

## RECOMENDACIÓN UIT-R RS.1166-2\*

**CRITERIOS DE CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO Y DE INTERFERENCIA PARA SENSORES  
ACTIVOS A BORDO DE VEHÍCULOS ESPACIALES**

(Cuestión UIT-R 140/7)

(1998-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los sistemas de teledetección activos por microondas a bordo de vehículos espaciales requieren la bandas de frecuencia específicas que dependen de los fenómenos que se han de observar;
- b) que se han atribuido algunas bandas de frecuencias a los sistemas de teledetección activos por microondas a bordo de vehículos espaciales;
- c) que estas bandas también están atribuidas a otros servicios radioeléctricos;
- d) que los criterios de calidad de funcionamiento son un requisito previo necesario para el establecimiento de criterios de interferencias y de compartición;
- e) que mediante estudios se han elaborado los requisitos de sensibilidad de las mediciones;
- f) que los requisitos de calidad de funcionamiento de los sensores activos pueden establecerse en términos de precisión de la medición de los parámetros físicos y de disponibilidad, medida en el satélite, suponiendo que la degradación causada por otros elementos del sistema sea reducida;
- g) que los objetivos de calidad de funcionamiento para los sensores activos de microondas a bordo de vehículos espaciales constituyen un requisito previo al establecimiento de los criterios de interferencia asociados;
- h) que es preciso contar con criterios de interferencia a fin de asegurar que los sistemas puedan diseñarse para lograr la adecuada calidad de funcionamiento en presencia de interferencia, evaluar la compatibilidad con los sistemas de otros servicios y, si es necesario, ayudar a desarrollar criterios para la compartición de bandas de frecuencias entre los servicios;
- j) que, de acuerdo con la Resolución 727 (CMR-97), se ha estudiado la utilización de bandas de frecuencias para sensores activos cerca de la banda de 400 MHz;
- k) que en el Anexo 1 figuran las bases técnicas para los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia basadas en los datos obtenidos de los sensores activos representativos,

*recomienda*

**1** que los criterios de calidad de funcionamiento adecuados para los sistemas activos de adquisición de datos en la superficie, los océanos y la atmósfera de la Tierra sean los siguientes:

### **1.1 Cerca de 400 MHz**

#### **1.1.1 Radares de abertura sintética (SAR, *synthetic aperture radars*)**

- El criterio de calidad de funcionamiento para SAR sea el de reunir datos de representación de imágenes SAR con una reflectividad mínima de –39 dB.

### **1.2 Cerca de 13-14 GHz**

#### **1.2.1 Altimetros**

- El criterio de calidad de funcionamiento para los altímetros sea el de medir al nivel del mar con una precisión de por lo menos 3 cm.
- Un aumento en el ruido de medición de la altura de 0,1 cm, lo que corresponde al 4% de degradación en dicho ruido en presencia de un ruido sistemático de 2-2,4 cm, sea coherente con los objetivos de la misión.

#### **1.2.2 Dispersímetros**

- El criterio de calidad de funcionamiento para los dispersímetros sea la medición de velocidades del viento iguales o superiores a 3 m/s.

---

\* La Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación.

### 1.2.3 Radares de precipitación

- El requisito científico de los radares de precipitación sea lograr, tras el procesamiento de los datos, mediciones de índices de precipitación iguales o superiores a 0,7 mm/h.
- Un aumento en el índice de precipitación medible a 0,75 mm/h no afecte materialmente a los datos y sea aceptable como criterio de calidad de funcionamiento.

## 1.3 35,5-36,0 GHz

### 1.3.1 Altimetros

- El criterio de calidad de funcionamiento para los altímetros sea el de medir al nivel del mar con una precisión de por lo menos 3 cm.
- Un aumento en el ruido de medición de la altura de 0,1 cm, lo que corresponde al 4% de degradación en dicho ruido en presencia de un ruido sistemático de 2-2,4 cm, sea coherente con los objetivos de la misión.

### 1.3.2 Dispersímetros

- El criterio de calidad de funcionamiento para los dispersímetros sea la medición de velocidades del viento iguales o superiores a 3 m/s.

### 1.3.3 Radares de precipitación

- El requisito científico de los radares de precipitación sea lograr, tras el procesamiento de los datos, mediciones de índices de precipitación iguales o superiores a 0,15 mm/h.
- Un aumento en el índice de precipitación medible a 0,2 mm/h no afecte materialmente a los datos y sea aceptable como criterio de calidad de funcionamiento.

### 1.3.4 Radares de perfil de nubes

- El criterio de calidad de funcionamiento para los radares de perfil de nubes sea el de medir el perfil de reflectividad de todas las nubes dentro del campo de visión, con una reflectividad mínima de –30 dBZ.
- Una degradación de  $Z_{min}$  inferior al 10% en presencia de interferencia sea coherente con los objetivos de la misión.

