

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R RS.2042-0
(02/2014)

**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 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, 2014

© UIT 2014

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.2042-0

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

(2014)

Cometido

Esta Recomendación proporciona las características técnicas y operativas de los sistemas de sonda de radar en vehículos espaciales para su uso en los estudios de compatibilidad.

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 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;
- 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;
- 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

1 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 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.

Se describen las características técnicas y de funcionamiento de un sensor activo 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. La banda de frecuencias 40-50 MHz está atribuida actualmente a los servicios fijo, móvil y de radiodifusión. La utilización de la banda de frecuencias 40,98-41,015 MHz por el servicio de investigación espacial (SIE) es a título secundario.

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 δ_p viene dada por:

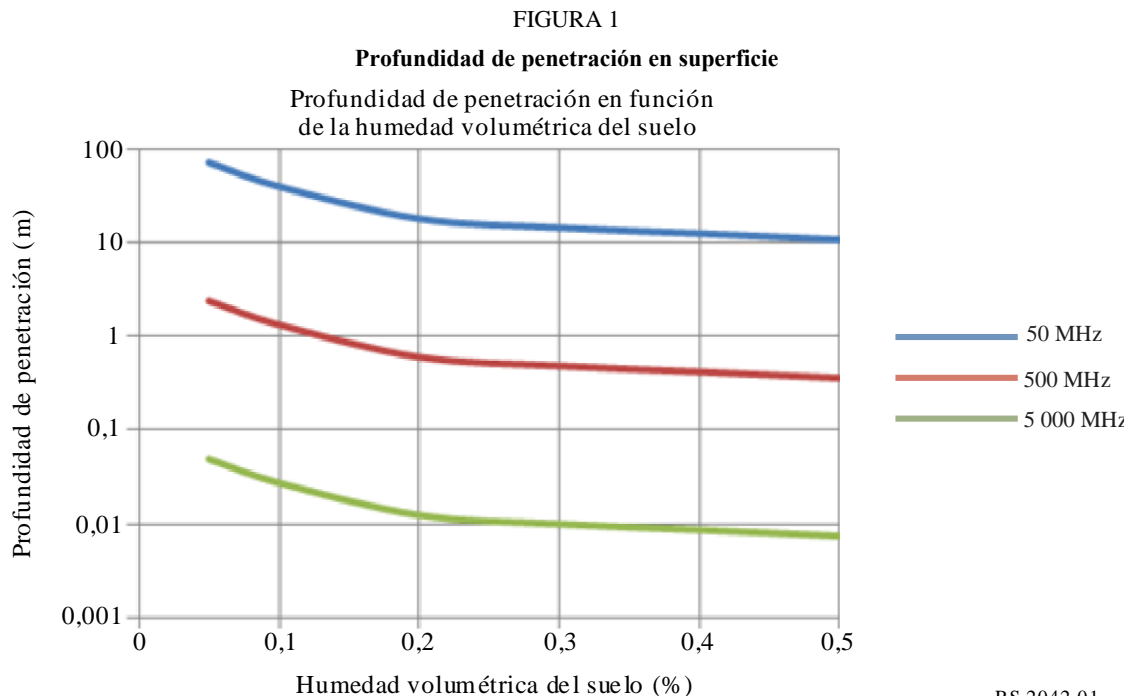
$$\delta_p = \frac{\lambda_0 \sqrt{e'}}{2\pi e''} \quad (1)$$

donde:

λ_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

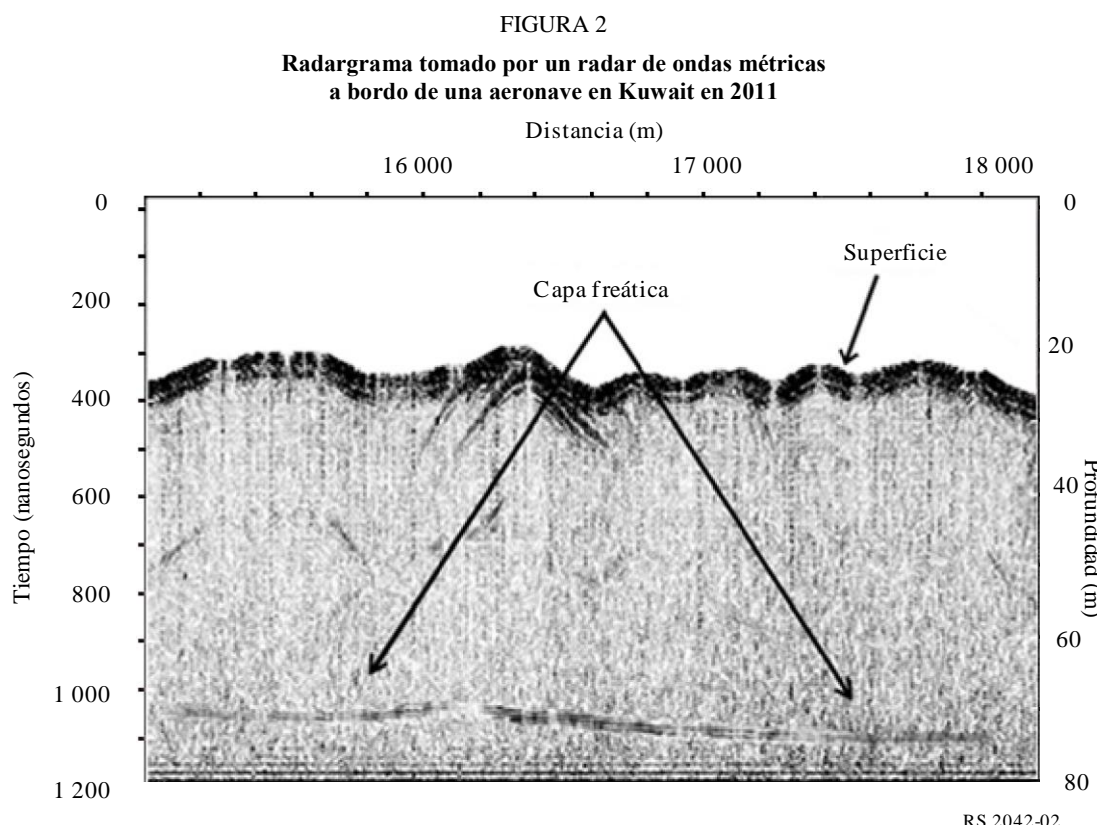
La adición de 50 MHz a las bandas ya existentes de 435 MHz y 1 250 MHz, ampliaría la región de validez de los modelos de dispersión electromagnética. El radar de 50 MHz sería más sensible a la morfología subterránea porque la altura eficaz de la superficie es una fracción menor de la longitud de onda, 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 la banda 40-50 MHz y se utilizarán los datos obtenidos del radar 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 que funcionan en la banda 40-50 MHz se muestran en el Cuadro 1.

3.1 Objetivos de la misión

El sensor activo en vehículo espacial obtendrá los datos con una resolución vertical de 5 a 7 metros, y tendrá una relación de señal/ruido en la superficie de 66 dB. Se estima que será una campaña de cartografía en órbita de 9 a 16 meses de duración. 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.

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.

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 Shallow Radar Sounder (SHARAD) que fue un radar de detección en órbita de Marte del servicio de investigación espacial (SIE) (activo). 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 μ 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

