

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1796-3
(02/2022)

Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz

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 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, 2023

© UIT 2023

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.1796-3

Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz*

(2007-2012-2014-2022)

Cometido

Esta Recomendación proporciona las características técnicas y operativas, así como los criterios de protección de los sistemas de radiodeterminación que funcionan en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz. Fue elaborada con el objetivo de apoyar los estudios de compartición en combinación con la Recomendación UIT-R M.1461, que aborda los procedimientos de análisis para determinar la compatibilidad entre los radares del servicio de radiodeterminación y otros servicios.

Palabras clave

Radar, Criterios de protección, Radar de búsqueda, Interferencia, Radiodeterminación

Abreviaturas/Glosario

AESA	Sistema de exploración electrónica activo (<i>Active electronically scanned array</i>)
AIS	Sistema de identificación automática (<i>Automatic identification system</i>)
ASDE	Equipo de vigilancia de aeropuerto a nivel del suelo (<i>Airport surface detection equipment</i>)
BW	Anchura de haz (<i>Beamwidth</i>)
CDMA	Acceso múltiple por división de código (<i>Code division multiple access</i>)
CFAR	Tasa de falsas alarmas constante (<i>Constant-false-alarm-rate</i>)
CPI	Intervalo de procesamiento coherente (<i>Coherent processing intervals</i>)
CW	Onda continua (<i>Continuous wave</i>)
DAA	Detección y evitación (<i>Detect-and-avoid</i>)
DBS	Acentuación de haz Doppler (<i>Doppler beam sharpening</i>)
FET	Transistor de efecto de campo (<i>Field-effect transistor</i>)
FMCW	Onda continua modulada en frecuencia (<i>Frequency modulated continuous wave</i>)
FTC	Constante de tiempo rápida (<i>Fast-time-constant</i>)
GCA	Planteamiento de control en suelo (<i>Ground-controlled approach</i>)
GPS	Sistema de posicionamiento mundial (<i>Global positioning system</i>)
I/N	Interferencia/ruido (<i>Interference-to-noise</i>)
IF	Señal interferente (<i>Interfering signal</i>)
IMPATT	Tiempo de transmisión del impacto de avalancha (<i>Impact avalanche transit time</i>)
LFM	Modulación de frecuencia lineal (<i>Linear frequency modulation</i>)

* Las características de los radares meteorológicos en tierra que utilizan esta banda de frecuencias se encuentran en la Recomendación UIT-R M.1849.

MGM	Cartografía terrestre monoimpulso (<i>Monopulse ground mapping</i>)
NF	Factor de ruido (<i>Noise figure</i>)
nmi	millas náuticas (<i>Nautical miles</i>)
OMI	Organización Marítima Internacional
PPI	Indicador de posición planificada (<i>Planned position indicator</i>)
pps	impulsos por segundo (<i>Pulses per second</i>)
PRF	Frecuencia de repetición de impulsos (<i>Pulse repetition frequency</i>)
RCS	Sección transversal del radar (<i>Radar cross-section</i>)
RF	Radiofrecuencia (<i>Radio-frequency</i>)
rpm	revoluciones por minuto (<i>revolutions per minute</i>)
SAR	Radar de apertura sintética (<i>Synthetic-aperture radar</i>)
SART	Transpondedor de búsqueda y salvamento (<i>Search and rescue transponder</i>)
SL	Lóbulo lateral (<i>Side-lobe</i>)
SNR	Relación señal/ruido (<i>Signal-to-noise ratio</i>)
STC	Control del tiempo de sensibilidad (<i>Sensitivity-time-control</i>)
UA	Aeronave no tripulada (<i>Unmanned aircraft</i>)
WA	Detección de tormentas (<i>Weather avoidance</i>)
WS	Detección de gradiente transversal de velocidad del viento (<i>Wind-shear detection</i>)

Recomendaciones e informes de la UIT conexos

Recomendaciones

UIT-R M.628 – Características técnicas de los transpondedores de radar de búsqueda y salvamento

UIT-R M.824 – Parámetros técnicos de las balizas de radar

UIT-R M.1176 – Parámetros técnicos de los dispositivos de mejora de los blancos radar

UIT-R M.1372 – Utilización eficaz del espectro radioeléctrico por las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación

UIT-R M.1461 – Procedimientos para determinar la posibilidad de interferencia entre radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación y sistemas de otros servicios

UIT-R M.1849 – Aspectos técnicos y operacionales de los radares meteorológicos en tierra

UIT-R M.1851 – Modelos matemáticos de diagramas de antena de sistemas de radar del servicio de radiodeterminación para uso en los análisis de interferencia

Informe

UIT-R M.2204 – Características y consideraciones sobre el espectro para sistemas sensores y de evitación de colisión en sistemas de aeronaves no tripuladas (SANT)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en algunas bandas de frecuencias son óptimas las características de las antenas, de la propagación de las señales, de la detección del blanco y de la anchura de banda necesaria de los radares para cumplir sus funciones;
- b) que las características técnicas de los radares del servicio de radiodeterminación están determinadas por la misión del sistema y son muy variables incluso dentro de una banda de frecuencias;
- c) que el UIT-R está considerando la posibilidad de introducir nuevos tipos de sistemas o servicios en bandas de frecuencias comprendidas entre 420 MHz y 34 GHz utilizadas por los radares del servicio de radiodeterminación;
- d) que se necesitan características técnicas y operacionales representativas de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación a fin de determinar, en caso necesario, la viabilidad de introducir nuevos tipos de sistemas en bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodeterminación,

observando

- a) que las características técnicas y operacionales de las balizas de radares marítimos que funcionan en la banda de frecuencias 9 300-9 500 MHz figuran en la Recomendación UIT-R M.824;
- b) que los parámetros técnicos de los dispositivos de mejora de los blancos radar que funcionan en la banda de frecuencias 9 300-9 500 MHz figuran en la Recomendación UIT-R M.1176;
- c) que las características técnicas y operacionales de los transpondedores de radar de búsqueda y salvamento (SART) que funcionan en la banda de frecuencias 9 200-9 500 MHz figuran en la Recomendación UIT-R M.628,

considerando además

- a) que los criterios de protección necesarios dependen de los tipos específicos de señales interferentes;
- b) que puede ser necesario considerar la aplicación de criterios de protección para la inclusión de la naturaleza estadística de la aplicación de esos criterios y otros elementos de la metodología para llevar a cabo estudios de compatibilidad (por ejemplo, pérdida de propagación). El desarrollo ulterior de estas consideraciones estadísticas, junto con la probabilidad necesaria de detección para varios escenarios operacionales y marítimos puede incorporarse en versiones futuras de esta Recomendación, según proceda,

recomienda

- 1 que las características técnicas y operacionales de los radares de radiodeterminación descritos en el Anexo 1 se consideren representativas de los que funcionan en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz;
- 2 que esta Recomendación, junto con la Recomendación UIT-R M.1461, se considere para analizar la compatibilidad entre los radares de radiodeterminación y los sistemas de otros servicios;
- 3 que se considere el criterio interferencia/ruido (I/N) de -6 dB para la relación entre la potencia de señal interferente y la potencia de ruido en el receptor del radar como nivel de protección necesario para los radares de radiodeterminación en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz, aunque haya múltiples interferentes presentes (véase el Anexo 2);

4 que se consideren también los resultados de los ensayos de sensibilidad a la interferencia realizados con radares de radionavegación a bordo de barcos en la banda de frecuencias 9 200-9 500 MHz (véase el Anexo 3) para evaluar la interferencia a los radares de radionavegación a bordo de barcos, observando que los resultados se refieren a blancos no fluctuantes y que deben tenerse en cuenta las fluctuaciones de sección transversal de los radares (RCS).

Anexo 1

Características técnicas y operacionales de los radares del servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz

1 Introducción

Las características de los radares de radiodeterminación que funcionan en todo el mundo en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz se presentan en los Cuadros 1, 2, 3 y 4, y se describen en los puntos siguientes.

2 Características técnicas

La banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz es utilizada por numerosos tipos diferentes de radares en plataformas situadas en tierra, transportables, a bordo de barcos y a bordo de aviones. Las funciones de radiodeterminación realizadas en la banda incluyen la búsqueda a bordo de aeronaves y en la superficie terrestre, la cartografía, el seguimiento en el terreno, la navegación (aeronáutica y marítima), la identificación de blancos y la meteorología (a bordo de aeronaves y en tierra). Otras diferencias importantes entre los radares incluyen los ciclos de transmisión, las anchuras de bandas de emisión, la presencia y los tipos de modulación intrainpulso, las capacidades de agilidad de frecuencia, las potencias de cresta y media del transmisor, y los tipos de dispositivos de potencia RF del transmisor. Estas características, tomadas individualmente y combinadas unas con otras, tienen todas una incidencia importante en la compatibilidad de los radares con otros sistemas de su entorno, mientras que otras características afectan esa compatibilidad en grados menores. Puede suponerse que las frecuencias de funcionamiento de los radares están repartidas uniformemente dentro de la banda de frecuencias de sintonización de cada radar. Los Cuadros 1, 2, 3 y 4 contienen las características técnicas representativas de los radares de radiolocalización y radionavegación desplegados en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz, a excepción de las de los radares meteorológicos en tierra, que se encuentran en la Recomendación UIT-R M.1849.

Los principales radares de radiolocalización que funcionan en esta banda de frecuencias se utilizan ante todo para la detección de objetos en el aire. Se necesitan para medir la altitud del blanco, así como la distancia y la puntería. Algunos de los blancos aéreos son pequeños y algunos están situados a distancias de hasta 300 millas náuticas (MN) (~ 556 km), de modo que esos radares de radiolocalización deben tener una gran sensibilidad y deben suministrar un alto grado de supresión de todas las formas de retorno de ecos parásitos, incluidos los del mar, la tierra y las precipitaciones. En algunos casos, las emisiones radar en esta banda de frecuencias deben activar balizas de radar.

En gran parte debido a los requisitos de las misiones, los radares que funcionan en esta banda de frecuencias tienden a poseer las siguientes características generales:

- tienden a tener potencia de cresta y media de transmisor baja a media (de 1 W a 250 000 W), con excepciones notables;
- típicamente emplean transmisores de amplificación de potencia de oscilación central en vez de osciladores de potencia. Por lo general son sintonizables, y algunos de ellos cuentan con agilidad de frecuencia. Algunos emplean modulación de frecuencia lineal o no lineal, o modulación intrainpulso con codificación de fase;
- algunos tienen haces principales de antena orientables en una o en ambas dimensiones angulares con orientación de haz electrónica;
- típicamente hacen uso de capacidades de recepción y procesamiento versátiles, tales como antenas de recepción con bloqueo del lóbulo lateral, procesamiento de trenes de impulsos de portadora coherentes para suprimir el retorno de ecos mediante indicación de blancos móviles, técnicas de tasa de falsas alarmas constante (CFAR, *constant-false-alarm-rate*) y, en algunos casos, selección adaptable de las frecuencias de explotación basada en la medición de la interferencia en varias frecuencias;
- los radares individuales tienen a menudo diferentes anchuras de impulso y frecuencias de repetición de impulso; algunos radares de impulso modulado disponen de varias anchuras de banda. Y algunos radares con agilidad de frecuencia tienen varios modos de agilidad de frecuencia y de frecuencia fija. Esta flexibilidad puede ofrecer herramientas útiles para mantener la compatibilidad con otros radares del entorno.

Algunos o todos los radares cuyas características se presentan en los Cuadros 1, 2, 3 y 4 poseen estas propiedades. Estos Cuadros tienen una gran cobertura, para ejemplificar la amplia variedad de emisiones de radar, plataformas, formas de onda, anchuras de banda, ciclos de trabajo, niveles de potencia, dispositivos transmisores, etc. que pueden hallarse en los radares que utilizan esta banda de frecuencias, aunque no ilustran todo el repertorio de atributos que podrían aparecer en sistemas futuros.

CUADRO 1

Características de los radares de radiodeterminación a bordo de aeronaves que utilizan la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz

Características	Sistema A1	Sistema A2	Sistema A3	Sistema A4
Función	Radar de búsqueda y seguimiento (multifunción)	Radar de búsqueda a bordo de aeronaves	Radar de establecimiento de mapas y seguimiento en el terreno (multifunción)	Radar de seguimiento
Gama de sintonización (MHz)	9 300-10 000	8 500-9 600	9 240, 9 360 y 9 480	10 000-10 500
Modulación	Impulso	Impulso	Modulación de posición de impulso con agilidad de frecuencia no coherente	CW, FMCW
Potencia de cresta en la antena (kW)	17	143 (mín.) 220 (máx.)	95	1,5
Anchuras de impulso (μ s) y tasas de repetición de impulso (pps)	0,285; 8 200 a 23 000	2,5; 0,5 400 y 1 600	0,3; 2,35 y 4 2 000; 425 y 250	No procede
Ciclo de trabajo máximo	0,0132	0,001	0,001	1
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	0,01/0,01	0,02/0,2	0,1/0,1	No procede
Dispositivo de salida	Tubo de ondas progresivas	Magnetron sintonizable	Magnetron con cavidad resonante	Tubo de ondas progresivas
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho	Haz plano	Haz estrecho	Haz estrecho
Tipo de antena	Sistema plano	Reflector parabólico	Sistema plano	Sistema plano
Polarización de antena	Lineal	Lineal	Circular	Lineal
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	32,5	34	28,3	35,5
Abertura en elevación de antena (grados)	4,6	3,8	5,75	2,5
Abertura acimutal de antena (grados)	3,3	2,5	5,75	2,5

