

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R RS.2043-0
(02/2014)

Características de los radares de apertura sintética del servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) que funcionan en torno a 9 600 MHz

Serie RS
Sistemas de detección a distancia

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2015

© UIT 2015

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R RS.2043-0

Características de los radares de apertura sintética del servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) que funcionan en torno a 9 600 MHz

(2014)

Cometido

En esta Recomendación se presentan las características de los radares de apertura sintética del servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) con atribuciones en torno a 9 600 MHz. Esta información debe facilitar la realización de estudios de compartición y compatibilidad con otros servicios de radiocomunicaciones en la misma gama de frecuencias o en gamas de frecuencias cercanas. En esta misma gama de frecuencias operan sistemas de teledetección por satélite que utilizan diversos anchos de banda de transmisión de radar entre 100 MHz y 1 200 MHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los sistemas de teledetección activos por microondas a bordo de vehículos espaciales requieren gamas de frecuencia específicas que dependen de los fenómenos físicos que van a observarse;
- b) que se han atribuido algunas bandas de frecuencia a los sistemas de teledetección activos por microondas a bordo de vehículos espaciales;
- c) que la anchura de banda de transmisión de un sensor de radar está directamente relacionada con la resolución que puede lograrse en las mediciones;
- d) que como muestra el Informe UIT-R RS.2274 cada vez hay más demanda de información de radar de alta resolución;
- e) que las observaciones realizadas en la gama de frecuencias de 9 GHz proporcionan datos fundamentales para el estudio de las características de la Tierra y de sus fenómenos naturales, incluidos los datos relativos al estado del medio ambiente;
- f) que únicamente la banda de 9 600 MHz ofrece la situación más ventajosa en cuanto a la mayor anchura de banda posible en una banda de frecuencias que proporciona buenas condiciones de propagación,

reconociendo

que en la Recomendación UIT-R RS.1166 aparecen los criterios de calidad de funcionamiento y de interferencia para los sensores activos del servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo), incluidos los radares de apertura sintética que funcionan en torno a 9 600 MHz,

recomienda

que para los estudios de compartición y compatibilidad relativos al servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) en torno a 9 600 MHz se haga uso de las características de los típicos sistemas de radar de apertura sintética a bordo de vehículos espaciales que funcionan en la gama de 9 GHz, como se describe en el Anexo.

Anexo

Características de los radares de apertura sintética del servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) que funcionan en torno a 9 600 MHz

1 Principios de los radares de apertura sintética (SAR)

Un radar de apertura sintética (SAR) es un radar de exploración lateral coherente a bordo de un vehículo espacial que utiliza el trayecto del vuelo de un satélite para emular de manera electrónica una antena o una apertura extremadamente grande, y que genera una imagen por teledetección de alta resolución.

En principio, un SAR es un sistema activo de antenas controlado por fase. Pero en lugar de utilizar un gran número de elementos de antena en paralelo, hace uso de un solo elemento de antena en modo múltiplex en el tiempo. Las diferentes posiciones geométricas de los elementos de antena son los resultados de la plataforma en movimiento.

El satélite se desplaza en la dirección del vuelo con el nadir apuntando hacia el centro de la Tierra. El haz de microondas se transmite de forma oblicua a ángulos rectos respecto a la dirección del vuelo iluminando una zona de exploración. El alcance se refiere a la dimensión a través de la huella perpendicular a la dirección del vuelo y el acimut a la dimensión a lo largo de la huella paralela a la dirección del vuelo. La anchura de la zona de exploración es la franja de la superficie de la Tierra en la que se recogen los datos como un radar de exploración lateral. Es el ancho de la imagen en la dimensión de alcance. La amplitud longitudinal de la zona de exploración queda definida por el movimiento de la aeronave con respecto a la superficie, mientras que el ancho de la zona de exploración se mide perpendicularmente a la amplitud longitudinal de dicha zona.

A lo largo del tiempo, se completan los ciclos individuales de transmisión/recepción (tiempo de repetición de impulsos (PRT)) y los datos recopilados de cada ciclo se almacenan en una memoria a bordo. El procedimiento de la señal emplea la magnitud y la fase de las señales recibidas a lo largo de impulsos sucesivos de los elementos de una apertura sintética. Transcurrido un número determinado de ciclos, los datos almacenados se recombinan para crear una imagen de alta resolución del terreno sobrevolado.

2 Modos de funcionamiento de los radares de apertura sintética (SAR)

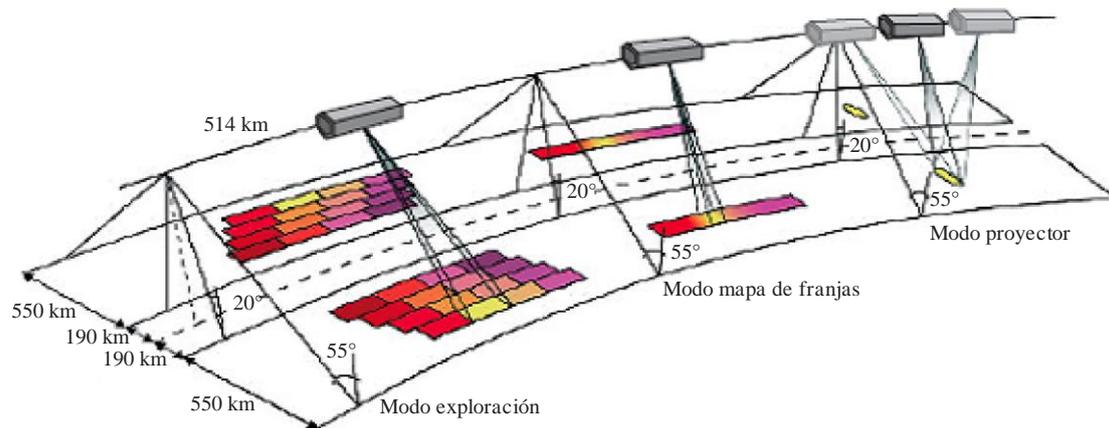
2.1 Geometría

Los SAR que funcionan en las proximidades de 9,6 GHz se controlan mediante un mando en tierra para activarlos y desactivarlos, según sea necesario a fin de visualizar únicamente zonas específicas de la Tierra. De todos los modos SAR mostrados en la Fig. 1, la anchura de banda completa de la señal de chirrido de 1 200 MHz sólo está destinada para su utilización cuando funciona en modo proyector.

Otros modos pueden utilizar la banda de frecuencias 9 300-9 900 MHz de acuerdo con las disposiciones que figuran en las notas de los números **5.475A**, **5.476A**, **5.478A** y **5.478B** del RR.

El modo mapa de franjas del SAR convencional supone una dirección de puntería fija de la dirección transversal de la antena del radar a la huella de la plataforma. Un mapa de franjas es una imagen cuya anchura viene constituida por la zona de exploración del SAR y que sigue el contorno de longitud de la línea de vuelo de la propia plataforma. En el modo exploración, el SAR puede iluminar varias subzonas de exploración mediante el barrido por parte de su antena en diferentes posiciones.

