

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1460-1
(03/2006)

**Características técnicas y operacionales
y criterios de protección de los radares
de radiodeterminación en la banda
2 900-3 100 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 el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

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.1460-1^{*,**}**Características técnicas y operacionales y criterios de protección de los radares de radiodeterminación en la banda 2 900-3 100 MHz**

(Cuestiones UIT-R 226/5 y UIT-R 216/5)

(2000-2006)

Cometido

En la presente Recomendación se describen las características técnicas y de funcionamiento y los criterios de protección de los sistemas de radiodeterminación que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz, atribuida a título primario al servicio de radiodeterminación. Esta Recomendación se preparó para facilitar los estudios de compartición y como complemento de la Recomendación UIT-R M.1461 en lo que concierne a los procedimientos de análisis para determinar la compatibilidad entre los radares utilizados en el servicio de radiodeterminación y otros servicios.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las características en cuanto a antena, propagación de la señal, detección del objetivo y gran anchura de banda necesaria de los radares para lograr sus funciones son óptimas en ciertas bandas de frecuencia;
- b) que las características técnicas de los radares de radiodeterminación vienen determinadas por la misión del sistema y varían ampliamente incluso dentro de una banda;
- c) que el UIT-R está considerando la posibilidad de introducir nuevos tipos de sistemas o servicios en las bandas comprendidas entre 420 MHz y 34 GHz utilizadas por los radares en el servicio de radiodeterminación;
- d) que se requieren características técnicas y operacionales representativas de los radares utilizados en el servicio de radiodeterminación a fin de determinar, en caso necesario, la viabilidad de la introducción de nuevos tipos de sistemas en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodeterminación,

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Organización Marítima Internacional (OMI), de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), de la Asociación Internacional de Señalización Marítima y Ayudas a la Navegación (AISM), de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

** La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2009 de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

observando

- a) que las características técnicas y operacionales de las balizas marítimas de radar que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz figuran en la Recomendación UIT-R M.824;
- b) que se prevé que las características técnicas y operacionales de los radares de radionavegación aeronáutica y meteorología que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz sean similares a las de los que funcionan en la banda 2 700-2 900 MHz, las cuales figuran en la Recomendación UIT-R M.1464,
- c) que el Informe UIT-R M.2050 contiene algunos resultados experimentales que ilustran la vulnerabilidad de los radares marítimos. En el Anexo 3 se reproducen algunos fragmentos de este Informe,

reconociendo

- a) que según el número 4.10 del Reglamento de Radiocomunicaciones, el servicio de radionavegación es un servicio de seguridad;
- b) que los criterios de protección necesarios dependen de los tipos concretos de señales interferentes, tales como las que se describen en el § 3 del Anexo 3;
- c) que al aplicar los criterios de protección quizá sea necesario tener en cuenta el carácter estadístico de los criterios y otros factores de la metodología para realizar los estudios de compatibilidad (por ejemplo, el barrido de la antena y movimiento del transmisor y la atenuación en el trayecto de propagación). Estas consideraciones estadísticas podrían incorporarse, si procede, en futuras revisiones de esta Recomendación,

recomienda

- 1 que las características técnicas y operacionales de los radares de radiodeterminación descritas en el Anexo 1 se consideren representativas de los que funcionan en la banda de frecuencias 2 900-3 100 MHz;
- 2 que se emplee la presente Recomendación junto con la Recomendación UIT-R M.1461 como guía en el análisis de compatibilidad entre los radares de radiodeterminación con los sistemas de otros servicios;
- 3 que se utilice el criterio de relación entre la potencia de la señal interferente y el nivel de potencia de ruido en el receptor de radar, I/N , de -6 dB como nivel de protección requerido para los radares de radiodeterminación en la banda 2 900-3 100 MHz, aun cuando hayan múltiples fuentes interferentes presentes. Para mayor información, véase el Anexo 2;
- 4 que para evaluar la interferencia que sufren los radares de radionavegación a bordo de barcos se utilicen los resultados de las pruebas de vulnerabilidad a la interferencia realizadas en radares de radionavegación instalados a bordo de barcos que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz, los cuales figuran en el Anexo 3, teniendo en cuenta que los resultados de esta pruebas corresponden a objetivos sin fluctuaciones y que han de tenerse presentes las fluctuaciones de la sección transversal del radar (RCS)¹ (véase el Informe UIT-R M.2050).

¹ La fluctuación de RCS es un tema que está estudiando el UIT-R.

Anexo 1

Características técnicas y operacionales y criterios de protección de los radares de radiodeterminación en la banda 2 900-3 100 MHz

1 Introducción

Muchos radares transportables y a bordo de barcos funcionan en la banda 2900-3100 MHz. Los radares de radiolocalización a bordo de barcos se examinan en los § 2 a 4. Los radares de radionavegación se examinan brevemente en los § 5 y 6 y los radares meteorológicos son objeto del § 7.

2 Características técnicas de los radares de radiolocalización distintos de los utilizados en meteorología

El Cuadro 1 presenta las características de tres radares representativos de radiolocalización a bordo de barcos y el Cuadro 2 muestra tres radares representativos de radiolocalización en tierra.

Todos los sistemas de radiolocalización señalados son radares de vigilancia de gran potencia. Los radares de radiolocalización que funcionan en esta banda se utilizan principalmente para la detección de objetos volantes. Deben medir la altitud del blanco así como la distancia y el acimut. Algunos de los blancos de aeronave son pequeños y algunos se encuentran a una distancia de hasta 300 millas náuticas, de forma que estos radares de radiolocalización deben tener una gran sensibilidad y deben estar dotados de una gran capacidad de supresión de todas las formas de eco de retorno, incluyendo los que vienen del mar y de la tierra, así como de las precipitaciones. Las emisiones de los radares de radiolocalización en esta banda no deben activar las balizas de radar.

Debido en gran medida a estos requisitos de emisión, los radares de radiolocalización que utilizan esta banda suelen tener las características generales siguientes:

- tienden a funcionar con potencias de transmisor de cresta y media elevadas;
- suelen utilizar transmisores con oscilador principal y amplificador de potencia, más que osciladores de potencia. Normalmente son sintonizables y algunos de ellos tienen versatilidad de frecuencia. Algunos utilizan la modulación lineal MF (con compresión) o la decodificación de fase en el interior de los impulsos;
- algunos de ellos tienen haces múltiples u orientables en elevación utilizando la orientación electrónica;
- algunos incorporan aspectos de gestión de potencia, es decir, la capacidad de reducir la potencia del transmisor en algunos haces o para ciertas funciones, mientras que emplean toda la potencia en otros;
- generalmente emplean capacidades de recepción y procesamiento versátiles, tales como las de utilización de antenas receptoras auxiliares de supresión de lóbulos laterales, el procesamiento de trenes de impulsos con portadora coherente para suprimir los retornos de ecos por medio de una indicación de blancos móviles (MTI, *moving-target indication*), las técnicas de tasas de falsas alarmas constantes (CFAR, *constant-false-alarm-rate*) y, en ciertos casos, la selección adaptable de las frecuencias operativas basándose en la detección de la interferencia en varias frecuencias.

