

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1628*

Factibilidad de compartición de la banda 35,5-36 GHz entre el servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo), el servicio de investigación espacial (activo) y otros servicios para los que existen atribuciones en esta banda

(Cuestión UIT-R 233/7)

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda de frecuencias 35,5-36 GHz está atribuida a título primario al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (activo) y al servicio de investigación espacial (SIE) (activo) en virtud del número 5.551A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- b) que la banda de frecuencias 35,5-36 GHz está asimismo atribuida a título primario al servicio de ayudas a la meteorología y al servicio de radiolocalización;
- c) que los estudios del UIT-R han demostrado que es factible la compartición de la banda 35,5-36 GHz entre radares terrenales y radares meteorológicos, altímetros y medidores de dispersión en radares a bordo de vehículos espaciales, tal como se muestra en el Anexo 1;
- d) que los estudios del UIT-R permiten concluir que las estaciones del servicio fijo correspondientes a atribuciones realizadas en virtud del número 5.549 del RR en la banda de 35,5-36 GHz están protegidas de las emisiones de los radares meteorológicos del SETS, tal como se muestra en el Anexo 2;
- e) que un altímetro de banda ancha necesita una anchura de banda de hasta 500 MHz para realizar una medición precisa de la altitud,

recomienda

- 1** que para asegurar la compatibilidad entre el servicio de radiolocalización, el SETS (activo) y el SIE (activo), la d_{fp} media en la superficie de la Tierra procedente de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales a una separación angular superior a 0,8° del centro del haz, no debe superar -73,3 dB(W/m²) en cualquier banda de 2 GHz;
- 2** que la compatibilidad con el servicio fijo está asegurada sin que sea necesario imponer limitaciones adicionales al SETS (activo), tal como se muestra en el Anexo 2.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones.

Anexo 1

Compatibilidad entre sensores activos a bordo de vehículos espaciales y sistemas de radiolocalización que funcionan en la banda 35,5-36 GHz

1 Introducción

La banda de frecuencias 35,5-36 GHz está atribuida a título primario a los servicios SETS (activo), SIE (activo), de radiolocalización y de ayudas a la meteorología. Aunque la banda 35,5-36 GHz está atribuida al servicio de ayudas a la meteorología, no se conoce ninguna utilización de esta banda por dicho servicio.

Los estudios del UIT-R han demostrado la viabilidad de la compartición entre sensores activos a bordo de vehículos espaciales y sistemas de radiolocalización en la banda de frecuencias 35,5-36 GHz. En esta Recomendación se presentan los resultados de simulaciones realizadas para evaluar los niveles de interferencia potenciales entre sensores activos a bordo de vehículos espaciales y estaciones de radiolocalización en la banda de frecuencias 35,5-36 GHz.

2 Enfoque

2.1 Visión general

Se ha desarrollado un modelo de interferencia dinámico utilizando una herramienta comercial de simulación de interferencias. Se han recopilado estadísticas de la interferencia procedente de sensores a bordo de vehículos espaciales sobre sistemas de radiolocalización y viceversa.

2.2 Modelos de sensores activos a bordo de vehículos espaciales

En el Cuadro 1 se enumeran los parámetros de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales incluidos en la simulación. Dichos sensores incluyen altímetros y radares meteorológicos planificados que se implementarán utilizando constelaciones de tres a nueve satélites.

Para esta simulación, se ha supuesto un modelo delta de Walker para cada constelación de sensores activos con los parámetros del Cuadro 1.

En ausencia de un diagrama de lóbulos laterales específico para los sensores activos, el haz de la antena de cada sensor se modela utilizando un haz de antena parabólica con la ganancia de cresta y la anchura del haz a 3 dB especificados en el Cuadro 1. Los diagramas de radiación de lóbulos laterales de la antena se han modelado mediante una función de Bessel limitada que simula la envolvente de las crestas de lóbulos laterales de la antena calculados para el modelo de apertura circular normalizada utilizando la fórmula siguiente:

$$G(\theta) = \eta \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \left[\frac{2J_1 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \cdot \text{sen}(\theta) \right)}{\left(\frac{\pi D}{\lambda} \cdot \text{sen}(\theta) \right)} \right]^2$$

Para cada diagrama de radiación de antena se ha establecido un umbral de ganancia de -10 dBi.

CUADRO 1

Características de referencia de un sensor activo a bordo de vehículos espaciales

| Tipo de sensor | Altímetro | | Radares meteorológicos | | | | |
|---------------------------------|-----------|--------------|--|-------|--|-------|--------------|
| | O-Altika | O + P-Altika | TRMM follow-on/GPM PR-2 | | | | O + P-Altika |
| Altitud (km) | 800 | 650 | 400 | | 750 | | 650 |
| Inclinación | 98,6 | 98,0 | 70,0 | | 70,0 | | 98,0 |
| Número de satélites | 3 | 8 | 9 | | 9 | | 8 |
| Número de planos | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Satélites por plano | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Longitud delta | 120 | 90 | 120 | 120 | 120 | 120 | 90 |
| Fase entre planos | 120 | 45 | 36 | 36 | 36 | 36 | 45 |
| Apuntamiento de la antena | Nadir | Nadir | $\pm 37^\circ$ barrido de acimut a 250°/s | Nadir | $\pm 28^\circ$ barrido de acimut a 250°/s | Nadir | Nadir |
| Ganancia de cresta (dBi) | 48,90 | 54,30 | 55,00 | 55,00 | 57,00 | 57,00 | 54,30 |
| Anchura del haz a 3 dB (grados) | 0,78 | 0,42 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,42 |
| Anchura de banda (MHz) | 480,00 | 480,00 | 5,30 | 5,30 | 5,30 | 5,30 | 4,40 |
| Potencia de cresta (W) | 2,0 | 2,0 | 200,0 | 200,0 | 200,0 | 200,0 | 2,0 |
| Ciclo de trabajo (%) | 42,2 | 42,2 | 10,9 | 20,0 | 10,9 | 20,0 | 27,0 |
| Potencia media (dBW) | -0,73 | -0,73 | 13,39 | 16,02 | 13,39 | 16,02 | -2,68 |

2.3 Modelos de radiolocalización

Para realizar este análisis se han modelado dos estaciones de radares de imágenes radiométricos, dos estaciones de radares de instrumentación (métricos) y una estación de radar seguidor. En el Cuadro 2 se incluyen las características de los sistemas modelados.

En ausencia de un diagrama de radiación de antena de referencia para las estaciones de radiolocalización en esta banda, se ha utilizado para dichas estaciones la misma función de Bessel limitada y el mismo umbral de ganancia de -10 dB que para los sensores activos a bordo de vehículos espaciales. Cuando el haz de la antena es elíptico (por ejemplo, en los sistemas de reproducción de imágenes), se aproxima la función de Bessel limitada a una elipse a fin de conseguir las anchuras de haz deseadas en los ejes principales del haz.

CUADRO 2

Características de los sistemas de radiolocalización en la banda 35,5-36 GHz

| Parámetro | Tipo de sistema de radiolocalización | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|
| | Imager 1 | Imager 2 | Metric 1 | Metric 2 | Seguidor |
| Tipo de sensor | Pasivo | Activo | Activo | Activo | Activo |
| Modulación | – | Impulsos | Impulsos | Impulsos | Frecuencia lineal modulada |
| Relación de compresión | – | – | – | – | 200 |
| Anchura del impulso (μ s) | | 0,05 | 0,25 | 0,05 | 10 |
| Potencia de cresta de transmisión (kW) | – | 0,5 | 135 | 1 | 0,001 |
| Frecuencia de repetición de los impulsos (kHz) | – | 30 | 1 | 50 | 10 |
| Anchura de banda de RF | – | 80 | 10 | 101 | 12 |
| Ganancia de antena | 35 dBi | 30 | 52 | 51 | 28,7 |
| Anchura del haz (grados) | $0,5 \times 3,0$ | $0,75 \times 10$ | $0,25 \times 0,25$ | $0,5 \times 0,5$ | $4,4 \times 4,4$ |
| Anchura de banda de la FI del receptor (MHz) | 2 GHz | 40 | 6 | 185 | 100 |
| Temperatura de ruido (K) | 850 | – | – | – | – |
| Factor de ruido (dB) | – | 4,5 | 10 | 10 | 5 |
| Sensibilidad del receptor (dBm) | – | –81 | –95 | –78 | –93 |
| Sintonización | Fija | Fija | Fija | Salto de frecuencia | Fija |

2.4 Modelo de interferencia

Se ha desarrollado un modelo de simulación para calcular la función de distribución acumulativa (FDA) de los niveles de potencia interferente causados por sensores activos a bordo de vehículos espaciales que interfieren sobre estaciones de radiolocalización situadas en tierra, y los niveles de potencia interferente producidos por estaciones de radiolocalización situadas en tierra que interfieran sobre sensores activos a bordo de vehículos espaciales.

También se han recopilado estadísticas de interferencia durante cada una de las simulaciones realizadas, incluido el caso peor de potencia interferente, el porcentaje del tiempo en el que la potencia interferente supera el criterio de interferencia especificado y la duración del evento de interferencia más prolongado que supera dicho criterio de interferencia especificado.

El nivel de potencia interferente I (dBW) se ha calculado utilizando la fórmula siguiente:

$$I = 10 \log P_t + 10 \log(\eta) + G_t - (32,44 + 20 \log(f \cdot R)) + G_r + OTR - L_{atm}$$

donde:

P_t : potencia del transmisor interferente (W)

η : ciclo de trabajo de la señal interferente (es decir, duración del impulso multiplicada por la velocidad de repetición de impulsos)

G_t : ganancia de la antena interferente en la dirección de la estación interferida (dBi)

f : frecuencia de recepción de la estación interferida (MHz)

R : distancia entre estación interferente e interferida (km)

G_r : ganancia de antena de la estación interferida en la dirección del interferente (dBi)

OTR : rechazo de sintonización (OTR , *on-tune rejection*) del receptor (dB) = $10 \log(B_r/B_t)$ para $B_r < B_t$, 0 en cualquier otro caso, donde B_t es la anchura de banda del transmisor y B_r es la anchura de banda del receptor

L_{atm} : pérdida por absorción atmosférica (dB).

