

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SA.1016-1
(08/2019)

**Consideraciones sobre compartición
en relación con el servicio
de investigación espacial
(espacio lejano)**

Serie SA
Aplicaciones espaciales y meteorología



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2020

© UIT 2020

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

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1016-1

Consideraciones sobre compartición en relación con el servicio de investigación espacial (espacio lejano)

(1994-2019)

Cometido

En esta Recomendación se exponen las consideraciones de compartición de frecuencias relativas al servicio de investigación espacial (espacio lejano) en las bandas de 2 GHz, 7 GHz y 34 GHz.

Palabras clave

Compartición de frecuencias, espacio lejano, estaciones espaciales del SIE, estaciones terrenas del SIE

Recomendaciones e Informes UIT-R pertinentes

Recomendaciones UIT-R SA.509, UIT-R SA.684, UIT-R SA.1014, UIT-R SA.1015, UIT-R SA.1157

Informe ITU-R SA.2066.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a)* que en los Anexos 1 y 2 se estudia la posibilidad de compartición de frecuencias entre las estaciones del servicio de investigación espacial (espacio lejano) y las estaciones de otros servicios;
- b)* que las estaciones terrenas del servicio de investigación espacial (espacio lejano) pueden causar interferencias perjudiciales a las estaciones móviles aeronáuticas receptoras, a las estaciones espaciales receptoras y a las estaciones con sensores de microondas receptoras que se encuentran en la línea de visibilidad directa;
- c)* que las estaciones terrenas del servicio de investigación espacial (espacio lejano) pueden causar interferencias perjudiciales a las estaciones móviles receptoras que no están suficientemente separadas;
- d)* que las transmisiones de alta potencia de las estaciones terrenas pueden interferir con las estaciones espaciales del servicio de investigación espacial (espacio lejano), especialmente durante las operaciones cercanas a la Tierra de las estaciones espaciales;
- e)* que las estaciones terrenas del servicio de investigación espacial (espacio lejano) pueden sufrir interferencias perjudiciales de las estaciones móviles aeronáuticas transmisoras, las estaciones espaciales transmisoras y las estaciones activas con sensores de microondas que se encuentran en la línea de visibilidad directa;
- f)* que las estaciones terrenas del servicio de investigación espacial (espacio lejano) pueden recibir interferencias perjudiciales de estaciones móviles transmisoras que no están suficientemente separadas;
- g)* que las estaciones espaciales del servicio de investigación espacial (espacio lejano) pueden afectar negativamente a las estaciones del servicio de radioastronomía,

recomienda

1 que, con una coordinación operacional satisfactoria, el servicio de investigación espacial (espacio lejano) pueda compartir las bandas de frecuencias en la dirección Tierra-espacio con estaciones de los servicios a los que ya se ha atribuido la misma banda, excepto las estaciones siguientes para las que la compartición no es factible:

- estaciones móviles aeronáuticas receptoras, estaciones espaciales receptoras y satélites con sensores de microondas, cuando alguna de estas estaciones entre en la línea de visibilidad;
- estaciones móviles receptoras que se encuentren a una distancia inferior a la distancia de separación necesaria para la protección contra la interferencia;
- estaciones terrenales transmisoras con una p.i.r.e. media superior a 82 dBW en las bandas próximas a 2 GHz, a 85 dBW en las bandas próximas a 7 GHz y a 84 dBW en las bandas próximas a 34 GHz (véase la Nota 1);

2 que, con una coordinación operacional satisfactoria, el servicio de investigación espacial (espacio lejano) debería poder compartir bandas de frecuencias en la dirección espacio-Tierra con estaciones de los servicios a los que ya se ha atribuido la misma banda, excepto las estaciones siguientes para las que la compartición no es factible:

- estaciones aeronáuticas transmisoras móviles, estaciones espaciales transmisoras 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;
- el servicio de radioastronomía;

3 que la siguiente nota se considere parte de la presente Recomendación.

NOTA – Para los transmisores de los servicios fijo y móvil, el Artículo 21 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT especifica unos límites de p.i.r.e. mucho más bajos.

Anexo 1

Consideraciones sobre compartición en relación con el servicio de investigación espacial (espacio lejano)

1 Consideraciones de compartición en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de investigación espacial (espacio lejano) en la dirección Tierra-espacio

En el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT se identifican las bandas de frecuencias 2 110-2 120 MHz, 7 145-7 190 MHz y 34,2-34,7 GHz para su utilización por el servicio de investigación espacial (espacio lejano) en la dirección Tierra-espacio. Además, la banda de frecuencias 16,6-17,1 GHz se identifica como una atribución secundaria para su utilización por el servicio de investigación espacial (espacio lejano). En el Cuadro 1 y en los puntos siguientes se considera la posibilidad de interferencia en esas bandas para el servicio de investigación espacial (espacio lejano).

CUADRO 1

Posibilidad de interferencia en las bandas Tierra-espacio

Fuente	Receptor
Estación terrena de espacio lejano	Estación terrenal o estación terrena
Estación terrena de espacio lejano	Satélite en órbita en torno a la Tierra
Estación terrenal o estación terrena	Estación de espacio lejano
Satélite cercano a la Tierra	Estación de espacio lejano