## 1.4 94-94,1 GHz

### 1.4.1 Radares de perfil de nubes

- El criterio de calidad de funcionamiento para los radares de perfil de nubes sea el de medir el perfil de reflectividad de todas las nubes dentro del campo de visión, con una reflectividad mínima de –30 dBZ.
- Una degradación de  $Z_{min}$  inferior al 10% en presencia de interferencia sea coherente con los objetivos de la misión;

2 que los criterios de interferencia adecuados para los sistemas activos de adquisición de datos en la superficie, los océanos y la atmósfera de la Tierra sean los siguientes:

## 2.1 Cerca de 400 MHz

### 2.1.1 SAR

- La potencia de señal interferente no sea superior a –138 dBW (correspondiente a una relación interferencia/ruido de –6 dB) en una anchura de banda de referencia de 10 MHz para más del 1% de las imágenes en la zona de servicio del sensor. Dicho nivel de interferencia puede sobrepasarse en consideración del efecto de atenuación de la interferencia por la discriminación de tratamiento del SAR y las características de modulación de los sistemas de radiolocalización/radionavegación que funcionan en la banda.

## 2.2 Cerca de 5,3 GHz, 13-14 GHz y 35,5-36,0 GHz

### 2.2.1 Altimetros

- Para evitar un aumento inaceptable en el ruido de medición de la altura, el criterio de interferencia perjudicial para los altímetros sea un nivel de potencia de señal interferente combinada de –119 dB(W/320 MHz) en el receptor del altímetro a 13-14 GHz; y de –123 dB(W/100 MHz) en el receptor del altímetro que funciona cerca de 5,3 GHz, y un nivel de potencia de –112 dB(W/450 MHz) en el receptor del altímetro a 35,5-36,0 GHz.

### 2.2.2 Dispersímetros

- Para los dispersímetros con antenas de haz en abanico la máxima densidad espectral de potencia interferente que el dispersímetro pueda soportar sin que se degrade la precisión de la medición sea de  $-174$  dBW en el receptor del dispersímetro, en cualquier anchura de banda de 2 kHz dentro de la anchura de banda de 1 MHz del canal de procesamiento.
- Para los dispersímetros con antenas de haz puntual, la máxima densidad espectral de potencia interferente que el dispersímetro pueda soportar sin que degrade la precisión de la medición sea de  $-155$  dBW en el receptor del dispersímetro que funciona cerca de 5,3 GHz y 13-14 GHz, y de  $-158$  dBW en receptores del dispersímetro que funcionan cerca de 35,5-36,0 GHz, en cualquier anchura de banda de 10 kHz dentro de la anchura de banda de 1 MHz del canal de procesamiento.

### 2.2.3 Radares de precipitación

- El criterio de interferencia perjudicial para los radares de precipitación sea un nivel de potencia de señal interferente combinada de  $-150$  dB(W/600 kHz) en 13-14 GHz y un nivel de potencia de señal de  $-152$  dB(W/600 kHz) en 35,5-36,0 GHz en el receptor del radar de precipitación, lo que corresponde a una degradación del nivel de ruido del sistema del 10% debido a la interferencia similar al ruido.

### 2.2.4 Radares de perfil de nubes

- El criterio de interferencia perjudicial para los radares de perfil de nubes sea un nivel de potencia de señal interferente combinada de  $-155$  dB(W/300 kHz) en la banda de 35,5-36,0 GHz en el receptor del radar de perfil de nubes, lo que corresponde a una degradación del nivel de ruido del sistema del 10% debido a la interferencia similar al ruido.

## 2.3 94-94,1 GHz

### 2.3.1 Radares de perfil de nubes

- El criterio de interferencia perjudicial para los radares de perfil de nubes sea un nivel de potencia de señal interferente combinada de  $-155$  dB(W/300 kHz) en el receptor del radar de perfil de nubes, lo que corresponde a una degradación del nivel de ruido del sistema del 10% debido a la interferencia similar al ruido;

**3** que en las bandas de frecuencias compartidas, la disponibilidad de los datos de los sensores activos enumerados anteriormente:

- en el caso de altímetros y dispersímetros, sea superior al 95% de todos los emplazamientos de la zona de servicio del sensor cuando las pérdidas aparecen de manera aleatoria, y superior al 99% de todos los emplazamientos de interés cuando las pérdidas aparecen de forma sistemática en los mismos emplazamientos;
- en el caso de radares de precipitación, sea superior al 99,8% de todos los emplazamientos de la zona de servicio del sensor;

