

RECOMENDACIÓN UIT-R RS.1166-3

Criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para sensores activos a bordo de vehículos espaciales

(1998-1999-2006)

Cometido

Esta Recomendación refleja los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para sensores activos a bordo de vehículos espaciales en las bandas adjudicadas al SETS (activo). El Anexo contiene las bases técnicas a partir de las cuales se establecerán estos criterios para los diversos tipos de sensores activos a bordo de vehículos espaciales. Los tipos de sensores incluyen altímetros, dispersímetros, radares de precipitación, radares de apertura sintética y radares de perfil de nube.

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 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 se apliquen los criterios de calidad de funcionamiento consignados en el Cuadro 1 a los instrumentos utilizados para los sistemas activos de adquisición de datos en la atmósfera, los océanos y la superficie de la Tierra:

CUADRO 1

| Banda de frecuencias | Criterios de calidad de funcionamiento | | | | |
|----------------------|--|--|--------------------------------|---|--------------------------|
| | Dispersímetro | Altimetro | Reproductor de imágenes SAR | Radar de medición de las precipitaciones | Radar de perfil de nubes |
| 432-438 MHz | | | Reflectividad mínima de -21 dB | | |
| 1 215-1 300 MHz | | | Reflectividad mínima de -32 dB | | |
| 3 100-3 300 MHz | | Precisión de nivel del mar ≤ 3 cm | Reflectividad mínima de -26 dB | | |
| 5 250-5 570 MHz | Velocidad del viento ≥ 3 m/s | Precisión de nivel del mar ≤ 3 cm | Reflectividad mínima de -24 dB | | |
| 8 550-8 650 MHz | Velocidad del viento ≥ 3 m/s | Precisión de nivel del mar ≤ 3 cm | Reflectividad mínima de -21 dB | | |
| 9 500-9 800 MHz | Velocidad del viento ≥ 3 m/s | Precisión de nivel del mar ≤ 3 cm | Reflectividad mínima de -18 dB | | |
| 13,25-13,75 GHz | Velocidad del viento ≥ 3 m/s | Precisión de nivel del mar ≤ 3 cm | | Índices mínimos de pluviosidad de 0,7-0,75 mm/h | |
| 17,2-17,3 GHz | Velocidad del viento ≥ 3 m/s | | | Índices mínimos de pluviosidad de 0,7-0,75 mm/h | |
| 24,05-24,25 GHz | | | | Índices mínimos de pluviosidad de 0,7-0,75 mm/h | |
| 35,5-36 GHz | Velocidad del viento ≥ 3 m/s | Precisión de nivel del mar ≤ 3 cm | | Índices mínimos de pluviosidad de 0,7-0,75 mm/h | -17 dBZ $\pm 10\%$ |
| 78-79 GHz | | | | | -27 dBZ $\pm 10\%$ |
| 94-94,1 GHz | | | | | -30 dBZ $\pm 10\%$ |
| 133,5-134 GHz | | | | | -34 dBZ $\pm 10\%$ |
| 237,9-238 GHz | | | | | -44 dBZ $\pm 10\%$ |

dBZ – Reflectividad «unitaria» de radar utilizada en meteorología que representa una relación de potencia logarítmica (en decibeles, o dB) con respecto al factor de reflectividad del radar, Z, con referencia a un valor de $1 \text{ mm}^6/\text{m}^3$.

2 que los criterios de disponibilidad de datos y de interferencia consignados en el Cuadro 2 se apliquen a los instrumentos utilizados para la teledetección activa de la atmósfera, los océanos y la superficie de la Tierra.

CUADRO 2

| Tipo de sensor | Criterios de interferencia | | Criterios de disponibilidad de datos (%) | |
|--|--|----------|--|-----------|
| | Degradación de la calidad de funcionamiento | I/N (dB) | Sistemática | Aleatoria |
| Radar de apertura sintética | 10% de degradación de la desviación típica | -6 | 99 | 95 |
| Altímetro | 4% de degradación en el ruido debido a la altura | -3 | 99 | 95 |
| Dispersímetro | 8% de degradación en la medición de la retrodispersión de radar típica para deducir las velocidades del viento | -5 | 99 | 95 |
| Radar de medición de las precipitaciones | 7% de aumento en la tasa de pluviosidad mínima | -10 | N/A | 99,8 |
| Radar de perfil de nube | 10% de degradación en la reflectividad mínima debida a las nubes | -10 | 99 | 95 |

Anexo 1

Criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los sensores activos a bordo de vehículos espaciales

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 frecuencias comunes.

En el presente Anexo aparecen las bases técnicas para desarrollar los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia en los diversos tipos de sensores activos a bordo de vehículos espaciales. Los tipos de sensores incluyen altímetros, dispersímetros, radares de medición de las precipitaciones, radares de apertura sintética y radares de perfil de nube.

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

Este punto contiene información sobre los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los altímetros a bordo de vehículos espaciales en las bandas de frecuencias de 3,1-3,3 GHz, 5,25-5,57 GHz, 8,55-8,65 GHz, 9,5-9,8 GHz, 13,25-13,75 GHz y 35,5-35,6 GHz.