En todas las simulaciones a las que se hace referencia en esta Recomendación se ha utilizado un valor de 0 dB para el rechazo de sintonización. La atenuación debida a la absorción atmosférica (aire seco y vapor de agua), L_{atm} , es función de la longitud del trayecto hasta el satélite a través de la atmósfera de la Tierra y, por tanto, del ángulo de elevación desde el radar terrenal al satélite. El programa de simulación calcula el valor de la pérdida de absorción atmosférica conforme a la Recomendación UIT-R P.676. Todos los cálculos se han realizado sobre la base de funcionamiento cocanal a 35,75 GHz.

3 Análisis de la interferencia

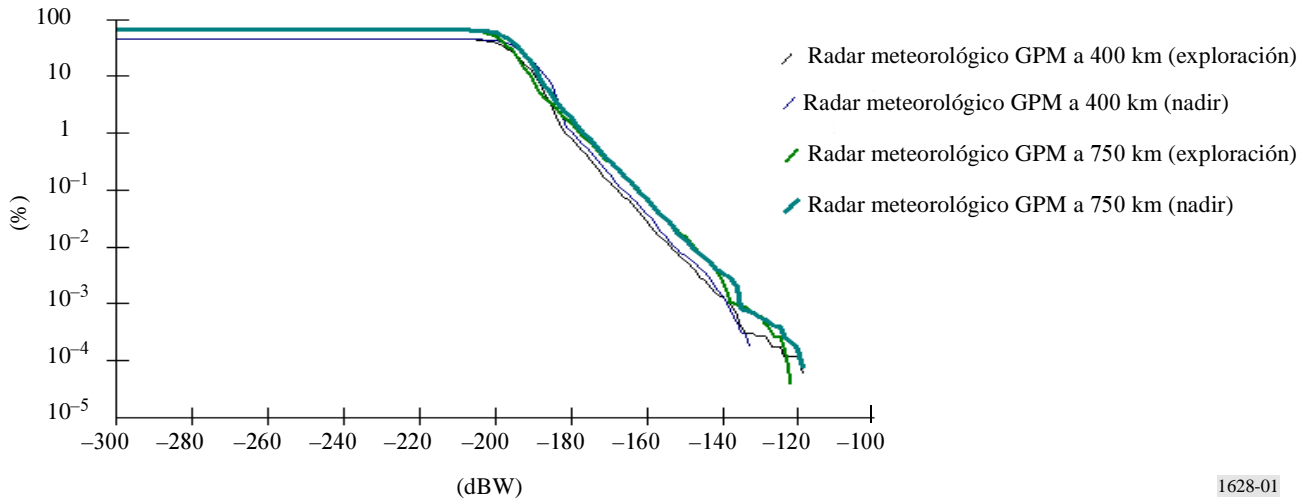
En este punto se presentan los resultados de simulaciones dinámicas de interferencia entre los sensores a bordo de vehículos espaciales descritos en el Cuadro 1 y las estaciones de radiolocalización descritas en el Cuadro 2, expresados en términos de FDA.

3.1 Interferencia de sensores activos a bordo de vehículos espaciales sobre el servicio de radiolocalización

En el Cuadro 1 se hace referencia a siete sensores activos que pueden ser desplegados en constelaciones de tres a nueve satélites. Para cada una de dichas constelaciones, se ha calculado la FDA del nivel de potencia interferente recibida en cada tipo de estación de radiolocalización, suponiendo que la estación de radiolocalización se encuentra a una latitud de 65°. Se ha supuesto que las antenas de las estaciones de los radares reproductores de imágenes tienen un ángulo de elevación de 0° y que los radares métricos y seguidores tienen un ángulo de elevación de 45°. En las simulaciones realizadas, el acimut de las antenas de las estaciones de radiolocalización es de 180° respecto al norte verdadero (es decir, apuntan hacia el sur). El programa de simulación calcula los niveles de interferencia a intervalos de 0,5 s sobre un periodo de 30 días. Para la representación gráfica de las FDA, los niveles de interferencia calculados en cada intervalo se han ordenado en un conjunto de valores con una resolución de 1 dB. En las Figs. 1 a 10 se representan gráficamente dichas FDA.

FIGURA 1

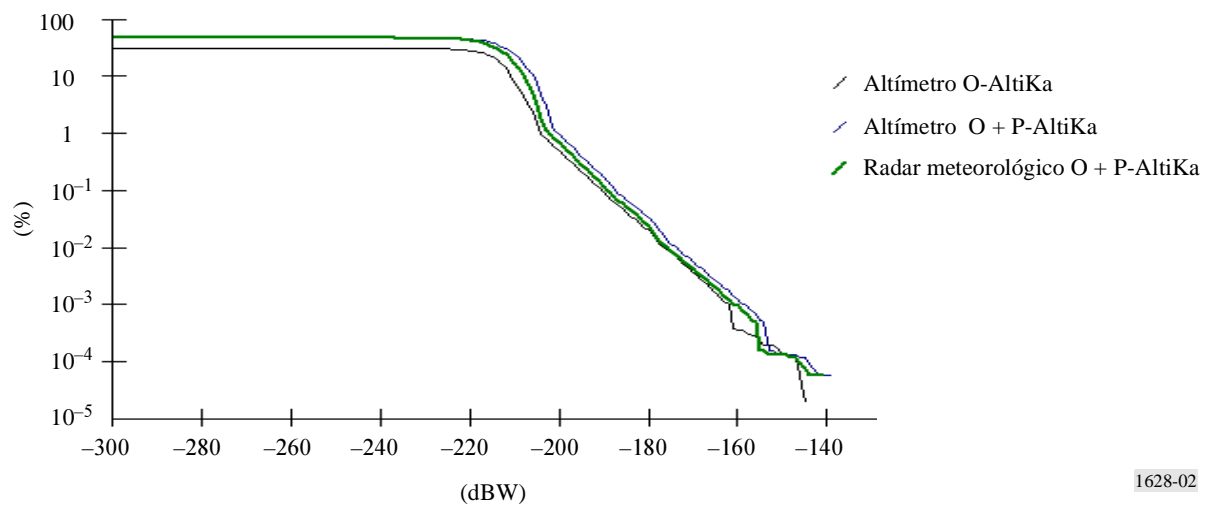
FDA de la interferencia de radares meteorológicos GPM sobre un radar reproductor Imager 1 que apunta hacia el sur



1628-01

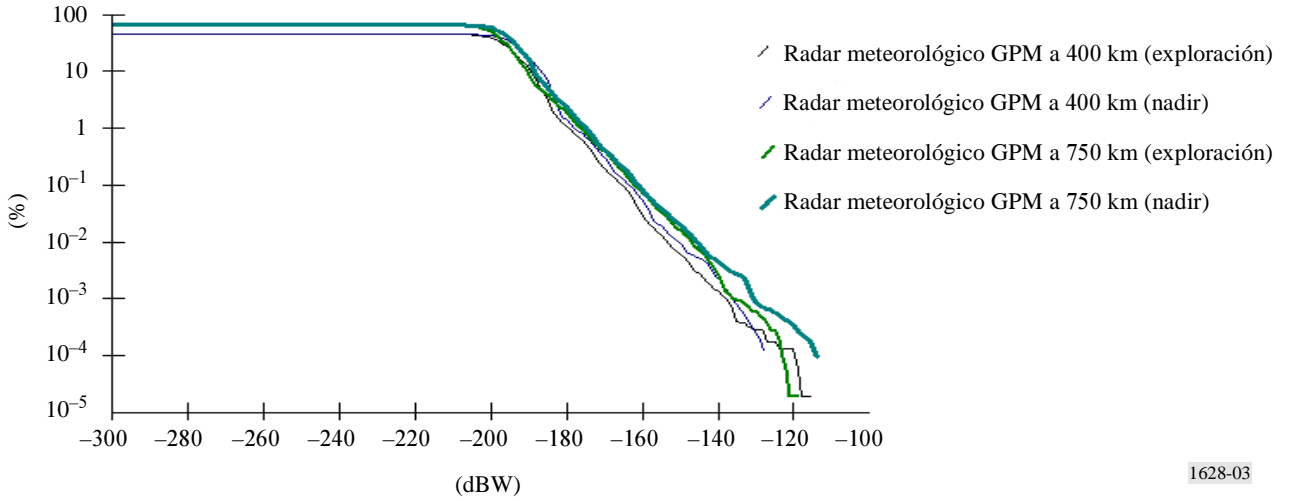
FIGURA 2

FDA de la interferencia de altímetros AltiKa y un radar meteorológico sobre un radar reproductor Imager 1 que apunta hacia el sur



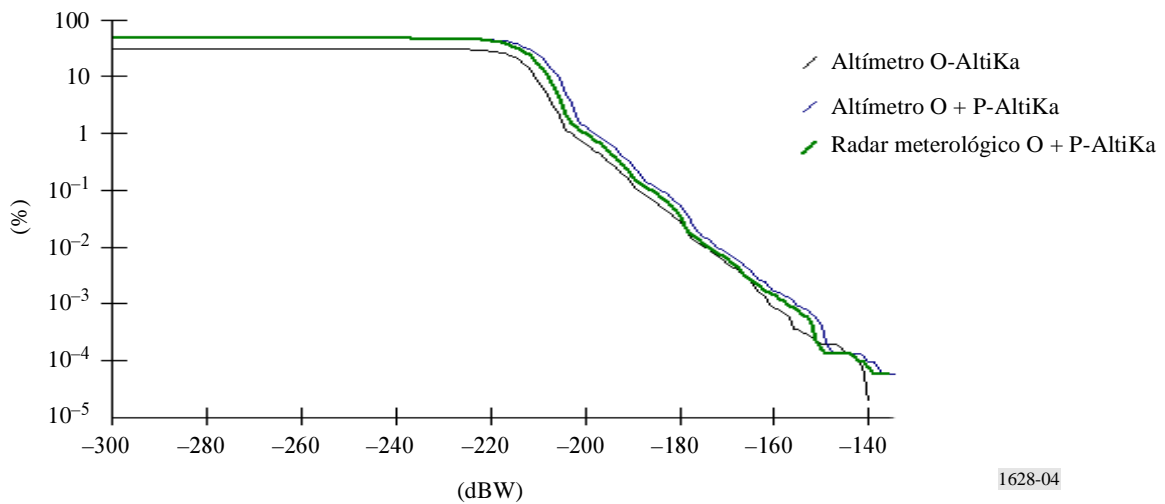
1628-02

FIGURA 3
FDA de la interferencia de radares meteorológicos GPM sobre un radar reproductor Imager 2 que apunta hacia el sur