**4** que los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para la teledetección activa en la superficie de la Tierra, el océano y la atmósfera con SAR cerca de 400 MHz, cerca de 1,25 GHz, 5,3 GHz, a 8,6 GHz y 9,6 GHz, sean los siguientes:

- que una degradación de la desviación típica normalizada de potencia recibida de un píxel inferior a 10% en presencia de interferencia sea coherente con los objetivos de la misión;
- que el criterio de interferencia perjudicial a los SAR sea una relación entre potencia de interferencia combinada y potencia de ruido (correspondiente a una relación  $S/N$  de píxel de 0 dB) inferior a  $-6$  dB, lo que corresponde a un nivel de interferencia de  $-138$  dB(W/10 MHz) para un SAR que funcione cerca de 400 MHz, por ejemplo. Este nivel puede superarse en consideración del efecto de atenuación de la interferencia por la discriminación de tratamiento del SAR y las características de modulación de los sistemas de radiolocalización/radionavegación que funcionan en la banda;
- que el nivel de interferencia máximo admitido no se sobrepase en más del 1% de las imágenes en la zona de servicio del sensor para la aparición sistemática de interferencia y no se sobrepase en más del 5% de las imágenes en la zona de servicio del sensor para la aparición aleatoria de interferencia.

## ANEXO 1

## Criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los sensores activos a bordo de vehículos espaciales en 13-14 GHz y 35,5-36,0 GHz

### 1 Introducción

Los criterios de calidad de funcionamiento para sensores activos a bordo de vehículos espaciales son necesarios para desarrollar los criterios de interferencia. A su vez, estos últimos pueden utilizarse para evaluar la compatibilidad de los sistemas de radionavegación y de radiolocalización con sensores activos en las bandas de frecuencia comunes.

En el presente Anexo aparecen las bases técnicas para desarrollar los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia en los tipos de sensores activos que funcionan en la zona de 13-14 GHz y 35,5-36,0 GHz del espectro. Los tipos de sensores incluyen altímetros, dispersímetros y radares de precipitación.

Aunque los criterios se basan en los diseños de sistemas científicos espaciales actuales y planificados así como en los requisitos de funcionamiento asociados, cabe prever que los futuros sistemas científicos espaciales puedan diseñarse de manera que acepten al menos los mismos niveles de señales interferentes y las correspondientes condiciones espacial y temporal.

### 2 Altímetros

#### 2.1 Criterios de calidad de funcionamiento

Los altímetros a bordo de vehículos espaciales realizan, tras el procesamiento de los datos, mediciones del nivel del mar con una precisión de menos de 3 cm. El nivel de ruido en las mediciones de altura efectuados por los altímetros oscila entre 2 y 2,4 cm para mar en calma. Un aumento de 0,1 cm en el ruido en las mediciones de altura debido a la interferencia no afectaría de forma material a los datos y sería aceptable. En otras palabras, una degradación del 4% en dicho ruido sería coherente con los objetivos de la misión.

Un requisito de las misiones del altímetro es la adquisición del 90% de todos los datos posibles sobre los océanos. El objetivo de diseño es superior al requisito mínimo y se ha establecido como el 95% de todos los datos posibles. Las observaciones deben realizarse lo más próximas posibles a la interfaz tierra-mar pero no a más de 30 km de la tierra. En el balance para determinar las pérdidas de datos deben contemplarse todas las fuentes de pérdidas, incluidas las debidas a los sistemas de los vehículos espaciales, los instrumentos del altímetro, las maniobras, etc.

El requisito de disponibilidad para los datos del altímetro es del 95%, suponiendo que las interrupciones individuales asociadas sean breves y aparezcan dispersas de manera aleatoria a lo largo de todos los instantes y zonas de observación (es decir, la mayoría de las interrupciones duran 2 s o menos).

La influencia de la interferencia que siempre está presente en un emplazamiento geográfico determinado es mucho más importante que la de la interferencia aleatoria puesto que nunca pueden obtenerse mediciones de esas zonas geográficas. En esas circunstancias, el requisito para los altímetros es obtener datos válidos para el 99% de todas las zonas geográficas de interés.

#### 2.2 Criterios de interferencia

Los altímetros típicos tienen balances del enlace que dan lugar a unas relaciones  $S/N$  de 13 dB en la anchura de banda de la resolución de la gama del receptor de 39,9 dB/Hz. El ruido en la medición de alturas realizada por el altímetro varía según la fórmula  $1 + 2/(S/N)$ . Para una señal de retorno con una  $S/N$  de 13 dB antes de la interferencia, la adición de ésta provoca el siguiente aumento en el ruido de las mediciones de altura.