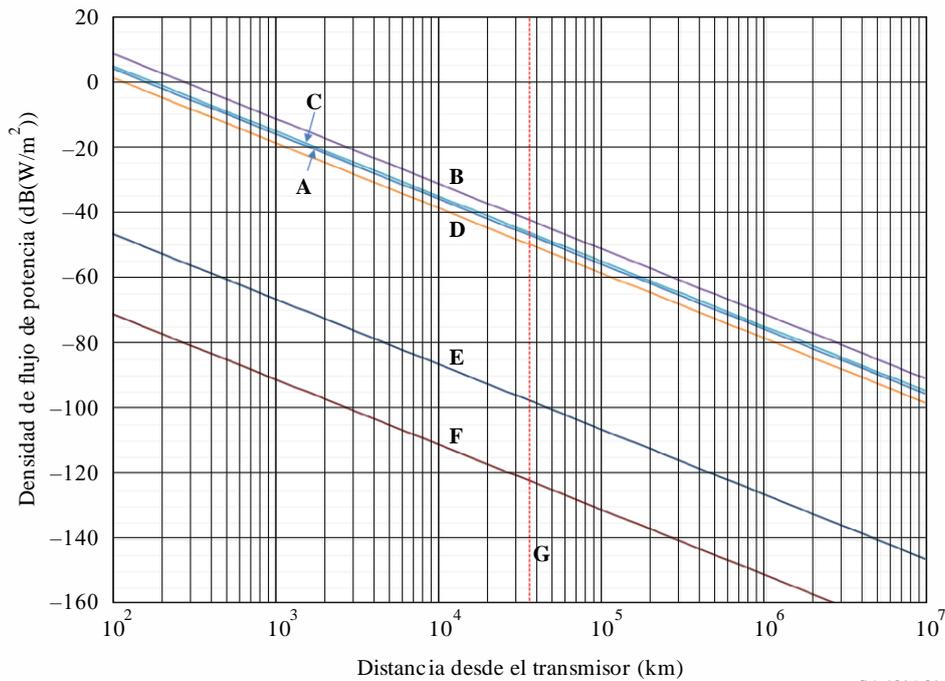
1.1 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de estaciones terrenas de espacio lejano a receptores terrenales/en aeronaves o de estación terrena

La potencia de transmisión total normal de las actuales estaciones terrenas de espacio lejano es de 43 dBW en las bandas de 2 GHz y 7 GHz, y de 30 dBW en la banda de 34 GHz (véase la Recomendación UIT-R SA. 1014). Para un ángulo de elevación mínimo de 10 grados, la p.i.r.e. dirigida hacia el horizonte no es superior a 50 dB (W/4 kHz) en las bandas de 2 y 7 GHz, ni a 37 dB (W/4 kHz) en la banda de 34 GHz, suponiendo el diagrama de radiación de antena de estación terrena de referencia de la Recomendación UIT-R SA. 509. Así pues, la p.i.r.e. hacia el horizonte cumple los requisitos de los números **21.10** y **21.11** del RR. En caso de potencias de transmisión superiores de las estaciones terrenas del SIE, los ángulos de elevación deben aumentarse consiguientemente para cumplir los límites de la p.i.r.e. del Reglamento de Radiocomunicaciones hacia el horizonte.

Las estaciones de aeronaves dentro de la línea de visibilidad directa de una estación terrena de espacio lejano pueden encontrar las densidades totales de flujo de potencia indicadas en la siguiente Fig. 1. Para aviones a una altura de 12 km, la distancia máxima de la línea de visibilidad directa a una estación terrena es de 391 km. En ese caso, suponiendo una potencia de transmisión de 100 kW de la estación terrena y una ganancia de antena de transmisión de -10 dBi (Recomendación UIT-R SA. 509), la densidad de flujo de potencia total (dfp) en la aeronave nunca puede ser inferior a -83 dB (W/m²). Como la distancia de separación y la dirección de la antena de estación terrena cambian, la estación de aeronave puede experimentar una dfp y niveles de interferencia mucho más elevados. Así, por lo general no puede efectuarse la coordinación con estaciones de aeronaves.

FIGURA 1

Densidad de flujo de potencia en función de la distancia a la estación terrena SIE



Transmisor: Estación terrena de espacio lejano, antena de 70 m de diámetro

A: haz principal, 34,5 GHz, 1 kW

B: haz principal, 17 GHz, 10 kW

C: haz principal, 7 170 MHz, 20 kW

D: haz principal, 2 115 MHz, 100 kW

E: 5 grados fuera del eje (14,5 dBi de ganancia, Rec. UIT-R SA.509), 2 115 MHz, 100 kW

F: > 48 grados fuera del eje (-10 dBi de ganancia, Rec. UIT-R SA.509), 2 115 MHz, 100 kW

G: altitud de la órbita geoestacionaria: 35 800 km.

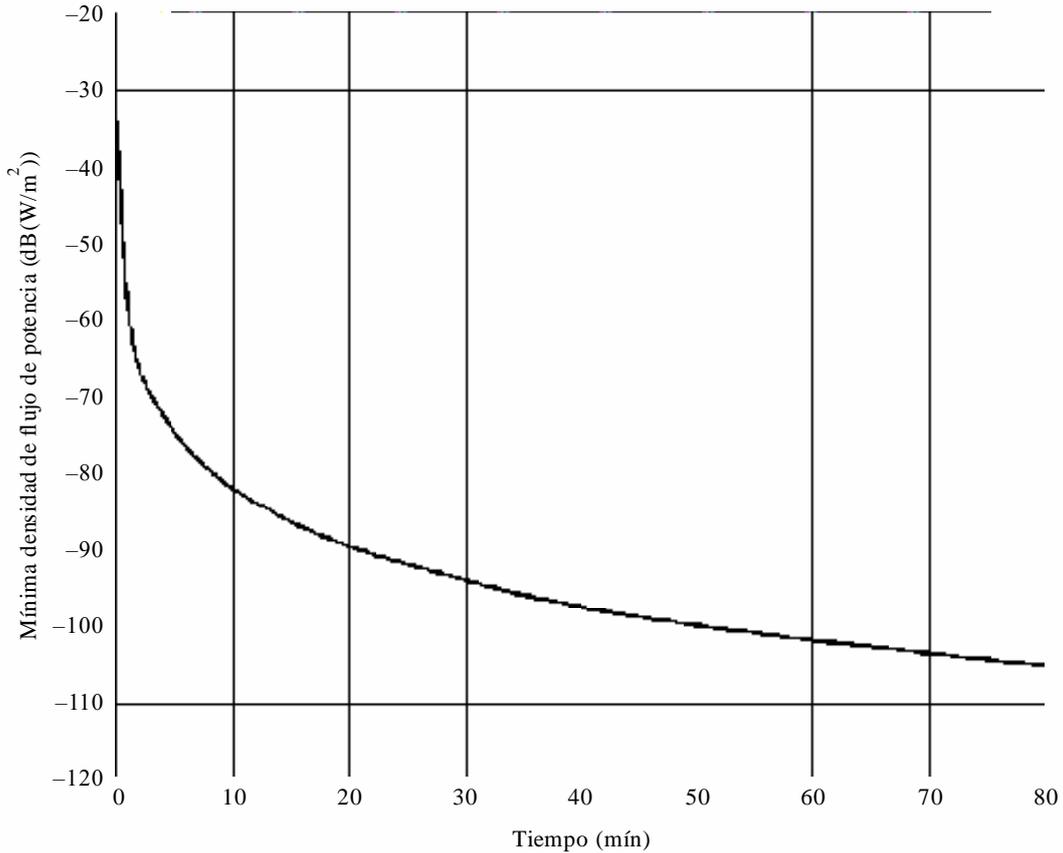
Además, los mecanismos de propagación de superrefracción, propagación por conductos y dispersión debida a las precipitaciones pueden acoplar emisiones provenientes de transmisores de estaciones terrenas de espacio lejano con receptores terrenales y con receptores de otras estaciones terrenas. Con excepción 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 de espacio lejano a receptores de satélite