Algunos radares de radiolocalización o la totalidad de ellos cuyas características se presentan en los Cuadros 1 y 2 gozan de estas propiedades, aunque no ilustran todo el repertorio de atributos que podrán figurar en los sistemas futuros.

CUADRO 1

**Características de los radares de radiolocalización a
bordo de barcos en la banda 2 900-3 100 MHz**

Características	Radar N.º 1	Radar N.º 2	Radar N.º 3
Gama de sintonía total (MHz)	2 910-3 100,5	Nominalmente 2 900-3 100	2 910-3 100,5
Opciones de sintonía y relación frecuencia/elevación	Determinística: Alta frecuencia \Leftrightarrow ángulo de baja elevación		
Frecuencia en el horizonte (MHz)	Mar en calma: 3 048-3 051	Mar en calma: 3 055	Mar en calma: 3 051
Modos de cobertura/comportamiento	Largo alcance Largo alcance/elevación limitada Corto alcance Corto alcance/elevación limitada (cada uno con haces/impulsos normales, coincidentes en vídeo o MTI)	Normal ($\leq 45^\circ$ elevación) 5° Combustión: 1 haz fijo de $1,6^\circ$ Modulación de impulso: 1 haz con onda de impulso modulado MTI de largo alcance, 3 impulsos; 5° ó 45° MTI de corto alcance, 4 impulsos, 5° ó 45° Pasivo	Largo alcance ($\leq 12,8^\circ$ de elevación) Largo alcance/pequeña elevación ($\leq 4,8^\circ$) Ángulo amplio ($\leq 41,6^\circ$) Elevación limitada ($\leq 12,8^\circ$) Velocidad de datos elevada ($\leq 41,6^\circ$) MTI ($\leq 36,9^\circ$)
Tipo de onda de impulsos del transmisor	Sin modulación	Modos normal, 5° y MTI: subimpulsos en 9 pasos de frecuencia (1,5 MHz entre subimpulsos adyacentes) Modo combustión: sin modulación Modo modulación impulso: MF lineal	Sin modulación
Dispositivo(s) de salida en RF del transmisor	Klystron	Amplificador de campo transversal (amplitron)	Klystron
Filtro del transmisor		Paso alto; $f_{CO} \geq 2\ 840$ MHz	
Potencia de cresta máxima del transmisor	0,9-1 MW en el horizonte a 35°	2,2 MW en el horizonte a 5°	1,0-1,5 MW en el horizonte a 35°
Potencias de cresta del transmisor en elevación superior y/o modos de alcance reducido	La potencia disminuye lentamente desde 1 MW aproximadamente en 35° a 300 kW en $41,6^\circ$	600 kW entre $5,5^\circ$ y 21° ; 60 kW por encima de 21° y en el horizonte en la mayoría de los impulsos MTI	La potencia disminuye lentamente desde 1 MW aproximadamente a 35° hasta 300 kW a $41,6^\circ$
Anchura del impulso/subimpulso del transmisor (μ s)	Primeras unidades: 4 y 3 ó 2 Últimas unidades: 10; 4,6 y 2,5	Normal, 5° y MTI: 27 (9 subimpulsos contiguos de 3 μ s) Combustión y modulación de impulso: 27	Largo alcance y largo alcance/elevación reducida: 10 Ángulo grande y elevación limitada: 4,6 Velocidad de datos elevada y MTI: 2,5
Relación de compresión de impulsos	No se aplica	Normal, MTI y combustión: no se aplica Modulación de impulso: 9	No se aplica
Anchura de banda a 3 dB del transmisor	Anchura de impulso 10 μ s: 100 kHz aproximadamente Anchura de impulso 4,6 μ s: 225 kHz aproximadamente Anchura de impulso 2,5 μ s: 700 kHz aproximadamente	Normal y MTI: 300 kHz/subimpulso Modulación de impulso: 300 kHz Combustión: 34 kHz	Anchura de impulso 10 μ s: 100 kHz aproximadamente Anchura de impulso 4,6 μ s: 225 kHz aproximadamente Anchura de impulso 2,5 μ s: 700 kHz aproximadamente

CUADRO 1 (Continuación)

Características	Radar N.º 1	Radar N.º 2	Radar N.º 3
Anchura de banda a 20 dB del transmisor		Normal y MTI: 2 MHz/ subimpulso Modulación de impulso: 700 kHz Combustión: 240 kHz	
PRI (μ s) ⁽¹⁾	Variable: 2 050 a 500 (2 050 en el horizonte) Fijo: 2 116	Normal: variable 2 830-732 (2 830 en el horizonte) Combustión, modulación de impulso y pequeña elevación: fijo a 2 830, 4 850 ó 6 180	Variable: 3 106-426 (3 106 en el horizonte)
PRI medio de los impulsos de plena potencia que contienen haces de nivel de horizonte (μ s)		Modo normal: 5 120 Modo 5°: 4 977 MTI de 3 impulsos y largo alcance: 5°: 4 357 45°: 6 760 MTI de 4 impulsos y corto alcance: 5°: 10 534 45°: 19 695 (1 ó 2 subimpulsos/impulsos alcanzan el horizonte)	Largo alcance: 7 491 Largo alcance/ elevación reducida: 6 190 Ángulo grande: 10 972 Elevación limitada: 7 383 Velocidad de datos elevada: 14 020 MTI: 9 886 ó 10 903 (en exploraciones acimutales alternas)
Polarización	Horizontal		
Ganancia de antena (dBi)	Primeras unidades: 33,5 Últimas unidades: 37	38,5	37
Aberturas de haz de antena (grados)	Acimut: 1,9 Elevación: 2,25	Acimut: 1,5 Elevación: 1,6	Acimut: 1,9 Elevación: 2,25
Deriva de frecuencia para cambio de elevación de 1/2 BW	2,25 MHz (0,5°/MHz)	4,1 MHz (0,39°/MHz)	2,25 MHz (0,5°/MHz)
Supresión del primer lóbulo lateral (dB)	Primeras unidades: Acimut: 16 Elevación: 20 Últimas unidades: Acimut: 25 Elevación: 25	Acimut: 25 Elevación: 15	Acimut: 25 Elevación: 25
Supresión de lóbulos laterales distantes	A menudo limitada por la dispersión de la estructura		
Tipo de exploración en acimut de la antena (grados)	Continua 360		
Tiempo de trama de antena (reinicio) (s)	Primeras unidades: Normal: 4 MTI: 5,2 Video coincidente: 12,5 Últimas unidades: 8, 6, 4	4 y 8	8, 6 y 4
Exploración en elevación de la antena (grados)	Primeras unidades: 0-48 Últimas unidades: 0,3-41,6	0-45	0,3-41,6
Formación de los distintos haces de elevación	Receptor secuencial por un solo canal	Receptor simultáneo por 9 canales paralelos, más incremento secuencial por pasos de un impulso a otro	Receptor secuencial por canal único
Anchura de banda de RF del receptor ⁽²⁾	200 MHz (estimada)	≥ 200 MHz	200 MHz

CUADRO 1 (*Fin*)

Características	Radar N.º 1	Radar N.º 2	Radar N.º 3
Anchura de banda de FI del receptor ⁽²⁾	500 kHz	350 kHz por canal 12 MHz total	Largo alcance: 80 kHz Ángulo grande: 174 kHz Velocidad de datos elevada y MTI: 348 kHz
Ganancia de procesamiento con relación al ruido (dB)		Modo modulación impulso: 9	
Sensibilidad de señal deseada o nivel de ruido (dBm) (con referencia al puerto de antena)	Nivel de ruido: -109		
Características de supresión de la interferencia	Vídeo coincidente MTI Últimas unidades: supresión del lóbulo lateral	STC FTC CAG INT CSG WPB Supresión del lóbulo lateral Supresión de haz único Correlación impulso a impulso Recorte de ruido («Dicke Fix»)	Supresión de lóbulos laterales Vídeo log «Dicke Fix» Acumulación de destello ⁽³⁾
Años de utilización	1960 – ... (sustituido por los radares N.º 2 y N.º 3)	1965 – actualmente	1966 – actualmente

⁽¹⁾ En la mayoría de los modos de los radares N.ºs 1, 2 y 3, el intervalo entre impulsos y la potencia de cresta disminuyen a medida que aumentan las exploraciones del haz.