FIGURA 1
**Modos de funcionamiento de un sistema SAR en la atribución de 9 GHz
 del sistema de exploración de la Tierra por satélite (SETS)**



RS.2043-0

En el funcionamiento del SAR, el modo proyector obtiene la mayor resolución mediante el control electrónico del haz del radar apuntando a un objetivo formando de esa manera una apertura sintética más amplia. El modo proyector puede mejorar la resolución de las imágenes del SAR a menos de 30 cm. Como se utilizan más impulsos también se mejora la resolución en acimut.

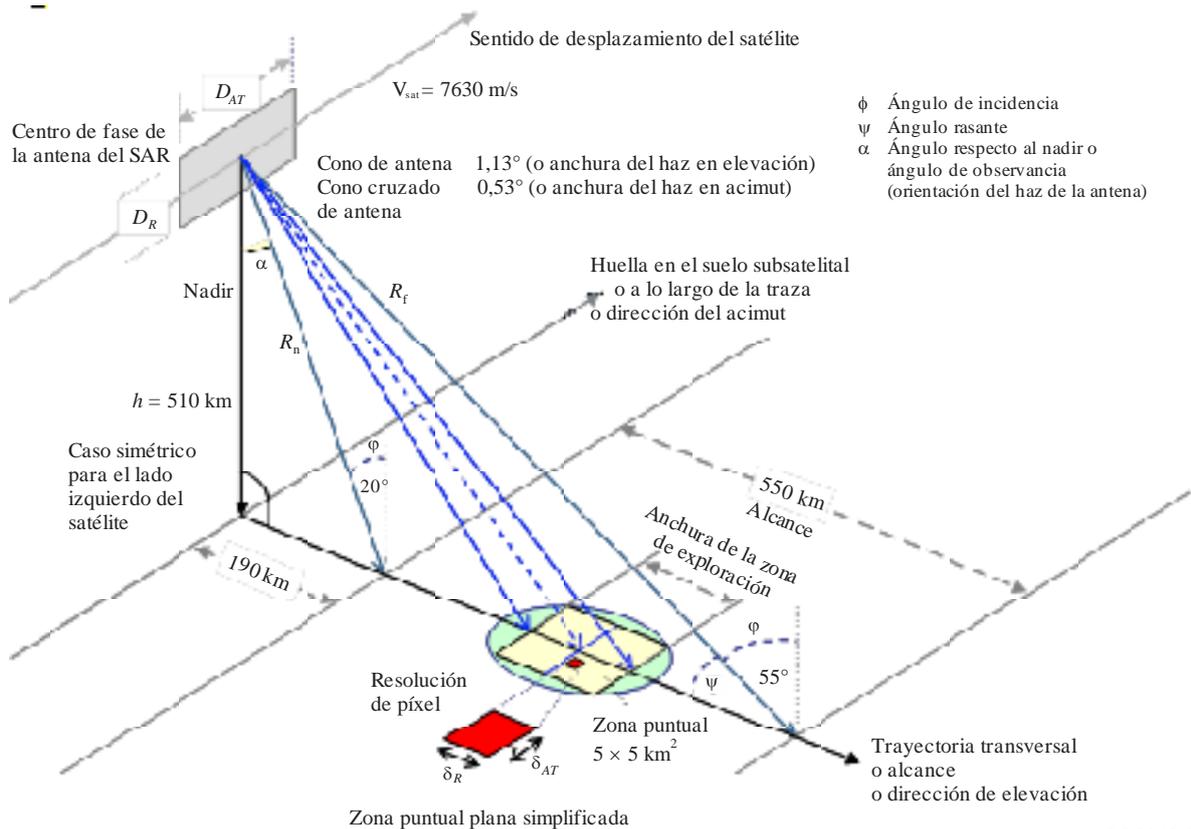
El funcionamiento en modo proyector normalmente se hace a expensas de la cobertura espacial, pues otras zonas en el interior de una determinada accesibilidad de la zona de exploración del SAR no pueden iluminarse mientras el haz del radar está proyectado a una zona objetivo en particular. En la Fig. 2 se ilustran los detalles de las geometrías de la imagen en este modo.

Los datos se recogen normalmente seleccionando entre 49 y 65 subzonas de exploración de 20 km en alcance y 0,35 km en acimut. Estos datos pueden utilizarse para crear un mosaico de subzonas de exploración en acimut a fin de procesar una imagen de 5×5 km.

Todos los SAR se controlan mediante un mando en tierra para activarlos y desactivarlos según sea necesario a fin de visualizar zonas específicas de la Tierra. El mando activación desencadena una transmisión de impulsos de radiofrecuencia (chirps) durante un corto periodo de tiempo de aproximadamente cinco segundos o menos, dependiendo de la observación que pretenda realizarse.

FIGURA 2

**Geometría de la imagen del SAR en el SETS para el modo proyector de alta resolución
(banda amplia con una anchura de banda de la señal de chirrido de 1 200 MHz)**



RS.2043-0

2.2 Características de la temporización para el SAR-4 en modo alta resolución

Como se ha indicado en el § 2.1 la máxima anchura de banda de 1 200 MHz sólo se utiliza en modo proyector del sistema SAR-4, cuando se necesita la resolución de imagen del radar más elevada.

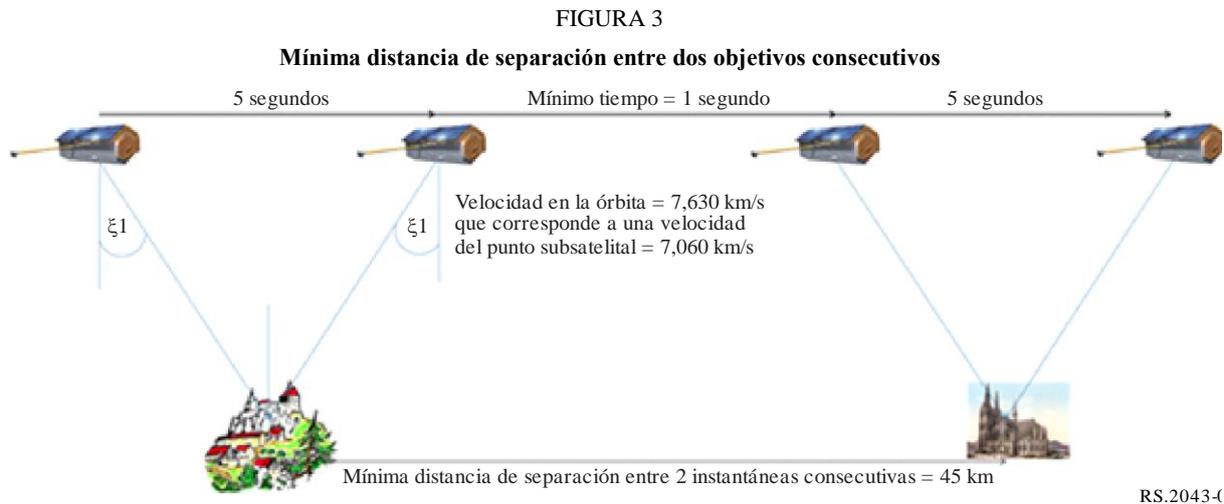
En este modo, el SAR-4 transmite durante un corto periodo (normalmente 5 segundos) en cada evento de la exposición del SAR («instantánea»). Durante los cinco segundos de transmisión, el satélite se desplaza en realidad más de 38 km a lo largo de su órbita modificando de esa forma permanentemente el ángulo incidente efectivo en la zona puntual expuesta, como muestra la Fig. 2. En modo proyector, puede haber hasta 20 eventos instantáneos en cada órbita del satélite (95 minutos), con un mínimo tiempo de 1 segundo entre eventos consecutivos, lo que corresponde a una distancia de 45 km en tierra. En la Fig. 3 aparece una representación gráfica de la situación.

