Recomendación UIT-R RS.2042-2

(12/2023)

Serie RS: Sistemas de detección a distancia

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

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 <https://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** | Radioastronomía |
| **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, 2024

© UIT 2024

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.2042-2

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

(2014-2018-2023)

Cometido

Esta Recomendación proporciona las características técnicas y operativas de los sistemas de sonda de radar en vehículos espaciales que funcionan en la gama 40-50 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

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

Informe UIT-R RS.2536 – Estudios de compartición y compatibilidad relativos a sondas de radar en vehículos espaciales en la banda de frecuencias 40-50 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 (por ejemplo, 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 superficiales de la Tierra en entornos desérticos (por ejemplo, en el norte de África y en 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 para acuíferos poco profundos y conductos de aguas subterráneas, y del orden de 5km para la topografía de la interfaz basas y el espesor de la capa de hielo;

*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 regulares de los depósitos de agua/hielo subterráneos 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 o secundario a los servicios de radiodifusión, fijo y móvil, radionavegación aeronáutica y radiolocalización en ciertas partes del mundo;

*j)* que el Cuado de Atribución de Frecuencias para las bandas adyacentes a la gama de frecuencias 40-50 MHz proporciona atribuciones primarias y secundarias para el servicio de aficionados;

*k)* que el funcionamiento de sondas de radar en vehículos espaciales fuera de las atribuciones al SETS (activo) deberá hacerse, de conformidad con el número **4.4** del Reglamento de Radiocomunicaciones;

*l)* que para sondas de radar en vehículos espaciales es suficiente una anchura de banda de 10 MHz;

*m)* que se han identificado limitaciones al funcionamiento como se describe en el Anexo 1,

recomienda

que se utilicen las características del Cuadro 1 del Anexo para sus estudios de compartición y compatibilidad relativos a dondas de radar a bordo de vehículos especiales en la gama de frecuencias 40-50 MHz.

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.

# 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:

 (1)

donde:

λ0: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 Fig. 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.

figura 1

Profundidad de penetración en superficie



## 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 Fig. 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.

figura 2

Radargrama tomado 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 (SNR) en la superficie de aproximadamente 66 dB. 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 (por ejemplo, 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 (por ejemplo, en el norte de África y la Península Arábiga) como elementos clave para comprender los recientes cambios paleoclimáticos.

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.

## 3.2 Parámetros orbitales

Se espera que los sensores activos a bordo de un vehículo espacial de este tipo se instalen en un satélite de órbita terrestre baja con una inclinación optimizada para una órbita heliosíncrona y una excentricidad menor de 0,001. En el Cuadro 1 figuran los parámetros orbitales del sistema propuesto.

## 3.3 Parámetros de diseño

El sistema propuesto 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 µs. 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 gama de frecuencias de 40-50 MHz

|  |  |
| --- | --- |
| Características del sensor | |
| Parámetro | Valor |
| Tipo | Sonda de radar |
| **Características orbitales** | |
| Tipo de órbita | Circular, SSO[[1]](#footnote-1) |
| Altitud (km) | 400 |
| Inclinación (grados) | 97 |
| LST del nodo ascendente | 004:00 |
| Excentricidad (grados) | 0 |
| Orbitas al día | 15,8 |
| Periodo de repetición (días) | 548 |
| **Características de la antena** | |
| Tipo de antena | Yagi de 9 elementos cruzados |
| Número de haces | 1 |
| Ganancia de cresta de la antena  (Transmisión y Recepción –dBi) | 10 |
| Características de la antena | |
| 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 |
| **Características del transmisor** | |
| Frecuencia RF central (MHz) | 45 |
| Ancho de banda RF a 3 dB (MHz) | 8 |
| Ancho de banda RF a 20 dB (MHz) | 10 |
| Potencia de cresta de transmisión (dBW) | 20 |
| Ancho de impulso (μs) | 85 |
| Frecuencia de repetición del impulso (PRF) (Hz) | 1 200 |
| Modulación del impulso | Lineal MF con compresión |

CUADRO 1 (*fin*)

|  |  |
| --- | --- |
| Características del sensor | |
| Parámetro | Valor |
| **Características del receptor** |  |
| 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 |

El diagrama de antena del sistema propuesto tiene una ganancia de cresta 10 dBi, y una anchura de haz de 40 grados en alcance y acimut, como muestra la Fig. 3.

figurA 3

Diagrama de la antena Yagi de 9 elementos



## 3.4 Limitaciones geográficas operativas

Los radares de detección en la gama 40-50 MHz están diseñados para funcionar en zonas deshabitadas o escasamente habitadas de las capas de hielo (por ejemplo, en Groenlandia y en la Antártica), y de los desiertos (por ejemplo, en el norte de África y en la Península Arábiga) y de duración limitada. Por ejemplo, se espera que el funcionamiento de la misión propuesta no supere los 10 minutos de duración por órbita de 92,7 minutos.

En la Fig. 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

-A map of the world with different continents

Description automatically generated

Los radares de detección están diseñados para explotarse sólo en una ventana de unas pocas horas, centrada aproximadamente alrededor de las 04.00 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.

## 3.5 Espectro de la emisión

La Fig. 5 muestra la forma de onda típica del espectro de emisión de chirridos que cabe esperar para la sonda de radar que funciona en la gama de frecuencias de 40-50 MHz. En la práctica, el filtrado de paso de banda se aplica a menudo para atenuar la potencia fuera de banda.

FIGURA 5

**Espectro típico de emisión de chirridos**



# 4 Niveles de dfp en la superficie terrestre

La densidad de flujo de potencia (dfp) media en la superficie terrestre se calcula utilizando la fórmula del número **21.16.8**, edición de 2020.

Del mismo modo, el valor de cresta de la dfp puede calcularse eliminando el factor del ciclo de trabajo de la fórmula utilizada para calcular el valor medio de la dfp.

Para los parámetros de la sonda de radar del Cuadro 1, los valores medios de dfp en la superficie de la Tierra se indican en la Fig. 6. De acuerdo con la Fig. 6, el valor medio máximo de dfp es   
−135,96 dB(W/m2 4kHz) y el valor máximo resultante de dfp de cresta es −126,05 dB(W/m2 4kHz).

FIGURA 6

Densidad de flujo de potencia (dfp) en función del ángulo de elevación δ para la sonda de radar   
en vehículos espaciales en ondas métricas descrita en el Cuadro 1   
(anchura de banda de referencia de 4kHz)



# 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 para su utilización en estudios de compartición y compatibilidad.

1. Órbitas heliosíncronas (SSO). [↑](#footnote-ref-1)