1628-03

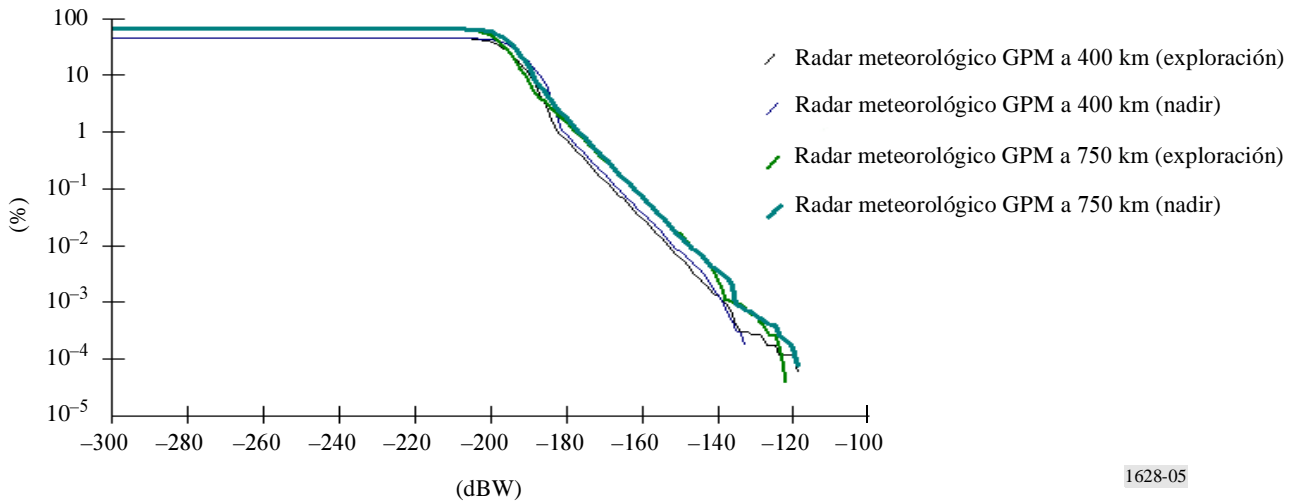
FIGURA 4
FDA de la interferencia de altímetros AltiKa y un radar meteorológico sobre un radar reproductor Imager 2 que apunta hacia el sur



1628-04

FIGURA 5

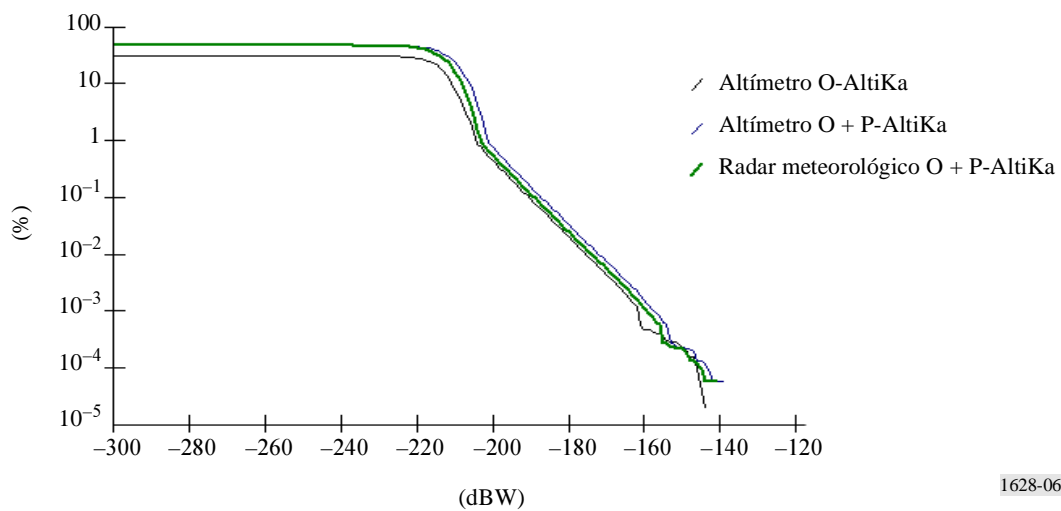
FDA de la interferencia de radares meteorológicos GPM sobre un radar Metric 1 que apunta hacia el sur



1628-05

FIGURA 6

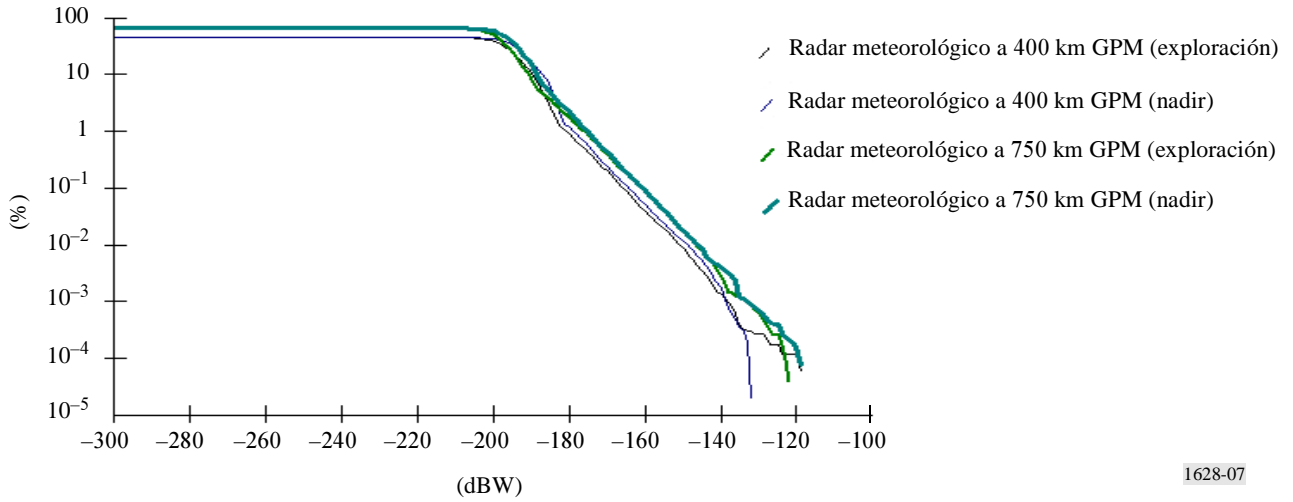
FDA de la interferencia de altímetros AltiKa y un radar meteorológico sobre un radar Metric 1 que apunta hacia el sur



1628-06

FIGURA 7

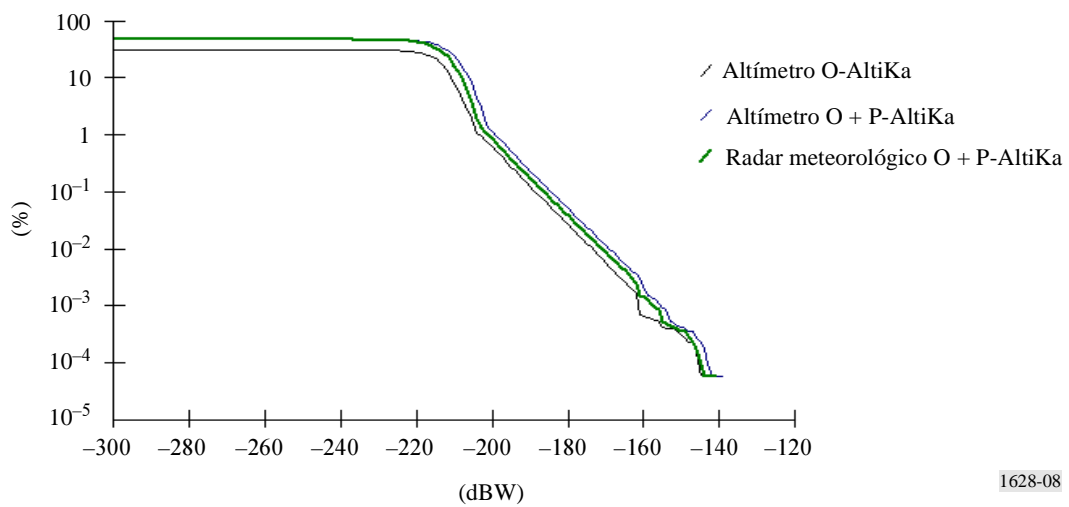
FDA de la interferencia de radares meteorológicos GPM sobre un radar Metric 2 que apunta hacia el sur



1628-07

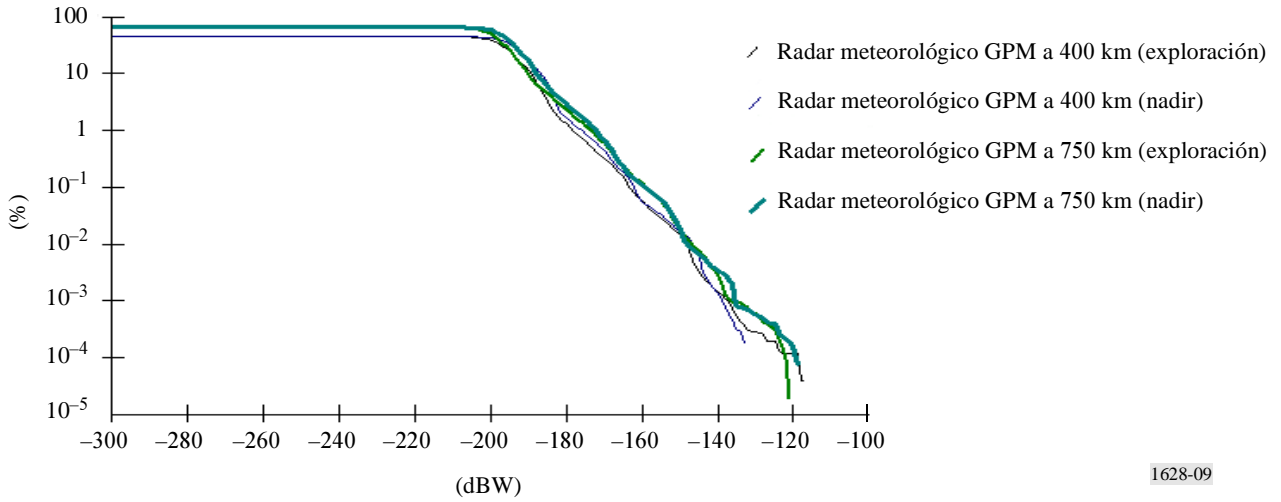
FIGURA 8

FDA de la interferencia de altímetros AltiKa y un radar meteorológico sobre un radar Metric 2 que apunta hacia el sur



