

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1071*

**UTILIZACIÓN DE LA BANDA 13,75-14 GHz POR LOS SERVICIOS CIENTÍFICOS
ESPACIALES** Y EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE**

(Resolución N.º 112 de la CAMR-92)

(1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) atribuyó la banda de frecuencias 13,75 a 14 GHz al servicio fijo por satélite (SFS) a título primario;
- b) que esta banda está atribuida también al servicio de investigación espacial a título secundario y puede ser utilizada asimismo por los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de investigación espacial a título secundario para las estaciones de radiolocalización instaladas en vehículos espaciales (referencia número 713 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR));
- c) que en virtud del número 855A del RR se imponen restricciones a los servicios fijos por satélites, de radiolocalización y de radionavegación para que estos servicios puedan compartir esta banda;
- d) el número 855B del RR prevé que las estaciones espaciales geoestacionarias del servicio de investigación espacial, para las cuales la antigua IFRB ha recibido información para la publicación anticipada antes del 31 de enero de 1992, funcionen en igualdad de condiciones con las estaciones del SFS;
- e) que en el caso de interferencia entre satélites del SFS y satélites de retransmisión de datos (DRS – data relay satellite) geoestacionarios para los cuales la antigua IFRB ha recibido información para publicación anticipada antes del 31 de enero de 1992, se aplican los procedimientos reglamentarios del artículo 11 del RR;
- f) que separaciones orbitales de sólo 0,1° pueden ser posibles en la órbita de los satélites geoestacionarios entre estaciones espaciales receptoras del servicio fijo por satélite y estaciones espaciales DRS transmisoras para las condiciones de interferencia descritas en el § 8 del *recomienda*;
- g) que en el caso de posible interferencia causada por una estación terrena del SFS a una estación terrena DRS que funciona con un satélite DRS geoestacionario, los contornos de coordinación se pueden determinar de acuerdo con la Recomendación UIT-R IS.848 y se considera que el requisito de distancia de separación es un problema muy localizado que puede ser tratado por las partes afectadas;
- h) que el número 855B del RR estipula que hasta el 1 de enero de 2000, las estaciones del SFS no causarán interferencia perjudicial a estaciones espaciales no geoestacionarias de los servicios de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite, pero que a partir de esa fecha estas estaciones espaciales no geoestacionarias funcionarán a título secundario con respecto al SFS;
- j) que mucho después del año 2000 es necesario continuar la explotación de las redes DRS existentes en torno a 14 GHz, especialmente en la banda de frecuencias 13,772-13,778 GHz, para apoyar misiones de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite que no pueden ser apoyadas por otros medios;
- k) que es necesario continuar la explotación en la banda de un radar de precipitaciones proyectado con protección contra la interferencia durante un año después de la fecha del 1 de enero de 2000 especificada en el número 855B del RR;
- l) que se necesitan criterios relativos a la utilización por el SFS de los enlaces ascendentes en la banda 13,75-14,0 GHz antes del año 2000 a la vez que se evita la interferencia inadmisibles a estaciones espaciales de los servicios científicos;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones.

** En esta Recomendación se denominan servicios científicos espaciales al servicio de exploración de la Tierra por satélite y al servicio de investigación espacial.

- m) que se necesitan criterios relativos a la utilización de la banda 13,75-14,0 GHz por los servicios científicos al poner en servicio estaciones espaciales, de modo que después del año 2000 puedan funcionar sin causar interferencia perjudicial a estaciones del SFS ni requerir protección contra éstas, habida cuenta de los *considerandos* j) y k);
- n) que por la Resolución N.º 112 de la CAMR-92 se invitó al CCIR a que realizase los estudios necesarios sobre la compatibilidad técnica entre la atribución primaria al SFS (Tierra-espacio) y las atribuciones secundarias al servicio de investigación espacial y al servicio de exploración de la Tierra por satélite en la banda 13,75-14,0 GHz;
- o) que en el cuadro 4 se muestran los niveles máximos de densidad flujo de potencia que es posible produzcan las estaciones espaciales de los servicios científicos espaciales en la órbita de los satélites geoestacionarios;
- p) que sería conveniente que las futuras redes DRS que funcionan en los servicios científicos espaciales se diseñen para funcionar en frecuencias fuera de la banda 13,75-14,0 GHz;
- q) que es probable que para los servicios científicos espaciales que continúen funcionando en la banda después que hayan expirado los periodos de protección, el entorno de interferencia sea riguroso,

reconociendo

1. que la Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones (en el Grupo de Tareas Especiales 4/4) ha estudiado también las condiciones para la compatibilidad de radiofrecuencias entre los servicios fijo por satélite y científicos espaciales en la banda 13,75-14,0 GHz, y que los resultados de estos estudios (Recomendación UIT-R S.1069) se han tenido en cuenta al elaborar la presente Recomendación,

observando

1. que como se explica en el anexo 1, los servicios científicos espaciales tienen una necesidad constante de funcionar en frecuencias próximas a 14 GHz con anchuras de banda de hasta 500 MHz y que muchos de estos sistemas no pueden compartir fácilmente el espectro con sistemas del SFS (Tierra-espacio),

recomienda

1. que durante los periodos de tiempo indicados en este *recomienda*, se apliquen los niveles admisibles de interferencia especificados en el anexo 2 para los actuales servicios científicos espaciales, al considerar situaciones de compartición específicas;
2. que durante los periodos de tiempo indicados en este *recomienda* se sigan las orientaciones que figuran en el anexo 3 para evitar la interferencia inadmisibles a los servicios científicos espaciales;
3. que para proteger los altímetros a bordo de vehículos espaciales contra la interferencia inadmisibles hasta el 1 de enero de 2000, se sigan los siguientes pasos, con fines consultivos:
 - 3.1 cuando se publique la información indicada en el apéndice 4 del RR sobre una red del SFS que proyecta utilizar la banda 13,75-14,0 GHz, la administración cuyo altímetro a bordo de un vehículo espacial funciona en la banda, debe informar a la administración notificante las restricciones geográficas, si hubiera alguna, que puedan afectar al emplazamiento de las estaciones terrenas en la red del SFS;
 - 3.2 la entidad operadora de la red del SFS debe examinar la información anterior e informar a la entidad operadora del sistema a bordo del vehículo espacial sobre el emplazamiento o emplazamientos de las estaciones terrenas propuestas en la red que no cumplan las restricciones geográficas;
 - 3.3 la consulta se concentraría después en estas estaciones terrenas con el fin de asegurar la protección requerida por el altímetro a bordo del vehículo espacial;
4. que para proteger los dispersímetros con haces de abanico situados a bordo de vehículos espaciales contra la interferencia inadmisibles hasta el 1 de enero de 2000, la densidad de la p.i.r.e. de las estaciones terrenas del SFS dirigidas hacia la órbita del dispersímetro sobre los océanos no rebase el valor de 25 dBW en cualquier banda de 2 kHz entre 13,99356 GHz y 13,99644 GHz. Para cumplir esta condición puede ser conveniente evitar el funcionamiento entre estas frecuencias. Excepcionalmente, se puede evitar la interferencia inadmisibles mediante consulta, caso por caso;
5. que para proteger los radares de precipitación a bordo de vehículos espaciales contra la interferencia inadmisibles:
 - 5.1 hasta el 1 de enero de 2001:

5.1.1 la densidad de la p.i.r.e. de cualquier estación terrena del SFS en una latitud entre $\pm 55^\circ$ no debe exceder de 61 dBW en cualquier banda de 600 kHz entre 13,793 GHz y 13,805 GHz;

5.1.2 el ángulo de elevación de cualquier estación terrena del SFS que utiliza la banda 13,75-14,0 GHz no debe exceder de 71° ;

5.2 hasta el 1 de enero de 2000, la instalación de cada estación terrena del SFS que proyecte utilizar la banda 13,75-13,86 GHz en latitudes entre $\pm 40^\circ$ deberá consultarse, caso por caso, con el fin de asegurar que se ofrece la protección apropiada (véase la nota 1);

5.3 el proceso de consulta indicado en el § 5.2 del *recomienda* debe extenderse hasta el 1 de enero de 2001, con miras a asegurar que siempre que sea posible se ofrece la protección apropiada (véase la nota 1);

Nota 1 – El proceso de consulta indicado en el § 3 del *recomienda* es también aplicable para las consultas realizadas de conformidad con los § 5.2 y 5.3 del *recomienda* con miras a proteger a los radares de precipitación a bordo de vehículos espaciales contra la interferencia inadmisibles. Una administración que proyecta establecer una red del SFS debe proporcionar información detallada sobre las emisiones en la banda 13,793-13,805 GHz al hacer su presentación de acuerdo con el apéndice 4 del RR.

6. que para proteger los enlaces del DRS a los satélites en órbita baja de la Tierra que funcionan en el servicio científico espacial hasta la fecha en que todos los satélites de retransmisión de datos en la órbita de los satélites geoestacionarios, para los cuales la antigua IFRB recibió información relativa a la publicación anticipada hasta el 31 de enero de 1992, cesen de funcionar en la banda 13,772-13,778 GHz, la densidad de p.i.r.e. de las transmisiones de cualquier estación terrena del SFS dentro de esta banda no debe rebasar 71 dBW por 6 MHz;

7. que se inste a las administraciones que continúen explotando redes DRS en los servicios científicos espaciales después del 1 de enero de 2000 a que exploten estas redes en otras bandas distintas a 13,75-14,0 GHz, tan pronto sea posible;

8. que después de los periodos de tiempo indicados en los puntos anteriores del *recomienda*, las entidades operadoras de estaciones espaciales de los servicios de investigación espacial o de exploración de la Tierra por satélite que sigan en funcionamiento en la banda 13,75-14,0 GHz tengan en cuenta las siguientes directrices para evitar la interferencia inadmisibles a las estaciones espaciales del SFS;

8.1 una emisión de una estación espacial no geoestacionaria de los servicios científicos espaciales causaría probablemente interferencia inadmisibles a satélites del SFS si su densidad de flujo de potencia incidente en la órbita de los satélites geoestacionarios excediese de $-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en cualquier parte de la gama de frecuencias 13,75-14,0 GHz;

8.2 el valor indicado anteriormente podrá aumentar probablemente hasta 7 dB durante periodos cortos que no sean superiores al 0,02% de cualquier mes (véase la nota 1);

8.3 una emisión de una estación espacial geoestacionaria de los servicios científicos espaciales probablemente causará interferencia inadmisibles a satélites del SFS si su densidad de flujo de potencia incidente en la órbita de los satélites geoestacionarios excediese de $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ por 40 MHz en cualquier parte de la gama de frecuencias 13,75-14,0 GHz, en un ángulo de $\pm 10^\circ$, subtendido en la órbita de los satélites geoestacionarios y en el plano de dicha órbita, con respecto a una línea entre la órbita de los satélites geoestacionarios y el centro de la Tierra (véase la nota 1);

Nota 1 – Los § 8.3 y 8.4 del *recomienda* se refieren a una estación espacial geoestacionaria de los servicios científicos en posición antipodal a una del SFS.

8.4 para ángulos de incidencia fuera de la gama angular especificada en el § 8.3 del *recomienda*, probablemente podrán admitirse densidades de flujo de potencia de interferencia de hasta $-97 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ por 20 MHz en cualquier parte de la gama de frecuencias 13,75-14,0 GHz;

9. que después de los periodos de tiempo indicados en los correspondientes puntos anteriores del *recomienda*, las estaciones de radiolocalización instaladas en vehículos espaciales (véase el *considerando* b)) deben funcionar fuera de la gama de frecuencias comprendida entre 13,75 GHz y 14 GHz (véase la Resolución N.º 712 (CAMR-92)) en la medida posible con el fin de evitar interferencia inadmisibles a/desde redes del SFS, y que se realicen los estudios necesarios para determinar los medios reglamentarios apropiados para satisfacer los requisitos descritos en el anexo 1.

ANEXO 1

Utilización actual y futura de la banda 13,75-14 GHz por los servicios científicos espaciales**1. Introducción**

Este anexo trata los siguientes temas: la necesidad constante de los servicios de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite de acceder a frecuencias próximas a 14 GHz, los requisitos de anchura de banda y la viabilidad científica de realizar las mismas mediciones en bandas distintas que 13,4-14 GHz. Estos requisitos se examinarán desde el punto de vista de los cuatro usuarios principales de la banda: dispersímetros, altímetros, radares de precipitación y satélites de retransmisión de datos.

2. Dispersímetros**2.1 Utilización de la banda 13,75-14 GHz por los dispersímetros**

Los dispersímetros son dispositivos tipo radar que miden los vectores de los vientos cerca de la superficie en los océanos. Los datos sobre el viento son fundamentales para determinar los modelos meteorológicos regionales y el clima mundial. Ningún otro instrumento puede proporcionar mediciones en todas las condiciones meteorológicas de los vectores de los vientos globales.

Actualmente existen dispositivos adecuados para recopilar datos meteorológicos sobre la superficie terrestre pero no sobre los océanos, donde el único conocimiento de los vientos en la superficie procede de los informes escasos, y a veces inexactos proporcionados por los buques. Como aproximadamente dos tercios de la superficie de la Tierra está cubierta por los océanos, los datos de los dispersímetros desempeñarán una función fundamental en la interpretación y predicción de los complejos modelos meteorológicos globales de la circulación de las corrientes marinas y de los sistemas climatológicos.

Actualmente se están desarrollando en Estados Unidos de América dos dispersímetros, el NSCAT (NASA Scatterometer), que será lanzado en 1996 en el satélite japonés ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) y el NEXSCAT, que será lanzado aproximadamente en 1999 como parte del sistema de observación de la Tierra (EOS – Earth Observing System). NSCAT ha sido diseñado para funcionar con una frecuencia central de 13,995 GHz, ya ha sido construido y actualmente está en la fase de prueba y calibración del sistema. No es posible cambiar la frecuencia. NEXSCAT se encuentra en la fase de diseño, y se trata de una variación del NSCAT por lo que se espera utilizar en su mayor parte los mismos componentes aunque, es posible desplazar la frecuencia de trabajo a una frecuencia en la banda 13,4-13,75 GHz.

2.2 Requisitos de anchura de banda

Los dispersímetros existentes utilizan un impulso de onda continua y frecuencia fija para explorar la superficie del mar. El espectro de la frecuencia transmitida es estrecho debido a la baja frecuencia de repetición de los impulsos (62 Hz) y a la gran anchura de los mismos (5 ms). Cuando se incluyen la estabilidad en frecuencia del transmisor y las excursiones de frecuencia por el efecto Doppler, la anchura de banda de radiofrecuencia necesaria para los dispersímetros actuales es de 1 MHz.

Los futuros dispersímetros pueden utilizar modulación de espectro ensanchado para obtener una definición más precisa de la célula de superficie donde se realizan las mediciones del viento. Los requisitos de anchura de banda para estos futuros instrumentos podrían llegar a ser de 100 MHz.

2.3 Viabilidad de utilizar otras bandas

Las mediciones efectuadas con los dispersímetros y los datos obtenidos sobre los vectores de viento se basan en los efectos de dispersión de las microondas sobre las ondas capilares en la superficie del agua. Es necesario efectuar mediciones en longitudes de onda comparables a las de las ondas capilares causadas por interacción del viento en la superficie del agua con el fin de lograr la sensibilidad requerida para medir la velocidad y la dirección de vientos con velocidades de sólo 3 m/s. Hay que realizar mediciones de vientos con esa velocidad para poder determinar la variación de las condiciones meteorológicas y del clima. La longitud de onda en la banda 13,4-14 GHz es del mismo orden que las dimensiones de las ondas capilares producidas por vientos de baja velocidad, por lo que el dispersímetro es muy sensible a los vientos locales, especialmente a los vientos de baja velocidad. Al mismo tiempo, un dispersímetro que funciona en la banda 13,4-14 GHz presenta una baja sensibilidad a los efectos no producidos por el viento, tales como ondulaciones y película de superficie/tensión de superficie.