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A1	Sistema A2	Sistema A3	Sistema A4
Velocidad de barrido horizontal de antena (grados)	236 (118 barridos/min)	36 ó 72 (6 ó 12 rpm)	Hasta 106 (Hasta 53 barridos/min)	90
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	Sector: ±60° (mecánico)	360° (mecánico)	Sector: ±60° (mecánico)	Sector: ±60° (mecánico)
Velocidad de barrido vertical de antena (grados)	118 (59 barridos/min)	No procede	148,42 (Hasta 137 barridos/min)	90
Tipo de barrido vertical de antena	Sector: ±60° (mecánico)	No procede	Sector: +25°/-40° (mecánico)	Sector: ±60° (mecánico)
Niveles del lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	7,5 a 15°	No especificado	5,3 a 10°	No especificado
Altura de antena	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave
FI de receptor 3 dB de anchura de banda (MHz)	3,1; 0,11	5	5,0; 1,8 y 0,8	0,48
Cifra de ruido del receptor (dB)	No especificado	No especificado	6	3,6
Señal discernible mínima (dBm)	-103	-107; -101	-101	
Anchura de banda de impulso modulado total (MHz)	No procede	No procede	No procede	No especificado
Anchura de banda de emisión RF (MHz) - 3 dB - 20 dB	3,1; 0,11 22,2; 0,79	0,480; 2,7 1,5; 6,6	(Dependiente de la frecuencia y de la anchura del impulso) 100 a 118 102 a 120	No especificado No especificado

Rec. UIT-R M.1796-3

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A5	Sistema A6a ⁽¹⁾	Sistema A6b ⁽¹⁾
Función	Detección de tormentas, incluida la detección de gradiente transversal de velocidad del viento (navegación)	Detección de tormentas (WA), incluida la detección del gradiente transversal de velocidad del viento (WS) (navegación)	Cartografía terrestre, incluyendo: Cartografía terrestre monoimpulso (MGM) y acentuación de haz Doppler (DBS)
Gama de sintonización (MHz)	9 330	9 305-9 410 WA: impulso a impulso con agilidad de frecuencias ($\leq 2\ 000$ saltos/s); WS: frecuencia única adaptable	9 360 y 9 305-9 410 MGM: impulso a impulso con agilidad de frecuencias (≤ 600 saltos/s); DBS: frecuencia única (9 360)
Modulación	Impulso	WA: impulsos no modulados y con codificación Barker (5:1 y 13:1); WS: impulsos sin modulación	MGM y DBS: impulsos con codificación Barker (13:1)
Potencia de cresta en la antena (W)	150	≤ 150	≤ 150
Anchura de impulso (μ s) y Tasa de repetición de impulso (pps)	1 a 20 180 a 9 000	WA: 0,2-230; WS: 2 WA: 2 000 para impulsos de 0,2-6, decreciendo hasta 230 para impulsos de 230; WS: 3 600-3 940	MGM: 1,3-260; DBS: 0,64-20 MGM: 600 para impulsos de 1,3-60, decreciendo hasta 220 para impulsos de 260; DBS: 700-1 600 para todas las anchuras de impulso
Ciclo de trabajo máximo	No especificado	WA: 0,054; WS: 0,0076	MGM: 0,057; DBS: 0,033 (0,024 a largo plazo)
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	No especificado	WA: 0,02-0,05/0,01; WS: 0,02/0,01	MGM: 0,01-0,02/0,01-0,02; DBS: 0,02-0,04/0,01
Dispositivo de salida	Estado sólido	FET	FET
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho	Haz estrecho	Abanico
Tipo de antena	Sistema plano	Sistema plano	Sistema plano
Polarización de antena	No especificado	Lineal	Lineal
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	34,4	32	28,7

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A5	Sistema A6a ⁽¹⁾	Sistema A6b ⁽¹⁾
Abertura en elevación de antena (grados)	3,5	4	42
Abertura acimutal de antena (grados)	3,5	2,7	2,7
Velocidad de barrido horizontal de antena (grados/s)	No especificado	≤ 200 (≤ 40 barridos/min)	≤ 200 (≤ 40 barridos/min)
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	Sector: ±30°	Sector: ±15° a ±135° (mecánico)	Sector: ±15° a ±135° (mecánico)
Velocidad de barrido vertical de antena	No especificado	≤ 20 barridos/min	No procede
Tipo de barrido vertical de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	No especificado	1 ó 2 barras horizontales (mecánico)	No procede
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	+3,4	8 a 4,2°	3,7 a 4,5°
Altura de antena	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave (velocidad del viento a baja altitud)	Altitud de aeronave
FI de receptor 3 dB de anchura de banda (MHz)	No especificado	WA: ≤ 16 para impulsos/subimpulsos estrechos, decreciendo hasta 0,8 para impulsos/subimpulsos anchos; WS: ≥ 0,8	
Cifra de ruido del receptor (dB)	4,0	5	5
Señal discernible mínima (dBm)	-125	≥ -110	≥ -110
Anchura de banda de impulso modulado (MHz)	No procede	No procede	No procede
Anchura de banda de emisión RF (MHz)	No especificado	Del impulso llano más corto al subimpulso más largo: WA: 3 dB: 5 a 0,052; 20 dB: 40,5 a 0,37; WS: 3 dB: 0,46 20 dB: 3,28	Para los subimpulsos más cortos a más largos: MGM: 3 dB: 7,68 a 0,045; 20 dB: 59 a 0,31 DBS: 3 dB: 18 a 0,6; 20 dB: 150 a 4,1

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A7a, A7b, y A7c ⁽²⁾	Sistema A7d ⁽²⁾	Sistema A7e y A7f ⁽²⁾	Sistema A8
Función	Imaginización de búsqueda y SAR de superficie	Navegación	Imaginización SAR inversa	Búsqueda (radiolocalización) Meteorología
Gama de sintonización (MHz)	9 380-10 120	Con agilidad de frecuencias de impulso a impulso en 340 MHz	9 380-10 120	9 250-9 440, con agilidad de frecuencias de impulso a impulso, pasos de 20 MHz
Modulación	Impulso FM lineal	Impulso FM lineal	Impulso FM lineal	Impulso FM
Potencia de cresta en la antena (kW)	50	50	50	10
Anchuras de impulso (μ s) y tasas de repetición de impulso (pps)	Búsqueda: 5 μ s a 1 600-2 000 ó 10 μ s a aprox. 380 SAR: 13,5 μ s a 250-750	10 aprox. 380	10 470, 530, 800 y 1 000	5 y 17 2 500, 1 500, 750, y 400 (todas las anchuras de impulso)
Ciclo de trabajo máximo	0,010 (5 μ s y 13,5 μ s); 0,004 (10 μ s)	0,004	0,010	0,04
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1
Dispositivo de salida	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho/Haz plano	Haz estrecho/Haz plano	Haz estrecho/Haz plano	Haz plano
Tipo de antena	Reflector parabólico	Reflector parabólico	Reflector parabólico	Ranurado
Polarización de antena	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Vertical y horizontal
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	34,5	34,5	34,5	32
Abertura en elevación de antena (grados)	4,0	4,0	4,0	9,0
Abertura acimutal de antena (grados)	2,4	2,4	2,4	1,8
Velocidad de barrido horizontal de antena (grados/s)	36, 360 y 1 800	36, 360, 1 800	36, 360, y 1 800	90 ó 360 (15 ó 60 rpm)

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A7a, A7b, y A7c ⁽²⁾	Sistema A7d ⁽²⁾	Sistema A7e y A7f ⁽²⁾		Sistema A8
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	Sector de 10°	Sector de 10°	Sector de 10°		360°
Velocidad de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede	No procede	No procede		No procede
Tipo de barrido vertical de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	Inclinación seleccionable 0°/-90°	Inclinación seleccionable 0°/-90°	Inclinación seleccionable 0°/-90°		Inclinación seleccionable +15°/-15°
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL distantes) (dBi)	14,5 a 12°	14,5 a 12°	14,5 a 12°		20
Altura de antena	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave		Altitud de aeronave
FI de receptor 3 dB de anchura de banda (MHz)	No especificado	No especificado	No especificado		16
Cifra de ruido del receptor (dB)	5	5	5		No especificado
Señal discernible mínima (dBm)	Depende de la ganancia de procesamiento (34 dB (5 μs), 30 dB (10 μs) y 39,5 dB (13,5 μs) para un impulso de retorno)	Depende de la ganancia de procesamiento (17 dB para un impulso de retorno)	Depende de la ganancia de procesamiento (30 dB (100 MHz) o 33 dB (200 MHz) para un impulso de retorno)		-98
Anchura de banda del impulso modulado total (MHz)	Búsqueda: 500 (5 μs) o 100 (10 μs) SAR: 660	5	100 ó 200		10
Anchura de banda de emisión RF (MHz)	Búsqueda (5 μs) Búsqueda (10 μs) SAR		Impulso modulado de 100 MHz	Impulso modulado de 200 MHz	
- 3 dB	470 95 640	4,5	95	190	9,3
- 20 dB	540 110 730	7,3	110	220	12

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A9	Sistema A10	Sistema A11	Sistema A12
Función	Detección de tormenta, búsqueda, cartografía en tierra	Detección de tormenta, cartografía en tierra, búsqueda	Detección de tormenta, cartografía en tierra, búsqueda y salvamento	Multifunción Vigilancia, barrido, rastreo, búsqueda, radar de apertura sintética (toma de imágenes)
Gama de sintonización (MHz)	Radar: $9\,375 \pm 10$; Baliza: 9 310	Impulso previo: 9 337 y 9 339 (precede a cada impulso operacional) Impulso operacional: 9 344	$9\,375 \pm 30$	8 500-10 500
Modulación	Impulso	Impulso	Impulso	Impulso adaptable, FM, impulso FM lineal
Potencia de cresta en la antena (kW)	25	0,026 (14 dBW)	2,5 a 6,0	0,03-10
Anchura de impulso (μ s) y tasa de repetición de impulso (pps)	4,5; 2,4; 0,8 y 0,2 μ s a 180, 350, 350 y 1 000 pps.	9 337 y 9 339 MHz: 1-29 μ s a 2 200-220 pps (con vibración) para todas las anchuras de impulso; 9 344 MHz: 1,7-2,4, 2,4-4,8, 4,8-9,6, 17, 19, y 29 μ s a 2 200-220 pps (con vibración)	Fijado a 4 106,5	0,15-300 adaptable 1 000-50 000 adaptable
Ciclo de trabajo máximo	0,00082	9 337 y 9 339 MHz: $\leq 0,064$ 9 344 MHz: $\leq 0,011$ (con impulsos de 17 μ s)	0,00043	0,01-0,8 (impulso), 1 (FM)
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	No especificado	9 337 y 9 339 MHz: 0,3/0,2 9 344 MHz: 0,5/0,5	Tiempo de subida: 0,3 Tiempo de bajada: 0,4	0,005-0,1/0,005-0,1
Dispositivo de salida	Magnetron de alta fiabilidad	Diodo IMPATT	Magnetron	Estado sólido
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho y en forma de abanico	Haz estrecho	Haz estrecho	Formación de haz digital (véase la Rec. UIT-R M.1851)
Tipo de antena	Sistema plano	Sistema plano	Sistema plano	Sistema activo
Polarización de antena	Horizontal y vertical	Horizontal	Horizontal	Lineal/circular

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A9	Sistema A10	Sistema A11	Sistema A12
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	Haz estrecho: 30; haz plano: 29	29	26,7	35-42
Abertura en elevación de antena (grados)	Haz estrecho: 3; haz plano: 6	< 10	8,1	1,6 a 42 dBi
Abertura acimutal de antena (grados/s)	Haz estrecho: 3; haz plano: 3	7	8,1	1,6 a 42 dBi
Velocidad de barrido horizontal de antena (grados/s)	72 (larga distancia), 270 (corta distancia) (360°: 12 rpm (larga distancia), 45 rpm (corta distancia)) Sector: No especificado	30	25	No procede
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	Continuo (360°) Sector (90°)	Sector 60° o 120°	Sector volumen (90° o 120°)	±60° barrido electrónico ±120° con reposicionador mecánico adicional
Velocidad de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede	No procede	No procede	No procede
Tipo de barrido vertical de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	No procede	Inclinación seleccionada por el operador: ±30°	Sector volumen: ±30°	±60° barrido electrónico ±120° con reposicionador mecánico adicional
Niveles del lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	No especificado	+13,9	+4,7	14-19 dB por debajo de ganancia de pico
Altura de antena	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave	Altitud de aeronave (300-13 700 m)
FI de receptor 3 dB de anchura de banda (MHz)	No especificado	2,0	1,0	25

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A9	Sistema A10	Sistema A11	Sistema A12
Cifra de ruido del receptor (dB)	6,5	2	5	6
Señal discernible mínima (dBm)	No especificado	-128 (sensibilidad de detección después del procesamiento)	-110	-130
Anchura de banda de impulso modulado total (MHz)	No procede	No procede	No procede	Máximo de 1,900 para impulso modulado
Anchura de banda de emisión RF (MHz)				
- 3 dB	No especificado	-3 dB: 9 337 y 9 339 MHz: 0,7 9 344 MHz: 0,4, 0,25, 0,150, 0,075, 0,08 y 0,05	-3 dB: 0,5	3 dB: 10 MHz, 130 MHz, 1 800 MHz
- 20 dB	No especificado	-20 dB: 9 337 y 9 339 MHz: 3,6 9 344 MHz: 1,8, 1,5, 0,8, 0,375, 0,35 y 0,2	-20 dB: 1,5	-20 dB: 20 MHz, 150 MHz, 1 900 MHz

⁽¹⁾ Radar multimodo; tiene también un modo interrogación de baliza a 9 375 MHz, no descrito aquí.

⁽²⁾ Radar multimodo.

