

INFORME UIT-R RS.2094

Estudios relativos a la compatibilidad entre el servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) y el servicio de radiodeterminación en las bandas 9 300-9 500 MHz y 9 800-10 000 MHz y entre el servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) y el servicio fijo en la banda 9 800-10 000 MHz

(2007)

ÍNDICE

Página

1	Introducción.....	4
2	SETS (activo)	4
	2.1 Aplicaciones	4
	2.2 Parámetros	4
3	Servicios de radiodeterminación	6
	3.1 Aplicaciones	6
	3.2 Parámetros	6
4	Servicio fijo	12
	4.1 Aplicaciones	12
	4.2 Parámetros	12
5	Análisis de la interferencia	13
	5.1 Primer estudio de análisis - Evaluación de la interferencia que podría ocasionar el servicio de radiodeterminación a sensores activos a bordo de vehículos espaciales que funcionan en la banda 9 300-9 500 MHz y 9 800-10 000 MHz.....	13
	5.1.1 Enfoque para realizar el análisis	13
	5.1.2 Resultados del análisis	18
	5.1.3 Técnicas de mitigación de la interferencia en detrimento de SAR.....	22
	5.1.4 Conclusiones del análisis	23
	5.2 Segundo estudio de análisis: Evaluación de la interferencia que pueden producir los radares meteorológicos basados en tierra del SETS en la banda 9 300-9 500 MHz.....	23
	5.2.1 Parámetros simulados del SETS (activo).....	23
	5.2.2 Parámetros simulados de los radares meteorológicos.....	23

	<i>Página</i>
5.2.3	Resultados 24
5.2.4	Conclusiones 25
5.3	Tercer estudio de análisis: Evaluación de los niveles máximos de la interferencia causada por el SETS (activo) al servicio de radiodeterminación en las bandas 9 300-9 500 MHz y 9 800-10 000 MHz..... 25
5.3.1	Enfoque aplicado en el análisis..... 25
5.3.2	Los resultados del análisis..... 26
5.3.3	Examen de la mitigación de la interferencia..... 27
5.3.4	Conclusiones del análisis 28
5.4	Cuarto estudio de análisis: Análisis de la interferencia potencial causada por el SETS (activo) a los radares meteorológicos basados en tierra que funcionan en el servicio de radiolocalización en la banda 9 300-9 500 MHz..... 28
5.4.1	Análisis preliminar 29
5.4.2	Factores adicionales para mitigar la interferencia causada a los radares meteorológicos 33
5.4.3	Conclusiones – Revaluación de los datos obtenidos como resultado del análisis preliminar 38
5.5	Quinto estudio de análisis: Estudios de compatibilidad entre el STS (activo) y el servicio fijo en la banda 9 800-10 000 MHz 40
5.5.1	Enfoque adoptado para realizar el análisis..... 40
5.5.2	Resultados del análisis 45
5.5.3	Conclusiones del análisis 50
6	Ejemplos de técnicas de mitigación de la interferencia ocasionada por el SAR a bordo de un vehículo espacial 50
6.1	Ejemplo 1: Selección de las características de emisión para mitigar la interferencia de sensores activos a bordo de vehículos espaciales en el SETS (activo) con miras a su utilización en la anchura de banda de 500 MHz a proximidad de 9,6 GHz..... 50
6.1.1	Selección de características del SETS (activo) para mitigar la interferencia 50
6.1.2	Conclusiones del análisis 53
6.2	Ejemplo 2: Técnica de mitigación de la interferencia consistente en recurrir a una antena sensora activa del SAR3 en el SETS (activo) con miras a su utilización en la anchura de banda 500 MHz a proximidad de 9,6 GHz..... 53
6.2.1	Características técnicas de la antena sensora activa de banda ancha del SAR3 a bordo de un vehículo espacial..... 53
6.2.2	Características técnicas del sistema de radar terrenal 55

Página

6.2.3	Perfiles de potencia recibida en las estaciones terrenales	55
6.2.4	Conclusiones del análisis	57
7	Resumen y conclusiones.....	57
8	Documentos complementarios	57

1 Introducción

El objeto de este informe es resumir los resultados de los estudios relativos a la compatibilidad entre el servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) y el servicio de radiodeterminación en las bandas 9 300-9 500 MHz y 9 800-10 000 MHz y entre el SETS (activo) y el servicio fijo en la banda 9 800-10 000 MHz.

2 SETS (activo)

2.1 Aplicaciones

En 2007 se ha previsto la explotación de cinco radares de apertura sintética (SAR) en la banda cercana a 9,6 GHz. Entre estos satélites figuran los SAR a bordo de cuatro satélites de una constelación encargada por la Agencia Espacial Italiana (AEI) pero que no han sido lanzados todavía, y un SAR denominado «SAR3» actualmente en curso de examen por la NASA de Estados Unidos.

Los SAR que funcionan cerca de 9,6 GHz serían controlados mediante un mando en tierra para activarlos y desactivarlos según resulte necesario para ver únicamente determinadas zonas de la Tierra, debido a las limitaciones de potencia del vehículo espacial. Este modo de funcionamiento hace que el SAR transmita aproximadamente el 10% y el 20% del tiempo. Otro modo de funcionamiento es el de proyector. En este modo, se selecciona un ángulo de visión comprendido entre 20° y 44°, y los datos se recogerán normalmente seleccionando entre 49 y 65 subzonas de 20 km en distancia por 0,35 km en acimut. Acto seguido, estos datos pueden colocarse en un mosaico de las subzonas en acimut para procesar una imagen de 20 km por 20 km.

2.2 Parámetros

En el Cuadro 1 se señalan las características técnicas de los sensores activos a bordo de los vehículos espaciales en la banda de frecuencias 9 300-10 000 MHz; el diagrama de ganancia de antena del SAR1 puede verse en el Cuadro 2, el diagrama de ganancia de antena del SAR2 en el Cuadro 3 y el diagrama de ganancia de antena del SAR3 en el Cuadro 4.

CUADRO 1

Características técnicas del SAR propuesto

Parámetro	SAR1	SAR2	SAR3
Altitud orbital (km)	400	619	506
Inclinación orbital (grados)	57	98	98
Frecuencia central de RF (GHz)	9,6	9,6	9,6
Potencia de cresta radiada (W)	1 500	5 000	25 000
Modulación de impulsos	Fluctuación modulada linealmente en frecuencia	Fluctuación modulada linealmente en frecuencia	Fluctuación modulada linealmente en frecuencia
Anchura de banda de la fluctuación (MHz)	10	400	450
Duración del impulso (µs)	33,8	10-80	1-10
Frecuencia de repetición de impulsos (ips)	1 736	2 000-4 500	410-515
Ciclo de trabajo (%)	5,9	2,0-28,0	0,04-0,5

CUADRO 1 (Fin)

Parameter	SAR1	SAR2	SAR3
Relación de compresión de gama	338	< 12 000	450-4 500
Tipo de antena	Guiaondas ranurada	Red coplanar	Red coplanar en fase
Ganancia de antena de cresta (dBi)	44,0	44,0-46,0	39,5-42,5
p.i.r.e. (dBW)	75,8	83,0	83,5-88,5
Orientación de la antena	20° a 55° con respecto al nadir	34° con respecto al nadir	20° a 44° con respecto al nadir
Anchura de haz de la antena	5,5° (El) 0,14° (Az)	1,6-2,3° (El) 0,3° (Az)	1,1-2,3° (El) 1,15° (Az)
Polarización de la antena	Lineal vertical	Lineal HH o VV	Lineal horizontal o vertical
Temperatura de ruido del sistema (K)	551	500	600

CUADRO 2

Diagrama de ganancia de antena del SAR1 cerca de 9,6 GHz

Diagrama	Ganancia $G(\theta)$ (dBi) en función del ángulo θ con respecto al eje (grados)	Gama angular (grados)
Vertical (elevación)	$G_v(\theta_v) = 44,0 - 0,397(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 24,5$ $G_v(\theta_v) = 9,5$ $G_v(\theta_v) = 22,5$	$\theta_v < 7,1$ $7,1 \leq \theta_v \leq 30$ $30 < \theta_v \leq 60$ $\theta_v > 60$
Horizontal (acimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 612,2(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -12$ $G_h(\theta_h) = 0 - 27,0(\theta_h)$ $G_h(\theta_h) = -35$	$\theta_h \leq 0,14$ $0,14 < \theta_h \leq 0,44$ $0,44 < \theta_h \leq 1,3$ $\theta_h > 1,3$
Diagrama del haz	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\}$ max	

CUADRO 3

Diagrama de ganancia de antena de SAR2 a proximidad de 9,6 GHz

Diagrama	Ganancia $G(\theta)$ (dBi) en función del ángulo θ con respecto al eje (grados)	Gama angular (grados)
Vertical (elevación)	$G_v(\theta_v) = 46,0 - 0,835(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,0$ $G_v(\theta_v) = 26,0$ $G_v(\theta_v) = 10,0$	$\theta_v < 3,8$ $3,8 \leq \theta_v \leq 15$ $15 < \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
Horizontal (acimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 444,5(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -16$ $G_h(\theta_h) = -20,0(\theta_h)$	$\theta_h \leq 0,3$ $0,3 < \theta_h \leq 0,7$ $\theta_h > 0,7$
Diagrama del haz	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\}$ max	

CUADRO 4

Diagrama de ganancia de antena de SAR3 cerca de 9,6 GHz

Diagrama	Ganancia $G(\theta)$ (dBi) en función del ángulo θ con respecto al eje (grados)	Gama angular (grados)
Vertical (elevación)	$G_v(\theta_v) = 42,5 - 9,92(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,4 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 10,5 - 0,133 \theta_v$	$0 < \theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v < 30$ $\theta_v \geq 30$
Horizontal (acimut)	$G_h(\theta_h) = 0,0 - 9,07(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = +1,9 - 12,08 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -48$	$0 < \theta_h < 1,15$ $1,15 \leq \theta_h < 4,13$ $\theta_h \geq 4,13$
Diagrama del haz	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

3 Servicios de radiodeterminación

3.1 Aplicaciones

La banda 8 500-10 500 MHz es utilizada por un gran número de diferentes tipos de radares basados en tierra, transportables, a bordo de barcos y a bordo de aeronaves. Las funciones de radiodeterminación realizadas en esta gama de frecuencias incluyen la búsqueda aérea y de superficie, la cartografía, el seguimiento del terreno, la navegación (aeronáutica y marítima) y la meteorología (a bordo de aeronaves y en tierra).

3.2 Parámetros

Las características del radar de radiodeterminación figuran en la referencia [1]. Se proporcionaron características para diez sistemas de radar a bordo de aeronaves, nueve sistemas de radar a bordo de barcos y ocho sistemas de radar en tierra/radiobalizas que funcionan en la banda 8 500-10 500 MHz. Para los estudios que se describirán ulteriormente se eligió un conjunto de sistemas de radar representativos que funcionaban en la banda 9 300-10 000 MHz para los estudios siguientes, y sus características se consignan en los Cuadros 5, 6, y 7.

CUADRO 5

Características de los radares de radiodeterminación a bordo de aeronaves en la banda 8 500-10 500 MHz

Características	Sistema A1	Sistema A2	Sistema A3
Función	Radar de búsqueda y seguimiento (multifunción)	Radar de búsqueda a bordo de aeronave	Radar de cartografía y seguimiento del terreno (multifunción)
Gama de sintonización (MHz)	9 300-10 000	8 500-9 600	9 240, 9 360 y 9 480
Modulación	Impulso	Impulso	Modulación de impulso en posición con agilidad de frecuencia no coherente
Potencia de cresta en la antena (kW)	17	143 (min) 220 (max)	95
Anchuras de impulso (μ s) y frecuencias de repetición de impulsos	0,285; 8 200 a 23 000 ips	2,5; 0,5 400 y 1 600 ips	0,3, 2,35, y 4 2 000, 425 y 250 ips, resp.

CUADRO 5 (Continuación)

Características	Sistema A1	Sistema A2	Sistema A3
Máximo ciclo de trabajo	0,0132	0,001	0,001
Tiempo de subida/caída del impulso (µs)	0,01/0,01	0,02/0,2	0,1/0,1
Dispositivo de salida	Tubo de ondas progresivas	Magnetrón sintonizable	Magnetrón sintonizado en cavidad
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho	Haz en abanico	Haz estrecho
Tipo de antena	Red coplanar	Reflector parabólico	Red coplanar sobre placa
Polarización de antena	Lineal	Lineal	Circular
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	32,5	34	28,3
Abertura de antena en elevación (grados)	4,6	3,8	5,75
Abertura de antena en acimut (grados)	3,3	2,5	5,75
Tasa de barrido horizontal de la antena	118 barridos/minuto	6 ó 12 rpm	Hasta 53 barridos/minuto
Tipo de barrido horizontal de la antena (continuo, aleatorio, sectorial, etc.)	Sector: ±60° (mecánico)	360° (mecánico)	Sector: ±60° (mecánico)
Velocidad de barrido vertical de la antena	59 barridos/minuto	No se aplica	Hasta 137 barridos/minuto
Tipo de barrido vertical de la antena	Sector: ±60° (mecánico)	No se aplica	Sector: +25/-40° (mecánico)
Niveles de los lóbulos laterales de la antena (primarios y secundarios)	7,5 dBi a 15°	No especificado	5,3 dBi a 10°
Altura de la antena	Altitud de la aeronave	Altitud de la aeronave	Altitud de la aeronave
Anchura de banda a 3 dB en la FI del receptor (MHz)	3,1; 0,11	5	5,0, 1,8 y 0,8
Factor de ruido del receptor (dB)	No especificado	No especificado	6
Señal discernible mínima (dBm)	-103	-107; -101	-101
Anchura de fluctuación total (MHz)	No se aplica	No se aplica	No se aplica
Anchura de banda de emisión en RF			(Dependiente de la anchura de impulso y de la frecuencia)
- 3 dB	3,1; 0,11	0,480; 2,7	100 a 118
- 20 dB	22,2; 0,79	1,5; 6,6	102 a 120
Función	Navegación	Búsqueda (radiolocalización) meteorología	Detección de tormentas, cartografía, búsqueda
Gama de sintonización (MHz)	Agilidad de frecuencia de impulso a impulso en 340 MHz	Pasos de 20 MHz, 9 250-9 440, impulso a impulso con agilidad de frecuencia	Impulso previo: 9 337 y 9 339 (precede a cada impulso operacional)
Modulación	Impulso modulado linealmente en frecuencia	Impulso modulado en frecuencia	Impulso

CUADRO 5 (Fin)

Características	Sistema A7d	Sistema A8	Sistema A10
Potencia de cresta en la antena	50 kW	10 kW	26 W (14 dBW)
Anchura de impulso (μ s) y frecuencia de repetición de impulsos	10 aprox. 380 ips	5 y 17 2 500, 1 500, 750, y 400 pps (Todas las anchuras de impulso)	9 337 y 9 339 MHz: 1-29 μ s a 2 200-2 220 ips (oscilante para todas las anchuras de impulso); 9 344 MHz: 1,7-2,4, 2,4-4,8, 4,8-9,6, 17, 19 y 29 μ s a 2 200-2 220 ips (oscilantes)
Ciclo de trabajo máximo	0,004	0,04	9 337 y 9 339 MHz: \leq 0,064 9 344 MHz: \leq 0,011 (con impulsos de 17 μ s)
Tiempo de subida/caída del impulso (μ s)	0,1/0,1	0,1/0,1	9 337 y 9 339 MHz: 0,3/0,2 9 344 MHz: 0,5/0,5
Dispositivo de salida	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas	Diodo IMPATT
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho/abanico	Haz en abanico	Haz estrecho
Tipo de antena	Reflector parabólico	Red ranurada	Red coplanar
Polarización de antena	Horizontal	Vertical y horizontal	Horizontal
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	34,5	32	29
Abertura de antena en elevación (grados)	4,0	9,0	<10
Abertura de antena en acimut (grados)	2,4	1,8	7
Tasa de barrido horizontal de la antena	36, 360, 1800°/s	15 ó 60 rpm	30°/s
Tipo de barrido horizontal de la antena (continuo, aleatorio, sectorial, etc.)	10° sector	360°	Sector 60 ó 120°
Velocidad de barrido vertical de la antena	No se aplica	No se aplica	No se aplica
Tipo de barrido (continuo, aleatorio, sectorial, etc.)	Inclinación seleccionable 0°/-90°	Inclinación seleccionable +15°/-15°	Inclinación seleccionada por el operador: \pm 30°
Niveles de lóbulo lateral de antena (primarios y secundarios)	14,5 dBi a 12°	20 dBi	+13,9 dBi
Altura de la antena	Altitud de la aeronave	Altitud de la aeronave	Altitud de la aeronave
Anchura de banda a 3 dB en la FI del receptor (MHz)	No especificado	16	2,0
Factor de ruido del receptor (dB)	5	No especificado	2
Señal discernible mínima (dBm)	Depende de la ganancia de procesamiento (17 dB para un impulso de retorno)	-98	-128 (sensibilidad de detección después del procesamiento)
Anchura de fluctuación total (MHz)	5	10	No se aplica
Anchura de banda de emisión en RF			-3 dB: 9 337 y 9 339 MHz: 0,7 9 344 MHz: 0,4, 0,25, 0,150, 0,075, 0,08, y 0,05 -20 dB: 9 337 y 9 339 MHz: 3,6 9 344 MHz: 1,8, 1,5, 0,8, 0,375, 0,35, y 0,2
- 3 dB	4,5	9,3	
- 20 dB	7,3	12	

CUADRO 6

**Características de los radares de radiodeterminación
a bordo de barcos en la banda 8 500-10 500 MHz**

Características	Sistema S1	Sistema S3	Sistema S4	
Función	Radar de búsqueda y navegación	Radar de búsqueda a baja altura y en superficie (multifunción)	Radar de radionavegación marítima	
Tipo de plataforma	A bordo de barcos, centros de formación costeros	A bordo de barcos	A bordo de barcos	
Gama de sintonización (MHz)	8 500-9 600	8 500-10 000	9 375 ± 30 y 9 445 ± 30	
Modulación	Impulso	Impulso con agilidad de frecuencia	Impulso	
Potencia de cresta en la antena (kW)	35	10	5 (min.)	50 (max.)
Anchura de impulso (µs) y frecuencia de repetición de impulsos	0,1; 0,5 1 500; 750 ips	0,56 a 1,0; 0,24 19 000 a 35 000 ips; 4 000 a 35 000 ips	0,03 (min.) a 4 000 ips (max.)	1,2 (max.) a 375 ips (min.)
Ciclo de trabajo máximo	0,00038	0,020	0,00045	
Tiempo de subida/caída del impulso (µs)	0,08/0,08	0,028/0,03; 0,038/0,024	No especificado	
Dispositivo a la salida	Magnetron	Tubo de ondas progresivas	Magnetron	
Tipo de diagrama de antena	Abanico	Estrecho	Abanico	
Tipo de antena	Red de onda granulada	Red de onda granulada	Red de onda granulada	
Polarización de antena	Lineal	Lineal	No especificada	
Ganancia del haz principal (dBi)	29	39	27 (min.)	32 (max.)
Anchura de banda de la elevación de la antena (grados)	13	1	20,0 (min.)	26,0 (max.)
Anchura de banda acimutal de la antena (grados)	3	1,5	0,75 (min.)	2,3 (max.)
Tasa de barrido horizontal	9,5 rpm	180°/s	20 (min.)	60 (max.)
Tipo de barrido horizontal (continuo, aleatorio, sectorial, etc.)	360° (mecánico)	Búsqueda/seguimiento en 360° o sectorial (mecánico)	360°	
Tasa de barrido vertical	No aplicable	No aplicable	No aplicable	
Tipo de barrido vertical	No aplicable	No aplicable	No aplicable	
Niveles de los lóbulos laterales de la antena (SL) (primarios y secundarios)	No especificado	23 dBi (1er SL)	-4 dBi a ≤ 10° (min.) -13 dBi a ≥ 10° (max.)	9 dBi a ≤ 10° (max.) 2 dBi a ≥ 10° (max.)
Altura de la antena	Montaje en mástil/plataforma	Montaje en mástil/plataforma	Montaje en mástil/plataforma	
FI del receptor (MHz)	No especificado	No especificado	45 (min.)	60 (max.)
Anchura de banda a 3 dB en la FI del receptor (MHz)	12	2,5; 4; 12	6; 2,5 (min.) (para impulsos cortos y largos, respectivamente)	28; 6 (max.) (para impulsos cortos y largos, respectivamente)
Factor de ruido del receptor (dB)	No especificado	9	3,5 (min.)	8,5 (max.)
Señal mínima discernible (dBm)	-96	-102; -100; -95	-106 (min.)	-91 (max.)
Anchura de banda de la fluctuación (MHz)	No aplicable	No aplicable	No aplicable	

CUADRO 6 (Continuación)

Características	Sistema S6	Sistema S7	Sistema S9	
Anchura de banda de la emisión RF (MHz) – 3 dB – 20 dB	10; 5 80; 16	1,6; 4,2 10; 24	No especificado No especificado	
Función	Radar de radionavegación marítima	Navegación y búsqueda	Radar de radionavegación marítima	
Tipo de plataforma	A bordo de barcos	A bordo de barcos	A bordo de barcos	
Gama de sintonización (MHz)	9 380-9 440	9 300-9 500	9 410 ± 30	9 445 ± 30
Modulación	Impulso	Impulso	Impulso	
Potencia de cresta en la antena (kW)	25	1,5	1,5-10	
Anchura de impulso (μs) y frecuencia de repetición de impulsos	0,08, 0,2, 0,4, 0,7, y 1,2 2 200 ips (0,08 μs); 1 800, 1 000, y 600 ips (1,2 μs)	0,08, 0,25, y 0,5 2 250, 1 500, y 750 ips	0,08 (mín.) a 3 600 ips	1,2 (máx.) a 375 ips
Ciclo de trabajo máximo	0,00072	0,000375	0,00045	
Tiempo de subida/caída del impulso (μs)	0,010/0,010	0,01/0,05	No especificadas	
Dispositivo a la salida	Magnetron	Magnetron	Magnetron	
Tipo de diagrama de antena	Abanico	Abanico	Abanico	
Tipo de antena	Red ranurada alimentada por el extremo	Guiaonda ranurada alimentada por el centro	Red ranurada/de placa o bocina	
Polarización de la antena	Horizontal	Horizontal	Horizontal	
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	31	23,9	22-30	
Anchura del haz en elevación de la antena (grados)	20	25	24-28	
Anchura acimutal del haz de la antena (grados)	0,95	6	1,9-7	
Velocidad de barrido horizontal de la antena	24 rpm	24 rpm	24 rpm	
Tipo de barrido horizontal de la antena (continuo, aleatorio, sectorial, etc.)	360°	360°	360°	
Velocidad de barrido vertical de la antena	No aplicable	No aplicable	No aplicable	
Tipo de barrido vertical de la antena	No aplicable	No aplicable	No aplicable	
Niveles de los lóbulos laterales de la antena (primarios y secundarios)	No especificado	+2,9 dBi	22 dBi, haz principal: 3 a 4 dBi dentro de 10°; 0 a 3 dBi fuera de 10° 30 dBi, haz principal: 7 a 10 dBi dentro de 10°; –2 a +7 dBi fuera de 10°	
Altura de la antena	Mástil	Mástil	Mástil	
FI del receptor (MHz)	No especificada	No especificada	45-60	
Anchura de banda a 3 dB de la FI del receptor (MHz)	15	10 y 3	2,5-25	