Se han considerado otras bandas como posible alternativa a la de 13,4-14 GHz. Las dos bandas más próximas a 14 GHz que están actualmente disponibles para el servicio de exploración de la Tierra por satélite son 9,5-9,8 GHz y 17,2-17,3 GHz, pero ninguna de las dos son adecuadas como la banda 13,4-14 GHz para su utilización por los dispersímetros. Ello es consecuencia de no contar con un gran volumen de datos de radares sobre la dispersión de la superficie del océano a frecuencias distintas de 14 GHz, frecuencia a la que funcionó el dispersímetro Seasat, y de 5,3 GHz, frecuencia a la que funciona el dispersímetro ERS-1. El desplazamiento a una nueva banda exigiría desarrollar nuevamente el algoritmo que relaciona los datos de retorno del radar con la velocidad y dirección del viento. El algoritmo desarrollado para la banda de 5,3 GHz exigió un cierto número de experimentos con aeronaves y mástiles antes del lanzamiento del ERS-1 y más de seis meses de perfeccionamiento después de lanzar el ERS-1. El desarrollo de un nuevo algoritmo supondría interrumpir el flujo de datos a la comunidad científica durante el periodo necesario para verificar el correcto funcionamiento del nuevo algoritmo. Un cambio de la frecuencia resultaría en cierta pérdida de la continuidad del conjunto de datos a largo plazo, por la misma razón. La experiencia obtenida hasta la fecha con el dispersímetro ERS-1 muestra que los requisitos del NSCAT o del NEXSCAT para medir la dirección y velocidad del viento por debajo de 5 m/s no pueden cumplirse con un dispersímetro que funciona en la banda 5,3 GHz. Los vectores de viento de baja velocidad son importantes para estudiar la variabilidad de las corrientes marinas. En frecuencias superiores a 14 GHz, la atenuación atmosférica debida al contenido de agua (por ejemplo, cobertura de nubes y lluvia) es más variable. A 17,2 GHz quizá es posible que el dispersímetro de viento funcione, pero a partir de esa frecuencia se degradaría la calidad de funcionamiento puesto que el dispersímetro sería más sensible al contenido atmosférico de agua y a los efectos de película de superficie/tensión superficial. A frecuencias superiores a 20 GHz, la variabilidad de la atenuación atmosférica haría inútil el instrumento si no se cuenta con otros medios para medir la variabilidad atmosférica.

Otro factor por el que es importante seguir utilizando la banda 13,4-14 GHz para las mediciones con dispersímetros es el gran volumen de datos recopilados en esta frecuencia en los últimos 15 años. El dispersímetro Seasat y el dispersímetro NASA Aircraft funcionan con esta frecuencia, al igual que lo hará el NSCAT. El uso continuado de esta banda por los futuros dispersímetros EOS permitirá realizar una comparación más adecuada de los conjuntos de datos adquiridos en el futuro con los datos obtenidos en el pasado. Cabe esperar que una base de datos más amplia adquirida mediante instrumentos que funcionan con parámetros similares produzca un modelo científico más preciso.

2.4 Necesidad a largo plazo del funcionamiento de los dispersímetros cerca de 14 GHz

A largo plazo será necesario utilizar dispersímetros a bordo de vehículos espaciales en la banda 13,4-14 GHz. Los sistemas operativos utilizarán las mediciones realizadas por estos dispositivos para obtener datos sobre la velocidad y dirección del viento. Estos datos se emplearán para medir y predecir las condiciones meteorológicas, la circulación de las corrientes marinas y el clima, todos ellos elementos clave en la gestión del medio ambiente. Como se ha indicado anteriormente, la sensibilidad necesaria para la medición sólo puede lograrse en la banda 13,4-14 GHz. Además, únicamente para esta banda existe una base de datos recopilados durante 15 años que puede contribuir a la validez de la interpretación de los datos de futuros dispersímetros.

El dispersímetro NSCAT ha sido ya construido y diseñado para operar a 13,995 GHz de ahí la imposibilidad en el cambio de su frecuencia de operación. Es esencial la protección de sus operaciones hasta el año 2000. Por otra parte, el dispersímetro NEXCAT está en fase de desarrollo y su frecuencia será cambiada a 13,4 GHz para evitar problemas de compartición con los SFS. Por la misma razón cualquier nuevo dispersímetro diseñado en este rango de frecuencias debería operar por debajo de 13,75 GHz. También se proyecta emplear anchos de banda del orden de 100 MHz para mejorar las medidas obtenidas por medio de otras técnicas de modulación.

3. Altimetros

3.1 Utilización de la banda 13,75-14 GHz por los altímetros

Un altímetro de radar a bordo de un vehículo espacial es un sistema de radar de impulsos dirigido hacia la superficie y montado en un vehículo espacial en órbita. Fundamentalmente se trata de instrumentos de teledetección de los océanos, si bien también tienen cierto interés los datos de seguimiento obtenidos en superficies terrestres y en hielo, como los de los altímetros ERS. Las misiones actuales y proyectadas de altímetro de radar están diseñadas para satisfacer los requisitos sobre superficies oceánicas; el seguimiento sobre tierra o hielo es un producto secundario.

Los altímetros se utilizan para medir las distancias entre el satélite y la superficie del océano. Esta medición de altura, muy precisa, combinada con la determinación muy exacta de la órbita y con las correcciones necesarias para tener en cuenta los efectos de otros medios, proporcionan mapas globales muy precisos de la topografía oceánica. A partir de este conocimiento de la topografía, se puede calcular la situación, velocidad y dirección de las corrientes marinas en todo el mundo, lo que permite conocer la circulación de las corrientes marinas y su variabilidad en el tiempo, lo cual es fundamental para entender los cambios climáticos de la Tierra. Los datos procedentes de los altímetros pueden suministrar también mediciones de la altura de las grandes olas en la superficie (olas oceánicas) y la retrodispersión en el nadir, a partir del cual se puede determinar la velocidad del viento (pero no el vector del viento). Los organismos de predicción meteorológica han hecho planes para incorporar estas mediciones en un sistema operativo en el próximo «Proyecto Altimetro NASA/CNES».

Diversos altímetros de radar a bordo de vehículos espaciales están funcionando actualmente en la banda atribuida de 13,4-14 GHz. También se ha proyectado efectuar varias misiones, tales como TOPEX Follow-On, GEOSAT Follow-On, EOS y ENVISAT-1, que funcionarán con altímetros en esta banda. Hoy en día los altímetros de radar constituyen una herramienta operacional para las ciencias terrestres/océánicas/espaciales y como tal seguirá usándose aún largo tiempo en el futuro. Los altímetros TOPEX-POSEIDON están centrados en frecuencias de 13,6 GHz y 13,65 GHz y producen emisiones entre 13,44 y 13,76 GHz y entre 13,49 y 13,81 GHz, respectivamente. Los altímetros ERS-1 están centrados en 13,80 GHz y producen emisiones entre 13,635 y 13,965 GHz.

La banda 13,4-14 GHz fue elegida hace bastante tiempo basándose en consideraciones tales como atribuciones para radares en vehículos espaciales, gran anchura de banda atribuida, objetivos científicos, disponibilidad del soporte físico y compatibilidad con el servicio de radiolocalización. El primer altímetro a bordo de un vehículo espacial que utilizó esta banda fue el experimento Skylab S-193 a principios del decenio de 1970; desde entonces, muchos altímetros han utilizado esta banda (GEOS-C, Skylab, GEOSAT, TOPEX-POSEIDON y ERS-1). Esta utilización representa una considerable inversión en diseño y desarrollo de soporte físico, operaciones de las misiones, reducción de datos, diseño del soporte lógico, análisis científico, modelado y construcción de bases de datos.

Gracias a estos altímetros, se ha creado una base de datos muy considerable que permite interpretar adecuadamente los datos de altímetros actuales y futuros. Estos datos son muy sensibles a las frecuencias de transmisión del soporte físico. Un cambio de la frecuencia de trabajo podría invalidar la aplicación de una parte esencial de las bases de datos existentes. Además, en Estados Unidos de América y en Europa se ha desarrollado una gran cantidad de soporte físico para utilización en vuelo y en la superficie que servirá para las misiones futuras. Muchos de estos equipos están diseñados para funcionar en la banda 13,4-14 GHz. Según lo anterior, durante largo tiempo se necesitarán altímetros que trabajen en esta banda de frecuencias. Cabe señalar que el sistema TOPEX Follow-On está proyectado para funcionar en múltiples satélites desde 1998 durante 20 años, por lo menos.

3.2 *Requisitos de anchura de banda*

Las anchuras de banda utilizadas por los altímetros actuales y proyectados son del orden de 320 MHz (para TOPEX-POSEIDON) a 330 MHz (para ERS). Como en cualquier sistema de radar, la precisión en la medición de la altura (distancia) realizada por el altímetro dependen de la anchura de banda utilizada. Los altímetros TOPEX utilizan compresión de impulsos («Chirp Full Deramp Stretch») para lograr su máxima precisión. En el sistema TOPEX, la anchura de banda de 320 MHz permite lograr una anchura del impulso comprimido efectiva de 3,125 ns (resolución básica de 46,5 cm) antes de realizar el posterior procesamiento y promediación. Por último, la precisión en el canal de la banda Ku es inferior a 3 cm.

En Estados Unidos de América se han realizado diversos estudios sobre la necesidad de ampliar la anchura de banda para los altímetros hasta 600 MHz. Estos estudios han considerado otros efectos sobre la precisión en la medición de la altura, que incluyen las desviaciones debidas a los efectos electromagnéticos y al estado del mar, los efectos ionosféricos y troposféricos y la determinación de la órbita. Se ha llegado a la conclusión de que en la actualidad estos efectos son lo suficientemente importantes para predominar en el balance de error de las mediciones de altura. Una disminución de 2-3 cm en la incertidumbre de la altura lograda en el altímetro TOPEX no modificaría significativamente el error total. Por consiguiente, la anchura de banda de 320-330 MHz utilizada por los actuales altímetros será adecuada para las misiones que están ahora en las etapas de planificación o de desarrollo teórico.

En el futuro, si los errores sistemáticos pueden reducirse notablemente mediante el modelado, la utilización de nuevos instrumentos, etc., podría ser conveniente aumentar la anchura de banda hasta 600 MHz. Además, en el futuro es posible que se disponga con mucha más facilidad de componentes para altímetros con esas anchuras de banda tan amplias, y que los costos sean menores.

Existen posibles modificaciones en el diseño básico de los altímetros que pueden requerir mayores anchuras de banda, a saber: altímetros multihaz, altímetros de exploración y altímetros de apertura sintética. Otro diseño que exigiría una anchura de banda mayor es el de altímetros que efectuasen una descorrelación de sus mediciones a lo largo del trayecto utilizando agilidad de frecuencia o salto de frecuencia. Ya se han estudiado teóricamente algunos de estos diseños, pero no han sido sustentados por ningún proyecto de vuelo.

Otra razón que puede justificar anchuras de banda superiores a 320-330 MHz es la necesidad de acomodar en el mismo vehículo espacial un altímetro y un dispersímetro.

Podría disponerse de una anchura de banda de 500 MHz libre de interferencias si el límite inferior de la banda actualmente atribuida para los sensores activos pudiese extenderse de 13,4-13,25 GHz. Se ha llegado a la conclusión de que esta atribución podría acomodar las necesidades actuales y futuras posibles de los altímetros a bordo de vehículos espaciales.

3.3 *Viabilidad de utilizar otras bandas*

No es en absoluto aconsejable trasladar el funcionamiento de los altímetros a otras bandas. En primer lugar, se cuenta con una base de datos muy amplia de las operaciones de estos altímetros en la banda 13,4-14 GHz. Esta base de datos tiene muchas de las características requeridas por la altimetría, tales como la desviación electromagnética de la superficie del mar a 13,6 GHz, un modelo exacto de la interacción de las características de la superficie y del impulso de radiofrecuencia, los efectos atmosféricos sobre el retardo y la atenuación de radiofrecuencia y los efectos de la actitud del vehículo espacial sobre la forma de onda de retorno, por sólo nombrar algunas. Traducir todos estos datos a otras frecuencias supondría una tarea considerable aun cuando se pudiera efectuar sin datos de vuelos reales. Actualmente, el altímetro TOPEX tiene una frecuencia secundaria (5,3 GHz) para determinar los efectos ionosféricos y se está continuamente mejorando el conocimiento sobre algunas de las características del funcionamiento en esta nueva banda.

En cualquier nueva frecuencia elegida deben aplicarse los siguientes requisitos:

- Cualquiera que sea la frecuencia de diseño de un altímetro, exige una anchura de banda de 320 MHz para cumplir los requisitos de precisión actuales. Una anchura de banda inferior degradaría el funcionamiento, que sería inaceptable para la comunidad científica.
- El altímetro está destinado a ser un instrumento utilizable en cualquier condición meteorológica. Es necesario obtener datos sobre la superficie de los océanos entre el 90 y 95% del tiempo. En las frecuencias atribuidas por encima de 20 GHz, las mediciones del altímetro se degradarían a causa de las nubes y la lluvia. A una frecuencia de 13,6 GHz, estos efectos pueden compensarse, salvo en condiciones de lluvia muy intensa. A 35 GHz, estos efectos degradarían el funcionamiento del altímetro. Los cambios de atenuación y retardo no podrían compensarse adecuadamente y no se podrían cumplir los objetivos de la misión.
- A frecuencias más bajas (por debajo de 5 GHz), el soporte físico sería mucho más grande y más pesado. Con el fin de obtener las relaciones señal/ruido requeridas para un seguimiento de precisión en frecuencias más bajas se necesitarían antenas de mayor tamaño. Como las futuras misiones se basan en sistemas más reducidos, de menor coste y más ligeros, ello no sería posible. Además, las bandas de frecuencias más bajas presentan otros problemas, tales como la insuficiente atribución de anchura de banda.

3.4 *Necesidad constante de frecuencias próximas a 14 GHz para los altímetros*

La única banda atribuida en que pueden satisfacerse los requisitos de las misiones de altímetros es la banda 13,4-14 GHz donde ya existen amplias bases de datos y en la que se han desarrollado simuladores, modelos y soportes físicos aptos para misiones espaciales. El sistema TOPEX-POSEIDON continuará funcionando en la banda 13,75-14 GHz hasta 1997.

Los futuros diseños podrían acomodarse si el borde inferior de la banda atribuida se desplazase de 13,4 GHz a 13,25 GHz. La viabilidad de esto depende de los resultados de los estudios para determinar las condiciones de compartición entre los altímetros a bordo de satélites y los sistemas de radionavegación aeronáutica a los que está actualmente atribuida la banda.

4. Redes de satélite de retransmisión de datos

4.1 Utilización de la banda 13,75-14 GHz

En 1983, Estados Unidos de América lanzó el primer satélite de su red de satélite de retransmisión de datos (TDRSS – tracking and data relay satellite system). TDRSS retransmite instrucciones, datos científicos e información sobre la salud y seguridad de la tripulación de vehículos espaciales y otros varios satélites de la NASA en órbita baja de la Tierra (LEO – low-Earth orbit), tales como la lanzadera espacial, LANDSAT y otras misiones de vuelo que no son de la NASA. Existe también un acuerdo para dar apoyo a satélites LEO internacionales o de empresas mixtas.