CUADRO 1 (continuación)

Características	Sistema A13
Función	Radar anticolidión de aeronave no tripulada
Gama de sintonización (MHz)	8 750-8 850 ó 9 300-9 500 (seleccionado para ser compatible con los demás sistemas aviónicos a bordo)
Modulación	Impulso con código de fase binario intraimpulso; ancho de banda de 3 dB = 5 MHz
Potencia de cresta en la antena (kW)	0,640 (radiada neta)
Anchuras de impulso (µs) y tasas de repetición de impulso (pps)	0,2 a 30 500 a 60 000 (dependiente del modo)
Ciclo de trabajo máximo	0,16
Tiempo de subida/bajada de impulso (µs)	0,1/0,1
Dispositivo de salida	Amplificadores de potencia de estado sólido
Tipo de diagrama de antena	Haz de sección elíptica
Tipo de antena	Sistema de exploración electrónica activo (AESA)
Polarización de antena	Lineal vertical
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	28
Abertura en elevación de antena (grados)	13,5 en la parte ancha de la antena
Abertura acimutal de antena (grados)	2,7 en la parte ancha de la antena
Velocidad de barrido horizontal de antena (grados/s)	Barrido: 8 tramas/min con actualizaciones de rastreo intercaladas, cuando procede
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.) (grados)	Sector: ±110, barrido electrónico (se utilizan 2 antenas)
Velocidad de barrido vertical de antena (grados/s)	Barrido: 8 tramas/min con actualizaciones de rastreo intercaladas, cuando procede
Tipo de barrido vertical de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.) (grados)	Sector: ±15 (búsqueda), ±45 (rastreo); Barrido electrónico, el campo de mira se estabiliza electrónicamente con respecto a un plano horizontal local

CUADRO 1 (fin)

Características	Sistema A13
Niveles del lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	< 17, primer lóbulo lateral < 13, lóbulos laterales exteriores (se aplica a los niveles de los lóbulos laterales de transmisión con ponderación uniforme; los niveles de los lóbulos laterales receptores son inferiores)
Altura de antena	Altitud de aeronave
FI de receptor 3 dB de anchura de banda (MHz)	5-10 (dependiente del modo)
Cifra de ruido del receptor (dB)	4,4 (sistema NF)
Señal discernible mínima (dBm)	-129 para 10 dB SNR (potencia de la señal equivalente en la salida de una antena receptora pasiva sin pérdidas, excluida la ganancia de antena e incluida la ganancia de procesamiento de la señal digital)
Anchura de banda de impulso modulado total (MHz)	10, si se utiliza el impulso modulado (para modos de crecimiento posibles); 5 para código bifase
Anchura de banda de emisión RF (MHz) - 3 dB - 20 dB	5-10 (dependiente del modo) 25

CUADRO 2

Características de los radares de radiodeterminación a bordo de barcos que funcionan en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz

Características	Sistema S1	Sistema S2	Sistema S3	Sistema S4		Sistema S5
Función	Radar de búsqueda y navegación	Radar de seguimiento	Radar de búsqueda de baja altitud y de superficie (multifunción)	Radar de radionavegación marítima ⁽³⁾		Radar de vigilancia de superficie y navegación
Tipo de plataforma	A bordo de barco, en emplazamientos de formación costeros	A bordo de barco	A bordo de barco	A bordo de barco		A bordo de barco
Gama de sintonización (MHz)	8 500-9 600	10 000-10 500	8 500-10 000	9 225-9 500		9 300-9 500
Modulación	Impulso	CW, FMCW	Impulsos con agilidad de frecuencia ⁽⁴⁾	Impulso		FMCW
Potencia de cresta en la antena (kW)	35	13,3	10	5 (mín.)	50 (máx.)	1 10 ⁻⁶ a 1 10 ⁻³
Anchura de impulso (µs) y tasa de repetición de impulso (pps)	0,1; 0,5 1 500; 750	No procede No procede	0,56 a 1,0; 0,24 19 000 a 35 000; 4 000 a 35 000	0,03 (mín.) a 4 000 (máx.)	1,2 (máx.) a 375 (mín.)	No procede 1 000 ⁽⁵⁾
Ciclo de trabajo máximo	0,00038	1	0,020	0,00045		1
Tiempo de subida/bajada de impulso (µs)	0,08/0,08	No procede	0,028/0,03; 0,038/0,024	No especificado		No procede
Dispositivo de salida	Magnetron	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas	Magnetron		Estado sólido
Tipo de diagrama de antena	Haz plano	Haz estrecho	Haz estrecho	Haz plano		Haz plano
Tipo de antena	Bocina	Sistema plano	Ranurado	Ranurado		Guiaondas ranurado
Polarización de antena	Lineal	Lineal	Lineal	No especificado		Lineal
Ganancia del haz principal de antena (dBi)	29	43	39	27 (mín.)	32 (máx.)	30

CUADRO 2 (continuación)

Características	Sistema S1	Sistema S2	Sistema S3	Sistema S4		Sistema S5
Abertura en elevación de antena (grados)	13	1	1	20,0 (mín.)	26,0 (máx.)	20
Abertura acimutal de antena (grados)	3	1	1,5	0,75 (mín.)	2,3 (máx.)	1,4
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	57	90	180	120 (mín.)	360 (máx.)	144
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.) (grados)	360 (mecánico)	360 (mecánico)	360 o búsqueda/seguimiento de sector (mecánico)	360		360
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede	90	No procede	No procede		No procede
Tipo de barrido vertical de antena	No procede	Sector: +83/-30° (mecánico)	No procede	No procede		No procede
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	No especificado	23 (primer SL)	23 (primer SL)	4 a ≤ 10° (mín.) 3 a ≥ 10° (máx.)	9 a ≤ 10° (máx.) 2 a ≥ 10° (máx.)	5 (primer SL)
Altura de antena	Mástil/plataforma	Mástil/plataforma	Mástil/plataforma	Mástil/plataforma		Mástil/plataforma
FI de receptor (MHz)	No especificado	No especificado	No especificado	45 (mín.)	60 (máx.)	
Anchura de banda 3 dB de receptor FI (MHz)	12	0,5	2,5; 4; 12	6; 2,5 (mín.) (impulso corto y largo, resp.)	28; 6 (máx.) (impulso corto y largo, resp.)	0,5
Cifra de ruido de receptor (dB)	No especificado	3,5	9	3,5 (mín.)	8,5 (máx.)	3,5
Señal discernible mínima (dBm)	-96	-113	-102; -100; -95	-106 (mín.)	-91 (máx.)	-113
Anchura de banda de impulso modulado (MHz)	No procede	No especificado	No procede	No procede		1,7 a 54
Anchura de banda de emisión RF (MHz)						
- 3 dB	10; 5	No especificado	1,6; 4,2	No especificado		No especificado
- 20 dB	80; 16	No especificado	10; 24	No especificado		No especificado

CUADRO 2 (continuación)

Características	Sistema S6	Sistema S7	Sistema S8	Sistema S9	
Función	Radar de radionavegación marítima	Navegación y búsqueda	Radar de radionavegación marítima ⁽⁶⁾	Radar de radionavegación marítima ⁽⁷⁾	
Tipo de plataforma	A bordo de barco	A bordo de barco	A bordo de barco	A bordo de barco	
Gama de sintonización (MHz)	9 380-9 440	9 300-9 500	9 225-9 500	9 225-9 500	9 445 ±30
Modulación	Impulso	Impulso	Impulso	Impulso	
Potencia de cresta en la antena (kW)	25	1,5	5	1,5-10	
Anchura de impulso (μs) y tasa de repetición de impulso (pps)	0,08; 0,2; 0,4; 0,7 y 1,2 2 200 (0,08 μs); 1 800; 1 000 y 600 (1,2 μs)	0,08; 0,25 y 0,5 2 250; 1 500 y 750	0,05; 0,18 y 0,5 3 000 pps a 0,05 μs a 1 000 pps a 0,5 μs	0,08 (mín.) a 3 600	1,2 (máx.) a 375
Ciclo de trabajo máximo	0,00072	0,000375	0,0005	0,00045	
Tiempo de subida/bajada de impulso (μs)	0,010/0,010	0,01/0,05	No especificado	No especificado	
Dispositivo de salida	Magnetron	Magnetron	Magnetron	Magnetron	
Tipo de diagrama de antena	Haz plano	Haz plano	Haz plano	Haz plano	
Tipo de antena	Dispositivo ranurado alimentado por el extremo	Guiaondas con alimentación en el centro	Ranurado	Ranurado o bocina	
Polarización de antena	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	
Ganancia del haz principal de antena (dBi)	31	23,9	30	22-30	
Abertura en elevación de antena (grados)	20	25	26	24-28	
Abertura acimutal de antena (grados)	0,95	6	0,95	1,9-7	
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	144	144	180	144	
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.) (grados)	360	360	360	360	

CUADRO 2 (continuación)

Características	Sistema S6	Sistema S7	Sistema S8	Sistema S9
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.) (grados)	360	360	360	360
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede	No procede	No procede	No procede
Tipo de barrido vertical de antena	No procede	No procede	No procede	No procede
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	No especificado	+2,9	< 5 dentro de 10°; ≤ 2 fuera de 10°	Haz principal 22: 3 a 4 dentro de 10°; 0 a 3 fuera de 10° Haz principal 30: 7 a 10 dentro de 10°; -2 a +7 fuera de 10°
Altura de antena	Mástil	Mástil	Mástil	Mástil
FI de receptor (MHz)	No especificado	No especificado	50	45-60
Anchura de banda 3 dB de receptor FI (MHz)	15	10 y 3	15-25	2,5-25
Cifra de ruido de receptor (dB)	6	6	6	4 a 8
Señal discernible mínima (dBm)	-97 (ruido de fondo)	-102 (ruido de fondo)	No especificado	No especificado
Anchura total de impulso modulado (MHz)	No procede	No procede	No procede	No procede
Anchura de banda de emisión RF (MHz)			No especificado	No especificado
- 3 dB	14	20		
- 20 dB	43	55		

(3) Categoría OMI – incluida la pesca.

(4) Impulso no comprimido, agilidad de frecuencias pseudo aleatoria.

(5) Velocidad de barrido de frecuencia (barridos/s).

(6) Categoría fluvial.

(7) Categoría ocio.

CUADRO 2 (continuación)

Características	Sistema S10	Sistema S11	Sistema S12
Función	Radar de vigilancia	Radar de navegación marítima	Radar de vigilancia
Tipo de plataforma	A bordo de barco	A bordo de barco	A bordo de barco y emplazamientos costeros
Gama de sintonización (MHz)	9 225-9 500	9 325-9 460	9 000-9 200 ó 9 225-9 500
Modulación	Compresión de impulsos	Impulso	V7N Radar de compresión de impulsos totalmente coherente que utiliza un diagrama complejo de impulsos modulados de hasta 6 frecuencias centrales con tres duraciones de impulso modulado distintas
Potencia de cresta en la antena (kW)	0,2	25	0,05-0,1
Anchura de impulso (µs) y tasa de repetición de impulso (pps)	0,08-100 1 000-10 000	0,06/0,25/0,5/1 3 000/2 000/1 000/ 750	0,150-40 1 000-5 000
Ciclo de trabajo máximo	0,02	$7,5 \times 10^{-4}$	0,2
Tiempo de subida/bajada de impulso (µs)	0,02	0,015/0,086	Alrededor de 0,02
Dispositivo de salida	Estado sólido	Magnetron (incoherente)	Estado sólido
Tipo de diagrama de antena	Haz plano	Haz plano	Haz plano
Tipo de antena	Guiaondas ranurado	Guiaondas ranurado	Guiaondas ranurado
Polarización de antena	Circular/horizontal	Horizontal	Horizontal
Ganancia del haz principal de antena (dBi)	37	31	≥ 34
Abertura en elevación de antena (grados)	11	25	≤ 16° a -3 dB/ ≤ 55° a -20 dB (Tipo)
Abertura acimutal de antena (grados)	0,4	0,95	≤ 0,6° a -3 dB
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	60-288	144 ó 240	10-48 RPM
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.) (grados)	Continuo o sectores	Continuo	Continuo o sectores
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede	No procede	No procede
Tipo de barrido vertical de antena	No procede	No procede	No procede

CUADRO 2 (continuación)

Características	Sistema S10	Sistema S11	Sistema S12
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	28	$< -32/\text{SL remotos} < -40$	$1,5^\circ-5^\circ < 6$ $5^\circ-10^\circ < 4$ $> 10^\circ < -1$
Altura de antena (m)	Normalmente 30-100	Normalmente 10-50 m, en función de la instalación del buque	En función de la instalación
Anchura de banda 3 dB de receptor FI (MHz)	180	22 ó 5	180 (analógico) El ancho de banda de resolución es 12,5 ó 25 ⁽⁸⁾
Cifra de ruido de receptor (dB)	2,5	2,5	2,5
Señal discernible mínima (dBm)	-130	-130	-130 equivalente tras la compresión del impulso
Anchura de banda de impulso modulado (MHz)	Normalmente 6×35 MHz	No procede	$6 \times 35 = 210$ (ancho de banda de -3 dB) ⁽⁹⁾
Anchura de banda de emisión RF (MHz) – 3 dB – 20 dB	240 275	9 a (-3 dB) 66 a (-20 dB) Para los impulsos más cortos	En función de los perfiles configurados. Normalmente se utiliza toda la banda de manera que el ancho de banda a -20 dB permanece dentro de la banda de frecuencias 9 225-9 500 MHz y el ancho de banda a -3 dB es el ancho de banda combinado de todas las frecuencias centrales utilizadas. El ancho de banda a -3 dB del impulso modulado individual por defecto es 35 ⁽¹⁰⁾
Gama dinámica (dB)			
Número mínimo de impulsos procesados			

⁽⁸⁾ Con un ancho de banda analógico de 180 MHz, puede tratarse el ancho de banda instantáneo en la conversión A/D. Esta «ventana» puede trasladarse en frecuencia en función de las necesidades.

⁽⁹⁾ El término «ancho de impulso modulado total», cuando se refiere al espectro de frecuencias abarcado, es el ancho de banda combinado de todos los impulsos modulados utilizados, es decir, hasta 6×35 MHz = 210 MHz (ancho de banda a -3 dB).

⁽¹⁰⁾ Pueden utilizarse hasta 6 frecuencias centrales individuales. El ancho de banda de impulso modulado individual normal (-3 dB) es 30-35 MHz. El ancho de banda RF total utilizado puede ser superior a 180 MHz y suele ser la banda de frecuencias utilizada (por ejemplo, 9,0-9,2 GHz o 9,225-9,500 GHz).