CUADRO 6 (Fin)

Características	Sistema S6	Sistema S7	Sistema S9
Factor del ruido en el receptor (dB)	6	6	4 a 8
Señal discernible mínima (dBm)	-97 (umbral de ruido)	-102 (umbral de ruido)	No especificado
Anchura total de la fluctuación (MHz)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Anchura de banda de emisión RF (MHz)			No especificada
- 3 dB	14	20	
- 20 dB	43	55	

CUADRO 7

**Características de las balizas y los radares de radiodeterminación
basadas en tierra en la banda 8 500-10 500 MHz**

Características	Sistema G2	Sistema G3	Sistema G9
Función	Transpondedor de baliza de encuentro	Radar de búsqueda	Radar meteorológico (radiolocalización)
Tipo de plataforma	Tierra (portátil)	Tierra (remolque)	Tierra
Gama de sintonización (MHz)	9 375 y 9 535 (Rx); 9 310 (Tx)	9 370-9 990	9 300-9 375 MHz
Modulación	Impulso	Impulso con agilidad de frecuencia	Impulso
Potencia de cresta en la antena	20 a 40 W	31 kW	50 kW
Anchura de impulso (μ s) y frecuencia de repetición de impulsos	0,3 a 0,4 Menos de 20 000 ips	1 7 690 a 14 700 ips	0,1, 0,25 y 1,0 1 000 a 2 000 ips
Ciclo de trabajo máximo	0,008	0,015	0,002
Tiempo de subida/caída del impulso (μ s)	0,10/0,15	0,05/0,05	0,05
Dispositivo a la salida	Estado sólido	Tubo de ondas progresivas	Klistrón o magnetrón
Tipo de diagrama de antena	Cuadrante	Estrecho	Estrecho
Tipo de antena	Red de circuitos impresos	Red de fase (guiaonda ranurada lineal)	Reflector parabólico con alimentación Cassegrain
Polarización de la antena	Circular	Lineal	Lineal (polarización doble)
Ganancia del haz máximo de la antena (dBi)	13	42,2	46
Anchura del haz en elevación de la antena (grados)	20; 3	0,81	0,9
Anchura del haz acimutal de la antena (grados)	65; 10	1,74	0,9
Velocidad de barrido horizontal de la antena	No aplicable	No especificada	0 a 20°/s
Tipo de barrido horizontal de la antena (continuo, aleatorio, sectorial, etc.)	No aplicable	Sector: $\pm 45^\circ$ (barrido de fase)	Volumen, volumen sectorial, estático y búsqueda
Tasa de barrido vertical de la antena	No aplicable	No especificada	0 a 20°

CUADRO 7 (Fin)

Características	Sistema G2	Sistema G3	Sistema G9
Tipo de barrido vertical de la antena	No aplicable	Sector: $90^\circ \pm$ inclinación de la red (barrido en frecuencias)	Pasos hasta la próxima elevación después de la rotación horizontal o el cambio de elevación de la antena a un acimut constante
Niveles de los lóbulos laterales de la antena (primario y secundario)	0 dBi (primer lóbulo lateral)	No especificados a nivel del suelo	26 dBi
Altura de la antena	En el suelo	En el suelo	4 m
Anchura de banda a 3 dB de la FI del receptor (MHz)	40	1	10, 4 ó 1
Factor de ruido del receptor (dB)	13	No especificada	-110
Señal discernible mínima (dBm)	-65	-107	No especificada
Anchura de banda de la fluctuación (MHz)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Anchura de banda de la emisión RF (MHz)			No especificada 6 a 60 MHz – dependiente de la anchura de impulso
- 3 dB	4,7	0,85	
- 20 dB	11,2	5,50	

4 Servicio fijo

4.1 Aplicaciones

En la Recomendación UIT-R F.758-3 se enumeran varios parámetros en relación con los sistemas del servicio fijo (SF) que se están instalando en esta parte general del espectro, pero no figura ninguna descripción de sistemas del SF, en particular, tratándose de la banda 9 800 a 10 000 MHz. Además, se supone que es probable que dichos sistemas se exploten como radioenlaces de microonda punto a punto en dicha banda.

4.2 Parámetros

En la Recomendación UIT-R F.758-3 se enumeran diferentes parámetros de los sistemas del servicio fijo (SF) que se están instalando en esta porción general del espectro, pero no se señala ningún parámetro del SF, especialmente en lo que respecta a la banda 9 800 a 10 000 MHz. Además, se parte del supuesto de que, a los efectos de los estudios contenidos en el presente informe, los parámetros indicados para sistemas punto a punto del servicio fijo (SF P-P) en la banda 10,6-10,68 GHz se aplican también dentro de la banda de frecuencias 9 800 a 10 000 MHz. Si bien los sistemas mencionados se instalan predominantemente en zonas urbanas y suburbanas, no se dispone de información concreta sobre el número de esos sistemas o sobre el plan de canales que habría que tener presente en los estudios de compartición. En ausencia de información definitiva, se partió del supuesto de que cada canal se utilizaba una sola vez. Sin embargo, hay que señalar que, por lo que se refiere a la implementación real de sistemas del servicio fijo en dicha banda, sería posible reutilizar los canales varias veces en las principales zonas urbanas.

En el Cuadro 8 figuran los parámetros correspondientes a sistemas punto a punto del servicio fijo.

CUADRO 8

Parámetros de sistemas punto a punto del servicio fijo

Parámetro	Valor
Modulación	MDF, MDP4
Capacidad	16 Mbit/s
Espaciamiento de canales (MHz)	14
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	49
Diagrama de antena	Recomendación UIT-R F.1245-1
Pérdida de conexión/multiplexión (mínimo) (dB)	0
Tipo de antena	Parabólica
Potencia máxima a la salida del transmisor (dBW)	-2
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	47
Anchura de banda en frecuencia intermedia (FI) del receptor (MHz)	14
Valor del ruido del receptor (dB)	3
Ruido térmico del receptor (dBW)	-129.5
Nivel nominal de la entrada del receptor (dBW)	-60
Nivel a la entrada del receptor para una proporción de bits erróneos de 1×10^{-3} (dBW)	-114

5 Análisis de la interferencia**5.1 Primer estudio de análisis - Evaluación de la interferencia que podría ocasionar el servicio de radiodeterminación a sensores activos a bordo de vehículos espaciales que funcionan en la banda 9 300-9 500 MHz y 9 800-10 000 MHz****5.1.1 Enfoque para realizar el análisis**

Se diseñó un modelo de simulación por ordenador, que permitía calcular el nivel de la potencia interferente dependiente del tiempo en el receptor de un sensor activo de SAR a bordo de un vehículo espacial generada por sistemas del servicio de radiodeterminación. Utilizando este modelo de simulación, se acopiaron estadísticas de interferencia para calcular la probabilidad de que se excediera un determinado nivel de potencia interferente y el nivel máximo de potencia interferente en el receptor del SAR.

La Recomendación UIT-R RS.1166 define los criterios de calidad de funcionamiento e interferencia aplicables a sensores activos a bordo de vehículos espaciales. El criterio de degradación inaceptable de la calidad de funcionamiento en los SAR para la formación de imágenes o la interferometría topográfica en la banda 9 500 a 9 800 MHz consiste en un nivel de potencia de cresta o de -104 dB(W/20 MHz), o de -89,9 dB(W/512 MHz), tratándose del SAR3. Este criterio se aplica a fuentes de interferencia impulsivas no moduladas en frecuencia y con duración de impulso de 2 μ s o menos. Para longitudes de impulso superiores a 2 μ s, se obtiene un umbral de interferencia de -102 dB(W/20 MHz). Sin embargo, a efectos de este análisis, se utiliza un criterio de interferencia correspondiente al caso más desfavorable de -104 dB(W/20 MHz).

En la Recomendación UIT-R RS.1166 se proporciona, igualmente, un criterio 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».

Se llevaron a cabo dos conjuntos de simulaciones. En el primero se partió de un funcionamiento en frecuencia copolar y cocanal con una frecuencia central del SAR de 9 600 MHz y un receptor del SAR con una anchura de banda FI de 512 MHz. En el segundo conjunto de simulaciones se empleó el rechazo dependiente de frecuencia (FDR). Se calcularon los niveles de interferencia de una sola fuente interferente, así como los niveles de interferencia agregada de 1 000 sistemas de radar distribuidos aleatoriamente.

Para determinar el impacto de múltiples sistemas de radar sobre el funcionamiento del SAR3, se supuso que un centenar de cada uno de los diez sistemas de radar representativos se habían desplegado en todo el mundo, lo que dio lugar en total a un despliegue de 1 000 sistemas de radar.

Se utilizó un despliegue aleatorio de los sistemas de radar con una distribución uniforme a lo largo de la gama comprendida entre -60° y $+70^\circ$ de latitud y -180° y $+180^\circ$ de longitud. Se modificó ligeramente la distribución aleatoria de los radares, para que los radares fijos estuvieran situados en tierra y todos los radares a bordo de barcos se hubieran situado en mares, lagos o ríos. Los radares a bordo de aeronaves se situaron en todas partes con una altura aleatoria por encima del nivel del mar del orden de 1 a 10 km.

Los ángulos de elevación de la antena de transmisión del radar se eligieron en un principio según se describe a continuación y no se modificaron durante las simulaciones.

- Radar A1 – Los ángulos de elevación se eligieron a partir de un valor aleatorio comprendido entre $\pm 60^\circ$
- Radar A2 – El ángulo de elevación A2 fue de 0° para todos los radares
- Radar A3 – Los ángulos de elevación se eligieron a partir de un valor aleatorio comprendido entre -40° y $+25^\circ$
- Radar A7d – Los ángulos de elevación se eligieron a partir de un valor aleatorio comprendido entre -90° y 0°
- Radar A8 – Los ángulos de elevación se eligieron a partir de un valor aleatorio comprendido entre $\pm 15^\circ$
- Radar G3 – Los ángulos de elevación se eligieron a partir de un valor aleatorio comprendido entre 0° y 90°
- Radar S1 – El ángulo de elevación fue de 3° para todos los radares S1
- Radar S3 – El ángulo de elevación fue de 0° para todos los radares S3
- Radar S6 – El ángulo de elevación para todos los radares S6 fue de 5°
- Radar S7 – El ángulo de elevación para todos los radares S7 fue de 8°

La antena transmisora de cada radar barría en acimut a las tasas indicadas en los Cuadros 5, 6 y 7, partiendo de un acimut elegido aleatoriamente entre los valores comprendidos en el intervalo $\pm 180^\circ$. La orientación de cada radar a bordo de aeronaves y de barcos se seleccionó a partir de valores aleatorios comprendidos entre $\pm 180^\circ$.

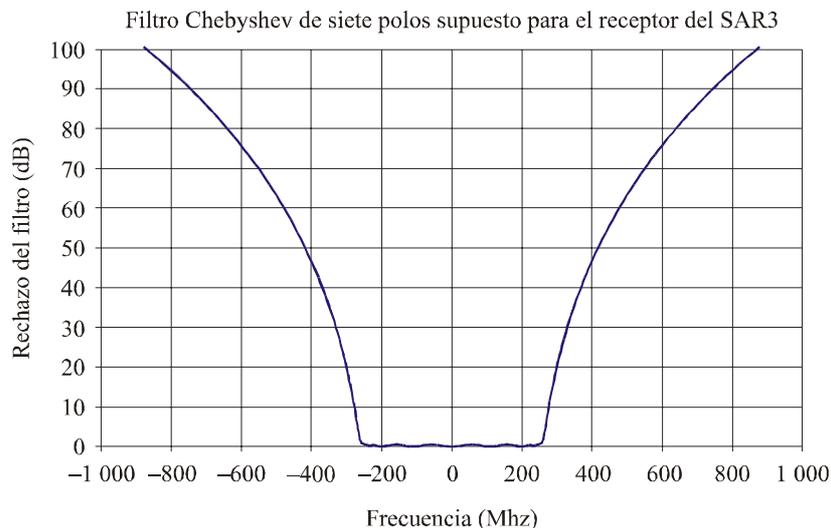
En lo que concierne a las simulaciones con FDR, la frecuencia de recepción del SAR se fija en 9 600 MHz y las frecuencias de transmisión de radar se hacen variar aleatoriamente en cada muestra de tiempos dentro de la gama de sintonización de los radares indicada en los Cuadros 5, 6 y 7. Los valores del FDR, expresados en decibelios, se obtuvieron adoptando el enfoque descrito anteriormente, y se emplearon en los cálculos de la interferencia.

Todas las simulaciones se realizaron en intervalos temporales incrementales de tres segundos durante un periodo de 10 días y en cada incremento se determinó el acimut y la elevación de las antenas de todos los radares, basándose en la tasa de barrido de antena. La distancia entre el receptor del SAR y los transmisores de los radares, se calculó sobre la base de los parámetros orbitales del SAR y la ubicación de la estación de radar correspondiente. La potencia interferente de las estaciones de radar para el SAR víctima se calculó utilizando la ecuaciones (15) y (16) consideradas en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R M.1461-1.

El FDR empleado en el presente análisis consiste en la magnitud de la atenuación de las señales de radar transmitidas que ocasiona el receptor del SAR3. Esta atenuación se divide en dos partes: rechazo en sintonía (OTR) y rechazo fuera de frecuencia (OFR). El FDR se calculó recurriendo a las separaciones en frecuencia y en distancia especificadas por la Recomendación UIT-R SM.337-4.

Como puede verse en la Fig. 1, se supuso que en el receptor del SAR3 existía un filtro Chebyshev heptapolar centrado en 9,6 GHz con una anchura de banda de frecuencia intermedia (FI) a 3 dB de 512 MHz.

FIGURA 1

Filtro Chebyshev del receptor del SAR3

I. 2094-01

Para determinar la densidad espectral de potencia correspondiente a cada transmisor de radar, se utilizaron las formulas extraídas del Anexo 8 (límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para sistemas de radar primario) a la Recomendación UIT-R SM.1541, con el fin de calcular la anchura de banda a 40 dB del impulso emitido por el radar. En el Cuadro 9 se enumeran los parámetros de radar utilizados para calcular la máscara de espectro de las emisiones de radar. En la Fig. 2 pueden verse los gráficos monolaterales de espectro del radar y un régimen de caída de 20 dB por década, a partir de la anchura de banda de 40 dB.

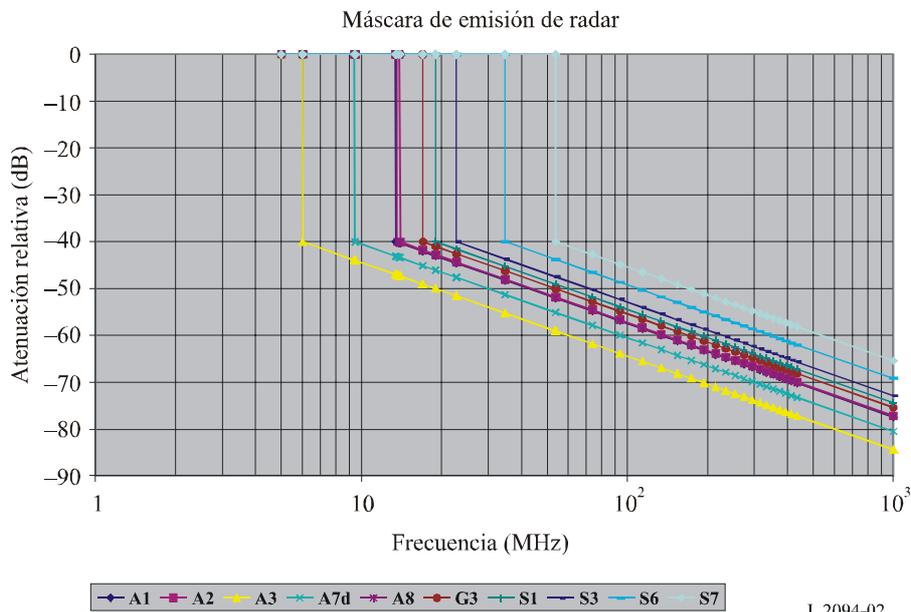
CUADRO 9

Parámetros de radar para calcular el espectro de radiofrecuencia sobre la base de la Recomendación UIT-R SM.1541-1

	Sistema de radar									
	A1	A2	A3	A7d	A8	G3	S1	S3	S6	S7
Potencia de cresta de transmisión (kW)	17	143	95	50	10	31	35	10	25	1,5
Tipo de modulación	Im-pulso	Im-pulso	Im-pulso	LFM	LFM	Im-pulso	Im-pulso	Im-pulso	Im-pulso	Im-pulso
Longitud de impulso (µs)	8,00	2,50	4,0	10,0	17,0	1,0	0,5	1,0	1,2	0,5
Tiempo de incremento del impulso (µs)	0,010	0,020	0,100	0,100	0,100	0,050	0,080	0,028	0,010	0,010
Tiempo de caída (µs)	0,010	0,020	0,100	0,100	0,100	0,050	0,080	0,030	0,010	0,050
Anchura de banda de la fluctuación (MHz)	N/A	N/A	N/A	5	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

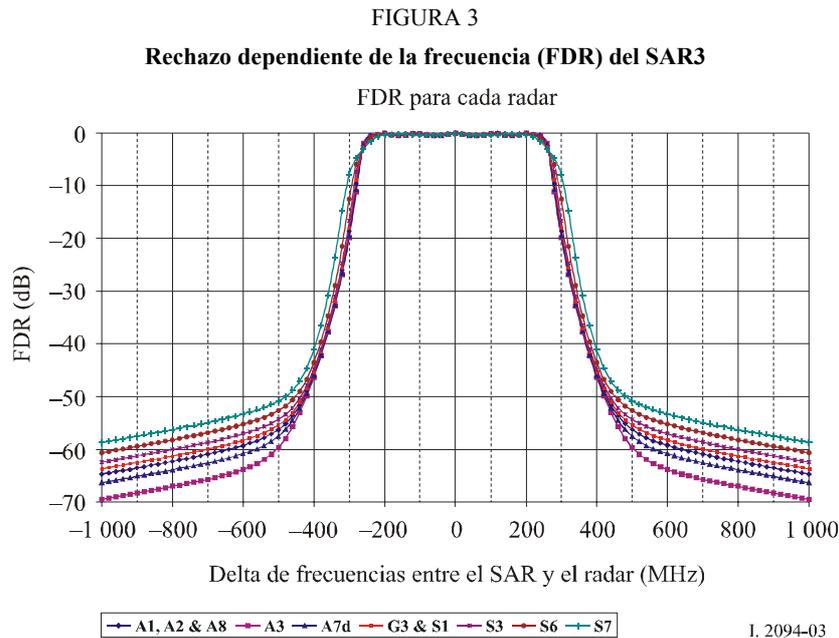
LFM: Modulación lineal de frecuencia
 N/A: No aplicable

FIGURA 2
Gráfico de espectros correspondientes a la transmisión de radar



En la Fig. 3 se indican los gráficos del FDR resultantes, que se han obtenido mediante las ecuaciones consignadas en la Recomendación UIT-R SM.337-4. Hay que señalar que se han combinado en un solo gráfico los radares que arrojan resultados similares en cuanto al FDR. Los gráficos combinados corresponden a los radares A1, A2 y A8; los radares A3 y A7d; y los radares G3 y S1. Los radares S3, S6 y S7 se representan gráficamente de manera individual.

Como puede verse en el centro de la Fig. 3, los valores del FDR son despreciables para separaciones de frecuencia inferiores a ± 250 MHz. Dado que la anchura de banda FI del SAR3 es considerable comparada con las anchuras de banda de transmisión del radar, el componente de rechazo en sintonía de la ecuación correspondiente al FDR es también despreciable. El factor de mayor influencia en el cálculo del FDR fue el rechazo fuera de frecuencia debido a la separación entre la frecuencia central del receptor del radar SAR3 y la frecuencia central del transmisor. Basándose en los resultados obtenidos para el FDR, que pueden verse en la Fig. 3, se diseñó una tabla de consulta en la cual se ponían en relación los valores del FDR y la separación en frecuencia. La tabla se utilizó en la simulación, en la que se hizo variar aleatoriamente la frecuencia de transmisión del radar para cada intervalo temporal de la simulación.