Los satélites que se encuentren dentro del haz de la estación terrena de espacio lejano encontrarán d_{fp} como se muestra en la Fig. 1. Cuando la estación terrena sigue a un vehículo espacial cuya dirección es tal que el haz de la antena pasa a través de la órbita del satélite geoestacionario (OSG), la d_{fp} en ese punto de la órbita variará con el tiempo, como se muestra en la Fig. 2. Por ejemplo, la d_{fp} total será de -95 dB (W/m²) o superior durante 32 minutos. En la Figura se supone una potencia de transmisión de 50 dBW, una antena de 70 m y el diagrama de antena de estación terrena de referencia de la Recomendación UIT-R SA.509. Una observación importante es que la d_{fp} mínima en la OSG dentro de la línea de visibilidad directa de una estación terrena de espacio lejano es de al menos -122 dB (W/m²), independientemente de la dirección de puntería de la antena.

FIGURA 2

Duración del tiempo en que la dfp en un punto de la órbita de los satélites geoestacionarios puede superar una dfp mínima



SA.1016-02

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

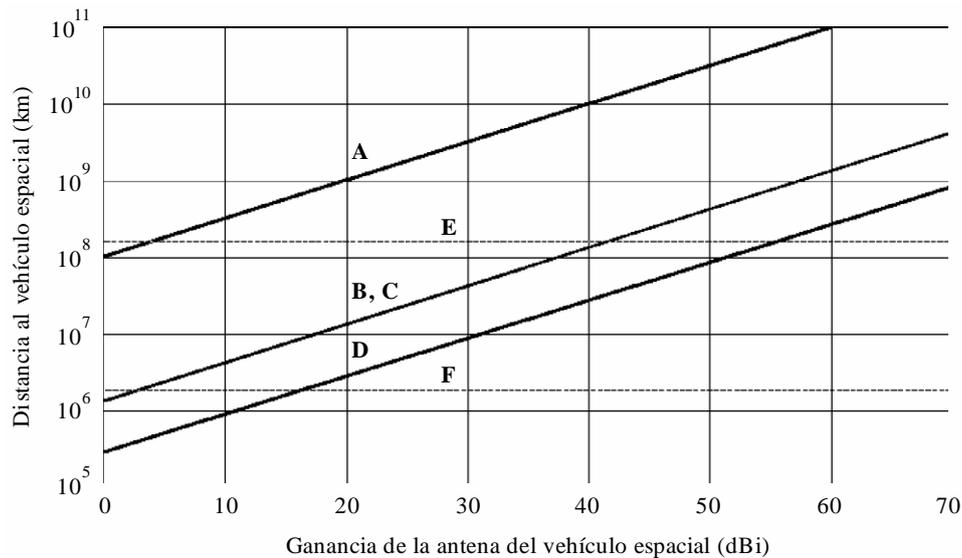
Además, la duración y magnitud de las señales procedentes de transmisores de estaciones terrenas de espacio lejano, que pueden interferir con los satélites de órbitas no geoestacionarias, depende de esas órbitas y la dirección a la que apunta la antena de la estación terrena.

1.3 Posibilidad de interferencia causada por transmisores terrenales o de estación terrena a receptores de estaciones de espacio lejano

Los transmisores terrenales o los transmisores de estaciones terrenas a la vista de una estación de espacio lejano son fuentes potenciales de interferencia. En la Fig. 3 se muestra la distancia de la estación espacial a la que la densidad de potencia de interferencia de ese transmisor iguala la densidad de potencia de ruido del receptor.

FIGURA 3

Distancia del vehículo espacial al transmisor terrenal para una potencia de interferencia igual a la potencia de ruido del receptor



SA.1016-03

- A: transmisor transhorizonte: p.i.r.e. en 2 115 MHz: 93 dB (W/10 kHz) potencia de ruido del receptor: -191 dB (W/20 Hz)
 B: transmisor de 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 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 kHz)
 E: 1 AU = $1,5 \times 10^8$ km
 F: límite interior de espacio lejano: 2×10^6 km

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 interferir con el receptor de una estación espacial a distancias de hasta $4,1 \times 10^9$ km (temperatura de ruido de 600 K, antena de vehículo espacial de 3,7 m). La posibilidad de interferencia a una distancia tan grande supone una amenaza para las misiones espaciales a planetas tan lejanos como Urano. Las estaciones con p.i.r.e. más baja, o con antenas que apuntan hacia fuera del plano eclíptico, tienen menos posibilidades de interferencia.

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

Los satélites en órbita en torno a la Tierra suelen tener antenas dirigidas a la Tierra o a otros satélites. La interferencia con los receptores de estaciones de espacio lejano puede producirse durante esos breves períodos en los que la antena del satélite está orientada para permitir el acoplamiento del haz principal. Las señales que reciben las estaciones de espacio lejano de los satélites serán casi siempre más débiles que las de las estaciones terrestres.

