|  |
| --- |
| **Recomendación UIT-R M.2008-1**  **(02/2014)** |
| **Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 13,25-13,40 GHz** |
| **Serie M**  **Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos** |

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** | 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, 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 M.2008-1

Características y criterios de protección de los radares que funcionan  
en el servicio de radionavegación aeronáutica en la banda  
de frecuencias 13,25-13,40 GHz

(2012-2014)

Cometido

En esta Recomendación se especifican las características y los criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA) en la banda de frecuencias 13,25‑13,40 GHz. Las características técnicas y de funcionamiento deben utilizarse al analizar la compatibilidad entre los radares del servicio de radionavegación aeronáutica y los sistemas de otros servicios.

Palabras clave

13,25-13,4 GHz, características, protección, radar.

Abreviaturas/glosario

SRNA Servicio de radionavegación aeronáutica

PSD Densidad espectral de potencia

ANT Aeronave no tripulada

SANT Sistema de aeronaves no tripuladas

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

*a)* que la antena, la propagación de la señal, la detección del objetivo y la gran anchura de banda necesaria de los radares requeridas para lograr sus funciones son óptimas en ciertas bandas de frecuencias;

*b)* que las características técnicas de los radares que funcionan en el servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA) vienen determinadas por la misión del sistema y varían ampliamente incluso dentro de una banda de frecuencias,

reconociendo

*a)* que la banda de frecuencias 13,25‑13,4 GHz está atribuida, a título primario, a los servicios de radionavegación aeronáutica, de exploración de la Tierra por satélite (activo) y de investigación espacial (activa);

*b)* que los servicios de exploración de la Tierra por satélite (activo) y de investigación espacial (activa) que funcionan en la banda de frecuencias 13,25‑13,4 GHz no deberían causar interferencia perjudicial al SRNA ni obstaculizarán su utilización y desarrollo;

*c)* que se requieren características técnicas y operacionales representativas de los sistemas que funcionan en las bandas de frecuencias atribuidas al SRNA a fin de determinar la viabilidad de la introducción de nuevos tipos de sistemas;

*d)* que se necesitan procedimientos y metodologías para analizar la compatibilidad entre los radares que funcionan en el SRNA y los sistemas de otros servicios,

recomienda

**1** que se consideren las características técnicas y operacionales de los radares que funcionan en el SRNA descritas en el Anexo como representativas de los que funcionan en la banda de frecuencias 13,25‑13,4 GHz y se utilicen en los estudios de compatibilidad con sistemas de otros servicios;

**2** que se utilice la Recomendación UIT‑R M.1461 en el análisis de compatibilidad de los radares que funcionan en la banda de frecuencias 13,25‑13,4 GHz con los sistemas de otros servicios;

**3** que se utilicen los criterios de relación entre la potencia de la señal interferente y el nivel de potencia de ruido en el receptor del radar (*I*/*N*) de –10 dB como nivel de protección requerido para los radares de radionavegación aeronáutica y que esta cifra represente el nivel de protección contra la interferencia combinada si están presentes múltiples fuentes de interferencia.

Anexo  
  
Características técnicas y operacionales de los radares que funcionan   
en el servicio de radionavegación aeronáutica en la   
banda de frecuencias 13,25‑13,40 GHz

# 1 Introducción

El sistema del SRNA funciona en todo el mundo, a título primario, en la banda de frecuencias 13,25‑13,4 GHz. En el presente Anexo se indican las características técnicas y operacionales de los radares representativos del SRNA que funcionan en dicha banda de frecuencias.

Los sistemas de navegación Doppler a bordo de aeronaves se instalan en aeronaves (helicópteros y determinados aviones) y se utilizan para aplicaciones especializadas, tales como la determinación continua de la velocidad respecto al suelo y la información sobre el ángulo de deriva de una aeronave respecto al suelo. La Comisión Radioeléctrica para la Aeronáutica ha elaborado una norma de calidad de funcionamiento mínima para estos equipos, «*DO-158 – Airborne Doppler Radar Navigation Equipment*» (equipos de navegación por radar Doppler a bordo de aeronaves). Asimismo, está previsto que los radares utilizados para evitar las colisiones a bordo de aeronaves no tripuladas (ANT) puedan soportar las integraciones del sistema de aeronaves no tripuladas (SANT) en el espacio aéreo no segregado.