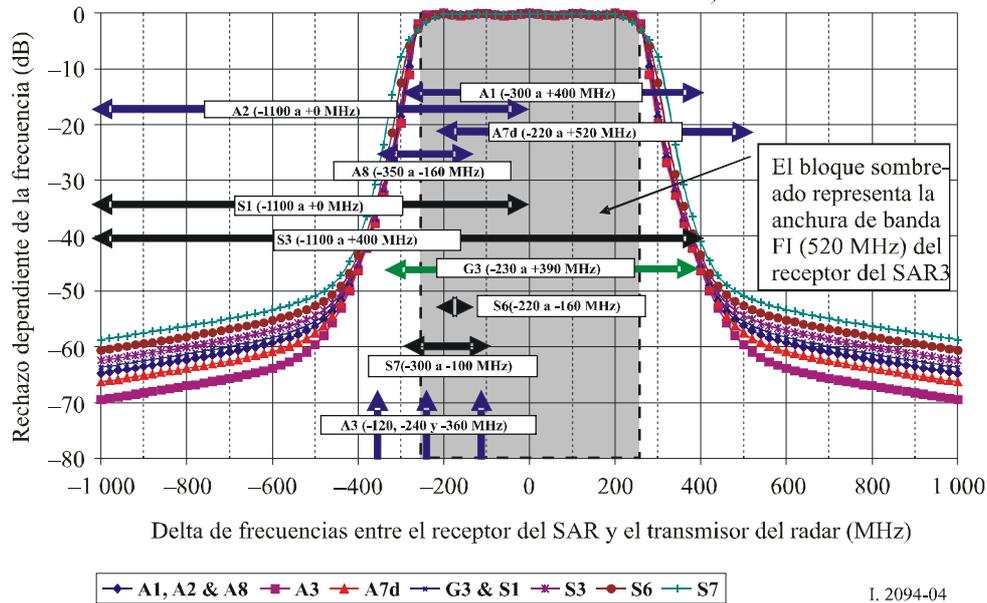


En la Fig. 4 se indica la gama de frecuencias en la que oscilarán las frecuencias centrales del radar. Si se elige una frecuencia del radar en la zona sombreada, no se registrará ninguna diferencia apreciable entre los casos de análisis de cofrecuencia y FDR. Fuera de la región gris, los incrementos del FDR darán lugar a niveles de potencia interferente más bajos en el receptor del SAR.

FIGURA 4

Comparación del FDR del SAR3 y la gama de sintonización del transmisor del radar

Gama de frecuencias de transmisión de los radares y FDR
(se registra un escaso mejoramiento por el hecho de utilizar análisis FDR en lugar de análisis de cofrecuencia en la zona sombreada)

**5.1.2 Resultados del análisis**

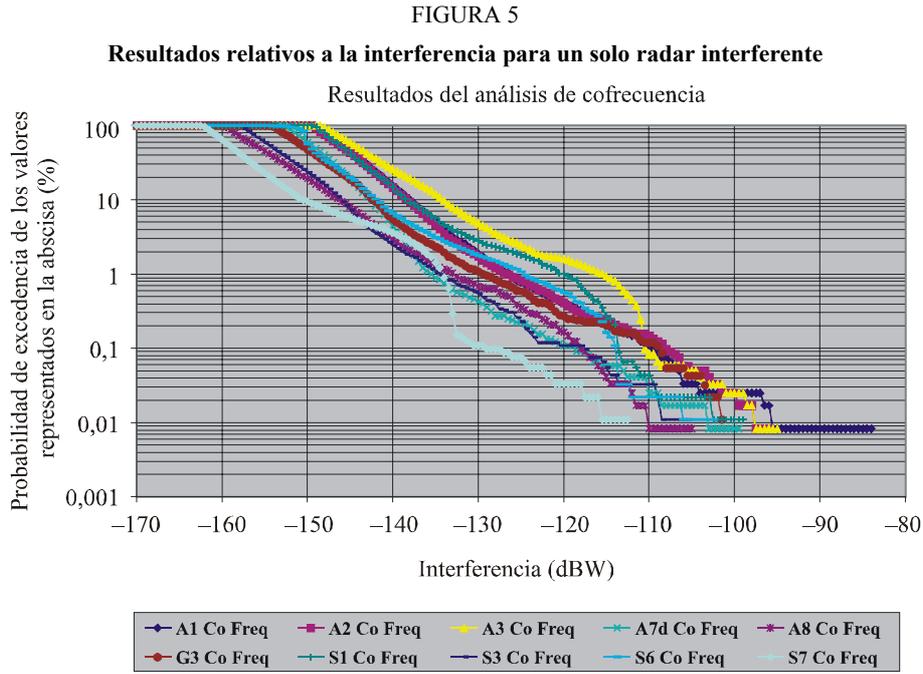
En esta sección se exponen los resultados del análisis de:

- a) Cofrecuencia, para determinar:
 - los niveles de interferencia en el SAR3 ocasionados por cada sistema de radar;
 - niveles de interferencia agregada en el SAR3 ocasionados por 1 000 sistemas de radar distribuidos aleatoriamente.
- b) Rechazo dependiente de la frecuencia (FDR), para determinar:
 - los niveles de interferencia en el SAR3 ocasionados por cada sistema de radar;
 - los niveles de interferencia agregada en el SAR3 ocasionados por 1 000 sistemas de radar distribuidos aleatoriamente.

5.1.2.1 Análisis de cofrecuencia – Para un sólo dispositivo interferente

En la Fig. 5 pueden verse distintos gráficos de la función de distribución acumulada de la interferencia que ocasionan en el SAR a bordo de un vehículo espacial los transmisores de radares a bordo de aeronaves, a bordo de barcos y basados en tierra. En el Cuadro 10 se resumen los datos estadísticos de la interferencia en términos de los niveles de excedencia del 1% y los niveles de interferencia máxima. Los niveles de interferencia máxima para los radares simulados se encuentran muy por debajo del criterio de interferencia de $-89,9 \text{ dB(W/512 MHz)}$ correspondiente al SAR a bordo de un vehículo espacial, excepto en el caso del sistema de radar A1, que sobrepasa dicho criterio en menos del 0,01% del tiempo. En estas simulaciones todos los valores de la interferencia superiores a -300 dBW se incluyeron en las estadísticas acopiadas. Se partió del supuesto de que para valores por debajo de -300 dBW no había visibilidad entre el SAR3 y los radares.

En cada ejecución de la simulación se supuso que el radar se encontraba transmitiendo continuamente desde un sitio fijo, con las siguientes coordenadas: 40° de latitud N y 97° de longitud W.



I. 2094-05

CUADRO 10
Resumen de la interferencia ocasionada a un solo radar SAR3
a efectos del análisis de cofrecuencia

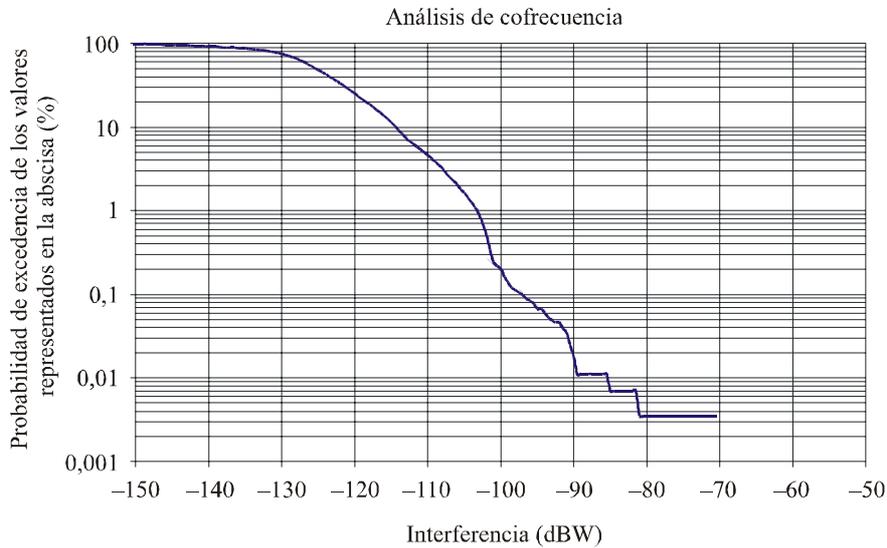
Radares	Valor de la interferencia en el umbral del 1,0% (dBW)	Valor máximo de la interferencia (dBW)
Radares a bordo de aeronaves		
A1	-126,5	-84,0
A2	-127,0	-96,0
A3	-115,5	-95,5
A7d	-135,5	-99,5
A8	-133,0	-105,0
Radares a bordo de barcos		
S1	-120,0	-99,5
S3	-135,0	-106,0
S6	-125,0	-102,5
S7	-133,5	-113,0
Radares basados en tierra		
G3	-129,5	-102,0

5.1.2.2 Análisis de cofrecuencia – Para múltiples fuentes de interferencia

En la Fig. 6 puede verse el gráfico de la función de distribución acumulada de la interferencia agregada ocasionada a un SAR a bordo de un vehículo espacial por un total de 1 000 transmisores de radar a bordo de aeronaves, a bordo de barcos y basados en tierra. En el Cuadro 11 figura un resumen de las estadísticas sobre los niveles máximos de interferencia y el nivel de excedencia

del 1%. De la Fig. 6 se deduce que el criterio de interferencia en el SAR a bordo de un vehículo espacial fue excedido el 0,018% del tiempo.

FIGURA 6
Resultados de la interferencia agregada para 1 000 radares, obtenidos mediante análisis de cofrecuencia



I. 2094-06

CUADRO 11

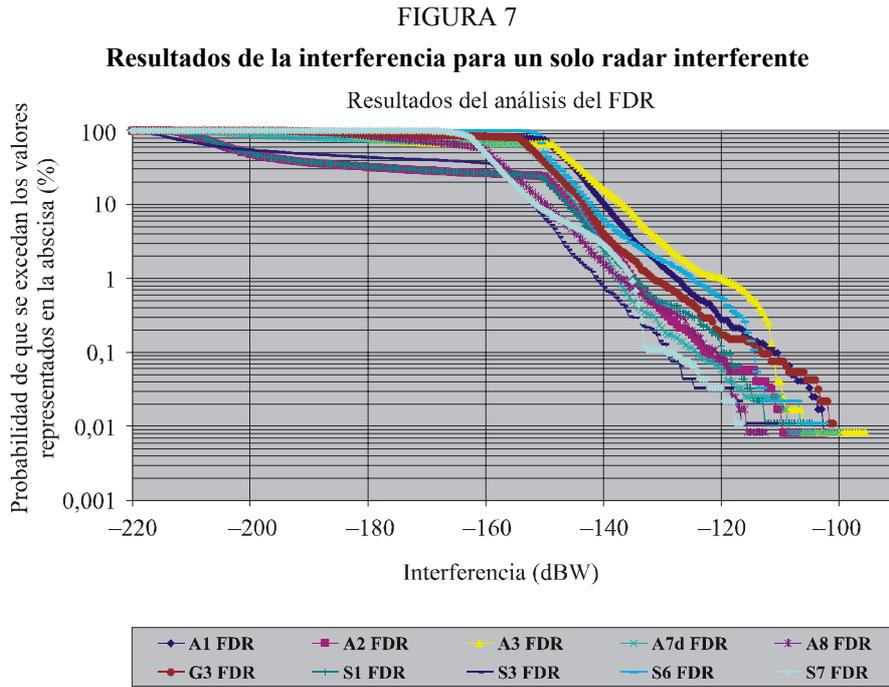
Resumen de la interferencia agregada de los radares contra el SAR3

Valor de la interferencia en el umbral del 1,0% (dBW)	Valor máximo de la interferencia (dBW)	Porcentaje del tiempo en que se recibe el nivel máximo de interferencia
-103,5	-70,5	0,0035%

5.1.2.3 Análisis del FDR – Análisis de la interferencia procedente de una sola fuente

En el análisis de FDR se utilizaron la configuración del despliegue de radares y los supuestos adoptados para realizar el análisis de cofrecuencia. En la Fig. 7 se representan ciertas partes de la función de distribución acumulada de la interferencia ocasionada al SAR a bordo de un vehículo espacial por los transmisores de radares a bordo de aeronaves, a bordo de barcos y basados en tierra. En el Cuadro 12 se resumen las estadísticas sobre los niveles máximos de interferencia y los niveles de probabilidad del 1%. Los niveles máximos de interferencia para todos los radares simulados se encuentran muy por debajo del criterio de interferencia del $-9,9 \text{ dB(W/512 MHz)}$ para el SAR a bordo de un vehículo espacial.

Si se compara la Fig. 7 con los resultados de la simulación cocanal en el punto de probabilidad del 1%, puede verse que el nivel de potencia interferente en el SAR para el caso de la simulación FDR es normalmente inferior al nivel obtenido en la simulación cocanal. La reducción de la potencia interferente, tratándose del FDR, va de 0 dB para el caso del sistema de radar S6 a 15 dB para el sistema de radar S1. El valor del FDR es función de la gama de sintonización del transmisor del radar y se encuentra separado de la frecuencia central de receptor del SAR, como se ilustra en la Fig. 4.



CUADRO 12

Resumen de la interferencia en el SAR3 ocasionada por un solo radar (método FDR)

Radares	Interferencia en el umbral del 1,0% (dBW)	Valor máximo de la interferencia (dBW)
Radares a bordo de aeronaves		
A1	-128,0	-100,5
A2	-135,0	-102,5
A3	-120,0	-95,5
A7d	-137,5	-100,0
A8	-137,5	-112,5
Radares a bordo de barcos		
S1	-135,0	-104,5
S3	-141,5	-111,0
S6	-125,0	-103,0
S7	-135,0	-116,5
Radares basados en tierra		
G3	-132,0	-101,0

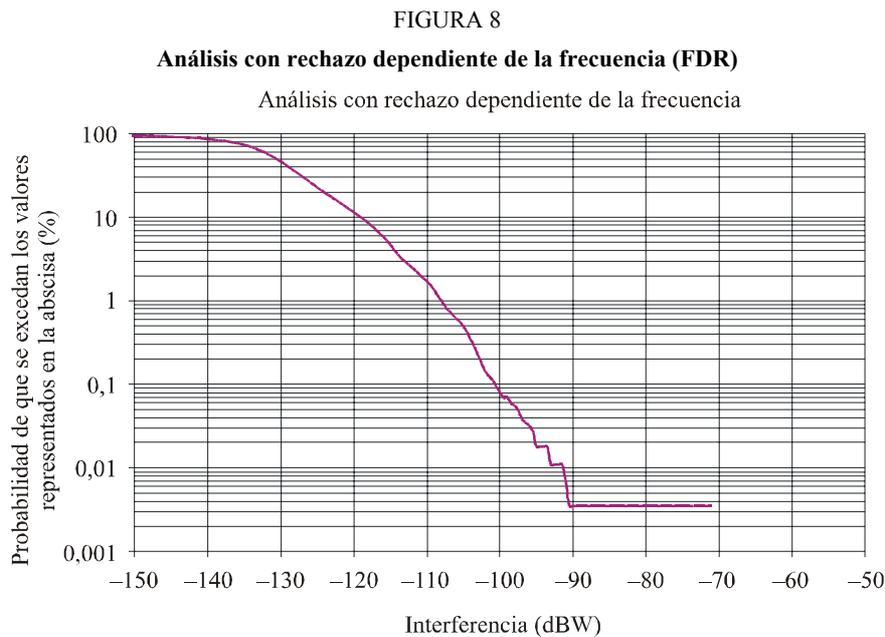
5.1.2.4 Análisis FDR – Análisis de la interferencia ocasionada por múltiples fuentes

En el análisis FDR se utilizaron la configuración de despliegue de radares y los supuestos empleados en el análisis de cofrecuencia. En la Fig. 8 puede verse la función de distribución acumulada de la interferencia agregada que causa a un radar SAR a bordo de un vehículo espacial un total de 1 000 transmisores de radares a bordo de aeronaves, a bordo de barcos y basados en

tierra. En el Cuadro 13 se indica un resumen de las estadísticas de interferencia obtenidas basándose en los niveles máximos de interferencia y el nivel de excedencia del 1%. La Fig. 8 revela que el criterio de interferencia para el SAR a bordo de un vehículo espacial fue excedido el 0,0035% del tiempo. Cuando el FDR se obtiene haciendo saltar aleatoriamente la frecuencia de transmisión del radar, el nivel de la interferencia agregada en el SAR3 es más bajo en aproximadamente 4,5 dB que el punto de excedencia del 1%, cuando se parte de un funcionamiento en cofrecuencia.

5.1.3 Técnicas de mitigación de la interferencia en detrimento de SAR

Aunque los resultados de este estudio indican que no es necesario adoptar técnicas para mitigar dicha interferencia en lo que concierne al servicio de radiodeterminación, las técnicas de procesamiento SAR permiten apreciar la supresión de la interferencia para ciertos tipos de formas de ondas. Los datos sin tratar sobre rango y acimut de un receptor SAR son procesados para obtener una imagen de radar. La frecuencia de un retorno de punto blanco se distribuye linealmente en las dimensiones correspondientes a la distancia y al acimut. El procesador SAR relaciona los datos en ambas dimensiones y la ganancia del procesamiento va atípicamente de 20 a 40 dB, tratándose del eco de retorno. Estas ganancias de procesamiento se toman en consideración para determinar el criterio de interferencia correspondiente a un radar SAR a bordo de un vehículo espacial, según se indica en la Recomendación UIT-R RS.1166.



CUADRO 13

Resumen de la interferencia agregada que ocasionan los radares al SAR3 (método FDR)

Valor de la interferencia en el umbral del 1,0% (dBW)	Valor máximo de la interferencia (dBW)	Nivel porcentual máximo recibido
-108,0	-71,0	0,0035%

5.1.4 Conclusiones del análisis

En el presente estudio se evalúan los niveles de la potencia interferente en el receptor del SAR a bordo de un vehículo espacial que procede de los transmisores de radar del servicio de radiodeterminación a bordo de aeronaves, a bordo de barcos y basados en tierra, que funcionan en la banda 9 300 a 10 000 MHz. Los resultados de la simulación revelan que:

- Los niveles máximos de la interferencia ocasionada por los diferentes sistemas de radares considerados en el presente estudio para realizar la simulación cocanal están muy por debajo del criterio de interferencia de $-89,9$ dB(W/512 MHz) aplicable al SAR a bordo de un vehículo espacial, excepto en el caso del sistema de radar A1, que excede el criterio en menos del 0,01% del tiempo.
- Los niveles máximos de la interferencia ocasionada por los diferentes sistemas de radar considerados en el presente estudio son muy inferiores al criterio de interferencia de $-89,9$ dB(W/512 MHz) aplicable al SAR a bordo de un vehículo espacial, cuando se trata de la simulación con rechazo dependiente de la frecuencia.
- El criterio de interferencia aplicable al SAR a bordo de un vehículo espacial quedó excedido el 0,018% del tiempo cuando se realizó un despliegue mundial aleatorio de 1 000 sistemas de radar que funcionaban en modo cocanal con el SAR3.
- El criterio de interferencia aplicable al SAR a bordo de un vehículo espacial fue excedido el 0,0035% del tiempo, cuando se realizó un despliegue mundial aleatorio de 1 000 sistemas de radares, suponiéndose que los transmisores de radar saltaban aleatoriamente en frecuencia a lo largo de la gama de sintonización especificada.

5.2 Segundo estudio de análisis: Evaluación de la interferencia que pueden producir los radares meteorológicos basados en tierra del SETS en la banda 9 300-9 500 MHz

El potencial de interferencia de los radares meteorológicos basados en tierra se analizó efectuando simulaciones dinámicas. Los parámetros operacionales de los sistemas del SETS (activo) se encuentran muy adecuadamente definidos como también lo están las características de los radares meteorológicos. Sin embargo, el despliegue (número de sistemas, densidad y ubicaciones) de los radares meteorológicos basados en tierra que funcionan en la banda 9 300-9 500 MHz no está bien documentado. Durante un periodo de 20 días se realizaron simulaciones en relación con 30, 60 y 120 radares meteorológicos basados en tierra y situados aleatoriamente en todo el mundo. Se supuso que los radares funcionaban en la banda 9 300-9 500 MHz y que estaban comprendidos íntegramente en la anchura de banda operacional del sistema SAR.

5.2.1 Parámetros simulados del SETS (activo)

Con el fin de realizar este análisis se recurrió a un solo sistema SAR que funcionaba con los parámetros orbitales definidos para el sistema SAR 3 en el Cuadro 1. Por otra parte, para determinar la compatibilidad se utilizó el criterio de $-95,9$ dB(W/512 MHz) para no más del 1% del tiempo. Se acopiaron estadísticas sobre la interferencia agregada en el receptor SAR causada por los radares meteorológicos basados en tierra.

5.2.2 Parámetros simulados de los radares meteorológicos

Se utilizó una hoja de cálculo con la idea de generar aleatoriamente lugares de ubicación de los radares meteorológicos en masas de tierra. Se eligieron también de manera aleatoria la velocidad de rotación de la antena y la elevación inicial para cada radar. Aunque no fue posible identificar el número de radares meteorológicos basados en tierra que funcionaban en la banda 9 300-9 500 MHz, el total parece ir de 30 a 60 radares en todo el mundo. Para tomar en consideración la posible expansión de las operaciones de los radares meteorológicos en la banda 9 300-9 500 MHz, la simulación se llevó a cabo también con 120 radares.

Aunque los radares meteorológicos pueden utilizar diferentes estrategias de barrido de antena, los radares empleados en la simulación se configuraron para llevar a cabo barridos de volumen. Para efectuar un barrido de volumen, el radar se sitúa inicialmente con un grado reducido de elevación (típicamente del orden de $0,5^\circ$), lleva a cabo una rotación completa en elevación, aumenta su elevación en varios grados, realiza otra rotación en acimut y repite esta maniobra hasta llegar a una elevación máxima de 20° a 30° . Acto seguido, la antena regresa a su elevación mínima, y el proceso descrito se inicia una vez más. En la Fig. 9 se representa gráficamente la elevación de la antena para el proceso de barrido de volumen utilizado en las simulaciones.

5.2.3 Resultados

De los resultados de la simulación se desprende que en el actual despliegue de radares meteorológicos (de 30 a 60 radares en todo el mundo) se sobrepasará el criterio interferencia de $-95,9$ dBW aplicable al SAR en un ancho de banda de 512 MHz para no más del 0,015% al 0,025% del tiempo, según puede verse en la Fig. 10; lo que está muy por debajo del requisito de no disponibilidad del 1%. La simulación efectuada con 120 radares redundó únicamente en un ligero incremento de la interferencia ocasionada al sistema SAR y el criterio de interferencia fue excedido el 0,04% del tiempo.