⁽²⁾ Niveles de saturación en RF y FI del receptor con referencia al puerto de antena.

⁽³⁾ En la acumulación de destello se visualiza una línea radial visible que identifica la dirección de las fuentes de ciertos tipos de interferencia.

CUADRO 2

Características de los radares de radiolocalización en tierra en la banda 2 900-3 100 MHz

Características	Radar N.º 4	Radar N.º 5	Radar N.º 6
Gama de sintonía total (MHz)	2 905-3 080	2 901,5-3 098,4	2 900-3 100
Opciones de sintonía y relación frecuencia/elevación	Determinística: Baja frecuencia \Leftrightarrow ángulo de elevación reducido 0,1°-0,15° por MHz	a) frecuencia fija b) impulso-impulso versátil en frecuencia (≤ 16 frecuencias): – según entorno – aleatorio c) MTI (12 ráfagas de impulsos): versatilidad en frecuencia (sensible a entorno o aleatorio)	a) frecuencia fija b) impulso-impulso versátil en frecuencia (16 frecuencias tomadas en 4 grupos de 16 cada uno): – según entorno – aleatorio c) MTI (4 ráfagas de impulsos) versatilidad en frecuencia (sensible a entorno o aleatorio)
Frecuencia en el horizonte (MHz)	2 924-2 935	Independiente del ángulo de elevación	
Modos de cobertura/comportamiento	Normal (0°-18°) Codificación de impulsos (compresión de impulso a 0°-2,24°, normal por encima de 2,24°) MTI ($\leq 18^\circ$) Combustión (un haz seleccionado a 0,8° elevación)	Compresión de impulso (0°-20°) MTI con compresión de impulso (0°-20°)	Alcance instrumental 240 millas náuticas Compresión de impulso (0°-20°) MTI con compresión de impulsos (0°-20°)
Tipo de onda de impulsos del transmisor	Normal y MTI: subimpulsos en pasos de frecuencia (frecuencia/exploración-elevación dentro del impulso) Los impulsos en pequeña elevación/alta potencia tienen 6 subimpulsos; los impulsos en gran elevación y los impulsos MTI en baja potencia tienen 9 subimpulsos. Ambos con pasos de unos 2,8 MHz entre subimpulsos adyacentes Codificación de impulso: tres subimpulsos contiguos de 9,9 μ s, compuesto cada uno de 13 segmentos codificados Combustión: sin modulación	Codificación bifase (Barker 13)	
Dispositivo(s) de salida en RF del transmisor	Amplificador de campo transversal	Twystron	
Filtro del transmisor	Paso alto		Ninguno Supresión del 2º armónico en 60 dB Supresión del tercer armónico en 50 dB
Potencia de cresta máxima del transmisor	2,2 MW desde 0° a 7,2° elevación excepto 60 kW en haces MTI de 0° a 3°	2,8 MW	3,0 MW

CUADRO 2 (Continuación)

Características	Radar N.º 4	Radar N.º 5	Radar N.º 6
Potencias de cresta del transmisor en modos de elevación superior y/o alcance reducido	665 kW desde 7,2° a 12,6° de elevación 60 kW a 12,6° de elevación	La potencia del transmisor se distribuye entre múltiples haces para formar aproximadamente un diagrama de cosec ²	La potencia del transmisor se distribuye entre múltiples haces en una elevación entre 0° y 20°
Anchura del impulso/subimpulso del transmisor	Normal: 6 subimpulsos contiguos de 5 µs en pequeña elevación y gran potencia; 9 subimpulsos contiguos de 3 µs en gran elevación MTI: 9 subimpulsos contiguos de 3,3 µs Codificación de impulso: 3 impulsos contiguos de 9,9 µs, con 13 subimpulsos cada uno (segmentos de 0,76 µs)	6,5 µs	Impulso codificado de 6,5 µs
Relación de compresión de impulsos	Impulso codificado: 13	13	
Anchura de banda a 3 dB del transmisor	Normal y MTI: 350 kHz por subimpulso Impulso codificado: 1,3 MHz para haces con compresión de impulsos	Aproximadamente: 2 MHz	1,4 MHz
Anchura de banda a 20 dB del transmisor		9,5 MHz	2,7 MHz (5,9 MHz a 40 dB, 40 MHz a 60 dB)
PRI ⁽¹⁾	Variable desde: 3 772 µs en el horizonte a 1 090 µs a 18°, excepto 1 090 µs para MTI	Fijo: 4 082, 4 000 ó 3 876 µs Escalonado determinístico: 3 597 → 3 788 → 4 255 → 4 405 → 3 876 → 4 082 µs → repetición	Frecuencia de repetición de impulsos fija, incluyendo 245, 250 y 258 pps (4,082; 4,0 ó 3,876 ms) La secuencia de intervalo fluctuante de un impulso a otro es generalmente de 4,08 → 3,59 → 3,79 → 4,25 → 4,40 → 3,87 ms → repetición Pueden utilizarse otros dos esquemas de fluctuación del intervalo interimpulso
PRI medio de los impulsos de plena potencia que contienen haces de nivel de horizonte	Normal: aproximadamente 9 670 µs (1 ó 2 subimpulsos/ impulsos alcanzan el horizonte)	Todos los impulsos abarcan 0°-20°	272,5 pps
Polarización	Horizontal	Vertical	Horizontal
Ganancia de antena (dBi)	41	Transmisor: 34,5 Receptor: 38 (La potencia del transmisor se divide entre 13 haces; los retornos se combinan en 6 canales del receptor únicamente)	Transmisor: 35 (la energía del transmisor se distribuye entre 0,5°-20°) Receptor: 36,7; 35,7; 35,3, 35,5; 32,1 y 31,9 desde haz bajo a haz elevado
Aberturas de haz de antena (grados)	Acimut: 2,15 Elevación: 0,84	Acimut: 1,1 Elevación: 20 cosec ²	Acimut: 1,6 Elevación: 20 en transmisión; 2,3 a 6,0 en recepción
Deriva de frecuencia para cambio de elevación de 1/2 BW			Independiente de la frecuencia

CUADRO 2 (Fin)