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 (por debajo de 15 km de la interfaz tierra-mar se producen distorsiones en la longitud de onda del altímetro y no se puede estimar la altura con precisión). 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 (salvo los altímetros de 35,5-36 GHz) 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 |

En el caso de los altímetros de 35,5-36 GHz, los efectos atmosféricos y las limitaciones tecnológicas tienen como resultado un presupuesto de enlace menos favorable (relación S/N cercana a 10 dB) y por ende la sensibilidad frente al nivel de interferencia es mayor, por lo cual se han tenido en cuenta los siguientes valores:

| Nivel de interferencia | S/N (dB) | | Degradación (%) | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| | Interferencia no blanca | Interferencia blanca | Interferencia no blanca | Interferencia blanca |
| Ninguno | 10 | 10 | Línea de base | Línea de base |
| 10 dB por debajo del ruido | 9,6 | 9,98 | 1,7 | 0,08 |
| 6 dB por debajo del ruido | 9,0 | 9,9 | 4,2 | 0,5 |
| 3 dB por debajo del ruido | 8,2 | 9,5 | 8,4 | 1,2 |
| 1,5 dB por debajo del ruido | 7,7 | 9,1 | 11,8 | 3,8 |
| Igual al ruido | 7,0 | 8,5 | 17 | 6,9 |
| 10 dB por encima del ruido | -0,4 | 0 | 167 | 150 |

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 -119 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

Este punto contiene información sobre los criterios de interferencia y de calidad de funcionamiento para los dispersímetros a bordo de vehículos espaciales en las bandas de frecuencias de 5,25-5,57 GHz, 8,55-8,65 GHz, 9,5-9,8 GHz, 13,25-13,75 GHz, 17,2-17,3 GHz y 35,5-36,0 GHz. Se proporcionan los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los dispersímetros activos a bordo de vehículos espaciales que pueden utilizarse para analizar la compatibilidad de los dispersímetros activos a bordo de vehículos espaciales y los sistemas de radionavegación y radiolocalización en esas bandas.

Las emisiones de radiofrecuencia no deseadas que llegan al receptor del dispersímetro pueden alterar la medición de σ_0 realizada por el dispersímetro del radar, siendo σ_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 σ_0 .

El error estimado de σ_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 α (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.

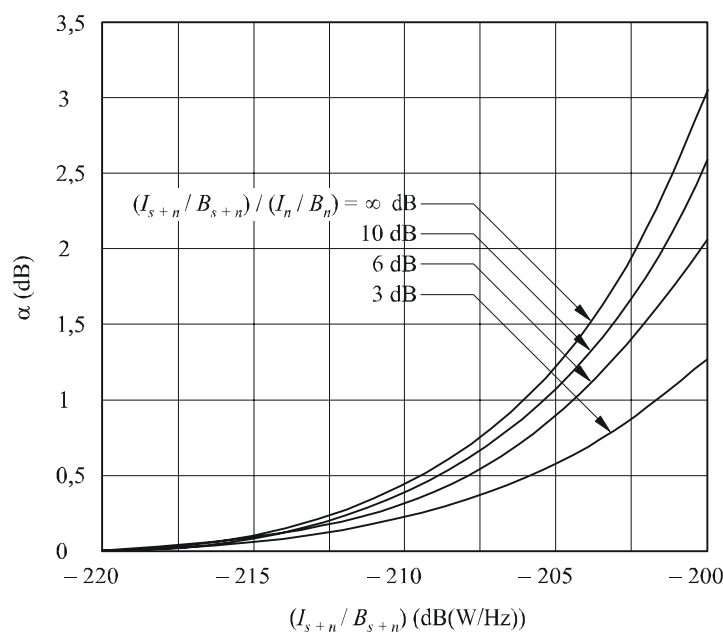
En el futuro, los dispersímetros pueden emplear antenas de haz puntual en vez de antenas de haz en abanico como se utilizan para el NSCAT. Las principales diferencias entre los dos tipos de dispersímetros, además del diagrama de antena, son la p.i.r.e. transmitida y la ganancia de antena de recepción. 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 α 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 α 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