FIGURA 9
Movimiento de elevación de la antena para la estrategia de barrido de volumen seguida en las simulaciones

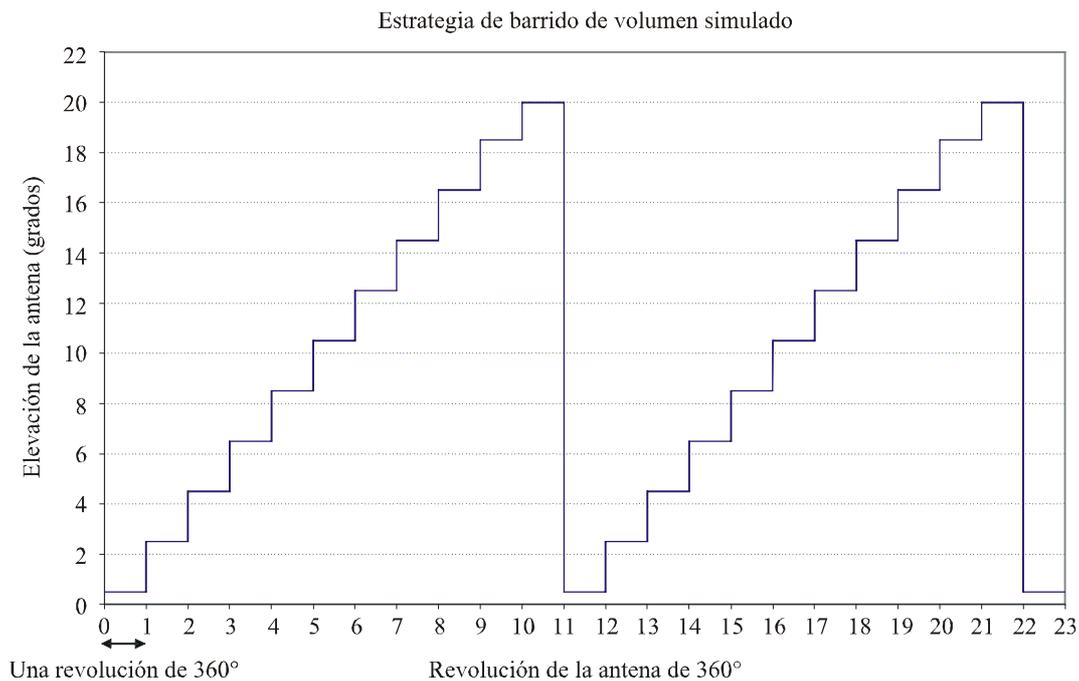
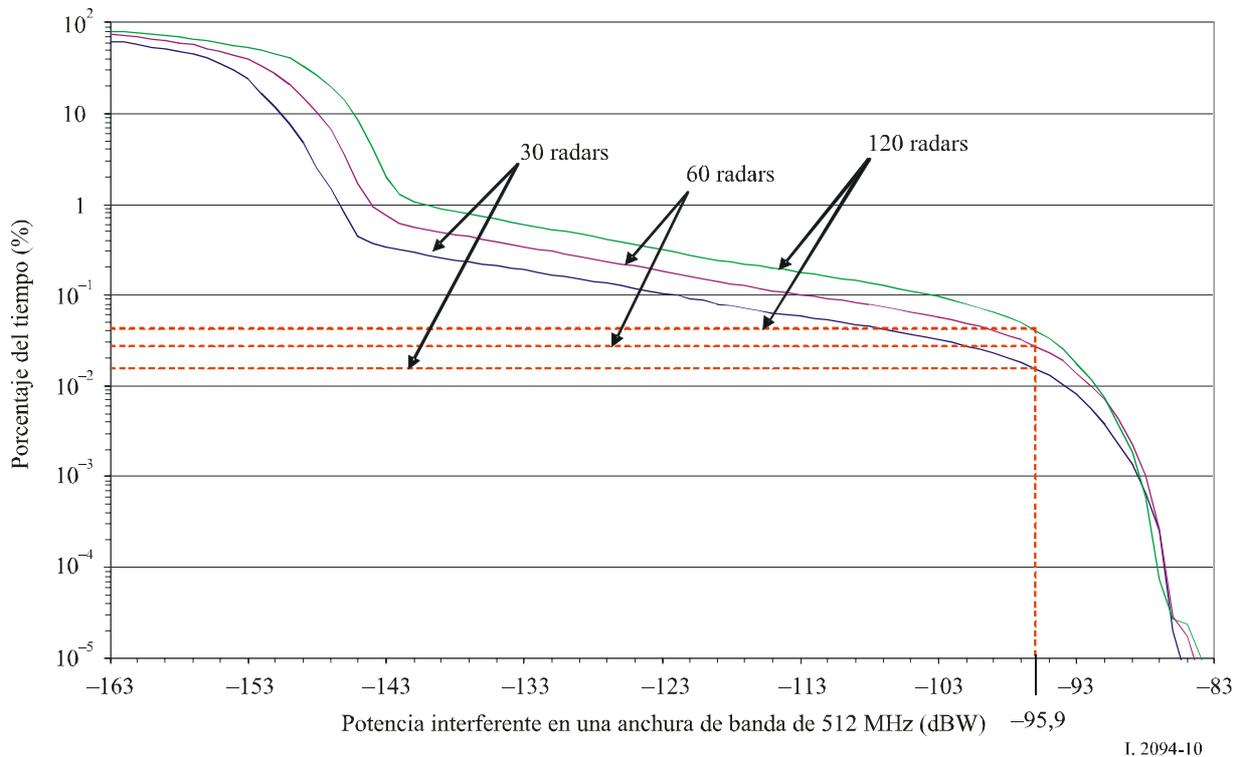


FIGURA 10
Función de distribución acumulada (FDC) para simulaciones con 30, 60 y 120 radares
 Gráfico de la FDC para 30, 60 y 120 radares - 20 días de simulación



I. 2094-10

5.2.4 Conclusiones

Las simulaciones realizadas indican que los niveles de la interferencia ocasionada al SETS (activo) por 30 y 60 radares explotados en todo el mundo sobrepasarán los $-95,9$ dBW para el 0,015% y el 0,025% del tiempo, respectivamente. Asimismo, se efectuó una simulación con 120 radares desplegados aleatoriamente en todo el mundo para arrojar luz sobre la forma en que un incremento de radares podría afectar a las operaciones del SETS (activo) en el futuro. El despliegue aleatorio de 120 radares generó niveles de interferencia agregada de $-95,9$ dBW para el 0,04% del tiempo. Basándose en dichos resultados, se concluyó que la interferencia agregada causada por los actuales y futuros radares meteorológicos basados en tierra está muy por debajo del criterio de interferencia aplicable al SETS (activo). Tratándose del trayecto de la interferencia ocasionada al SETS (activo) a partir de los radares meteorológicos basados en tierra, se llegó a la conclusión de que las operaciones de ambos son compatibles.

5.3 Tercer estudio de análisis: Evaluación de los niveles máximos de la interferencia causada por el SETS (activo) al servicio de radiodeterminación en las bandas 9 300-9 500 MHz y 9 800-10 000 MHz

5.3.1 Enfoque aplicado en el análisis

Se diseñó un modelo de simulación por ordenador que permitía calcular el nivel máximo de la relación interferencia-ruido en los receptores de los sistemas de radiodeterminación en la superficie de la Tierra o un poco por encima de ésta, a partir de un sensor SAR activo en la banda 9 300-9 500 MHz. Aunque el análisis se efectuó utilizando frecuencias dentro de la gama 9 300-9 500 MHz, muchos de los sistemas de radiodeterminación empleados en el análisis funcionan también en la gama 9 800-10 000 MHz. De ahí que se considerasen las características de

En los Cuadros 15, 16, y 17 se señalan los niveles máximos de I/N para los radares a bordo de aeronaves, a bordo de barcos y basados en tierra, respectivamente.

CUADRO 15

**Resumen de la interferencia causada por el SAR
a radares a bordo de aeronaves**

Sistema de radares	Nivel máximo de I/N (dB)
A1	32
A2	38
A8	42
A10	45

CUADRO 16

**Resumen de la interferencia causada por el SAR
a radares a bordo de barcos**

Sistema de radares	Nivel máximo de I/N (dB)
S1	32
S3	37
S4	52
S9	28

CUADRO 17

**Resumen de la interferencia causada por el SAR
a radares basados en tierra**

Sistema de radares	Nivel máximo de I/N (dB)
G2	11
G3	23

5.3.3 Examen de la mitigación de la interferencia

Al evaluar la degradación que experimentan los sistemas de radar en el servicio de radiodeterminación como consecuencia de formas de onda de tipo impulsivo, habría que considerar otros factores, tales como los circuitos para suprimir interferencias y la ganancia de procesamiento de los sistemas de radiodeterminación, con el fin de calcular los efectos de los niveles I/N . Así por ejemplo, de conformidad con la Recomendación UIT-R M.1372, puede utilizarse un discriminador de amplitud de impulso para suprimir la interferencia impulsiva asíncrona en un receptor de radar y, en ciertas condiciones, es posible no seguir procesando una relación I/N de cresta de 14 dB o más en el receptor del radar. Cabe la posibilidad de utilizar también un proceso de tasa de alarmas falsas constante (CFAR) en un receptor de radar para mitigar la interferencia por impulsos asíncronos de

ciclo de trabajo bajo. El proceso CFAR se lleva a cabo para establecer un umbral de detección que se ajuste a los niveles de agrupación e interferencia, según se indica en la Recomendación UIT-R M.1372, y la interferencia impulsiva no afectará al umbral hasta que las relaciones I/N sean de 30 dB o más.

Asimismo, los radares que realizan un procesamiento Doppler de la señal recibida «distribuirán» la señal de impulsos distinta a lo largo de una serie de intervalos Doppler, lo que traerá como resultado un nivel de la señal interferente promediado. El recurso a la potencia media del SAR y no así a la potencia de cresta en el presente estudio permitiría reducir los niveles de interferencia potencial en unos 23 dB.

Los niveles de supresión de la interferencia varían según sea el sistema de radar considerado y los niveles de supresión reales sólo podrán determinarse efectuando pruebas de calidad de funcionamiento con la forma de onda SAR propuesta. Está previsto probar las formas de onda del SETS con varios tipos de sistemas de radar, incluidos los de radionavegación marina, el equipo de detección en superficie en aeropuertos (ASDE) y los radares meteorológicos a bordo de aeronaves y basados en tierra. En estas pruebas se utilizarán formas de onda del SETS que produzcan niveles de I/N indicados en los Cuadros 15, 16 y 17.

Los estudios y pruebas realizados anteriormente utilizando un radar de vigilancia aérea que disponía de procesamiento CFAR y una forma de onda SAR específica, permitieron determinar que se requería una relación I/N de aproximadamente +35 dB para degradar significativamente la calidad de funcionamiento de los radares. Las técnicas de mitigación de la interferencia aplicadas y la ganancia de antena obtenida en el receptor del radar permitieron, antes que cualquier otro factor, que el receptor pudiera resistir una relación I/N de 35 dB, debido a la forma de onda SAR.

5.3.4 Conclusiones del análisis

En el estudio se evaluaron los niveles de I/N a la entrada de un receptor de radar causados por el SAR a bordo de un vehículo espacial que funcionaba en modo cocanal en la banda 9 300 a 9 500 MHz. Dado que muchos sistemas de radiolocalización utilizados en el estudio funcionan también en la gama 9 800-10 000 MHz, los resultados obtenidos pueden aplicarse igualmente a la banda 9 800-10 000 MHz. En la Recomendación UIT-R M.1461 se señala que el efecto de la interferencia impulsiva es más difícil de cuantificar y que depende en grado apreciable del diseño del receptor/procesador y del modo de funcionamiento. En particular, las ganancias de procesamiento diferenciales para el retorno de blancos válidos, retorno que tiene lugar por impulsos sincronizados, y los impulsos de interferencia, los cuales suelen ser asíncronos, a menudo inciden de manera considerable en los efectos de los niveles dados de interferencia impulsiva.

Existen diferentes formas de degradación de la calidad de funcionamiento que pueden ser motivados por esta desensibilización. Evaluar dicha degradación será un objetivo del análisis de la interacción entre diferentes tipos de radares. En general, cabe esperar que muchas características de los radares de radiodeterminación contribuyan a suprimir la interferencia impulsiva de ciclo de trabajo bajo, especialmente la procedente de unas cuantas fuentes aisladas. Las técnicas de supresión de esa interferencia se describen en la Recomendación UIT-R M.1372.

5.4 Cuarto estudio de análisis: Análisis de la interferencia potencial causada por el SETS (activo) a los radares meteorológicos basados en tierra que funcionan en el servicio de radiolocalización en la banda 9 300-9 500 MHz

Los resultados del análisis de la compatibilidad entre los radares meteorológicos basados en tierra y el SETS se obtuvieron realizando simulaciones dinámicas con un paquete de programas adquirido en el comercio. En este estudio se consideró únicamente la interferencia ocasionada por el SETS a los radares meteorológicos basados en tierra. Se ejecutaron simulaciones durante un período de unos 23 días en cada escenario. El análisis mencionado se dividió en dos partes. En la primera de

ellas, un análisis preliminar, se asumieron valores de protección I/N de -6 dB y $+10$ dB para determinar rápidamente si podría plantearse un problema de contabilidad. Basándose en el hecho de que los resultados indicaban que podían excederse los umbrales de I/N de -6 dB y $+10$ dB durante intervalos significativos de tiempo, en la segunda parte se llevó a cabo un análisis adicional con el fin de determinar la capacidad de los radares meteorológicos para mitigar niveles más elevados de interferencia.

5.4.1 Análisis preliminar

En esta parte del análisis se hizo el supuesto básico de que el radar víctima no podía mitigar altos niveles de interferencia impulsiva.

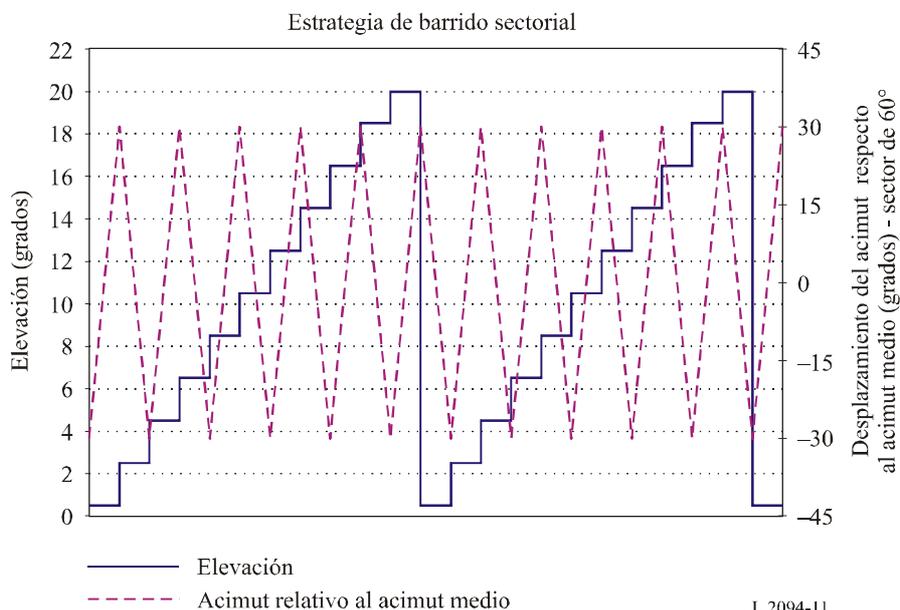
5.4.1.1 Parámetros de los radares meteorológicos basados en tierra

Los radares pueden funcionar en diferentes modos y aparejar, por tanto, diferentes velocidades de rotación de la antena, así como distintas estrategias de movimiento de la misma. La estrategia de barrido más común es un barrido de volumen, en el cual el radar ejecuta una serie de rotaciones completas de la antena a incrementos del ángulo de elevación que van de prácticamente 0° a un máximo de 20° a 30° . En la Fig. 9 del § 5.2.2 puede verse un gráfico representativo de la estrategia de barrido de volumen de la antena que se lleva a cabo en las simulaciones con barridos de volumen.

Los radares meteorológicos basados en tierra pueden desempeñar, igualmente, otras estrategias de barrido para atender a necesidades operacionales específicas. Si se desea supervisar muy de cerca una zona determinada de la atmósfera, el radar puede realizar barridos de sector o funcionar en modo proyector. En el modo de barrido de volumen sectorial, la antena se concentra en un sector acimutal y pasa ulteriormente por una serie de fases de elevación. En el modo proyector, se mantiene constante en acimut la elevación de la antena para iluminar una reducida zona de la atmósfera durante un largo periodo de tiempo. Por lo que hace al estudio que se describe, el barrido de volumen sectorial se simuló barriendo una gama de acimuts de 60° que iba de $\pm 30^\circ$ en torno al valor medio acimutal. Se ejecutaron varias simulaciones con valores medianos de acimut de 0° , 90° y 135° . En la Fig. 11 se representa gráficamente la estrategia de barrido de volumen sectorial utilizada en las simulaciones.

FIGURA 11

Movimiento de la antena de barrido sectorial en la simulación (sector con anchura de 60°)



Como puede verse en el Cuadro 7, en el sistema de radar G9 se utiliza una gama de velocidades de rotación de la antena. Las estrategias de barrido en volumen y de barrido de sector se simulan a velocidades de rotación de la antena de 5°/s y 20°/s. Se parte del supuesto de que el radar meteorológico basado en tierra permanece fijo en el sitio donde está situado. En las simulaciones se recurrió a tres sitios de ubicación del radar, ya que la latitud del radar puede afectar el tiempo durante el cual el SAR será visible por el radar. Se ejecutaron simulaciones con el radar situado en lugares de latitud baja, media y elevada (0°, 45° N y 60° N), respectivamente. Como la anchura de banda FI es ajustable, habría que efectuar un gran número de simulaciones para tener en cuenta todas las posibles combinaciones. Se utilizó una anchura de banda FI de radar de 10 MHz para obtener resultados que indicasen la interferencia potencial en el caso más desfavorable.

5.4.1.2 Parámetros del SAR

Se simularon las características orbitales del SAR, recurriendo a cuatro SAR separados en 90° en longitud. El SAR utiliza ondas continuas moduladas linealmente en frecuencia, cuando la duración de los impulsos varía entre 1 y 10 μs. Con el fin de limitar el número de simulaciones se recurrió a una anchura de impulso de 10 μs, lo que corresponde al RDF más bajo y al caso de compartición más desfavorable. Se supuso un funcionamiento en cofrecuencia con el radar meteorológico. Se efectuaron pruebas que indicaron que la anchura efectiva de impulso de una forma de onda fluctuante se encuentra comprendida en una anchura de banda que es muy superior a la anchura de banda recibida, la cual se redujo en respuesta a los circuitos FI del receptor. Así pues, se reducirá considerablemente la anchura del impulso fluctuante de 10 μs del SAR 3 dentro del receptor del radar meteorológico. Esto podría contribuir a mejorar la compatibilidad entre los sistemas.

5.4.1.3 Rechazo dependiente de la frecuencia

El rechazo dependiente de la frecuencia (RDF) entre la fuente de la interferencia y un receptor víctima es una combinación de dos factores: el rechazo fuera de frecuencia (OFR) y el rechazo fuera de sintonía (OTR):

$$FDR = OFR + OTR$$

En el presente caso, en que el SAR y el radar funcionan en cofrecuencia, el valor del OFR es cero.

El OTR de las señales fluctuantes se calcula de la siguiente forma:

$$OTR = 10 \log (B_c / (B_R^2 T)) \quad \text{para } B_c / (B_R^2 T) > 1$$

donde:

T : anchura de impulso fluctuante (s)

B_c : anchura de banda fluctuante del transmisor para la anchura de impulso, T (Hz)

B_R : anchura de banda del receptor, 3 dB.

Tratándose de la anchura de banda del radar meteorológico elegido (10 MHz) y de la anchura de impulso fluctuante del SAR elegido (10 μs), el OTR adopta un valor cero. En las simulaciones se asignó al FDR un valor de 0 dB.

5.4.1.4 Resultados del análisis

Como la capacidad de un radar meteorológico basado en tierra para mitigar la interferencia producida al SAR era desconocida en el momento en que se obtuvieron los resultados iniciales, se empleó una relación I/N genérica de -6 dB con propósitos de referencia. Dicha relación genérica se asoció con una señal interferente de onda continua o semejante al ruido, y podría no resultar aplicable a una señal del SAR a bordo de un vehículo espacial, por ser una señal impulsiva fluctuante. Hay que señalar que en el radar utilizado en el presente análisis y en otros tipos de

radares meteorológicos basados en tierra que funcionan en la banda considerada pueden no aplicarse las técnicas de mitigación de la interferencia descritas en la Recomendación UIT-R M.1372 para eliminar los efectos de la interferencia impulsiva. Los resultados iniciales aquí presentados no deberían utilizarse para determinar la compatibilidad basada en el procesamiento de la señal.

5.4.1.5 Resultados referentes al barrido de volumen del radar

En el Cuadro 18 se presentan los resultados de las simulaciones del barrido de volumen. Los intervalos de tiempo resultan independientes del valor máximo de la relación I/N . Estos intervalos permiten darse una idea aproximada del periodo en que el operador de radar puede experimentar la interferencia procedente de un SAR antes de aplicar a los resultados el análisis ganancia de procesamiento o técnicas de mitigación. En el Cuadro 18 se indican los datos sobre umbral de la relación I/N de $+10$ dB para arrojar luz sobre la forma en que los resultados quedarán afectados por la capacidad potencial del radar para mitigar los efectos de la interferencia a niveles de I/N superiores a -6 dB. Del mismo modo que ocurre con el nivel de -6 dB de la relación I/N , el nivel de $+10$ dB no es significativo y se ha elegido únicamente para ilustrar el hecho de que, como el radar puede soportar un nivel de interferencia mayor, el número de eventos de interferencia y la duración de la misma se modifican.

En los Estados Unidos los radares meteorológicos basados en tierra que funcionan en esta banda se utilizan por lo general para la investigación atmosférica y otras aplicaciones que pueden resistir y, de hecho, resisten, ciertos periodos de interferencia impulsiva. Es posible, además, que otras administraciones cuenten con requisitos de protección más estrictos para los radares que funcionan en la banda 9 300-9 500 MHz.