# 2 Características técnicas

En el Cuadro 1 aparecen las características técnicas de los radares de radionavegación que funcionan en la banda 13,25‑13,4 GHz. Todos los sistemas funcionan en todo el mundo a bordo de aeronaves. Los radares se utilizan en los sistemas de navegación a bordo de aeronaves para lograr una navegación precisa en todas las condiciones meteorológicas.

CUADRO 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetro | | Unidades | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| Plataforma | |  | Aeronave (helicóptero) | Aeronave (helicóptero) | Aeronave (avión) | Aeronave (avión) | Aeronave (helicóptero) | Aeronave (avión) | Aeronave (avión) | Aeronave (helicóptero) |
| Altitud operacional máxima de la plataforma | | m | 3 600 | 3 660 | 10 400 | 15 000 | 0-4 500 | 15 000 | 15 000 | 3 500 |
| Tipo de radar | |  | Radar de navegación Doppler | Radar de navegación Doppler | Radar de navegación Doppler | Radar de navegación Doppler | Sensor de velocidad del radar Doppler | Sensor de velocidad del radar Doppler | Radar de navegación Doppler | Radar de navegación Doppler |
| Gama de velocidad medida respecto al suelo | | km/h | 333 | 553 | 750 | 1 047 | 250 | 1 100 | 180-1 300 | 50-399 |
| Frecuencia | | GHz | Un solo canal fijo | Un solo canal fijo | Un solo canal fijo | Un solo canal fijo | Un solo canal fijo | Un solo canal fijo | De 13,25 a 13,40 | De 13,295 a 13,355 |
| Tipo de emisión | |  | Onda continua | Onda continua intermitente | Onda continua modulada en frecuencia | Onda continua | Onda continua modulada en frecuencia | Impulso no modulado | Onda continua no modulada | Onda continua no modulada |
| Anchura del impulso | | μs | No se aplica | 1-4 | No se aplica | No disponible | No se aplica (MF) | 4-7 | No se aplica | No se aplica |
| Tiempos de subida y caída de los impulsos | | ns | No se aplica | 20 | No se aplica | No disponible | No se aplica (MF) | 0,2; 0,2 | No se aplica | No se aplica |
| Anchura de banda de la emisión en RF | –3 dB  –20 dB  –40 dB | kHz | No se aplica | 2  800  20 000 | 100 250 350 | No se aplica | No disponible  No disponible  150 | 1 000  5 600  95 000 | No disponible | No disponible |

CUADRO 1 (*Continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetro | Unidades | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| Frecuencia de repetición de impulsos | pps | No se aplica | No disponible | No se aplica | No se aplica | No se aplica | 80 000 | No se aplica | No se aplica |
| Potencia de cresta del transmisor | W | 0,85 | 0,132 | 0,18 | 1,0 | 0,050 | 40 20 promedio | 0,125…10 | 0,15…10 |
| Anchura de banda a −3 dB de la FI del receptor | kHz | 1,4 estimada | 1,6 estimada | 55 000 | 2,9 estimada | 14 | 2 500 | 15 000 | 100 000 |
| Sensibilidad | dBm | −135 para *S/N* de 0 dB | −135 | −134 para *S/N* de 0 dB | −138 para *S/N* de 3 dB | −130 para *S/N* de 3 dB (V = 100 m/s)  −160 para *S/N* de 3 dB (V = vuelo estacionario) | −96 para *S/N* de 3 dB  (V = 100 m/s) | −110 (modo adquisición)  −120 (modo seguimiento) | −144 |
| Factor de ruido del receptor | dB | 22 (receptor homodino) | 22 (receptor homodino de doble conversión) | 12 (receptor superhetero- dino de doble conversión) | 22 (receptor homodino) | 22 (receptor homodino) | 7,5 | No disponible | No disponible |
| Tipo de antena |  | Reflector parabólico | Sistema de antenas controlado por fase | Sistema de antenas controlado por fase | Sistema de antenas controlado por fase | Red de circuitos impresos | Red de circuitos impresos | Sistema de antenas controlado por fase | Antena de bocina reflectora |
| Emplazamiento de la antena |  | Apunta hacia la Tierra | Apunta hacia la Tierra | Apunta hacia la Tierra | Apunta hacia la Tierra | Apunta hacia la Tierra | Apunta hacia la Tierra | Apunta hacia la Tierra (ángulo respecto al Nadir de 9…11 grados) | Apunta hacia la Tierra (ángulo respecto al Nadir de 18 grados) |