1166-01a

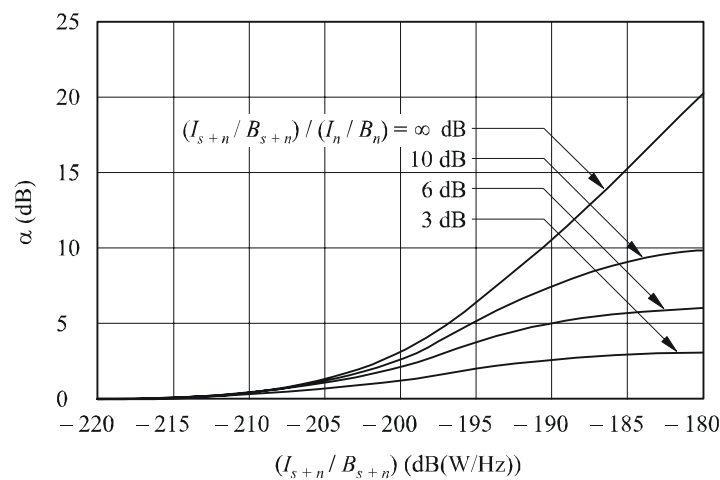
La separación en tiempo del periodo de medición «señal + ruido» desde el centro del periodo de medición del «ruido únicamente» es de aproximadamente 0,23 s. Durante ese tiempo el ángulo entre el dispersímetro del vehículo espacial y un punto específico en la superficie de la tierra variará aproximadamente $0,1^\circ$. 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 dB(W/Hz) o -174 dBW en cualquier anchura de banda de 2 kHz dentro de la anchura de banda de 1 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 dB(W/Hz) a la entrada del receptor, lo que se traduce en un criterio de interferencia de -161 dBW en cualquier anchura de banda de 2 kHz dentro de la anchura de banda de 1 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 dB(W/Hz). Este requisito debe cumplirse para cualquier anchura de banda de 10 kHz dentro de la anchura de banda de 1 MHz del canal de procesamiento.

FIGURA 1b



1166-01b

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 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 medición de las precipitaciones

Este punto contiene información sobre los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los radares de medición de las precipitaciones a bordo de vehículos espaciales en las bandas de frecuencias de 13,25-13,75 GHz, 24,05-24,25 GHz, y 35,5-36,0 GHz. Los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los radares activos de medición de las precipitaciones a bordo de vehículos espaciales pueden utilizarse para analizar la compatibilidad de los radares activos de medición de las precipitaciones a bordo de vehículos espaciales y los sistemas de radionavegación y radiolocalización en dichas bandas.

4.1 Radares de precipitación basados en el proyecto TRMM

El primer radar de precipitación a bordo de un vehículo espacial fue 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° 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° - 10° N y 50° - 180° E, 0° - 10° 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 intertropical 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 intertropical 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

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.

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 está planificando una misión de seguimiento.

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 misión de seguimiento. Por estas razones, se proyecta tener a bordo del satélite de la nueva misión de seguimiento un radar de precipitación de 35 GHz y un radar de precipitación de 13 GHz. En el Cuadro 3 figura la descripción del satélite de la misión de seguimiento.

CUADRO 3

**Descripción de la misión de seguimiento
del radar de medición de las precipitaciones**

| | |
|--------------------------|--|
| 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 de 13 GHz Radar de precipitación de 35 GHz Reproductor de imágenes de microondas, radiómetro visible/infrarrojo, etc. |

4.2.3 Características técnicas del radar de medición de las precipitaciones de 35 GHz

En el Cuadro 4 figuran las características técnicas del radar de precipitación de 35 GHz considerado como uno de los instrumentos a bordo radar de medición de la precipitación. La función principal del radar de precipitación 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 de 13 GHz. A diferencia del radar de precipitación en la banda de 13 GHz, la función de barrido del haz del radar 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 4

**Características (preliminares) del radar de medición de la precipitación
de 35 GHz de la misión de seguimiento TRMM**

| | |
|---|--------------------------|
| Frecuencia central de RF | 35,55 GHz |
| Potencia de cresta de transmisión | 200 W |
| Anchura del impulso | 1,67 μ 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 del radar de medición de la precipitación de la misión de seguimiento. 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 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 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 de 35 GHz. Los criterios de interferencia del radar de precipitación 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%.

5 Radares de apertura sintética

Esta sección contiene información sobre los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los sensores activos de radar de imagen a bordo de vehículos espaciales en las bandas de frecuencias de 432-438 MHz, 1 215-1 300 MHz, 3 100-3 300 MHz, 5 250-5 570 MHz, 8 550-8 650 MHz y 9 500-9 800 MHz. Los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia pueden utilizarse para analizar la compatibilidad de los sensores activos de radar de imagen a bordo de vehículos espaciales y los sistemas de radionavegación y radiolocalización en dichas bandas.