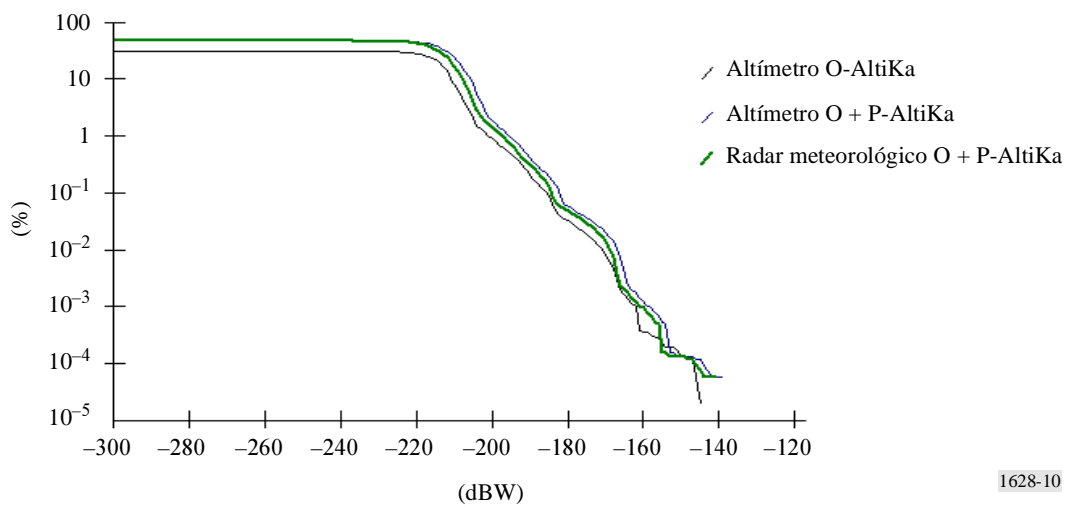
1628-08

FIGURA 9
FDA de la interferencia de radares meteorológicos GPM sobre un radar seguidor que apunta hacia el sur



1628-09

FIGURA 10
FDA de la interferencia de altímetros AltiKa y un radar meteorológico sobre un radar seguidor que apunta hacia el sur



1628-10

En el Cuadro 3 se señalan los niveles de potencia interferente de cresta detectados en cada una de las simulaciones de 30 días. Dicho Cuadro también proporciona los criterios de interferencia a corto plazo para los diversos sistemas considerados. El criterio de interferencia a corto plazo se establece sobre la base de la superación de un límite de < 3 s. En el Cuadro 3 puede verse que, en general, los niveles de potencia interferente de cresta superan el nivel umbral de interferencia. Por lo tanto, es necesario conocer el tiempo durante el cual se superan dichos umbrales.

CUADRO 3

Potencia interferente en el caso peor (dBW)

| Descripción del sensor activo a bordo de un vehículo espacial | Sistema de radiolocalización | | | | |
|--|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Imager 1 | Imager 2 | Metric 1 | Metric 2 | Seguidor |
| Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo exploración | -118,1 | -114,8 | -118,1 | -118,1 | -116,5 |
| Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo apuntamiento nadir | -132,3 | -127,2 | -132,3 | -131,1 | -132,3 |
| Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo exploración | -121,2 | -118,8 | -121,2 | -121,2 | -120,2 |
| Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo apuntamiento nadir | -118,2 | -113,2 | -118,2 | -118,2 | -118,2 |
| Altímetro O-Altika | -144,5 | -139,6 | -143,4 | -144,2 | -144,5 |
| Altímetro O + P-Altika | -138,3 | -133,3 | -138,3 | -138,3 | -138,3 |
| Radar meteorológico O + P-Altika | -140,2 | -135,2 | -140,2 | -140,2 | -140,2 |
| Criterio de interferencia (< 3 s) | -137,8 | -137,8 | -126,2 | -126,2 | -126,2 |

El Cuadro 4 proporciona estadísticas de la simulación relativas al porcentaje de tiempo durante el que se supera el umbral de interferencia a corto plazo de un determinado sistema de radiolocalización, así como la duración máxima de un evento que haya superado el criterio de interferencia. Obsérvese que el intervalo de tiempo utilizado en las simulaciones es de 0,5 s y que el número total de intervalos simulados es, por tanto, de 5 184 000 (30 días).

CUADRO 4

Estadísticas de eventos de simulación que superan el criterio de interferencia ^{(1), (2)}

| Descripción del sensor activo en vehículo espacial | Sistema de radiolocalización | | | | |
|--|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Imager 1 | Imager 2 | Metric 1 | Metric 2 | Seguidor |
| Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo exploración | 0,0009%/0,5 | 0,001%/0,5 | 0,0002%/0,5 | 0,0002%/0,5 | 0,0002%/0,5 |
| Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo apuntamiento nadir | 0,0007%/2 | 0,0014%/2,5 | – | – | – |
| Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo exploración | 0,001%/0,5 | 0,0013%/0,5 | 0,0003%/0,5 | 0,0003%/0,5 | 0,0004%/0,5 |
| Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo apuntamiento nadir | 0,0027%/4 | 0,0035%/4,5 | 0,0004%/1,5 | 0,0004%/1,5 | 0,0004%/1,5 |
| Altímetro O-Altika | – | – | – | – | – |
| Altímetro O + P-Altika | – | 0,0001%/1 | – | – | – |
| Radar meteorológico O + P-Altika | – | 0,0001%/1 | – | – | – |

- ⁽¹⁾ El primer número de cada resultado es el porcentaje de tiempo durante el que se ha superado el umbral de interferencia. El segundo número es el evento de mayor duración (s). Un guión significa que el criterio de interferencia no se superó en ninguno de los intervalos de la simulación.
- ⁽²⁾ Se ha establecido que el intervalo de tiempo de la simulación sea de 0,5 s. La duración del evento interferente correspondiente al caso peor es 0,5 multiplicado por el número de intervalos de tiempo del evento.

Del Cuadro 4 se desprende que en la mayoría de los casos la duración del evento interferente correspondiente al caso peor fue de menos de 3 s. Sólo uno de los sistemas de sensores activos a bordo de un vehículo espacial produjo niveles de interferencia por encima del umbral de interferencia durante un tiempo superior al criterio de < 3 s para radares reproductores de imágenes y de < 5 s para radares métricos y seguidores. Se trata de la constelación GPM de nueve satélites a una altura de 750 km con antenas que apuntan al nadir, para la que el caso peor de evento interferente tuvo una duración de 4 ó 4,5 s en función del radar de imágenes interferido. Para este sistema GPM a 750 km, se ha analizado con más detalle el caso peor de evento interferente recopilando datos detallados de la potencia interferente en función del tiempo durante el paso del satélite por la vertical de la estación de radiolocalización.

La Fig. 11 es una representación gráfica de la potencia interferente recibida para cada uno de los cinco tipos de estaciones de radiolocalización durante el paso del sensor GPM por la vertical a 750 km de altitud con apuntamiento al nadir. La Fig. 12 es una representación gráfica de un periodo

de menor duración (para conseguir una mayor resolución) de la potencia interferente recibida durante el paso por la vertical, que es cuando se produce el máximo nivel de interferencia. En la Fig. 13 se representa gráficamente la potencia interferente recibida en los distintos tipos de estaciones de radiolocalización durante el paso por la vertical del sensor de exploración GPM a 750 km de altura. La Fig. 14 es una representación gráfica de menor duración de la potencia interferente recibida durante el paso del satélite justamente por la vertical de las estaciones de radiolocalización. La Fig. 15 es otra representación gráfica de menor duración de la potencia interferente recibida durante el paso por la vertical, momento en que el sensor está más próximo al haz principal de la estación de radiolocalización. Obsérvese que en los casos del sensor de exploración, la resolución del intervalo de tiempo de simulación para la velocidad de exploración de la antena del sensor en la simulación del paso por la vertical de un satélite, no es suficientemente precisa como para obtener la potencia interferente de cresta recibida durante los 30 días de simulaciones con múltiples satélites.

FIGURA 11
 Nivel de interferencia recibida durante el paso por la vertical de un sensor GPM que apunte al nadir (altitud 750 km)

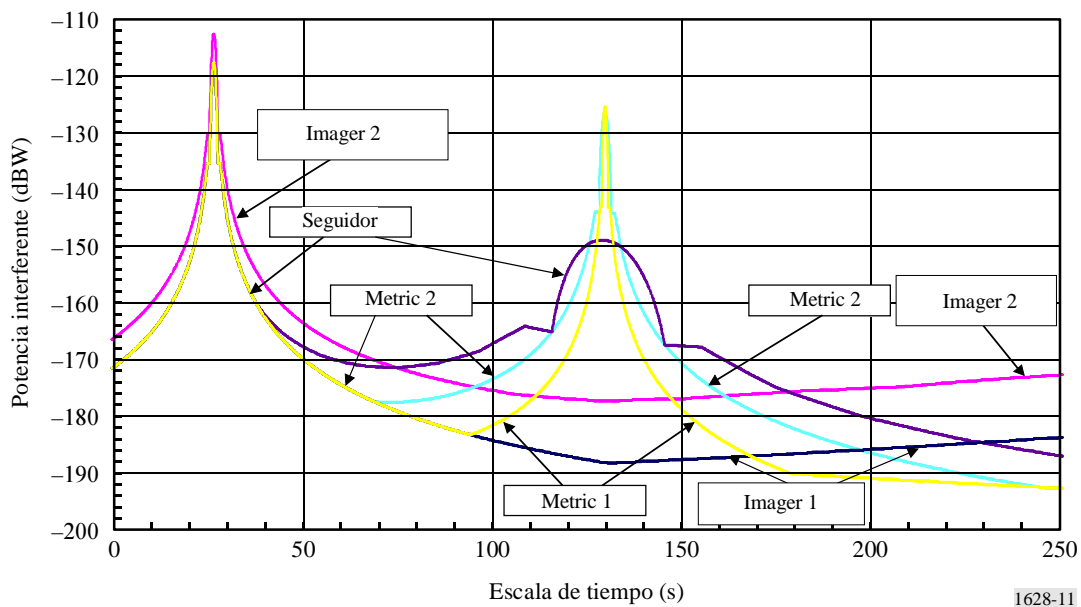


FIGURA 12
 Nivel de interferencia recibida durante el paso por la vertical de un sensor GPM que apunte al nadir (altitud 750 km)

