conclusión de que la compartición no es posible. Esta conclusión es válida también para satélites en órbitas circulares y de excentricidad moderada.

2.5 Posibilidad de interferencia en receptores de estaciones terrenas para el espacio lejano causada por satélites en órbita terrestre que transmiten a un satélite de retransmisión geoestacionario

En el cuadro 4 se presenta el análisis de una situación en la cual un enlace entre un vehículo espacial usuario y un satélite de retransmisión de datos (SRD) geoestacionario roza la superficie de la Tierra cerca de la ubicación de una estación terrena para el espacio lejano. Se supone que el haz principal de la antena de la estación terrena está dirigido hacia el satélite usuario. El margen de interferencia negativo significa que no ha sido observado el criterio de protección para el receptor de la estación terrena.

CUADRO 4

Interferencia causada a una estación terrena para investigación del espacio lejano por un enlace de satélite de retransmisión (32 GHz)

Altitud del satélite de usuario SDR (km)	500,0	1 000,0
Potencia del transmisor (dBW)	10,0	10,0
Conversión de anchura de banda (300 Mbit/s, MDP-4) (dB/Hz)	-84,8	-84,8
Ganancia de la antena transmisora (dBi)	52,0	52,0
Reducción de ganancia fuera del eje (dB)	-39,3	-32,3
Pérdida del trayecto (32,1 GHz) (dB)	-184,7	-190,2
Ganancia de la antena de la estación terrena (dBi)	83,6	83,6
Interferencia recibida (dB(W/Hz))	-163,2	-161,7
Criterio de interferencia perjudicial (dB(W/Hz))	-217,3	-217,3
Margen de interferencia (dB)	-54,1	-55,6

Para reducir a 0 dB el margen de interferencia negativo indicado en el cuadro, el satélite usuario del SRD debe permanecer desplazado al menos $1,7^\circ$ con relación al eje del haz principal de la antena de la estación terrena. Si la estación terrena está efectuando el seguimiento diario de un determinado vehículo espacial en el espacio lejano, y si el satélite usuario de retransmisión de datos atraviesa el haz de la antena de la estación terrena en algún momento de un día determinado, el satélite pasará a través del haz a menos de $1,7^\circ$ del eje del haz con una frecuencia comprendida entre una vez cada 12 días y una vez cada día. La frecuencia de paso depende del periodo orbital del satélite. Por ejemplo, un satélite con un periodo orbital de 84 min puede producir un margen de interferencia negativo de hasta 0,8 min de duración cada 7 días.

Si bien un intervalo de interferencia menor de 1 min no es relativamente importante para algunos servicios radioeléctricos en el servicio de investigación espacial puede producir una pérdida irrecuperable de datos científicos durante varios minutos (véase el § 1.1).

El análisis efectuado considera únicamente un solo satélite usuario y una estación terrena para el espacio lejano. Un número mayor de satélites aumentará la probabilidad de interferencia. Se puede concluir que no es posible la compartición de bandas entre la investigación del espacio lejano y los enlaces entre vehículos espaciales usuarios y satélites de retransmisión geoestacionarios.

3. Discusión

3.1 *Intersecciones de las órbitas de los satélites con los haces de antena de las estaciones terrenas para el espacio lejano*

La probabilidad de que un satélite se encuentre en el haz principal de la antena de una estación terrena para el espacio lejano determina en gran medida la posibilidad de compartición de banda entre los enlaces correspondientes.

Se han analizado las estadísticas sobre puntería de la antena en un conjunto amplio de misiones de espacio lejano y se ha determinado que la ganancia de antena de la estación terrena en el sentido de la órbita de los satélites geoestacionarios debe ser 10 dBi o superior durante el 20% del tiempo.

Los satélites no geoestacionarios pueden atravesar cada día uno o más haces de seguimiento de espacio lejano. En el Informe UIT-R SA.684 (Informe 684 del ex CCIR (Düsseldorf, 1990)) aparecen detalles sobre estadísticas de la visibilidad y tiempos de permanencia en el haz para el caso de satélites en órbita baja.

3.2 *Coordinación y compartición*

La p.i.r.e. muy elevada y la extremada sensibilidad de las estaciones terrenas destinadas a la investigación del espacio lejano, implican normalmente zonas de coordinación excepcionalmente grandes.

La compartición de frecuencias con estaciones que están en la línea de visibilidad directa (LVD) de estaciones terrenas para el espacio lejano no es posible. Las estaciones en LVD causarán una interferencia excesiva a los receptores de estaciones terrenas para el espacio lejano, o estarán expuestas a una interferencia excesiva producida por los transmisores de estas últimas estaciones. Es frecuente que estaciones móviles aeronáuticas y satélites cercanos a la Tierra entren en la LVD de estaciones terrenas para el espacio lejano.

La compartición de las bandas en el sentido Tierra-espacio para investigación del espacio lejano con estaciones que utilizan una p.i.r.e. media elevada no es factible a causa de las posibles interferencias a las estaciones en el espacio lejano. Se suele considerar que las estaciones con una p.i.r.e. más de 30 dB por debajo de la p.i.r.e. adoptada o planificada para las estaciones terrenas de investigación espacial no plantean dificultades importantes. Ello supone una p.i.r.e. media no superior a 81 dBW a 2 GHz y 84 dBW a 7 GHz.

4. Conclusiones

Los criterios y las consideraciones formulados en este anexo llevan a las siguientes conclusiones.

4.1 *Compartición de las bandas en el sentido Tierra-espacio*

La coordinación permite que la investigación del espacio lejano comparta bandas Tierra-espacio con estaciones de otros servicios, excluidas las siguientes:

- estaciones aeronáuticas receptoras móviles, estaciones receptoras de satélites o satélites con sensores activos de microondas que puedan hallarse en la línea de visibilidad directa;
- estaciones receptoras móviles que puedan hallarse dentro de la distancia de separación requerida para la protección contra la interferencia; y
- estaciones terrenas transmisoras cuya p.i.r.e. media sea superior a 81 dBW en la región de 2 GHz y a 84 dBW en la región de 7 GHz.

4.2 *Compartición de las bandas en el sentido espacio-Tierra*

La coordinación permite que la investigación del espacio lejano comparta bandas espacio-Tierra con estaciones de otros servicios, excluidas las siguientes:

- el servicio de radioastronomía,
 - estaciones aeronáuticas transmisoras móviles, estaciones transmisoras de satélites o satélites con sensores activos de microondas que pueden hallarse en la línea de visibilidad directa, y
 - estaciones transmisoras móviles que puedan hallarse dentro de la distancia de separación requerida para la protección contra la interferencia.
-