CUADRO 2 (continuación)

Características	Sistema S13
Función	Radar de navegación marítima
Tipo de plataforma	Barco y costero
Gama de sintonización (MHz)	9 200-9 500
Modulación	Impulso de onda continua (CW) para corto alcance. Impulso modulado en frecuencia no lineal para largo alcance (el ancho de banda del impulso modulado es de 20 MHz)
Potencia de cresta en la antena (kW)	0,17 nominal 0,20 cresta
Anchura de impulso (μ s) y tasa de repetición de impulso (pps)	Impulsos de 0,1, 5 y 33 μ s de ancho con intervalos de repetición de impulso de 12, 64 y 365 μ s y 2267 PRF efectivo
Ciclo de trabajo máximo	13%
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	Alrededor de 0,02
Dispositivo de salida	Estado sólido
Tipo de diagrama de antena	Haz plano
Tipo de antena	Sistema ranurado
Polarización de antena	Horizontal
Ganancia del haz principal de antena (dBi)	32,7 ó 34,5
Abertura en elevación de antena (grados)	25
Abertura acimutal de antena (grados)	< 0,7 ó < 0,45
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	12 ó 24 RPM
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.) (grados)	Continuo
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede
Tipo de barrido vertical de antena	No procede

CUADRO 2 (fin)

Características	Sistema S13
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	26
Altura de antena (m)	En función del tamaño del buque
Anchura de banda 3 dB de receptor FI (MHz)	15, 0,1875 y 0,0375
Cifra de ruido de receptor (dB)	5,5
Señal discernible mínima (dBm)	-125
Anchura de banda de impulso modulado (MHz)	20
Anchura de banda de emisión RF (MHz) – 3 dB – 20 dB	-3 dB: 15 (corto alcance) -3 dB: 20 (largo alcance) -20 dB: (corto alcance) -20 dB: 22 (largo alcance)
Gama dinámica (dB)	125
Número mínimo de impulsos procesados	32 impulsos integrados (12 RPM) 16 impulsos integrados (24 RPM)

CUADRO 3

Características de balizas y radares de radiodeterminación en tierra que utilizan la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz*

Características	Sistema G1	Sistema G2	Sistema G3	Sistema G4	Sistema G5
Función	Transpondedor de baliza de encuentro	Transpondedor de baliza de encuentro	Radar de seguimiento	Radar de seguimiento	Radar de aproximación de precisión y aterrizaje
Tipo de plataforma	A bordo de aeronave	En tierra (personal)	En tierra (camión)	En tierra (camión)	En tierra (camión)
Gama de sintonización (MHz)	8 800-9 500	9 375 y 9 535 (recepción); 9 310 (transmisión)	9 370-9 990	10 000-10 500	9 000-9 200
Modulación	Impulso simple o doble	Impulso	Impulso con agilidad de frecuencia	CW, FMCW	Impulso con agilidad de frecuencia
Potencia de cresta en la antena (kW)	0,300	0,020 a 0,040	31	14	120
Anchura de impulso (µs) y tasa de repetición de impulso (pps)	0,3 10 a 2 600	0,3 a 0,4 Inferior a 20 000	1 7 690 a 14 700	No procede No procede	0,25 6 000
Ciclo de trabajo máximo	0,00078	0,008	0,015	1	0,0015
Tiempo de subida/bajada de impulso (µs)	0,1/0,2	0,10/0,15	0,05/0,05	No procede	0,02/0,04
Dispositivo de salida	Magnetrón	Estado sólido	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas
Tipo de diagrama de antena	Omnidireccional	Cuadrante	Haz estrecho	Haz estrecho	Haz estrecho/plano
Tipo de antena	Guiaondas de extremo abierto	Dispositivo circuito impreso	Sistema en fase (guiaondas ranurado o lineal)	Sistema plano	Sistema de dipolos plano
Polarización de antena	Lineal	Circular	Lineal	Lineal	Circular
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	8	13	42,2	42,2	40

CUADRO 3 (continuación)

Características	Sistema G1	Sistema G2	Sistema G3	Sistema G4	Sistema G5
Abertura en elevación de antena (grados)	18	20; 3	0,81	1	0,7
Abertura acimutal de antena (grados)	360	65; 10	1,74	1	1,1
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	No procede	No procede	No especificado	90	5-30
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	No procede	No procede	Sector: $\pm 45^\circ$ (barrido en fase)	360° (mecánico)	Sector: $+23/+15^\circ$ (barrido en fase)
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede	No procede	No especificado	90	5-30
Tipo de barrido vertical de antena	No procede	No procede	Sector: $90^\circ \pm$ inclinación del sistema (barrido de frecuencia)	Sector: $90^\circ \pm$ inclinación del sistema (mecánico)	Sector: $+7/-1^\circ$ (barrido de frecuencia)
Niveles de lóbulo lateral de antena (SL) (primeros SL y SL remotos) (dBi)	No especificado	0 (primer SL)	No especificado	No especificado	No especificado
Altura de antena	Altitud de aeronave	Nivel de tierra	Nivel de tierra	Nivel de tierra	Nivel de tierra
Anchura de banda 3 dB FI de receptor (MHz)	24	40	1	0,52	2,5
Cifra de ruido de receptor (dB)	No especificado	13	No especificado	3,4	No especificado
Señal discernible mínima (dBm)	-99	-65	-107	-113	-98
Anchura de banda de impulso modulado (MHz)	No procede	No procede	No procede	No especificado	No procede
Anchura de banda de emisión RF (MHz)					
- 3 dB	2,4	4,7	0,85	No especificado	3,6
- 20 dB	13,3	11,2	5,50	No especificado	25,0

CUADRO 3 (continuación)

Características	Sistema G6	Sistema G7	Sistema G8
Función	Vigilancia de aeropuerto/GCA	Radar de aproximación de precisión	Equipo de detección de superficie de aeropuerto (ASDE)
Tipo de plataforma	En tierra (móvil)	En tierra (fijo o transportable)	En tierra
Gama de sintonización (MHz)	9 025	9 000-9 200 (4 frecuencias/sistema)	9 000-9 200; con agilidad de impulso a impulso en 4 frecuencias
Modulación	Impulsos llanos y NLFM	Pares de impulsos llanos y NLFM	Pares de impulsos llanos y LFM
Potencia de cresta en la antena (W)	310,5	500	70
Anchura de impulso (µs) y tasa de repetición de impulso (pps)	1,2; 30 y 96 12 800; 3 200-6 300 y 2 120	0,65 y 25 par de impulsos 3 470, 3 500, 5 200 y 5 300	0,04 y 4,0 (comprimido a 0,040) 4 000 cada uno, 8 192 en total
Ciclo de trabajo máximo	0,203	0,11	0,017
Tiempo de subida/bajada de impulso (µs)	No especificado	0,15/0,15 y 0,15/0,15	Impulso corto: 0,016/0,018; Impulso largo: 0,082/0,06
Dispositivo de salida	Estado sólido	Transistores	Estado sólido
Tipo de diagrama de antena	Abanico (csc ²)	Abanico vertical y abanico horizontal	csc ² inverso
Tipo de antena	Sistema activo + reflector	Dos sistemas en fase	Sistema pasivo
Polarización de antena	Vertical	Circular dextrógira	Circular dextrógira
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	37,5 transmisión, 37 recepción	Abanico vertical: 36 Abanico horizontal: 36	35
Abertura de elevación de antena (grados)	3,5 + csc ² a 20	Abanico vertical: 9,0 Abanico horizontal: 0,63	19
Abertura acimutal de antena (grados)	1,05	Abanico vertical: 1,04 Abanico horizontal: 15	0,35

CUADRO 3 (continuación)

Características	Sistema G6	Sistema G7	Sistema G8
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	12	Abanico vertical: 60, medio tiempo (60 barridos/min)	360
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	360°	Sector 30°	Continuo
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	No procede	Abanico horizontal: 20, medio tiempo (60 barridos/minuto)	No procede
Tipo de barrido vertical de antena	No procede	Sector 10°	No procede
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	7,5 promedio en transmisión, 2,9 promedio en recepción	Abanico vertical: 17 Abanico horizontal: 18,5	Plano acimutal: $\leq +10$ Plano de elevación: $\leq +20$
Altura de antena (m)	Nivel de tierra	Nivel de tierra	30 a 100 metros por encima del nivel del suelo
Anchura de banda 3 dB FI de receptor (MHz)	No especificado 0,8 (estimado)	40	36
Cifra de ruido de receptor (dB)	5 a 6,5	7,5	5,56
Señal discernible mínima (dBm)	No especificado	-90 ($S/N = 13,5$ dB)	-96,2
Gama dinámica (dB)	65 de ruido a compresión 1 dB	No especificado	No especificado
Mínimo de impulsos procesados por CPI	7	6	Integración no coherente de 4 impulsos
Anchura total de impulso modulado (MHz)	No especificado 0,8 (estimado)	2	Impulso corto: ninguna; Impulso largo: 50
Anchura de banda de emisión RF (MHz) – 3 dB – 20 dB	0,8 (estimado) Desconocido	1,1 (impulso llano), 1,8 (NLFM) 5,8 (impulso llano), 3,15 (NLFM)	43,2 70,3
Características de rechazo de interferencia	No especificado	No especificado	CFAR local; Mapa de ecos; Filtro espacial de 2 dimensiones

CUADRO 3 (continuación)

Características	Sistema G9
Función	Radar de seguimiento
Tipo de plataforma	En tierra
Gama de sintonización (MHz)	8 700-9 500
Modulación	Impulso FM lineal
Potencia de cresta en la antena (kW)	150
Anchura de impulso (μ s) y tasa de repetición de impulso (pps)	1-15 500-15 000
Ciclo de trabajo máximo	No especificado
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	0,05
Dispositivo de salida	Tubo de ondas progresivas
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho
Tipo de antena	Sistema plano
Polarización de antena	Lineal
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	38
Abertura en elevación de antena (grados)	5
Abertura acimutal de antena (grados)	5
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	300
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	Continuo
Tasa de barrido vertical de antena (grados)	No aplicable
Tipo de barrido vertical de antena	Aleatorio
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	No especificado
Altura de antena (m)	Nivel de tierra
Anchura de banda 3 dB FI de receptor (MHz)	3
Cifra de ruido de receptor (dBm)	-105

CUADRO 3 (fin)

Características	Sistema G9
Pérdida en recepción (dB)	No especificado
Anchura de banda de impulso modulado (MHz)	3
Anchura de banda de emisión RF (MHz) – 3 dB – 20 dB	3

* Los sistemas de radar con características similares a los del Cuadro 2 para los sistemas de radionavegación marítimos pueden también usarse para los radares aeronáuticos en tierra en los aeropuertos.

CUADRO 4

Características de otros radares que utilizan la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz

Características	Sistema G10	Sistema G11	Sistema G12
Función	Detección de intrusión	Detección de intrusión	Medida de velocidad
Tipo de plataforma	En tierra	En tierra	En tierra
Gama de sintonización (GHz)	10,525	10,15-10,65	10,519-10,531
Modulación	CW	CW	CW
Potencia de cresta en la antena (W)	10	10	0,5
Potencia media en la antena (W)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Anchura de impulso (μ s) y tasa de repetición de impulso (pps)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Ciclo de trabajo máximo	1	1	1
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Tipo de diagrama de antena	Parabólica	Parabólica	Haz estrecho
Tipo de antena	Parabólica	Parabólica	Sistema plano
Polarización de antena	Vertical	Vertical	Vertical
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	38	42	21
Abertura de elevación de antena (grados)	1,9	2	20
Abertura acimutal de antena (grados)	1,9	1,2	10
Tasa de barrido horizontal de antena	No especificado	No especificado	No especificado
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	No especificado	No especificado	No especificado
Tasa de barrido vertical de antena	No especificado	No especificado	No especificado
Tipo de barrido vertical de antena	No especificado	No especificado	No especificado
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	28	22 a 3 grados	9 a 14 grados
Altura de antena	No especificado	No especificado	No especificado
Anchura de banda 3 dB FI de receptor (MHz)	No aplicable	No aplicable	No aplicable

CUADRO 4 (continuación)

Características	Sistema G10	Sistema G11	Sistema G12
Sensibilidad (dBm)	-100	-152	-136
Cifra de ruido del receptor (dB)	13	3,6	7
Anchura total de impulso modulado (MHz)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Anchura de banda de emisión RF (MHz) – 40 dB	3,2	3,2	3,2

CUADRO 4 (continuación)

Características	Sistema G13	Sistema G14	Sistema G15		Sistema G16
Función	Radar de seguimiento	Radar de seguimiento	Radar de seguimiento		Radar de seguimiento
Tipo de plataforma	En aeronave	En buque	En tierra (camión)		En tierra y en buque
Gama de sintonización (GHz)	10,5-10,6	10,5-10,6	10,5-10,6		10,5-10,6
Modulación	CW, FMCW	CW, FMCW	CW, FMCW		LFM
Potencia de cresta en la antena (kW)	1,5	13,3	14		70
Potencia media en la antena (W)	–	–	–	–	20 000
Anchura de impulso (µs) y tasa de repetición de impulso (pps)	No aplicable No aplicable	No aplicable No aplicable	No aplicable No aplicable		2-15 5-140 K
Ciclo de trabajo máximo	1	1	1		0,28
Tiempo de subida/bajada de impulso (µs)	No aplicable	No aplicable	No aplicable		0,005
Tipo de diagrama de antena	Haz estrecho	Haz estrecho	Haz estrecho		Haz estrecho
Tipo de antena	Sistema plano	Sistema plano	Sistema plano		Sistema plano
Polarización de antena	Lineal	Lineal	Lineal		Lineal
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	35,5	43	42,2		46
Abertura de elevación de antena (grados)	2,5	1	1		2
Abertura acimutal de antena (grados)	2,5	1	1		2
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	90	90	90		No aplicable
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	Sector: ±60° (mecánico)	360° (mecánico)	360° (mecánico)		Sector: ±90° (mecánico)
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	90	90	90		No aplicable
Tipo de barrido vertical de antena	Sector: ±60° (mecánico)	Sector: +83/–30° (mecánico)	Sector: 90° ± inclinación del sistema (mecánico)		Sector: +85/–10° (mecánico)
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	No especificado	23 (primer SL)	No especificado		No especificado

CUADRO 4 (continuación)

Características	Sistema G13	Sistema G14	Sistema G15	Sistema G16
Altura de antena	Nivel de la aeronave	Mástil/instalación de montaje	Nivel de tierra	Mástil/instalación de montaje
Anchura de banda 3 dB FI de receptor (MHz)	0,48	0,5	0,52	10
Sensibilidad (dBm)	–	–113	–113	–112
Potencia de ruido (dBm)	–	–	–	–
Cifra de ruido de receptor (dB)	3,6	3,5	3,4	4,5
Anchura total de impulso modulado (MHz)	No especificado	No especificado	No especificado	10
Anchura de banda de emisión RF (MHz)	No especificado	No especificado	No especificado	5,5
– 3 dB	No especificado	No especificado	No especificado	11
– 20 dB				