Nivel de interferencia	$S/N$ (dB)		Degradación (%)	
	Interferencia no blanca	Interferencia blanca	Interferencia no blanca	Interferencia blanca
Ninguno	13	13	Línea de base	Línea de base
10 dB por debajo del ruido	12,6	12,99	1	0,05
3 dB por debajo del ruido	11,25	12,5	4,5	1
Igual al ruido	10	11,5	9	3,8
10 dB por encima del ruido	2,6	3	91	82

Una degradación en el ruido de las mediciones de altura superior al 4% no permitirá satisfacer los requisitos de la misión. Para tener en cuenta la interferencia no gaussiana, el umbral de interferencia se fija a un valor de 3 dB por debajo del ruido ambiente. Como puede verse, la degradación de la calidad de funcionamiento aumenta bruscamente para niveles de interferencia por encima del ruido de fondo.

Por consiguiente, el criterio de interferencia admisible para los altímetros es un nivel de la potencia de señal interferente combinada de -117 dB(W/320 MHz) en la banda de 13-14 GHz y un nivel de -112 dB(W/450 MHz) en la banda de 35,5-36,0 GHz que provocaría un aumento inaceptable en el ruido de las mediciones de altura.

En las bandas de frecuencias compartidas, la disponibilidad de los datos del altímetro deberá ser superior al 95% de todos los emplazamientos de la zona de servicio del sensor cuando aparecen pérdidas de manera aleatoria y superior al 99% en todos los emplazamientos cuando las pérdidas aparecen sistemáticamente en los mismos emplazamientos.

### 3 Dispersímetros

Las emisiones de radiofrecuencia no deseadas que llegan al receptor del dispersímetro pueden alterar la medición de  $\sigma_0$  realizada por el dispersímetro del radar, siendo  $\sigma_0$  el coeficiente de retrodispersión del radar normalizado. El volumen de degradación dependerá de los valores estadísticos de la interferencia externa.

#### 3.1 Criterios de calidad de funcionamiento

En los sistemas de dispersímetros se realiza una estimación de la potencia de la señal de retorno del eco midiendo primeramente la potencia «señal + ruido» (es decir, el retorno del eco más la contribución de ruido del sistema), y restando a continuación la potencia «ruido únicamente» (una estimación del ruido del sistema únicamente, o «ruido de fondo»). El ruido del sistema incluye las emisiones térmicas procedentes de la Tierra así como el ruido por la antena y el guíaondas y el factor de ruido del receptor. Para optimizar la calidad de funcionamiento del sistema, las mediciones de «señal + ruido» y «ruido únicamente» se realizan para distintas anchuras de banda y/o para instantes diferentes. Esta estrategia se basa en el hecho de que la temperatura nominal del sistema es fundamentalmente blanca durante la secuencia de medición (estacionaria y con una distribución de potencia espectral plana).

Si aparece interferencia externa, el nuevo ruido de fondo compuesto es la suma de la interferencia y del ruido nominal del sistema. Dependiendo de la intensidad, la modulación, el diagrama de ganancia de la antena y la geometría de la fuente de interferencia, el ruido compuesto puede que no sea blanco a lo largo de toda la secuencia de medición. En ese caso, la medición de «ruido únicamente» no corresponderá al ruido de la medición «señal + ruido», lo que dará lugar a la aparición de errores en la estimación de  $\sigma_0$ .

El error estimado de  $\sigma_0$  como consecuencia de un error en la medición «ruido únicamente» determinado puede cuantificarse mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Error } \sigma_0 \text{ (dB)} = 10 \log [1 + (\alpha - 1) / SNR \sigma_0] \quad (1)$$

siendo:

$$SNR \sigma_0 \text{ (dB)} = 10 \log (S/N) = \text{relación señal/ruido del proceso de estimación } \sigma_0$$

con:

$S$ : densidad espectral de potencia de retorno del eco

$N$ : densidad espectral de potencia nominal del ruido ambiente (aproximadamente -200 dB(W/Hz) en la entrada del receptor del dispersímetro para antenas de «haz en abanico» y de «haz puntual»)

y

$$\alpha \text{ (dB)} = 10 \log ([N + (I_{s+n} / B_{s+n})] / [N + (I_n / B_n)]) \quad (2)$$

siendo:

$I_{s+n}$ : potencia media procedente de la fuente de interferencia en  $B_{s+n}$  durante el periodo de medición «señal + ruido»

$B_{s+n}$ : anchura de banda de la medición «señal + ruido»

$I_n$ : potencia media procedente de la fuente de interferencia en  $B_n$  durante el periodo de medición de «ruido únicamente»

$B_n$ : anchura de banda de la medición «ruido únicamente».