2 Consideraciones de compartición: bandas espacio-Tierra

El Reglamento de Radiocomunicaciones identifica las bandas de frecuencias 2 190-2 300 MHz, 8 400-8 450 MHz y 31,8-32,3 GHz para uso del servicio de investigación espacial (espacio lejano) en la dirección espacio-Tierra. Además, la banda de frecuencias 37-38 GHz está identificada para su utilización por el servicio de investigación espacial sin restringirla al espacio lejano o a la proximidad a la Tierra, y 12,75-13,25 GHz está identificada como una atribución secundaria para su utilización por el servicio de investigación espacial (espacio lejano). En el Cuadro 2 y en los puntos siguientes se considera la posibilidad de interferencia en esas bandas para el servicio de investigación espacial (espacio lejano).

CUADRO 2

Posibilidad de interferencia en las bandas espacio-Tierra

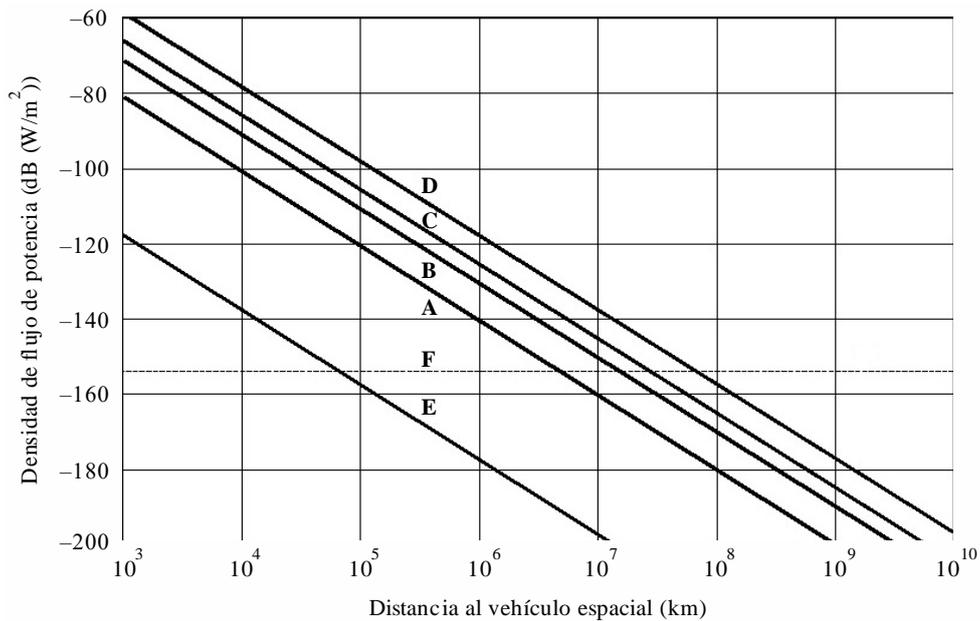
Fuente	Receptor
Estación de espacio lejano	Estación terrenal o estación terrena
Estación de espacio lejano	Satélite en órbita en torno a la Tierra
Estación terrenal o estación terrena	Estación terrena de espacio lejano
Satélite en órbita en torno a la Tierra	Estación terrena de espacio lejano

2.1 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de estaciones de espacio lejano a receptores terrenales o estaciones terrenas

En la Fig. 4 se muestra una dfp en la superficie de la Tierra causada por estaciones de espacio lejano habituales. Esas estaciones a menudo utilizan antenas de baja ganancia y haz ancho cuando están cerca de la Tierra. Como tales, a las seis horas del lanzamiento, suelen estar a una distancia suficiente para que la dfp en la superficie de la Tierra sea inferior al máximo permitido por el Reglamento de Radiocomunicaciones para la protección de los sistemas de relevadores radioeléctricos de línea de visibilidad directa.

FIGURA 4

Densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra en función de la distancia de los vehículos espaciales



SA.1016-04

- A: transmisor 13 dBW, ganancia de antena 37 dBi, 2 295 MHz
- B: transmisor 13 dBW, ganancia de antena 48 dBi, 8 425 MHz
- C: transmisor 13 dBW, ganancia de antena 52 dBi, 13 GHz
- D: transmisor 13 dBW, ganancia de antena 60 dBi, 32 GHz
- E: transmisor 13 dBW, ganancia de la antena 0 dBi
- F: densidad de flujo de potencia -154 dB (W/m²), banda de 2 GHz, número **21.16** del RR (Cuadro **21-4**)

Nota: Según el Cuadro **21-4** del RR, los límites de dfp son -154 dB (W/m²) en la banda 2,2-2,3 GHz, -150 dB (W/m²) en la banda 8,4-8,5 GHz, -120 dB (W/m²) en la banda 31,8-32,5 GHz y en la banda 37-38 GHz para los satélites de investigación espacial no OSG, y -125 dB (W/m²) en la banda 37-38 GHz para los satélites de investigación espacial OSG.

Cuando la estación espacial transmisora está utilizando una antena directiva de ganancia más elevada, existe la posibilidad de interferencia con 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 de 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 de espacio lejano a receptores de satélites en órbita en torno a la Tierra

Las consideraciones con relación a esta interferencia son similares a las que figuran 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 de espacio lejano

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

Los servicios terrenales con transmisores de gran potencia y antenas de alta ganancia 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 de espacio lejano. La 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 de espacio lejano pueden causar interferencias perjudiciales. Por ejemplo, en el Cuadro 3 se muestran los niveles de interferencia recibida que superan los niveles de densidad espectral de potencia máxima (PSD) permitidos para una estación terrena de espacio lejano de referencia. En los cálculos que se muestran en este Cuadro, se supone una aeronave que vuela a 12 km de altitud con una distancia máxima de línea de visibilidad directa de 391 km y que transmite una p.i.r.e. de -26 dB (W/Hz), calculada utilizando 10 dB (W/4 kHz) y una ganancia de antena de 0 dBi. En esos cálculos, se supone que la antena de la estación terrena de referencia tiene una ganancia de -10 dBi y solo se consideran pérdidas en el espacio libre.