En una órbita heliosíncrona, el satélite se desplaza permanentemente a lo largo de la frontera día-noche. Con una altitud típica de 515 km, la periodicidad de esta órbita heliosíncrona da lugar a una huella del punto subsatelital que se repite cada 11 días. Como resultado de los requisitos de la órbita, y dependiendo de la latitud geográfica, el emplazamiento del radar y las zonas adyacentes no son visibles más de dos veces al día.

Las zonas adyacentes se consideran zonas afectadas por la iluminación del lóbulo lateral de la antena. Las zonas del nivel de cresta y las zonas adyacentes no se iluminan más de una vez cada periodo orbital.

Un sistema SAR-4 transmite impulsos con un ciclo de trabajo fijo de $50 \mu\text{s}$ seguido de $120 \mu\text{s}$ de silencio. La temporización de los impulsos se adapta a una tasa de repetición de impulsos fija. Durante los $50 \mu\text{s}$ de cada impulso de transmisión la portadora de transmisión (CW) sin modular realiza un

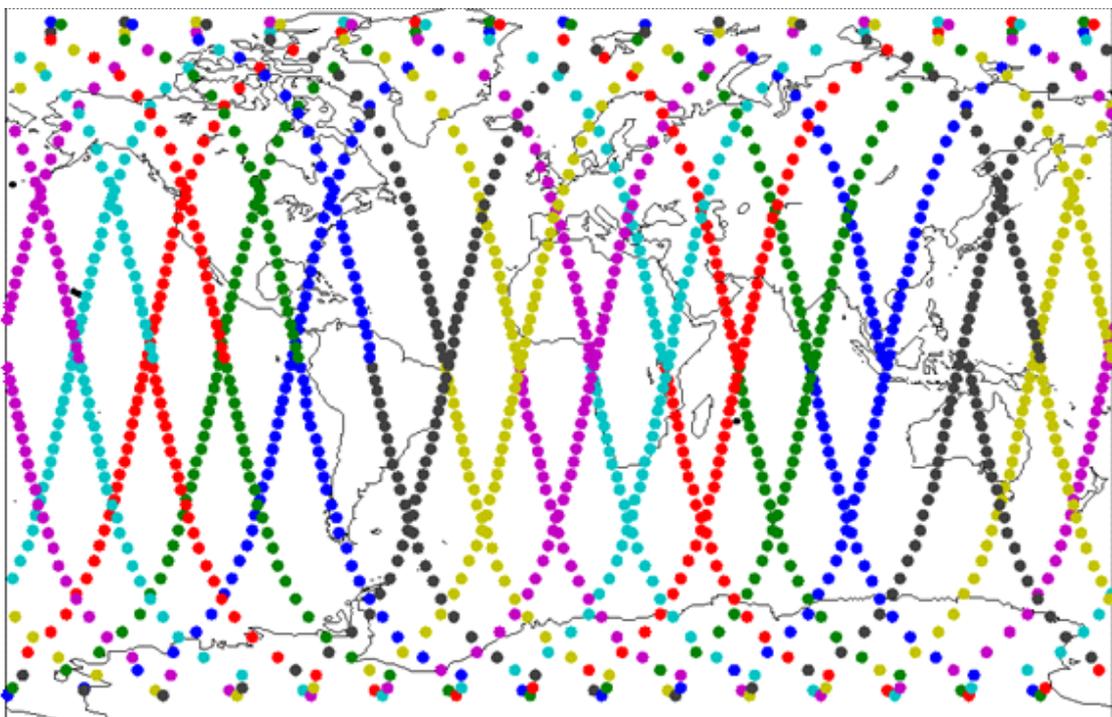
barrido de toda la anchura de banda de 1 200 MHz («chirp»). El ciclo de trabajo de transmisión resultante, como muestra el Cuadro 1, permanece fijo en todas las condiciones de anchura del impulso y tasa de repetición de impulsos.



En el Informe UIT-R RS.2178 se describen otros modos del SAR.

La Fig. 4 muestra las huellas en el suelo del punto subsatelital para 14 periodos orbitales de un satélite SAR-4. Durante cada periodo orbital la Tierra gira aproximadamente 23,7°. En caso de que haya un trayecto sobre la misma vertical (90° de elevación) de un emplazamiento, la órbita anterior y la órbita posterior aparecerán con los máximos ángulos de elevación más bajos (próximos al horizonte) de la estación.

FIGURA 4
Huella en tierra del punto subsatelital del SAR-4 para 14 periodos orbitales de 1 h 34 m 49 s cada uno (15,19 rev/d)