La influencia de la interferencia externa es más importante para vientos con velocidad baja. La velocidad del viento más reducida que pueden medir los dispersímetros a bordo de vehículos espaciales es de 3 m/s. Los resultados de simulaciones por ordenador llevadas a cabo para interferencias no estacionarias en el dispersímetro NSCAT han demostrado que el máximo valor de  $\alpha$  (véase la ecuación (2)) que permitirá satisfacer los requisitos de calidad de funcionamiento para velocidades del viento de 3 m/s es de 0,7 dB.

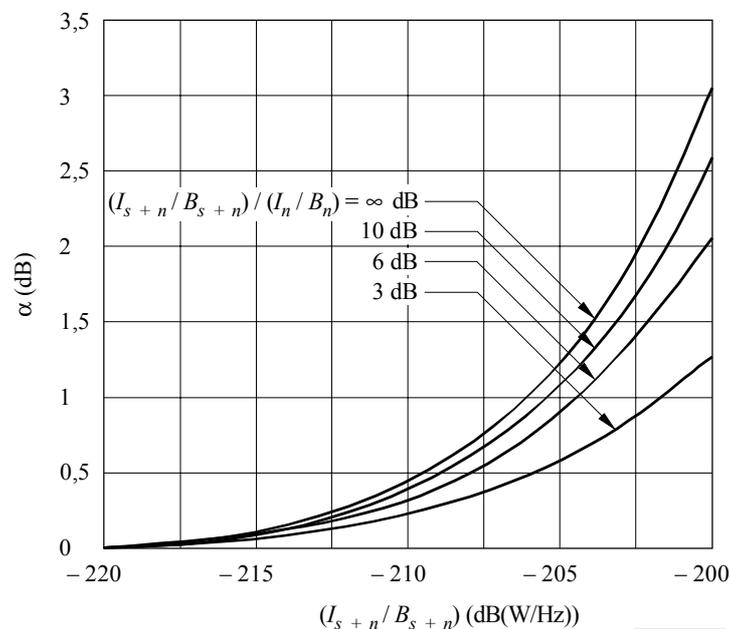
En el futuro, los dispersímetros pueden emplear antenas de haz puntual en vez de antenas de haz en abanico como se utilizan para el NSCAT. Las principales diferencias entre los dos tipos de dispersímetros, además del diagrama de antena, son la p.i.r.e. transmitida y la ganancia de antena de recepción. Los resultados de simulaciones por ordenador llevados a cabo para interferencias no estacionarias han demostrado que para satisfacer los requisitos de calidad de funcionamiento con velocidades del viento de 3 m/s puede tolerarse un valor máximo de  $\alpha = 6$  dB (véase la ecuación (2)) con antenas de «haz puntual».

La pérdida admisible de los datos del dispersímetro debida a la interferencia procedente de estaciones de radiofrecuencia distribuidas aleatoriamente a lo largo de los océanos es el 5% de los datos tomados sobre todos los océanos. La pérdida admisible para la interferencia sistemática es del 1%. Dicha interferencia se define como la pérdida de cobertura en los mismos puntos de los océanos para la mayoría de los pases por encima de esos puntos. Estas máximas pérdidas admisibles se han obtenido a partir del requisito del dispersímetro científico NSCAT de medir el 90% de los vectores de viento sobre los océanos y teniendo en cuenta otras pérdidas de datos aleatoriamente distribuidas que se producen fundamentalmente en zonas con gran intensidad de lluvia.

### 3.2 Criterios de interferencia

En la Fig. 1a se representa la ecuación (2) para un dispersímetro con un ruido de fondo del receptor  $N = -200$  dB(W/Hz). Se trata de un gráfico de  $\alpha$  en función de la densidad espectral de potencia de la señal interferente  $(I_{s+n}/B_{s+n})$ . Cabe señalar que para el valor de  $\alpha$  se obtienen distintos resultados dependiendo de la forma de variación de la interferencia en el tiempo o en la anchura de banda. La Fig. 1a contiene una familia de curvas para diversos valores del parámetro  $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$ .

FIGURA 1a



La separación en tiempo del periodo de medición «señal + ruido» desde el centro del periodo de medición del «ruido únicamente» es de aproximadamente 0,23 s. Durante ese tiempo el ángulo entre el dispersímetro del vehículo espacial y un punto específico en la superficie de la tierra variará aproximadamente  $0,1^\circ$ . Debido a la pequeña anchura de haz de la antena de haz en abanico ( $0,42^\circ$ , anchura de haz a 3 dB), cabe esperar variaciones de varios dB en los niveles de interferencia recibida a medida que los lóbulos laterales del dispersímetro se desplacen a través de un haz del transmisor. Mediante exámenes técnicos se ha llegado a la conclusión de que un valor de 6 dB es la variación máxima que cabe