CUADRO 1 (*Continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetro | Unidades | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| Ganancia de la antena | dBi | 27 | 27 | 26 | 29,5 | 26,5 | 18 | 20 | 27,8 |
| Primer lóbulo lateral de la antena | dBi | 5,5 | No disponible | 9 | 14,2 a 4 grados | −10 | −10 | 7 | −7,2 |
| Anchura del haz horizontal | grados | 7 | 3,3 | 9 | 4,7 | 4,0 | 20 | No disponible | No disponible |
| Anchura del haz vertical | grados | 4,5 | 5 | 3 | 2,5 | 3,4 | 4,2 | No disponible | No disponible |
| Polarización |  | Lineal | No disponible | No disponible | Lineal | Lineal | Lineal | No disponible | No disponible |
| Número de haces |  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 ó 4 | 3 |
| Configuración del haz de antena |  | Utiliza el sistema Janus. Aproximada-mente cuatro esquinas de una pirámide con 18° con respecto al Nadir cada una | No disponible | Utiliza el sistema Janus. Aproximada-mente cuatro esquinas de una pirámide con 16º con respecto al Nadir cada una y 10,5° lateralmente | Utiliza el sistema Janus | Utiliza el sistema Janus. Aproximada-mente cuatro esquinas de una pirámide con 20º con respecto al Nadir cada una | Dos haces | No disponible | No disponible |
| Exploración de la antena |  | La exploración consiste en un haz cada vez para cada esquina de la pirámide | La exploración consiste en un haz cada vez para cada esquina de la pirámide | La exploración consiste en un haz cada vez para cada esquina de la pirámide | No disponible | La exploración consiste en un haz cada vez para cada esquina de la pirámide | No disponible | No disponible | No disponible |

CUADRO 1 (*Fin*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetro | Unidades | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| Criterios de protección | dB | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 |
| NOTA 1 – El techo de vuelo de los helicópteros suele ser inferior a 7 000 m sobre el nivel medio del mar, mientras que el techo de vuelo de las aeronaves de patrullaje marítimo de ala fija es de aproximadamente 15 000 m sobre el nivel medio del mar.  NOTA 2 – El cálculo de la sensibilidad (suponiendo un requisito mínimo de *S/N* para el seguimiento de 3 dB) para un sistema Doppler debe equivaler a la anchura de banda del seguidor del receptor. La sensibilidad calculada con respecto a la anchura de banda del receptor abierto producirá una cifra relativamente baja en comparación con la sensibilidad basada en la anchura de banda dinámica del seguidor. En un seguidor de la generación actual, esta anchura de banda es comparable a la anchura de banda del espectro de la señal de radar retrodispersada, que varía con la velocidad de la aeronave.  NOTA 3 – La dirección de puntería instantánea real de los haces de antena individuales depende de la actitud de instalación del radar Doppler de la aeronave con respecto a los ejes de referencia de la aeronave (no siempre es el nivel), así como del estado de cabeceo y balanceo de la aeronave. Los helicópteros que vuelan en patrones de búsqueda o que realizan maniobras bruscas de aceleración/deceleración tendrán normalmente valores de cabeceo y balanceo superiores a 30 grados durante cortos periodos de tiempo. Las excursiones de actitud para los helicópteros militares de alto rendimiento son incluso más elevadas.  NOTA 4 – Para los sistemas de los que no se dispone de factor de ruido, se supone un valor de 12 dB en los sistemas que utilizan receptores de FI y 22 dB en los receptores (cero FI) homodinos. Referencia: Fried, W. R.: Principles and Performance Analysis of Doppler Navigation Systems, IRE Trans., Vol. ANE-4, págs. 176‑196, diciembre de 1957. | | | | | | | | | |