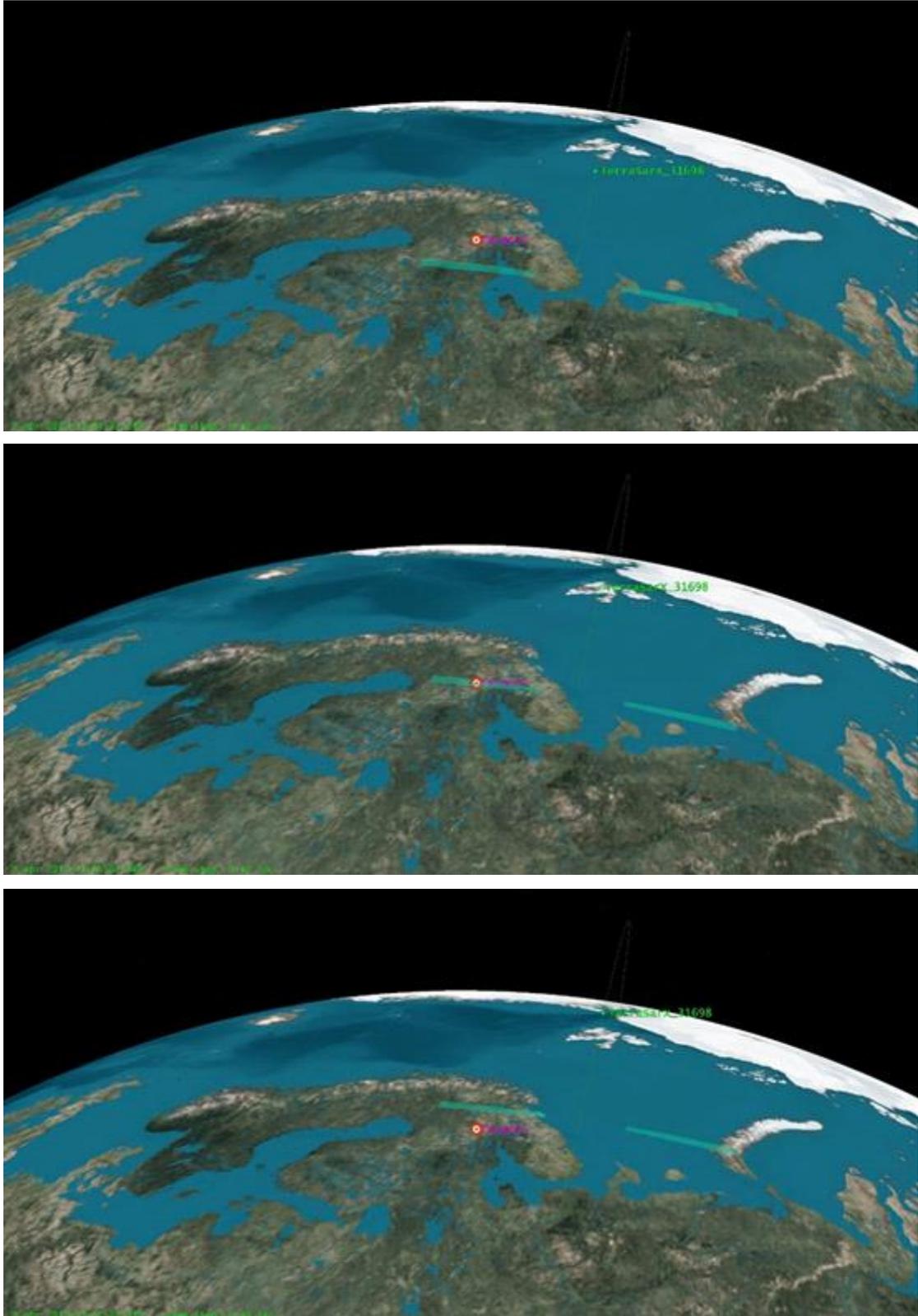
La Fig. 5 proporciona ejemplos de trayectos sobre la misma vertical y sus correspondientes condiciones de iluminación para tres altitudes típicas. En cada una de las imágenes de esta Figura puede verse a ambos lados de la huella del satélite una zona de color azul que muestra el dominio en que el instrumento del SAR iluminaría una zona en modo proyector en un instante de tiempo determinado.

Debido al movimiento del propio satélite, el punto subsatelital se desplaza a lo largo de la huella subsatelital¹ a una velocidad de 7,06 km/s. El objetivo sólo es iluminado cuando se encuentra en el interior de esta zona azul (dentro del lóbulo del haz principal del satélite), con un máximo tiempo de iluminación de 5 a 7 segundos dependiendo del emplazamiento real del objetivo con respecto a la huella del satélite.

Cuando se consideran tanto el haz principal como los lóbulos laterales, el máximo tiempo de iluminación puede ser mayor. Las consecuencias en cuanto a interferencia perjudicial dependerán del servicio y el sistema considerados. La siguiente información se basa en iluminaciones del haz principal.

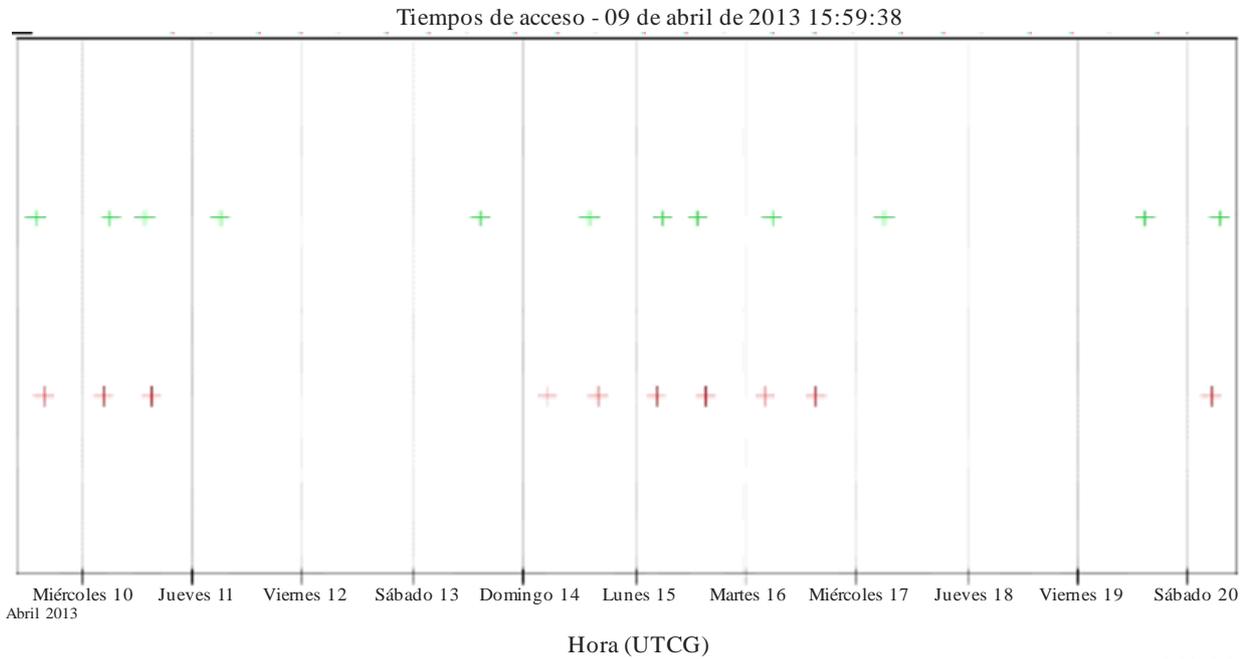
¹ Traza de los puntos subsatelitales sobre la superficie de la Tierra determinada por una línea virtual entre el vehículo espacial y el centro de la Tierra.

FIGURA 5
Zona de iluminación del satélite
(trayecto del satélite sobre la misma vertical)



La Fig. 6 y el Cuadro 1 proporcionan, para un emplazamiento determinado sobre la Tierra, los tiempos de iluminación potencial y la acumulación a lo largo de 11 días, transcurridos los cuales la huella de los puntos subsatelitales se repetirá exactamente. Hay hasta cuatro iluminaciones potenciales por día a elevadas altitudes. Como muestra la Fig. 6, el número de iluminaciones varía cada día de cero a cuatro.