5.1 Criterios de calidad de funcionamiento de los radares de apertura sintética (SAR)

Por lo general los radares de apertura sintética SAR, se utilizan en el espacio para producir mapas de imágenes de radar del terreno mientras que el movimiento del vehículo espacial crea una apertura sintética durante un periodo de apertura típico de sólo 0,2-1,5 s. Cualquier señal que interfiera durante este periodo de apertura afecta a la imagen de esa característica particular. Muchos SAR toman imágenes principalmente de la tierra y de las transiciones entre tierra y agua en los litorales. Los encargados del experimento eligen un número finito de sitios para tomar imágenes a lo largo de una gama de ángulos de abertura a medida que las órbitas se repiten dentro de un periodo de 1-8 días con una ligera deriva. Toda interferencia que perturbe los datos de un sitio terrenal experimental durante cualquiera de las secuencias del ángulo de abertura incidirá adversamente en la calidad de funcionamiento. Los SAR se utilizan también para elaborar mapas topográficos que pueden utilizarse para modelos de elevación digital. Algunos SAR utilizan interferometría con repetición de ciclos para producir mapas topográficos. La interferencia en cualquiera de los ciclos afectará adversamente la calidad de funcionamiento. Un SAR voló en una órbita repetida de 10 días a 233 km y compiló datos SAR por interferometría con línea de base fija durante los ciclos ascendentes utilizando las bandas de 5 250-5 350 MHz y 9 500-9 800 MHz, mientras que compilaba datos SAR normales utilizando la banda de 1 215-1 300 MHz. Una segunda antena receptora de 5 250-5 350 MHz/9 500-9 800 MHz montada en un brazo de 30 m a partir de la antena principal compiló datos simultáneamente con la antena principal y así proporcionó datos de interferometría sin necesidad de repetir los ciclos. Utilizando la banda de 5 250-5 350 MHz, un SAR de exploración permitió compilar datos a lo largo de un amplio barrido de 230 km y lograr así una cobertura total entre $\pm 60^\circ$ de latitud. Toda interferencia a cualquiera de las señales recibidas simultáneamente afectó adversamente la calidad de funcionamiento del sensor.

Las misiones SAR de formación de imágenes o de topografía deben adquirir el 99% de los datos en los sitios seleccionados a lo largo de la superficie de la tierra o las transiciones entre tierra y océano. Este presupuesto para datos perdidos es independiente de otras fuentes de pérdida tales como las debidas a los sistemas del vehículo espacial, el instrumento SAR, etc.

El requisito de disponibilidad de los datos SAR es de 99%, suponiendo que las pérdidas sean de poca duración y aleatorias a lo largo de las zonas y durante el periodo de adquisición de datos. La interferencia en un emplazamiento geográfico dado con carácter sistemático es más grave, sobre todo si ésta se produce en uno de los sitios seleccionados por los experimentadores, donde podrían tener lugar al mismo tiempo experimentos de validación o experimentos verdaderos en tierra. La interferencia en un emplazamiento geográfico dado para las misiones topográficas SCANSAR podría crear una brecha en el mapa de cobertura global.

5.2 Criterios de interferencia de los SAR

Se han establecido criterios de interferencia para los radares de imagen a bordo de vehículos espaciales, según figuran en el Cuadro 2. En dicho Cuadro el criterio de interferencia para los radares de apertura sintética es una relación interferencia-ruido (I/N) de -6 dB, lo que corresponde a un 10% de degradación de la desviación típica de la potencia de píxel del SAR.

Este nivel de interferencia podría excederse considerando el efecto de mitigación de la interferencia de las características de modulación y de discriminación de procesamiento SAR de los sistemas de radiolocalización/radionavegación que funcionan en la banda. Estos niveles podrían excederse durante porcentajes de imágenes inferiores al 1% en el caso de ocurrencias sistemáticas de interferencia y en menos del 5% en el caso de interferencias aleatorias.

Los datos brutos del SAR se procesan tanto en alcance como en acimut para generar una imagen de radar. La señal de retorno que devuelve el blanco presenta una dispersión lineal en frecuencia, tanto en alcance como en acimut. El procesador correlaciona los datos en ambas dimensiones y por lo general la ganancia de procesamiento oscila entre 20 y 40 dB para el eco de retorno. Las señales de interferencia y ruido tienen ganancias de procesamiento muy inferiores. El ruido del receptor tiene una ganancia de casi 0 dB en alcance. Las señales interferentes en el mismo nivel de entrada que el ruido tienen diferentes ganancias de procesamiento, en función del tipo de modulación de la forma de onda.

5.2.1 Ganancia de procesamiento del ruido

El ruido del sistema, con referencia al puerto de la antena, consiste fundamentalmente en el ruido de la antena y el ruido del receptor frontal. Este ruido puede modelarse como ruido blanco, estacionario o Gaussiano. El correlator del procesador es básicamente un filtro adaptado para los impulsos, o fluctuaciones, con modulación de frecuencia lineal. La ganancia de procesamiento en alcance para el ruido es de 0 dB. La ganancia de procesamiento en acimut es N^2 para la integración coherente de N retornos durante una apertura sintética y N para el ruido. Hay un tiempo de integración de apertura sintética y una PRF adecuada que se necesitan para procesar los píxeles hasta determinado tamaño de resolución en acimut ρ_{AZ} , según se indica a continuación:

$$G_{N_{AZ}} = T_I PRF$$

$$T_I = \frac{\lambda R_S}{v L_{eff}}$$

$$PRF = 1,2 \frac{v}{\rho_{AZ}}$$

siendo:

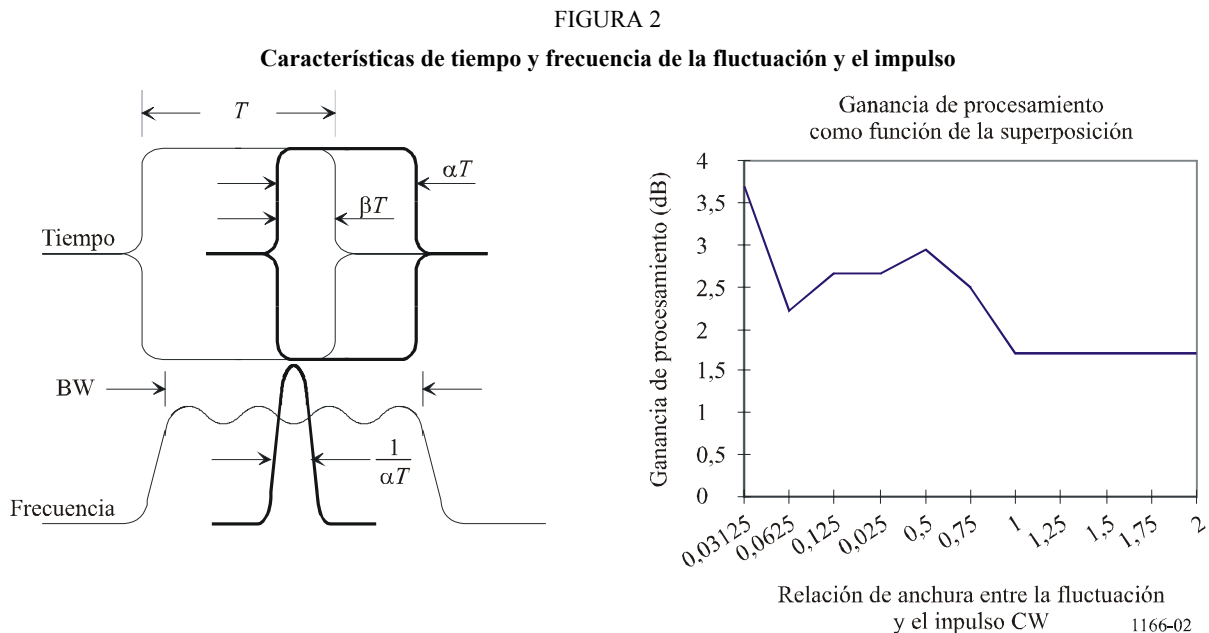
- G_{NAZ} : ganancia de procesamiento en acimut
- T_I : tiempo de integración en acimut SAR
- PRF : frecuencia de repetición de los impulsos
- λ : longitud de onda
- R_S : distancia oblicua
- v : velocidad de la plataforma de vehículo espacial
- L_{eff} : longitud de la antena efectiva en acimut
- ρ_{AZ} : resolución en acimut.

A título de ejemplo, para SAR3 próximo a 9,6 GHz, $\lambda = 0,03125$ m, $R_S = 535,8$ km a un ángulo de incidencia de 20° , $v = 7,05$ km/s y $L_{eff} = 1,56$ m, entonces $T_I = 1,52$ s. Para $\rho_{AZ} = 1$ m, $PRF = 8\,460$ Hz y la ganancia de procesamiento en acimut para el ruido G_{NAZ} será de 41,1 dB.

5.2.2 Ganancia de procesamiento en alcance de las señales interferentes

5.2.2.1 Interferencia con impulsos CW

Cuando la frecuencia central RF de las señales interferentes con impulsos CW se encuentra dentro de la banda de frecuencias de procesamiento, la ganancia de procesamiento de la interferencia en relación con el ruido varía junto con la anchura del impulso CW con respecto a la anchura del impulso FM lineal, y con el porcentaje de la zona de superposición tal como se indica en la Fig. 2.



Suponiendo que la anchura del impulso interferente es inferior a la anchura del impulso de fluctuación y está envuelta en la fluctuación (es decir, $\alpha = \beta$), entonces la ganancia de procesamiento se indica como una función de la anchura del impulso fraccional, tal como se muestra en la Fig. 2.

5.2.2.2 Señales interferentes CW

Se supone que la frecuencia central RF de la señal interferente CW se encuentra en la banda de frecuencias de procesamiento. Para un nivel de señal interferente igual al nivel del ruido, la ganancia de procesamiento CW es de 2,3 dB. Para cada píxel de imagen, ese valor es el mismo que para un impulso CW con la misma anchura que el impulso de fluctuación, y la relación de anchura es la unidad.

5.2.2.3 Señales interferentes del impulso FM lineal

Se supone que el espectro de interferencia cae dentro de la banda de frecuencias de procesamiento y que el impulso interferente se superpone al impulso de eco de retorno, según se indica en la Fig. 1.

Representemos la señal fluctuante $f(t)$ con la siguiente ecuación:

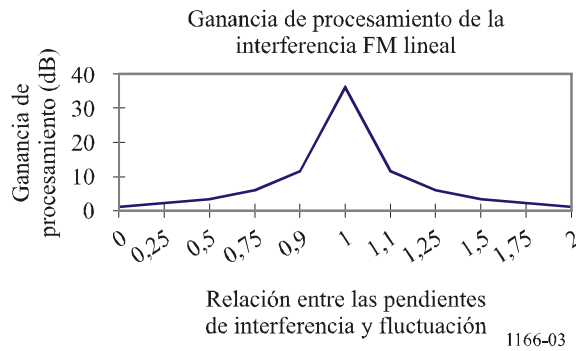
$$f(t) = \text{rect}(t / T_1) e^{j2\pi f_0 t + j\pi \mu t^2} \tag{1}$$

siendo:

- $\text{rect}(t)$: función rectangular de la anchura unitaria
- f_0 : frecuencia portadora RF
- μ : pendiente.