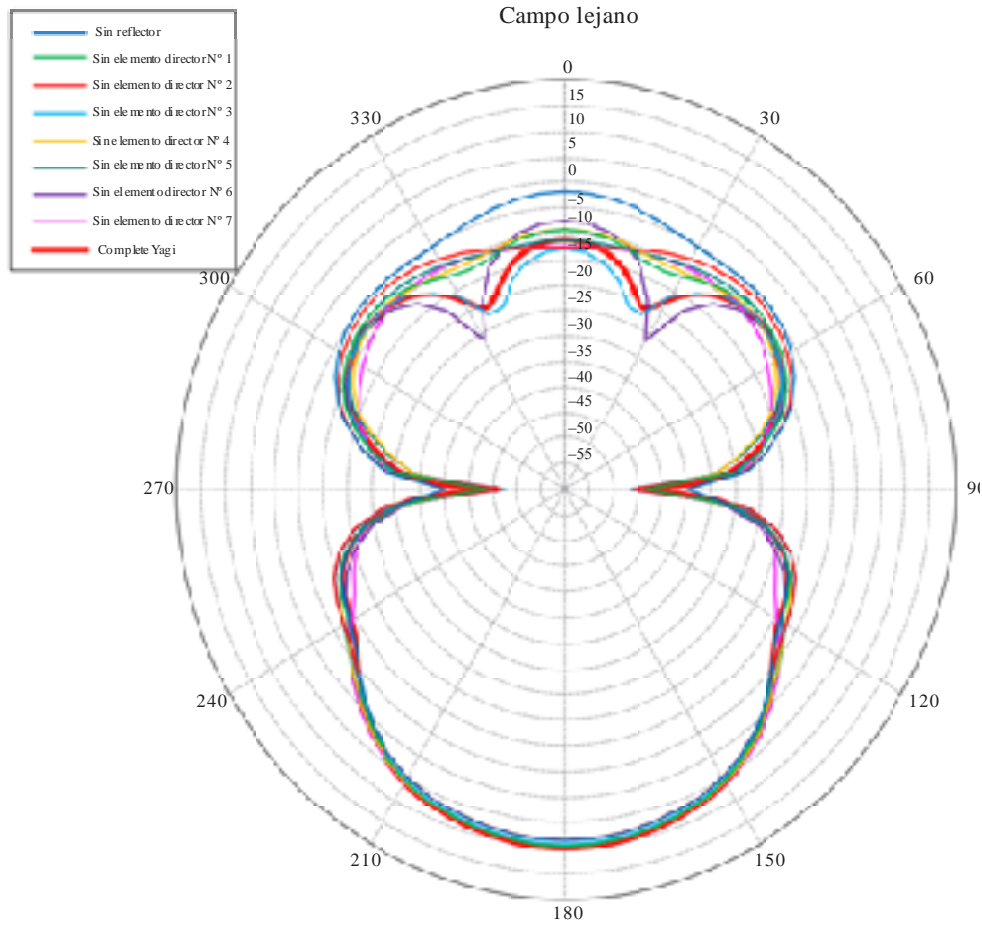
Características de un radar de detección en vehículo espacial funcionando en la banda de 50 MHz

Parámetro	Valor
Altitud de la órbita	400 km
Inclinación de la órbita	97 grados
Frecuencia central de emisión de RF	45 MHz
Potencia de cresta de RF de salida	100 W
Polarización	Circular (levógira en transmisión, dextrógira en recepción)
Modulación de impulso	Chirp FM lineal
Anchura de banda del impulso (-20 dB)	6-10 MHz
Anchura del impulso	85 μ s
Frecuencia de repetición de impulsos	1 220 Hz
Tasa de compresión	510-850
Tipo de antena	Yagi de 9 elementos cruzados
Ganancia de cresta de la antena	10 dBi
Orientación de la antena	Nadir
Anchura de haz de la antena	40 grados (El.), 40 grados (Az.)

3.4 Diagrama de ganancia de la antena

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° en alcance y acimut, como muestra la Figura 3.

FIGURA 3
Diagrama de la antena Yagi de 9 elementos



Ganancia total (frecuencia = 50 MHz: $\Phi = 0^\circ$) RS.2042-03

3.5 Limitaciones operativas

El radar de detección debe funcionar solamente 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. El radar debe explotarse con un horario de funcionamiento exclusivamente nocturno de las 03.00 horas a las 06.00 horas, hora local, cuando las perturbaciones ionosféricas son mínimas y las interferencias de radiofrecuencia artificiales son menores.

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

Para los parámetros del radar de detección del Cuadro 1, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) calculado es $-93,3 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 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.