Características	Radar N.º 4	Radar N.º 5	Radar N.º 6
Supresión del primer lóbulo lateral (dB)	Acimut: 25 Elevación: 25	18,5 (se presume acimut)	Transmisor: 20 en el plano vertical Receptor: al menos 35 en acimut; al menos 49 en elevación
Supresión de lóbulos laterales distantes			Lóbulos laterales «ultrarreducidos»
Tipo de exploración en acimut de la antena (grados)	Continua 360		
Tiempo de trama de antena (reinicio) (s)	10		9,4 (6,4 rpm)
Exploración en elevación de la antena (grados)	-1 a 18	Sin exploración. El haz del transmisor va de 0° a 20° de elevación	
Formación de los distintos haces de elevación	Receptor secuencial por un solo canal	El haz de 20° del transmisor se divide en 6 haces del receptor y se procesa simultáneamente en 6 canales paralelos	6 haces del receptor apilados se procesan simultáneamente en 6 canales paralelos
Anchura de banda de RF del receptor (MHz)	200	> 200 (utiliza mezclador de rechazo de imagen en cada canal)	
Niveles de saturación en RF y FI del receptor con referencia al puerto de antena		-35 dBm	Gama dinámica: 90 dB utilizando hasta 46,5 dB de STC
Anchura de banda de FI del receptor	Normal y MTI: 350 kHz Impulso codificado: 1,3 MHz	1,6 MHz	1,1 MHz a 3 dB 3,4 MHz a 20 dB 12,1 MHz a 60 dB
Ganancia de procesamiento con relación al ruido	Normal/no MTI: 3 dB (integración video de 2 impulsos) Impulso codificado: 11 dB	10 dB (compresión de impulso) + 9 dB (integración de impulso) = 19 dB	11 dB (compresión de impulso) Utilización de MTI de 4 impulsos
Sensibilidad de señal deseada o nivel de ruido (dBm) (con referencia al puerto de antena)	Modo normal: nivel de ruido: -116 Impulso codificado: nivel de ruido: -110	-105	
Características de supresión de la interferencia	Integración video de 2 impulsos FTC log Modo impulso codificado (compresión de impulso) Correlación de impulso a impulso Censor de blanco estacionario	Versatilidad de frecuencia Compresión de impulso Supresión del lóbulo lateral PRI escalonada con integración postdetección CFAR de limitación intensa (sin MTI) o STC (con MTI) Canal de comprobación de señal simple	Lóbulos de antena receptora extremadamente reducidos Otros similares a los del radar N.º 5
Años de utilización	1975 – actualmente	1975 – actualmente	Finales de los 80 – actualmente

⁽¹⁾ En la mayoría de los modos del radar N.º 4, el intervalo entre impulsos y la potencia de cresta disminuyen cuando aumentan las exploraciones del haz.

En los Cuadros 1 y 2 se han utilizado los siguientes términos y abreviaturas:

⇔:	correspondencia (entre frecuencia portadora y ángulo de elevación)
Acumulación de destello:	similar a la CSG
BW:	anchura de banda o apertura del haz, dependiendo del contexto
CAG:	control automático de ganancia
CFAR:	circuitos de tasa de falsas alarmas constante
Combustión:	modo en el que la potencia se concentra en un sector estrecho de elevación para facilitar la detección de blancos en condiciones difíciles
CSG:	generación de destello puro. Técnica para observar señales procedentes de fuentes activas utilizando el radar únicamente como receptor. Puede emplearse sin supresión de lóbulos laterales o con ella
«Dicke Fix»:	limitación intensa de señales recibidas compuestas (retorno radar más interferencia) en una anchura de banda substancialmente superior a la de la señal radar deseada, a la que sigue el filtrado a una anchura de banda inferior. Con ello se discrimina la interferencia de banda ancha
f_{co} :	frecuencia de corte del filtro
FTC:	constante de tiempo rápida
INT:	integración de impulsos múltiples no coherente (vídeo)
Modulación de impulso:	tipo de modo de combustión con compresión de impulso para reducir el retorno de ecos de gran extensión
PRF:	frecuencia de repetición de impulsos
PRI:	intervalo de repetición de impulsos
STC:	control temporal de sensibilidad
Vídeo coincidente:	vídeo coincidente (correlación de impulso a impulso)
WPB:	supresión de impulso amplio.

Todos los ángulos de los Cuadros 1 y 2 van en grados de ángulos de elevación, a menos que se especifique lo contrario.

2.1 Características específicas

Los radares N.º 1, N.º 2, N.º 3 y N.º 4 tienen exploración mecánica en acimut y exploración de frecuencia en elevación. De ellos, los radares N.º 2 y N.º 4 realizan una exploración por pasos normalmente en elevación en cada impulso, pues cada uno de ellos suele dividirse hasta en 9 subimpulsos contiguos con pasos de frecuencia portadora entre cada subimpulso y el siguiente. Los radares N.º 2 y N.º 4 contienen también 9 canales paralelos al receptor/procesador (a parte de un canal supresor del lóbulo lateral). Cada canal receptor procesa los retornos procedentes de un haz de elevación distinta correspondiente a un subimpulso diferente, en el mismo intervalo de repetición de impulsos. De esa manera, estos radares pueden observar unos 5° (radar N.º 2) o unos 3° (radar N.º 4) de elevación en un único intervalo de repetición de impulsos o tiempo de ida y vuelta de retorno radar, con una resolución de 1,6° aproximadamente (radar N.º 2) o de 0,84° (radar N.º 4). Estos radares observan sectores distintos en elevación de 5° (radar N.º 2) o 3° (radar N.º 4) durante intervalos distintos entre impulsos.

Los radares N.º 1 y N.º 3 transmiten por un solo haz en cada impulso y contienen únicamente un canal de receptor (además de un canal supresor del lóbulo lateral). Observan un sector de elevación diferente durante cada intervalo de repetición de impulsos.

El alcance instrumental requerido que determina el intervalo de repetición de impulsos, suele ser grande para ángulos de elevación reducidos, pero disminuye con elevaciones superiores porque los alcances largos corresponden a altitudes por encima de la atmósfera. Con ángulos de elevación mayores, la potencia de cresta transmitida puede reducirse porque los alcances inferiores exigen menos potencia media para detectar blancos y porque el ciclo de trabajo de transmisión aumenta debido a la disminución de los intervalos de repetición de impulsos. En el radar N.º 2, la reducción de la potencia de cresta del transmisor se obtiene reduciendo la potencia de los dispositivos amplificadores de potencia final e intermedia, con lo que se reducen las tensiones elevadas y se logra un espectro de emisión más claro. En los radares N.º 1 y N.º 3, la potencia de transmisión sigue siendo grande en ángulos de elevación de hasta unos 35° y disminuye para ángulos superiores como consecuencia natural de la característica ganancia-frecuencia del paso final de amplificación de potencia.