FIGURA 6
Oportunidades de iluminación a lo largo de un periodo completo de 11 días a latitudes elevadas



CUADRO 1

Tiempo acumulado de posibles iluminaciones a lo largo de un periodo completo de 11 días a latitudes elevadas

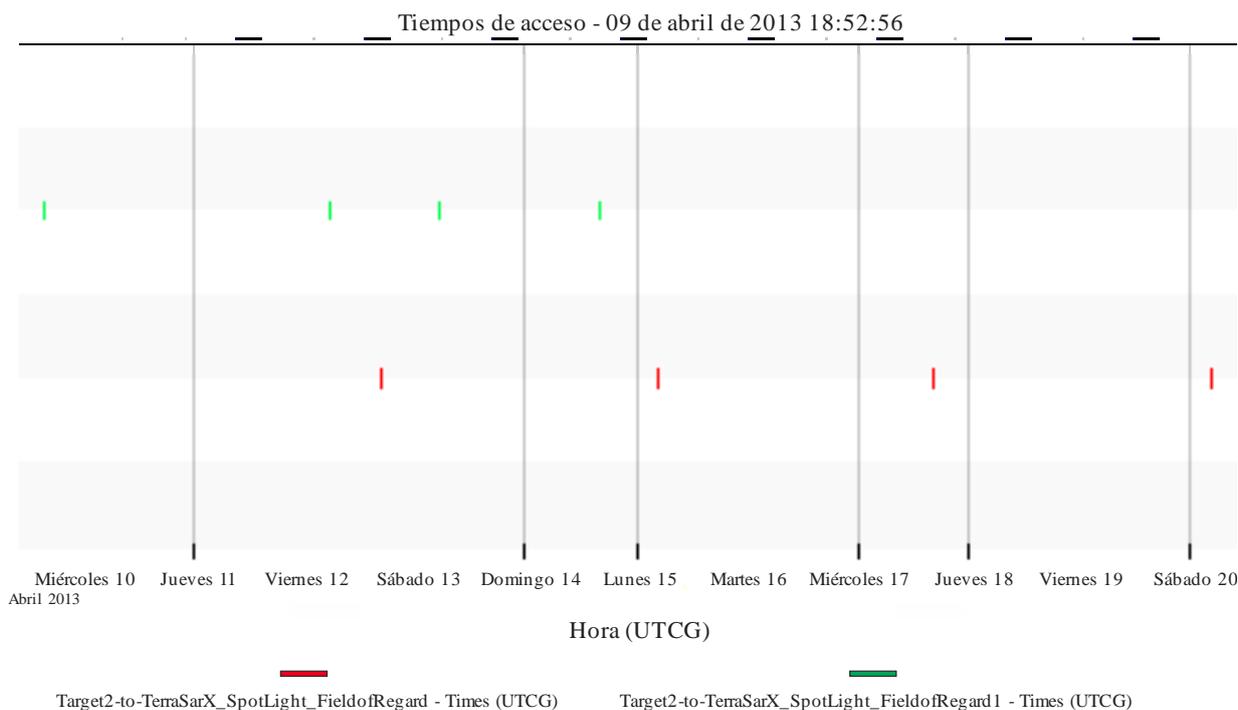
Hora de inicio (UTCG)	Hora de finalización (UTCG)	Duración (s)
9 de abril de 2013 14:04:58,246	9 de abril de 2013 14:05:05,008	6,762
9 de abril de 2013 15:38:58,735	9 de abril de 2013 15:39:06,027	7,292
10 de abril de 2013 04:29:51,820	10 de abril de 2013 04:29:58,819	6,999
10 de abril de 2013 06:03:50,310	10 de abril de 2013 06:03:57,310	7,000
10 de abril de 2013 13:47:56,501	10 de abril de 2013 13:48:04,209	7,708
10 de abril de 2013 15:21:49,102	10 de abril de 2013 15:21:55,247	6,145
11 de abril de 2013 05:46:48,240	11 de abril de 2013 05:46:54,287	6,047
13 de abril de 2013 14:30:27,763	13 de abril de 2013 14:30:33,100	5,337
14 de abril de 2013 04:55:30,126	14 de abril de 2013 04:55:35,471	5,345
14 de abril de 2013 14:13:22,852	14 de abril de 2013 14:13:29,144	6,291
14 de abril de 2013 15:47:27,234	14 de abril de 2013 15:47:35,117	7,882
15 de abril de 2013 04:38:19,663	15 de abril de 2013 04:38:26,098	6,435
15 de abril de 2013 06:12:13,167	15 de abril de 2013 06:12:20,630	7,464
15 de abril de 2013 13:56:19,267	15 de abril de 2013 13:56:26,513	7,246
15 de abril de 2013 15:30:15,649	15 de abril de 2013 15:30:22,348	6,699
16 de abril de 2013 04:21:07,202	16 de abril de 2013 04:21:14,804	7,602
16 de abril de 2013 05:55:10,750	16 de abril de 2013 05:55:17,266	6,517
16 de abril de 2013 15:13:05,560	16 de abril de 2013 15:13:11,149	5,589
17 de abril de 2013 05:38:06,586	17 de abril de 2013 05:38:12,148	5,562
19 de abril de 2013 14:21:42,280	19 de abril de 2013 14:21:48,106	5,826
20 de abril de 2013 04:46:41,507	20 de abril de 2013 04:46:47,403	5,896
20 de abril de 2013 06:20:30,148	20 de abril de 2013 06:20:38,073	7,924
Estadísticas generales	Valor	
Mínima duración (s)	5,337	
Máxima duración (s)	7,924	
Duración media (s)	6,617	
Duración total (s)	145,568	

El tiempo total de iluminación posible es de 145,568 segundos a lo largo de 11 días, lo que corresponde al 0,02% del tiempo.

La Fig. 7 y el Cuadro 2 muestran las condiciones de los emplazamientos de radar a latitudes medias. En estos casos, el número de posibles iluminaciones cada día varía entre 0 y 2.