La ganancia de procesamiento del impulso interferente varía con la relación entre las pendientes $|\mu' / \mu|$ en aproximadamente la misma anchura de impulso (es decir, $\alpha = 1$), según se indica en la Fig. 3. La pendiente del impulso interferente es μ' y la pendiente de la fluctuación de radar es μ .

FIGURA 3



5.2.2.4 Otras modulaciones/formas de onda interferentes

Los radares terrenales interferentes tienen diversas formas de onda/modulaciones tales como los códigos Barker, FM no lineal, etc. Cada una de éstas puede modelarse y se pueden calcular las ganancias de procesamiento en relación con el ruido. Aquí no se contemplan esas modulaciones. Sin embargo, aunque no se contemple la ganancia de procesamiento en alcance, la ganancia de procesamiento en acimut sigue perteneciendo a esas formas de onda con impulsos.

5.2.3 Ganancia de procesamiento en acimut de las señales interferentes con impulsos

El procesamiento en acimut del SAR se efectúa mediante la adición de los retornos del eco a medida que la iluminación del haz de la antena en tierra pasa por la zona seleccionada. En lo que respecta al ruido, la ganancia de procesamiento en acimut es N , para la integración de N impulsos durante una apertura sintética. En lo que respecta a los impulsos interferentes, el escalonamiento de

la señal interferente dentro de cada ventana de alcance es diferente de retorno a retorno puesto que el radar terrenal y el SAR tienen PRF diferentes. En lo tocante a la señal interferente con impulsos, los análisis efectuados previamente utilizando simulaciones para sucesivas ventanas de alcance y la adición de los retornos durante un intervalo de integración SAR han demostrado que las potencias de cresta instantáneas de los impulsos interferentes procesados en acimut varían entre 0 dB y 9,5 dB.

5.2.4 Cálculo de la interferencia admisible

Los niveles de interferencia admisible especificados supra pueden diferir al considerar el efecto de mitigación de la interferencia de las características de modulación y discriminación de procesamiento SAR de los sistemas de radiocalización/radionavegación que funcionan en la banda. La potencia de la señal interferente admisible P_I es la siguiente:

$$P_I = I/N \cdot P_N \cdot \frac{G_{NAZ}}{G_{IAZ}} \cdot \frac{G_{NRNG}}{G_{IRNG}} \quad (2)$$

siendo:

- I/N : relación interferencia-ruido en la salida del procesador
- P_N : potencia de ruido en el puerto de la antena
- G_{NAZ} : ganancia de procesamiento de ruido en acimut
- G_{IAZ} : ganancia de procesamiento de la señal interferente en acimut
- G_{NRNG} : ganancia de procesamiento de ruido en alcance
- G_{IRNG} : ganancia de procesamiento de la señal interferente en alcance.

Las ganancias de procesamiento son los productos de las ganancias de procesamiento en alcance y en acimut. Normalmente la ganancia de procesamiento en alcance para la interferencia es pequeña, es decir, inferior a 4 dB; en cambio, la ganancia de procesamiento en acimut para la interferencia, normalmente es de 20 a 40 dB menos que la correspondiente al ruido. Por ejemplo, en el caso de un SAR de banda ancha a 9,6 GHz que reciba interferencia de un radar a bordo de un vehículo espacial, tanto el radar como el SAR utilizan impulsos FM lineales con pendientes de fluctuación muy diferentes. La pendiente de fluctuación del SAR es de 45-450 MHz/ μ s y la pendiente de fluctuación del radar a bordo del vehículo espacial es de 0,5 MHz/ μ s. La relación entre la pendiente de fluctuación interferente y la pendiente de fluctuación del SAR $|\mu^i/\mu|$ sólo es de 0,001 a 0,01 y, según se desprende de la Fig. 3, la correspondiente ganancia de procesamiento en alcance es de aproximadamente 2,3 dB. Para una relación $I/N = -6$ dB, $P_N = -83,7$ dBm, $G_{NAZ}/G_{IAZ} = 41,1$ dB, y $G_{NRNG}/G_{IRNG} = -2,3$ dB, por lo que P_I no debería ser superior a $-50,9$ dBm. En el Cuadro 5 se describe el cálculo de las ganancias del procesador para el ruido, la señal mínima deseada del eco de retorno (SNR = 0 dB), y la señal interferente para el caso de un SAR3 a 9,6 GHz que reciba señales interferentes procedentes de un radar a bordo de un vehículo espacial.