Las secuencias de impulsos/frecuencia de los radares N.º 2 y N.º 4 son bastante distintas y complejas. Por ejemplo, en el modo normal del radar N.º 2, cada exploración completa en elevación contiene 18 impulsos de transmisión, estando compuesto cada uno de ellos de 9 subimpulsos en pasos de frecuencia. La frecuencia de base de cada uno de los 18 impulsos difiere de la de los demás para contribuir al efecto de exploración en elevación, excepto para tres impulsos cuyas frecuencias son idénticas a las de los otros tres. En los modos MTI de 5°, se radian grupos de 3 ó 4 impulsos idénticos separados por intervalos entre impulsos constantes en ángulos de elevación de hasta 5° y se mezclan con 15 impulsos no periódicos (no MTI) radiados en todos los ángulos de elevación hasta 45° para cada exploración en elevación completa. En la mayoría de los modos, los haces asociados a los subimpulsos de cada impulso se superponen a los haces adyacentes en elevación. Los haces asociados a todos los subimpulsos de los 18 o más impulsos que comprenden una exploración en elevación se superponen también en acimut, porque la antena gira menos que su abertura de haz en acimut (1,5°) durante la transmisión y la recepción de todos ellos. Así pues, los retornos de blanco de cualquier subimpulso aislado se superponen en acimut y elevación con los retornos procedentes de otros subimpulsos diversos. La correlación entre haces y entre impulsos para estos retornos superpuestos contribuye a disminuir la tasa de falsas alarmas respecto al ruido y a distinguir los retornos de blanco válidos respecto a la interferencia impulsiva asíncrona.

Los Cuadros contienen los valores calculados para los intervalos medios entre impulsos completos emitidos por los radares N.º 2, N.º 3 y N.º 4 que se radian en el horizonte (radar N.º 3) o que contienen al menos un subimpulso de nivel de horizonte (radares N.º 2 y N.º 4) de 3 µs o 3,3 µs de duración. En los cálculos se tiene en cuenta el hecho de que, en algunos modos, el funcionamiento MTI de corto alcance se entrelaza con el no MTI de largo alcance. En cualquier frecuencia de base, sólo uno de los impulsos tiene probabilidad de caer dentro de la banda de paso de los otros sistemas, pues la frecuencia varía por pasos entre subimpulsos. En cualquier caso, es probable que dos subimpulsos contiguos tengan aproximadamente el mismo efecto en otro receptor que un subimpulso.

Los radares N.º 5 y N.º 6 no efectúan exploración de frecuencia; no obstante, forman haces de recepción múltiples simultáneos y tienen 6 canales de recepción paralelos (simultáneos), cubriendo cada uno de ellos una región de elevación distinta. Como no efectúan exploración en frecuencia, pueden observar cualquier región del espacio en cualquiera de las numerosas frecuencias distribuidas a lo largo de toda su gama de funcionamiento de 200 MHz. De hecho, pueden hacerlo de manera versátil en frecuencia. En los modos no-MTI, pueden saltar a cualquiera de esas frecuencias en cada impulso. En los modos MTI, pueden saltar a cualquier nueva frecuencia después de cada 12 impulsos (en el caso del radar N.º 5) o después de cada 4 impulsos (en el caso

del radar N.º 6). Para poder aprovechar mejor esta posibilidad, incorporan una característica de observación mediante la que muestran una medición de la ocupación de la señal en el entorno para cada frecuencia que pueden observar y graban dicha actividad en memoria. Un algoritmo que accede a dicha memoria les permite escoger frecuencias poco utilizadas para las transmisiones futuras.

La forma específica de onda con compresión de impulsos utilizada en el radar N.º 4 no puede determinarse con certeza. No obstante, partiendo del hecho de que se indica una relación de compresión de 13 y de que la onda va codificada, es razonable suponer que dicha onda utiliza un código Barker bifase. Sólo hay un código de este tipo de longitud 13.

La característica de censura o eliminación de los blancos estacionarios del radar N.º 4, también conocida como mapa de ecos, se basa en un algoritmo de post-procesamiento que mantiene un cómputo de las detecciones producidas en cada una de las múltiples células de acimut/alcance/elevación en los instantes precedentes. El cómputo se incrementa con cada detección y disminuye conforme a reglas minuciosamente elegidas cuando se observa la misma célula sin que haya detecciones. Cuando se producen detecciones y el cómputo rebasa ciertas cifras umbral, aquéllas no se visualizan ante el operador o se utilizan para otros fines, pues es probable que sean debidas a ecos estacionarios.

Debido a la multitud de modos de funcionamiento, es difícil especificar niveles cuantitativos de sensibilidad de detección y que no tengan ambigüedad para estos radares. La sensibilidad de detección puede estimarse mediante cálculos en los que se supone un factor de ruido del orden de 4 a 5 dB para los radares actuales, aunque los primeros radares, tales como los del tipo 1 tenían probablemente factores de ruido superiores. En el caso del radar N.º 6, se indica de forma explícita la sensibilidad de detección.

Los transmisores de radar que utilizan dispositivos de campo transversal, tales como los radares N.º 2 y N.º 4 emiten ruido de banda ancha con niveles relativamente elevados, al igual que hacen los radares que utilizan osciladores de potencia de campo transversal (magnetrones). La cuantificación de dichos niveles rebasa el alcance de esta Recomendación.

2.2 Características de interés particular

Las interacciones en las que intervienen emisiones procedentes de radares de radiolocalización y la recepción en radares de radionavegación ofrecen un interés mayor que las interacciones de tipo inverso. Ello es debido a que los radares de radiolocalización que funcionan en esta banda suelen tener una amplia gama de capacidades para evitar la interferencia del tipo que puede producirse en los radares de navegación marítima. Se ha determinado que las frecuencias portadoras de los radares de navegación marítima que funcionan en esta banda se han concentrado durante los últimos decenios casi completamente en la gama comprendida entre 3 020 y 3 080 MHz. Es por tanto interesante comprobar que los radares de radiolocalización N.º 1, N.º 2 y N.º 3 que también funcionan en el entorno marítimo emitan sus haces de nivel horizonte casi completamente en esa región espectral. Estos tres radares de radiolocalización emplean antenas con orientación de frecuencia en elevación. Como van a bordo de barcos, han de compensar los cambios de actitud de la nave (guiñada y cabeceo) por medio de modificaciones adaptables en frecuencia. Como consecuencia de ello, la frecuencia exacta de sus haces de horizonte varía en cierta medida con la guiñada y el cabeceo, cuando la antena de radar gira mecánicamente para dar la exploración en acimut. No obstante, el centroide de la distribución de frecuencias correspondiente al haz de horizonte está muy próximo a 3 050 MHz, que también es el centroide de la distribución de la frecuencias de navegación radar. Así pues, los haces de horizonte de los radares embarcados descritos en el Cuadro 1 se han concentrado en las proximidades de las frecuencias de navegación radar.

De forma muy significativa, estos tres radares de radiolocalización embarcados utilizan la polarización horizontal, que ha sido la predominante en los radares de navegación durante los últimos decenios.

También conviene señalar que los radares de radiolocalización N.º 1, N.º 2, N.º 3 y N.º 4 radian normalmente algunos de sus impulsos con su potencia de cresta máxima de transmisor cuando el haz está en el horizonte, tal como se cuantifica en los Cuadros 1 y 2.

Así pues, las condiciones que han predominado durante los últimos decenios tendían a maximizar las oportunidades de acoplamiento de la interferencia procedente de los radares de radiolocalización embarcados de los tipos identificados con los radares de navegación marítima típicos. Si se han producido observaciones de cualquier tipo de interferencia en los radares de radiolocalización atribuida a estos radares de radiolocalización durante los últimos decenios, su importancia, debe evaluarse en este contexto.