Está previsto que este sistema apoye misiones espaciales hasta mucho después del año 2000 utilizando satélites de seguimiento y de retransmisión de datos (TDRS) situados en la órbita de los satélites geoestacionarios en las longitudes 41°, 46°, 171° y 174° longitud Oeste. Los satélites TDRS de reserva en órbita están situados en 62° y 79° longitud Oeste. Habrá también un satélite TDRS situado en 85° longitud Este. Se proyecta ampliar esta red de satélite de retransmisión de datos añadiendo y/o sustituyendo los satélites TDRS por un TDRS de sustitución equivalente y con otros vehículos espaciales TDRS 8, 9, 10, también funcionalmente equivalentes, a partir del año 1998. A la larga, los satélites serán sustituidos por la siguiente generación de TDRS después del año 2000.

El enlace de ida del TDRS a un vehículo espacial LEO, que retransmite datos fundamentales de instrucciones, control y medición de distancia, está centrado en 13,775 GHz en la porción más baja de la banda 13,75-14 GHz. Además, la banda 13,75-14 GHz es un segmento de varias atribuciones al servicio de investigación espacial entre 13,4 y 15,35 GHz que son ampliamente utilizadas para enlaces de ida y vuelta a satélites en órbita baja de la Tierra y para enlaces de conexión de satélites TDRS a sus estaciones terrenas. Esta utilización extensiva es evidente en el plan de frecuencias para la red de satélite de retransmisión de datos TDRSS mostrada en la fig. 1, particularmente entre 13,4-14,05 GHz y 14,6-15,225 GHz. Esta utilización es el resultado de inversiones considerables en estudios sobre viabilidad de sistemas, desarrollo y calificación del soporte físico espacial, así como el desarrollo y puesta en servicio de sistemas de satélite y estaciones terrenas que forman la red de retransmisión de datos TDRSS.

4.2 Necesidad de anchura de banda

Las necesidades de anchura de banda se indican en la fig. 1, que muestra también dos enlaces en la banda 13,75-14 GHz. La utilización de esta banda, que está en estudio, es el enlace de ida del TDRSS a satélites en órbita baja de la Tierra utilizados para instrucciones, control y medición de distancia y para la transmisión de datos y vídeo. La frecuencia central es 13,775 GHz.

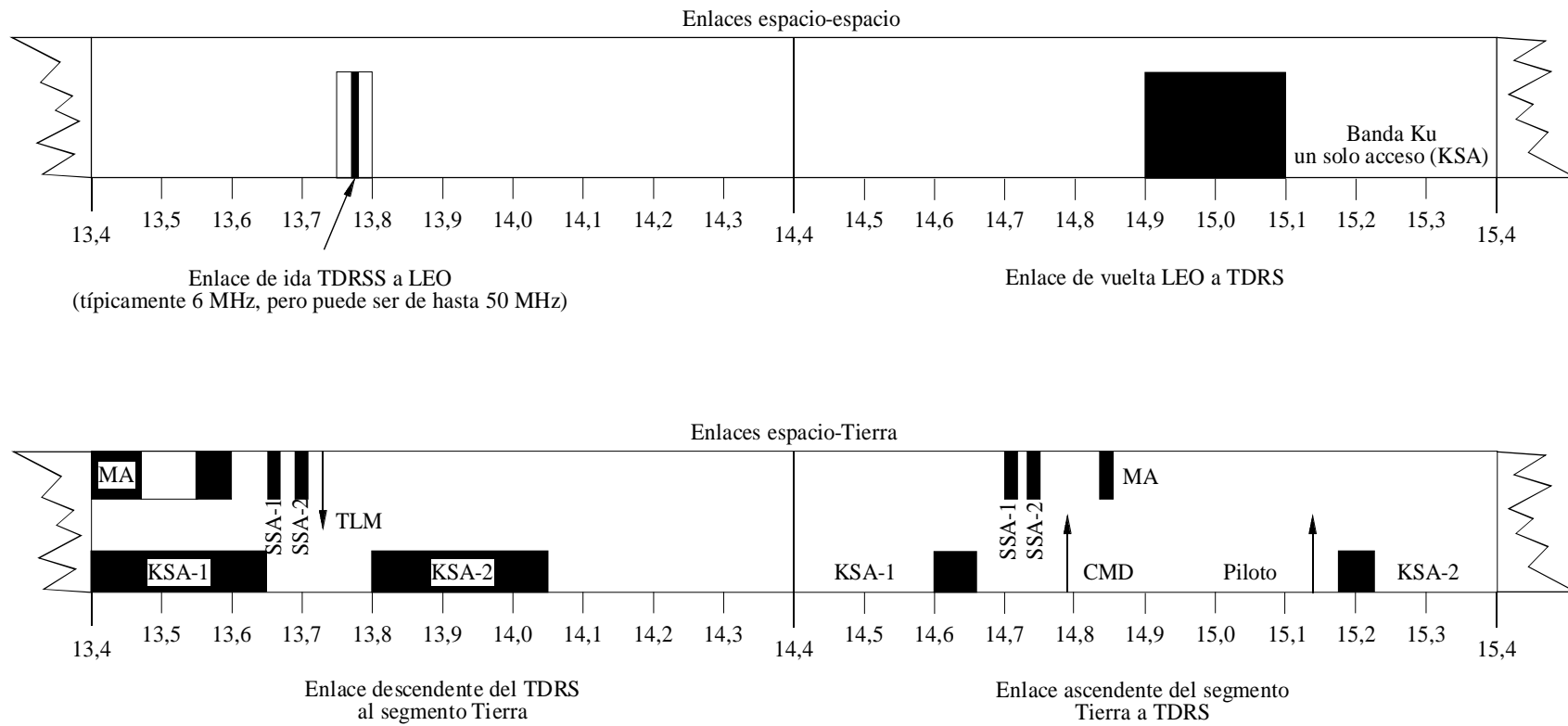
La anchura de banda es típicamente 6 MHz en el caso de datos de instrucciones y control, y en la mayoría de los casos los datos de información a baja velocidad se ensanchan con un código de ruido pseudoaleatorio de 3 Mcps. Se requiere una anchura de banda 50 MHz para enviar datos a velocidades más altas a un vehículo espacial o información vídeo a la lanzadera espacial o estación espacial. Las transmisiones fiables de instrucciones en los 6 MHz alrededor de 13,775 MHz son de máxima importancia. No se espera que en un futuro previsible disminuya la anchura de banda necesaria para este enlace.

El segundo es un enlace de conexión utilizado para transmitir señales de banda ancha recibidas por el TDRS de satélites en órbita baja a la estación terrena de la red TDRSS. Las señales consisten principalmente en datos científicos y teledatos de vehículos espaciales. La anchura de banda de este enlace puede ser de hasta 225 MHz centrada en torno a 13,9 GHz. Tampoco se espera que disminuya la anchura de banda necesaria para este enlace, especialmente debido a la puesta en servicio en los próximos años de satélites de observación de la Tierra que utilizan instrumentos de alta resolución.

4.3 Viabilidad de utilizar otras bandas

La red TDRSS utiliza actualmente frecuencias en torno a 2 GHz y 13/15 GHz para su funcionamiento y para recibir datos de satélites en órbita baja. La banda 13/15 GHz es utilizada también por los enlaces de conexión de la red de satélites TDRSS geoestacionarios. Los satélites de sustitución TDRS y TDRS 8, 9, y 10 utilizarán el mismo plan de frecuencias que los actuales satélites TDRS. Cuando se celebró la CAMR-92, se consideró que la próxima generación de satélites de retransmisión de datos que explotaría Estados Unidos de América se añadirían enlaces en las bandas 23/26 GHz para su utilización con satélites en órbita baja en los sentidos de ida y vuelta. Las bandas más altas admitirán velocidades de datos que no pueden acomodarse fácilmente en las bandas 13/15 GHz. Por el momento no está previsto continuar con la siguiente generación de vehículos espaciales. Es evidente que durante algún tiempo se necesitará continuar la utilización fiable de la banda 13,75-14 GHz por la red de satélites de retransmisión de datos TDRS.

FIGURA 1
Segmento 13,4-15,4 GHz del plan de frecuencias para la red de satélite de retransmisión de datos TDRSS de Estados Unidos de América



MA: Acceso múltiple
 KSA: Un solo acceso banda Ku
 SSA: Un solo acceso banda S
 CMD: Enlace de comando
 TLM: Enlace de telemetría

D01

4.4 Necesidad de la banda 13,75-14 GHz

Los elementos de la red TDRSS de Estados Unidos de América requieren el acceso a la banda 13,75-14 GHz hasta mucho después del año 2000. Una utilización importante es el enlace de ida que funciona en la porción más baja de la banda para retransmitir instrucciones a vehículos espaciales como la lanzadera espacial y la Misión del Sistema de Observación de la Tierra. Los sistemas de satélite actualmente en servicio o proyectados para utilizar esta banda probablemente tendrán una vida útil superior a 20 años. La experiencia ha demostrado que existen satélites lanzados hace casi 30 años que aún están transmitiendo datos útiles. Si bien será posible continuar explotando satélites después de terminada su vida útil de diseño, la necesidad fundamental para continuar el acceso a la banda 13,75-14 GHz es de orden económico. Las inversiones realizadas para desarrollar, implantar y explotar todos los elementos espaciales y terrenales de la red TDRSS, incluidos los que emplean las bandas de 13/15 GHz, superan los 10 000 millones de dólares de Estados Unidos de América y no podrán repetirse fácilmente en los decenios siguientes.

5. Radares de precipitación

5.1 Utilización de la banda 13,75-14 GHz por los radares de precipitación

Aunque existen varias frecuencias atribuidas a los radares a bordo de vehículos espaciales (por ejemplo, 10 GHz, 14 GHz, 17 GHz y 35 GHz), se ha elegido la banda de 14 GHz como la frecuencia más adecuada para los radares de precipitación, especialmente para los radares de una sola banda tales como el radar de precipitación TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Los requisitos fundamentales que determinan la selección de frecuencia son:

- a) la gama dinámica y sensibilidad de medición de la lluvia,
- b) el campo de visión instantáneo (IFOV – instantaneous field-of-view) en función del tamaño de la antena, y
- c) la relación señal/ecos parásitos en la superficie.

Se llega a la conclusión de que las frecuencias superiores a 14 GHz no pueden satisfacer el requisito a) y que los requisitos b) y c) son difíciles de cumplir si se emplean frecuencias inferiores a 14 GHz.

Japón (NASDA) está desarrollando el radar de precipitación TRMM que es el único radar de precipitación a bordo de un vehículo espacial que aparecerá antes del año 2000; en este radar no es posible el cambio en frecuencia. También se ha considerado una misión TRMM – Follow-On en relación con los estudios hidrológicos mundiales (tales como GEWEX) y la fecha de lanzamiento prevista es alrededor del año 2000. Para esta misión, también es esencial la banda de 14 GHz y, desde el punto de vista del coste y del calendario y continuidad de los datos, la mejor elección consistiría en emplear la misma frecuencia que el TRMM.

5.2 Necesidad de anchura de banda

Como los requisitos de resolución de la distancia en los radares de precipitación no son tan rigurosos como en otros radares a bordo de vehículos espaciales, tales como altímetros y radares de apertura sintética, cabe esperar que la anchura de banda del receptor del radar de precipitación sea bastante estrecha (como máximo varios MHz). Sin embargo, deben tenerse en cuenta las siguientes circunstancias:

- *Agilidad en frecuencia:* Para lograr una elevada precisión en las estimaciones de potencia del eco causado por la lluvia en un corto intervalo de tiempo, deberá emplearse la técnica de agilidad de frecuencia que utiliza múltiples frecuencias portadoras con una separación de varios MHz entre sí y transmite impulsos secuencial o alternativamente. Ese sistema exigirá una anchura de banda más amplia, aunque la anchura de banda de cada frecuencia es estrecha (la misma que la de los radares sin agilidad en frecuencia). El radar TRMM utiliza dos frecuencias con una separación de 6 MHz, y cada canal de frecuencia tiene una anchura de banda de 0,6 MHz entre los puntos de 3 dB. Para lograr una atenuación suficiente de 60 dB, se necesita una anchura de banda total de 12 MHz, que se utiliza para el estudio de interferencia entre estaciones terrenales del SFS y radares de precipitaciones. En general, el número de canales de frecuencias se limitará a 3 ó 4, de modo que la anchura de banda total necesaria será entre 20 y 40 MHz, según el número de canales y la separación de frecuencias.
- *Radar de compresión de impulsos:* En futuras misiones se utilizará la técnica de compresión de impulsos para lograr una mayor resolución y sensibilidad así como una alta precisión en las estimaciones de potencia del eco causado por la lluvia. La anchura de banda de dicho radar de compresión de impulsos debe ser varias veces mayor que la de un radar sin compresión de impulsos, pero mucho menor que la anchura de banda de altímetros a bordo de vehículos espaciales.

- *Anchura de banda RF*: Aunque la anchura de banda definitiva del receptor de un radar viene determinada por un filtro paso banda estrecho, es necesario estudiar la respuesta del receptor del radar a las señales interferentes fuera de banda, puesto que la anchura de banda de la unidad frontal del receptor hasta la unidad de FI en el que se lleva a cabo el filtrado de banda estrecha es generalmente mucho más amplia. Esto puede provocar la saturación de la unidad frontal del receptor y/o la avería del mismo en el peor caso. La señal interferente fuera de banda puede aparecer también en la señal vídeo del radar debido a la atenuación finita de los filtros paso banda.

En resumen, la necesidad de anchura de banda de los radares de precipitación a bordo de los vehículos espaciales será como máximo de 30-40 MHz. Hay que considerar también la anchura de banda RF del receptor, que suele ser mucho mayor que la banda de paso final.

5.3 *Viabilidad de utilizar otras bandas*

En este punto se considera la frecuencia adecuada para el TRMM y las futuras misiones espaciales de medición de los efectos de la lluvia (basándose en lo dicho anteriormente). Se examina principalmente el caso de un radar de una sola banda y a continuación se analiza brevemente el radar de dos bandas, puesto que el radar TRMM utiliza una sola banda y también se considera como un instrumento básico para la misión «TRMM Follow-On».

5.3.1 *Gama dinámica de medición*

Las frecuencias superiores a 17 GHz no pueden satisfacer los requisitos de gama dinámica para medir la intensidad de lluvia entre 1 mm/hora y 50 mm/hora, basada en un estudio estadístico de la intensidad de lluvia en los océanos en zonas tropicales. La banda de 17 GHz puede ser una buena elección si la misión se centra en el precipitación a latitudes más altas donde predominaría una lluvia ligera, pero la atenuación en esta frecuencia es demasiado grande para obtener una gama dinámica suficiente en el caso de lluvias tropicales. En consecuencia, el TRMM y las futuras misiones similares a TRMM deben utilizar frecuencias más bajas que la banda de 17 GHz.

5.3.2 *IFOV*

Para obtener un IFOV del orden de 5 km desde una altitud en órbita baja típica de 500 km, la anchura de haz debe ser de unos 0,01 radianes ($\sim 0,6^\circ$). Es decir, el tamaño de la antena debe ser de unas 100λ o mayor. En el caso del radar TRMM, el tamaño de la antena es de unos $2 \times 2 \text{ m}^2$ ($\sim 92 \lambda$). Este tamaño se ha determinado teniendo en cuenta las necesidades científicas del IFOV y la limitación en la precisión de fabricación de la antena, así como el tamaño del fuselaje del cohete de lanzamiento.