# 3 Características de los sistemas de radionavegación aeronáutica

Los radares de radionavegación de aeronaves en la banda de frecuencias 13,25‑13,4 GHz funcionan de forma continua durante el vuelo para determinar la velocidad y el rumbo. Abarcan una gama de altitudes que van desde el propio suelo hasta aproximadamente 4 500 m para los helicópteros y 15 000 m para las aeronaves. Los tiempos de vuelo pueden variar muchas horas, y normalmente la mayor parte del tiempo de vuelo se está en ruta, pero también caben esperar algunos tiempos muertos en los puntos de salida o destino. El sistema Janus de navegación por radar Doppler utiliza los cuatro haces de antena que se muestran en la Fig. 1: dos en la parte delantera y dos en la parte trasera, a los dos lados de la trayectoria en tierra, para calcular el vector velocidad de la aeronave en referencia al suelo midiendo el desplazamiento Doppler del eco en tierra desde los haces. Los haces pueden transmitir por pares o secuencialmente, dependiendo del diseño del sistema. La Fig. 2 muestra el diagrama de haz de la antena en las líneas isodoppler. Los programas o equipos de estabilización de la antena mantienen a la misma apuntando hacia el suelo. Cuando no se dispone de la anchura de banda en FI, IF\_BWIFBW en hercios, se debe utilizar la siguiente aproximación:



donde:

*IF*\_*BW*:Anchura de banda en FI (Hz)

*v*: Velocidad de la aeronave (m/s)

*fc*: Frecuencia central (Hz)

*Bw*: Anchura del haz de la antena a 3 dB en radianes

*a*: Ángulo de depresión del haz

*s*: Velocidad de la luz (m/s).

Para los sistemas de radar Janus se incluye un factor adicional de 1,414. Referencia: Fried, W.R.: Principles and Performance Analysis of Doppler Navigation Systems, IRE Trans., Vol. ANE-4, págs. 176-196, diciembre de 1957.

FIGURA 1

Ejemplo de configuración del diagrama de haz de la antena de una aeronave



FigurA 2

Ejemplo de diagrama de haz de la antena en las líneas isodoppler



# 4 Características del radar anticolisión con sensor de radionavegación aeronáutica

Para garantizar la seguridad del vuelo de una aeronave no tripulada es necesario recurrir a técnicas avanzadas que permitan detectar y realizar un seguimiento de las aeronaves situadas en las inmediaciones, el terreno y otros obstáculos a la navegación. Las ANT deben evitar dichos objetos de la misma forma que las aeronaves tripuladas. El piloto remoto deberá ser consciente del entorno en el que está funcionando la aeronave, poder identificar las posibles amenazas al funcionamiento seguro de la aeronave y tomar las medidas apropiadas. El radar anticolisión con sensor de radionavegación aeronáutica es un sistema para evitar la colisión de aeronaves no tripuladas cuya función principal es proporcionar la capacidad de detectar, rastrear e informar del tráfico aéreo al usuario para que mantenga la separación adecuada de los intrusos. El sistema utiliza un planteamiento de «piloto informado», en el que el piloto de la aeronave no tripulada en tierra tomará la decisión definitiva respecto a las maniobras para evitar las colisiones del SANT. En el Cuadro 2 se muestran los parámetros técnicos.

