

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

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	kHz	No se aplica	2	100	No se aplica	No disponible	1 000	No disponible	No disponible
	-20 dB			800	250		No disponible	5 600		
	-40 dB			20 000	350		150	95 000		

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 superheterodino 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. Aproximadamente cuatro esquinas de una pirámide con 18° con respecto al Nadir cada una	No disponible	Utiliza el sistema Janus. Aproximadamente cuatro esquinas de una pirámide con 16° con respecto al Nadir cada una y 10,5° lateralmente	Utiliza el sistema Janus	Utiliza el sistema Janus. Aproximadamente cuatro esquinas de una pirámide con 20° 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_{BW} en hercios, se debe utilizar la siguiente aproximación:

$$IF_{BW} = 2 * v * f_c * B_w * \text{sen}(a) / s$$

donde:

- IF_{BW} : Anchura de banda en FI (Hz)
- v : Velocidad de la aeronave (m/s)
- f_c : Frecuencia central (Hz)
- B_w : 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.

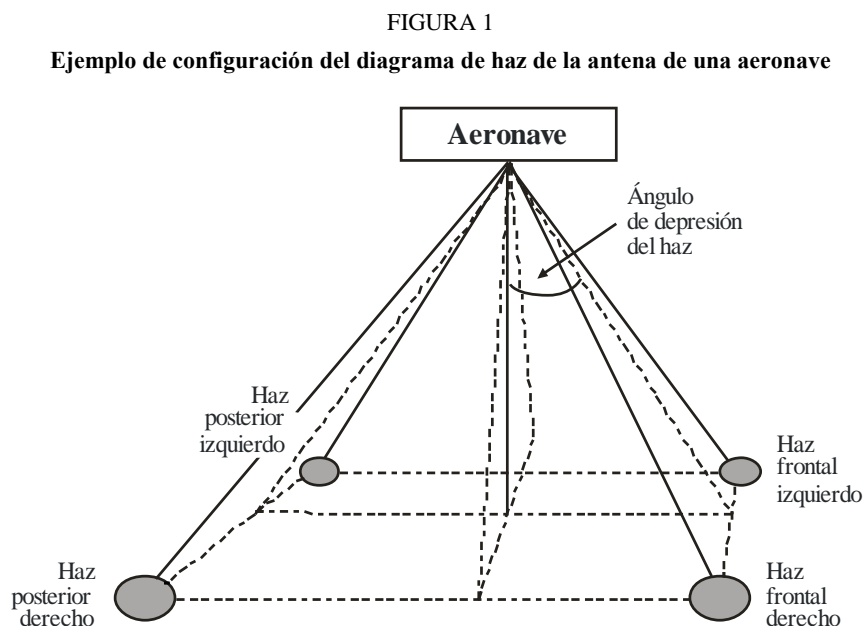
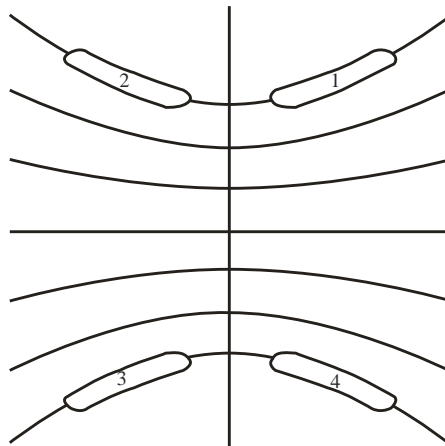


FIGURA 2

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



M.2008-02

4 Características del radar anticolidión 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 anticolidión 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 anticolidión 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 anticolidión en el tráfico aéreo (ayudas a la navegación por radar Doppler)	Sistema anticolidión 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.