Para lograr el mismo IFOV con una frecuencia más baja, se necesitará una antena de mayor tamaño, lo que dificultará la fabricación de la antena y los interfaces con el vehículo espacial y el cohete. En el estudio de la viabilidad del radar TRMM se llegó a la conclusión de que la utilización de frecuencias de 10 GHz o más bajas era técnicamente difícil. Si bien la situación puede variar en cierto grado dependiendo de las capacidades del vehículo espacial y del cohete de lanzamiento, no es factible emplear en un radar de precipitación a bordo de un vehículo espacial frecuencias inferiores a 10 GHz, ya que requiere una antena de unos 5 m o mayor.

5.3.3 *Relación señal/ecos parásitos*

Los requisitos de la relación señal/ecos parásitos (S/C) dependen de la intensidad de lluvia mínima que debe medirse. Deben considerarse dos tipos de ecos parásitos en la superficie; uno es el eco parásito provocado por los lóbulos laterales de la antena y el otro es el provocado por los lóbulos laterales de respuesta que aparecen en el impulso de salida del filtro del receptor. Este último eco puede ser especialmente importante en el caso de radares de compresión de impulsos. El valor máximo del eco parásito de superficie puede ser aproximadamente 60 dB superior al eco producido por una intensidad de lluvia de 1 mm/hora, lo cual impone unos niveles muy bajos de lóbulo lateral de antena. En la apertura de la antena del radar TRMM se adopta la ponderación de Taylor con $SL = -35 \text{ dB}$ para lograr las características de nivel de lóbulo lateral bajo. Un análisis del funcionamiento ha demostrado que el radar puede lograr un valor de la relación S/C mínima de unos 4 dB para una intensidad de lluvia de 0,7 mm/hora. Sin embargo, si la frecuencia disminuye a 10 GHz, la intensidad del eco producido por la lluvia con respecto al eco parásito en la superficie se reducirá aproximadamente 6 dB, lo que originará una pérdida de la capacidad de detección de la lluvia en el caso de lluvias ligeras.

En resumen, es difícil utilizar frecuencias inferiores a 10 GHz para los radares de lluvia a bordo de vehículos espaciales desde el punto de vista de la relación S/C .

5.3.4 Frecuencias para radares de doble banda

En el caso de radares de doble banda, que pueden ponerse en servicio después del año 2000 para lograr una gama dinámica más amplia y una precisión más elevada en la medición de precipitaciones, la selección de las frecuencias del radar es más complicada. Si el objetivo fundamental es la medición de la lluvia, se han estudiado combinaciones de 10 y 24 GHz, 14 y 35 GHz y 14 y 24 GHz. Si el objetivo es medir la lluvia y las nubes, la selección de frecuencias sería un proceso de decisión independiente de un radar de lluvia de una sola banda y de un radar de nubes de una sola banda.

En cualquier caso, las frecuencias próximas a 14 GHz serán esenciales para los futuros radares de doble frecuencia (o de múltiples frecuencias), puesto que puede proporcionar una cobertura global (para lluvias en latitudes tropicales y más altas) desde el punto de vista de la gama dinámica de medición y es técnicamente factible desde los puntos de vista de los requisitos de IFOV y relación S/C.

5.4 Necesidad de la banda próximo a 14 GHz para los radares de precipitación

En el caso del radar de una sola banda (radar TRMM y quizá radar TRMM Follow-On) para la medición de la intensidad de lluvia global, las frecuencias próximas a 14 GHz son fundamentales porque:

- desde el punto de vista de la gama dinámica de medición, la banda de 17 GHz es demasiado alta;
- un cambio de frecuencias próximas a 14-10 GHz requeriría cambios importantes del diseño del radar para lograr la misma resolución y sensibilidad. Aunque los adelantos de la tecnología de antenas permitirían utilizar frecuencias más bajas para las misiones después del año 2000, el aumento del tamaño de la antena y del peso podría requerir un nuevo diseño del vehículo espacial y la utilización de un vehículo de lanzamiento alternativo.

Las frecuencias próximas a 14 GHz son también importantes para los futuros radares de doble banda. Esta banda ha sido utilizada por varios altímetros y dispersímetros a bordo de vehículos espaciales. La experiencia y las bases de datos en soportes físicos de radar y los relativos a la sección transversal de dispersión son muy útiles para desarrollar los radares de precipitación a bordo de vehículos espaciales que funcionan en esta banda. Como el radar TRMM utiliza la frecuencia de 13,8 GHz, se han elaborado muchos algoritmos para esta frecuencia, que sólo se pueden utilizar en torno a 14 GHz. Además, JPL/NASA ha desarrollado un radar a bordo de aeronave mientras que CRL, Japón, está desarrollando otro radar a bordo de aeronave para probar y validar el funcionamiento del algoritmo del radar TRMM.

Considerando la experiencia pasada, las bases de datos y los esfuerzos en curso, es esencial mantener la banda de 14 GHz para los actuales y futuros radares de precipitación a bordo de vehículos espaciales.

6. Resumen y conclusiones

En este anexo se ha considerado: la utilización de la banda 13,75-14 GHz; las necesidades de anchura de banda; la viabilidad de utilizar bandas distintas a la banda 13,75-14 GHz para satisfacer los requisitos de las misiones y la necesidad a largo plazo de acceder a frecuencias próximas a la banda 13,75-14 GHz desde el punto de vista de las cuatro aplicaciones espaciales principales actualmente operativas en la banda: dispersímetros, altímetros, radares de precipitación, redes de satélites de retransmisión de datos así como radares de precipitación para aplicaciones futuras. Sobre la base de estos estudios preliminares, se hacen las siguientes conclusiones:

- *Para los dispersímetros:*
 - la actual generación de dispersímetros (NSCAT) funciona en una frecuencia central de 13,995 GHz y se enviará a bordo del vehículo espacial ADEOS en 1996; se modificará un dispersímetro de la siguiente generación (NEXCAT) para funcionar en 13,402 GHz y se lanzará aproximadamente en 1999.
 - la actual generación de dispersímetros requieren una anchura de banda de radiofrecuencia de 2,88 MHz;
 - las futuras generaciones de dispersímetros pueden necesitar anchuras de banda de hasta 100 MHz en las proximidades de la banda 14 GHz;
 - la utilización de bandas por encima y por debajo de la banda 13,4-14 GHz atribuidas para los radares a bordo de satélites no es una alternativa aceptable debido a las inversiones económicas realizadas para desarrollar las bases de datos, los algoritmos de reducción de datos y los equipos terrenales y espaciales calificados, así como las condiciones óptimas de la banda de frecuencias para el estudio de los fenómenos físicos que se observan;
 - se requiere la utilización y la protección constante de las anchuras de bandas de dispersímetros de 2,88 MHz centradas en 13,995 GHz hasta el año 2000, después de cuya fecha, se dispondrá de dispersímetros que funcionan en frecuencias por debajo de 13,75 MHz.

- *Para los altímetros:*
 - la actual generación de altímetros utiliza una anchura de banda de aproximadamente 320 MHz centrada en 13,60 GHz, 13,65 GHz y 13,80 GHz;
 - para acomodar un altímetro y un dispersímetro en el mismo vehículo espacial puede necesitarse una anchura de banda de hasta 600 MHz;
 - la utilización de bandas por encima y por debajo de la banda 13,4-14 GHz atribuida para los radares a bordo de satélites no es una alternativa aceptable teniendo en cuenta: las inversiones que se han realizado hasta la fecha para desarrollar las bases de datos, los algoritmos de reducción de datos y los equipos en tierra y espaciales, así como las condiciones óptimas de la banda de frecuencias para el estudio de los fenómenos físicos que se observan;
 - el acceso a la banda 13,75-14 GHz será necesario hasta 1997 para el sistema TOPEX-POSEIDON y hasta 2000 para el ERS. Los altímetros de Estados Unidos de América y de Francia que va a utilizar el sistema TOPEX así como los altímetros del sistema ERS Follow-On en ENVISAT, pueden reducir su frecuencia de modo que no necesitarán acceder a la banda 13,75-14 GHz; y
 - si la máxima anchura de banda requerida es 320 MHz, los futuros altímetros funcionarán en la banda 13,40-13,72 GHz. Si surgen nuevos diseños que requieren mayores anchuras de banda, podrían acomodarse en una banda por debajo de 13,75 GHz si el borde inferior de la banda atribuida se desplaza de 13,4 GHz a 13,25 GHz. Es necesario realizar más estudios para determinar las condiciones de compartición entre los altímetros a bordo de satélites y los sistemas de radionavegación aeronáutica a los que está actualmente atribuida la banda.
- *Para los radares de precipitación:*
 - la actual generación de radares de precipitación que se enviará a bordo del TRMM en 1997 funcionará a las frecuencias de 13,796 GHz y 13,802 GHz (agilidad de frecuencia en dos canales) con una anchura de banda del receptor de 0,6 MHz y una anchura de banda, libre de interferencia durante tres años y medio como mínimo, de 12 MHz (13,793-13,805 GHz);
 - puede necesitarse una anchura de banda de hasta varias decenas de MHz para acomodar los radares de precipitación de la próxima generación;
 - la utilización de bandas por encima y por debajo de la banda 13,4-14 GHz atribuida para los radares a bordo de satélites no es una alternativa aceptable debido a: la medición de la gama dinámica, el IFOV y los requisitos de diseño del vehículo espacial;
 - considerando la experiencia anterior, las bases de datos y los esfuerzos en curso, es esencial mantener la banda 13,4-14 GHz para los actuales y futuros radares de precipitación a bordo de vehículos espaciales;
 - el uso continuado de 12 MHz como anchura de banda del receptor centrada alrededor de 13,799 GHz se extenderá hasta después del año 2000;
 - los radares de precipitación a bordo de satélite del sistema TRMM Follow-On, podrán estar disponibles para funcionar con una frecuencia central por debajo de 13,75 GHz. Sin embargo, es necesario realizar estudios de compartición entre el servicio de radiolocalización y el servicio de investigación espacial en la banda 13,4-13,75 GHz.
- *Para las redes de satélite de retransmisión de datos:*
 - un plan de frecuencias general define la utilización de segmentos del espectro desde 13,4 GHz hasta 15,225 GHz para enlaces de servicio a satélites en órbita baja y para enlaces de conexión a estaciones terrenas con emplazamiento central;
 - esta utilización es la culminación de inversiones de varias decenas de miles de millones de dólares de Estados Unidos efectuadas en amplios estudios sobre viabilidad de sistemas, el desarrollo y calificación del soporte físico espacial y el desarrollo y puesta en servicio de los sistemas de satélite y estaciones terrenas que comprende la red TDRSS;
 - un importante enlace ascendente a satélites en órbita baja funciona con una frecuencia central de 13,775 GHz y una anchura de banda que puede variar de 6 MHz hasta 50 MHz, según la aplicación;
 - la próxima generación de satélites de retransmisión de datos se ha proyectado de forma que se puedan añadir enlaces en las bandas 23/26 GHz para su utilización con satélites en órbita baja; y
 - los elementos de la red TDRSS de Estados Unidos de América exigen el acceso a la banda 13,75-14 GHz hasta después del año 2012.

ANEXO 2

Niveles admisibles de interferencia en los sistemas científicos espaciales que utilizan la banda 13,75-14 GHz**1. Introducción**

El presente anexo expone los criterios para la protección de los sistemas científicos espaciales que funcionan en la banda 13,75-14 GHz en los enlaces Tierra-espacio del servicio fijo por satélite. Los criterios consisten en un nivel de potencia de la señal de interferencia admisible en una anchura de banda de referencia especificada a la salida de la antena de recepción que no debe rebasarse durante más de un porcentaje de tiempo y de emplazamientos especificado. Se especifican las mayores anchuras de banda de referencia posibles para aprovechar al máximo la compartición, promediando la potencia de la señal interferente en la anchura de banda. Aunque los criterios se basan en los diseños de sistemas científicos espaciales actuales y proyectados y en los requisitos de funcionamiento asociados, se prevé que puedan diseñarse futuros sistemas científicos espaciales que acepten al menos los mismos niveles de señales interferentes y condiciones espaciales y temporales asociadas.

2. Altimetros

Se ha determinado para dos familias de altímetros la potencia de la señal interferente por encima de la cual los datos se degradan de manera inadmisibles. Para un altímetro TOPEX-POSEIDON (13,44-13,76 GHz), basado en una relación nominal de potencia de señal/ruido de funcionamiento (S/N) de 13 dB (en banda de base) y una relación establecida entre la relación S/N y el ruido de medición de altura, un nivel de potencia de la señal interferente combinada superior a -117 dB(W/320 MHz) provocaría un aumento inaceptable en el ruido de medición de altura (es decir, superior al 4%). Para el otro altímetro TOPEX-POSEIDON (13,490-13,810 GHz), el nivel admisible de interferencia es -130 dB(W/320 MHz). La interferencia al sistema TOPEX-POSEIDON afecta a las observaciones hechas únicamente sobre océanos y amplias masas de agua. Para los altímetros del ERS-1/2 (13,635-13,965 GHz para ERS-1), las mediciones realizadas por la Agencia Espacial Europea indican que los datos se degradarán significativamente si el nivel combinado de la potencia de la señal interferente excede de -120 dB(W/330 MHz) cuando se efectúan observaciones de tierra, masas de hielo y océanos.

El requisito de disponibilidad para los datos de altimetría es del 95%, suponiendo que las interrupciones individuales asociadas son breves y están dispersas aleatoriamente en todo el tiempo y superficies de observación (es decir, la mayoría de las interrupciones duran dos segundos) o menos. Estos umbrales de potencia de la señal interferente podrían ser rebasados por los enlaces Tierra-espacio del SFS. Además, se pueden producir interrupciones debidas a causas externas (por ejemplo, lluvias intensas). Como la pérdida de datos procedentes de estaciones terrenas interferentes se producirá sistemáticamente (es decir, no aleatoriamente) en las mismas ubicaciones y como las observaciones (y operaciones de calibración del altímetro) en ciertas zonas revisten una importancia relativamente grande, es preciso considerar la interferencia producida por las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite planificado caso por caso. Específicamente, es necesario determinar la parte de la órbita u órbitas del altímetro y las zonas de observación asociadas para las cuales los datos del altímetro pueden perderse cuando la interferencia procedente de una determinada estación terrena rebasa el nivel admisible.

3. Dispersímetros

El nivel admisible de interferencia es diferente para los dispersímetros que utilizan antenas de haces en abanico (es decir, los sistemas actuales) y de haces puntuales (es decir, los diseños previstos de futuros sistemas) y depende de la velocidad de los vientos observados (es decir, en las observaciones de vientos con velocidades relativamente moderadas la posibilidad de perder datos es mayor a causa de las señales interferentes). El dispersímetro NSCAT funciona con una anchura de banda de 2,88 MHz centrada en 13,995 GHz. En el caso de dispersímetros que utilizan haces en abanico, un nivel de potencia de la señal interferente combinada que rebasa el valor de -174 dB(W/2 kHz) provoca errores de medición inaceptables en vientos de baja velocidad. De forma similar, en el caso de antenas de haz puntual, el umbral de potencia de la señal interferente combinada es -155 dB(W/10 kHz).

Los requisitos de disponibilidad global para los dispersímetros son similares a los de los altímetros salvo que los dispersímetros sufren un mayor número de interrupciones dentro del sistema; las observaciones de los dispersímetros se realizan únicamente en océanos y grandes masas de agua y las pérdidas de datos sistemáticas en las mismas zonas son más aceptables para los dispersímetros. En consecuencia, los enlaces Tierra-espacio del SFS pueden rebasar el umbral de potencia de la señal interferente aplicable, de tal forma que se pierden sistemáticamente los datos del 1% de la zona del océano o se pierden aleatoriamente los datos del 5% de la zona del océano.