CUADRO 4 (continuación)

Características	Sistema G17	Sistema G18	Sistema G19
Función	Seguimiento, barrido, vigilancia polivalente	Equipo de detección de superficie en aeropuerto	Equipo de detección de superficie en aeropuerto
Tipo de plataforma	En tierra (camión)	En tierra	En tierra
Gama de sintonización (MHz)	9 200-9 900	9 000-9 200, salto impulso a impulso ágil en 16 frecuencias predefinidas	9 000-9 200; salto impulso a impulso ágil en 4 frecuencias predefinidas
Modulación	Impulso adaptable, FM	Pares de impulsos simples y LFM	Dos impulsos LFM definen un par de impulsos
Potencia de cresta en la antena (W)	30-10 000	170	50
Anchura de impulso (μ s) y tasa de repetición de impulso (pps)	0,15-30 adaptable 1 000-20 000 adaptable	0,040 y 4,0 (comprimido a 0,040) 16 384 cada uno	10,0 y 0,15 a 7 500 (ambos comprimidos a 0,040); media máxima del sistema 15 000
Ciclo de trabajo máximo	0,60 (impulso) 1 (FM)	0,07	0,15
Tiempo de subida/bajada de impulso (μ s)	No especificado	Impulso corto: 0,016/0,023 Impulso largo: 0,038/0,056	Impulso corto: 0,020/0,020 Impulso largo: 0,020/0,020
Dispositivo de salida	Estado sólido	Estado sólido	Estado sólido
Tipo de diagrama de antena	Conformación de haz digital	esc ² inverso	esc ² inverso
Tipo de antena	Sistema plano activo	Sistema pasivo	Guiaondas ranurado
Polarización de antena	Lineal/circular	Circular dextrógira	Circular dextrógira
Ganancia de haz principal de antena (dBi)	36-42	37,6	37,6
Abertura de elevación de antena (grados)	4 a 36 dBi 2 a 42 dBi	9,91	9,91
Abertura acimutal de antena (grados)	2,5 a 36 dBi 1,3 a 42 dBi	0,37	0,37

CUADRO 4 (fin)

Características	Sistema G17	Sistema G18	Sistema G19
Tasa de barrido horizontal de antena (grados/s)	No aplicable	360	360
Tipo de barrido horizontal de antena (continuo, aleatorio, sector, etc.)	±60° barrido electrónico N*360° mecánico	Continuo	Continuo
Tasa de barrido vertical de antena (grados/s)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Tipo de barrido vertical de antena	±40° electrónico	No aplicable	No aplicable
Niveles de lóbulo lateral (SL) de antena (primeros SL y SL remotos) (dBi)	En función de la conformación del haz	9,15	9,15
Altura de antena	~ 10 m	10 a 100 m por encima del nivel del suelo	10 a 100 m por encima del nivel del suelo
Anchura de banda 3 dB FI de receptor (MHz)	No especificado	50	180
Cifra de ruido de receptor (dB)	6	5,25	5,0
Mínima señal discernible (dBm)	-122	-102	-115
Gama dinámica (dB)	No especificado	No especificado	No especificado
Número mínimo de impulsos procesados por CPI	No especificado	No especificado	No especificado
Anchura total de impulso modulado (MHz)	No especificado	Impulso corto: ninguno Impulso largo: 50	Impulso corto: 35 Impulso largo: 35
Anchura de banda de emisión RF (MHz)	Adaptable	50	35
- 3 dB	Adaptable	59	42
- 20 dB			

2.1 Transmisores

Los radares que funcionan en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz emplean toda una variedad de modulaciones, incluyendo impulsos no modulados, de onda continua (CW), modulados en frecuencia y codificados en fase; y algunos nuevos radares con procesamiento digital de la señal pueden utilizar la modulación adaptable con distintos esquemas de modulación, duración variable del impulso y velocidad de repetición. En las etapas finales de los transmisores se utilizan dispositivos de salida de campo cruzado, haz lineal y estado sólido. La tendencia en los nuevos sistemas de radar va hacia los dispositivos de salida de haz lineal y estado sólido, debido a los requisitos del procesamiento de las señales Doppler. Asimismo, los radares que cuentan con dispositivo de salida de estado sólido tienen una potencia de salida de cresta más baja en el transmisor y ciclos de trabajo de impulso mayores. En cuatro casos (Sistemas A4, S2, S5 y G4), el ciclo de trabajo es del 100%, con radares de radiolocalización CW de alta potencia que funcionan todos sólo por encima de 10 GHz. También hay una tendencia hacia los sistemas de radar con agilidad de frecuencia para suprimir o reducir la interferencia, muy parecido a lo que se hace en algunos sistemas de comunicaciones. La agilidad de frecuencia se usa también a veces para evitar retornos de eco con ambigüedad de distancia. Las transmisiones aleatorias (o pseudo aleatorias) en una frecuencia monoportadora pueden ocurrir durante todo el intervalo de procesamiento coherente o incluso durante toda la posición del haz de antena durante la cual se transmiten muchos impulsos, o sólo durante un solo impulso. Estas alternativas son similares al «salto de frecuencia lento» y al «salto de frecuencia rápido» en un sistema de comunicaciones. Estos aspectos importantes de los sistemas de radar deben tenerse en cuenta en los estudios de compatibilidad.

Las anchuras de banda típicas (3 dB) de las emisiones RF de los transmisores de los radares que funcionan en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz van de 45 kHz a 637 MHz. Las potencias de salida de cresta de los transmisores oscilan entre 1 mW (0 dBm) para los transmisores de estado sólido y 220 kW (83,4 dBm) para los radares de alta potencia que utilizan dispositivos de campo cruzado (magnetrones).

En esta Recomendación no se abordan las características de las emisiones no deseadas.

2.2 Receptores

Los sistemas de radar de la nueva generación utilizan procesamiento de señal digital después de la detección para la distancia, el acimut y el procesamiento Doppler. Generalmente, el procesamiento de la señal incluye técnicas empleadas para mejorar la detección de blancos deseados y producir símbolos de blanco en la pantalla. Las técnicas de procesamiento de señal empleadas para la mejora e identificación de los blancos deseados proporcionan también cierto grado de supresión de la interferencia de impulsos de ciclo de trabajo bajo (inferior al 5%) asíncrona con la señal deseada.

El procesamiento de señal en la nueva generación de radares utiliza impulsos con modulación de frecuencia y con codificación de fase para producir una ganancia de procesamiento para la señal deseada, así como para suprimir las señales indeseadas.

Algunos de los recientes radares de estado sólido y de baja potencia utilizan procesamiento de señal multicanal de ciclo de trabajo alto para mejorar los retornos de la señal deseada. Algunos receptores de radar tienen la capacidad de identificar canales RF que tienen niveles bajos de señales indeseadas y ordenan al transmisor que transmita por esos canales RF.

Los radares más recientes suelen disponer de una fase de entrada en banda ancha con todo el abanico de posibles frecuencias. Incluso los filtros IF se diseñan con un ancho de banda relativamente grande, lo que permite, entre otras cosas, el salto de frecuencias y la modulación adaptable con ancho de banda variable. El procesamiento final, incluido el filtrado adaptable, se realiza durante el procesamiento de la señal en banda base.

2.3 Antenas

Se utiliza toda una variedad de tipos de antena en los radares que funcionan en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz. Las antenas de esta banda de frecuencias son generalmente de tamaño conveniente y, así, son interesantes en aplicaciones en las que la movilidad y el poco peso son importantes y en las que el largo alcance no lo es. Muchos tipos de radares de la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz funcionan en toda una variedad de modos, incluyendo los modos búsqueda y navegación (observación meteorológica). Generalmente, las antenas de dichos radares barren 360 grados en el plano horizontal.

Las últimas novedades en la tecnología de radar (por ejemplo, cerámica tratada a baja temperatura, reducción de módulos RF, aumento de la potencia de procesamiento) permiten un procesamiento de la señal en banda base de todos y cada uno de los elementos antena de un sistema de antena en fase.

Cada uno de los elementos de un sistema en fase activo son sólo ligeramente directivos y el haz se forma utilizando un gran número de elementos individuales con un desplazamiento de fase variable. Por consiguiente, los mecanismos de interferencia y rechazo de la interferencia son distintos de los de las antenas antiguas (por ejemplo, con reflectores parabólicos).

Estos radares tienen la capacidad de efectuar distintas tareas de radar (por ejemplo, seguimiento y barrido y seguimiento de múltiples objetivos) simultáneamente. El barrido línea a línea o los círculos de un haz estrecho se sustituyen por un procesamiento de señal con seguimiento y barrido adaptables.

Transmisor: La señal se transmite por un haz de conmutación muy rápida.

Recepción: En función del procesamiento de la señal utilizado, en principio, la recepción puede efectuarse de dos maneras:

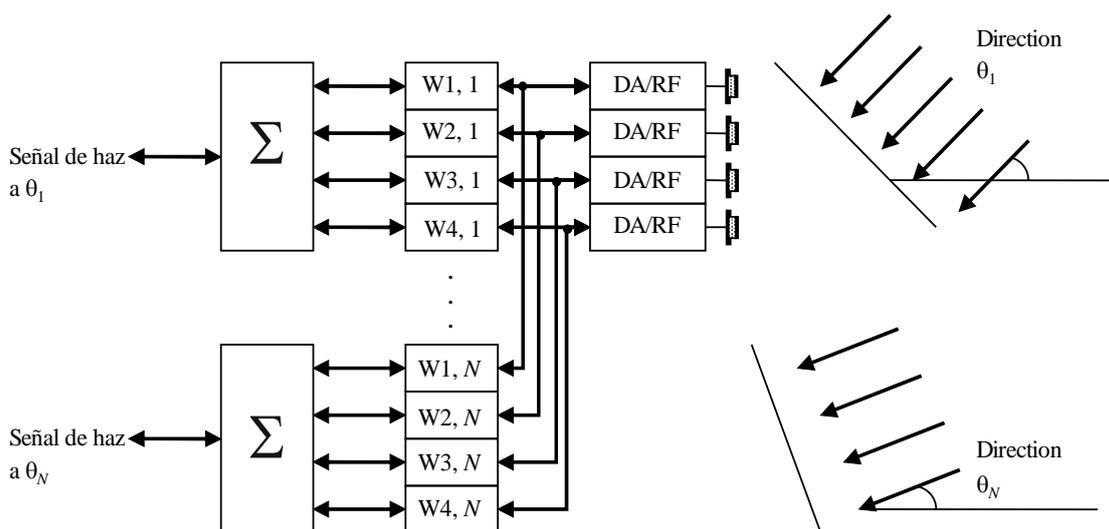
- 1) Un haz digitalmente conformado puede sincronizarse con el transmisor.
- 2) También es posible recibir y detectar varias señales de otros transmisores (por ejemplo, radares en otras aeronaves) simultáneamente con una antena multihaz (véase la explicación a continuación).

Por consiguiente, los mecanismos de desacoplamiento difieren de los de los radares con antenas convencionales.

Antenas multihaz (véase la Figura 1)

Cada elemento antena facilita una señal en banda base, que puede ponderarse en fase y amplitud ($W_{l,n}$) con las señales en banda base ponderadas ($W_{l,n}$ de otros elementos). Esto se representa mediante un vector de direccionamiento en una dirección. El resultado de esta operación matemática es la señal recibida en una dirección concreta, θ_n . Al combinar distintos vectores de direccionamiento en una matriz de direccionamiento con un número N de vectores de direccionamiento distintos, la antena puede recibir simultáneamente desde distintas direcciones, θ_1 a θ_n . Cabe señalar que los procesadores de los radares modernos pueden efectuar más de 10^{12} operaciones de punto flotante por segundo, lo que permite su utilización para sistemas más grandes incluso. Como ejemplo de posible aplicación pueden citarse la conformación de haces de transformada rápida de Fourier o el procesamiento de la señal espaciotemporal.

FIGURA 1
Antena multihaz



M.1796-01

Otros radares en estas bandas de frecuencias son más especializados y limitan el barrido a un sector fijo. La mayor parte de los radares de la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz utilizan barrido mecánico; sin embargo, algunos radares de la nueva generación utilizan antenas con dispositivos de barrido electrónico, como se ha descrito. Se utilizan polarizaciones horizontal, vertical y circular. Las alturas de antena típicas para los radares basados en tierra y a bordo de barcos son 8 m y 30 m por encima del nivel de la superficie, respectivamente, pese a que muchos radares de radionavegación marítima tienen menos de 30 m.

3 Características técnicas y operacionales adicionales de los sistemas de radionavegación a bordo de barcos en la banda de frecuencias 9 200-9 500 MHz

En términos globales, puede hacerse una distinción clara entre los radares conformes a los requisitos de la Organización Marítima Internacional (OMI) (incluidos los que se utilizan en los barcos pesqueros), los que se utilizan para la navegación fluvial y los que se adaptan a título voluntario en las naves de turismo, a efectos de seguridad.

En el Cuadro 5 se comparan la potencia de transmisor y el número de radares de las tres categorías anteriores.

CUADRO 5

Categorías de los radares de radionavegación a bordo de barcos

Categoría de radar	Potencia de cresta (kW)	Total mundial
OMI y pesca	≤ 75	> 300 000
Fluvial	< 10	< 20 000
Turismo	< 5	> 2 000 000

Casi todos los radares utilizados en las naves fluviales y de turismo funcionan en la banda de frecuencias 9 200-9 500 MHz. La mayoría de los radares OMI y de barcos pesqueros funcionan también en esa banda de frecuencias, aunque un número importante de radares OMI funcionan en la banda de frecuencias 2 900-3 100 MHz.

Las características de radar que afectan el uso eficiente del espectro, incluidos los criterios de protección, son las asociadas con la antena del radar y el transmisor/receptor. La mayoría de los radares marítimos emplean antenas ranuradas, aunque algunos de los radares de barcos de turismo emplean radares ajustables o bocinas.