El radar N.º 6 se distingue respecto al radar N.º 5 principalmente en su utilización de un sistema de antena plano con lóbulos laterales ultrarreducidos, en lugar de la antena de reflector utilizada por el radar N.º 5. La obtención de lóbulos laterales muy reducidos en este caso puede ser debida parcialmente al hecho de que, aunque la antena tiene haces múltiples en la recepción, estos haces no están guiados electrónicamente. La excitación del sistema de antena no sufre por tanto la influencia de la cuantificación de los elementos de desplazamiento de fase o del deterioro que se produce cuando los haces se orientan más allá de la puntería geométrica del sistema de antena o de la normal.

3 Características operacionales de los sistemas de radiolocalización distintos de los utilizados en meteorología

Los radares de radiolocalización que funcionan en esta banda son mucho menos numerosos que los radares de radionavegación marítima con atribuciones en ella. Prácticamente todo barco con más de 3 000 toneladas de registro bruto lleva un radar de navegación que funciona en esta banda.

Se piensa que los radares de radiolocalización a bordo de barcos descritos aquí funcionan durante un gran porcentaje del tiempo en que el barco navega. Los modos utilizados más habitualmente son los que ofrecen una gran capacidad de búsqueda (ángulo grande). Así pues, la utilización del modo normal de los radares N.º 2 y N.º 4 es prácticamente evidente, mientras que el modo primario del radar N.º 3 es su modo de ángulo grande. Los modos que cubren ángulos limitados en elevación, tales como los de combustión y de modulación de impulsos se suelen reservar para circunstancias especiales, e incluso dichos modos pueden utilizarse únicamente en sectores acimutales estrechos, mientras que se mantiene la cobertura de elevación total en los sectores acimutales restantes. Cabe esperar que los modos MTI se utilicen únicamente cuando lo exigen ciertas condiciones tales como las de mar encrespada o de masas terrenas próximas.

Los radares de radiolocalización con base en tierra funcionarán probablemente durante sólo pequeños porcentajes de tiempo, excepto en algunas zonas fijas. Se produce una excepción si se utilizan con fines de navegación. Los radares de tipo 5 funcionan normalmente en frecuencias fijas, excepto cuando se dan circunstancias especiales.

4 Sistemas futuros de radiolocalización distintos de los utilizados en meteorología

En una amplia panorámica, los radares de radiolocalización que pueden desarrollarse en el futuro para funcionamiento en la banda 2 900-3 100 MHz se parecerán probablemente a los actuales radares descritos aquí.

Es probable que los radares futuros de radiolocalización tengan al menos la misma flexibilidad que los radares descritos, incluyendo la capacidad para funcionar de forma distinta en sectores acimutales y de elevación diferentes.

Cabe razonablemente esperar que algunos diseños futuros traten de mejorar la capacidad de funcionamiento en una banda amplia que rebase ampliamente los 3 100 MHz.

Probablemente tengan antenas orientables electrónicamente como las de los actuales radares N.º 1 a N.º 4. No obstante, la tecnología actual ofrece la orientación de fase como alternativa práctica e interesante a la orientación en frecuencia, y numerosos radares de radiolocalización desarrollados en los últimos años para funcionamiento en otras bandas emplean la orientación en fase, tanto en acimut como en elevación. A diferencia de los de orientación en frecuencia, los radares de orientación en fase tendrán la libertad de orientar sus haces independientemente de la frecuencia. Entre otras ventajas, esto facilita el mantenimiento y la compatibilidad en diversas circunstancias.

Se prevé que algunos radares futuros de radiolocalización cuenten con una capacidad de potencia media al menos tan elevada como la de los radares descritos aquí. Sin embargo, cabe esperar razonablemente que el diseño de los radares futuros que funcionen en esta banda se concentre en la reducción de las emisiones de ruido en banda ancha, haciéndolas menores que las de los radares actuales que utilizan dispositivos de tubo de vacío de campo transversal. Esta reducción del ruido se logrará en algunos radares futuros utilizando sistemas de transmisor/antena de estado sólido. En ese caso, los ciclos de trabajo de transmisión serán superiores a los de los actuales transmisores de radar con tubos y los impulsos serán más largos.

5 Características técnicas y operacionales de los sistemas de radionavegación a bordo de barcos en la banda 2 900-3 100 MHz²

En los Cuadros 3 y 4 se muestran las características generales de los radares de radionavegación a bordo de barcos.

La Recomendación UIT-R M.824 indica las características de las balizas de radionavegación marítima, de las que algunas funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz.

En el Cuadro 3 se indica la potencia del transmisor y el número de radares para los radares a bordo de barcos del tipo de la OMI.

CUADRO 3

Radares de radionavegación a bordo de barcos

Categoría de radar	Potencia de cresta (kW)	Total general
OMI y pesca	≤75	> 300 000

² No se incluyen las características de los radares civiles fijos del servicio marítimo utilizados, por ejemplo, para servicios de tráfico de buques (VTS) puesto que dependen de su emplazamiento y sus funciones; es decir, vigilancia costera y tráfico en puertos.

Las características del radar que afectan a la utilización eficaz del espectro, incluidos los criterios de protección, son las relacionadas con la antena y el transmisor/receptor del radar. La mayoría de los radares del tipo OMI utilizan antenas ranuradas.

Las características técnicas de los radares de tipo OMI se resumen en el Cuadro 4. La gama de valores de cada característica se expresa mediante los valores máximo y mínimo.

CUADRO 4

**Radares de radionavegación marítima (categoría OMI – incluidos los de pesca)
Características típicas del transmisor/receptor**

Características	2 900-3 100 MHz	
	Máximo	Mínimo
<i>Antena (para transmisión/recepción):</i>		
Anchura de banda(a -3 dB) (grados)		
Horizontal	4,0	1,0
Vertical	30,0	24,0
Atenuación del lóbulo lateral (dB)		
dentro de $\pm 10^\circ$	28	23
fuera de $\pm 10^\circ$	32	31
Ganancia (dB)	28	26
Velocidad de rotación (r.p.m.)	60	20
<i>Transmisor:</i>		
Potencia de cresta (kW)	75	30
Frecuencia (MHz)	3 080	3 020
Duración del impulso ⁽¹⁾ (μ s)	1,2	0,05
Frecuencia de repetición de impulsos ⁽¹⁾ (Hz)	4 000	375
<i>Receptor:</i>		
Frecuencia intermedia (FI) (MHz)	60	45
Anchura de banda de FI (MHz)		
Impulso corto	28	6
Impulso medio/largo	6	2,5
Factor de ruido (dB)	8,5	3

⁽¹⁾ Al utilizar este Cuadro para calcular la potencia media de ruido hay que tener presente que la máxima frecuencia de repetición de impulsos depende de la mínima duración del impulso y viceversa.