CUADRO 18

Resultados de la simulación con barrido en volumen

Velocidad de la rotación, 5°/s							
Ubicación del radar	Relación I/N máxima (dB)	Duración más larga por encima de $I/N = -6$ dB (s)	Duración media por encima de $I/N = -6$ dB (s)	Número de eventos con $I/N > -6$ dB durante un periodo de 23 días	Duración más larga por encima de $I/N = +10$ dB (s)	Duración media por encima de $I/N = +10$ dB (s)	Número de eventos con $I/N > +10$ dB durante un periodo de 23 días
Latitud baja	23,8	0,55	0,34	225	0,40	0,22	139
Latitud media	27,3	2,50	0,38	366	0,35	0,22	231
Latitud alta	24,6	0,55	0,34	488	0,40	0,22	371
Velocidad de la rotación, 20°/s							
Latitud baja	23,9	0,15	0,09	853	0,10	0,06	523
Latitud media	24,2	2,5	0,10	1321	0,10	0,06	836
Latitud alta	24,2	0,15	0,09	2205	0,01	0,06	1330

Los resultados expuestos en el Cuadro 18 indican que el radar meteorológico basado en tierra podría experimentar valores máximos I/N del orden de 24 a 27 dB si funcionase en un modo típico de barrido en volumen. Cabe la posibilidad de ejecutar un número limitado de simulaciones para confirmar que el número de eventos de interferencia es directamente proporcional al número de SAR utilizados en la simulación. Los resultados revelan que el número de eventos se redujo en un factor de 4 cuando se utilizó un solo SAR, pero los niveles máximos y las duraciones siguieron siendo aproximadamente las mismas.

5.4.1.6 Resultados del barrido de volumen sectorial con el radar

En el Cuadro 19 se presentan los resultados de la simulación de un radar que funcionase en modo de barrido en volumen sectorial. En dicho modo no cambia ninguna de las características del receptor del radar. La antena se mueve con arreglo a la pauta indicada en la Fig. 11. La simulación se ejecutó únicamente para un lugar situado a 45° de latitud.

CUADRO 19

Resultados de la simulación de barrido sectorial (45° de latitud)

Acimut inicial/final en un sector de 60°	Velocidad de rotación, 5°/s			Velocidad de rotación, 20°/s		
	I/N máx. (dB)	Duración más larga por encima de $I/N = -6$ dB (s)	Duración media por encima de $I/N = -6$ dB (s)	I/N máx. (dB)	Duración más larga por encima de $I/N = -6$ dB (s)	Duración media por encima de $I/N = -6$ dB (s)
Sector norte (330° a 60°)	24,0	2,50	0,36	28,3	2,50	0,10
Sector este (60° a 120°)	23,6	2,50	0,37	24,3	2,50	0,10
Sector sudeste (105° a 165°)	24,1	2,50	0,38	23,0	2,50	0,10

5.4.1.7 Resultados del funcionamiento del radar en modo proyector

En el Cuadro 20 se presentan los resultados de la simulación obtenidos con un radar que funcionaba en modo proyector. Los radares meteorológicos basados en tierra que funcionan en la banda 9 300-9 500 MHz con propósitos de investigación atmosférica se utilizarán periódicamente en modo proyector, modo según el cual se ilumina un punto de la atmósfera durante un largo periodo de tiempo. Durante esta operación no se modifica la elevación de la antena ni el acimut. Se ejecutaron simulaciones con el radar situado en un lugar a 45° de latitud y la antena se mantuvo en un acimut y una elevación fijos. Se utilizaron acimuts de 0° N y 90° E y elevaciones de antena de 0,5°, 20° y 45°.

CUADRO 20

Resultados de la simulación en modo proyector (únicamente a 45° de latitud)

	Acimut (N) de 0°			Acimut (E) de 90°		
	<i>I/N</i> máx. (dB)	Duración más larga por encima de <i>I/N</i> = -6 dB (s)	Duración media por encima de <i>I/N</i> = -6 dB (s)	<i>I/N</i> máx. (dB)	Duración más larga por encima de <i>I/N</i> = -6 dB (s)	Duración media por encima de <i>I/N</i> = -6 dB (s)
Elevación de la antena, 0,5°	17,0	23,0	14,0	18,0	13,55	7,14
Elevación de la antena, 20°	24,6	11,75	6,98	15,6	5,65	2,83
Elevación de la antena, 45°	24,5	4,75	3,36	3,3	2,5	1,86

5.4.1.8 Conclusión del análisis preliminar

Llegar a la conclusión de que existe compatibilidad entre el SETS y los radares meteorológicos basados en tierra es una tarea difícil, si no se entiende más adecuadamente la capacidad del radar meteorológico para mitigar los efectos de la interferencia SAR. A los efectos de este estudio, se utilizaron umbrales genéricos de *I/N* de -6 dB y +10 dB, para obtener datos durante los intervalos de tiempo en que el SAR podría afectar el funcionamiento del radar. Lo más probable es que ninguno de los umbrales sea el idóneo y que tal vez haya que buscarlo en la gama de 0 dB a +40 dB de la relación *I/N*. En este estudio se señaló que la relación *I/N* máxima sería de +28,3 dB, y que los niveles de cresta estarían próximos a una relación *I/N* de +24 dB. Estos resultados corresponden a una interferencia impulsiva y los umbrales típicos de -6 dB o -10 dB de *I/N* no rigen aquí ya que sólo resultan aplicables para la interferencia con características de ruido y para la interferencia de onda continua. La diferencia en cuanto a la duración de la interferencia, cuando se utiliza un criterio de protección de -6 dB u otro de +10 dB es marginalmente significativa. La utilización de un criterio de +10 dB reduce la duración de la interferencia en aproximadamente el 30%-36%. El criterio de protección más elevado de los dos mencionados afecta de manera más significativa el número de eventos de interferencia. Para reducir de manera apreciable la duración y el número de los eventos de interferencia, los radares meteorológicos deberían ser capaces de resistir niveles de *I/N* superiores a +10 dB.

5.4.2 Factores adicionales para mitigar la interferencia causada a los radares meteorológicos

Los resultados de los análisis preliminares indican que, si los radares meteorológicos no tienen capacidad para mitigar la interferencia impulsiva, podría ser problemática la compatibilidad entre el SETS y los radares meteorológicos basados en tierra. En esta sección se evalúa más a fondo la capacidad de los radares meteorológicos para funcionar en presencia de señales interferentes impulsivas del SETS (activo). En el análisis inicial no se tomó en consideración la interferencia impulsiva resultante del procesamiento normal de los datos de los radares meteorológicos, ni tampoco las características operacionales del SETS. En esta sección se abordan estos factores detalladamente. Ahora bien, no se tienen en cuenta las técnicas intencionales de mitigación que podrían implementarse, ya que por regla general no se utilizan en los radares meteorológicos, ya que degradan su calidad de funcionamiento.

5.4.2.1 Periodos operacionales en el SETS (activo)

Debido al nivel de potencia que requiere el funcionamiento del SAR, la idea es que el SETS funcione únicamente durante un máximo del 20% del tiempo. Este ciclo de trabajo operacional difiere del ciclo de trabajo impulsivo y es el porcentaje de tiempo en el que el SAR se encontraría funcionando para recoger datos. Dentro de un periodo de un año (8 766 horas) el SAR funcionaría sólo un máximo de 1 753 horas, lo que reduciría en gran medida el número de eventos de interferencia. Durante el funcionamiento del SAR, los niveles máximos de interferencia se registrarían para los intervalos de tiempo indicados en los Cuadros 18, 19 y 20. En las simulaciones preliminares se partió del supuesto de que el SAR funcionaba continuamente durante el periodo de simulación, por lo cual fue posible reducir en un factor de 5 el número de eventos de interferencia.

5.4.2.2 Consideraciones de rechazo en sintonía

Para realizar rápidamente un análisis preliminar, se consideró únicamente la situación de compartición correspondiente al caso más desfavorable. Se determinó que la anchura de banda FI del radar meteorológico debería ser de 10 MHz, lo que redundaría en un valor de 0 dB para el rechazo en sintonía. (La investigación ulterior demostró que la anchura de banda FI de 10 MHz es superior a la utilizada típicamente en la mayoría de los radares meteorológicos.) En efecto, éstos tienen normalmente una anchura de banda FI dentro de la gama de frecuencias de 1 a 4 MHz, lo que mejora la situación de compartición. Dada una variación de 1 a 10 μ s en lo que respecta a la anchura de impulso del SAR, una anchura de banda FI de 4 MHz daría lugar a un rechazo en sintonía de 14,5 a 4,5 dB. Ahora bien, una anchura de banda FI menor acrecentaría la sensibilidad del radar, reduciendo el ruido de fondo de éste en 4 dB. Así pues, es posible contar con un mejoramiento de 10,5 a 0,5 dB, en comparación con la situación de compartición anteriormente analizada, debido al OTR. Para una anchura de banda FI de 1 MHz del radar meteorológico, el mejoramiento de la compartición, teniendo en cuenta el OTR y un menor ruido de fondo del radar, sería de 6,5 a 15,5 dB. En el Cuadro 21 puede verse un resumen de las anchuras de banda FI, los niveles de ruido del receptor y los valores OTR conexos.

CUADRO 21

Valores del rechazo en sintonía

Anchura de banda de la fluctuación, SAR (MHz)	Anchura de impulso, SAR (μ s)	Anchura de banda FI del radar meteorológico (MHz)	OTR (dB)	Ruido de fondo del radar (dBm)
450 MHz	1,0	1 MHz	25,5	-110
	5,0		19,5	
	10,0		16,5	
	1,0	4 MHz	14,5	-104
	5,0		7,5	
	10,0		4,5	
	1,0	10 MHz	6,5	-100
	5,0		0,0	
	10,0		0,0	

5.4.2.3 Obtención de los niveles de la relación I/N para la interferencia impulsiva

Los radares meteorológicos procesan los retornos de la señal para medir pautas de precipitación y de vientos. Este procesamiento entraña la recogida y procesamiento de productos básicos: reflexibilidad, velocidad radial media y anchura de espectro. Dicho de forma más simple, el radar promedia una muestra de los retornos de la señal con el fin de realizar las estimaciones necesarias para la obtención de los productos meteorológicos. La función de promediación dará al radar meteorológico la posibilidad de procesar niveles de interferencia impulsiva más elevados que los correspondientes a las señales interferentes por onda continua o con características de ruido.

Los radares meteorológicos procesan múltiples retornos de impulsos dentro de un intervalo de distancias para formar una muestra del tamaño que defina el usuario. Los retornos múltiples de impulsos que constituyen la muestra se promedian para obtener un valor estimado de esa muestra. Los sistemas del SETS y los radares meteorológicos propuestos funcionan en frecuencias de repetición de impulsos muy diferentes, por lo cual la probabilidad de que más de un impulso interferente caiga dentro de la muestra de un solo radar meteorológico es reducida, dada una muestra de tamaño también pequeño. El objetivo es determinar el nivel máximo de un solo impulso que no corrompa la media de tamaños de la muestra, dejando al margen los objetivos de calidad de funcionamiento del radar en cuanto a la obtención de los productos básicos.

La determinación de un criterio de protección hace necesario entender lo que significa el nivel de ruido en el receptor del radar, la relación mínima S/N utilizada para el procesamiento y los requisitos de exactitud aplicables a los productos básicos del radar (reflectividad, velocidad radial media y anchura del espectro). Como en la banda examinada funciona una serie de radares meteorológicos, habría que hacer varias hipótesis. En el receptor del radar utilizado en el análisis el ruido de fondo es de -110 dBm en la menor anchura de banda FI. No es fácil procurarse los requisitos de exactitud correspondientes a los productos básicos de los radares que funcionan en esta banda, pero puede suponerse que resultan aplicables los valores de exactitud definidos en el Anexo 3 a la Recomendación UIT-R M.1464. La relación mínima S/N sería probablemente el valor más difícil de calcular por no disponerse de una referencia a radares específicos. Para radares que funcionan en la banda 2 700-2 900 MHz, se aplican relaciones S/N de 0 a -3 dB, ya que los radares de frecuencia más baja se utilizan por regla general para la detección a distancias largas. Los radares meteorológicos que funcionan en las bandas 9 300-9 500 MHz se emplean normalmente para distancias cortas y detección con mayor resolución, y pueden funcionar con relaciones mínimas S/N más elevadas. A los efectos del presente análisis, se parte del supuesto de una relación S/N de $+3$ dB.

Como se indica en el Anexo 3 a la Recomendación UIT-R M.1464, se supone que el límite máximo de reflectividad de un radar meteorológico será de 1 dB, lo que se traduce en una relación interferencia-signal (I/S) mínima de 0,26, o en una relación de potencia de 1,26. Asimismo, se supone una muestra de reflectividades de tamaño 25. Es posible partir de una muestra mayor, reduciendo en mayor medida los efectos de un impulso único, siempre que se tome en consideración el hecho de que una muestra más grande aumenta la probabilidad de que se registre en la misma muestra un segundo impulso interferente:

$$\frac{25 * S_{mín} + P_i}{25 * S_{mín}} = 1,26 \quad \text{o} \quad P_i = 6,5 S_{mín} \quad (1)$$

donde:

- $S_{mín}$: nivel mínimo de la señal recibida
- P_i : potencia de cresta de la señal impulsiva interferente.

En consecuencia:

$$P_i = S_{mín} + 8,2 \text{ dB} \quad (2)$$

Como se dijo antes, se parte del supuesto de una relación señal-ruido mínima de 3 dB para los radares que funcionan en la banda 9 300-9 500 MHz, lo que apareja una relación interferencia-ruido máxima de 11,2 dB, tratándose de las señales impulsivas del SETS.

5.4.2.4 Reducción del ciclo de trabajo impulsivo fluctuante del SETS en el filtro FI del radar víctima

Los resultados de las pruebas revelan la capacidad que tiene el receptor víctima de reducir efectivamente en la fase de filtrado FI la anchura de impulso de una señal fluctuante. Los resultados de las pruebas preliminares indican que, dependiendo de la tasa de fluctuación de la señal interferente, la anchura de impulso de esta señal podría reducirse de la siguiente forma:

Para tasas bajas de fluctuación de la señal ($\sim < 5 \text{ MHz}/\mu\text{s}$) el factor de reducción de la anchura de impulso es:

$$C \approx \frac{B_{FI}}{B_c} \quad (3)$$

donde:

B_{FI} : anchura de banda FI del receptor víctima

B_c : anchura de banda de la fluctuación de la señal interferente.

Para tasas elevadas de fluctuación de la señal ($\sim > 40 \text{ MHz}/\mu\text{s}$) el factor de reducción de la anchura es el siguiente:

$$C \approx \frac{2 * B_{FI}}{B_c} \quad (4)$$

En consecuencia, basándose en el SAR 3 ($B_c = 450 \text{ MHz}$) utilizado en las simulaciones anteriores, cabe predecir una reducción mínima del ciclo de trabajo. En el Cuadro 22 se indican los factores de reducción del ciclo de trabajo para tasas bajas y elevadas de fluctuación de la señal.

CUADRO 22

Factores de reducción del ciclo de trabajo (para $B_c = 450 \text{ MHz}$)

B_{FI} (MHz)	Bajo ritmo de fluctuación	Alto ritmo de fluctuación
1,0	0,0022	0,0044
4,0	0,0089	0,018
10,0	0,022	0,044

En la Sección 5.4.2.3 se examinó el hecho de que los radares meteorológicos promediaban los retornos de impulso de una muestra dentro de un intervalo de distancias para obtener estimaciones de los productos básicos. No resulta claro qué efecto tendría la reducción del ciclo de trabajo, ya que los retornos de impulso de la muestra se promedian en el intervalo de distancias. La reducción del ciclo de trabajo de la interferencia se traduciría directamente en una reducción de la susceptibilidad a la interferencia, puesto que el nivel de potencia sería menor en el intervalo de distancias. De ser así, si los factores de reducción del ciclo de trabajo van de 0,0022 a 0,044, esto se traduciría en una mejora de la mitigación de la interferencia de 26,6 a 13,6 dB, respectivamente. Sin embargo, es probable que estos valores resulten demasiado favorables, por lo cual el asunto requeriría mayor estudio.

5.4.2.5 Resumen – Compartición entre los radares del SETS y el servicio de meteorología

En la segunda parte del análisis, que figura en los § 5.4.2.1 a 5.4.2.4, se expone una serie de mecanismos que mejorarían los resultados de la compartición entre los sistemas del SETS (activo) que transmiten señales impulsivas y los radares meteorológicos, según se ha visto en los estudios anteriores. Los resultados de la compartición mejoran gracias a un criterio de protección I/N más aplicable ante la interferencia impulsiva que ocasiona el SETS en el radar meteorológico considerado, a un rechazo en sintonía para una anchura de banda FI del radar meteorológico más representativa, y a la reducción del ciclo de trabajo del SETS como consecuencia de una anchura de banda FI menor del radar meteorológico. En el Cuadro 23 se resumen estas mejoras.

CUADRO 23

Resumen de los valores adicionales de mitigación de la interferencia

Descripción	Valor original utilizado en estudios anteriores	Valor actualizado	Comentarios
Criterio de protección I/N (dB)	-6 y +10	Al menos +11,2	Esto depende del número de impulsos promediados por muestra en el intervalo de distancias
Rechazo en sintonía (dB)	0	0,5 a 15,5	Esto depende de la anchura de banda FI del radar y de la anchura de impulso del SAR
Reducción del ciclo de trabajo debida al hecho de que el filtro FI es más estrecho que la anchura de banda de la fluctuación	No se considera	Valor real desconocido - potencial de mejora en la gama comprendida entre 13,6 y 26,6 dB	Se requiere mayor estudio, para poder aplicar un valor real a los resultados

Sobre la base de la información presentada en el Cuadro 23, los resultados de las simulaciones expuestas anteriormente pueden procesarse una vez más para determinar intervalos de duración más representativos de la interferencia que puedan experimentar los radares meteorológicos. Desafortunadamente, debido al carácter variable de algunos de los valores consignados en el Cuadro 23, carácter que, a su vez, viene dado por el hecho de que también son variables los parámetros del SAR y del radar meteorológico, no puede determinarse un único umbral de interferencia. El radar meteorológico debería estar en condiciones de funcionar, como mínimo, en presencia de interferencia impulsiva del SETS (activo), con la relación I/N de 11,2 dB. Gracias a la introducción de los valores actualizados del OTR, sería posible mitigar en mayor medida la interferencia, por lo cual el radar podría resistir niveles I/N distintos de los comprendidos en la gama 0,5 a 15,5 dB por encima del nivel 11,2 dB. Esto haría que los niveles máximos aceptables de I/N fuesen de 11,7 a 26,7 dB. Debido a la incertidumbre prevaleciente en cuanto a los efectos que puede ocasionar la reducción del ciclo de trabajo (efectos que se examinaron en el § 5.4.2.5) sobre la capacidad del radar meteorológico para mitigar la interferencia, no se aplicarán valores específicos a los resultados obtenidos en el presente documento y se asumirá únicamente que la reducción del ciclo de trabajo debería mejorar aún más la situación de compartición.

5.4.3 Conclusiones – Revaluación de los datos obtenidos como resultado del análisis preliminar

En el análisis preliminar se determinó que existían intervalos de tiempo en que la interferencia excedía los valores umbral de -6 dB y $+10$ dB de la relación I/N . Sin embargo, quien examine el análisis adicional y la información obtenida sobre el procesamiento de la señal y las características operacionales, verá que los niveles I/N máximos de los radares meteorológicos que funcionan en $9\ 300$ - $9\ 500$ MHz podrían resistir señales impulsivas del SETS (activo) dentro de la gama $11,7$ - $26,7$ dB, o con valores incluso mayores. Se procedió a procesar una vez más los resultados de la simulación utilizando umbrales de $+19,2$ dB y $+26,7$ dB, que representaban, respectivamente, un umbral mediano comprendido entre $11,7$ y $26,7$ dB, y un umbral más elevado. Los resultados obtenidos para el nivel $11,7$ dB son próximos a los resultados presentados anteriormente para una relación I/N de $+10$ dB. El lector debería reconocer que estos resultados no contienen los efectos de la reducción del ciclo de trabajo analizados en el § 3.5, o los de otras técnicas de mitigación de la interferencia implementadas en el radar.

Resumidos en el Cuadro 24, los resultados indican que incluso si los niveles de la interferencia impulsiva del SETS (activo) que experimentan los radares meteorológicos basados en tierra típicos fuesen del orden de 24 a 28 dB en relación con el ruido de fondo del radar, la degradación en la calidad de funcionamiento sería despreciable. En el análisis preliminar no se consideraron los factores de rechazo en sintonía y el procesamiento de los datos en el radar, factores adicionales que harían viable la compartición entre los radares meteorológicos basados en tierra que funcionan en el servicio de radiodeterminación y el SETS (activo). Estos resultados se aplican únicamente a la compartición entre el SETS (activo) y los radares meteorológicos basados en tierra en la banda $9\ 300$ - $9\ 500$ MHz, y no pueden aplicarse a otros casos que entrañen otros sistemas interferentes u otras bandas. Sin embargo, existen otros factores que se analizan en el presente documento, pero que no se han tomado en consideración y que podrían mejorar en mayor medida la situación de compartición.

CUADRO 24

Resultados de la simulación, habida cuenta de la mitigación de la interferencia

Velocidad de rotación, 5°/s									
		Umbral I/N = +19,2 dB				Umbral I/N = +26,7 dB			
Localización del radar	I/N Max (dB)	Duración más larga por encima del umbral (s)	Duración media por encima del umbral (s)	Número de violaciones del umbral durante 23 días ⁽¹⁾	Sector medio de acimut corrompido (grados)	Duración más larga por encima del umbral (s)	Duración media por encima del umbral (s)	Número de violaciones del umbral durante 23 días ⁽¹⁾	Sector medio de acimut corrompido ⁽³⁾ (grados)
Latitud baja	23,8	0,20	0,12	8	0,6	0	0	0	0
Latitud media	27,3	0,25	0,13	13	0,65	0,05	0,05	1	0,25
Latitud alta	24,6	0,25	0,12	19	0,6	0	0	0	0
Velocidad de rotación, 20°/s									
		Umbral I/N = +19,2 dB				Umbral I/N = +26,7 dB			
Latitud baja	23,9	0,10	0,05 ⁽²⁾	97	1	0	0	0	0
Latitud media	24,2	0,05	0,05 ⁽²⁾	31	1	0	0	0	0
Latitud alta	24,2	0,05	0,05 ⁽²⁾	42	1	0	0	0	0

⁽¹⁾ Se tiene en cuenta el hecho de que el SAR tiene un ciclo de trabajo operacional máximo del 20%.