4 Información adicional relevante para los radares de radionavegación marítima

4.1 Requisitos de calidad de funcionamiento y efectos de la interferencia

Los sistemas de radionavegación pueden no cumplir con sus requisitos de calidad de funcionamiento si señales indeseadas introducen diferentes tipos de degradación por interferencia en cantidades excesivas. Dependiendo de los sistemas en interacción y de los escenarios operacionales específicos, esos tipos pueden incluir:

- efectos de difusión, por ejemplo, desensibilización o reducción de la distancia de detección, pérdida de imagen de blanco y reducción de la tasa de actualización;
- efectos discretos, por ejemplo, interferencia detectada, aumento de la tasa de falsas alarmas.

Asociados con esos tipos de degradación, los criterios de protección están asociados con valores umbral de parámetros, por ejemplo, para un sistema anticolidión:

- reducción admisible de la distancia de detección y la desensibilización asociada;
- tasa admisible de pérdida de barrido;
- tasa admisible máxima de falsas alarmas;
- pérdida admisible de blancos reales;
- errores admisibles en la estimación de la posición del blanco.

El requisito operacional de los radares marítimos es una función del escenario operacional. Esto tiene que ver con la distancia de la costa y de los obstáculos en el mar. En términos simplificados, esto puede describirse como escenarios oceánicos, costeros o portuarios.

La OMI ha adoptado una revisión de las normas de calidad de funcionamiento operacional para los radares marítimos¹. La revisión de la OMI, por primera vez, reconoce la posibilidad de interferencia procedente de otros servicios radio.

Más importante aún, las autoridades marítimas internacionales han declarado sin reservas, en su reciente actualización del Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar de la OMI, que el radar sigue siendo un sensor primario anticolidiones.

Esta declaración debe verse en el contexto de la adaptación obligatoria de sistemas de identificación automática (AIS) a algunas clases de barcos. Estos sistemas se basan en referencias externas, por ejemplo, el GPS, para la verificación de la indicación de posición relativa en términos de escenarios anticolidión.

Sin embargo, existen muchos objetos marítimos que la adaptación de estos sistemas nunca puede tener en cuenta, por ejemplo, icebergs, basuras flotantes, restos de naufragios anteriores, etc. que no

¹ Resolución MSC.192(79) de la OMI, Adopción de las normas revisadas de calidad de funcionamiento para equipos de radar, adoptada el 10 de diciembre de 2004.

disponen de AIS. Estos objetos son causas potenciales de colisiones con barcos, y necesitan detectarse mediante los radares de los barcos. Por lo tanto, el radar seguirá siendo el sistema primario anticollisiones en el futuro previsible.

Entre otros blancos del radar, las normas de la OMI mencionan la necesidad de que los radares detecten pequeños peligros flotantes, así como ayudas fijas a la navegación. Requieren que varios blancos específicos sean detectados en por lo menos ocho de diez barridos, con una tasa de falsas alarmas de 10^{-4} . Los blancos especificados incluyen pequeños barcos con reflector radar que cumple las normas de calidad de funcionamiento de la OMI, así como boyas de navegación y pequeños barcos sin reflector radar, cada uno a distancias particulares². Las normas requieren también que la exactitud de distancia y de puntería estén, respectivamente, dentro de una gama de 30 m y 1° . Abogan por medios para reducir adecuadamente la interferencia procedente de otros radares. Requieren capacidad de resolución en pantalla de dos blancos en la misma dirección de puntería pero separados por 40 m de distancia y la resolución de dos blancos puntuales separados en puntería por $2,5^\circ$. Abogan además por minimizar la posibilidad de seguir un blanco en lugar de otro («inversión de blancos») así como por una alarma cuando se pierde un blanco seguido, todo lo cual incide también en la resolución del blanco y los errores de posición que pueden ser exacerbados por la interferencia.

4.2 Descripción especial para el nuevo radar de navegación marítima S13

El transmisor del Radar S13 es un estado sólido que utiliza la forma de onda de impulso modulado y su diseño se ajusta a los requisitos de rendimiento mínimos de la OMI, CEI 62388 (nueva norma de radar – julio de 2008). El radar es capaz de funcionar en distintos modos, cada uno de ellos optimizado para un requisito operativo concreto. Los modos de funcionamiento son vigilancia de río/canal, vigilancia de estuario, vigilancia costera, modo de baja potencia y orientación de helicóptero para operaciones de búsqueda. A continuación se enumeran algunas de las características más importantes del radar S13:

- Transmisor de estado sólido que utiliza transistores en lugar de un magnetrón.
- Transmisor y receptor coherentes.
- Para recuperar la resolución de gama se utilizan la modulación en frecuencia no lineal y compresión de impulsos.
- La presencia del objetivo se determina con un procesamiento de la señal digital que emplea el procesamiento Doppler y una CFAR de umbral variable.
- La antena tiene entre 3,7 m y 5,5 m de longitud y su abertura horizontal es inferior a $0,7$ grados (ancho de antena = 3,7 m) o inferior a $0,45$ grados (ancho de antena = 5,5 m).
- Funcionamiento a baja tensión.
- Discriminación de frecuencias por repetición de impulsos. El radar utiliza 3 tramas de transmisión de impulsos con impulsos cortos que ofrecen un alcance mínimo de 30 m, e impulsos medios y largos que facilitan la detección con una frecuencia de repetición de impulsos (PRF) efectiva de 2 268 Hz.
- El radar utiliza múltiples tramas en el ancho de haz objetivo por antena.
- Utiliza técnicas de procesamiento Doppler.
- La potencia de cresta es de 200 vatios siendo la potencia mínima al 13% del ciclo de trabajo de 170 vatios.
- Espectro RF controlado conforme con la UIT y selección de 12 frecuencias RF de transmisión, lo que ofrece diversidad en frecuencia para mejorar la detección de objetivos.

² Resolución MSC.164(78) de la OMI, Normas de calidad de funcionamiento revisadas para reflectores radar.

- La forma de onda del radar se genera digitalmente.
- El procesamiento de la señal ofrece protección contra múltiples ecos retardados.
- Ofrece una mejor detección y un mejor rechazo del eco de la lluvia y el mar.
- Ofrece energía para la detección y se ajusta a la limitación de gama mínima de la OMI.
- El alcance de las células del radar es idéntica en todo el alcance instrumental.
- Dispone de un modo de baja potencia que reduce la potencia de transmisión en 7 dB.

5 Información adicional sobre los radares anticolidión de aeronaves no tripuladas

Se está preparando una clase nueva de radares de aeronave, conocidos como radares anticolidión, a fin de aumentar la seguridad de los vuelos alertando de posibles colisiones o conflictos con aeronaves no cooperativas. (En este contexto, se entiende por aeronave «no cooperativa» una aeronave no equipada con un transpondedor del sistema de radiobaliza de control del tráfico aéreo, el sistema de vigilancia dependiente automática – radiodifusión, el sistema de alerta de tráfico y anticolidión o el sistema anticolidión de aeronaves). La misión de este tipo de radares de aeronave consiste en diversas funciones parcialmente solapantes: evitación de colisión, evitación de conflictos, autoseparación, separación de seguridad, detección y evitación, y consideración. Este tipo de radares reviste un interés particular para las aplicaciones de aeronaves no tripuladas (ANT), que carecen de piloto que pueda asumir visualmente la función de seguridad del vuelo.

Los radares anticolidión deben hacer un seguimiento de todas las aeronaves que puedan suponer una amenaza (denominadas «intrusos») en su campo de visión al tiempo que buscan nuevas amenazas. Dado que, con frecuencia, en el campo de visión del radar habrá más de un intruso, es necesario que hacer un seguimiento multiobjetivo. Para ello se necesita que el seguimiento durante el barrido sea rápido o, si no, que las funciones de búsqueda y seguimiento estén intercaladas en un modo denominado «búsqueda durante el seguimiento», en el que se planifican las actualizaciones de seguimiento a medida que van siendo necesarias. Este tipo de funcionamiento exige una agilidad de haz que supera las capacidades de una antena de barrido mecánico. Por este motivo, todos los radares anticolidión a bordo de aeronaves que se están desarrollando utilizan antenas de barrido electrónico o técnicas de conformación del haz a fin de realizar las funciones de búsqueda y seguimiento exigidas.

El alcance necesario para la detección y el seguimiento depende de la antelación con que tenga que saltar la alerta. A su vez, esto depende de la velocidad de la plataforma anfitriona (denominada «nave propia»), la velocidad de las amenazas potenciales, la capacidad de maniobra de la nave propia, el tipo de maniobra de evitación (por ejemplo, lateral o vertical) y el lapso necesario para iniciar y ejecutar la maniobra de evitación. Una ANT relativamente rápida con una maniobrabilidad limitada necesitará un sensor con mayor alcance que una ANT más lenta y más maniobrable. La alerta de amenaza suele lanzarse cuando la distancia oscila entre 2,5 y 20 km, en función de las características de la plataforma anfitriona, las características del intruso, la distancia de fallo necesaria y los errores de medición. Para ofrecer esta capacidad de alerta se ha de realizar un rastreo de objetivo a una gama ligeramente superior.

La gama de frecuencias 8 500-10 500 MHz es interesante para este tipo de radares porque ofrece un buen compromiso entre la precisión del seguimiento y la posibilidad de funcionar cuando la lluvia es ligera o moderada. Aunque con frecuencias más altas se obtendría una mayor precisión en la medición del ángulo para un determinado tamaño de antena, al aumentar la frecuencia, la atenuación debida a la lluvia aumenta mucho más rápido que la mejora de la precisión de la medición del ángulo. En frecuencias más bajas se reducirían mucho los efectos de la lluvia, pero se necesitarían aberturas de antena posiblemente más grandes que las que podría acomodar el vehículo anfitrión. Dentro de esta gama de frecuencias son particularmente interesantes dos subbandas (8 750-8 850 MHz y

9 300-9 500 MHz), que se identifican en el Informe UIT-R M.2204 como adecuadas para este tipo de aplicación y que están atribuidas a los servicios de radionavegación aeronáutica (SRNA).

A continuación se enumeran otras características de los radares anticolidión:

- Se suelen utilizar dos o tres caras de la antena de barrido electrónico para obtener una cobertura de acimut de ± 110 grados.
- Se utilizan las formas de onda de PRF media y alta con una frecuencia de repetición de impulso de 5-60 kHz para rechazar el eco en encuentros con visibilidad hacia abajo. Pueden utilizarse PRF baja con PRF de apenas 1-2 kHz en encuentros con visibilidad hacia arriba para lograr un rendimiento inequívoco en gama.
- Se utiliza la amplificación de potencia RF de estado sólido con factores de trabajo de transmisión que suelen encontrarse en la gama 4-20%.
- Se suele emplear la compresión de impulso con codificación de fase dentro del impulso (por ejemplo, códigos Barker, códigos de pseudoruido, códigos *Lewis-Kretschmer* «P», etc.) o con modulación en frecuencia lineal dentro del impulso (LFM) para reducir el tamaño de la célula y mejorar la relación objetivo/eco al tiempo que se mantiene un elevado factor de trabajo.
- El procesamiento de la señal digital ofrece anchos de banda de filtro Doppler entre 50 y 500 Hz, lo que permite discriminar los objetivos en función de la velocidad y facilita el rechazo del eco.
- La medición del ángulo monoimpulso permite realizar un seguimiento de ángulo preciso cuando el retorno del objetivo es fluctuante.
- Puede utilizarse la agilidad en frecuencia para descorrelacionar las fluctuaciones del objetivo, aumentando la probabilidad de detección y mejorando la calidad del seguimiento.
- Puede emplearse una antena de guarda (también denominada supresor de lóbulo lateral) para paliar los efectos de la ocupación del suelo y de la interferencia recibida por los lóbulos laterales de la antena.

En el Cuadro 1 (Sistema A13) se presentan las características de un hipotético radar anticolidión.

6 Sistemas de radiodeterminación futuros

A grandes líneas, los radares de radiodeterminación que podrían desarrollarse en el futuro para funcionar en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz probablemente se parecerán a los radares existentes aquí descritos. Además de ofrecer la posibilidad de un muestreo de volumen de alta resolución en toda la troposfera, la red de radares meteorológicos Doppler distribuidos estará diseñada para su uso eficaz con el empleo de dispositivos de estado sólido y baja potencia. Otros parámetros técnicos, tales como la antena de 1 m de diámetro y los modos funcionamiento de ciclo de trabajo bajo son coherentes con los radares de radiodeterminación actuales que funcionan en la banda de frecuencias 8 500-10 680 MHz. Asimismo, los futuros radares de radiodeterminación probablemente tendrán por lo menos tanta flexibilidad como los radares ya descritos, incluida la capacidad de funcionar de modo distinto en diferentes sectores acimutales y de elevación.

Es razonable esperar que algunos diseños futuros se esfuercen por alcanzar la capacidad de funcionar en una amplia banda de frecuencias que se extienda por lo menos hasta los límites de la banda de frecuencias utilizada en esta consideración.

Los futuros radares de radiodeterminación probablemente dispondrán de antenas de haz orientable electrónicamente. La tecnología actual hace de la orientación de fase una alternativa práctica y atractiva a la orientación de frecuencia, y numerosos radares de radiodeterminación desarrollados en años recientes para el uso en otras bandas han empleado la orientación de fase tanto en acimut como

en elevación. A diferencia de los radares orientados en frecuencia (por ejemplo, los Sistemas 15 y 17), los nuevos radares en fase pueden orientar cualquier frecuencia fundamental en la banda de frecuencias de funcionamiento del radar hacia cualquier acimut y elevación arbitrarios dentro de su área de cobertura angular. Entre otras ventajas, esto facilitaría la compatibilidad electromagnética en muchas circunstancias.

Se espera que algunos radares de radiodeterminación futuros tengan capacidades de potencia media al menos tan altas como las de los radares aquí descritos. Sin embargo, es razonable esperar que los diseñadores de radares futuros traten de reducir las emisiones de ruido de banda ancha por debajo de las de los radares existentes que emplean magnetrones o amplificadores de campo cruzado. Se espera que esa reducción de ruido se logre mediante el uso de sistemas de transmisor/antena de estado sólido. En ese caso, los impulsos transmitidos serían más largos en duración y los ciclos de trabajo transmitidos serían sustancialmente más altos que los de los actuales transmisores de radar de tipo tubo.