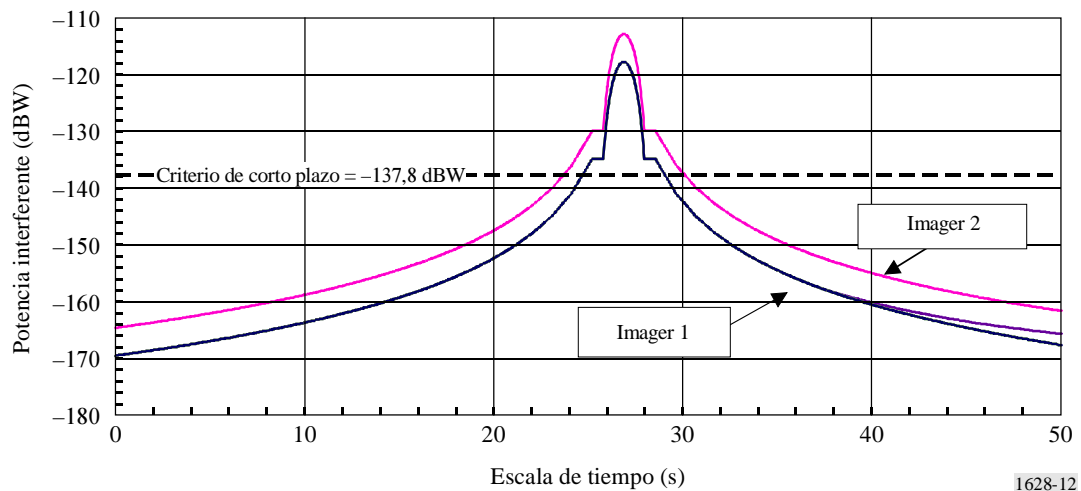


FIGURA 13
 Nivel de interferencia recibida durante el paso por la vertical de un sensor GPM de exploración (altitud 750 km)

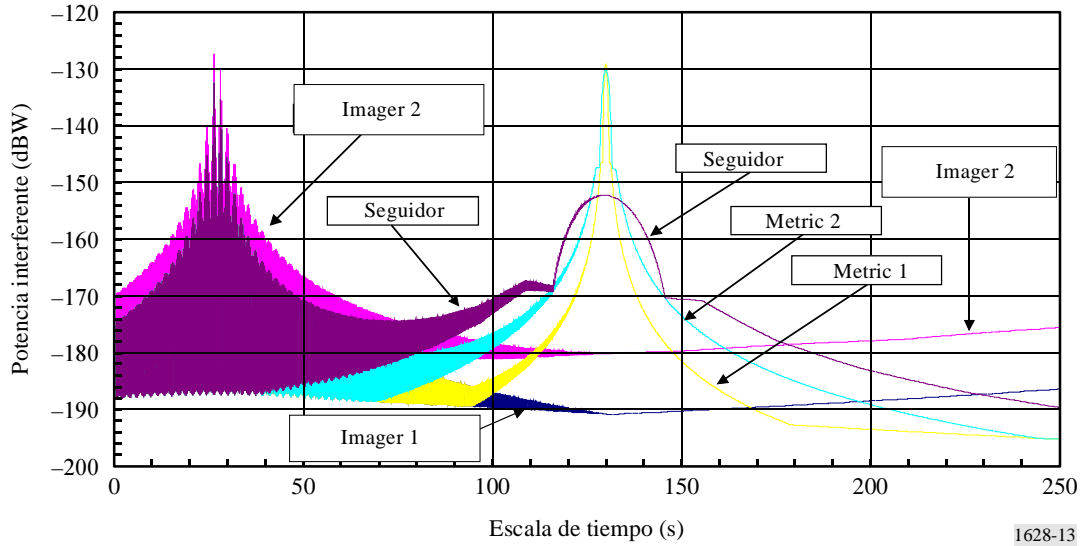


FIGURA 14
 Nivel de interferencia recibida en el Imager 2 durante el paso por la vertical de un sensor GPM de exploración (altitud 750 km)

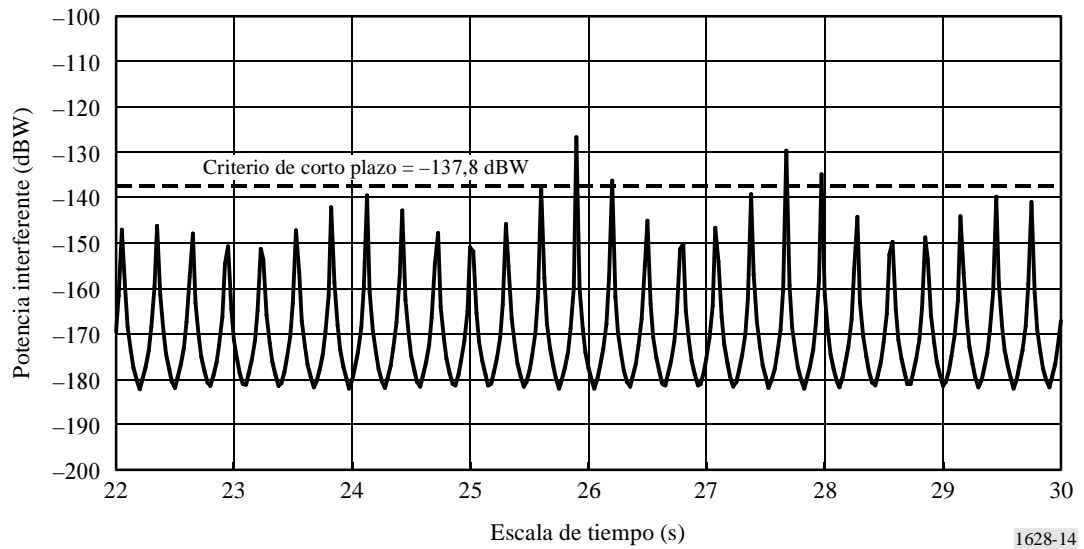
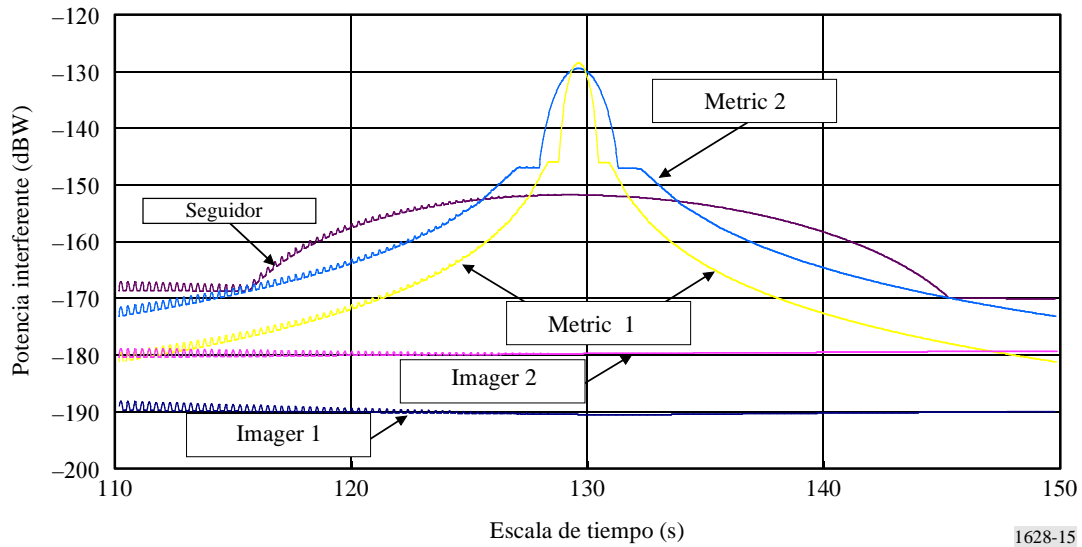


FIGURA 15
 Nivel de interferencia recibida durante el paso por la vertical de un sensor GPM de exploración (altitud 750 km)



La duración de la interferencia podría ser mayor si los equipos de los futuros sistemas del SETS/SIE (activos) se planificasen para emitir con niveles de potencia superiores. Por lo tanto, se recomienda limitar el nivel de dfp generado por los sistemas a bordo de vehículos espaciales (activos) de acuerdo con la metodología siguiente.

Para proteger las estaciones del servicio de radiolocalización, la potencia recibida no debe superar los valores siguientes:

CUADRO 5

Umbral de interferencia del servicio de radiolocalización

| Tipo de radar | Señal no deseada admisible | | Duración máxima (s) | |
|--------------------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| | Corto plazo | Largo plazo | Corto plazo | Largo plazo |
| Radiométrico/reproductor de imágenes | -137,8 dB(W/2 GHz) | -144,8 dB(W/2 GHz) | 3 | 60 |
| Métrico/seguidor | -126,2 dB(W/6 MHz) | -136,1 dB(W/6 MHz) | 5 | 60 |

Los estudios realizados muestran que el valor más restrictivo es el límite a corto plazo. La fórmula siguiente proporciona el valor de la dfp (dBW/m²/b_{ref}) correspondiente a los niveles de potencia recibidos a corto plazo incluidos en el Cuadro 5:

$$dfp = P_r - G_r - 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + L$$

donde:

P_r : límite de la potencia recibida (dBW)

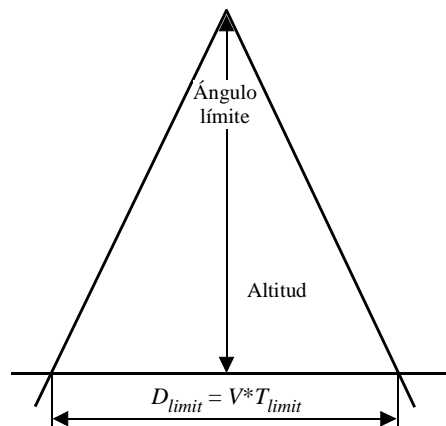
G_r : ganancia de antena de la estación de radiolocalización en la dirección del satélite del SETS (dBi)

λ : longitud de onda (m)

L : pérdida del alimentador de la instrumentación del SETS (2 dB).