⁽²⁾ La etapa de simulación puede durar 0,05 s. En consecuencia, los intervalos temporales que se indican con un valor de 0,05 s en el Cuadro 24 podrían ser, de hecho, más reducidos.

⁽³⁾ Los radares meteorológicos típicos utilizan una resolución radial de aproximadamente 1°. Un acimut corrompido de menos de 1° daría lugar como mínimo a un sector radial corrompido y posiblemente a dos, si la interferencia se produce en la frontera entre ambos sectores radiales. Un reducido número de radares meteorológicos utiliza una resolución radial del orden de decenas de grados.

5.5 Quinto estudio de análisis: Estudios de compatibilidad entre el STS (activo) y el servicio fijo en la banda 9 800-10 000 MHz

5.5.1 Enfoque adoptado para realizar el análisis

Se utilizó un modelo de simulación con computador para calcular los datos estadísticos sobre la interferencia ocasionada a los receptores del servicio fijo por el transmisor del SAR a bordo de un vehículo espacial propuesto y datos estadísticos sobre la interferencia al receptor propuesto del SAR a bordo de un vehículo espacial, causada por transmisores del servicio fijo.

5.5.1.1 Interferencia ocasionada al receptor del SAR3 por un sistema punto a punto del SF

Se diseñó un modelo de simulación por computador que permitía calcular el nivel de potencia interferente dependiente del tiempo en el receptor de un sensor activo del SAR a bordo de un vehículo espacial, a partir de los transmisores del servicio fijo. Utilizando este modelo de simulación, se recogieron estadísticas sobre la interferencia, para obtener la probabilidad de que el nivel de potencia interferente fuera excedido, así como determinar el nivel máximo de potencia interferente en el receptor del SAR.

Todas las simulaciones se efectuaron durante un periodo de 10 días con intervalos de tiempo incrementales de un segundo. En cada incremento temporal se calculó la distancia entre el receptor del SAR y los transmisores del servicio fijo, basándose en los parámetros orbitales del SAR y la ubicación de la estación del servicio fijo. Para efectuar el estudio mencionado, la antena del SAR se apuntó a 44° con respecto al nadir en el sentido transversal a la trayectoria del vehículo espacial. Asimismo, se calculó la potencia interferente en el receptor del SAR, sobre la base de la potencia del transmisor, la pérdida de trayecto y la discriminación de antena. En este estudio se supuso un modo de funcionamiento con polarización de coantena y en frecuencia cocanal, y no se tomaron en consideración las pérdidas de inserción. Se partió del supuesto de que las estaciones punto a punto del SF transmitirían continuamente utilizando una potencia media.

En el estudio se utilizaron para el SETS (activo) y las estaciones punto a punto del SF los parámetros consignados en los § 2 y 4 del presente Informe, respectivamente.

Se realizaron simulaciones en relación con dos modelos de despliegue de estación del servicio fijo, a saber:

- distribución aleatoria mundial de 1 536 estaciones punto a punto del SF;
- 1 536 estaciones punto a punto del SF distribuidas dentro de las administraciones especificadas en el número 5.477 del RR.

El criterio de protección del SAR utilizado fue $I/N = -6$ dB y la potencia media de ruido en el sector del SAR la siguiente:

$$P_N = k T_0 B \quad (\text{W})$$

donde:

k : constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ julios/°K)

T_0 : temperatura de ruido del receptor del SAR3 (600° K)

B : anchura de banda FI del receptor del SAR3 ($512 \cdot 10^6$ Hz)

por consiguiente:

$$P_N: -113,73 \text{ dBW}$$

Para atender al criterio de protección del SAR la potencia interferente a la entrada del receptor del SAR debe ser inferior a $-119,73$ dB(W/512 MHz) el 99% del tiempo.

5.5.1.1.1 Simulación de un despliegue mundial aleatorio

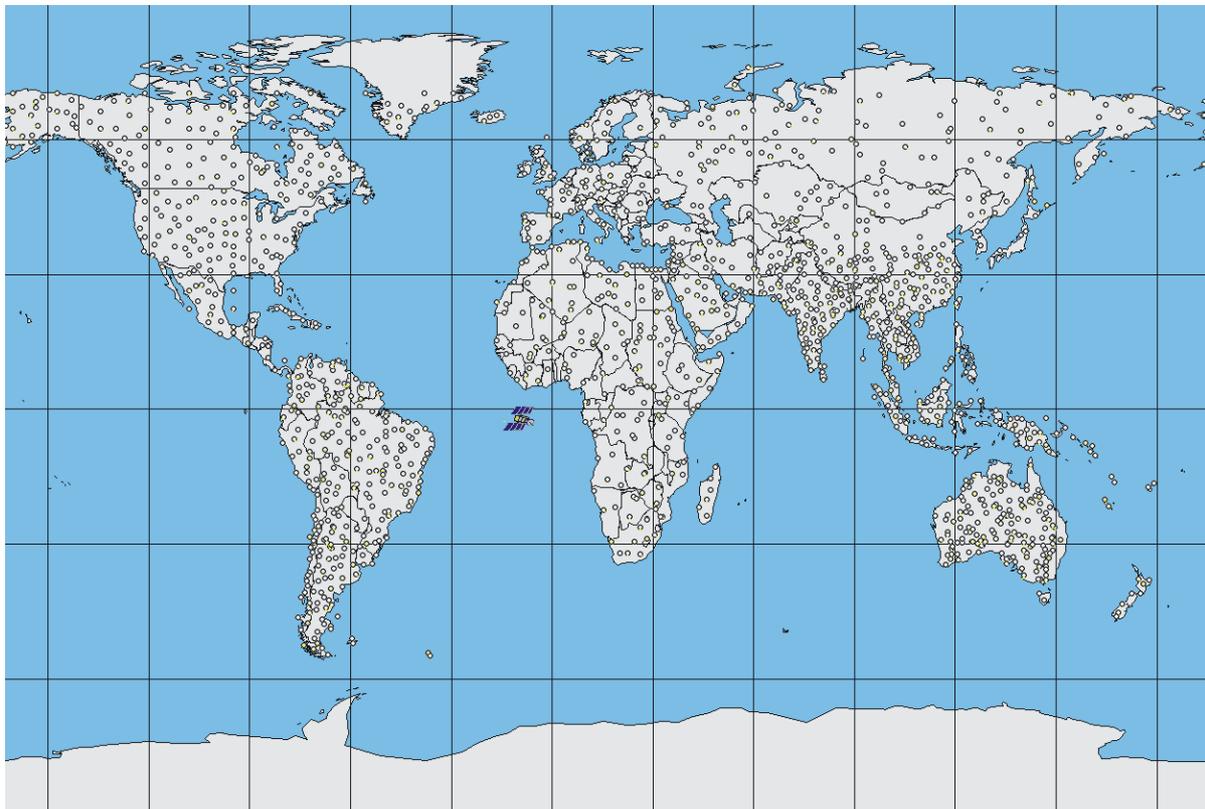
Se distribuyó aleatoriamente un total de 1 536 estaciones punto a punto de SF en latitudes comprendidas entre -55° y $+70^\circ$ y entre longitudes de $\pm 180^\circ$. Se modificaron algunas de estas ubicaciones para garantizar que todas las estaciones estuvieran situadas en tierra. Se seleccionaron inicialmente los siguientes parámetros para las estaciones del SF, según se describe a continuación, y los parámetros mencionados permanecieron constantes durante la simulación:

- latitud de cada estación seleccionada a partir de un valor aleatorio comprendido entre -55° y 70° ;
- longitud de cada estación seleccionada a partir de un valor aleatorio comprendido entre $\pm 180^\circ$;
- altura de la antena de la estación seleccionada a partir de un valor aleatorio comprendido entre 0 y 100 m;
- ángulo de elevación del haz de transmisión de la antena de la estación seleccionada a partir de un valor aleatorio comprendido entre $\pm 5^\circ$;
- acimut de la antena de la estación seleccionada a partir de un valor aleatorio comprendido entre $\pm 180^\circ$.

En la Fig. 12 se muestra una representación de la distribución de las estaciones punto a multipunto del SF.

FIGURA 12

Puntos de instalación de las estaciones del servicio fijo utilizados en la simulación



5.5.1.1.2 Simulación del despliegue basada en el número 5.477 del RR

Las estaciones punto a punto del SF se situaron dentro del territorio de las administraciones especificadas en el número 5.477 del RR.

5.477 *Categoría de servicio diferente:* en Argelia, Arabia Saudita, Bahrein, Bangladesh, Brunei Darussalam, Camerún, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Eritrea, Etiopía, Guyana, India, Indonesia, Irán (República Islámica del), Iraq, Jamaica, Japón, Jordania, Kuwait, Líbano, Liberia, Malasia, Nigeria, Omán, Pakistán, Qatar, Rep. Pop. Dem. de Corea, Singapur, Somalia, Sudán, Trinidad y Tabago y Yemen, la atribución de la banda 9 800-10 000 MHz al servicio fijo es a título primario (véase el número **5.33**). (CMR-03)

En la Fig. 13 pueden verse en negro los territorios de estas administraciones.

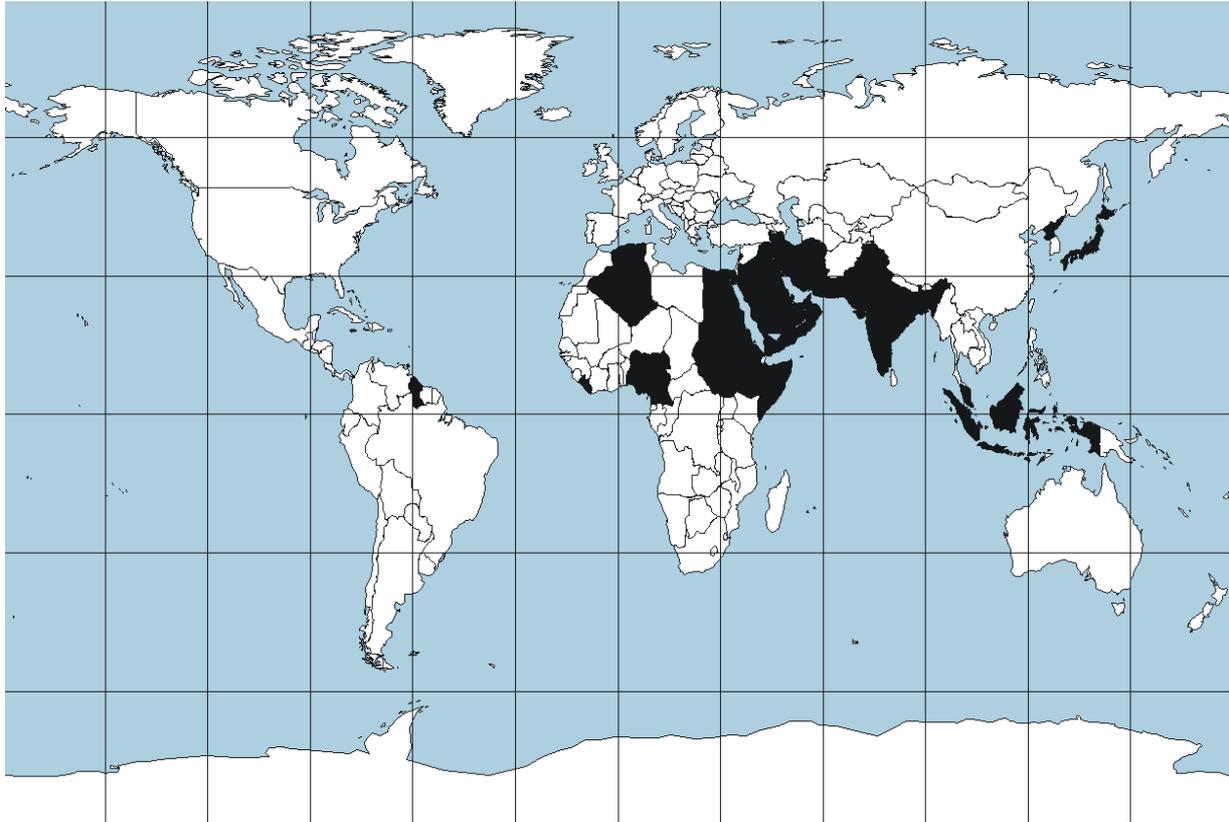
Los sistemas del SF se despliegan predominantemente en zonas urbanas y suburbanas mientras que en las zonas rurales hay, en todo caso, sólo unos cuantos sistemas. En cada gran zona urbana de las administraciones señaladas en el número 5.477 del RR, se situaron aleatoriamente 12 estaciones punto a punto del SF. Se apuntaron entre sí pares de estaciones punto a punto del SF para simular realísticamente una situación. Se recurrió a un total de 128 zonas urbanas a las que correspondieron 1 536 estaciones punto a punto del SF.

Se eligieron inicialmente para la estación del SF los parámetros que se describen a continuación y permanecieron estáticos durante la simulación:

- Altura de la antena de la estación seleccionada a partir de un valor aleatorio comprendido entre 10 y 100 m.
- Ángulo de elevación del haz de transmisión de antena de la estación seleccionado a partir de un valor aleatorio comprendido entre $\pm 5^\circ$.

FIGURA 13

Países enumerados en el número 5.477 del RR



I. 2094-13

5.5.1.2 Interferencia ocasionada al SAR3 por receptores punto a punto del SF

Se diseñó un modelo de simulación por computador que permitió calcular el nivel de potencia interferente dependiente del tiempo en un receptor del servicio fijo, a partir de un sensor activo del SAR3 transportado a bordo de un vehículo espacial. Sirviéndose de ese modelo de simulación precitado, se acopiaron estadísticas sobre la interferencia para determinar la probabilidad de que se excediera un nivel de potencia interferente dado y un nivel máximo de potencia interferente en un receptor del servicio fijo.

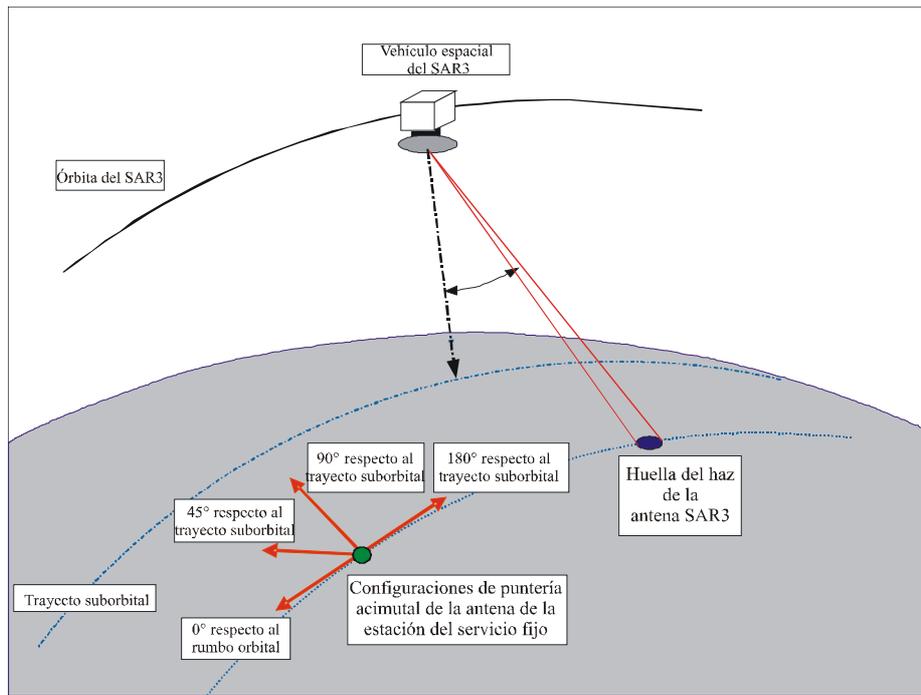
Todas las simulaciones se llevaron a cabo durante un periodo de 60 días con intervalos incrementales de tiempo de 0,5 s. En cada intervalo incremental se calculó la distancia entre el transmisor del SAR y el receptor del servicio fijo, basándose en los parámetros orbitales del SAR y en la ubicación de la estación del servicio fijo. Se calculó la potencia interferente en el receptor del servicio fijo, basándose en la potencia del transmisor, la pérdida de trayecto y la discriminación de antena. En este estudio se partió del supuesto de una explotación con copolarización de antena y en frecuencia cocanal, y se desecharon las pérdidas de inserción. Se supuso que el SAR3 transmitía continuamente con una potencia media que se calculó a partir de la potencia de cresta y el ciclo de trabajo impulsivo. En los resultados que se indican a continuación no se tiene en cuenta el hecho de que el SAR fuera operacional durante únicamente del 10% al 20% de una órbita típica.

Las administraciones especificadas en el número 5.477 del RR se encuentran situadas en una zona comprendida aproximadamente entre 15° latitud S y 45° latitud N. Los escenarios de despliegue y las configuraciones de puntería de la antena que se consideraron para realizar este estudio se consignan en el Cuadro 25, y los ángulos acimut de la estación del SF se tomaron con respecto al

acimut correspondiente al ángulo de inclinación del SAR3 que puede observarse en la Fig. 14. Se supuso que la altura de la antena de la estación era de 20 m.

Se acopiaron estadísticas de interferencia para cinco estaciones SF punto a punto en los diferentes ángulos acimut y de elevación de la antena, por lo cual fue necesario examinar en total 60 casos.

FIGURA 14
Configuraciones de puntería acimutal de la antena en los sistemas punto a punto del SF considerados



I. 2094-14

CUADRO 25

Parámetros de establecimiento de las estaciones punto a punto del SF (60 casos)

Latitud de la estación (grados)	Longitud de la estación (grados)	Dirección acimutal de la antena en relación con el ángulo de inclinación del SAR3 (grados)	Ángulo de elevación de la antena (grados)
45	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
30	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
15	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
0	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
-15	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5

5.5.2 Resultados del análisis

5.5.2.1 Interferencia causada al receptor del SAR3 por un sistema punto a punto del SF

Por lo que hace al despliegue de las estaciones SF, el análisis arroja resultados para los dos modelos siguientes:

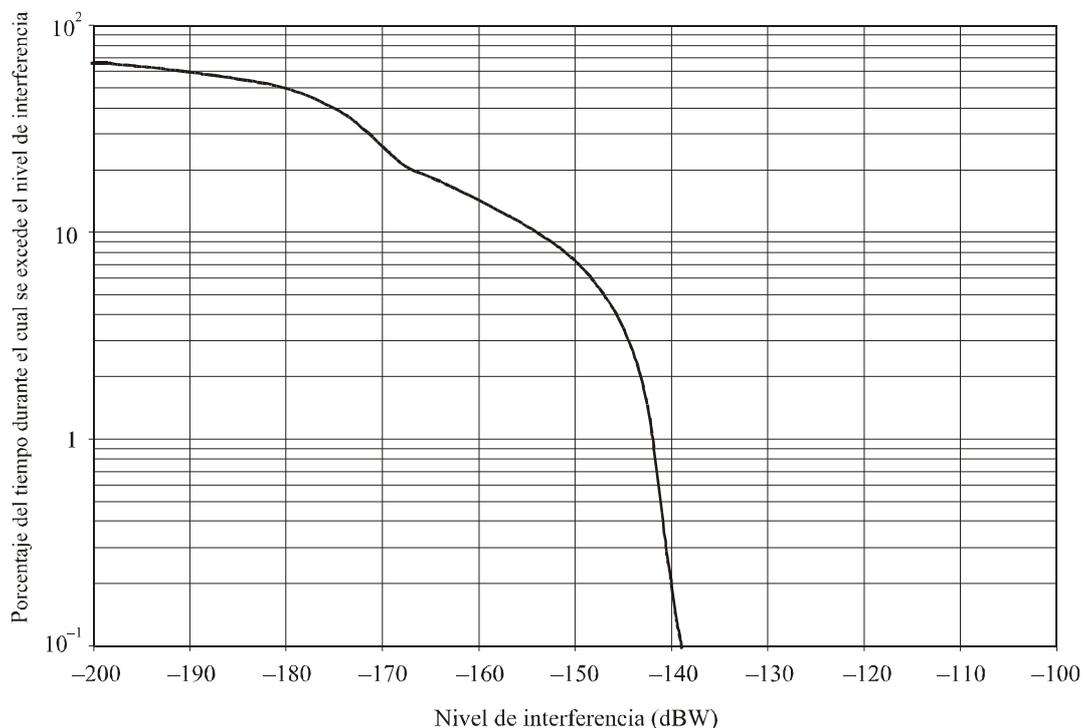
- Distribución aleatoria mundial de 1 536 estaciones punto a punto del servicio fijo.
- 1 536 estaciones punto a punto del servicio fijo distribuidas en los territorios de las administraciones especificadas en el número 5.477 del RR.

5.5.2.1.1 Despliegue aleatorio mundial

En la Fig. 15 puede verse la función de distribución acumulada (FDA) de la interferencia ocasionada al receptor del SAR3 por 1 536 estaciones punto a punto del servicio fijo. Los resultados se presentan en términos del porcentaje del tiempo en que se sobrepasa el nivel de interferencia en función de la potencia de la señal interferente recibida en el receptor del sensor a bordo de un vehículo espacial con una anchura de banda FI de 512 MHz. Como se indica en la figura, la potencia señal interferente es de unos -142 dBW para el 99% del criterio de disponibilidad de datos (punto del 1%). El nivel de interferencia máximo recibido en el receptor del SAR3 fue de $-125,0$ dBW, lo que está por debajo en 5,3 dB del criterio de protección del SAR.

