

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R RS.2042-1**  
(12/2018)

**Características técnicas y operativas típicas  
de los sistemas de sonda de radar  
en vehículos espaciales que utilizan  
la banda 40-50 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 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
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión (sonora)
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	<b>Sistemas de detección a distancia</b>
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	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, 2019

© UIT 2019

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.2042-1

**Características técnicas y operativas típicas de los sistemas de sonda de radar en vehículos espaciales que utilizan la banda 40-50 MHz**

(2014-2018)

**Cometido**

Esta Recomendación proporciona las características técnicas y operativas de los sistemas de sonda de radar en vehículos espaciales que funcionan en la región de 45 MHz. Esta información se utilizará para los estudios de compatibilidad.

**Palabras clave**

Servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo), sensores activos en vehículos espaciales, superficie del lecho glacial, capas subterráneas de dispersión, acuíferos fósiles de la Tierra en entornos desérticos, sistema de sonda de radar superficial (*Shallow Radar Sounder (SHARAD)*).

**Informes y Recomendaciones del UIT-R conexos**

Proyecto de nuevo Informe UIT-R RS.[VHF\_SOUNDER] – Resultados preliminares de los estudios de compartición entre sondas de radar a 45 MHz y servicios fijos, móviles, de radiodifusión y de investigación espacial que funcionan en la gama de frecuencias 40-50 MHz.

Informe UIT-R M.2234 –Viabilidad de la compartición de subbandas entre los radares oceanográficos que funcionan en el servicio de radiolocalización y los servicios fijos y móviles en la banda 3-50 MHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que las sondas de radar en vehículos espaciales pueden proporcionar cartografías de radar de las capas de dispersión subterráneas para la localización de depósitos de agua/hielo utilizando sensores activos en vehículos espaciales;
- b) que los objetivos científicos de la misión son: 1) entender el espesor global, la estructura interna y la estabilidad térmica de las capas de hielo de la Tierra en zonas como Groenlandia y la Antártica como parámetros observables del cambio climático de la Tierra, y 2) entender la aparición, la distribución y la dinámica de los acuíferos superficiales de la Tierra en entornos desérticos como el norte de África y la Península Arábiga como elementos clave para comprender los recientes cambios paleoclimáticos;
- c) que es necesario realizar mediciones de reflectividad de las capas de dispersión subterráneas, en profundidades de 10 m a 100 m;
- d) que la profundidad de penetración en las capas de dispersión subterráneas es, para longitudes de onda de microondas y de manera aproximada, inversamente proporcional a la frecuencia;
- e) que a nivel mundial, las mediciones repetitivas de los depósitos de agua subterráneos en entornos desérticos como el norte de África y la Península Arábiga, y las mediciones repetitivas de las capas de hielo de la Tierra en zonas como Groenlandia y la Antártica requieren la utilización de sensores activos en vehículos espaciales;
- f) que para cumplir con todos los requisitos de las sondas de radar en vehículos espaciales es preferible utilizar la gama de frecuencia 40-50 MHz;

- g) que la banda de frecuencias 40-50 MHz está atribuida a título primario a los servicios fijo, móvil y de radiodifusión;
- h) que la utilización de la banda de frecuencias 40,98-41,015 MHz por el servicio de investigación espacial es a título secundario;
- i) que las notas de los países en el Cuadro de Atribución de Frecuencias para la gama de frecuencias de 40-50 MHz proporcionan atribuciones a título primario a los servicios de aficionados, radiodifusión, fijo y móvil, radionavegación aeronáutica y radiolocalización en ciertas partes del mundo;
- j) que el funcionamiento de sondas de radar en vehículos espaciales con otros servicios primarios y secundarios deberá hacerse, de conformidad con el número 4.4 del Reglamento de Radiocomunicaciones, bajo la condición de no causar interferencia perjudicial a estos servicios, ni reclamar protección contra ellos;
- k) que para sondas de radar en vehículos espaciales es suficiente una anchura de banda de 10 MHz;
- l) que se han identificado limitaciones al funcionamiento sobre una base de no interferencia, de conformidad con el número 4.4 del Reglamento de Radiocomunicaciones, tales como el funcionamiento únicamente en zonas deshabitadas o escasamente habitadas de las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártica y de los desiertos del norte de África y de la Península Arábiga, y con un horario de funcionamiento exclusivamente nocturno de las 03.00 horas a las 06.00 horas, hora local, como se describe en el Anexo 1,

*recomienda*

que se utilicen las características del Cuadro 1 del Anexo para los sensores de radar en vehículos espaciales y para sus estudios de compatibilidad.