CUADRO 3

Interferencia causada por un transmisor de aeronave hipotético

Frecuencia (GHz)	Máxima interferencia admisible PSD dB (W/Hz)	PSD de interferencia recibida de la aeronave dB (W/Hz)	Cuánta en que la interferencia supera la PSD máxima admisible ⁽¹⁾ (dB)
2,3	-222	-187,5	334,5
8,4	-221	-198,8	222,2
13	-220	-202,6	117,4
32	-217	-210,4	66,6
37	-217	-211,7	5,3

⁽¹⁾ PSD de interferencia recibida de la aeronave menos la PSD de límite de interferencia de estación terrena espacial.

Los transmisores de radionavegación en aeronave 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 de espacio lejano. Esa clase de transmisores abarca una amplia variedad de características en cuanto a potencia de salida, modulación por onda continua/impulsos/frecuencia lineal en escalones («chirp») y 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. 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 de espacio lejano, el nivel de interferencia máximo admisible puede ser rebasado durante un tiempo suficiente como para causar una degradación del servicio o, peor todavía, la interrupción del mismo.

Como resultado, no suele poder efectuarse la coordinación con estaciones de aeronaves.

2.4 Posibilidad de interferencia causada por transmisores de satélites en órbita en torno a la Tierra a receptores de estaciones terrenas de espacio lejano

En el Anexo 2 figura un análisis de la posibilidad de interferencia en la banda 2 290-2 300 MHz causada por satélites de gran excentricidad. Se 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 de espacio lejano causada por satélites en órbita en torno a la Tierra que transmiten a un satélite de retransmisión geostacionario

En el Cuadro 4 se presentan los parámetros de un enlace entre un vehículo espacial usuario y un satélite de retransmisión de datos (SRD) geostacionario que roza la superficie de la Tierra cerca de la ubicación de una estación terrena de espacio lejano. Se supone que el haz principal de la antena de la estación terrena está dirigido a diferentes ángulos de elevación y que el satélite de usuario pasa a través del haz principal.

CUADRO 4

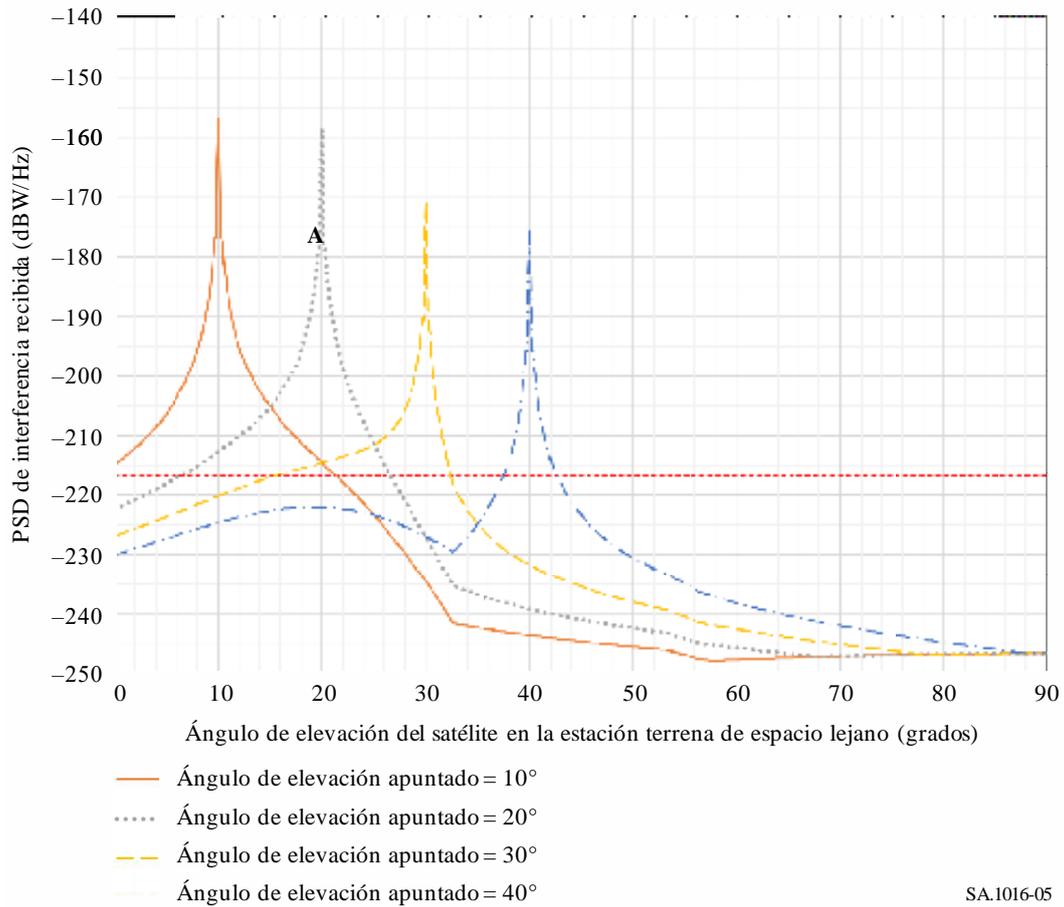
Parámetros de un enlace de satélite de retransmisión a una estación terrena de espacio lejano (2 290 MHz)

Altitud del satélite de usuario SRD (km)	1 000
Potencia del transmisor (dBW)	1-7,0
Ancho de banda de transmisor (MHz)	10
Diámetro de antena de transmisor (m)	1
Ganancia de antena de transmisor	Rec. UIT-R S.672
Diámetro de la antena de la estación terrena (m)	70
Ganancia de la antena de la estación terrena	Rec. UIT-R SA.509
Criterio de interferencia perjudicial (dB(W/Hz))	-217

La Fig. 5 muestra la PSD de la interferencia recibida de antenas de estaciones terrenas de espacio lejano que apuntan a diferentes ángulos de elevación. La Figura muestra que, en todos los casos, existen rangos de ángulos de elevación de satélite cuando la interferencia recibida supera el criterio de protección del receptor de la estación terrena.