CUADRO 5

**Ganancias de procesamiento en alcance y en acimut para el ruido,
la señal y la interferencia correspondientes a un SAR3 a 9,6 GHz**

| Tipo de señal | Potencia de entrada (dBm) | Ganancia de procesamiento en alcance (dB) | Ganancia de procesamiento en acimut (dB) | Potencia de salida (dBm) |
|---|---------------------------|---|--|--------------------------|
| Ruido | -83,7 | 0,0 | 41,1 | -42,6 |
| Señal mínima deseada | -151,3 | 26,5 | 82,2 | -42,6 |
| Máximo nivel aceptable de la señal interferente | -44,9 | 2,3 | 0,0 a 9,5 | -42,6 a -34,8 |

5.2.5 Características de la señal de entrada/salida de un SAR que funciona en las bandas de 432-438 MHz y 1 215-1 300 MHz

La señal de salida interferente máxima aceptable es igual al nivel del ruido del sistema, o al ruido de la antena receptora en la salida. En el Cuadro 6 se muestran las características de la señal de entrada/salida del ruido, la señal mínima deseada y el nivel máximo de la señal interferente, teniendo en cuenta la ganancia de procesamiento en altura y en acimut. Los niveles indicados corresponden tanto a la banda de 432-438 MHz como a la de 1 215-1 300 MHz.

CUADRO 6

**Características de la señal de entrada/salida de los SAR
en las bandas de 432-438 MHz* y 1 215-1 300 MHz**

| Tipo de señal | Potencia de entrada (dBm) | Ganancia de procesamiento en alcance (dB) | Ganancia de procesamiento en acimut (dB) | Potencia de salida (dBm) |
|--|---------------------------|---|--|----------------------------------|
| Ruido | -97,7 (-103,4) | 0,0 (0,0) | 30,6 (33,0) | -67,1 (-70,4) |
| Señal mínima deseada | -156,5 (-164,2) | 28,2 (27,8) | 61,2 (66,0) | -67,1 (-70,4) |
| Máximo nivel aceptable de la señal interferente ⁽¹⁾ | -69,4 (-72,7) | 2,3 (2,3) | 0 a 9,5 (0 a 9,5) | -67,1 a -57,6 (-70,4 a -60,9) |

* Los valores correspondientes a la banda de 432-438 MHz se indican entre paréntesis.

⁽¹⁾ Se aplica a las fuentes de interferencia con impulsos no FM y con duraciones de impulso de 2 μ s o menos. Los niveles varían para otras duraciones de impulso en sólo $\pm 0,6$ dB.

5.2.6 Características de la señal de entrada/salida de los SAR que funcionan en las bandas de 3 100-3 300 MHz y 5 250-5 570 MHz

La señal de salida interferente máxima aceptable es igual al nivel de ruido del sistema, o al ruido de la antena receptora en la salida. En el Cuadro 7 se muestran las características de la señal de entrada/salida del ruido, la señal mínima deseada y el nivel máximo de la señal interferente, teniendo en cuenta las ganancias de procesamiento en alcance y en acimut. Los niveles que se indican corresponden a los radares postulados. En el caso de la banda de 5 250-5 350 MHz, se han

utilizado los parámetros de la antena principal. No obstante, en la misión de interferometría topográfica se podría emplear un impulso con una anchura de 66 μ s para aumentar la energía de la señal y utilizar una antena de soporte extensible («boom») con una longitud de sólo 8 m con los LNA en cada poste, con miras a reducir el nivel del ruido.

Para el caso nominal se muestra que el nivel de una señal interferente en la entrada equivale a la misma potencia de ruido en las respectivas salidas. En esos niveles de entrada el receptor del extremo posterior no se saturaría, ya que la saturación sólo tendría lugar con otros 18 dB. El punto de compresión de 1 dB del receptor del extremo frontal es de -22 dBm en la entrada. La potencia máxima en la entrada que puede manejar el receptor es de +37 dBm. Así pues, el máximo nivel aceptable de la señal interferente sigue siendo muy inferior al necesario para la saturación o al nivel máximo de potencia manejable.

CUADRO 7

Características de la señal de entrada/salida de los SAR que funcionan en las bandas 3 100-3 300 MHz* y 5 250-5 570 MHz

| Tipo de señal | Potencia de entrada (dBm) | Ganancia de procesamiento en alcance (dB) | Ganancia de procesamiento en acimut (dB) | Potencia de salida (dBm) |
|--|---------------------------|---|--|----------------------------------|
| Ruido | -96,7 (-99,3) | 0,0 (0,0) | 24,2 (27,7) | -72,5 (-71,6) |
| Señal mínima deseada | -149,1 (-156,0) | 28,2 (29,0) | 48,4 (55,4) | -72,5 (-71,6) |
| Nivel máximo aceptable de la señal interferente ⁽¹⁾ | -74,8 (-73,9) | 2,3 (2,3) | 0 a 9,5 (0 a 9,5) | -72,5 a -63,0 (-71,6 a -62,1) |

* Los valores correspondientes a la banda de 3 100-3 300 MHz se indican entre paréntesis.