## **Anexo**

### **Características técnicas y operativas típicas de los sistemas de sonda de radar en vehículos espaciales que utilizan la banda 40-50 MHz**

#### **1 Introducción**

Existe un interés entre los climatólogos por la teledetección en las bandas cercanas a 40-50 MHz para su uso en mediciones a distancia bajo la superficie de la Tierra y la obtención de cartografías de radar de las capas subterráneas de dispersión con el objetivo de localizar depósitos de agua/hielo y de estudiar las superficies bajo el hielo de los lechos glaciales, mediante la utilización de sensores activos en vehículos espaciales. Este Anexo presenta los argumentos para la selección de las bandas de frecuencias preferidas, y las características técnicas y de funcionamiento típicas.

Se describen las características técnicas y de funcionamiento de un sensor activo a bordo de un vehículo espacial que funciona en la gama de frecuencias 40-50 MHz y se analiza la situación de compartición con las atribuciones para otros servicios en esta gama de frecuencias.

## 2 Argumentos para la selección de una banda de frecuencias

Las razones para una atribución de frecuencias entre 40 y 50 MHz se basan en los siguientes criterios de selección: penetración en la superficie, escala de longitud de la observación, región del modelo de dispersión electromagnética, y trabajos anteriores.

### 2.1 Penetración en la superficie

La penetración de una onda de radar incidente es normalmente varias decenas de veces la longitud de onda. Con las condiciones adecuadas de longitud de onda y de composición del medio dispersor, las ondas radioeléctricas pueden penetrar fácilmente los materiales dieléctricos que componen la superficie y la cobertura de la Tierra. Una estimación cuantitativa de esta profundidad  $\delta_p$  viene dada por:

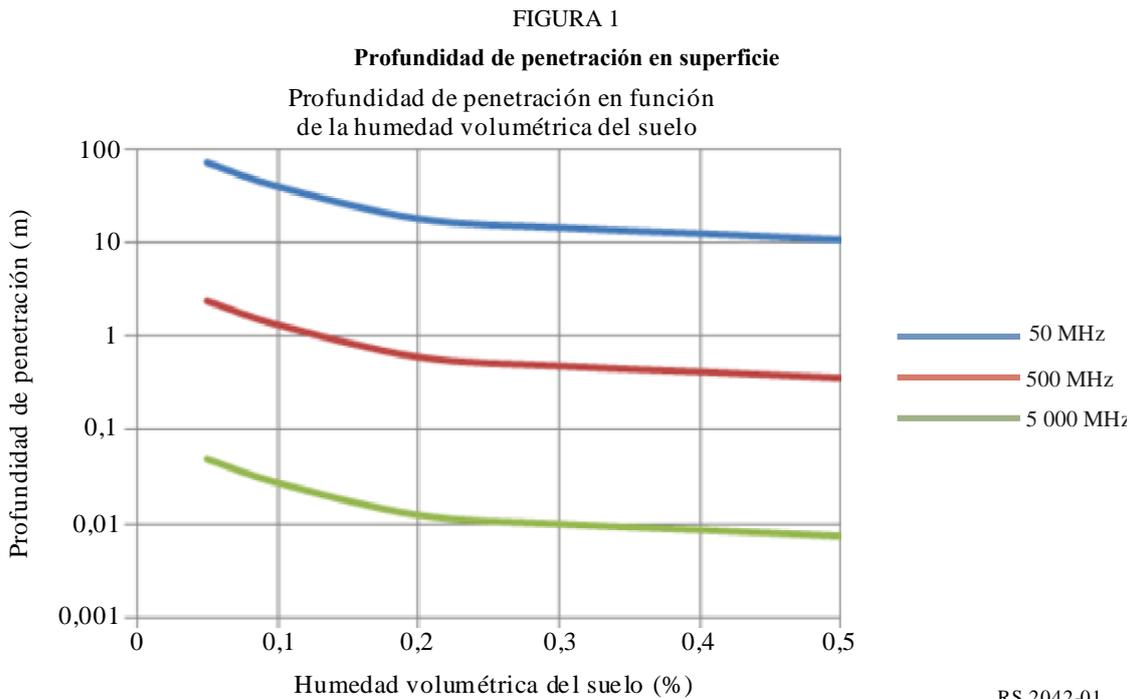
$$\delta_p = \frac{\lambda_0 \sqrt{e'}}{2\pi e''} \quad (1)$$

donde:

$\lambda_0$ : longitud de onda

$e'$  y  $e''$ : partes real e imaginaria de la constante dieléctrica de la superficie.