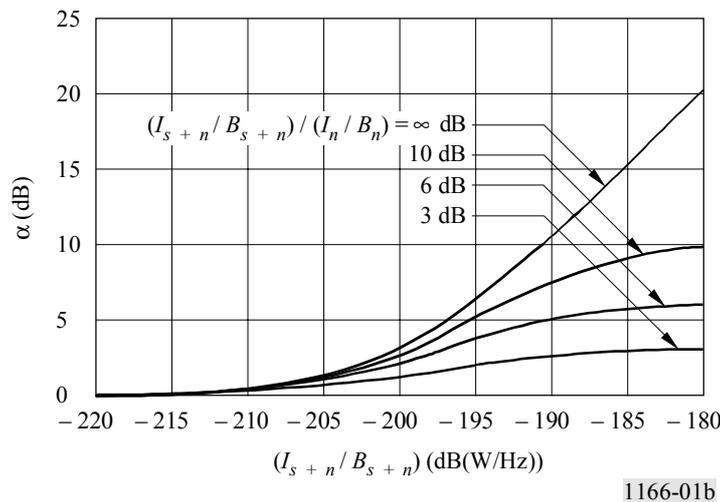
esperar en la expresión  $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$  durante el periodo de medición. A partir de la Fig. 1a se deduce, por lo tanto, que la máxima densidad espectral de potencia de interferencia que puede soportar cualquiera de las seis antenas de haz en abanico del dispersímetro NSCAT sin que se degrade la precisión de la medición es de  $-207 \text{ dB(W/Hz)}$  o  $-174 \text{ dBW}$  en cualquier anchura de banda de  $2 \text{ kHz}$  dentro de la anchura de banda de  $1 \text{ MHz}$  del canal de procesamiento.

En el caso de interferencia similar al ruido blanco, el valor máximo de la densidad espectral de potencia de interferencia aceptable sería de aproximadamente  $-194 \text{ dB(W/Hz)}$  a la entrada del receptor, lo que se traduce en un criterio de interferencia de  $-161 \text{ dBW}$  en cualquier anchura de banda de  $2 \text{ kHz}$  dentro de la anchura de banda de  $1 \text{ MHz}$  del canal de procesamiento.

En el caso de ruido no blanco, el criterio de interferencia para un dispersímetro que utilice una antena de haz puntual puede determinarse para la hipótesis de caso más desfavorable de  $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)] = \pm\infty$ . Esta situación representa el caso en el que la interferencia está presente en la medición de «señal + ruido» o en la medición de «ruido únicamente», pero no en ambas simultáneamente.

De la Fig. 1b puede deducirse que el valor máximo de la densidad espectral de potencia de interferencia que puede soportar la antena de «haz puntual» de un dispersímetro similar al NSCAT sin que se degrade la medición es de  $-195 \text{ dB(W/Hz)}$ . Este requisito debe cumplirse para cualquier anchura de banda de  $10 \text{ kHz}$  dentro de la anchura de banda de  $1 \text{ MHz}$  del canal de procesamiento.

FIGURA 1b



En el caso de interferencia similar a ruido blanco, el valor máximo de la densidad espectral de potencia de la interferencia sería de aproximadamente  $-185 \text{ dB(W/Hz)}$  a la entrada del receptor de un dispersímetro con una antena de «haz puntual».

En las bandas de frecuencias compartidas, la disponibilidad de los datos del dispersímetro deberá ser superior al 95% de todos los emplazamientos en la zona de servicio del sensor cuando las pérdidas aparecen de manera aleatoria y superior al 99% de todos los emplazamientos cuando las pérdidas aparecen de forma sistemática en los mismos emplazamientos.

## 4 Radares de precipitación

### 4.1 Radares de precipitación basados en el proyecto TRMM

El primer radar de precipitación a bordo de un vehículo espacial es el radar de precipitación TRMM cuyo lanzamiento se llevó a cabo en 1997.

Se han considerado los objetivos de la misión y el diseño del radar de precipitación TRMM con objeto de elaborar los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia que puedan utilizarse para evaluar la compatibilidad de dicho radar y los sistemas de los servicios de radionavegación y de radiolocalización. Los criterios de interferencia se indican tanto para el nivel de interferencia que constituye interferencia perjudicial como para el volumen de datos perdidos debido a la interferencia, coherentes con los objetivos que debe cumplir la misión.

#### 4.1.1 Criterios de calidad de funcionamiento

El requisito científico del radar de precipitación TRMM es lograr, tras el procesamiento de los datos, la medición de índices de precipitación iguales o superiores a 0,7 mm/h. Un aumento en el índice de precipitación medible a 0,75 mm/h no afectaría de manera material a los datos y sería aceptable como criterio de calidad de funcionamiento.