FIGURA 7

Oportunidades de iluminación a lo largo de un periodo completo de 11 días a latitudes medias



RS.2043-0

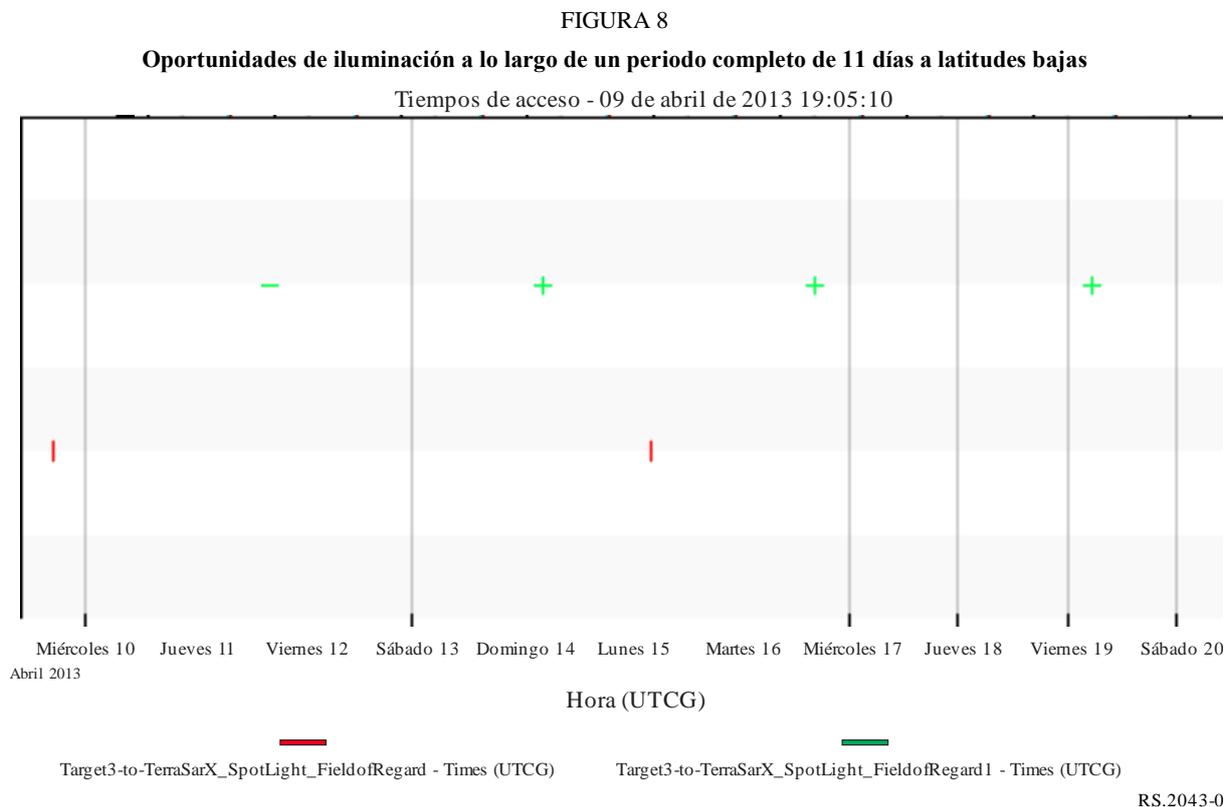
CUADRO 2

Tiempo acumulado de posibles iluminaciones a lo largo de un periodo completo de 11 días a latitudes medias

Hora de inicio (UTC)	Hora de finalización (UTC)	Duración (s)
9 de abril de 2013 15:34:45,714	9 de abril de 2013 15:34:52,069	6,355
10 de abril de 2013 04:34:36,995	10 de abril de 2013 04:34:44,635	7,639
12 de abril de 2013 05:34:20,860	12 de abril de 2013 05:34:27,843	6,983
12 de abril de 2013 16:17:22,834	12 de abril de 2013 16:17:29,214	6,38
13 de abril de 2013 05:17:18,746	13 de abril de 2013 05:17:23,991	5,246
14 de abril de 2013 15:43:10,577	14 de abril de 2013 15:43:16,078	5,501
15 de abril de 2013 04:43:04,397	15 de abril de 2013 04:43:11,070	6,673
15 de abril de 2013 15:26:06,532	15 de abril de 2013 15:26:13,786	7,255
17 de abril de 2013 05:42:41,045	17 de abril de 2013 05:42:48,910	7,865
17 de abril de 2013 16:25:46,303	17 de abril de 2013 16:25:53,630	7,327
18 de abril de 2013 05:25:39,006	18 de abril de 2013 05:25:45,093	6,088
18 de abril de 2013 16:08:37,576	18 de abril de 2013 16:08:43,009	5,433
20 de abril de 2013 04:51:25,641	20 de abril de 2013 04:51:31,402	5,761
Estadísticas generales	Valor	
Mínima duración (s)	5,246	
Máxima duración (s)	7,865	
Duración media (s)	6,500	
Duración total (s)	84,506	

En este caso, el tiempo total de acceso se reduce a 84,5 segundos en los 11 días, lo que supone el 0,009% del tiempo.

La Fig. 8 y el Cuadro 3 muestran las condiciones de las posibles iluminaciones potenciales a bajas latitudes. En estos casos, el número de posibles iluminaciones cada día varía entre 0 y 2.



CUADRO 3

Tiempo acumulado de posibles iluminaciones a lo largo de un periodo completo de 11 días a latitudes bajas

Hora de inicio (UTCg)	Hora de finalización (UTCg)	Duración (s)
9 de abril de 2013 17:00:08,771	9 de abril de 2013 17:00:15,801	7,03
10 de abril de 2013 04:43:31,960	10 de abril de 2013 04:43:38,416	6,456
11 de abril de 2013 16:26:02,928	11 de abril de 2013 16:26:09,455	6,528
14 de abril de 2013 05:09:00,363	14 de abril de 2013 05:09:06,089	5,725
15 de abril de 2013 04:51:56,973	15 de abril de 2013 04:52:02,103	5,13
15 de abril de 2013 16:51:29,517	15 de abril de 2013 16:51:35,145	5,628
16 de abril de 2013 04:34:50,485	16 de abril de 2013 04:34:58,396	7,911
16 de abril de 2013 16:34:25,460	16 de abril de 2013 16:34:30,684	5,224
19 de abril de 2013 05:17:18,707	19 de abril de 2013 05:17:25,754	7,047
Estadísticas generales	Valor	
Mínima duración (s)	5,13	
Máxima duración (s)	7,911	
Duración media (s)	6,298	
Duración total (s)	56,679	

Para un objetivo situado a latitudes bajas, el número de accesos por día se limita a menos de 2 y el tiempo total de iluminación posible es de 56,6 segundos, lo que corresponde al 0,006% del tiempo.

3 Características técnicas de los sensores SAR del SETS

En el Cuadro 4 aparecen las características técnicas de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales en la gama de frecuencias de 9 GHz.

Los correspondientes diagramas de ganancia de antena de todos los sistemas SAR figuran en los Cuadros 5 a 8, respectivamente.

El Cuadro 5 proporciona el diagrama de antena del SAR-4. Los diagramas de antena de los sistemas SAR-1 a SAR-3 figuran en el Informe UIT-R RS.2094.