Utilizando esta fórmula con las constantes dieléctricas del suelo, la Figura 1 muestra la profundidad de penetración de superficie para 50 MHz, 500 MHz, y 5 000 MHz. De esta figura se desprende que la penetración es mayor a 50 MHz que a 500 MHz, en un factor de 20 a 30, y es por lo tanto más favorable para los estudios de penetración de la Tierra. Los objetivos serían la obtención de cartografías de radar de las capas de dispersión subterráneas para la localización de depósitos de agua/hielo utilizando sensores activos en vehículos espaciales.



### 2.2 Escala de longitud de las observaciones

La adición de 50 MHz a las bandas ya existentes de 435 MHz y 1 250 MHz, extendería la gama de longitudes de escala en las cuales se analizan las irregularidades de la superficie. Para muchas

superficies geológicas, la retrodispersión está dominada por la componente armónica de la superficie cuya longitud de onda es igual o mayor que la longitud de onda del radar proyectado, contribuyendo los otros componentes de la superficie solamente de manera secundaria. En consecuencia, las mediciones con radares en tantas frecuencias como sea posible y con una gama de ángulos de incidencia tan amplia como sea posible, incrementan la capacidad de describir de manera exacta la superficie.

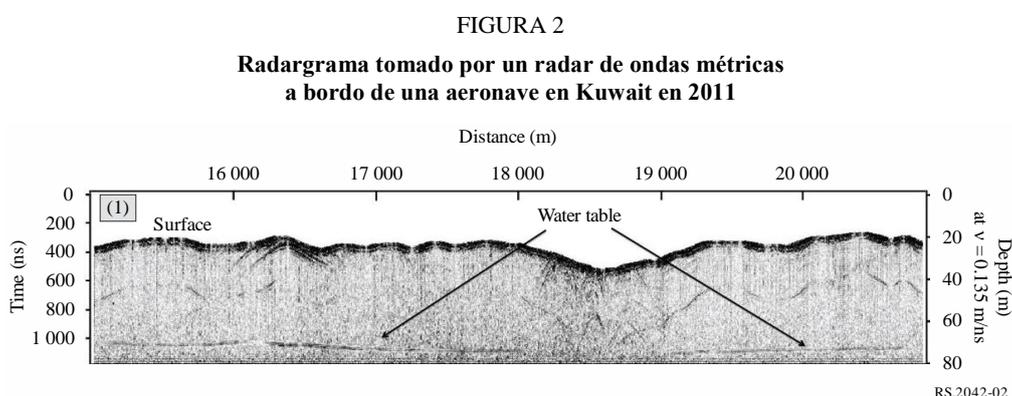
### 2.3 Región del modelo de dispersión electromagnética

La adición de 50 MHz a las bandas ya existentes de 435 MHz y 1 250 MHz, ampliaría la región de validez de los modelos de dispersión electromagnética. El radar de 50 MHz sería más sensible a la morfología subterránea porque la altura eficaz de la superficie es una fracción menor de la longitud de onda, dando lugar a una medida menor de la retrodispersión del radar. La mayor sensibilidad de la banda de 50 MHz a la morfología subterránea, combinada con la mayor penetración en el suelo de las señales de 50 MHz, incrementa el volumen subterráneo en el cual se produce la dispersión aumentando, en consecuencia, la relación entre la potencia recibida de la zona subterránea y la potencia recibida de la superficie, en comparación con una longitud de onda menor. Además, los objetos dispersantes de la capa aluvial serán menores en la banda de 50 MHz que en las bandas de 435 MHz o 1 250 MHz.

### 2.4 Anteriores trabajos previos y situación reglamentaria en la banda de 40-44 MHz

Ya se ha realizado una cantidad considerable de trabajo para el desarrollo y la obtención de datos de sistemas de radar basados en tierra y a bordo de aeronaves, en la banda de 3-50 MHz. Junto con este desarrollo de equipos, también se han llevado a cabo trabajos de cálculo para estudiar la profundidad de penetración en la superficie en función de la humedad del suelo en la banda 3-50 MHz y analizar las mediciones de retorno del océano con radares oceanográficos.