4. Radares de precipitación

El requisito científico del radar de precipitación TRMM es lograr, después del procesamiento de datos, mediciones de intensidades de lluvia iguales o superiores a las intensidades de lluvia de 0,7 mm/h. Un aumento de la intensidad de lluvia mensurable a 0,75 mm/h no afectaría materialmente los datos y sería aceptable. Este aumento corresponde a una degradación del nivel de ruido del sistema de 10% debido a interferencia semejante al ruido. Por tanto, la interferencia debe estar 10 dB por debajo del nivel de ruido del sistema. Como el nivel de ruido del sistema es -140 dBW y la anchura de banda final del radar de precipitación es 600 kHz, los criterios para el nivel de interferencia perjudicial es -150 dB(W/600 kHz). Fuera de la banda de 12 MHz, entre 13,793 GHz y 13,805 GHz, el nivel de interferencia admisible es mucho mayor debido al filtrado de paso banda en el receptor: -115 dBW para 13,790-13,793 GHz y 13,805-13,808 GHz, -90 dBW para 13,75-13,79 GHz y 13,808-13,850 GHz, y -70 dBW para 13,85-13,86 GHz.

Los científicos que trabajan en el proyecto TRMM han determinado que la disponibilidad necesaria de datos de intensidad de lluvia es función de dónde se produce la lluvia. Para la mayoría de los lugares dentro de la zona de observación del TRMM entre $\pm 38^\circ$ de latitud, es aceptable una pérdida de 0,2% de los posibles datos debido a interferencia.

Además del criterio global expuesto anteriormente, deben tomarse en consideración las zonas donde las mediciones de radares de precipitación son especialmente importantes. Las mediciones en estas zonas importantes deben protegerse contra la interferencia en la mayor medida posible para impedir la pérdida de datos y la degradación de la calidad de los datos. Las zonas «importantes» pueden clasificarse en las dos categorías siguientes:

- Las regiones tropicales, que tienen intensas lluvias y variabilidad de las lluvias, tienen que protegerse contra la interferencia porque la cantidad y la variabilidad de la lluvia en estas zonas constituyen una contribución importante a la circulación atmosférica en gran escala, controlando así el clima global. Entre estas regiones, el cinturón que se extiende en dirección Este-Oeste al Norte del Ecuador (denominada Zona de Convergencia Intertropical o ITCZ), y el amplio cinturón que se extiende desde el continente marítimo al Sur del Pacífico (denominada Zona de Convergencia de Depresión de Monzón Australiana y Sur del Pacífico o SPCZ) son de particular importancia. Estas zonas importantísimas están limitadas generalmente por latitudes de 0 a 10°N y por 50°E a 180°E y por 0 a 10°S, como se muestra en la fig. 2.
- Para satisfacer los requisitos de exactitud de la mayoría de las investigaciones científicas del TRMM, es esencial un amplio programa de «puntos terrenales de validez» («ground truth»). Para el TRMM, se han construido varias instalaciones de «puntos terrenales de validez» en ubicaciones clave en la zona de observación del TRMM. En Japón se construirá también por lo menos un emplazamiento de calibración del radar de precipitaciones.

Para determinadas estaciones terrenas del SFS será necesario realizar consultas para determinar la ubicación, magnitud y repercusión de la pérdida de datos en estas zonas limitadas con el fin de decidir si la utilización de ciertas frecuencias en la gama 13,75-14 GHz por el SFS será compatible con las necesidades de las misiones del TRMM.

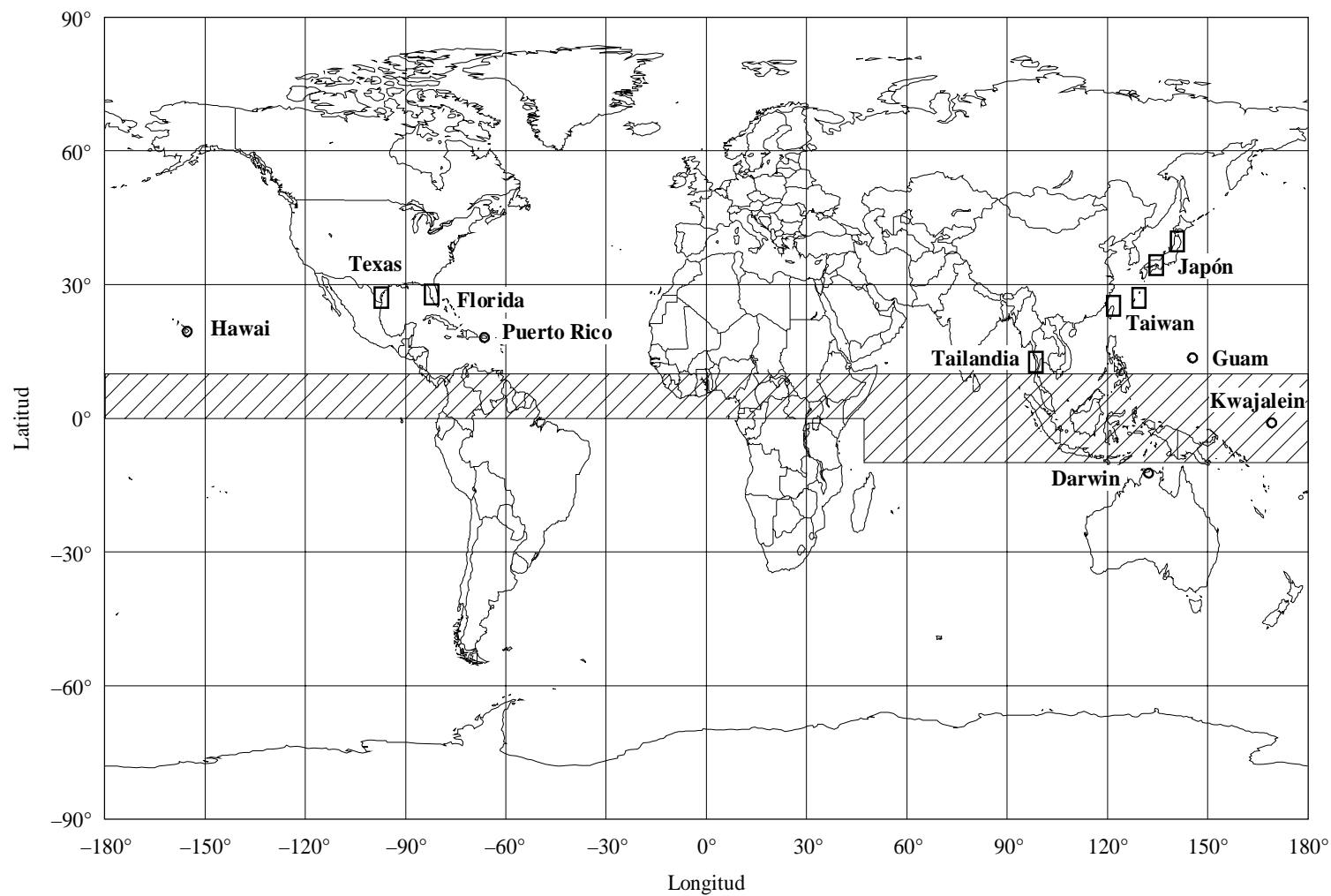
En la fig. 2 se muestra la ubicación de las zonas de intensas lluvias de primordial importancia mencionadas anteriormente, así como los emplazamientos de «puntos terrenales de validez» actualmente proyectados. Se han seleccionado 10 emplazamientos de «puntos de validez». Hay dos categorías de emplazamientos, los que tienen múltiples radares y los que tienen un solo radar. Los emplazamientos con múltiples radares están diseñados para proporcionar una detección completa de la intensidad de lluvia en una zona de 500 por 500 km para validar los valores medios climatológicos mensuales. Los emplazamientos con un solo radar proporcionarán estimaciones de la intensidad de lluvia hasta un radio de 120 a 150 km, según el tipo de radar. Las coordenadas de estos emplazamientos de radares críticos se muestran en el cuadro 1. Aunque no existen planes para otros emplazamientos de «puntos de validez», es posible que se añadan uno o más emplazamientos y habrá que tomarlos en cuenta al planificar las estaciones terrenas del SFS.

5. Sistemas de satélite de retransmisión de datos

El nivel admisible de degradación en un enlace de satélite de retransmisión de datos es una reducción de 0,4 dB del margen de potencia del enlace, que se produce con una relación I/N de -10 dB. Podría utilizarse un criterio de protección global de -178 dB(W/kHz) durante no más del 0,1% del tiempo en el enlace interorbital de ida de un satélite en órbita baja que funciona en una red de satélite de retransmisión de datos. Esto equivale a -140 dB(W/6 MHz). El criterio de I/N de -10 dB es aplicable en una anchura de banda de hasta 6 MHz centrada en 13,775 GHz, aunque las operaciones pueden extenderse en una anchura de banda de hasta 50 MHz centrada en la misma frecuencia. Para lograr las disponibilidades del enlace deseadas, los enlaces Tierra-espacio del SFS no deben rebasar el umbral de interferencia durante más del 0,1% del tiempo.

FIGURA 2

Emplazamiento de las zonas de intensa precipitación y primera importancia, y emplazamientos de «puntos válidos del terreno»



- Emplazamientos con múltiples radares
- Emplazamientos con un solo radar
- ▨ Zonas de intensa precipitación y primera importancia para el TRMM

D02

CUADRO 1
 Coordenadas de los emplazamientos de «puntos terrenales de validez» del TRMM

Lugar/tipo	Nombre	Latitud	Longitud
1. Florida Emplazamiento con múltiples radares	Melbourne, FL	28° 06' N	080° 39' W
	Miami, FL	25° 36' N	080° 24' W
	Jacksonville, FL	30° 30' N	080° 39' W
	Tampa, FL	27° 42' N	082° 24' W
	Key West, FL	24° 33' N	081° 45' W
	Tallahassee, FL	30° 24' N	084° 21' W
2. Australia Emplazamiento con un solo radar	Darwin, AUS	12° 27' S	130° 55' E
3. Kwajalein Emplazamiento con un solo radar	Kwajalein Atoll	08° 43' N	167° 43' E
4. Texas Emplazamiento con múltiples radares	Houston, TX	29° 28' N	095° 05' W
	Texas A&M, TX	30° 35' N	096° 30' W
	Brownsville, TX	25° 54' N	097° 36' W
	Corpus Christi, TX	27° 46' N	097° 30' W
	San Antonio, TX	29° 42' N	098° 03' W
5. Marianas Emplazamiento con un solo radar	Guam	13° 39' N	145° 47' E
6. Japón Emplazamiento con múltiples radares	Redes combinadas de radares para predicción del tiempo y mediciones de la intensidad de lluvia sobre las islas de Japón		
7. Tailandia Emplazamiento con múltiples radares	Phuket, THA	08° 00' N	098° 30' E
	Om Koi, THA	17° 48' N	098° 25' E
	Bangkok, THA	14° 10' N	100° 30' E
8. Hawai Emplazamiento con un solo radar	Hawai, HA	19° 00' N	156° 00' W
9. Taiwan Emplazamiento con múltiples radares	Taipei	25° 10' N	121° 45' E
	Kuanshan	25° 05' N	121° 35' E
10. Puerto Rico Emplazamiento con un solo radar	Humacao, PR	18° 10' N	066° 21' W

ANEXO 3

Viabilidad de funcionamiento de los sistemas científicos espaciales y de los enlaces ascendentes del SFS en la banda 13,75-14 GHz**1. Introducción**

En este anexo se considera la viabilidad de compartición de la banda 13,75-14 GHz entre diversos tipos de sistemas científicos espaciales y enlaces Tierra-espacio del SFS. Se presentan las estimaciones de niveles potenciales y características espaciales y temporales asociadas de la interferencia causada a sistemas científicos espaciales operacionales y en desarrollo conocidos. Se comparan estos resultados con los criterios descritos en el anexo 2 para determinar si los límites de p.i.r.e. y del diámetro de antena mínimos que aparecen en el número 855A del RR aseguran la adecuada protección de cada tipo de sistema científico espacial. En los casos en que se prevé que va a rebasarse el nivel admisible de interferencia, se desarrollan las bases para medidas de procedimiento destinadas a evitar la interferencia inaceptable. En todos los casos, las consecuencias de los resultados analíticos se interpretan con respecto a las disposiciones del número 855B del RR.

2. Interferencia a sensores activos

Algunos de los siguientes análisis indican que es posible que los criterios de interferencia combinada del anexo 2 no se cumplan (es decir, para todos los sensores activos salvo para los dispersímetros de haz puntual). En estos casos, y teniendo en cuenta lo dispuesto en el número 855B del RR, deben aplicarse las siguientes medidas para la protección de los sensores activos hasta el año 2000:

- debe realizarse una consulta caso por caso para las asignaciones de frecuencia, la estación terrena con superposición y a los sensores activos cuando el nivel de cresta de la señal interferente asociada a la salida de la antena del receptor rebase el nivel admisible especificado en el anexo 2;
- para facilitar la consulta, debe darse a conocer a las administraciones que explotan sensores activos, las ubicaciones y características de las estaciones terrenas que pueden causar interferencia. Ello permitirá igualmente a los operadores de sensores activos determinar si puede aceptarse alguna pérdida de datos en esas zonas;
- deben consultarse las Recomendaciones del UIT-R actuales y futuras, así como los puntos siguientes, con miras a que sirvan de orientación para el diseño de sistemas científicos espaciales fijos por satélite y para los ajustes de funcionamiento que puedan llevar a la conclusión de que la interferencia estará dentro de niveles aceptables.

2.1 Altimetros

Se evaluó la posible interferencia causada por las estaciones terrenas a los altímetros ERS-1/2 y TOPEX-POSEIDON. Por regla general, se halló que una estación terrena que funciona de acuerdo con el número 855A del RR puede provocar interferencia cocanal que rebasa el nivel admisible. Aunque las disposiciones del número 855A del RR se elaboraron para proteger los sistemas de radiolocalización terrenal con respecto a las transmisiones de estaciones terrenas, se ha llegado a la conclusión de que estas disposiciones facilitan la compartición con los servicios científicos espaciales pero que generalmente es necesario considerar caso por caso las situaciones de compartición cocanal para evaluar la posible degradación del funcionamiento del altímetro en los sistemas actuales y determinar los medios adecuados para mitigarla. En algunos casos, se ha proyectado mantener órbitas del vehículo espacial del altímetro que pueden impedir la iluminación del haz principal del vehículo espacial y la interferencia que rebasa el nivel admisible; en estos casos, pudiera evitarse la interferencia de manera inherente o imponiendo limitaciones en la selección del emplazamiento de la estación terrena. En la fig. 3 se ilustra este principio para el sistema TOPEX-POSEIDON; y se muestra que la zona en la esfera orbital del altímetro donde puede rebasarse el nivel admisible de interferencia es mucho más pequeña que la zona situada entre los emplazamientos previstos del satélite (las «zonas de interferencia» sobre la superficie terrestre pueden descartarse debido a que en este caso se hacen únicamente observaciones oceánicas). Se halló también que a largo plazo (es decir, suponiendo una amplia utilización de la banda por la estación terrena), no es probable que los requisitos de funcionamiento del altímetro de estos sistemas actuales puedan satisfacerse en la banda compartida, como resultado de la degradación sistemática que puede aparecer en zonas de observación relativamente importantes.