CUADRO 4

Características técnicas de los sistemas SAR del SETS

Parámetro	SAR-1	SAR-2	SAR-3	SAR-4
Altitud orbital (km)	400	619	506	510
Inclinación orbital (grados)	57	98	98	98
Frecuencia central de RF (GHz)	9,6	9,6	9,6	9,3-9,9 ^(*)
Potencia de cresta radiada (W)	1 500	5 000	25 000	7 000
Modulación de impulsos	Fluctuación modulada linealmente en frecuencia			
Anchura de banda de la fluctuación (MHz)	10	400	450	1 200
Duración del impulso (µs)	33,8	10-80	1-10	50
Frecuencia de repetición de impulsos (ips)	1 736	2 000-4 500	410-515	6 000
Ciclo de trabajo (%)	5,9	2,0-28,0	0,04-0,5	30
Relación de compresión de gama	338	< 12 000	450-4 500	60 000
Tipo de antena	Guíaondas ranurado	Red coplanar	Red coplanar en fase	Red coplanar
Ganancia de antena de cresta (dBi)	44,0	44,0-46,0	39,5-42,5	47,0
p.i.r.e. (dBW)	75,8	83,0	83,5-88,5	85,5
Orientación de la antena con respecto al nadir	20° a 55°	34°	20° a 44°	18,5° a 49,3°
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)	1,13° (El) 0,53° (Az)
Polarización de la antena	Lineal vertical	Lineal HH o VV	Lineal horizontal/vertical	Lineal horizontal/vertical
Temperatura de ruido del sistema (K)	551	500	600	500

^(*) El valor final depende de la decisión que tome la CMR-15 respecto al punto 1.12 del orden del día.

CUADRO 5

Diagrama de ganancia de antena del SAR-1 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 6

Diagrama de ganancia de antena del SAR-2 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)	$G_v(\theta_v) = 46,0 - 0,835(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,0$ $G_v(\theta_v) = 26,0$ $G_v(\theta_v) = 10,0$	$\theta_v < 3,8$ $3,8 \leq \theta_v \leq 15$ $15 < \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
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 7

Diagrama de ganancia de antena del SAR-3 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	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

CUADRO 8

Diagrama de ganancia de antena del SAR-4 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)	$G_v(\theta_v) = 47,0 - 9,91(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35,9 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 11,0$	$\theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
Horizontal (acimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45,53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -10,97 - 2,00 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35,0$	$\theta_h \leq 0,5$ $0,5 < \theta_h \leq 12$ $\theta_h > 12$
Diagrama del haz	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

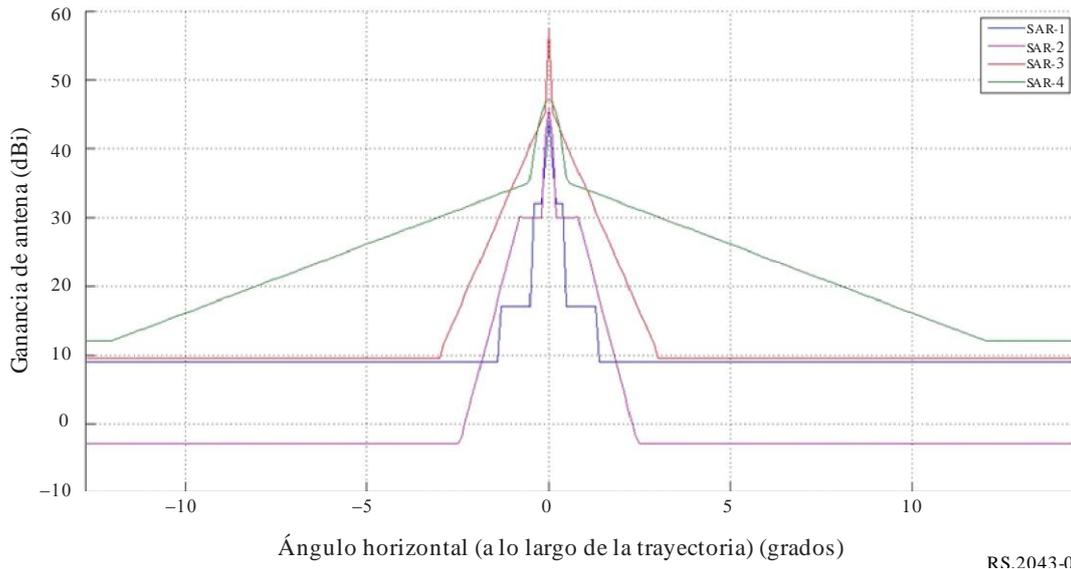
El Cuadro 9 presenta un diagrama de antena alternativo que debe utilizarse cuando se considere un modelo más preciso para los niveles medios de los lóbulos laterales (3 dB por debajo de los lóbulos laterales de cresta).

CUADRO 9

Diagrama de ganancia media de antena del SAR-4 cerca de 9,6 GHz

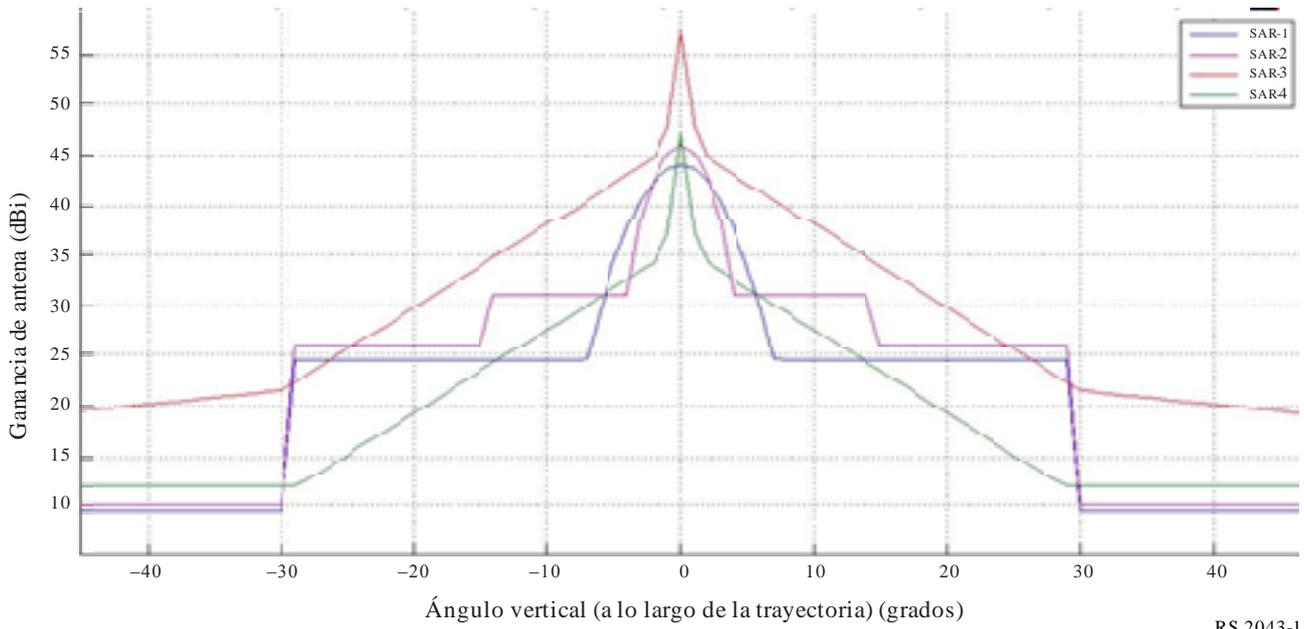
Diagrama	Ganancia $G(\theta)$ (dBi) en función del ángulo θ con respecto al eje (grados)	Gama angular (grados)
Vertical (elevación)	$G_v(\theta_v) = 47,0 - 9,91 (\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35,189 - 1,944\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 21,043 - 0,468\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 12,562 - 0,185\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 3,291$	$\theta_v < 1,149$ $1,149 \leq \theta_v \leq 9,587$ $9,587 \leq \theta_v \leq 29,976$ $29,976 \leq \theta_v \leq 50$ $\theta_v > 50,0$
Horizontal (acimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45,53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -11,210 - 4,022\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -26,720 - 0,953\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35,031 - 0,388\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -41,936 - 0,158\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -51,387$	$\theta_h \leq 0,542$ $0,542 < \theta_h \leq 5,053$ $5,053 < \theta_h \leq 14,708$ $14,708 < \theta_h \leq 30,00$ $30,00 < \theta_h \leq 59,915$ $\theta_h > 59,915$
Diagrama del haz	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