En la Fig. 16 se muestra la configuración geométrica durante el paso del satélite del SETS/SIE por la vertical de la estación de radiolocalización.

FIGURA 16
Paso por la vertical de un satélite del SETS



1628-16

Una limitación temporal, T_{limit} , de 3 s para una altitud del satélite de 750 km implica una distancia de 21 km y un ángulo límite de $1,6^\circ$.

Cuando el sensor del SETS se encuentra en el cenit de la estación de radiolocalización, la ganancia de la antena de la estación de radiolocalización es -10 dBi para ángulos de apuntamiento con una elevación inferior a 70° . Los niveles de dfp correspondientes a los criterios de protección a corto plazo del Cuadro 5, y para dichos valores de ganancia de antena, son los siguientes:

$-126,2 - (-10) - (-52,5) + 2 = -61,7$ dB(W/m²) en una banda de 6 MHz (para la protección de los radares métricos/seguidores);

$-137,8 - (-10) - (-52,5) + 2 = -73,3$ dB(W/m²) en una banda de 2 GHz (para la protección de los radares reproductores de imágenes).

Por lo tanto, el nivel de dfp generada en la superficie de la Tierra por el sensor del vehículo espacial para una separación angular superior a $0,8^\circ$ del lóbulo principal no debe superar $-61,7$ dB(W/m²) en cualquier banda de 6 MHz y $-73,3$ dB(W/m²) en cualquier banda de 2 GHz.

Obsérvese que el segundo límite es más estricto que el primero.

3.2 Interferencia de las estaciones de radiolocalización sobre sensores activos a bordo de vehículos espaciales

Se ha desarrollado un modelo de simulación para calcular la FDA de los niveles de potencia interferente producidos por la agregación de estaciones de radiolocalización terrenales para cada uno de los tipos de sensores activos a bordo de vehículos espaciales del Cuadro 1. Se ha simulado una distribución uniforme en 622 emplazamientos de estaciones de radiolocalización sobre las principales masas terrestres del mundo con separaciones de 500 km, tal como se ilustra en la Fig. 17. En cada uno de dichos emplazamientos se simula una estación de radiolocalización de los tipos Imager 2 y Metric 1, que son los tipos de radares analizados de mayor potencia. Se ha asumido que las estaciones radar de tipo Imager 2 activas tienen un ángulo de elevación de 0° , mientras que las estaciones radares de tipo Metric 1 tienen una elevación de 45° . Los valores del acimut de las antenas de los radares se distribuyen aleatoriamente entre 0° y 360° .

En cada intervalo de la simulación, el modelo calcula la potencia agregada que producen todos los radares visibles en la salida de la antena del sensor. En dichos cálculos se asume que todos los radares transmiten a la misma frecuencia, calculándose los niveles de potencia en la anchura de banda de la señal radar. Se ha simulado un periodo de tiempo de 30 días en intervalos de un segundo, es decir, un total de 2 592 000 intervalos de tiempo.

En las Figs. 18 a 21 se presentan las FDA de la potencia interferente recibida de dichos radares activos para cada uno de los siete tipos de sensores a bordo de vehículos espaciales. Los Cuadros 6 y 7 proporcionan la potencia de cresta de interferencia agregada procedente de los sistemas de radiolocalización sobre los sensores activos a bordo de vehículos espaciales, así como estadísticas de eventos de interferencia durante los que se supera el criterio de interferencia.

FIGURA 17

Rejilla de estaciones de radiolocalización utilizada en la simulación

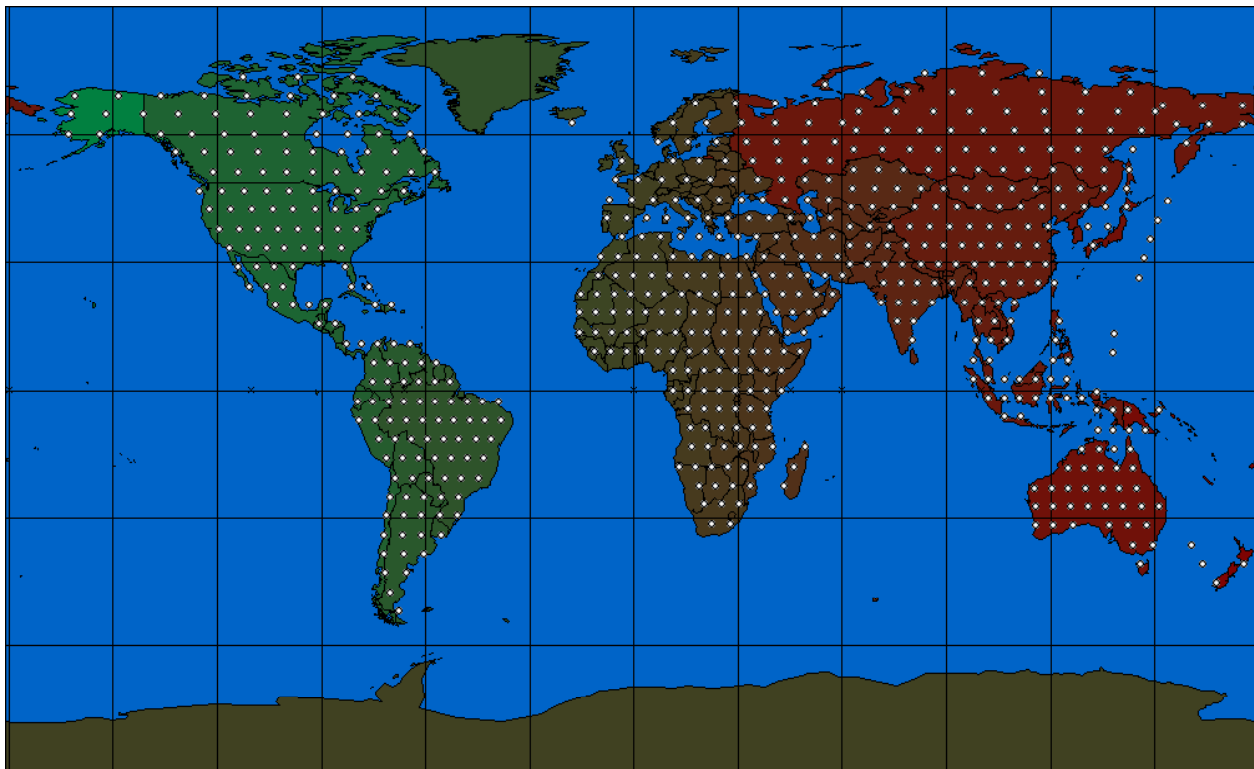
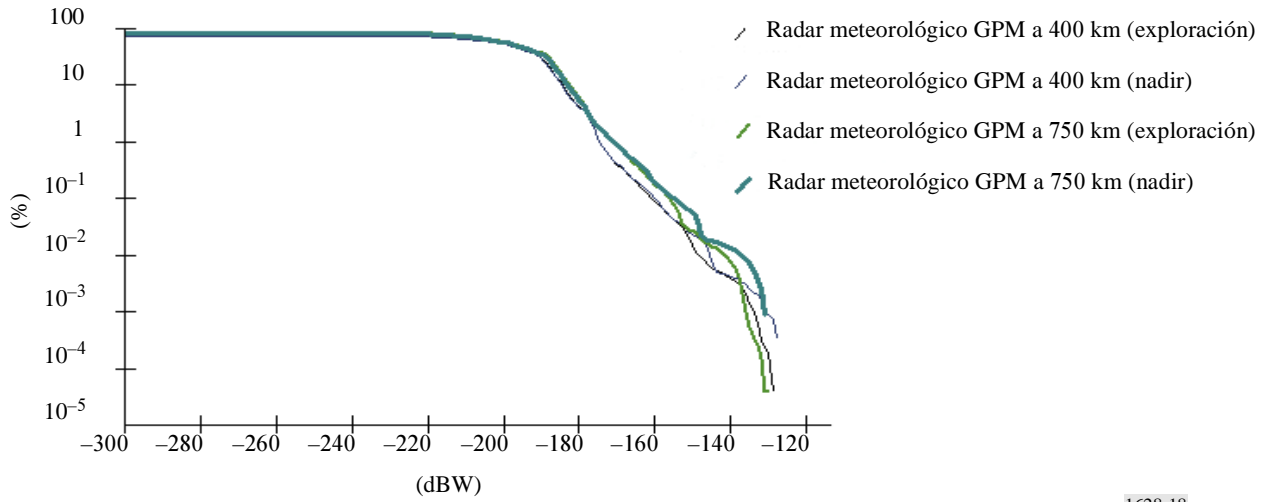
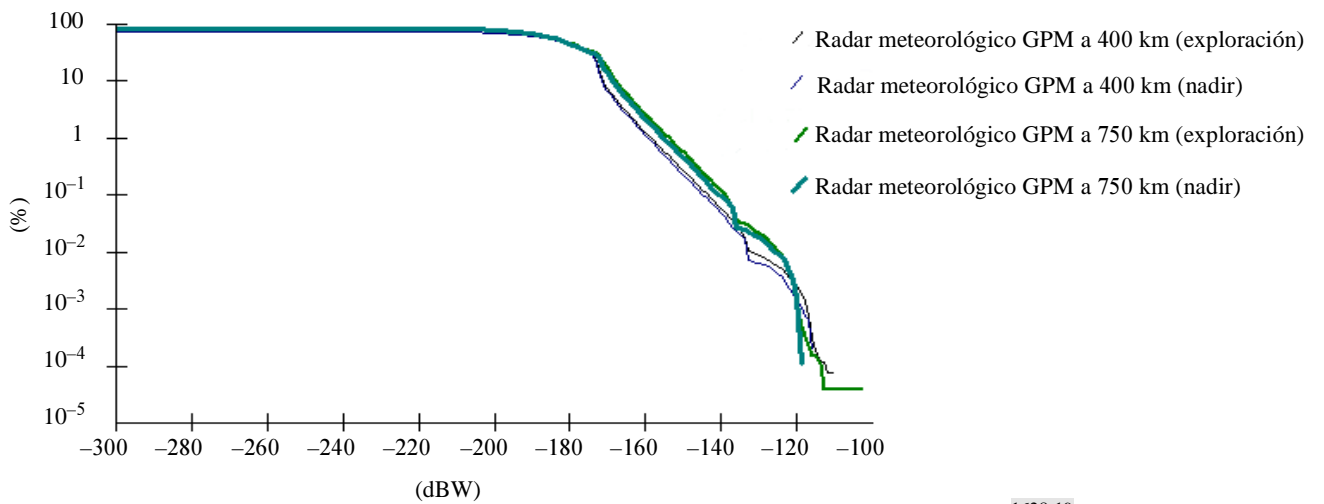