FIGURA 15

Función de distribución acumulada de la interferencia procedente de 1 536 estaciones punto a punto del SF distribuidas aleatoriamente en todo el mundo

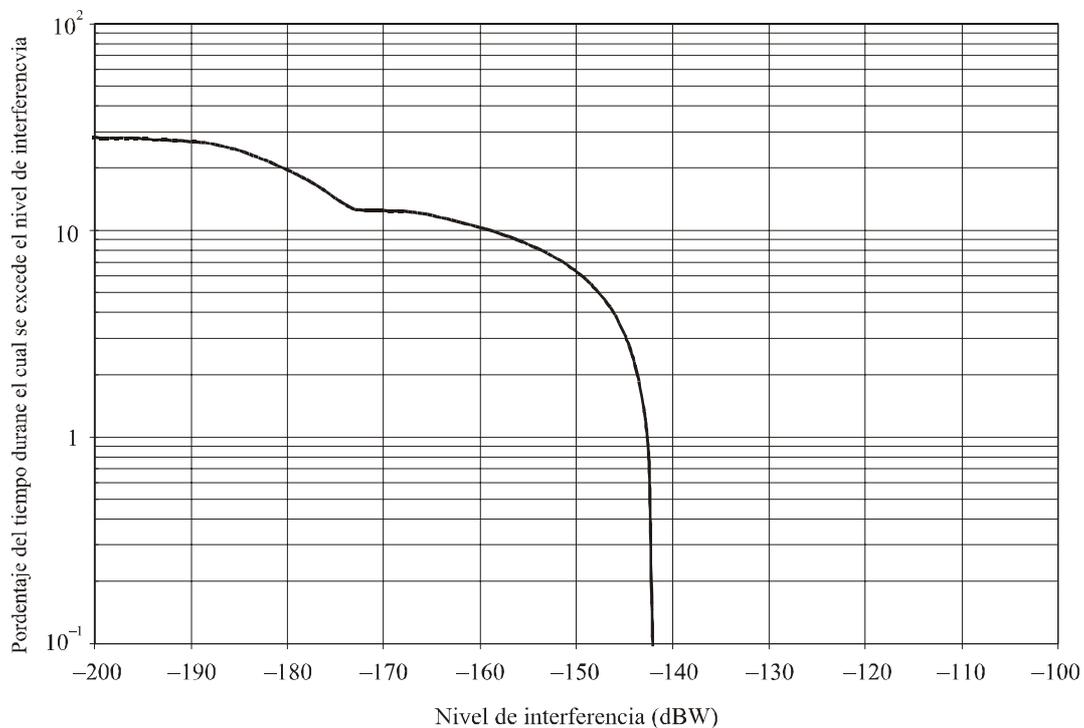


5.5.2.1.2 Despliegue basado en el número 5.477 del RR

En la Fig. 16 se representa el gráfico de la función de distribución acumulada correspondiente a la interferencia ocasionada al receptor del SAR3 por 1 536 estaciones punto a punto del servicio fijo distribuidas en 128 centros urbanos de las administraciones definidas en el número 5.477 del RR. Los resultados se presentan en términos del porcentaje del tiempo en que se sobrepasa el nivel de interferencia en función de la potencia de la señal interferente recibida en el receptor del sensor a bordo de un vehículo espacial con una anchura de banda FI de 512 MHz. Como puede verse en la figura, la potencia de la señal interferente es de aproximadamente -143 dBW para el criterio de disponibilidad de datos del 99% (punto del 1%). El nivel de interferencia máximo en el receptor del SAR3 fue de $-125,17$ dBW, lo que está por debajo en 5,4 dB del criterio de protección del SAR.

FIGURA 16

Función de distribución acumulada de la interferencia ocasionada por 1 536 estaciones punto a punto del SF situadas en los territorios de las administraciones especificadas en el número 5.477 del RR



I. 2094-16

5.5.2.2 Interferencia ocasionada por el SAR3 a las estaciones punto a punto del SF

5.5.2.2.1 Resultados de los análisis – Efecto del ángulo de elevación de la antena de la estación del SF

En la simulación se utilizaron ángulos de elevación de -5° , 0° y 5° para cada uno de los ángulos acimut y latitudes de las diferentes estaciones del SF. Para determinar el impacto del ángulo de elevación para los niveles I/N en una estación SF, se llevó a cabo una comparación basándose en los resultados de la simulación, resultados que se ilustran en la Fig. 16.

En la Fig. 17 se analizan los resultados valiéndose de una función de distribución acumulada (FDA) de los valores de la relación de la relación I/N en un receptor del SF situado a 0° de latitud. Como puede verse en la figura, a una elevación de -5° los niveles de I/N son inferiores en unos 5 dB que los correspondientes a una elevación de 5° para el punto del 0,1%. Asimismo, los niveles de I/N a 0° de elevación son inferiores en unos 3 dB correspondientes que los 5° de elevación para el punto del 0,1%. En ese punto, las curvas de la FDA convergen para los tres ángulos de elevación de antena del SF. Asimismo, se obtuvieron resultados similares en las demás latitudes de estación del SF consideradas en el estudio.

5.5.2.2.2 Resultados del análisis – Efecto del ángulo acimut de la antena de la estación del SF

En la simulación se utilizaron ángulos acimut de 0° , 45° , 90° y 180° con respecto al ángulo de inclinación del SAR3 y para cada una de las diferentes latitudes de la estación del SF. Con el fin de determinar el impacto del ángulo acimut sobre los niveles I/N de una estación del SF, se llevó a cabo una comparación utilizando los resultados de la simulación en dos latitudes representativas, según puede verse en las Figs. 18 y 19.

En la Fig. 18 se indican los resultados en términos de una FDA de los valores de I/N en un receptor del SF situado a 0° de latitud y se presentan, además resultados similares para 30° de latitud. Como puede verse en la Fig. 18 (a 0° de latitud), los efectos de las variaciones del ángulo acimut de la antena del SF es reducido si se consideran los niveles de I/N y todos los valores se encuentran separados entre sí en aproximadamente 0,5 dB en el punto del 0,1%.

FIGURA 17

FDA de los niveles de la relación I/N en un receptor del SF a 0° de latitud

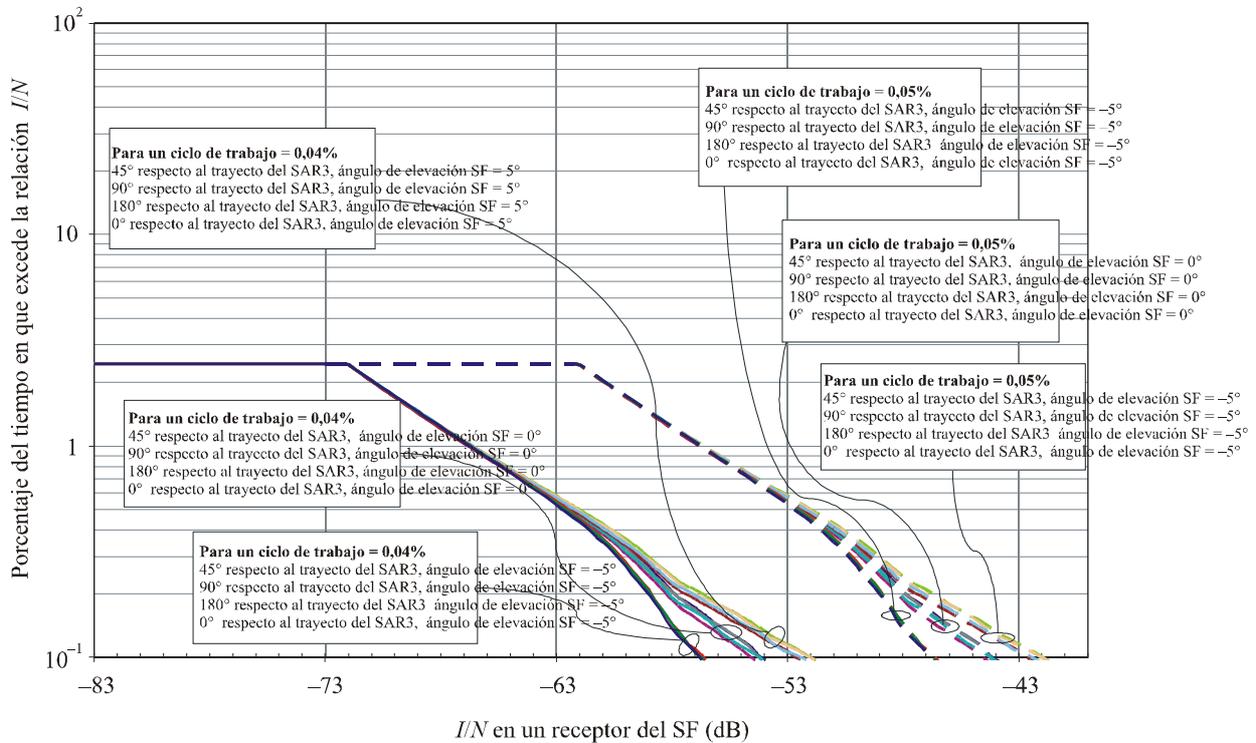
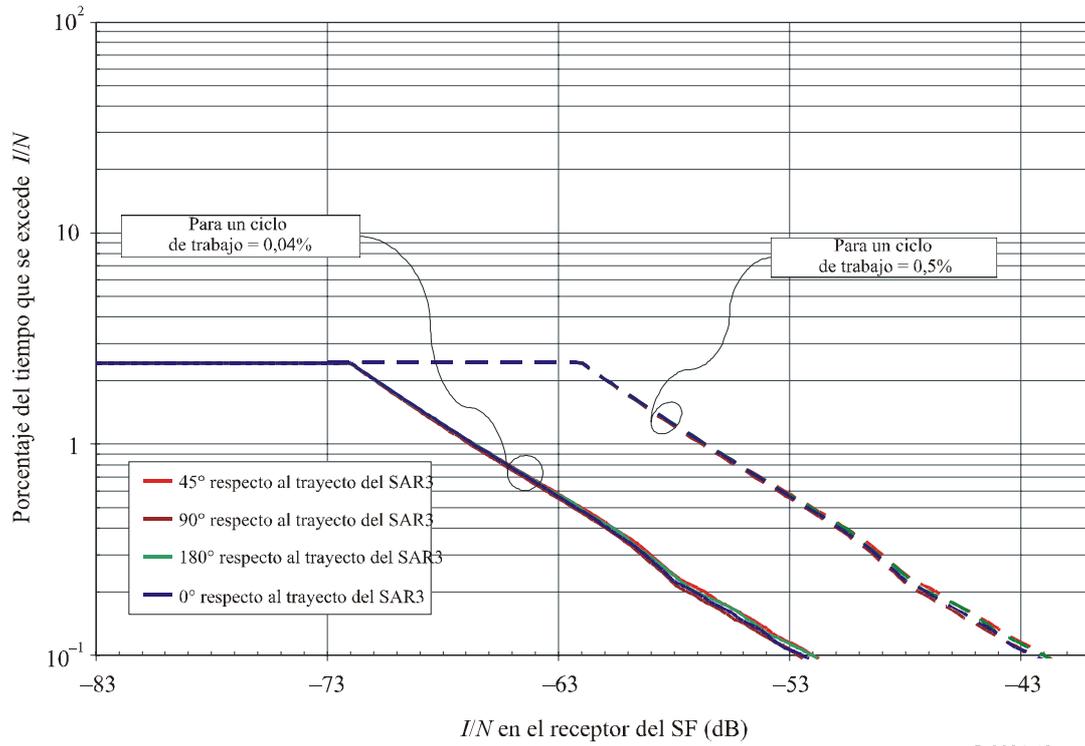


FIGURA 18

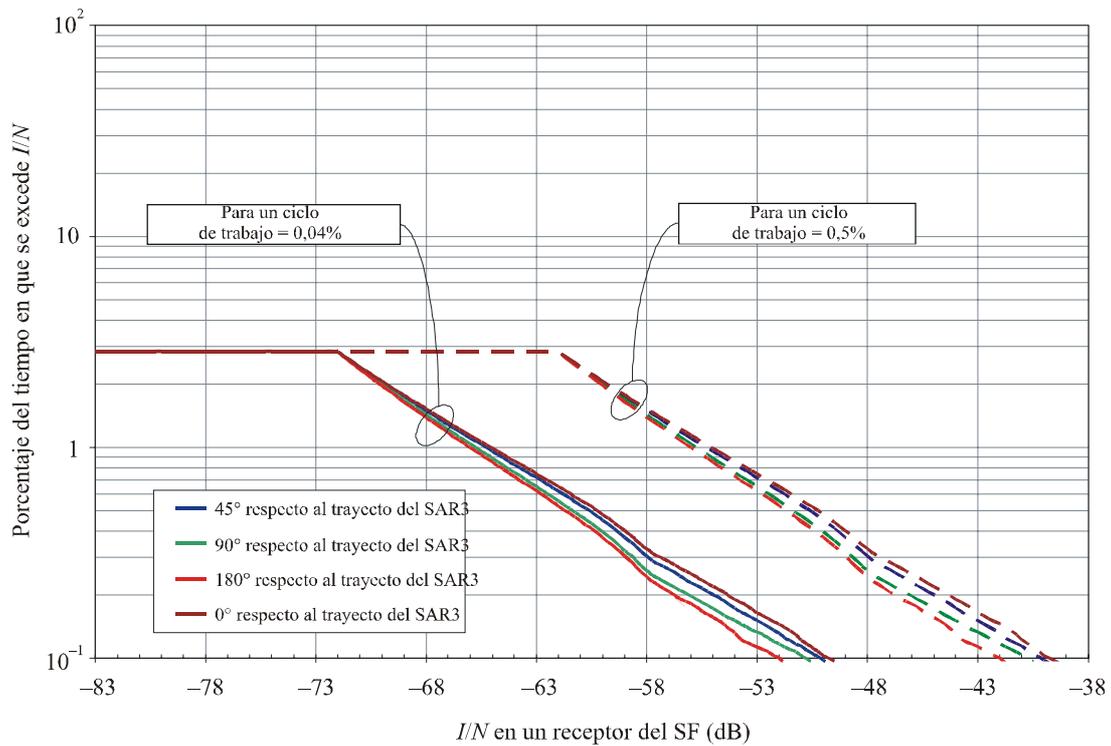
FDA de los niveles de I/N en un receptor del SF a 0° de latitud y con un ángulo de la antena de 5°



I. 2094-18

FIGURA 19

FDA de los niveles de I/N en un receptor de SF a 30° de latitud y con una elevación de la antena de 5°



I. 2094-19

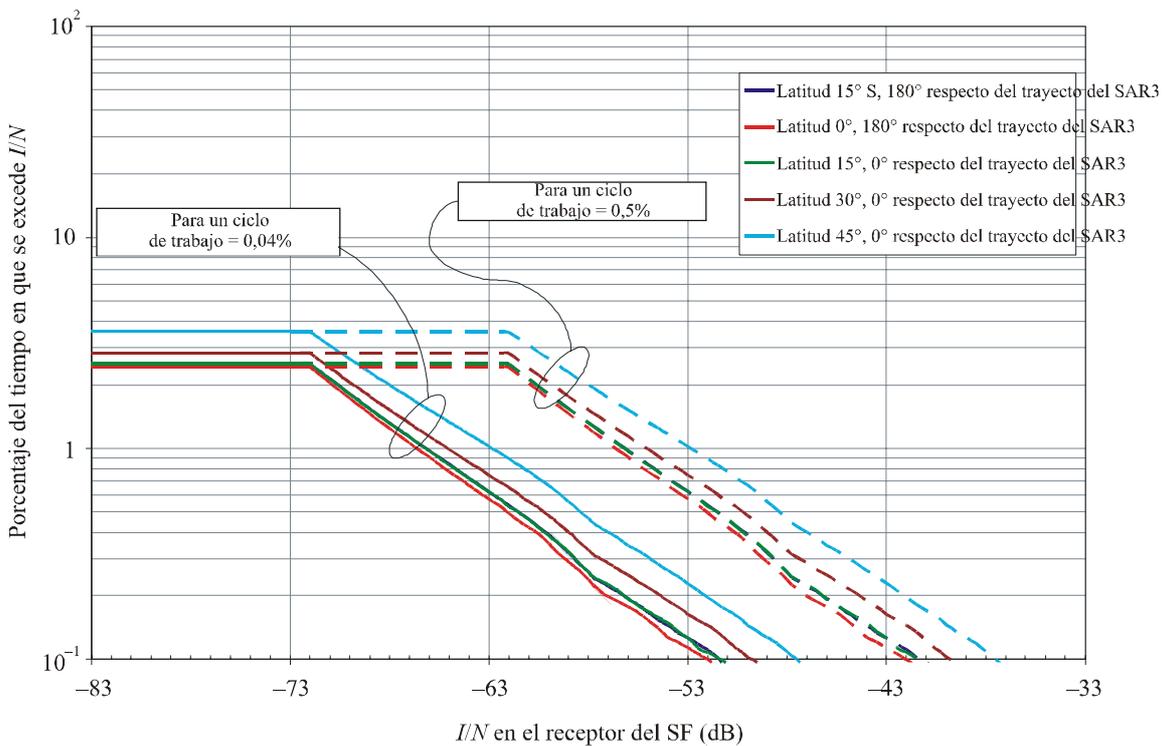
En la Fig. 19 (a 30° de latitud) los niveles I/N se encuentran separados entre sí en aproximadamente 2 dB en el punto del 0,1%. En ese punto las curvas de la FDA comienzan a converger para los cuatro ángulos acimut de la antena del SF.

En este estudio se obtuvieron resultados similares en las demás latitudes de la estación del SF consideradas.

5.5.2.2.3 Resultados del análisis – Efectos de la latitud de la estación del SF

En las anteriores secciones del presente documento se señalaron resultados que indicaban que para el caso más desfavorable el ángulo de elevación de la antena del SF era de 5° y el ángulo acimut de la antena de la estación de SF era de 0° a 180° respecto al ángulo de inclinación del SAR a bordo de un vehículo espacial. En esta sección se indica el impacto de la latitud de la estación del SF sobre los niveles de I/N en el receptor del SF. En la simulación se utilizaron para la estación del SF latitudes de -15°, 0°, 15°, 30° y 45° y en la Fig. 20 se ilustran los resultados correspondientes al caso más desfavorable. En el Cuadro 26 se resumen los resultados.

FIGURA 20
FDA de los niveles de I/N correspondientes al caso más desfavorable en un receptor del SF, con un ángulo de elevación de 5° y diferentes latitudes



CUADRO 26

Resumen de los resultados de interferencia correspondientes al caso mas desfavorable

Latitud de la estación del SF (grados)	Dirección acimutal de la antena del SF en relación con el ángulo de inclinación del SAR3 (grados)	Angulo de elevación de la antena SF (dB)	Nivel de I/N en el receptor del SF (dB)		Nivel máximo de la relación I/N en el receptor del SF (dB) (ciclo de trabajo = 0,04%/ciclo de trabajo 0,5%)	Porcentaje del tiempo en el que se recibe el nivel máximo de I/N
			La relación I/N queda excedida en 1% del tiempo (ciclo de trabajo = 0,04%/ciclo de trabajo = 0,5%)	La relación I/N queda excedida en 0,1% del tiempo (ciclo de trabajo = 0,04%/ciclo de trabajo = 0,5%)		
-15	180	5	-66,0/-56,0	-51,5/-41,5	-11,5/-1,5	0,04
0	180	5	-66,5/-56,5	-52,0/-42,0	-12,0/-2,0	0,04
15	0	5	-66,0/-56,0	-51,5/-41,5	-12,0/-2,0	0,06
30	0	5	-65,0/-55,0	-49,8/-39,8	-11,2/-1,2	0,07
45	0	5	-63,0/-53,0	-47,5/-37,5	-11,2/-1,2	0,03

5.5.3 Conclusiones del análisis

En el estudio se evaluó la compatibilidad entre la SAR a bordo de un vehículo espacial del SETS (activo) y la estaciones punto a punto del SF que funcionan en la banda 9 800 a 10 000 MHz. Los resultados de la simulación revelan lo siguiente:

- Los niveles máximos de la interferencia ocasionada al SAR a bordo de un vehículo espacial son inferiores en unos 5,3 dB al criterio de interferencia aplicado al SAR para una distribución mundial aleatoria de 1 536 estaciones punto a punto del SF y 1 536 estaciones punto a punto del SF distribuidas en los territorios de las administraciones especificadas en el número 5.477 del RR.
- Los niveles de I/N correspondientes al caso más desfavorable en los receptores punto a punto del servicio fijo, a partir del SAR a bordo de un vehículo espacial, se registraron cuando la antena del SF se apuntó con un ángulo de elevación de 5° y un ángulo acimut de 0° o 180° en relación con el ángulo de inclinación del SAR3. Los niveles de I/N variaron en función de la latitud de la estación de la SF, siendo el valor en el caso más desfavorable de -53,0 dB para un ciclo de trabajo impulsivo del 0,5% excedido el 1% del tiempo y una estación del SF localizada a 45° de latitud.

6 Ejemplos de técnicas de mitigación de la interferencia ocasionada por el SAR a bordo de un vehículo espacial**6.1 Ejemplo 1: Selección de las características de emisión para mitigar la interferencia de sensores activos a bordo de vehículos espaciales en el SETS (activo) con miras a su utilización en la anchura de banda de 500 MHz a proximidad de 9,6 GHz****6.1.1 Selección de características del SETS (activo) para mitigar la interferencia**

Se calculó el nivel de la potencia media la señal interferente aplicando el procedimiento que se describe en la Recomendación UIT-R RS.1280.

En el Cuadro 1 se comparan los parámetros clave utilizados para realizar los cálculos de la interferencia para el SAR considerado.

La diferencia más notable entre el SAR1, el SAR2 y el SAR3 viene representada por el intervalo de valores de la anchura de impulso y la frecuencia de repetición. Cualquiera que sea la anchura de impulso, el SAR2 y el SAR3 registran una diferencia entre los valores mínimo y máximo que viene

dada por un factor de 8 y 10, respectivamente. Tratándose de la frecuencia de repetición del impulso, el SAR2 acusa un valor máximo superior de aproximadamente el 250% del valor mínimo.

A la vista de lo anterior, se consideró adecuado realizar separadamente los cálculos en los dos extremos de la gama en el caso del SAR2. En los Cuadros 27 y 28, el SAR2 se divide en:

- SAR2a con una anchura de impulso de 10 μs , una FRI de 2 000 Hz y una ganancia de antena de 44,0 dBi.
- SAR2b con una anchura de impulso de 80 μs , una FRI de 4 500 Hz y una ganancia de antena de 46,0 dBi.

Una vez realizado estos cálculos de la forma indicada se obtuvo la gama completa de los valores mínimo y máximo de la interferencia.