Anexo 2

Criterios de protección para radares

1 Criterios de protección

1.1 Interferencia de ruido continuo

Los radares son afectados de maneras fundamentalmente diferentes por señales indeseadas de formas diferentes, y prevalece una diferencia especialmente aguda entre los efectos de la energía de ruido continuo y los de los impulsos. La interferencia de onda continua como la del ruido induce un efecto desensibilizador en los radares de radiodeterminación, y ese efecto está relacionado predeciblemente con su intensidad. Dentro de cualquier sector acimutal en el que ocurre esta interferencia, su densidad espectral de potencia puede, dentro de una aproximación razonable, simplemente añadirse a la densidad espectral de potencia del ruido térmico del sistema de radar. Si la potencia del ruido del sistema de radar en ausencia de interferencia se denomina N y la de la interferencia de tipo ruido es I , la potencia resultante de ruido efectivo es simplemente $I + N$.

En consecuencia, dado que los criterios de protección de los radares establecidos tradicionalmente en el UIT-R se basan en las penalizaciones necesarias para mantener la relación señal/ruido del retorno de blanco en presencia de interferencia, la potencia del retorno de blanco debe aumentarse proporcionalmente al aumento de la potencia del ruido, que pasa de N a $I + N$. Esto puede hacerse únicamente aceptando distancias máximas más cortas a blancos dados, sacrificando la observación de blancos pequeños, o modificando el radar para aumentar la potencia del transmisor o el producto potencia-abertura. (En los radares modernos, el ruido del sistema receptor se sitúa generalmente cerca de un mínimo irreductible y el procesamiento de señal óptimo está generalizándose.)

Estas penalizaciones varían según la función del radar y la naturaleza de sus blancos. Para la mayoría de los radares un aumento del nivel de ruido efectivo de cerca de 1 dB ocasionaría la máxima degradación admisible de calidad de funcionamiento. En el caso de un blanco discreto con una determinada sección transversal de radar (RCS) media, ese incremento reduciría la distancia de detección en cerca de un 6% independientemente de las características de fluctuación de RCS que pudiera tener el blanco. Este efecto se desprende del hecho de que la distancia que se puede alcanzar en el espacio libre es proporcional a la 4ª raíz de la relación de potencia señal/ruido (SNR) resultante,

según la forma más familiar de la ecuación de distancia del radar. Un incremento de 1 dB de la potencia de ruido efectivo es un factor de 1,26 en potencia, de modo que, si no se compensa, haría que la distancia en espacio libre desde un blanco discreto se redujera en un factor de $1/(1,26^{1/4})$, o 1/1,06; es decir, una reducción de la capacidad de distancia de aproximadamente el 6%. En la ecuación de la distancia, la SNR es también directamente proporcional a la potencia del transmisor, al producto potencia-abertura (para un radar de vigilancia) y a la sección transversal de radar del blanco. Por consiguiente, alternativamente el incremento de 1 dB de la potencia de ruido efectivo podría compensarse mediante la detección anterior de los blancos, excepto los que tienen una sección transversal de radar media 1,26 veces tan grande como el blanco de tamaño mínimo que podría detectarse en el régimen sin interferencias o incrementando la potencia del transmisor del radar o su producto potencia-abertura en un 26%. Cualquiera de estas alternativas está al límite de la aceptabilidad en la mayoría de las misiones de los radares, y las modificaciones del sistema serían costosas, poco prácticas o imposibles, especialmente en los radares móviles. Para los blancos discretos, esas penalizaciones de la calidad de funcionamiento valen para cualquier probabilidad de detección y tasa de falsas alarmas y para cualesquiera características de fluctuación del blanco.

Los radares de detección de tormentas y de observación meteorológica a bordo de aeronaves difieren de los radares de blanco discreto en que tienen blancos extendidos, típicamente las precipitaciones, que a menudo llenan la totalidad del haz de radar (que es típicamente bastante angosto). En la forma correspondiente de la ecuación de distancia del radar, la SNR es inversamente proporcional al inverso del cuadrado de la distancia en vez de al inverso de la 4ª potencia. Para un radar de meteorología que observa que la lluvia llena totalmente el haz, la reducción de la distancia para una determinada precisión de estimación de tasa de precipitaciones sería la raíz cuadrada del factor 1 dB; es decir $(1,26)^{1/2}$, lo que es igual a 1,12. Así, hay una pérdida de capacidad de distancia del 12% en presencia de esa interferencia, que corresponde también al 21% de pérdida de área de cobertura. Alternativamente, para una determinada distancia, la interferencia aumentaría (es decir degradaría) la mínima reflectividad medible en cerca del 26%, una vez más independientemente de las características de fluctuación de la reflectividad atmosférica.

Los radares de apertura sintética (SAR) llevan a cabo una integración coherente de los impulsos de retorno en el tiempo necesario para que la RF del haz de antena atraviese cada píxel de la escena observada en virtud del movimiento de la plataforma de radar. Como la anchura de la iluminación del haz en tierra es directamente proporcional a la distancia (típicamente proporcional a la altitud de la plataforma del radar y también creciente con el ángulo de barrido), el número de impulsos disponibles para integración, y, por tanto, la ganancia de procesamiento de integración relativa al ruido, también es proporcional a la distancia. En la medida en que lo permita la flexibilidad del diseño, la SNR de salida (procesada) es, por tanto, modificada de la proporcionalidad al inverso de la 4ª potencia de la distancia que prevalece con un blanco discreto observado por un radar de apertura real a la proporcionalidad con el inverso de la 3ª potencia de la distancia. Por consiguiente, un aumento de 1 dB de la potencia de ruido efectivo, es decir, el aumento en un factor de 1,26 de la potencia, requeriría que la distancia de un SAR de un determinado terreno que haya de imaginarse se redujera en un factor de $1/(1,26^{1/3})$, o 1/1,077, es decir una pérdida del 7,7%. Siempre que las restricciones operacionales permitieran esa reducción de distancia, esto ocasionaría a su vez, una reducción correspondiente de la tasa a la que los datos de imaginización pueden recogerse. Esto, una vez más, está al límite de lo aceptable. Otra opción consistiría en aumentar la potencia media del transmisor SAR en un 26%, lo que, asimismo, está al límite de la aceptabilidad.

1.1.1 Agregación de contribuciones de interferencia

El aumento de 1 dB mencionado en los puntos anteriores corresponde a una relación $(I + N)/N$ de 1,26, o a una relación de I/N de aproximadamente -6 dB. Esto representa el efecto agregado admisible de todas las interferencias. Se aplica para la recepción a través del haz principal del radar, así como para la recepción simultánea a través de los lóbulos laterales. La relación I/N admisible para

el interferente de tipo ruido individual depende, por consiguiente, del número de interferentes y de su geometría, y debería evaluarse en el análisis de un escenario dado. Esto es una consecuencia del hecho de que la mayoría de los radares que funcionan en esta banda sirven para misiones orientadas a eventos, observan blancos no cooperativos, y no tienen el beneficio de la redundancia, incluida la retransmisión de paquetes que está utilizándose cada vez más en las tecnologías de las comunicaciones. Básicamente, la detección, incluido el radar, constituye un empleo fundamentalmente diferente del espectro RF que las comunicaciones, y las mismas reglas de protección contra las interferencias no son apropiadas para ambos.

1.2 Interferencia impulsiva

El efecto de la interferencia impulsiva es más difícil de cuantificar, y depende fuertemente del diseño del procesador del receptor y del modo de funcionamiento del sistema. En particular, las ganancias de procesamiento diferencial para el retorno de blancos válidos (pulsado sincronamente) e impulsos interferentes (generalmente asíncronos) tienen frecuentemente efectos importantes en la repercusión de niveles dados de interferencia pulsada. Esta interferencia puede ocasionar diferentes formas de degradación de la calidad de funcionamiento. Evaluar dicha interferencia será un objetivo para los análisis y/o las pruebas de interacciones entre tipos de radares específicos. Por lo general, puede esperarse que numerosas características de los radares de los tipos aquí descritos ayuden a suprimir la interferencia pulsada de ciclo de trabajo bajo, especialmente la procedente de unas pocas fuentes aisladas. En la Recomendación UIT-R M.1372 – Utilización eficaz del espectro radioeléctrico por las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación, figuran técnicas de supresión de la interferencia pulsada de ciclo de trabajo bajo.

2 Criterios de protección de los radares de radionavegación a bordo de barcos

Hasta la fecha no hay ningún acuerdo internacional sobre los criterios de protección necesarios para los radares actualmente instalados en barcos para los escenarios antes identificados. Sin embargo, la Recomendación UIT-R M.1461 proporciona un nivel de interferencia/ruido genérico de -6 dB.

La OMI ha revisado las normas de calidad de funcionamiento operacional para los radares a bordo de barco, y esta revisión toma en cuenta los requisitos recientes de la UIT sobre emisiones indeseadas. La revisión de la OMI, por primera vez, reconoce la posibilidad de interferencia procedente de otros servicios radio, e incluye nuevos requisitos con respecto a la detección de blancos específicos en términos de RCS (fluctuante) y distancia requerida, en función de la banda de frecuencia del radar. La detección de un blanco se basa en una indicación de éste en por lo menos ocho de diez barridos y una probabilidad de falsa alarma de 10^{-4} . Estos requisitos de detección se especifican en ausencia de ecos de mar, precipitación y ducto de evaporación, con una altura de antena de 15 m por encima del nivel del mar.

Más importante aún, las autoridades marítimas internacionales han declarado, sin reservas, en su reciente actualización del Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar de la OMI, que el radar sigue siendo un sensor primario para la prevención de colisiones.

Esta declaración debe tenerse en cuenta en el contexto de la adaptación obligatoria de AIS únicamente a los barcos enumerados en el marco de los requisitos sobre el transporte de carga de la OMI. Estos sistemas se basan en referencias externas, por ejemplo, el GPS, para la verificación de la indicación de posición relativa en términos de escenarios anticolidión.

Sin embargo, la adaptación de estos sistemas nunca puede tener en cuenta numerosos objetos marítimos, por ejemplo, icebergs, basuras flotantes, restos de naufragios y otros barcos no equipados con AIS. Estos objetos son posibles causas de colisión con barcos, y deben ser detectados por los radares de éstos. Por consiguiente, el radar seguirá siendo el sistema primario anticolidión durante el futuro previsible.

Extensos debates con autoridades marítimas, incluyendo usuarios, han desembocado en el requisito operacional de que durante los viajes marítimos no es aceptable ninguna interferencia que pueda ser controlada por la reglamentación.

Mientras tanto, el enfoque ha consistido en llevar a cabo ensayos y determinar lo que los actuales radares a bordo de barcos pueden aceptar en términos de I/N como función de la probabilidad de detección (véase el Anexo 3).

Anexo 3

Resultados de pruebas de interferencia

1 Pruebas de interferencia/ruido en los radares

Antes de la adopción de las normas de la OMI revisadas, en los Estados Unidos de América y en el Reino Unido se llevaron a cabo pruebas de radar para determinar la vulnerabilidad de los radares marítimos actuales a varias formas de interferencia.

En las pruebas se emplearon radares que funcionan en las bandas de frecuencias 2 900-3 100 MHz y 9 200-9 500 MHz). Sólo se abordan aquí las pruebas realizadas en la banda de frecuencias 9 200-9 500 MHz. Los resultados de los ensayos se presentan como probabilidad de detección en función de I/N con respecto a cada tipo de fuente de interferencia.

Debe observarse que no existen especificaciones de receptor de la UIT ni de otro organismo internacional para los radares marítimos y, por tanto, no es sorprendente que haya una amplia gama de características de receptores que funcionan en este entorno operacional. Los resultados de las pruebas reflejan esta gama, e indican tanto la degradación continua de la probabilidad de detección a medida que aumenta el nivel de interferencia como el corte a partir del cual el receptor ya no puede aceptar el nivel específico de interferencia.

Estas diferencias son reales y existen en los radares operacionales actuales.

1.1 Características de los radares específicos sometidos a prueba

Ambos radares, identificados como radares D y E, pertenecen a las categorías de radares de la OMI. No se probaron radares para barcos de turismo. Los valores nominales para los principales parámetros de los radares se tomaron de documentos reglamentarios de homologación, folletos de venta y manuales técnicos. El radar E utiliza un amplificador/detector logarítmico en el diseño de su receptor, mientras que el radar D utiliza un amplificador logarítmico seguido de un detector vídeo separado. Para las pruebas, no se activó el control del tiempo de sensibilidad (STC, *sensitivity-time-control*) ni la constante de tiempo rápida (FTC, *fast-time-constant*) para ninguno de los radares.

En los Cuadros 6 y 7 se presentan las características de los radares D y E.