CUADRO 2

Parámetros técnicos del radar anticolisión con sensor

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Parámetro | Unidades | Radar 1 | Radar 2 |
| Plataforma |  | Aeronave | Aeronave |
| Altura de la plataforma | km | Hasta 20 | Hasta 15,5 |
| Tipo de radar |  | Sistema anticolisión en el tráfico aéreo (ayudas a la navegación por radar Doppler) | Sistema anticolisión en el tráfico aéreo (ayudas a la navegación por radar Doppler) |
| Velocidad respecto al suelo | km/h | Hasta 1 500 | Hasta 1 500 |
| Gama de sintonización de frecuencias | GHz | 13,25-13,4 | 13,25-13,4 |
| Tipo de emisión |  | Impulsos codificados en fase | Impulsos codificados en fase |
| Anchura del impulso | μs | 1-2 | 2,5 |

CUADRO 2 (*Fin*)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Parámetro | Unidades | Radar 1 | Radar 2 |
| Tiempos de subida y caída de los impulsos | ns | De 0,1 a 0,2 para los tiempos de subida y caída | De 0,1 a 0,2 para los tiempos de subida y caída |
| Anchura de banda de la emisión en RF a –40 dB | MHz | 30 | 28,5 |
| Frecuencia de repetición de impulsos | pps | 6 000-8 000 | 30 000 |
| Potencia media del transmisor | W | De 25 a 35 (hasta 50) | De 25 a 35 (hasta 50) |
| Anchura de banda a –3 dB de la FI del receptor | MHz | 0,7-1,1 | 14 |
| Sensibilidad | dBm | −122 para *S/N* de 10 dB | –98,6 para *S/N* de 13,1 dB |
| Factor de ruido del receptor | dB | 3 | 2,7 |
| Potencia calculada de ruido del receptor | dBW | –140,6 | –128,5 |
| Tipo de antena |  | Sistema de antenas controlado por fase | Sistema de antenas controlado por fase |
| Emplazamiento de la antena |  | Morro del avión | Morro del avión |
| Ganancia de la antena | dBi | 28-32 | 28-32 |
| Primer lóbulo lateral de la antena | dBi | 15-19 | 19 |
| Anchura del haz horizontal | grados | 5 | 5 |
| Anchura del haz vertical | grados | 5 | 5 |
| Polarización |  | Lineal vertical | Lineal vertical y horizontal |
| Exploración de la antena | grados | Vertical ±30 Horizontal ±110 | Vertical ±37 Horizontal ±110 |
| Criterios de protección | dB | −10 | −10 |

# 5 Criterios de protección

El efecto de desensibilización en los radares procedente de otros servicios con señal de onda continua o modulación de tipo ruido se relaciona predeciblemente con su intensidad. En todo sector acimutal del que llegue dicha interferencia, su densidad espectral de potencia puede simplemente añadirse a la densidad espectral de potencia del ruido térmico del receptor del radar, con una aproximación razonable. Si se denomina *N*0 a la densidad espectral de potencia del ruido en el receptor del radar en ausencia de interferencia e *I*0 a la interferencia de tipo ruido, la densidad espectral de potencia de ruido efectiva resultante es simplemente la suma *I*0 + *N*0.

Para el servicio de radionavegación que considera la función de seguridad de la vida humana, un aumento de 0,5 dB aproximadamente constituye una degradación significativa. Dicho aumento corresponde a una relación *I*/*N* de –10 dB. Estos criterios de protección representan los efectos combinados de múltiples fuentes de interferencia presentes; la relación *I*/*N* admisible para una fuente interferente individual depende del número de fuentes de interferencia y de su geometría, y se ha de evaluar a lo largo del análisis de una situación determinada. El factor de combinación puede ser muy sustancial en el caso de ciertos sistemas de comunicaciones en los que puede instalarse un gran número de estaciones.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_