6 Radares de radionavegación aeronáutica

Aun así, todavía no se ha determinado si la utilización para control de tráfico aéreo de esta banda es muy amplia y si se aplica únicamente en la vigilancia de aeropuertos (control de aproximación terminal), vigilancia de rutas aéreas o una combinación de ambas. Como la mayoría de los radares de vigilancia de rutas aéreas tienen un alcance superior a la de los radares de vigilancia de aeropuertos y generalmente funcionan en la banda 1215-1400 MHz, es probable que toda utilización para la radionavegación aeronáutica de la banda 2900-3100 MHz se refiera principalmente a la vigilancia aeroportuaria o al control de aproximación terminal. Parece que la banda 2900-3100 MHz se utiliza para el control del tráfico aéreo civil únicamente cuando la banda 2700-2900 MHz está saturada con este tipo de radares. En particular, casi toda la información comercial de los fabricantes encontrada sobre radares de control de tráfico aéreo civil en la banda 2,3-3,4 GHz indica que su capacidad de sintonía se limita al tramo 2700-2900 MHz. Se espera en principio que los radares utilizados para la radionavegación aeronáutica en la banda 2900-3100 MHz sean similares a los radares de radiolocalización descritos aquí. Esto significa que se prevé que sean radares tridimensionales más que radares bidimensionales utilizados para el control del tráfico aéreo civil en la banda 2700-2900 MHz. En la medida en que algunos de ellos pueden parecerse a los radares que funcionan en la banda 2700-2900 MHz, sus características se describen en la Recomendación UIT-R M.1464-1. Se está evaluando de forma constante la utilización específica de la banda 2900-3100 MHz para la radionavegación aeronáutica.

7 Características técnicas y operacionales de los radares meteorológicos en la banda 2900-3100 MHz

La Recomendación UIT-R M.1464 presenta las características técnicas y operacionales de ciertos radares meteorológicos representativos en la banda 2,3-3,4 GHz. Estos radares funcionan principalmente en la banda 2700-2900 MHz. Las estaciones que funcionan en dicha banda lo hacen de forma compatible con otros radares con funcionamiento en ella, pero dada la saturación espectral que experimenta, algunos de estos radares también funcionan en la banda 2900-3100 MHz en algunos países.

Este tipo de radar utiliza la tecnología Doppler para observar la presencia de situaciones meteorológicas graves tales como tornados, huracanes y tormentas violentas, y calcular su velocidad y dirección del movimiento. Realiza también mediciones cuantitativas de la precipitación de una zona que son muy importantes en las predicciones hidrológicas de las posibles riadas. La capacidad de detección de condiciones meteorológicas graves y de su movimiento que ofrece este radar contribuye a aumentar la precisión y la rapidez de los servicios de alerta. Este radar es el más adecuado en la detección de situaciones meteorológicas graves que amenazan a la vida humana y las propiedades mediante la detección rápida de vientos peligrosos y la estimación de volúmenes de precipitación que se utilizan en las previsiones de caudales y riadas.

Estos radares constituyen una red integrada que abarca la totalidad de Estados Unidos de América, Guam, Puerto Rico, Japón, Corea del Sur, China y Portugal. La banda de 2700-3100 MHz ofrece características excelentes en cuanto a la meteorología y la propagación para la previsión del tiempo atmosférico y las posibilidades de alerta. Las mejoras planificadas de este radar servirán para prolongar su vida en servicio hasta el año 2040.

Anexo 2

Criterios de protección para radares

El efecto de desensibilización en los radares de radionavegación y meteorológicos de la interferencia de onda continua en banda ancha de tipo ruido se relaciona predeciblemente con su intensidad. En todo sector acimutal del que llegue dicha interferencia, su densidad espectral de potencia puede simplemente añadirse a la densidad espectral de potencia del ruido térmico del receptor radar, en una aproximación razonable. Si se denomina N_0 a la densidad espectral de potencia del ruido en el receptor radar en ausencia de interferencia e I_0 a la interferencia de tipo ruido, la densidad espectral de potencia de ruido efectiva resultante es simplemente la suma $I_0 + N_0$. Un aumento de 1 dB aproximadamente constituye una degradación significativa, equivalente a una reducción del alcance de detección del 6% aproximadamente. Un aumento de este tipo corresponde a $(I + N)/N$ de 1,26 o a I/N de -6 dB, aproximadamente. Esto representa el efecto acumulado admisible de múltiples fuentes de interferencia presentes; la I/N admisible para una fuente interferente individual depende del número de fuentes de interferencia y de su geometría, y se ha de evaluar a lo largo del análisis de una situación determinada.

El efecto de la interferencia impulsiva es más difícil de cuantificar y depende fuertemente del diseño de los receptores y el procesador, así como del modo de funcionamiento. En particular, las ganancias del procesamiento diferenciales para retornos de blanco válidos que son sincros con los impulsos, y los impulsos de interferencia que generalmente son asíncros, suelen tener efectos importantes en la repercusión de los niveles determinados de interferencia impulsiva. Este tipo de interferencia puede dar lugar a diversas formas distintas de degradación de la calidad. La evaluación de éstas será un objetivo de los análisis de interacciones entre tipos específicos de radares. En general, cabe esperar que las numerosas características de los radares de radionavegación contribuyen a suprimir la interferencia impulsiva de ciclo de trabajo pequeño, especialmente la procedente de algunas fuentes aisladas. Las técnicas de supresión de la interferencia impulsiva de ciclo de trabajo pequeño se describen en la Recomendación UIT-R M.1372 – Utilización eficaz del espectro radioeléctrico por las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación. Este enfoque estadístico puede ser muy pertinente en caso de señales no continuas.

Cabe observar que se están llevando a cabo estudios sobre la viabilidad de utilizar estadísticas y aspectos de funcionamiento en los criterios de protección para los sistemas de radares de radiodeterminación.

1 Criterios de protección para radares de radionavegación a bordo de barcos

Los sistemas de radionavegación pueden ser incapaces de satisfacer sus requisitos de funcionamiento si aparecen señales indeseadas que provocan diversos tipos de degradaciones debidas a la interferencia. Dependiendo de los sistemas específicos que interactúan y de las situaciones de funcionamiento, estos tipos pueden ser:

- efectos difusos; por ejemplo, desensibilización o disminución del alcance de detección, desvanecimientos o pérdidas de señal y reducción de la velocidad de actualización;
- efectos discretos; por ejemplo, interferencia detectada, incremento de la tasa de falsas alarmas.

Junto con estos tipos de degradación, los criterios de protección deben basarse en valores umbral de los parámetros; por ejemplo, para un sistema de prevención de colisiones:

- reducción tolerable del alcance de detección y desensibilización asociada;
- tasa tolerable de pérdida de exploración;
- máxima tasa tolerable de falsas alarmas;
- pérdida tolerable de blancos reales.

Estos criterios de protección y los valores umbral utilizados para obtenerlos, en los sistemas de radionavegación marítima, deben desarrollarse más ampliamente.

Los requisitos de funcionamiento de los radares a bordo de barcos varían en función de las circunstancias de utilización, que a su vez dependen de la distancia desde la costa y de los obstáculos en el mar. Para simplificar, los casos posibles pueden clasificarse en océano, costa, o puerto.

Todavía no existe un acuerdo internacional sobre los criterios de protección necesarios para los radares instalados en barcos en cada uno de los casos mencionados. Sin embargo, la Recomendación UIT-R M.1461 garantiza un nivel genérico de interferencia/ruido de -6 dB.