Los radares a bordo de aeronaves han realizado mediciones alrededor de 50 MHz en áreas desérticas de la Península Arábiga y de la Antártica. La Figura 2 muestra un radargrama con variaciones en la profundidad de la superficie de la capa freática entre 49 y 52 metros, con datos tomados por un radar de ondas métricas a bordo de una aeronave, en Kuwait en 2011.



En el punto 1.15 del orden del día de la CMR-12, se consideró la banda de frecuencias 3-50 MHz para los radares oceanográficos en la costa (en el servicio de radiolocalización (SRL)) y los estudios de compartición se documentaron en el Informe UIT-R M.2234. La CMR-12 acordó atribuir al SRL una combinación de atribuciones primarias y secundarias, a nivel regional y de país, con notas en las subbandas entre 4 MHz y 44 MHz (43,35-44 MHz fue la banda de frecuencias más alta atribuida al SRL, con nota de países (dos países)) para proteger los servicios fijo y móvil existentes. Las aplicaciones en el SRL se limitan a los radares oceanográficos que funcionan de conformidad con la

**Resolución 612 (Rev.CMR-12)**, que contiene también limitaciones adicionales para los radares oceanográficos tales como una máxima p.i.r.e. de 25 dBW y un identificador de estación (distintivo de llamada) en la frecuencia asignada. En el Reglamento de Radiocomunicaciones, no existe atribución para el SETS (activo) en la gama 3-50 MHz. Si se eligiese una banda de frecuencias mayores o menores para los sistemas a bordo de vehículos espaciales, se necesitaría repetir los trabajos de referencia sobre equipos y cálculos para las campañas de radar a bordo de aeronaves en las zonas desérticas.

### **3 Características técnicas de un radar de detección en vehículo espacial en la banda de frecuencias 40-50 MHz**

El radar de detección en vehículo espacial funcionará en una frecuencia central de 45 MHz cubriendo un ancho de banda de 10 MHz. Los datos obtenidos del radar se utilizarán en el estudio de las capas subterráneas de la Tierra para la cartografía por radar de las capas de dispersión subterráneas con el fin de localizar depósitos de agua/hielo. Las características del radar de detección de 45 MHz se muestran en el Cuadro 1.

#### **3.1 Objetivos de la misión**

El sensor activo a bordo de un vehículo espacial que funcione en la gama 40-50 MHz obtendrá datos subsuperficiales con una resolución vertical de 5 a 7 metros, y tendrá una relación de señal/ruido en la superficie de 66 dB. Se prevé que la campaña de cartografía en órbita incluya un mes de comprobación orbital y 18 meses de recopilación de datos. Los objetivos científicos de la misión son dos: 1) entender el espesor global, la estructura interna, y la estabilidad térmica de las capas de hielo de la Tierra en Groenlandia y en la Antártica como parámetros observables del cambio climático de la Tierra, y 2) entender la aparición, la distribución y la dinámica de los acuíferos fósiles de la Tierra en entornos desérticos como el norte de África y la Península Arábiga como elementos clave para comprender los recientes cambios paleoclimáticos. Dieciocho meses son suficientes para recolectar datos en las áreas científicas interesadas con un espacio de 5 km en la trayectoria del nadir en el ecuador, utilizando una órbita de repetición exacta de 548 días (18 meses) a 400 km de altitud. Debido a las inestabilidades temporales inherentes tanto en el caso de los campos de hielo como en el de los acuíferos en entornos desérticos, se prevé que habrá misiones de seguimiento con una frecuencia de una misión científica de dieciocho meses de duración cada diez años.

Cabe señalar que, teniendo en cuenta el elevado costo de inversión asociado a este tipo de observaciones mediante sensores en la banda de 40-50 MHz, se prevé que se mantenga muy reducido el número de misiones de sondas de radar a bordo de vehículos espaciales que funcionen simultáneamente; tal vez sólo una o dos.

#### **3.2 Parámetros orbitales**

El sensor activo a bordo de un vehículo espacial es transportado en un satélite de órbita terrestre baja a una altitud de 400 km con una inclinación optimizada para una órbita heliosíncrona y una excentricidad menor de 0,001. En el Cuadro 1 figuran los parámetros orbitales.

#### **3.3 Parámetros de diseño**

El sistema contemplado para el radar de detección en órbita de la Tierra es una copia mejorada para la Tierra del Sistema de Sonda de Radar Superficial (SHARAD) que fue un radar de detección en la órbita de Marte que funcionaba en la gama de frecuencias 15-25 MHz. El radar de detección en vehículo espacial emite un impulso modulado en frecuencia (FM) centrado en 45 MHz con una anchura de banda de 10 MHz y una frecuencia de repetición de impulsos de 1 200 Hz. Cada impulso

tiene una duración de 85  $\mu$ s. El nivel de potencia de cresta de RF es 100 W, y la señal de transmisión está polarizada circularmente. El Cuadro 1 muestra estos parámetros de diseño.