CUADRO 6

Parámetros del radar D

Parámetro	Valor			
Frecuencia (MHz)	9 410 ± 10			
Potencia de impulso (kW)	30			
Distancia (nmi)	0,125-1,5	3-24	48	96
Anchura de impulso (μs)	0,070	0,175	0,85	1,0
FRI (Hz)	3 100	1 550	775	390
Anchura de banda IF (MHz)	22	22	6	6
Rechazo a la frecuencia parásita (dB)	Desconocido			
Cifra de ruido del sistema (dB)	5,5			
Anchura de banda RF (MHz)	Desconocido			
Velocidad de barrido de antena (rpm)	24/48			
Abertura del haz horizontal de antena (grados)	1,2			
Abertura del haz vertical de antena (grados)	25			
Polarización	Horizontal			

CUADRO 7

Parámetros del radar E

Parámetro	Valor		
Frecuencia (MHz)	9 410 ± 10		
Potencia de impulso (kW)	30		
Distancia (nmi)	0,125-3	6-24	48-96
Anchura de impulso (μs)	0,050	0,25	0,80
FRI (Hz)	1 800		785
Anchura de banda IF (MHz)	20	20	3
Rechazo a la frecuencia parásita (dB)	Desconocido		
Cifra de ruido del sistema (dB)	4		
Anchura de banda RF (MHz)	Desconocido		
Velocidad de barrido de antena (rpm)	25/48		
Tiempo de barrido de antena (s)	2,4/1,25		
Abertura del haz horizontal de antena (grados)	2,0		
Abertura del haz vertical de antena (grados)	30,0		
Polarización	Horizontal		

1.2 Características de supresión de interferencia en el receptor del radar

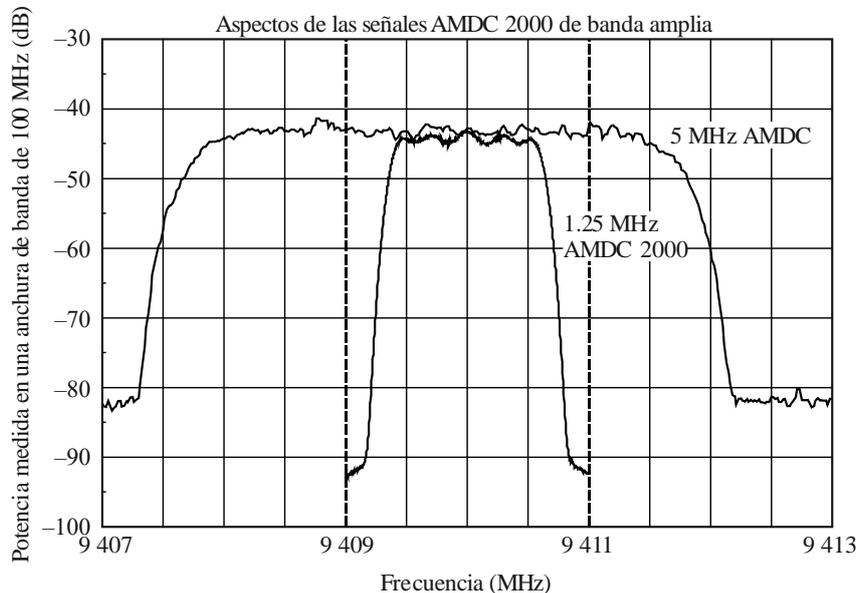
Ambos radares emplearon circuitos y procesamiento de señal para mitigar la interferencia procedente de otros radares coubicados. Los radares D y E utilizan correladores impulso a impulso y barrido a barrido para mitigar la interferencia procedente de otros radares. No obstante, no tienen procesamiento CFAR. En la Recomendación UIT-R M.1372 figura una descripción de estas técnicas de mitigación.

1.3 Señales interferentes y blancos

Las señales interferentes incluyeron impulsos y telefonía móvil digital. La fuente de impulsos simulaba una entrada de radiolocalización. Se emplearon anchuras de impulso de $1 \mu\text{s}$ y $2 \mu\text{s}$, con FRI equivalentes a ciclos de trabajo de 0,1% y 1%. La fuente de telefonía móvil digital simuló dos señales AMDC genéricas, una de 5 MHz de anchura de banda y otra de 1,25 MHz de anchura de banda.

Las emisiones se sintonizaron con la frecuencia de explotación y se activaron de modo que ocurrieran al mismo tiempo que los blancos simulados. Los espectros de emisión de las señales interferentes AMDC se muestran en la Fig. 2.

FIGURA 2
Señales AMDC genéricas



M.1796-02

1.4 Generación de blancos no fluctuantes

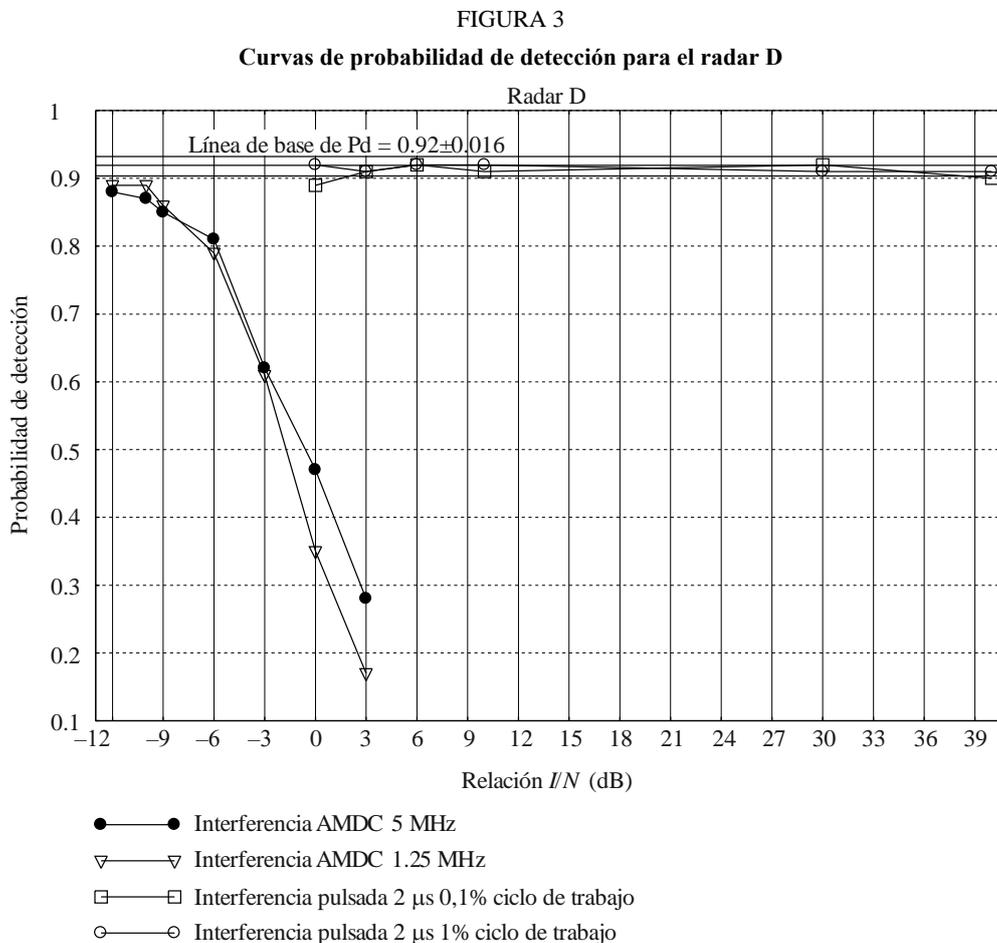
Se utilizó una combinación de generadores de señal de forma de onda arbitraria, generadores de señal RF, circuitos discretos, un PC portátil y otros componentes RF (cables, acopladores, combinadores, etc.) para generar diez blancos igualmente espaciados a lo largo de un radio de 3 MN (~ 5,6 km) que tenía el mismo nivel de potencia RF. Se ajustó el nivel de potencia de los blancos simulados hasta que la probabilidad de detección del blanco era cercana al 90%. Los diez impulsos de blanco activados por cada disparador de radar ocurren todos dentro del tiempo de retorno de una de las escalas de corta distancia del radar, es decir «un barrido». En consecuencia, los impulsos simulan diez blancos a lo largo de un eje; es decir una sola dirección de puntería. Para ajustar los parámetros de la pantalla, la potencia RF del generador de blanco se puso a un nivel tal que los diez blancos fueran visibles a lo

largo del eje en la pantalla con los controles vídeo del radar puestos en posiciones representativas del funcionamiento normal. Los valores de línea de base para las funciones de software que controlaban el brillo, la tonalidad y el contraste del fondo y del blanco se hallaron mediante la experimentación realizada por el personal encargado de las pruebas y con la asistencia de los fabricantes así como de marineros profesionales experimentados en el manejo de esos tipos de radares en barcos de varios tamaños. Una vez determinados esos valores, se utilizaron en todo el programa de pruebas para ese radar.

1.5 Resultados de las pruebas

1.5.1 Radar D

Para el radar D se pudo observar el efecto que tenían las señales no deseadas sobre los blancos individuales. Para cada señal no deseada, fue posible contar la disminución del número de blancos visibles en la pantalla a medida que se incrementaba el nivel I/N . Se contaron los blancos a cada nivel I/N para cada tipo de interferencia. Antes del comienzo de cada prueba, se determinó la línea de base de la probabilidad de detección de blanco, P_d . Los resultados de las pruebas del radar D se ilustran en la Fig. 3, que muestra P_d en función del nivel I/N para cada tipo de interferencia. En la Fig. 3, la línea de base de P_d es 0,92 con las barras de error sigma-1 0,016 por encima y por debajo de ese valor. Obsérvese que cada punto de la Fig. 3 representa un total de 500 blancos deseados.



La Fig. 3 muestra que, salvo para el caso de la interferencia pulsada, P_d se redujo por debajo de la línea de base de P_d utilizada en estas pruebas menos la desviación estándar para valores de I/N por encima de -12 dB para la señal AMDC no deseada.

1.5.2 Radar E

Para el radar E fue difícil cuantificar la disminución de P_d dado que la interferencia se inyectó en el receptor del radar. La interferencia hizo que todos los blancos se desvanecieran a la misma velocidad, independientemente de que estuvieran en la cadena de blancos. No fue posible hacer «desaparecer» blancos individuales aumentando la potencia de interferencia ni contar el número de blancos perdidos a fin de calcular P_d . Por tanto, los datos tomados para el radar E reflejan si la aparición de todos los blancos fue afectada o no a cada nivel I/N para cada tipo de interferencia. Los datos para el radar E se resumen en el Cuadro 8.

CUADRO 8

Radar E con interferencia AMDC activada

I/N (dB)	AMDC 5 MHz	AMDC 2000 1,25 MHz
-12	Ningún efecto	Ningún efecto
-10	Ningún efecto	Ningún efecto
-9	Ningún efecto	Ningún efecto
-6	Blancos oscurecidos	Blancos oscurecidos
-3	Blancos oscurecidos	Blancos oscurecidos
0	Blancos no visibles	Blancos no visibles
3	Blancos no visibles	Blancos no visibles
6	Blancos no visibles	Blancos no visibles

Los datos del Cuadro 8 indican que las señales AMDC no deseadas afectan la visibilidad de los blancos para el radar E en su pantalla a un nivel I/N de -6 dB. A ese nivel, la luminosidad de los blancos en la pantalla se oscureció notablemente con relación a su estado de línea de base. A niveles I/N de 0 dB y superiores, los blancos se habían oscurecido tanto que ya no eran visibles en la pantalla.

Para el radar E, la interferencia pulsada activada de 2,0 y 1,0 μ s con ciclos de trabajo de 0,1 y 1,0% no afectó la visibilidad de los blancos en la pantalla al nivel I/N más alto, que fue 40 dB.

1.6 Resumen de los resultados de las pruebas

Las pruebas de los radares se realizaron para determinar, para radares y fuentes de interferencia específicas, un nivel I/N para el que la interferencia no producía «ningún efecto» (es decir, el radar funciona en su condición de línea de base). Los retornos de radar sin procesar, comúnmente conocidos como ecos, se observaron y/o se contaron como blancos en estas pruebas.

Este nivel de «ningún efecto» se cualifica como relativo a una probabilidad del 90% de detección con un solo barrido y se resume a continuación en términos de I/N para cada radar y fuente de interferencia. Los resultados se resumen en el Cuadro 9. Determinar la cantidad aceptable de interferencia para esos tipos de radares puede resultar un tanto subjetivo debido a la vista y a la experiencia del operador del radar que mira la pantalla, cuenta los blancos y evalúa el brillo de esos blancos. Sin embargo, debido al diseño del radar, no hay otra manera de realizar estas pruebas, distinta de la que consiste en la observación de los blancos en la pantalla del radar por parte del operador.

CUADRO 9

Resumen de los resultados

Fuente de interferencia	Radar D	Radar E
Pulsada 0,1	+40	+40
Pulsada 1,0	+40	+40
AMDC 2000 1,25 MHz	-10	-9
AMDC 5 MHz	-12	-9

Debe observarse que hay otros efectos de la interferencia que reducen la eficacia operacional de un radar. Por ejemplo, la creación de «blancos falsos». Los radares marítimos probados no contienen generalmente procesamiento de CFAR.

Los resultados de esas pruebas muestran que cuando las emisiones de los dispositivos que utilizan modulaciones digitales se dirigen hacia un radar del tipo de los probados aquí exceden de una I/N de -6 dB, algunos de los radares empiezan a tener blancos oscurecidos, blancos perdidos, o a generar blancos falsos. Para otros radares a este nivel de I/N , estos efectos ya se habían manifestado. No se hace ninguna recomendación, por el momento, sobre la relación I/N que se requiere en un escenario específico diferente de lo que ya se ha especificado ($I/N = -6$ dB).

Ninguno de los radares probados está dentro de la categoría de turismo. Estos radares representan la población de radares más grande (actualmente $> 2\,000\,000$ de unidades en todo el mundo). Estos radares no tienen todas las facilidades antiinterferencia contenidas en los radares D y E, y pueden necesitar más protección para lograr los requisitos anticolidión.

Las pruebas muestran que los radares pueden resistir a interferencia pulsada de ciclo de trabajo bajo a niveles de I/N altos debido a la inclusión de circuitos de mitigación de interferencia entre radares y/o al procesamiento de la señal. Las técnicas de mitigación de interferencia (barrido a barrido y correlación de impulso a impulso, así como procesamiento CFAR) descritas en la Recomendación UIT-R M.1372, han mostrado que funcionan bastante bien. Sin embargo, las mismas técnicas no funcionan para la mitigación continua o las emisiones de ciclo de trabajo alto que aparecen como ruido en el receptor del radar.

Como la mayoría de los radares marítimos en la banda de frecuencias 9 200-9 500 MHz son muy similares en diseño y funcionamiento, no se espera una gran variación con relación a los criterios de protección derivados de los radares empleados para estas pruebas. Por consiguiente, los resultados de estas pruebas deberían aplicarse a otros radares similares que funcionan en la banda de frecuencias 9 200-9 500 MHz.

Las autoridades que deseen realizar estudios de compartición, con miras a una posible compartición en la banda designada, deben utilizar estos resultados como guía en sus estudios, sabiendo que los resultados de las pruebas presentados en los § 1.5 y § 1.6, y en particular en el Cuadro 9, se basaron en blancos no fluctuantes. Si se realizaran las pruebas con blancos fluctuantes, probablemente arrojarían resultados diferentes.