FIGURA 18
**FDA de la interferencia de un sistema de radiolocalización de tipo
 Imager 2 sobre sensores GPM**



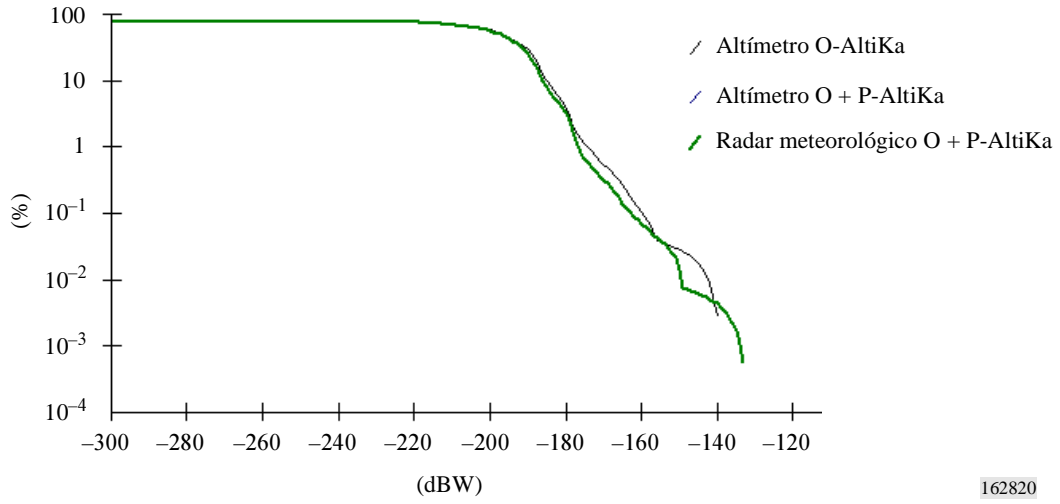
1628-18

FIGURA 19
**FDA de la interferencia de un sistema de radiolocalización de tipo
 Metric 1 sobre sensores GPM**



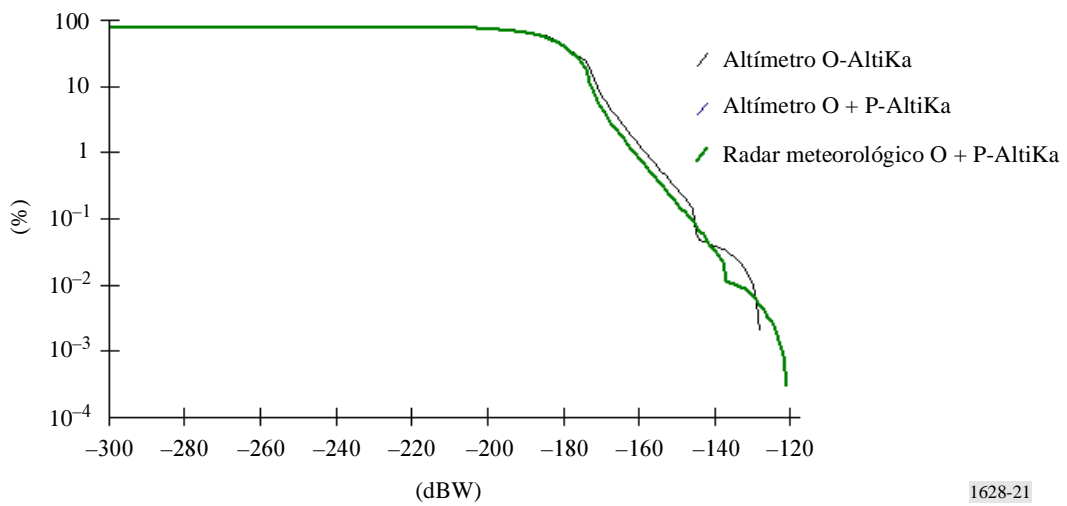
1628-19

FIGURA 20
FDA de la interferencia de un sistema de radiolocalización de tipo
Imager 2 sobre sensores AltiKa



162820

FIGURA 21
FDA de la interferencia de un sistema de radiolocalización
de tipo Metric 1 sobre sensores AltiKa



1628-21

CUADRO 6

Caso peor de la potencia interferente agregada (dBW)

| Sistema de radiolocalización | Descripción del sensor activo a bordo de vehículo espacial | | | | | | |
|----------------------------------|--|--|---|--|--------------------|------------------------|----------------------------------|
| | Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo exploración | Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo apuntamiento nadir | Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo exploración | Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo apuntamiento nadir | Altímetro O-Altika | Altímetro O + P-Altika | Radar meteorológico O + P-Altika |
| Imager 2 | -128,9 | -127,1 | -130,0 | -130,4 | -139,1 | -132,0 | -132,0 |
| Metric 1 | -109,5 | -115,6 | -102,1 | -118,9 | -127,1 | -120,5 | -120,5 |
| Criterio de interferencia | -123 | -123 | -123 | -123 | -112 | -112 | -123 |

CUADRO 7

Estadísticas de eventos de simulación que superan el criterio de interferencia⁽¹⁾

| Sistema de radiolocalización | Descripción del sensor activo a bordo de vehículo espacial | | | | | | |
|------------------------------|--|--|---|--|--------------------|------------------------|----------------------------------|
| | Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo exploración | Radar meteorológico GPM, altitud 400 km, modo apuntamiento nadir | Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo exploración | Radar meteorológico GPM, altitud 750 km, modo apuntamiento nadir | Altímetro O-Altika | Altímetro O + P-Altika | Radar meteorológico O + P-Altika |
| Imager 2 | – | – | – | – | – | – | – |
| Metric 1 | 0,0043%/1 | 0,0028%/1 | 0,0067%/1 | 0,0064%/2 | – | – | 0,0015%/2 |

⁽¹⁾ El primer número de cada resultado es el porcentaje de tiempo durante el que se supera el umbral de interferencia. El segundo número es el evento de interferencia de mayor duración, expresado en intervalos de tiempo de simulación, siendo cada intervalo de un segundo. Un guión significa que el criterio de interferencia no se superó en ninguno de los intervalos de la simulación.

4 Resumen

Se han presentado las FDA de los niveles de interferencia presentes en cinco estaciones de radiolocalización diferentes que pueden ser producidos por siete tipos de constelaciones de sensores activos a bordo de vehículos espaciales durante un periodo de 30 días. El porcentaje del tiempo durante el cual se supera el nivel de interferencia admisible a corto plazo del servicio de radiolocalización oscila entre menos del 0,0001% y el 0,0035%. La duración de los eventos de interferencia que superaron dicho nivel de interferencia admisible a corto plazo estuvo siempre dentro del límite de duración máxima, excepto en el caso de un sensor activo que superó el nivel de interferencia admisible durante 4 a 4,5 s, en comparación con el límite de 3 s.

También se han presentado las FDA de los niveles de interferencia sobre cada uno de los siete tipos de sensores activos a bordo de vehículos espaciales durante un periodo de 30 días producidos por los radares de mayor potencia, es decir, los radares reproductores de imagen y los radares métricos. El porcentaje de tiempo durante el cual se ha superado el criterio de interferencia especificado oscila entre menos del 0,0015% y el 0,0067%.

Los resultados de estas simulaciones dinámicas proporcionan información adicional que demuestra la viabilidad de la compartición de la banda 35,5-36 GHz entre sensores activos a bordo de vehículos espaciales y estaciones de radiolocalización.

Anexo 2

Compartición de la banda 35,5-36 GHz entre los servicios SETS (activo) y SIE (activo) y el servicio fijo

Este estudio tiene por objetivo verificar que en la atribución al servicio fijo en algunos países de la Región 1 realizada mediante el número 5.549 del RR, éste está protegido de la interferencia que producen los servicios SETS (activo) y SIE (activo) en la banda de frecuencias 35,5-36 GHz.

1 Características técnicas

1.1 Características de los sistemas del SETS y del SIE

Véase el Anexo 1.

1.2 Características del servicio fijo y criterios de interferencia

Se supone que las características técnicas del servicio fijo en torno a 35 GHz son similares a las que existen para la banda 37-39 GHz. En esta banda existen varios tipos de sistemas que se mencionan en la Recomendación UIT-R F.758. Estos sistemas pueden ser punto a punto (P-P) o punto a multipunto (P-MP).

Al objeto de verificar que no hay problemas de compartición entre sistemas del SETS (activo) y del servicio fijo, se ha elegido un sistema P-P y un sistema P-MP cuyas características se recogen en los Cuadros 8 y 9 respectivamente.

El criterio a largo plazo ($I/N = -10$ dB) no se debe superar durante más del 20% del tiempo. Se ha elegido como criterio a corto plazo un valor de I/N de 14 dB que no debe superarse durante más del 0,01% del tiempo.