CUADRO 27

Ejemplo de reducción de la potencia no deseada recibida del sensor del SAR2a, gracias a los cambios registrados en la anchura de impulso y la anchura de banda de fluctuación correspondientes al sensor

	Nuevos valores de los parámetros del SAR2a			ΔOTR (dB)	ΔP_{avg} (dB)	ΔI (dB)
	τ (μs)	FRI (Hz)	B_c (MHz)			
Radar 1 (seguimiento)	10	2 000	400	-16,0	1,4 ⁽¹⁾	-14,6
Radar 2 (búsqueda)	10	2 000	400	-19,0	-3,2	-22,3

⁽¹⁾ Se estimó adecuado utilizar la potencia media de la señal interferente para el radar a bordo de un vehículo espacial y la potencia de cresta de la señal interferente para el radar de seguimiento.

CUADRO 28

Ejemplo de reducción de la potencia no deseada recibida del sensor del SAR2b, gracias a los cambios registrados en la anchura de impulso y la anchura de banda de fluctuación correspondientes al sensor

	Nuevos valores de los parámetros del SAR2b			ΔOTR (dB)	ΔP_{avg} (dB)	ΔI (dB)
	τ (μs)	FRI (Hz)	B_c (MHz)			
Radar 1 (seguimiento)	80	4 500	400	-7,0	3,4 ⁽¹⁾	-3,6
Radar 2 (búsqueda)	80	4 500	400	-19,0	11,3	-7,7

⁽¹⁾ Se estimó adecuado utilizar la potencia media de la señal interferente para el radar a bordo de un vehículo espacial y la potencia de cresta de la señal interferente, para el radar de seguimiento.

El SAR3 se caracteriza por una anchura de impulso de 1-10 μs , una FRI de 410-515 Hz, una ganancia de antena de 39,5-42,5 dB, una reducción del nivel de potencia correspondiente a la señal no deseada recibida para una FRI de 410 Hz y una ganancia de antena de 39,5 dB. En los

Cuadros 29 y 30 se indican estas características. Se realizaron separadamente los cálculos correspondientes a los dos extremos de la gama de anchuras de impulso y FRI para el SAR3. En los Cuadros 29 y 30, el SAR3 se dividió en:

- SAR3a con anchura de impulso de 1 μs , una FRI de 410 Hz y una ganancia de antena de 39,5 dBi.
- SAR3b con una anchura de 10 μs , una FRI de 515 Hz y una ganancia de antena de 42,5 dBi.

Si los sensores a bordo de vehículos espaciales indicados en el Cuadro 1 pueden funcionar con una anchura de impulso y una anchura de banda de fluctuación distintos, como puede verse en los Cuadros 27 y 28, cabe la posibilidad de lograr una reducción significativa del nivel de potencia de la señal no deseada. Así por ejemplo, en la Recomendación UIT-R RS.1280 se parte del supuesto de que existen dos radares funcionando en 9 500-9 800 MHz:

- un radar de seguimiento con una anchura de banda FI de 1 MHz (radar 1);
- un radar de búsqueda con una anchura de banda FI de 5 MHz (radar 2).

CUADRO 29

Ejemplo de reducción de la potencia no deseada recibida del sensor del SAR3a, gracias a los cambios registrados en la anchura del impulso y la anchura de banda de fluctuación correspondiente al sensor

	Nuevos valores de los parámetros del SAR3a			ΔOTR (dB)	ΔP_{avg} (dB)	ΔI (dB)
	τ (μs)	FRI (Hz)	B_c (MHz)			
Radar 1 (seguimiento)	1	410	450	-26,5	5,7 ⁽¹⁾	-20,9
Radar 2 (búsqueda)	1	410	450	-19,5	-15,9	-35,4

⁽¹⁾ Se estimó adecuado utilizar la potencia media de la señal interferente para el radar a bordo de un vehículo espacial y la potencia de cresta de la señal interferente para el radar de seguimiento.

CUADRO 30

Ejemplo de reducción de la potencia no deseada recibida del sensor del SAR3b, gracias a los cambios registrados en la anchura del impulso y la anchura de banda de fluctuación correspondientes al sensor

	Nuevos valores de los parámetros del SAR3b			ΔOTR (dB)	ΔP_{avg} (dB)	ΔI (dB)
	τ (μs)	FRI (Hz)	B_c (MHz)			
Radar 1 (seguimiento)	10	515	450	-16,5	8,7 ⁽¹⁾	-7,9
Radar 2 (búsqueda)	10	515	450	-19,5	-1,9	-21,4

⁽¹⁾ Se estimó adecuado utilizar la potencia media de la señal interferente para el radar a bordo de un vehículo espacial y la potencia de cresta de la señal interferente para el radar de seguimiento.

6.1.2 Conclusiones del análisis

En este Anexo se exponen las características técnicas y operacionales de varios SAR de banda ancha. Se calcula y demuestra la medida en que pueden elegirse ciertas características para mitigar los efectos de la interferencia potencial para los radares terrenales y a bordo de vehículos espaciales. Todos los casos de anchuras de banda para el radar 1 y el radar 2 de 1 MHz y 5 MHz, respectivamente, indican que la interferencia causada por el SAR1 se reduce realmente.

6.2 Ejemplo 2: Técnica de mitigación de la interferencia consistente en recurrir a una antena sensora activa del SAR3 en el SETS (activo) con miras a su utilización en la anchura de banda 500 MHz a proximidad de 9,6 GHz

En esta sección se expone una técnica de mitigación de la interferencia para la antena SAR3 con miras a su utilización en los estudios de compatibilidad y compartición.

6.2.1 Características técnicas de la antena sensora activa de banda ancha del SAR3 a bordo de un vehículo espacial

En el Cuadro 1 pueden verse las características técnicas del sensor activo a bordo de un vehículo espacial del SAR3. La antena del SAR3 tiene un diagrama de ganancia de antena en acimut diferente, según se trate de la transmisión o de la recepción. En acimut, podría mejorarse la resolución en el procesamiento de subred de antenas para llevar dicha resolución a un metro. En el procesamiento de subred la longitud en acimut de la red se subdivide en subredes, y cada una de éstas recibe simultáneamente las señales de retorno. La longitud efectiva en acimut de la red de antenas receptoras es la longitud de la subred con la anchura en acimut del haz de antena más grande, esto es, con la longitud más corta. En el diagrama de antena transmisora se utilizan todas las subredes y se aplica a lo largo de la red una saturación de fase tal que la anchura de 3 dB del diagrama de ganancia en acimut coincide aproximadamente con el diagrama de cada subred receptora. Una ventaja de la ponderación de fase a lo largo de la red es que puede aplicarse la potencia de cresta 25 kW, en lugar de limitarse a 1/32 de dicho valor en cada subred. Una segunda ventaja consiste en que, debido a la saturación de fase en la transmisión, la ganancia de antena en acimut disminuye más rápidamente en función de la desviación angular respecto al eje de puntería, puesto que los niveles del lóbulo lateral decrecen en función de esa desviación.

6.2.1.1 Parámetros de diseño

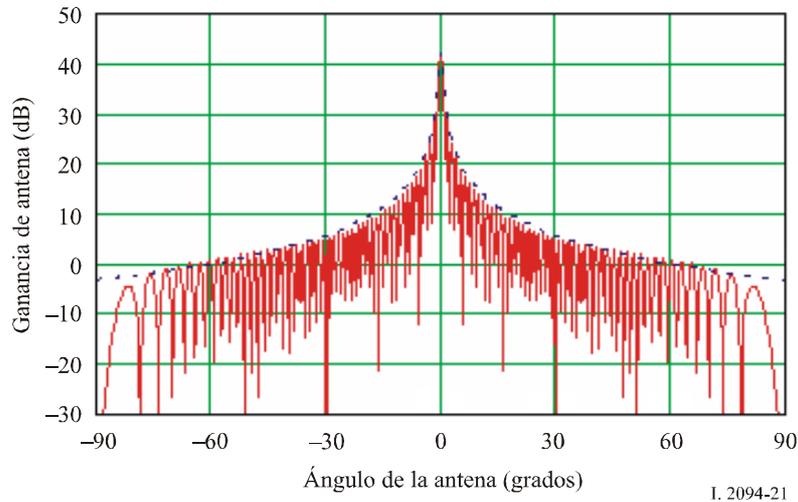
El SAR3 transmitiría impulsos FM lineales a proximidad de 9,6 GHz, con una frecuencia de repetición de impulsos comprendida entre 410 y 515 Hz, según puede verse en el Cuadro 1. Se supone que la señal está polarizada vertical u horizontalmente en la transmisión y la recepción, lo que permite poder elegir una polarización entre el componente HH y el componente VV. La anchura de impulso es de 1-10 μ s y la anchura de banda 450 MHz.

6.2.1.2 Diagrama ganancia de antena

En la Fig. 21 se representa el diagrama de ganancia de antena para una ponderación uniforme a lo largo de cada panel y su envolvente para los ángulos comprendidos entre -90° y $+90^\circ$ en acimut.

FIGURA 21

Ganancia en transmisión con ponderación uniforme del SAR3 a bordo de un vehículo espacial (la línea continua corresponde a la ponderación uniforme del panel); envolvente con ponderación uniforme (línea de puntos) a 9 600 MHz ($-4,5^\circ$ a $+4,5^\circ$)



I. 2094-21

Tanto en el caso de la ponderación uniforme como en el de la ponderación de fase, el efecto "filo de cuchillo" correspondiente al diagrama de antena de las redes con fases lineales permite también mitigar la interferencia, por el hecho de que la ganancia de antena se reduce significativamente fuera de los ejes principales.

En el Cuadro 31 pueden verse las ecuaciones revisadas de ganancia de antena. En dichas ecuaciones se conserva el umbral inferior de -48 dBi a lo largo del eje principal en acimut, pero se elimina el umbral inferior global de -5 dBi fuera de eje. En la Fig. 22 puede verse el diagrama de ganancia de antena a lo largo de gamas de ángulos de elevación y acimut de $-90^\circ < \theta_v < 90^\circ$ y $-90^\circ < \theta_h < 90^\circ$. El efecto "filo de cuchillo" a lo largo de los ejes principales, tanto en elevación como en acimut, es evidente si se atiende a estas ecuaciones, la ganancia de antena cae por debajo de -40 dBi en las zonas fuera de eje del gráfico.

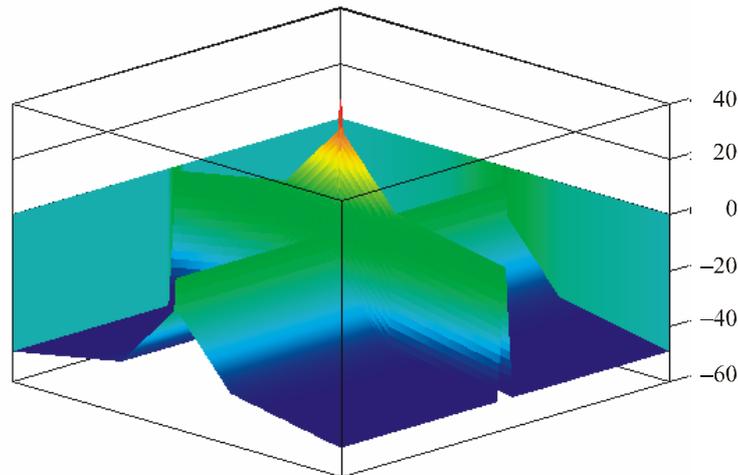
CUADRO 31

Ecuaciones revisadas de la ganancia de antena del SAR3 a bordo de un vehículo espacial a 9 600 MHz

Diagrama	Diagramas $G(\theta)$ (dBi) como función del ángulo θ (grados)	Gama de ángulos (grados)
Vertical (elevación)	$G_v(\theta_v) = 42,5 - 9,92(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,4 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 10,5 - 0,133 \theta_v$	$0 < \theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v < 30$ $\theta_v \geq 30$
Horizontal (acimut)	$G_h(\theta_h) = 0,0 - 9,07(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = +1,9 - 12,08 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -48$	$0 < \theta_h < 1,15$ $1,15 \leq \theta_h < 4,13$ $\theta_h \geq 4,13$
Diagrama de haz	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

FIGURA 22

Diagrama tridimensional de antena del SAR3 a bordo de un vehículo espacial a 9 600 MHz ($-90^\circ < \theta_h < +90^\circ$ y $-90^\circ < \theta_v < +90^\circ$) utilizando las ecuaciones del Cuadro 32



I. 2094-22

6.2.2 Características técnicas del sistema de radar terrenal

El sistema G3, representado en el Cuadro 7, se fija con un ángulo de elevación de 0° y una anchura de haz de $0,81^\circ$ en elevación, para que el SAR3 vea hacia abajo con un ángulo de inclinación de 50° , y el sistema G3 vería al SAR3 con un ángulo de elevación de 40° de los lóbulos laterales, lo que coincidiría aproximadamente con el 48° lóbulo lateral para una anchura de haz de $0,81^\circ$, a una ganancia de antena de -4 dBi en los lóbulos laterales en el caso de iluminación uniforme, cuando en un caso real la iluminación real tendría probablemente una ponderación de amplitud en elevación para obtener un ritmo más rápido de reducción del lóbulo lateral.

6.2.3 Perfiles de potencia recibida en las estaciones terrenales

Los perfiles de potencia de la interferencia ocasionada al sistema G3 por el SAR3 se calcularán mientras el satélite pasa por una determinada estación terrenal del sistema G3. El primer perfil será el que se obtenga utilizando ponderaciones de fase a todo lo largo de los 50 m de longitud de la antena y el segundo perfil, transmitiendo a partir de una sola subred con la misma p.i.r.e. de cresta.

La potencia de interferencia ocasionada por el SAR a la estación terrenal de radar se calculó recurriendo a las ecuaciones (15) y (16) del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R M.1461.

Las características del SAR3 se indican en el Cuadro 1. Para este ejemplo de interferencia causada al sistema G3 por el SAR3, la anchura de impulso es de $10 \mu\text{s}$ y la ganancia de cresta de la antena de $42,5$ dBi.

Los niveles de la interferencia ocasionada al G3 por el SAR3, mientras éste orbita sobre el sitio fijo del sistema G3 a un ángulo de enfoque de 44° del SAR3 se señalan en la Fig. 23 para un tiempo orbital de más de 2 min.

Por lo que hace al nivel de interferencia, se supone una relación I/N de -10 dB. Si se parte del supuesto de una ponderación uniforme a lo largo de un panel, el SAR se encuentra por encima del umbral durante aproximadamente 18 s, al paso que, si se utiliza ponderación de fase a lo largo de la red, el SAR se encontrará por encima del umbral durante unos 14 s. En este ejemplo, la técnica de ponderación de fase permite mitigar la interferencia y reduce el tiempo en que la interferencia del SAR sobrepasa en un factor de más de 8 el umbral del radar terrenal.

Si se utilizan las ecuaciones revisadas del Cuadro 31, se evita el umbral de -5 dBi para la ganancia de antena del SAR3. Supóngase que el radar terrenal se encuentra a 23° más en la zona de los lóbulos laterales del SAR3 según pasa el vehículo espacial por esa zona. Los niveles de la interferencia ocasionada al G3 por el SAR3 a medida que éste orbita sobre el sitio fijo del sistema G3, cuando el G3 se encuentra a 23° en la zona de los lóbulos laterales del SAR3, se indican en la Fig. 4 para un tiempo orbital de más de 2 min. El perfil con la potencia de recepción más elevada corresponde a ecuaciones de ganancia del SAR3 con un umbral de 5 dBi e indica la potencia de la interferencia recibida, a medida que el lóbulo principal del SAR3 pasa a través del radar terrenal. El perfil con la potencia más baja de receptor se representa en las ecuaciones revisadas de ganancia del SAR3 que se consignan en el Cuadro 31, e indica la potencia de interferencia recibida, ya que el lóbulo principal del SAR3 en 23° fuera de la zona de la saga de los lóbulos laterales.

FIGURA 23

Niveles de la interferencia ocasionada por el SAR3 a radar terrenal G3 (calculada sea mediante ponderación de fases a lo largo de la red de antena o ponderación uniforme a lo largo del panel) a 506 km de altitud orbital

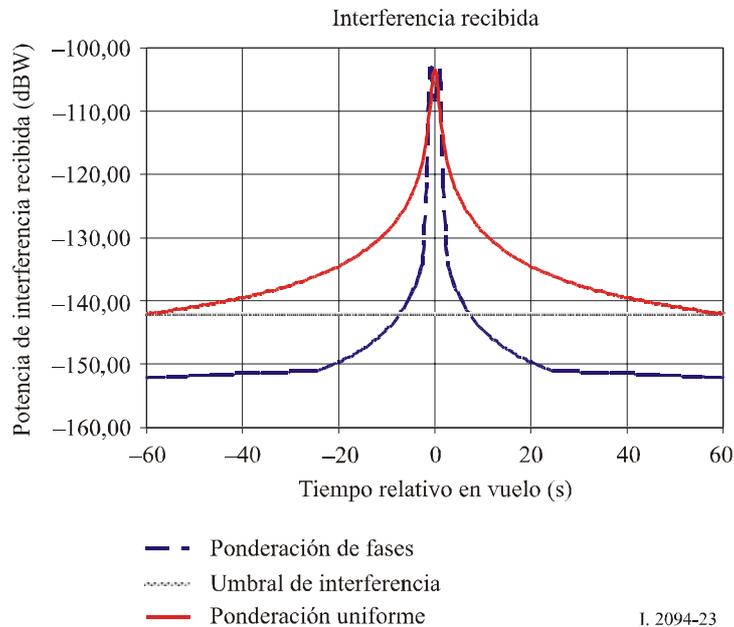
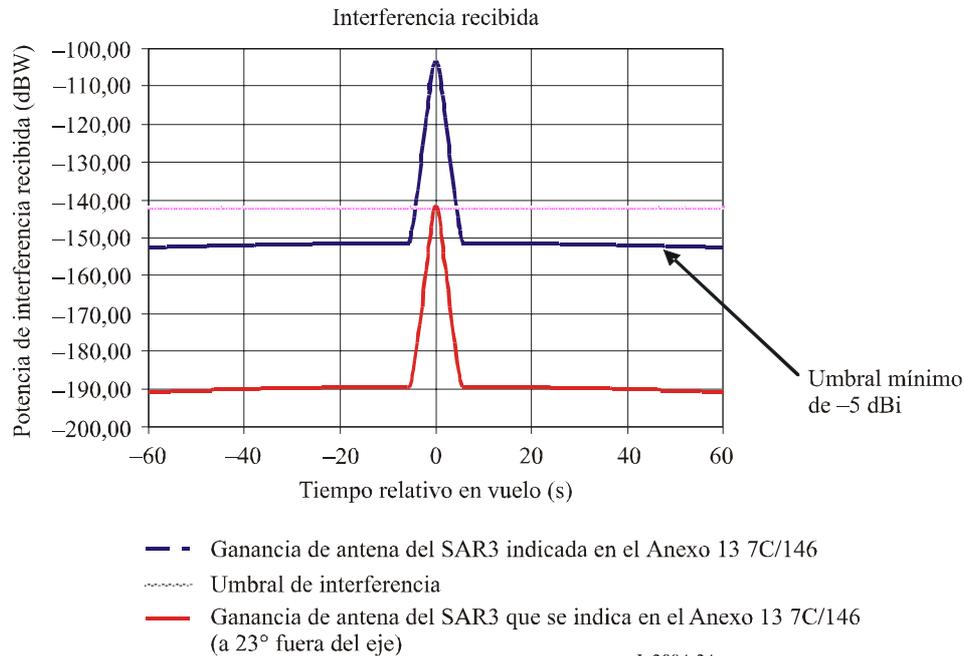


FIGURA 24

Niveles de la interferencia ocasionada por el SAR3 a un radar terrenal G3 (calculados utilizando las ecuaciones de ganancia de antena originales para el SAR3 o las ecuaciones revisadas del Cuadro 31) a 506 km de altitud orbital



6.2.4 Conclusiones del análisis

En el presente documento se expone la técnica de mitigación de interferencia que utiliza ponderación de fase a lo largo de la red de antenas SAR3 de banda ancha. Se señala que utilizar la ponderación de fase puede reducir significativamente la interferencia ocasionada a radares terrenales por parte de los lóbulos laterales de la antena del SAR. Esta técnica de mitigación de la interferencia puede mejorar las condiciones de compartición entre un SAR y radares terrenales.

7 Resumen y conclusiones

En el presente Informe se indican detalladamente los estudios efectuados sobre compatibilidad entre el SETS (activo) y el servicio de radiodeterminación en las bandas 9 300-9 500 MHz y 9 800-10 000 MHz y entre el SETS (activo) y el servicio fijo en la banda 9 800-10 000 MHz. Aparte de los estudios de compatibilidad e interferencia precitados, en el Informe se incluye también información sobre las técnicas de mitigación de la interferencia utilizadas en relación con el SETS (activo).

8 Documentos complementarios

Textos de UIT-R

- Recomendación UIT-R M.1796 – Características y criterios de protección de los radares terrenales que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 8 500-10 500 MHz.
- Informe UIT-R M.2081 – Resultado de las pruebas efectuadas para ilustrar la compatibilidad entre sistemas de radionavegación representativos y sistemas de radiolocalización y del SETS en la banda 8,5-10 GHz.
- Recomendación UIT-R F.758-4 – Consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición entre el servicio fijo y otros servicios (enero de 2005).

- Recomendación UIT-R SM.337-4 – Frecuencia y distancia (octubre de 1997).
 - Recomendación UIT-R SM.1541-1 – Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda (noviembre de 2002).
 - Recomendación UIT-R RS.1166-2 – Criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para sensores activos a bordo de vehículos espaciales (octubre de 1999) (reemplaza UIT-R SA.1166-2).
 - Recomendación UIT-R M.1461-1 – Procedimientos para determinar la posibilidad de interferencia entre radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación y sistemas de otros servicios (junio de 2003).
 - Recomendación UIT-R M.1372-1 – Utilización eficaz del espectro radioeléctrico por las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación (junio de 2003).
 - Recomendación UIT-R RS.1280 – Selección de las características de emisión de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales para reducir la posible interferencia causada a radares terrenales que funcionan en las bandas de frecuencias 1-10 GHz (octubre de 1997).
-