CUADRO 1

**Características de un radar de detección en vehículo espacial  
funcionando en la banda de 45 MHz**

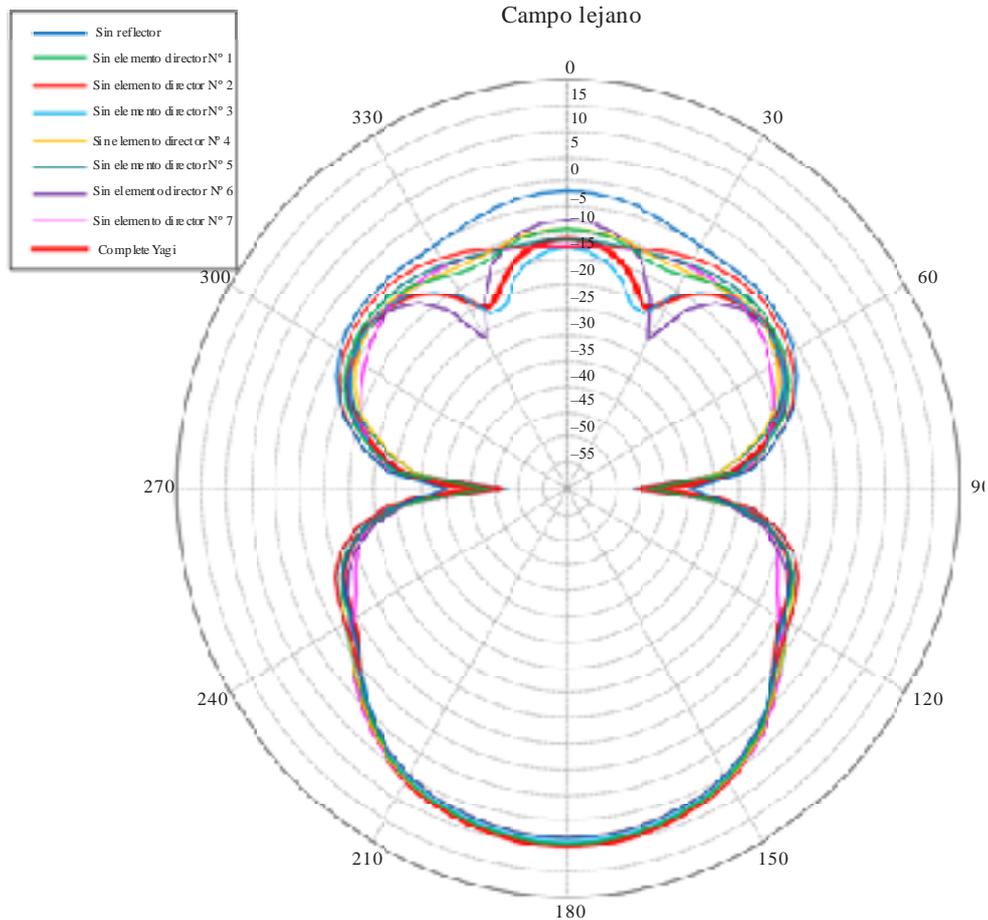
<b>Características del sensor</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Tipo	Sonda de radar
<b>Características orbitales</b>	
Tipo de órbita	Heliosíncrona
Altitud (km)	400 km
Inclinación (grados)	97
LST del nodo ascendente	004:00
Excentricidad (grados)	0
Orbitas al día	15,8
Periodo de repetición (días)	548
<b>Características de la antena</b>	
Tipo de antena	Yagi de 9 elementos cruzados
Número de haces	1
Ganancia de cresta de la antena (Transmisión y Recepción –dBi)	10
Polarización	Circular
Anchura de haz –3 dB (grados)	40
Ángulo de orientación del haz de la antena (grados)	Nadir
Ángulo acimutal del haz de la antena (grados)	Nadir
Ancho del haz de elevación de la antena (grados)	40
Ancho de haz acimutal de la antena (grados)	40
Diagrama de la antena del sensor	Véase la Fig. 3
<b>Características del transmisor</b>	
Frecuencia RF central (MHz)	45
Ancho de banda RF (MHz)	10
Potencia de cresta de transmisión (dBW)	20
Ancho de impulso (usec)	85
Frecuencia de repetición del impulso (PRF) (Hz)	1200
Modulación del impulso	Lineal MF con compresión