CUADRO 8

Características del sistema P-P considerado

| | |
|--|----------------|
| Banda de frecuencia (GHz) | 37-39,5 |
| Ganancia de antena (máxima) (dBi) | 44,3 |
| Pérdida del alimentador/multiplexor (mínima) (dB) | 0,96 |
| Tipo de antena | Parabólica |
| Anchura de banda en FI del receptor (MHz) | 3,5 |
| Factor de ruido del receptor (dB) | 10 |
| Ruido térmico del receptor (dBW) | -133,4 |
| Interferencia nominal a corto plazo (dBW) (% del tiempo) | -119,4 (0,01%) |
| Interferencia nominal a largo plazo (dBW) | -143,4 |

CUADRO 9

Características del sistema P-MP considerado

| | |
|---|--------------|
| Banda de frecuencia (GHz) | 37-40 |
| Ganancia de la antena (máxima) (dBi) Terminal parabólica/planar 90°/45°/15° sector planar | 14/17/20 |
| Pérdida del alimentador/multiplexor (mínima) (dB) | 0 |
| Tipo de antena | Sector |
| Polarización de la antena | V/H |
| Anchura del haz de la antena (3 dB) en acimut/elevación (grados) | 1 > 15 |
| Anchura de banda en FI del receptor (MHz) | 28/1,3 |
| Factor de ruido del receptor (dB) | 7 |
| Ruido térmico del receptor (dBW) | -137 |
| Interferencia nominal a corto plazo (dBW) (% del tiempo) | -123 (0,01%) |
| Interferencia nominal a largo plazo (dBW) | -147 |

2 Metodología del análisis

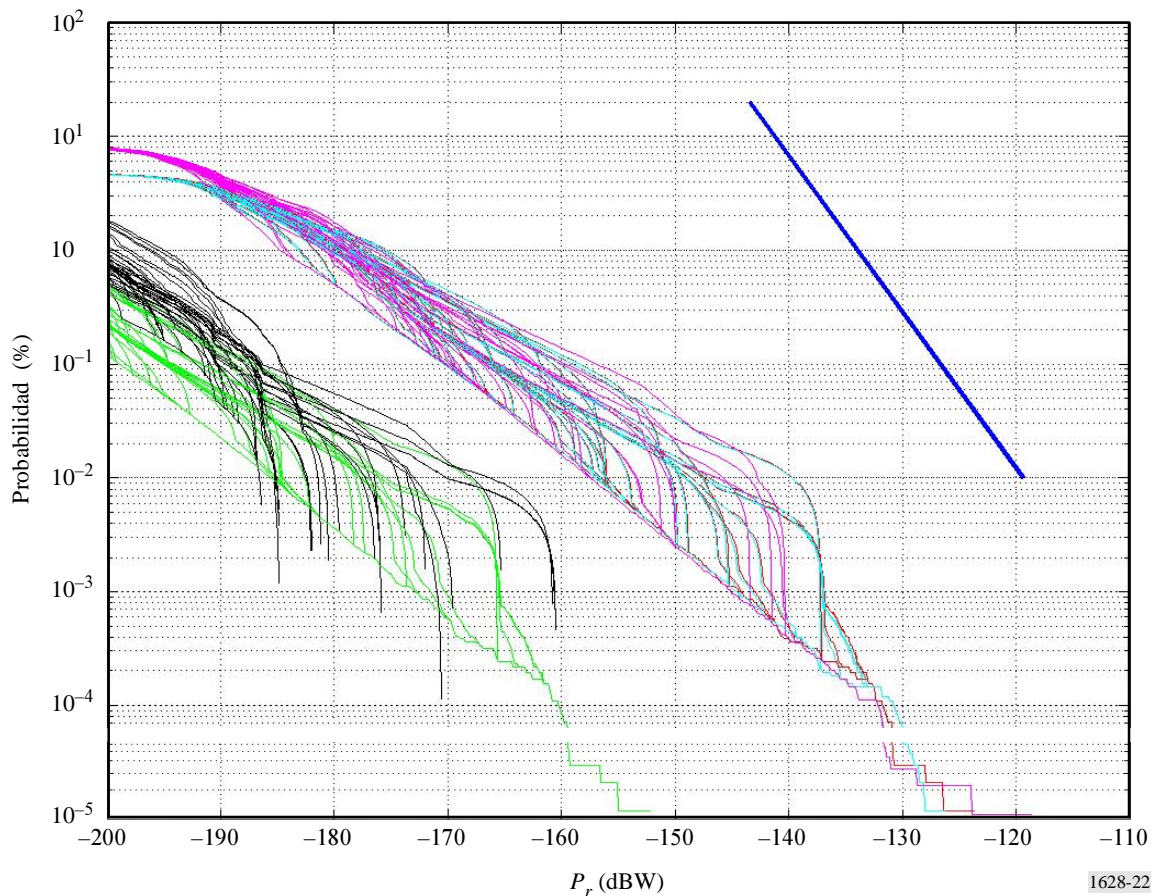
Se ha utilizado la misma metodología que en el Anexo 1. En las simulaciones no se han supuesto ciclos de trabajo concretos para los radares meteorológicos. Si se considerase dicho parámetro, debería añadirse un margen adicional de 5 a 10 dB al identificado en el § 3.

3 Resultados del análisis

3.1 Sistemas P-P del servicio fijo

Las simulaciones se han realizado para un único sistema del SETS y un receptor del servicio fijo P-P durante un periodo de 24 h. Se han considerado 35 valores de acimut (de 0° hasta 350°, con pasos de 10°) y un ángulo de elevación de 5° para la antena receptora del servicio fijo. La Fig. 22 muestra los resultados obtenidos para todos los sistemas del SETS y todos los valores de acimut de la antena del servicio fijo.

FIGURA 22
FDA de la potencia recibida

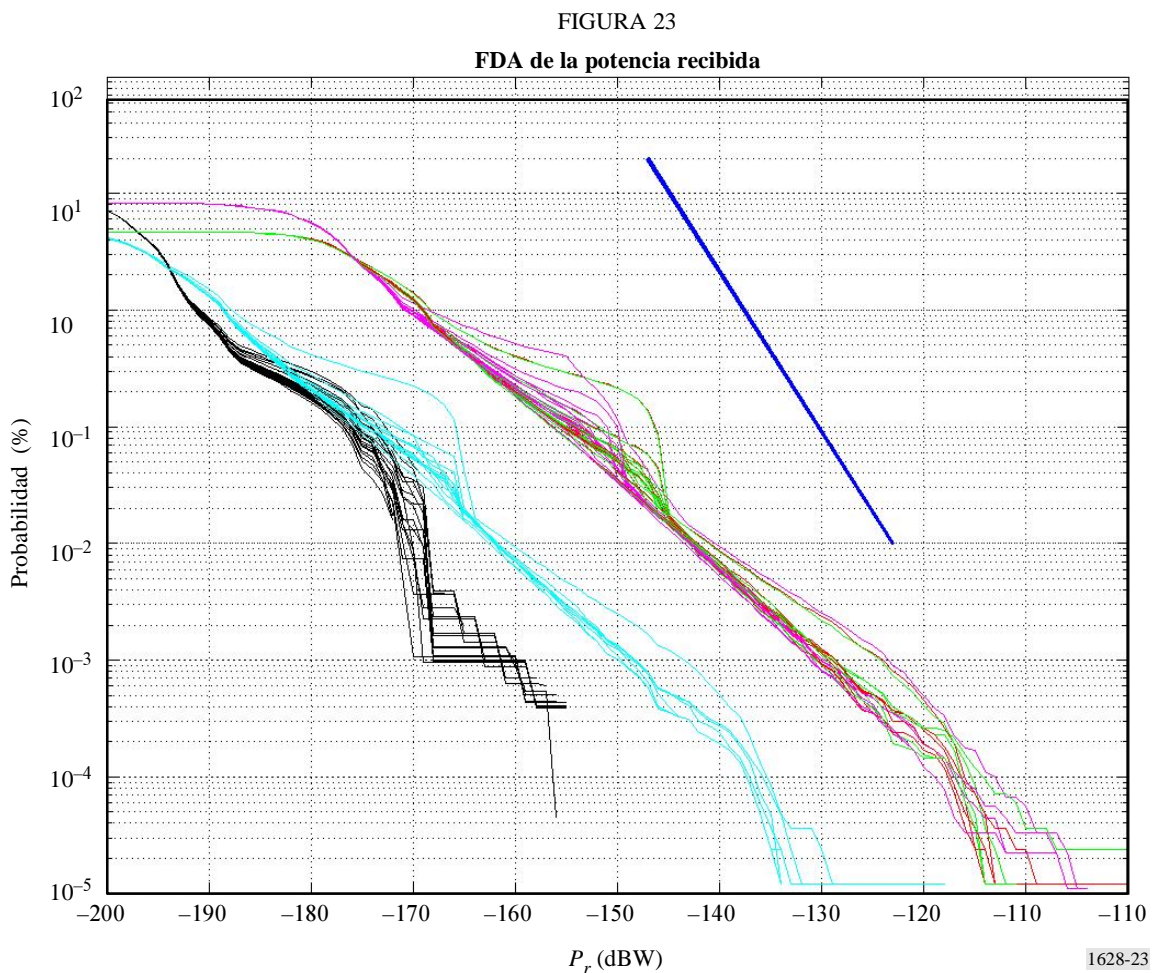


La Fig. 22 muestra que existe un margen de 20 a 45 dB entre las curvas de la FDA y el criterio de protección, en función del sistema considerado. Incluso en el caso de que estén presentes varios satélites del SETS (porcentaje multiplicado por el número de sistemas del SETS), el margen se

mantiene entre 15 y 20 dB. Debido a que es prácticamente imposible aumentar la potencia de cresta de los sistemas del SETS (activo) en un valor de tal magnitud, no es necesario imponer limitación alguna al SETS (activo) o al SIE (activo) en esta banda para proteger los enlaces P-P del servicio fijo.

3.2 Sistemas P-MP del servicio fijo

Las simulaciones se han realizado para un único sistema del SETS y un receptor del servicio fijo P-MP durante un periodo de 24 h. Se han considerado 35 valores de acimut (de 0° hasta 350°, con pasos de 10°) y un ángulo de elevación de 5° para la antena sectorial receptora del servicio fijo. La Fig. 23 muestra los resultados obtenidos para todos los sistemas del SETS y todos los valores de acimut de la antena del servicio fijo.



La Fig. 23 muestra que existe un margen de 15 a 40 dB entre las curvas de la FDA y el criterio de protección, en función del sistema considerado. Incluso en el caso de que estén presentes varios satélites del SETS (porcentaje multiplicado por el número de sistemas del SETS), el margen se mantiene entre 10 y 15 dB. Debido a que es prácticamente imposible aumentar la potencia de cresta de los sistemas del SETS (activo) en un valor de tal magnitud, no es necesario imponer limitación alguna al SETS (activo) o al SIE (activo) en esta banda para proteger los enlaces P-MP del servicio fijo.

4 Resumen

Se han realizado simulaciones que permiten concluir que en la banda de frecuencias 35,5-36 GHz no existen problemas de compartición entre el servicio fijo y los servicios SETS (activo) y SIE. Los resultados de la simulación muestran que:

- existe un margen mínimo de 20 dB entre la interferencia máxima y el criterio de protección de un receptor P-P;
- existe un margen mínimo de 15 dB entre la interferencia máxima y el criterio de protección de un receptor P-MP.

Este margen puede aumentarse aún más en un valor de $10 \log(d.c.)$, donde d.c. es el ciclo de trabajo de los radares meteorológicos.

A la vista de los márgenes arriba mencionados, la protección del servicio fijo en la banda de 35,5-36 GHz no exige imponer limitación alguna al SETS (activo) ni al SIE (activo).