FIGURA 3a
Relación entre la órbita del TOPEX-POSEIDON y la posible zona de interferencia

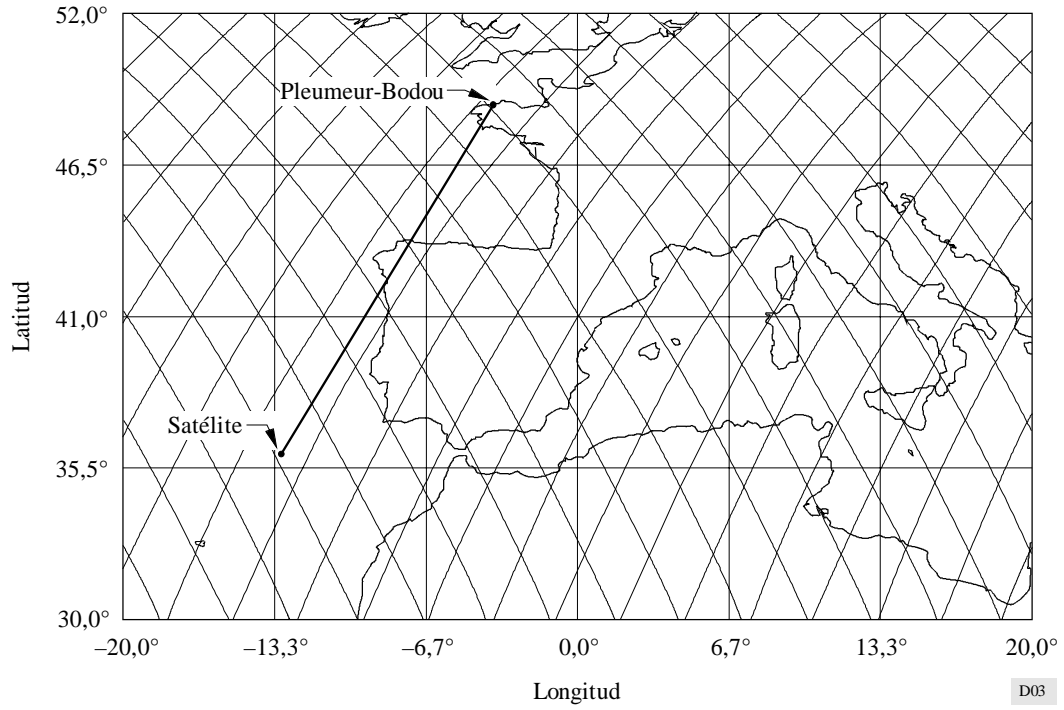
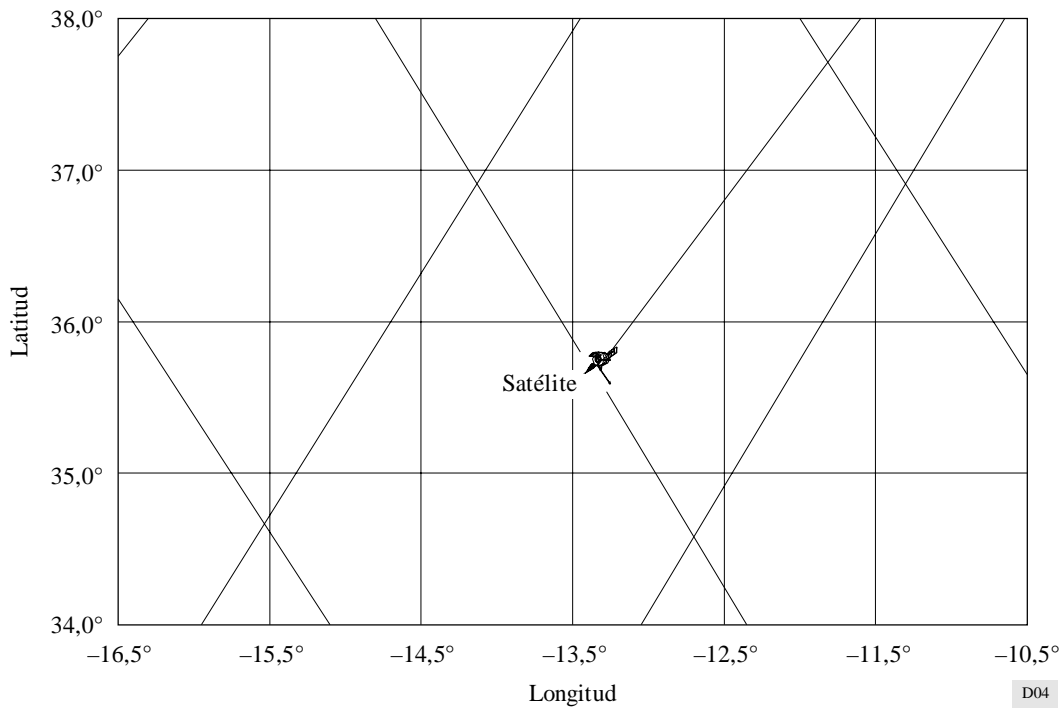
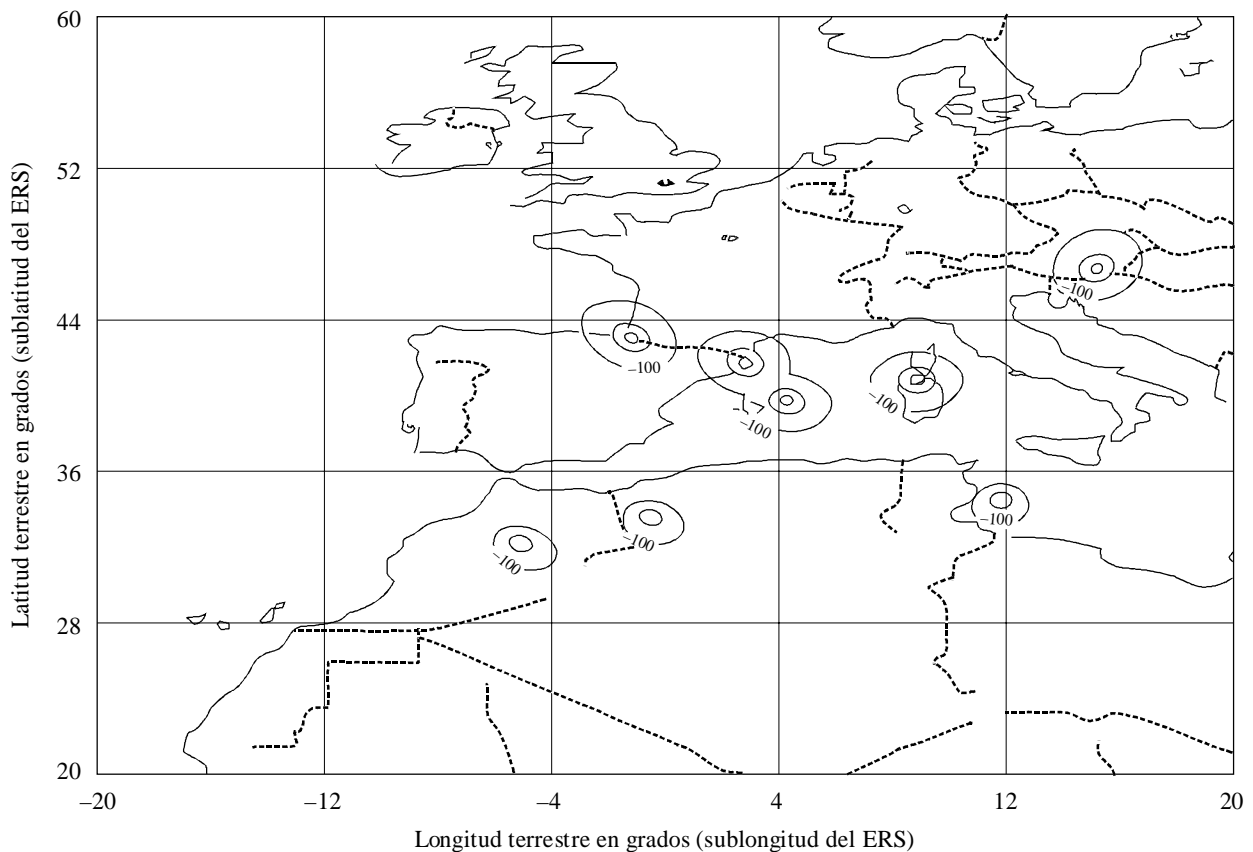


FIGURA 3b
Vista ampliada de la fig. 3a



En la fig. 4 se representan las zonas en las que se rebasaría el umbral de interferencia para el ERS-1/2 como resultado del funcionamiento de diversas estaciones terrenas en modo cocanal con una antena de 4,5 m de diámetro. No se tiene en cuenta la discriminación por polarización y se supone que se utiliza el diagrama de radiación de antena de la estación terrena del apéndice 28 al RR. En la figura puede verse que para cada estación terrena, podría rebasarse el umbral de interferencia en una zona alrededor del emplazamiento de cada estación y en una zona más amplia correspondiente a la iluminación del altímetro por el haz principal de la antena de estación terrena. En los cuadros 2 y 3 se ilustran las dimensiones de estas zonas y el efecto que produce la variación del diámetro de antena de la estación terrena y la p.i.r.e. total en la porción de la anchura de banda del altímetro que se superpone a la banda compartida (13,75 GHz a 13,965 GHz).

FIGURA 4
Nivel de interferencia en los subemplazamientos (dBm)



Vista global de las zonas de interferencia provocada por emisiones de estaciones terrenas situadas en Estocolmo, Londres, Dublín, París, Francfort, Roma, Madrid y Lisboa.

Estación terrena con antena de 4,5 m de diámetro – Satélite geostacionario en 10° E.

Contornos trazados en pasos de 10 dB. Contornos de degradación de datos inaceptable: el contorno «-100» corresponde a una p.i.r.e. de estación terrena de 95 dBW en la anchura de banda del altímetro; los contornos concéntricos más pequeños corresponden a niveles de p.i.r.e. de estación terrena de 85 dBW y 75 dBW dentro de la anchura de banda del altímetro. D05

Suponiendo que una estación terrena tiene una p.i.r.e. de 85 dBW y una antena de 4,5 m de diámetro con el diagrama de radiación indicado en el apéndice 28 al RR, la fig. 5 muestra la potencia de la señal interferente recibida por un altímetro TOPEX-POSEIDON durante un periodo de diez minutos a medida que atraviesa el haz principal de la estación terrena (no se considera la discriminación por polarización y se supone un funcionamiento cocanal). La figura muestra que incluso utilizando la p.i.r.e. mínima de la estación terrena (68 dBW), podría rebasarse el nivel admisible de interferencia. La fig. 6 representa la distribución acumulativa en el tiempo de la potencia de la señal interferente procedente de 32 estaciones terrenas situadas en Europa, África y Zona Oriental de América del Norte y América del Sur y que funcionan con satélites que proporcionan cobertura regional europea y transatlántica, lo cual puede representar un tercio del número total, a largo plazo, de estaciones terrenas instaladas en todo el mundo que funcionan en el mismo canal con un altímetro. Se supone que las estaciones terrenas tienen una p.i.r.e. total de 85 dBW dentro de la anchura de

banda del altímetro y una antena con un diámetro de 4,5 m; no se considera la discriminación por polarización. En la fig. 6 puede observarse que a largo plazo menos del 0,001% de las observaciones resultarían degradadas por el rebasamiento del nivel admisible; sin embargo, la pérdida de datos es sistemática y puede producirse en zonas de observación especialmente importantes.

CUADRO 2

Posibles dimensiones de la zona de interferencia alrededor de una estación terrena en función de su p.i.r.e. dentro de la anchura de banda del altímetro

Antena de la estación terrena		Posible zona de interferencia (elíptica)	
		Satélite Pleumeur Bodou en 16° E (eje mayor/menor)	Satélite Pleumeur Bodou en 53° W (eje mayor/menor)
Diámetro (m)	p.i.r.e. (dBW)		
4,5	75	Sin degradación	Sin degradación
4,5	85	35 km/30 km	35 km/30 km
4,5	95	50 km/45 km	50 km/45 km
11	75	Sin degradación	Sin degradación
11	85	15 km/15 km	15 km/15 km
11	95	40 km/35 km	40 km/35 km

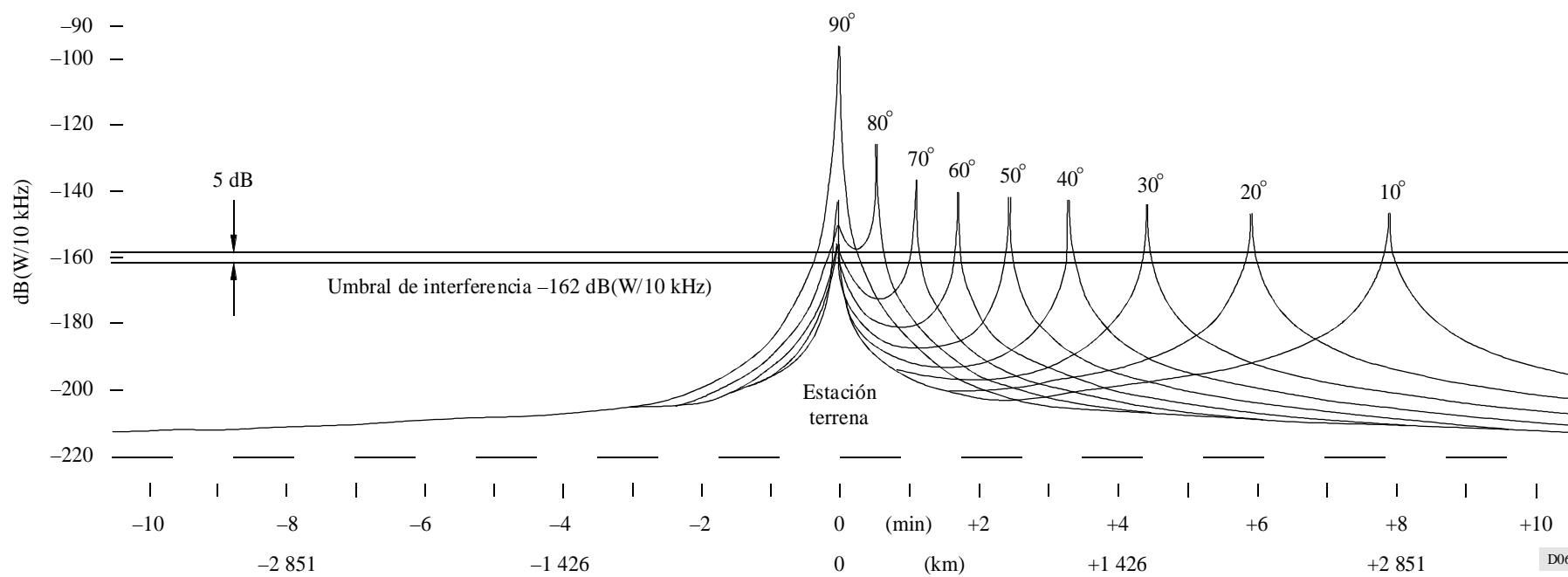
CUADRO 3

Posibles dimensiones de la zona de interferencia bajo la intersección del haz principal de la estación terrena con la esfera orbital del altímetro en función de la p.i.r.e. de la estación terrena dentro de la anchura de banda del altímetro

Antena de la estación terrena		Posible zona de interferencia (elíptica)	
		Satélite Pleumeur Bodou en 16° E (eje mayor/menor)	Satélite Pleumeur Bodou en 53° W (eje mayor/menor)
Diámetro (m)	p.i.r.e. (dBW)		
4,5	75	55 km/50 km	40 km/25 km
4,5	85	140 km/135 km	160 km/95 km
4,5	95	320 km/320 km	415 km/245 km
11	75	30 km/25 km	15 km/10 km
11	85	70 km/70 km	80 km/50 km
11	95	180 km/175 km	210 km/125 km