El TRMM podrá obtener mediciones en la intensidad de lluvia en cualquier parte de la Tierra comprendida entre las latitudes  $\pm 35^\circ$  determinadas por la inclinación de su órbita. Es importante obtener todas las posibles mediciones de intensidad de lluvia; sin embargo, revisten particular interés las mediciones en la Zona de convergencia intertropical (ITCZ), que es la zona limitada por el ecuador de la Tierra y  $10^\circ$  de latitud Norte, y en la amplia zona que se extiende desde el continente marítimo al Pacífico Sur (denominada Conducto del monzón australiano y Zona de convergencia del Pacífico Sur (SPCZ)). Estas zonas importantes vienen generalmente limitadas por latitudes de  $0^\circ$ - $10^\circ$  N y  $50^\circ$ - $180^\circ$  E,  $0^\circ$ - $10^\circ$  S. La intensidad de lluvia tropical es un factor crítico para la distribución de las aguas en toda la Tierra. Las precipitaciones son de más intensidad cerca del Ecuador y más de dos tercios de las mismas se producen en los trópicos. Estas precipitaciones liberan energía que ayuda a impulsar la circulación atmosférica global influyendo de esa manera tanto en el clima como en las condiciones meteorológicas. La intensidad de lluvia tropical también desempeña un cometido fundamental en las anomalías climatológicas esporádicas desencadenadas por «El Niño» que provocan inundaciones y sequías en toda la Tierra. La obtención de conjuntos de datos científicos a lo largo de muchos años sobre mediciones intensas de lluvia en zonas tropicales y subtropicales es de vital importancia para comprender cómo las interacciones entre el mar, el aire y las masas de tierra producen cambios en la climatología y en la intensidad de lluvia en toda la Tierra. Estas mediciones pueden realizarse únicamente mediante el uso de satélites.

Teniendo en cuenta lo anterior, los científicos del proyecto TRMM han determinado que la disponibilidad necesaria de los datos sobre intensidad de lluvia es función del lugar donde se produce dicha intensidad de lluvia. La zona más crítica se encuentra en la Zona de convergencia inter tropical y en las proximidades de emplazamientos especiales de «tierra verdadera» establecidos para correlacionar los datos del radar de precipitación con las mediciones terrenales simultáneas. Un criterio sobre pérdidas de datos en la Zona de convergencia inter tropical cuando aparece interferencia de forma aleatoria es el 0,2% de los datos posibles.

#### 4.1.2 Criterios de interferencia

Un aumento en la medición del índice de precipitación de 0,7 a 0,75 mm/h corresponde a una degradación en el nivel de ruido del sistema del 10% debido a la interferencia similar al ruido. Por consiguiente, la interferencia debe encontrarse 10 dB por debajo del nivel de ruido del sistema. Como dicho nivel es de  $-140$  dBW y la anchura de banda final del radar de precipitación es de 600 kHz, el criterio del 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 más elevado debido al filtro paso banda del 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. En 35,5-36,0 GHz, el criterio del nivel de interferencia perjudicial es  $-152$  dB(W/600 kHz).

En las bandas de frecuencias compartidas, la disponibilidad de los datos del radar de precipitación deberá ser superior al 99,8% de todos los emplazamientos situados en la zona de servicio de sensor cuando las pérdidas tienen carácter aleatorio.

### 4.2 Radares de precipitación basados en la nueva TRMM

#### 4.2.1 Introducción

La banda de frecuencias 33,5-36,0 GHz fue atribuida por la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1997) (CMR-97), a título primario, a los sensores de observación de la Tierra (activos) a bordo de vehículos espaciales, basado en los resultados de los estudios de compatibilidad entre sensores activos y radares del servicio de radiolocalización (servicio primario en esa banda). El estudio de compatibilidad se efectuó utilizando el altímetro y el dispersímetro instalados en el vehículo espacial como sensores autotransportados activos. Como resultado se comprobó que dichos sensores activos y radares de radiolocalización son compatibles. En este Anexo, se proporcionan las características técnicas, y los criterios de interferencia y calidad de funcionamiento de un radar de precipitación a bordo de un vehículo espacial en 35 GHz como otro ejemplo de los sensores activos que utilizarán la banda de 35,5-36,0 GHz. Se efectúa también un análisis preliminar de compatibilidad entre el radar de precipitación propuesto y el radar de radiolocalización en comparación con el caso del altímetro a bordo de un vehículo espacial.