FIGURA 9
Diagrama de antena a lo largo de la trayectoria



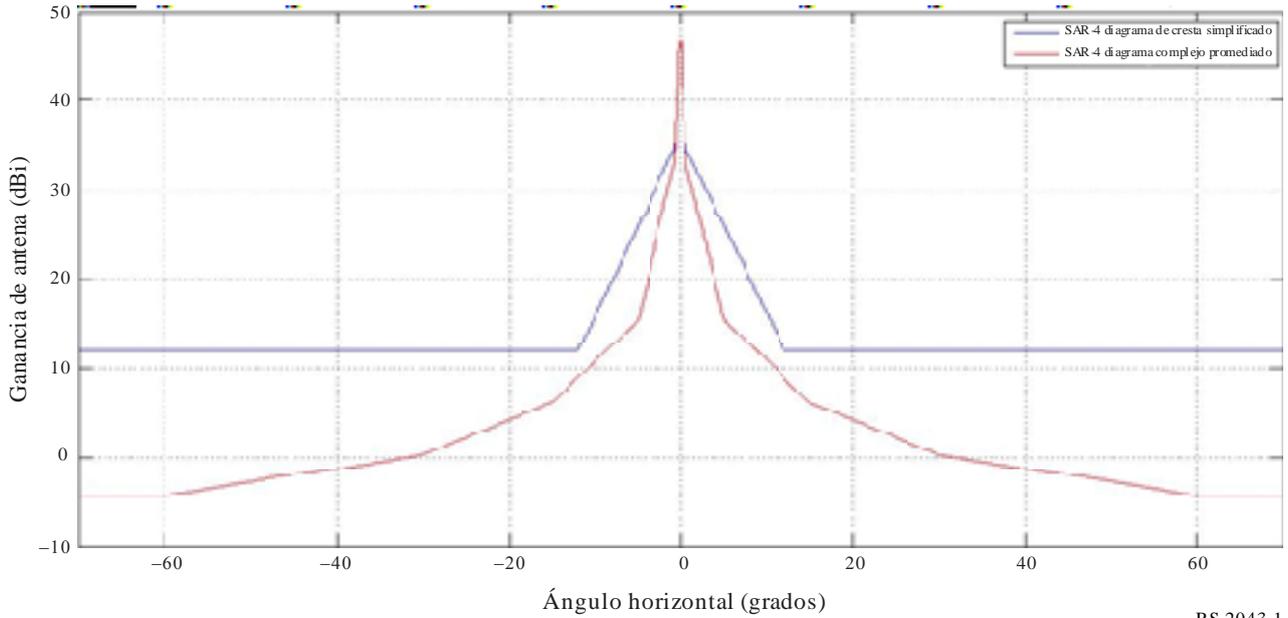
RS.2043-0

FIGURA 10
Diagrama de antena a lo largo de la trayectoria transversal



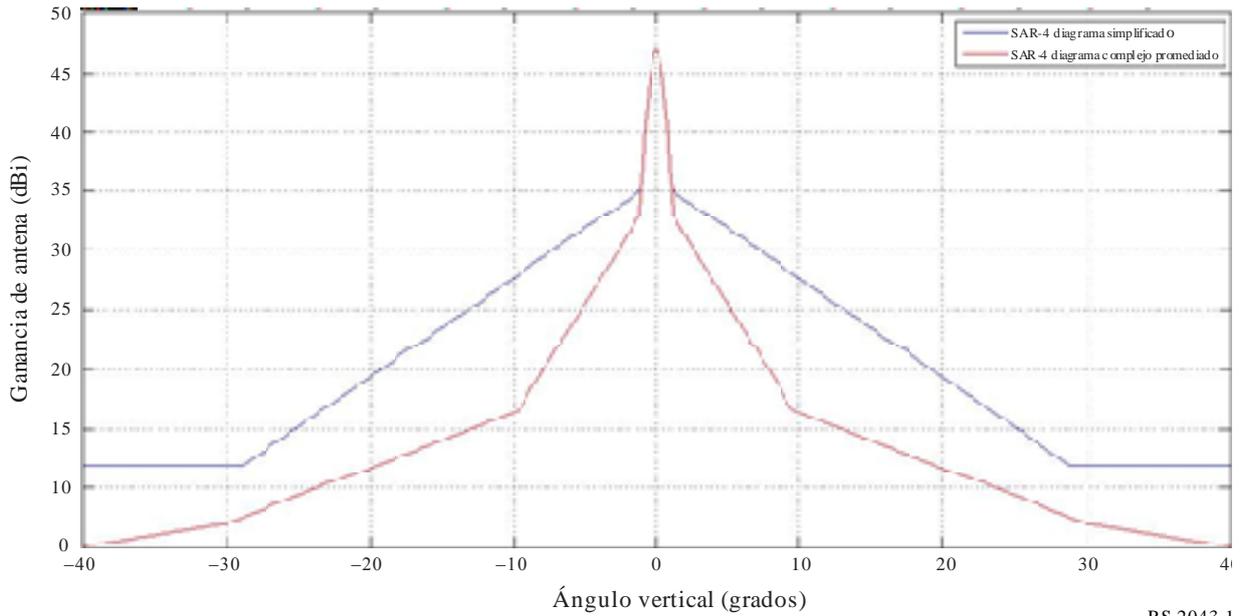
RS 2043-1

FIGURA 11
Diagramas de cresta simplificado y complejo promediado
a lo largo de la trayectoria para el SAR-4



RS.2043-1

FIGURA 12
Diagramas de cresta simplificado y complejo promediado
a lo largo de la trayectoria transversal para el SAR-4



RS.2043-1