⁽¹⁾ Se aplica a las fuentes de interferencia con impulsos no FM y con duraciones de impulso de 2 μ s o menos. Los niveles varían para otras duraciones de impulso en sólo $\pm 0,6$ dB.

5.2.7 Características de la señal de entrada/salida de los SAR que funcionan en las bandas de 8 550 MHz y 9 500-9 800 MHz

El nivel máximo aceptable de la señal de salida interferente es igual al nivel de ruido del sistema, o al ruido de la antena receptora en la salida. En el Cuadro 8 se muestran las características de la señal de entrada/salida del ruido, la señal mínima deseada y el nivel máximo de la señal interferente, teniendo en cuenta las ganancias de procesamiento en alcance y en acimut. En este Cuadro se muestra que una señal interferente de nada más que -74,5 a -75,0 dBm en la entrada es equivalente a la misma potencia de ruido en la salida. A este nivel de entrada no se saturaría el receptor de extremo posterior, ya que la saturación no se produce hasta que la señal de entrada alcanza -56 dBm a una ganancia de receptor de 60 dB. El punto de compresión de 1 dB del receptor de extremo frontal es de -22 dBm en la entrada. El máximo nivel de potencia de entrada que puede manejar el receptor es de +37 dBm. Así pues, el máximo nivel aceptable de la señal interferente, de -74,5 a -75,0 dBm, sigue siendo muy inferior al necesario para la saturación o al nivel máximo de potencia manejable.

CUADRO 8

**Características de la señal de entrada/salida de los SAR que funcionan
en las bandas de 8 550-8 650 MHz* y 9 500-9 800 MHz**

| Tipo de señal | Potencia de entrada (dBm) | Ganancia de procesamiento en alcance (dB) | Ganancia de procesamiento en acimut (dB) | Potencia de salida (dBm) |
|--|----------------------------------|--|---|----------------------------------|
| Ruido | -94,0 (-94,5) | 0,0 (0,0) | 21,8 (21,8) | -72,2 (-72,7) |
| Señal mínima deseada | -145,3 (-145,8) | 29,5 (29,5) | 43,6 (43,6) | -72,2 (-72,7) |
| Nivel máximo aceptable de la señal interferente ⁽¹⁾ | -74,5 (-75,0) | 2,3 (2,3) | 0 a 9,5 (0 a 9,5) | -72,2 a -62,7 (-72,7 a -63,2) |

* Los valores correspondientes a la banda de 8 550-8650 MHz se indican entre paréntesis.

⁽¹⁾ Se aplica a las fuentes de interferencia con impulsos no FM y con duraciones de impulso de 2 μ s o menos. Los niveles varían para otras duraciones de impulso en sólo $\pm 0,6$ dB.

5.2.8 Criterios de Interferencia

Los criterios para determinar una degradación inaceptable de la calidad de funcionamiento en los radares de apertura sintética de producción de imágenes o de interferometría topográfica son potencias de cresta de:

| | |
|-----------------|-----------------|
| 432-438 MHz | -109 dBW/6 MHz |
| 1 215-1 300 MHz | -106 dBW/20 MHz |
| 3 100-3 300 MHz | -110 dBW/20 MHz |
| 5 250-5 570 MHz | -111 dBW/20 MHz |
| 8 550-8 650 MHz | -111 dBW/20 MHz |
| 9 500-9 800 MHz | -110 dBW/20 MHz |

Estos criterios se aplican a fuentes de interferencia con impulsos no FM con duraciones de impulso de 2 μ s o menos. Para otras duraciones de impulso los criterios varían en sólo $\pm 0,6$ dB.

5.2.9 Criterios de disponibilidad

En bandas de frecuencias compartidas, la disponibilidad de datos SAR será mayor al 99% de todos los emplazamientos geográficos elegidos como sitios seleccionados o para la cobertura global en la cartografía topográfica.

6 Radares de perfil de nube

Este punto contiene información sobre los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia de los sensores de radar de perfil de nube a bordo de vehículos espaciales en las bandas de frecuencias 94,0-94,1 GHz, 133,5-134,0 GHz, y 237,9-238 GHz.

6.1 Criterios de calidad de funcionamiento de los radares de perfil de nube a 94 GHz

El objetivo de una misión de perfilado de nubes a bordo de un vehículo espacial es medir el perfil de reflectividad de todas las nubes dentro del campo de visión con una reflectividad mínima de -30 dBZ.

6.2 Criterios de interferencia de los radares de perfil de nube

La interferencia debería degradar el valor de Z_{min} en menos de un 10% en el 95% de la zona de servicio. La degradación porcentual de Z_{min} corresponde a una relación interferencia/ruido de 10 dB. Este criterio de interferencia corresponde a un nivel de potencia interferente de -155 dBW por encima de 300 kHz.

6.3 Criterios de disponibilidad de los radares de perfil de nube

En el caso de las señales interferentes aleatorias, la interferencia debería degradar Z_{min} en menos de un 10% en el 95% de la zona de servicio. Si la señal interferente no es aleatoria, ésta debería degradar Z_{min} en menos de un 10% en el 99% de la zona de servicio prevista.