FIGURA 5

PSD de interferencia recibida en la estación terrena de espacio lejano apuntando a ángulos de elevación de 10, 20, 30 y 40 grados



Para reducir la PSD de interferencia por debajo del nivel de protección del receptor de la estación terrena de espacio lejano, el satélite de usuario DRS debe permanecer a una distancia mínima de 2,6 grados del eje del haz principal de la antena de la estación terrena; debe recordarse que el ángulo de separación real requerido depende de la elevación de puntería de la estación terrena de espacio lejano. Por ejemplo, si la estación terrena de espacio lejano está rastreando un vehículo espacial en Marte, entonces el satélite usuario de DRS con los parámetros mostrados en el Cuadro 4 pasará a través del haz a menos de 2,6 grados del eje del haz con una frecuencia que oscila entre dos veces al día y una vez cada tres días. En ese caso, el satélite tiene un periodo orbital de 105 minutos y puede producir interferencias que superan la protección de la estación terrena con una duración de entre 0,6 minutos y 4,6 minutos. La frecuencia y la duración de la interferencia dependen de los parámetros orbitales del satélite.

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

En el análisis anterior se considera únicamente un satélite de usuario único y una estación terrena de espacio lejano. Un número mayor de satélites aumentará la probabilidad de interferencia. Se puede concluir que no es posible la compartición de bandas entre el servicio de investigación espacial (espacio lejano) y los enlaces entre vehículos espaciales de usuarios y satélites de retransmisión geoestacionarios.

3 Análisis

3.1 Intersecciones de órbitas de satélites con haces de antena de las estaciones terrenas de espacio lejano

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

Se han analizado los datos estadísticos sobre el apuntamiento de antena de un conjunto completo de misiones al espacio lejano. 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.2066 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 de 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 de espacio lejano no es posible. Las estaciones en LVD causarán una interferencia perjudicial a los receptores de estaciones terrenas de espacio lejano, o estarán expuestas a una interferencia perjudicial producida por los transmisores de esas últimas estaciones. Recuérdese que las estaciones móviles aeronáuticas y los satélites en órbita en torno a la Tierra entran en la LVD de estaciones terrenas de espacio lejano.

La compartición de las bandas en el sentido Tierra-espacio de 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 inferior a la p.i.r.e. adoptada o planificada para las estaciones terrenas de investigación espacial no plantean dificultades importantes. Normalmente, eso significa una p.i.r.e. media no superior a 82 dBW en 2 GHz, 85 dBW en 7 GHz y 84 dBW en 34 GHz, ya que la p.i.r.e. transmitida por la estación terrena del SIE es de 112 dBW en 2 GHz, 115 dBW en 7 GHz y 114 dBW en 34 GHz (véase la Recomendación UIT-R SA.1014).

4 Conclusión

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

4.1 Compartición de las bandas Tierra-espacio

Con una coordinación satisfactoria, el servicio de investigación espacial (espacio lejano) debería poder compartir las bandas Tierra-espacio con estaciones de los servicios a los que ya se ha atribuido la misma banda, excepto las estaciones siguientes en las que la compartición no es factible:

- estaciones móviles aeronáuticas receptoras, estaciones espaciales receptoras y satélites con sensores de microondas que puedan hallarse en la línea de visibilidad directa;
- estaciones móviles receptoras que puedan hallarse dentro de la distancia de separación requerida para la protección contra la interferencia; y

- estaciones terrenas transmisoras con una p.i.r.e. media superior a 82 dBW en las bandas próximas a 2 GHz, 85 dBW en las bandas próximas a 7 GHz y a 84 dBW en las bandas próximas a 34 GHz.

Obsérvese que, para los transmisores de los servicios fijo y móvil, el Artículo 21 del Reglamento de Radiocomunicaciones especifica límites de p.i.r.e. mucho más bajos.

4.2 Compartición de las bandas en el sentido espacio-Tierra

Con una coordinación satisfactoria, el servicio de investigación espacial (espacio lejano) debería poder compartir las bandas espacio-Tierra con estaciones de los servicios a los que ya se ha atribuido la misma banda, excepto las estaciones siguientes en las que la compartición no es factible:

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

Anexo 2

Viabilidad de la compartición entre satélites de investigación espacial en órbitas excéntricas y estaciones terrenas de investigación espacial (espacio lejano)

1 Introducción

El objetivo del presente anexo es describir las posibles situaciones de interferencia entre los vehículos espaciales que funcionan en órbitas muy elípticas y las estaciones terrenas del SIE que comparten la banda 2 290-2 300 MHz.

En la Recomendación UIT-R SA.1014 figura una lista completa de los emplazamientos de estaciones terrenas del SIE y de las características pertinentes del sistema para esas estaciones. Esas estaciones terrenas del SIE proporcionan comunicación bidireccional entre la Tierra y vehículos espaciales que viajan a distancias lunares y planetarias. Ese requisito de comunicación incluye rastreo, telemetría, control, monitoreo y control de operaciones.

En el Cuadro 5 se indican los emplazamientos de tres grandes estaciones terrenas pertenecientes a la red de comunicaciones con el espacio lejano (DSN), que se utilizan como ejemplos en el presente estudio. Para lograr un contacto radioeléctrico continuo con el vehículo espacial, esas tres estaciones terrenas de espacio lejano se han situado a unos 120 grados de distancia, lo que garantiza que al menos una estación se encuentre en todo momento dentro del campo de visión del vehículo espacial. Además, dado que la mayoría de los vehículos espaciales en misiones al espacio lejano siguen órbitas dentro de los 30 grados del plano ecuatorial, esas tres estaciones principales de DSN están situadas dentro de los 45 grados al norte o al sur del ecuador.

CUADRO 5

Principales emplazamientos de la red de comunicaciones con el espacio lejano (DSN)

Ubicación	Diámetro de reflector de antena (m)	Radio geocéntrico (km)	Latitud geocéntrica (grados)	Longitud geocéntrica (grados)
Estados Unidos (Goldstone)	70	6 371,993	35,24435	243,11408
Australia (Canberra)	70	6 371,709	-35,22123	148,98128
España (Madrid)	70	6 370,019	40,24099	355,15119

Como las grandes distancias de las comunicaciones en el espacio lejano generan atenuaciones de señal de 200 a 300 dB, para que la DSN funcione correctamente se requiere la capacidad de recibir y amplificar señales de muy baja intensidad de campo. Eso se logra utilizando receptores de alta sensibilidad caracterizados por bajas temperaturas de ruido, alta estabilidad y recepción tanto de banda estrecha como de banda ancha.