CUADRO 1 (continuación)

Características del sensor	
Parámetro	Valor
<b>Características del receptor</b>	
Frecuencia RF central (MHz)	45
Ganancia (dB)	40-50
SNR (dB)	30
Ancho de banda del LNA (MHz)	>100
Ancho de banda del filtro de FI final (MHz)	12
Factor de ruido (dB)	5
Nivel mínimo de la señal detectable (dBm)	-132
Gama dinámica (dB)	<20

La antena del radar de detección en vehículo espacial es una antena Yagi de 9 elementos cruzados, con una ganancia de 10 dBi, y una anchura de haz de 40 grados en alcance y acimut, como muestra la Figura 3.

FIGURA 3  
Diagrama de la antena Yagi de 9 elementos



Ganancia total (frecuencia = 50 MHz: Phi = 0°)

RS.2042-03

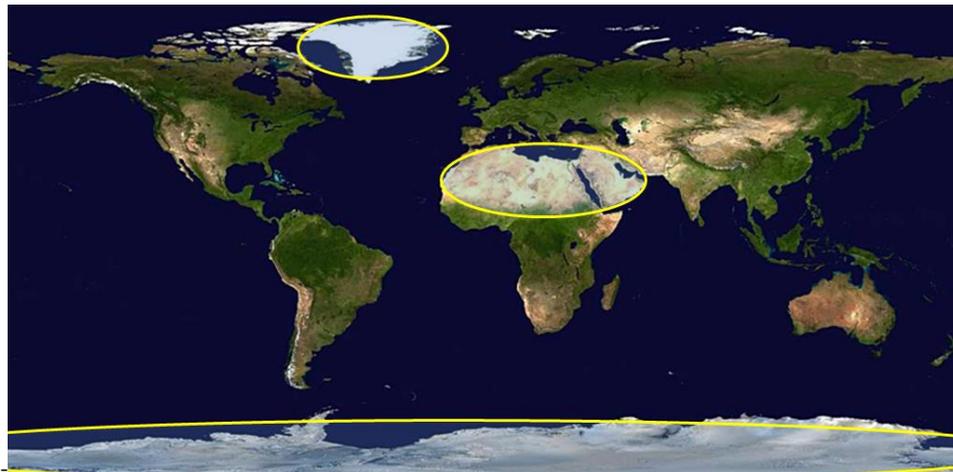
### 3.4 Limitaciones geográficas operativas

El radar de detección debe funcionar exclusivamente en zonas deshabitadas o escasamente habitadas de las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártica, y de los desiertos del norte de África y la Península Arábiga y funcionará por un periodo no superior a 10 minutos de duración por órbita de 92,7 minutos.

En la Figura 4 se muestran las zonas de cobertura en las regiones propuestas para las operaciones que describen la zona geográfica sobre la que se propagará la señal transmitida.

FIGURA 4

Cobertura de la sonda de radar a bordo de vehículo espacial



El radar sólo debe explotarse de noche entre las 03.00 horas y las 06.00 horas, hora local. Este horario se escogió porque las perturbaciones ionosféricas a la señal de radar son mínimas durante ese periodo y porque se espera el menor uso del espectro por parte otros servicios.

### 4 Densidad de flujo de potencia (dfp) y niveles de dfp espectral en la superficie terrestre

Para los parámetros del radar de detección del Cuadro 1, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) en la superficie terrestres se calcula en  $-93,3 \text{ dB(W/m}^2)$  a 45 MHz, correspondiente a unos niveles de densidad espectral de flujo de potencia de  $-163,3 \text{ dB(W/m}^2\text{-Hz)}$  a 45 MHz, suponiendo una anchura de banda de 10 MHz.

### 5 Conclusiones

Existe un interés por la teledetección en las bandas cercanas a 40-50 MHz para su uso en mediciones a distancia bajo la superficie de la Tierra y la obtención de cartografías de radar de las capas subterráneas de dispersión con el objetivo de localizar depósitos de agua/hielo, mediante la utilización de sensores activos en vehículos espaciales. Este Anexo presenta los argumentos para la selección de las bandas de frecuencias preferidas, y las características técnicas y de funcionamiento típicas para un posible sistema.

Se han determinado las características de una sonda de radar en vehículo espacial que funciona en la gama de frecuencias 40-50 MHz.