#### 4.2.2 Nueva TRMM y radar de precipitación en la banda de 35 GHz

En noviembre de 1997 se lanzó con éxito el satélite para la TRMM y a partir de esa fecha la TRMM ha estado produciendo un conjunto de datos globales de gran utilidad sobre la distribución de intensidad de lluvia y demostrado los posibles beneficios de tales datos en materia de clima, predicciones meteorológicas, hidrología, etc. Como un sucesor de la TRMM, se encuentra actualmente en investigación la nueva misión TRMM.

Para obtener una cobertura de latitud más amplia comparada con los 35° de latitud en el caso de la TRMM, es necesario incrementar la región de observación y efectuar mediciones más sensibles en la nueva TRMM. Por estas razones, se proyecta tener a bordo del satélite de la nueva TRMM un radar de precipitación en la banda de 35 GHz y un radar de precipitación en la banda de 13 GHz. En el Cuadro 1 figura la descripción del satélite de la nueva TRMM.

CUADRO 1

**Descripción del satélite de la nueva TRMM**

Objetivo	Medición global de la distribución de intensidad de lluvia
Altura de la órbita	400 km (preliminar)
Inclinación de la órbita	60°-75°
Sensores a bordo	Radar de precipitación en la banda de 13 GHz Radar de precipitación en la banda de 35 GHz Reproductor de imágenes de microondas, radiómetro visible/infrarrojo, etc.

**4.2.3 Características técnicas del radar de precipitación en la banda de 35 GHz**

En el Cuadro 2 figuran las características técnicas del radar de precipitación en la banda de 35 GHz considerado como uno de los instrumentos a bordo del satélite de la nueva TRMM. La función principal del radar de precipitación en la banda de 35 GHz es efectuar mediciones de alta sensibilidad. El objetivo de la reflectividad mínima del radar detectable es por lo menos menor que 14 dBZ y la intensidad de la lluvia resultante es menor que 0,2 mm/h, valores que nunca han sido obtenidos por el radar de precipitación en la banda de 13 GHz. A diferencia del radar de precipitación en la banda de 13 GHz, la función de barrido del haz del radar en la banda de 35 GHz sólo sería limitada. El haz de la antena se fijaría en el nadir o bien sería barrido en algunos grados a partir del nadir.

CUADRO 2

**Características (preliminares) del radar de precipitación en la banda de 35 GHz de la nueva TRMM**

Frecuencia central de RF	35,55 GHz
Potencia de cresta de transmisión	200 W
Anchura del impulso	1,67 $\mu$ s
Frecuencia de repetición del impulso	2 627 Hz
Modulación del impulso	Ninguna
Ganancia de la antena	51,5 dBi
Orientación de la antena	Nadir o barrido limitado
Diámetro de la antena	1,2 m (eficacia = 0,7)
Anchura del haz de la antena	0,5°
Resolución horizontal	3,5 km
Anchura de banda de transmisión de RF	14 MHz
Anchura de banda de la banda base del receptor	600 kHz
Nivel de ruido del sistema (factor de ruido = 4 dB)	-142 dB(W/600 kHz)
Pérdida del alimentador transmisor/receptor	2,5 dB

#### 4.2.4 Criterios de calidad de funcionamiento e interferencia

##### 4.2.4.1 Criterios de calidad de funcionamiento

El porcentaje de lluvia de poca intensidad que cae en la región de elevada latitud es mayor que la de la región tropical. Por tanto, es necesario medir la lluvia de poca intensidad en la mayor medida posible a fin de obtener una estimación libre de error sistemático de las estadísticas de distribución de intensidad de lluvia sobre la región de elevada latitud. La medición de una intensidad de lluvia menor que 0,2 mm/h es uno de los requisitos de medición de la nueva TRMM. Por esta razón, se especifica que la reflectividad de radar mínima detectable sea menor que 14 dBZ como criterios de calidad de funcionamiento del radar de precipitación en la banda de 35 GHz.

##### 4.2.4.2 Criterios de interferencia

La reflectividad del radar de 14 dBZ corresponde a una intensidad de lluvia de 0,15 mm/h. Este valor se puede degradar hasta 0,2 mm/h. Esta degradación de caída de funcionamiento corresponde a un incremento del 10% de la temperatura de ruido del sistema, o a un aumento de 0,5 dB aproximadamente del nivel de ruido del sistema. Este criterio es esencialmente el mismo que en el caso del radar de precipitación en la banda de 13 GHz. Con respecto al criterio de la pérdida de datos por la interferencia, los mismos criterios para el radar de precipitación en la banda de 13 GHz se podrían utilizar para el radar de precipitación en la banda de 35 GHz. Los criterios de interferencia del radar de precipitación en la banda de 35 GHz se resumen como sigue:

- Nivel de interferencia admisible:  $-152$  dB(W/600 kHz)
  - Pérdida de datos admisible debida a la interferencia: 0,2 %.
-