Los requisitos operativos de la DSN la hacen más susceptible a interferencias que la mayoría de los demás sistemas de comunicaciones. Las posibilidades de interferencia a la DSN que se examinan en el presente anexo se limitan a una situación de compartición de bandas entre la DSN y los vehículos espaciales de investigación que funcionan en órbitas muy elípticas en la banda para investigación espacial 2 290-2 300 MHz.

2 Criterio de interferencia

Los emplazamientos de la DSN utilizados en el estudio de interferencia son las tres antenas de 70 metros situadas en Goldstone, Madrid y Canberra. En cuanto a la interferencia en esos emplazamientos, cualquier señal de banda ancha o espectro de ruido degradaría la relación señal/ruido del receptor y afectaría tanto al circuito de enganche de fase de seguimiento de la portadora como a los canales de datos. En ese caso, la densidad espectral de la señal interferente debe ser al menos 6 dB inferior a la densidad espectral del ruido del sistema receptor para no degradar el receptor más de 1 dB (véase la Recomendación UIT-R SA.1157). Con una temperatura de ruido de sistema a 2 GHz de 16 K, la densidad espectral de ruido del receptor correspondiente viene dada por kT o:

$$10 \log k + 10 \log T = -216,6 \text{ dB (W/Hz)} \quad \text{a 2 GHz}$$

Utilizando el criterio de señal de interferencia de 6 dB, la densidad espectral de interferencia máxima admisible no debe ser superior a $-222,6 \text{ dB (W/Hz)}$ en 2 GHz en el paso de entrada del receptor.

Debido a la naturaleza de la operación de las antenas DSN (que realizan normalmente un seguimiento de horizonte a horizonte en el plano de la eclíptica) y a la función no lineal de la velocidad relativa del vehículo espacial con respecto al tiempo, cualquier modelo estadístico que intente describir el acoplamiento fuera del eje entre las antenas de la DSN y el vehículo espacial se ve superado por el número de variaciones paramétricas. Por esta razón, en este análisis se supone que la ganancia de la antena DSN está representada por una respuesta isotrópica de 0 dB. Ese supuesto representa un compromiso entre una ganancia superior a 0 dBi para ángulos fuera del eje entre 0 grados y 19 grados y una ganancia inferior a 0 dBi para ángulos fuera del eje superiores a 19 grados (véase la Recomendación UIT-R SA.509).

Utilizando ese supuesto, el área efectiva de la antena DSN isótropa 0 dB viene dada por:

$$A_r = \lambda^2/4\pi \quad \text{o} \quad A_r = 0,08 \lambda^2 \quad (1)$$

donde λ es la longitud de onda de interés.

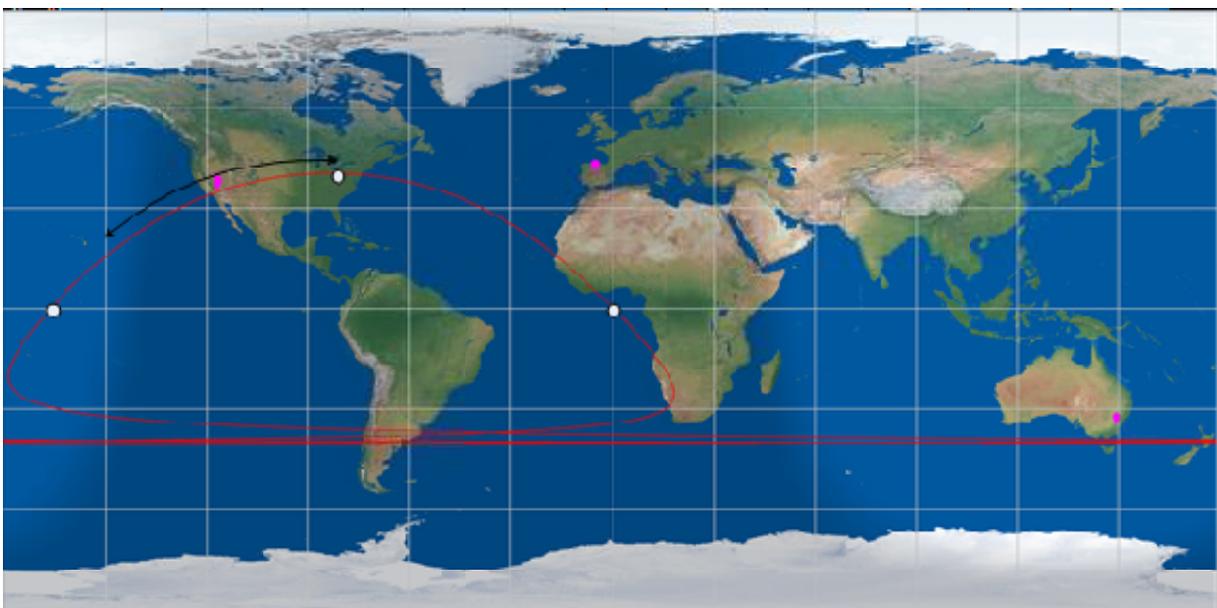
Para la banda de 2,3 GHz (longitud de onda = 13 cm), eso corresponde a un área efectiva de antena de $-28,6$ dB (m^2); o, cuando se utiliza junto con el criterio de densidad espectral de interferencia en el paso de entrada de $-222,6$ dB (W/Hz), produce una d_{fp} máxima de aproximadamente -194 dB ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})$).