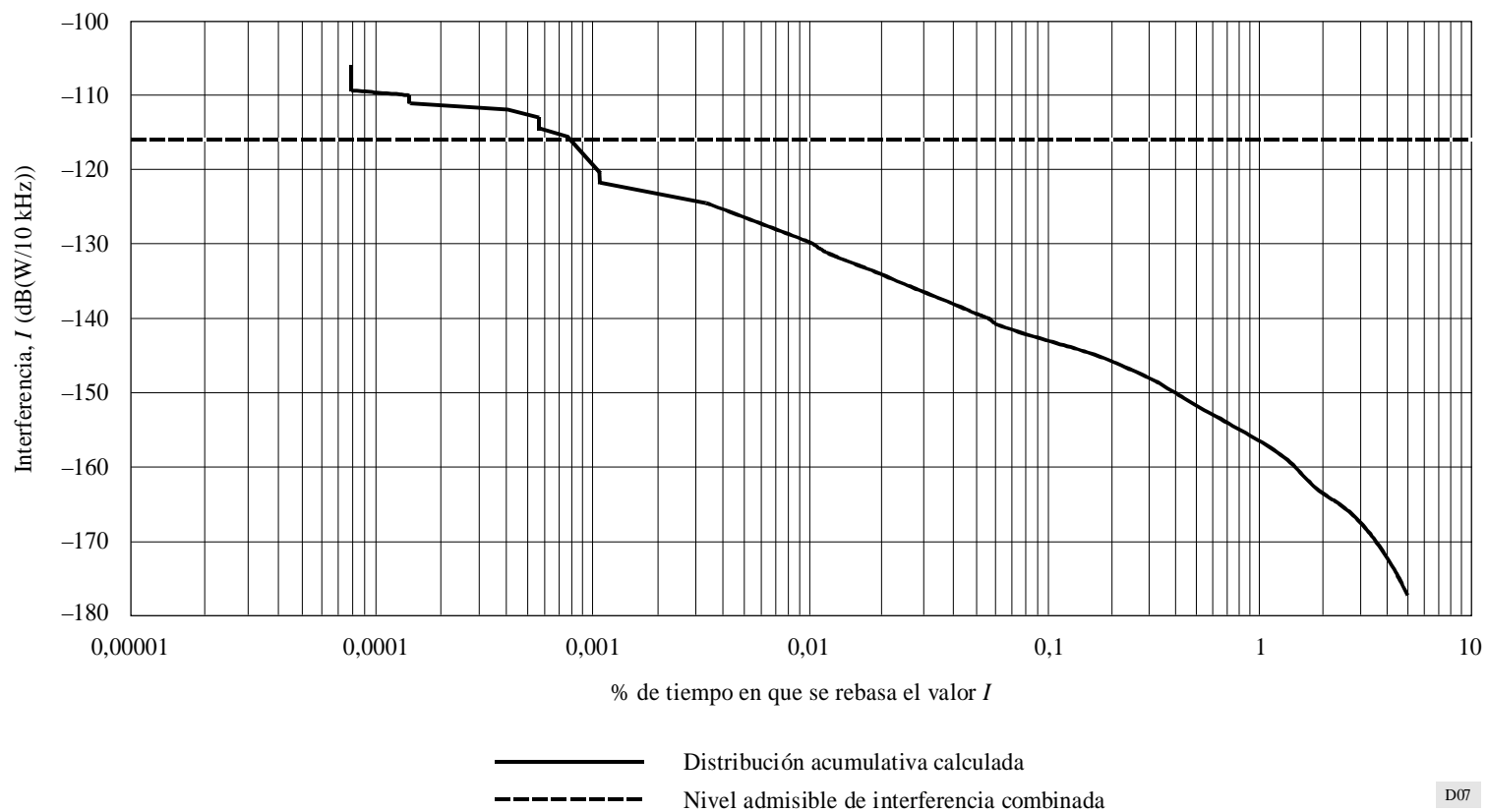
FIGURA 5

Valor de la interferencia según la posición del satélite TOPEX para distintos ángulos de elevación del haz de la antena de la estación terrena del SFS



D06

FIGURA 6
 Interferencia causada a los altímetros por 32 estaciones terrenas del SFS con una p.i.r.e. de 80 dBW



D07

2.2 *Dispersímetros*

Para el dispersímetro NSCAT que utiliza una antena de haz en abanico, se halló que se producirá una pérdida sistemática del 0,5% de los datos debido a la interferencia procedente de una estación terrena cocanal que funciona a 85 dBW con una antena de 4,5 m de diámetro y el diagrama de radiación del apéndice 28 al RR. La interferencia se mantendría en niveles admisibles si la p.i.r.e. de las estaciones terrenas dirigida hacia la órbita de los dispersímetros en los océanos no fuese mayor de 25 dBW en cualquier segmento de 2 kHz de la anchura de banda utilizada por los dispersímetros de haz en abanico, que es menor que la densidad de p.i.r.e. procedente de las emisiones de una estación terrena típica que funciona con el nivel de p.i.r.e. mínimo permitido en virtud de lo dispuesto en el número 855A del RR. Sin embargo, debido a que los dispersímetros utilizan anchuras de banda reducidas (por ejemplo, 13,99356 GHz a 13,99644 GHz o una anchura de banda de 2,88 MHz para el NSCAT), un método práctico para proteger los dispersímetros de haz en abanico puede ser evitar el funcionamiento cocanal.

La fig. 7 presenta la distribución acumulativa en el tiempo de la interferencia a un dispersímetro de haz puntual por el mismo conjunto de 32 estaciones terrenas supuesto en el punto anterior, salvo que en este caso se supone una p.i.r.e. total de 77 dB(W/2 MHz) por cada estación terrena (fig. 6). Se incluye la interferencia que se produce sobre la superficie terrestre aunque sólo interesan las observaciones efectuadas sobre los océanos; de esta forma, se sobreestiman las probabilidades de interferencia. No obstante, la figura muestra que si las estaciones terrenas funcionan de acuerdo con el número 855A del RR, la interferencia causada a los dispersímetros de haz puntual permanecerá por debajo de los niveles admisibles y no será necesario considerar caso por caso.

2.3 *Radars de precipitación*

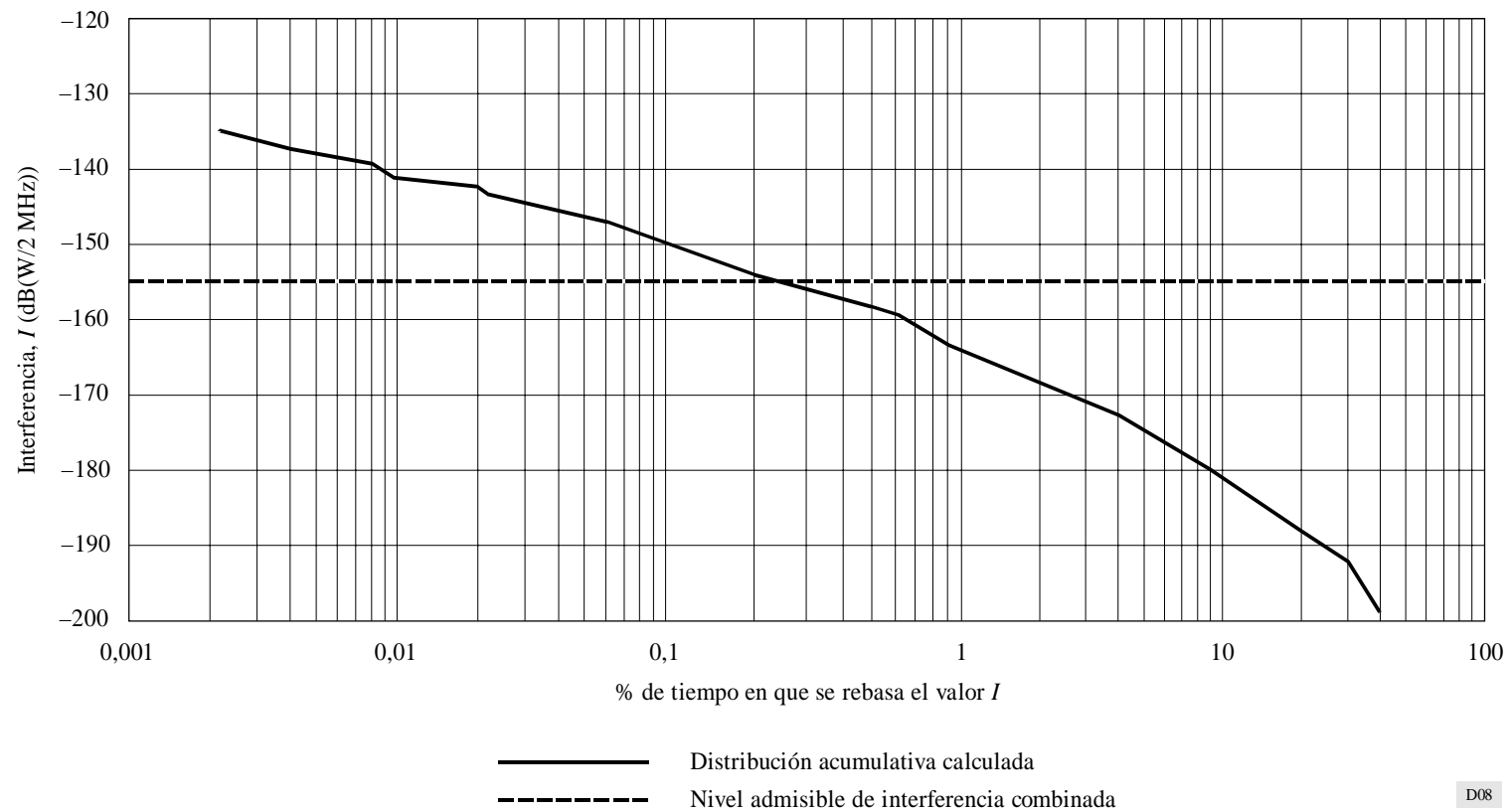
La interferencia causada por las transmisiones de las estaciones terrenas del SFS puede afectar al receptor de un radar de precipitación (RP) como resultado del acoplamiento de los haces principales de las antenas, del acoplamiento del haz principal del SFS con el lóbulo lateral del RP, del acoplamiento del lóbulo lateral del SFS con el haz principal del RP y del acoplamiento del lóbulo lateral del SFS con el lóbulo lateral del RP. Las consideraciones geométricas permiten determinar la gama de latitudes en que es posible la aparición de estos modos de interferencia. El acoplamiento entre haces principales de antena puede darse únicamente si el ángulo de elevación de la antena del SFS rebasa el valor de 71°. El acoplamiento entre el haz principal del SFS y el lóbulo lateral del RP no puede producirse en estaciones terrenas situadas en latitudes superiores a 40°, si la estación terrena tiene un ángulo de elevación de al menos 5°. El acoplamiento entre los lóbulos laterales del SFS y el haz principal del RP es posible en latitudes inferiores a 36°. El acoplamiento entre lóbulos laterales puede ocurrir en cualquier parte que haya visibilidad mutua entre el RP y una estación terrena, lo cual, para la órbita del TRMM, es posible en latitudes de hasta 55°.

Una señal interferente dentro de banda procedente de una estación terrena del SFS puede perturbar la precisión de la observación del RP de dos formas, a saber: degradando la relación señal/ruido e introduciendo un error sistemático provocado por la presencia de una señal interferente similar a una onda continua y la no linealidad del receptor del RP. Se ha llegado a la conclusión de que el nivel de interferencia admisible ($I_{m\acute{a}x}$), que viene esencialmente determinado por este último efecto, es una relación entre las potencias de la señal interferente y el ruido del sistema de un valor de -10 dB ó -150 dBW para 0,60 MHz. Este valor debe aplicarse a 13,799 ± 0,006 GHz. Cabe señalar que también puede producirse la interferencia debido a la existencia de una señal del SFS fuera de la anchura de banda de 12 MHz alrededor de 13,8 GHz; a la interferencia «de fuga» causada por la atenuación finita que introducen los filtros pasobanda del receptor y a la saturación de los amplificadores en el receptor del RP. El valor de $I_{m\acute{a}x}$ es determinado por cualquiera de estos fenómenos. Por lo que se refiere a la interferencia «de fuga», $I_{m\acute{a}x}$ puede ser al menos 60 dB superior debido a la atenuación de los filtros pasobanda en el receptor del RP. Como los amplificadores sensibles a la saturación debida a la interferencia están situados antes del filtro pasobanda de banda estrecha, la gama de frecuencias que debe considerarse es más amplia que en el caso anterior. Se ha demostrado que $I_{m\acute{a}x}$ es determinada por la «fuga», en el caso de frecuencias comprendidas entre 13,7 y 13,9 GHz, y por la saturación, para otras frecuencias.

Se han analizado diversos casos de interferencia utilizando una estación terrena del SFS con una p.i.r.e. de 82 dBW para obtener una perspectiva de la gravedad de la posible interferencia causada al RP. Los niveles de interferencia en el caso de acoplamiento entre haces principales rebasarían el umbral de interferencia de -150 dBW por un amplio margen si están dentro de la banda de paso final del RP. Cabe señalar igualmente que este acoplamiento provocará una interferencia muy significativa en la banda de frecuencias 13,75-14 GHz, por lo que debe evitarse.

La interferencia provocada por el acoplamiento entre el haz principal del SFS y los lóbulos laterales cercanos del RP y por el acoplamiento entre los lóbulos laterales cercanos de una antena del SFS y el haz principal de la antena del RP rebasaría igualmente el umbral de interferencia del RP por un valor de hasta 84 dB. Puede producirse interferencia procedente de transmisiones del SFS en frecuencias comprendidas entre 13,75 y 13,86 GHz. Por consiguiente, será fundamental efectuar la coordinación de las estaciones terrenas individuales situadas en latitudes inferiores a 40° para asegurar que la interferencia causada por los haces principales a los lóbulos laterales no afecta a las mediciones realizadas en emplazamientos críticos en la superficie de la Tierra.

FIGURA 7
Interferencia causada a los dispersímetros de haz puntual por 32 estaciones terrenas del SFS con una densidad de p.i.r.e. de 77 dB(W/2 MHz) por estación terrena



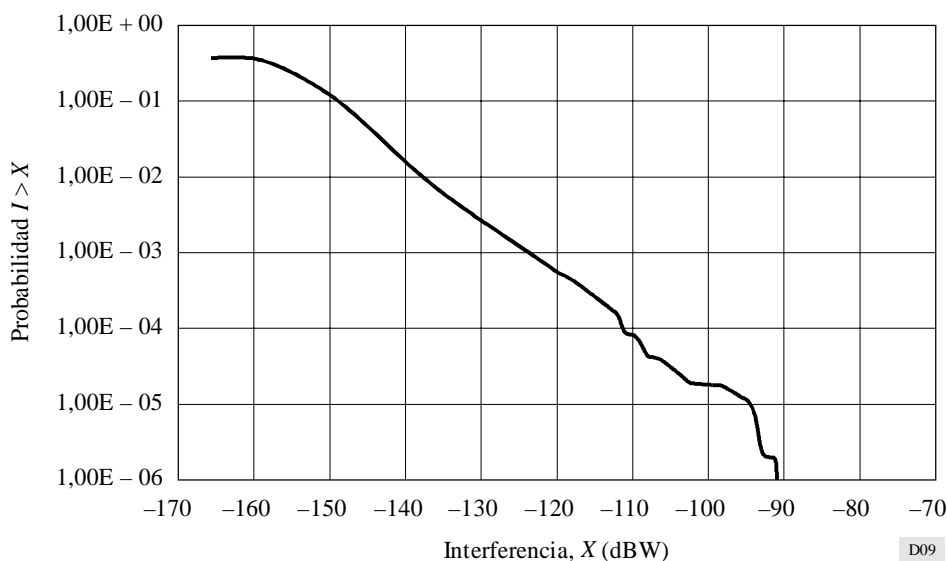
D08

Incluso para la interferencia resultante del acoplamiento entre lóbulos laterales cercanos de una antena del SFS y lóbulos laterales cercanos del RP, la potencia recibida rebasaría el umbral de interferencia si las transmisiones del SFS cayesen dentro de la banda de paso final del RP. La potencia recibida no sería suficiente para provocar una saturación en el RP.