3 Órbita del vehículo espacial y características del transmisor

Para el propósito del presente estudio se supuso que la órbita muy elíptica del vehículo espacial era sincrónica con la Tierra durante cuatro días; es decir, que el vehículo espacial pasaba sobre el mismo punto cada cuatro días sidéreos. Para lograrlo se supuso que la órbita del vehículo espacial tenía un apogeo de 199 445 km y un perigeo de 300 km. Además, se utilizó una inclinación de 40 grados. Para visualizar la órbita en relación con la Tierra, la Fig. 6 muestra la posición del vehículo espacial proyectado sobre la Tierra para un nodo ascendente particular de 65 grados, y un argumento de perigeo de 90 grados. Como ejemplo, Goldstone fue elegida como la estación terrestre de interés (mostrada con un *). La Fig. 6 indica las posiciones de los vehículos espaciales en las que hay una línea de visibilidad directa desde el vehículo espacial hasta la estación. Con el fin de mostrar las velocidades relativas en esa órbita altamente elíptica, la Fig. 6 muestra dos puntos a cada lado del perigeo P. El tiempo que se requiere para pasar del punto 1 al 2 es de aproximadamente 54 minutos. El tiempo necesario para completar el resto de la órbita es de unos 5 690 minutos, lo que da como resultado una relación de tiempo pasado por encima del ecuador de menos del 1%.

FIGURA 6

Traza orbital y visibilidad a Goldstone
(Argumento del perigeo = 90 grados,
nodo ascendente = 65 grados)



P: perigeo, A: visibilidad

Se partió de la base de que las características de emisión de los vehículos espaciales eran 6 W de potencia del transmisor, -2 dB de ganancia de antena, 100 kHz de espectro de emisión y 10 dB de factor de cresta espectral. Además, se asumió que el vehículo espacial transmitía continuamente (es decir, el programa calculó solo los momentos en que, si el vehículo espacial iba a transmitir con una ganancia de -2 dB en todas las direcciones, la dfp en la superficie de la Tierra estaría por encima de los niveles de interferencia del umbral de la DSN).

Las características de la órbita del vehículo espacial y del transmisor utilizados en el estudio anterior se resumen en el Cuadro 7.

CUADRO 7

Órbita del vehículo espacial y parámetros del transmisor

Apogeo	199 455 km
Perigeo	300 km
Inclinación	40°
Argumento del perigeo	90° y 270° (perigeo norte y sur)
Longitud del nodo ascendente	-180° a 180°
Vehículo espacial	
Potencia	6 W
Ganancia	-2 dB omnidireccional
Ancho de banda	100 kHz
Factor de cresta espectral	10 dB

4 Resultados y conclusiones

En la Fig. 7 se presentan los resultados de una órbita de vehículo espacial con un argumento del perigeo de 90 grados (perigeo norte); y en la Fig. 8 se muestran los resultados con un argumento del perigeo de 270 grados (o perigeo sur). En ambas Figuras se indica el porcentaje de tiempo durante el cual se supera el criterio de interferencia de la PSD de $-222,6$ dB (W/Hz) en el paso de entrada del receptor de la DSN, en función de la longitud orbital del nodo ascendente. Esos valores van desde la ausencia de interferencia sobre algunas estaciones en determinados nodos ascendentes hasta valores orbitales de 1,6% aproximadamente.

La conclusión particular que puede extraerse de esos datos es que para una inclinación de 40 grados no existen nodos ascendentes en los que el vehículo espacial pueda ser colocado en órbita y que no causen interferencia en al menos uno de los emplazamientos de la DSN. De hecho, la mayoría de los nodos ascendentes causaría un exceso de niveles de interferencia en las tres estaciones en tierra de la DSN. A partir de esa observación, con los parámetros de órbita y de vehículos espaciales que se supone para el análisis, se considera viable la compartición entre la DSN y los vehículos espaciales que funcionan en la banda de investigación espacial 2 290-2 300 MHz en órbitas muy elípticas.

FIGURA 7

Niveles de interferencia para el argumento del perigeo de 90 grados

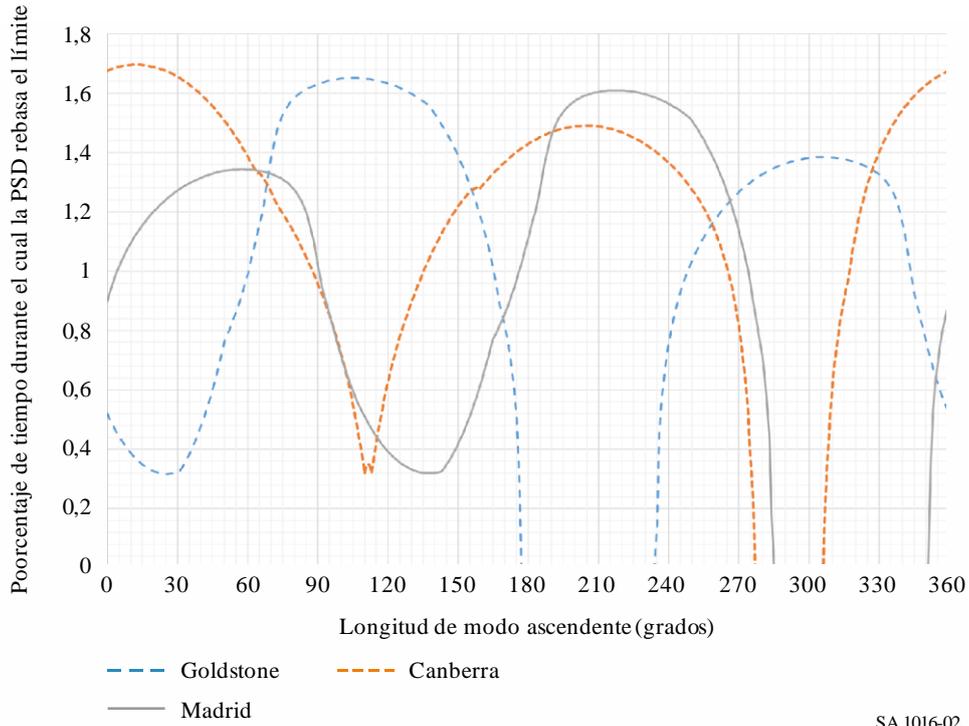


FIGURA 8

Niveles de interferencia para el argumento del perigeo de 270 grados