Se ha realizado un análisis estadístico de la interferencia causada al RP como resultado de las emisiones de una estación terrena del SFS en la hipótesis inicial de 32 estaciones terrenas del SFS que están funcionando en la Región del Océano Atlántico (AOR). Se ha supuesto, también, que cada estación tiene una antena de 4,5 m de diámetro y una p.i.r.e. de 82 dBW (el mismo modelo de las estaciones terrenas del SFS utilizado para los análisis de interferencia a altímetros, dispersímetros y satélites de retransmisión de datos). Los resultados aparecen en la fig. 8 donde puede observarse que el umbral de interferencia de -150 dBW se rebasaría aproximadamente durante el 20% del tiempo.

FIGURA 8

Probabilidad de interferencia en un radar de precipitación TRMM causada por 32 estaciones terrenas del SFS distribuidas en la región del Océano Atlántico (AOR) con una p.i.r.e. de 82 dBW



Se ha efectuado una ampliación del análisis estadístico realizado para la AOR a la población mundial de estaciones terrenas del SFS, suponiendo que en el año 2000 todas las estaciones terrenas potencialmente interferentes serían aproximadamente 25. En este caso, y suponiendo además que la mayoría de estas estaciones terrenas utilizaran antenas conformes al diagrama de lóbulo lateral mejorado de $29 - 25 \log \phi$, podría cumplirse el criterio de disponibilidad del RP, siempre que la densidad de p.i.r.e. en la banda 13,793-13,805 GHz se limitase a 61 dBW para las estaciones terrenas con visibilidad directa al RP. Sin embargo los emplazamientos críticos se deberán considerar caso a caso.

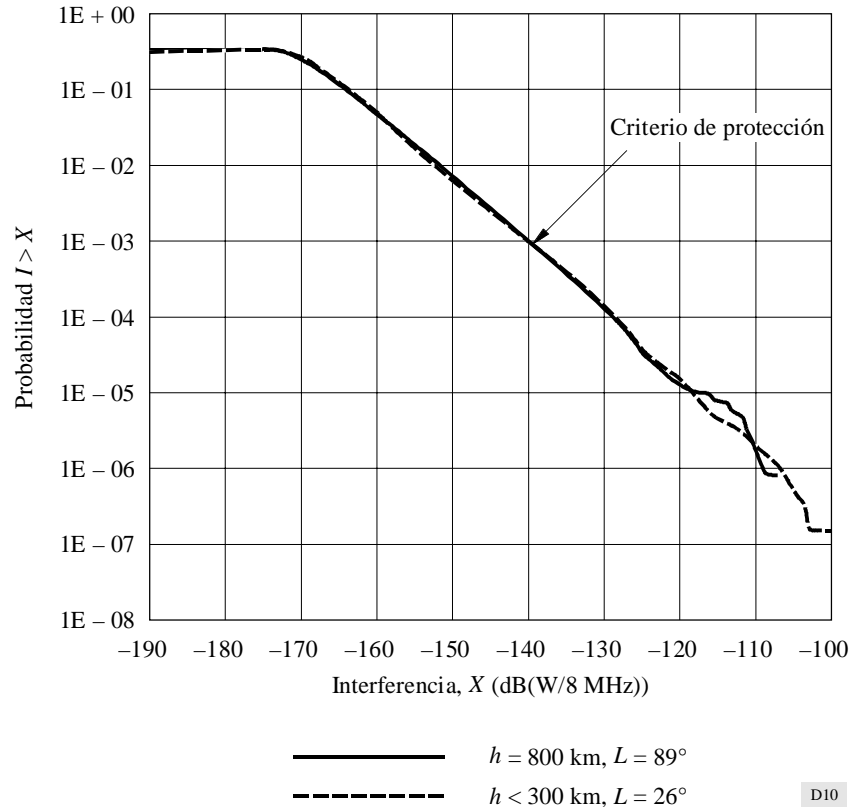
Las hipótesis examinadas se basan en una información procedente del Grupo de Tareas Especiales 4/4 sobre el calendario de puesta en servicio previsto y los diagramas de lóbulo lateral para estaciones terrenas del SFS en la banda 13,75-14 GHz.

3. Interferencia a los sistemas de satélite de retransmisión de datos

Se ha llevado a cabo un análisis estadístico de la interferencia producida a un receptor a bordo de un satélite en órbita baja muy inclinada de 800 km de altitud y a un receptor a bordo de un satélite en órbita ligeramente inclinada de 300 km de altitud. Estos satélites están funcionando en una red de satélites de retransmisión de datos y son interferidos por las emisiones de estaciones terrenas del SFS. Se ha supuesto un total de 32 estaciones terrenas del SFS repartidas en la región del Océano Atlántico de la manera descrita previamente. Las estaciones terrenas tienen una antena de 4,5 m de diámetro y transmiten con un nivel de p.i.r.e. de 68 dBW o de 85 dBW en una anchura de banda de 6 MHz.

Los resultados del análisis estadístico aparecen en la fig. 9. Aplicando los criterios de protección de $-140,2$ dB(W/6 MHz) durante no más del 0,1% del tiempo, puede observarse que con un límite de la densidad de p.i.r.e. de 71 dB(W/6 MHz) se podrán acomodar 32 estaciones terrenas del SFS con emisiones centradas alrededor de 13,775 GHz.

FIGURA 9
**Probabilidad de interferencia a un enlace de ida de un satélite
 de retransmisión de datos causada por 32 estaciones
 terrenas del SFS que funcionan en la AOR:
 densidad de p.i.r.e. = 71 dB(W/6 MHz)**



De acuerdo con estos resultados se llega a la conclusión de que 32 estaciones terrenas del SFS transmitiendo con un nivel de p.i.r.e. de 71 dBW en una anchura de banda de 6 MHz centrada en 13,775 GHz no degradarían el margen del enlace más de 0,4 dB durante más del 0,1% del tiempo. A un número mayor de estaciones terrenas transmisoras correspondería una p.i.r.e. inferior a 71 dB(W/6 MHz).

Se ha evaluado igualmente el efecto del diámetro de la antena de la estación terrena transmisora del SFS sobre la viabilidad de explotar un enlace de satélite de retransmisión de datos centrado en 13,775 GHz a un satélite en órbita baja. Se han supuesto los siguientes parámetros para el satélite:

- una altitud de 800 km,
- una inclinación orbital de 89° ,
- una ganancia de la antena de recepción de 0 dBi en dirección de la interferencia.

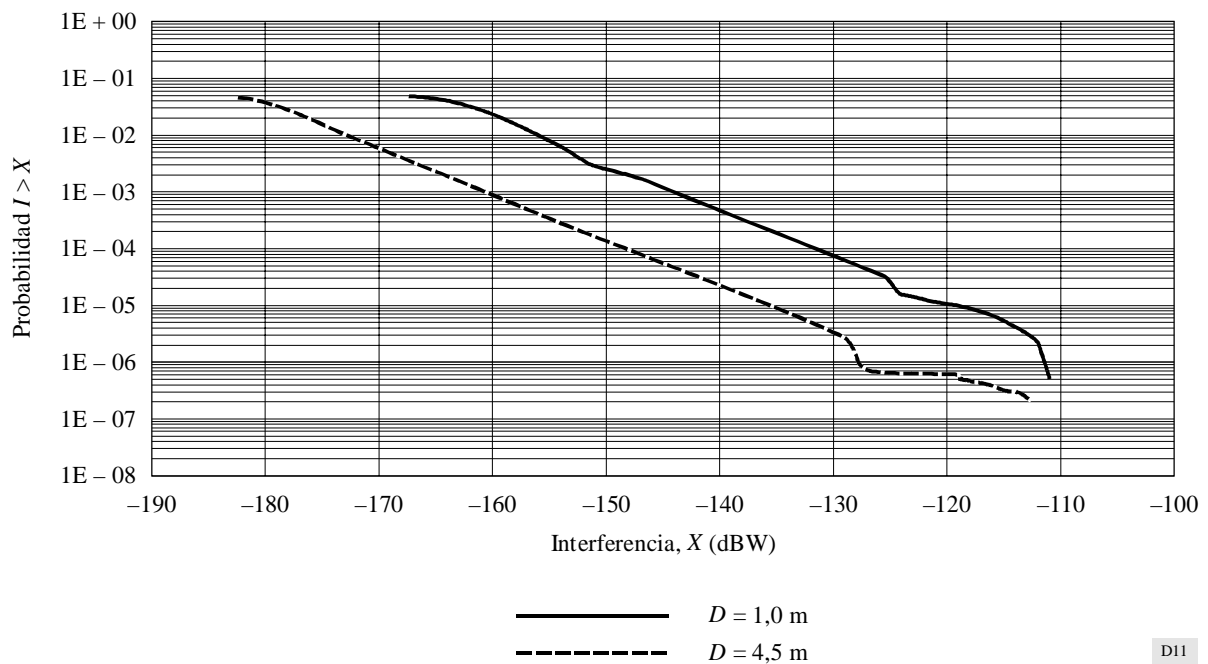
Para la estación terrena del SFS se han supuesto los siguientes parámetros:

- una altitud de la estación de 38° ,
- un ángulo de elevación de la antena transmisora de 15° ,
- un ángulo acimutal desde el sur de la antena transmisora de $70,2^\circ$ con respecto al sur derecho (se trata de un valor calculado basado en el ángulo de elevación y en la latitud de la estación),
- diámetros de la antena transmisora de 1 m y de 4,5 m,
- una p.i.r.e. de 68 dBW para las antenas transmisoras de 1 m y de 4,5 m,
- el diagrama de radiación de referencia de la antena transmisora que figura en el apéndice 29 al RR.

Los resultados del análisis aparecen en la fig. 10. Las estadísticas relativas a la antena de 1 m de diámetro se representan por la línea continua y las estadísticas para la antena de 4,5 m de diámetro, por la línea de puntos. La figura muestra que la antena de 1 m de diámetro produce aproximadamente 16 dB más de interferencia que la antena de 4,5 m de diámetro. Por consiguiente, se necesitarían 40 estaciones terrenas del SFS funcionando con antenas de 4,5 m de diámetro en una agrupación para causar la misma interferencia a largo plazo a los satélites en órbita baja que una sola estación terrena del SFS que utilizase una antena de 1 m de diámetro. En consecuencia, se llega a la conclusión que la disminución del diámetro de antena mínimo especificado en el número 855A del RR aumentaría notablemente la posibilidad de interferencia a los satélites en órbita baja que funcionan en las redes de satélite de retransmisión de datos.

FIGURA 10

Comparación de los valores estadísticos de la interferencia causada por antenas transmisoras de estación terrena del SFS con diámetros de 1 m y 4,5 m a enlaces de ida de un satélite de retransmisión de datos



D11

4. Interferencia a los satélites geoestacionarios del SFS

4.1 Separación orbital para los satélites de seguimiento y retransmisión de datos (TDRS) de Estados Unidos de América

Se ha efectuado un análisis para determinar la relación de potencias portadora/interferencia (C/I) en los enlaces ascendentes de un satélite adyacente del SFS como resultado de las emisiones procedentes de un TDRS geoestacionario. Para el caso de un enlace de ida entre órbitas, se ha demostrado que la relación C/I será mayor de 53 dB si el ángulo de separación orbital es de $0,1^\circ$. Para el caso del enlace de conexión espacio-Tierra, el valor C/I será superior a 64 dB si la separación es de $0,1^\circ$. En ambos casos se ha supuesto que la p.i.r.e. de la estación terrena del SFS es 68 dBW.

4.2 Niveles de densidad de flujo de potencia en la órbita de los satélites geoestacionarios

En el cuadro 4 se indican los niveles máximos de densidad de flujo de potencia producidos por los sistemas científicos espaciales en emplazamientos de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG). Se alcanza el nivel máximo de densidad de flujo de potencia para un tipo concreto de sistema científico espacial cuando el satélite de dicho sistema está situado cerca del punto antipodal de la ubicación OSG (es decir, el trayecto de la señal entre los satélites es tangente a la Tierra) o a la distancia mínima desde la ubicación en la OSG. Si las distintas aplicaciones de los servicios científicos espaciales funcionan como se indica en este anexo y en el anexo 1, las densidades máximas de flujo de potencia en la órbita de los satélites geoestacionarios producida por estos sistemas de satélites científicos alcanzarían los valores indicados en el cuadro 4.

CUADRO 4

Niveles máximos de densidad de flujo de potencia producidos en la órbita de los satélites geoestacionarios por estaciones espaciales de los servicios científicos espaciales

Tipo de transmisor de la estación espacial	Densidad de potencia máxima a la entrada de la antena	Caso de posiciones de los satélites casi antipodal				Caso de distancia de separación mínima			
		Ganancia de la antena del vehículo espacial (dBi)	Densidad de flujo de potencia en la órbita de los satélites geoestacionarios (dB(W/m ²)) en la anchura de banda de referencia			Ganancia de la antena del vehículo espacial (dBi)	Densidad de flujo de potencia en la órbita de los satélites geoestacionarios (dB(W/m ²)) en la anchura de banda de referencia		
			Total	1 MHz	4 kHz		Total	1 MHz	4 kHz
Altimetro	17 dBW por 320 MHz	0	-147,2	-172,2	-196,2	0	-144,7	-169,8	-193,7
Dispersímetro de haz puntual	19 dBW por 180 Hz	10	-135,0	-135,0	-135,0	0	-142,9	-142,9	-142,9
Dispersímetro de haz en abanico	19 dBW por 180 Hz	28	-117,0	-117,0	-117,0	-14	-156,9	-156,9	-156,9
Radar de precipitación	28 dBW por 800 kHz	0	-135,8	-135,8	-158,8	0	-134,0	-134,0	-157,0
Satélite de retransmisión de datos a vehículo espacial usuario	-5 dBW (nota 4)	53	-121,4	-121,6	140,2	0	-133,3	-133,5	-152,1

Nota 1 – Se supone que el altímetro se encuentra a 800 km de altitud y presenta una densidad de espectral de potencia uniforme en la anchura de banda de emisión.

Nota 2 – Se supone que los dispersímetros se encuentran a 800 km de altitud y se utiliza la potencia en la cresta de la envolvente.

Nota 3 – Se supone que el radar de precipitación se encuentra a 350 km de altitud y se utiliza potencia en la cresta de la envolvente.

Nota 4 – Se supone que el vehículo espacial del satélite de retransmisión de datos está situado a 1° del satélite del SFS en el caso de distancia de separación mínima. Las reducciones de la potencia de entrada de la antena del satélite de retransmisión de datos debidas a los efectos de control de potencia no se tienen en cuenta. Los niveles de densidad de flujo de potencia especificados para el satélite de retransmisión de datos se basan en la integración de la densidad de potencia según una distribución espectral de potencia de $\text{sen}^2 x/x^2$ a lo largo de toda la anchura de banda de referencia. Se supone una velocidad de transmisión de datos de 300 kbit/s del satélite de retransmisión de datos sin dispersión por código PN, con lo que se obtienen los niveles de densidad de flujo de potencia del caso más desfavorable cuando se consideran todas las posibles velocidades de transmisión de datos.