La OMI ha preparado una revisión de las normas de calidad de funcionamiento para radares a bordo de barcos, en la que se tienen en cuenta las especificaciones recientes de la UIT en cuanto a emisiones no deseadas. En la revisión de la OMI se reconoce por primera vez la posibilidad de que se produzca interferencia debido a otros servicios de radiocomunicaciones, y se especifican nuevos requisitos para la detección de blancos concretos en términos de la sección transversal del radar (STR) (fluctuación) y el alcance necesario, en función de la banda de frecuencias del radar. La detección de un blanco se basa en su determinación en al menos ocho de diez barridos y una probabilidad de falsa alarma de 10^{-4} . Estos requisitos de detección se especifican en ausencia de ecos parásitos de mar, precipitaciones y conductos de evaporación, y para una altura de antena de 15 m sobre el nivel del mar.

Y lo que es aún más importante, en su reciente actualización del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), las autoridades marítimas internacionales han afirmado sin reservas que el radar sigue siendo un dispositivo primordial para evitar las colisiones.

Esta declaración debe considerarse en el contexto de la incorporación obligatoria de sistemas de identificación automática (SIA) únicamente en los barcos indicados en la lista de la OMI sobre dispositivos obligatorios a bordo. Estos sistemas se basan en referencias externas; por ejemplo GPS, para la verificación de la posición relativa a fin de evitar colisiones.

Sin embargo, los equipos de tales sistemas no pueden en ningún caso percibir muchos objetos marítimos, tales como icebergs, desechos flotantes, restos de un naufragio, y otros navíos, que no incorporan un SIA. Estos objetos constituyen la causa potencial de colisiones con barcos, y deben detectarse con los radares a bordo de los mismos. Por consiguiente, en el futuro inmediato el radar seguirá siendo el sistema primario para evitar colisiones.

Tras intensas deliberaciones con las autoridades marítimas, incluidos los usuarios, se ha llegado a la conclusión de que durante las travesías marítimas no es aceptable la interferencia que no pueda controlarse mediante la reglamentación.

Entre tanto, se ha procedido a realizar ensayos y determinar los valores de la relación I/N en función de la probabilidad de detección que pueden admitir los radares modernos (véase el Anexo 3).

Anexo 3

Resultados de las pruebas de vulnerabilidad a la interferencia

Se han realizado pruebas de radares en Estados Unidos de América y en el Reino Unido para determinar la vulnerabilidad de los actuales radares de radionavegación empleados en los barcos con respecto a diferentes tipos de interferencia. Se realizaron pruebas con tres radares de radionavegación marítima que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz y cuyas características son similares a las especificadas en el Cuadro 4, con el fin de determinar su vulnerabilidad a la interferencia causada por diversos tipos de señales, en particular: modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (MDP-4), acceso múltiple por división de código (AMDC), AMDC de banda amplia múltiple por división de frecuencia ortogonal (MDFO) y señales de impulsos.

Los resultados de estas pruebas se presentan en forma de probabilidad de detección en función de la relación I/N para cada tipo de fuente de interferencia.

Cabe observar que no existen especificaciones para el receptor de los radares marítimos aprobadas por la UIT o por otro organismo internacional y, por consiguiente, no es de extrañar que existan receptores de características muy diversas en este entorno de funcionamiento. En los resultados de las pruebas se hace patente esta variedad y la degradación continua de la probabilidad de detección al aumentar el nivel de interferencia, así como un «umbral» a partir del cual el receptor ya no puede aceptar el nivel específico de interferencia basándose en una probabilidad de detección del 90% (en un solo barrido).

Estas diferencias son reales y existen en los radares utilizados actualmente.

1 Características de los radares de prueba

Cada radar de prueba pertenece a un tipo de categoría de la OMI. Las características de cada uno de estos radares (denominados A, B y C) se presentan en los Cuadros 5 a 7. Los valores nominales de sus principales parámetros se han obtenido de documentos de homologación reglamentaria, folletos comerciales y manuales técnicos. No se hicieron pruebas con radares de embarcaciones de recreo. Los receptores de los radares A y C utilizan un amplificador/detector logarítmico, mientras que el radar B emplea un amplificador logarítmico seguido de un detector de vídeo aparte. En las pruebas de todos los radares no estaban activadas las funciones de control de intervalo de sensibilidad (STC) ni de constante de intervalo rápida (FTC).

2 Características de la supresión de interferencia en el receptor del radar

Todos los radares utilizan sistemas de circuitos y procesamiento de señal para reducir la interferencia causada por otros radares que se encuentran en sus proximidades. El radar A dispone de un procesamiento de señal exhaustivo y funciones de rastreo del objetivo, en particular una característica local adaptativa de tasa de CFAR y una característica de correlación de barridos. Los radares B y C utilizan funciones de correlación de impulsos y barridos para reducir la interferencia causada por otros radares. Además, estos radares no disponen de procesamiento CFAR. En la Recomendación UIT-R M.1372 se describen estas técnicas de reducción de la interferencia.

3 Espectros de emisión de las señales interferentes

En las Figs. 1 a 3 se muestran los espectros de emisión de las señales interferentes. Salvo en el caso de la señal MDP-4 inyectada en el radar A y la señal MAQ inyectada en los otros radares, las demás señales interferentes se ajustaron para que coincidieran en el mismo acimut con la generación del

blanco. En todos los casos, las emisiones estaban sintonizadas con la frecuencia de funcionamiento de los radares.

CUADRO 5

Parámetros del transmisor y receptor del radar A

Parámetro	Valor			
Anchura del haz horizontal de la antena (grados)	1,9			
Frecuencia (MHz)	3 050 ± 30			
Potencia de impulso (kW)	30			
Alcance (millas náuticas)	0,375-1,5	3-6	12	24-96
Anchura del impulso (µs)	0,08	0,30	0,60	1,2
PRF (Hz)	2 200		1 028	600
Anchura de banda de FI (MHz)	28	3	3	3
Atenuación de la respuesta parásita (dB)	60			
Factor de ruido del sistema (dB)	4			
Anchura de banda en RF (MHz)	No se aplica			
Velocidad de barrido de la antena (r.p.m)	26			
Tiempo de barrido de la antena (s)	2,31			
Anchura del haz vertical de la antena (grados)	22			
Polarización	Horizontal			

CUADRO 6

Parámetros del transmisor y receptor del radar B

Parámetro	Valor			
Frecuencia (MHz)	3 050 ± 10			
Potencia de impulso (kW)	30			
Alcance (millas náuticas)	0,125-1,5	3-24	48	96
Anchura del impulso (µs)	0,070	0,175	0,85	1,0
PRF (Hz)	3 100	1 550	775	390
Anchura de banda de FI (MHz)	22	22	6	6
Atenuación de la respuesta parásita (dB)	No se aplica			
Factor de ruido del sistema (dB)	5,5			
Anchura de banda en RF (MHz)	No se aplica			
Velocidad de barrido de la antena (r.p.m)	24/48			
Anchura del haz horizontal de la antena (grados)	2,8			
Anchura del haz vertical de la antena (grados)	28			
Polarización	Horizontal			

CUADRO 7

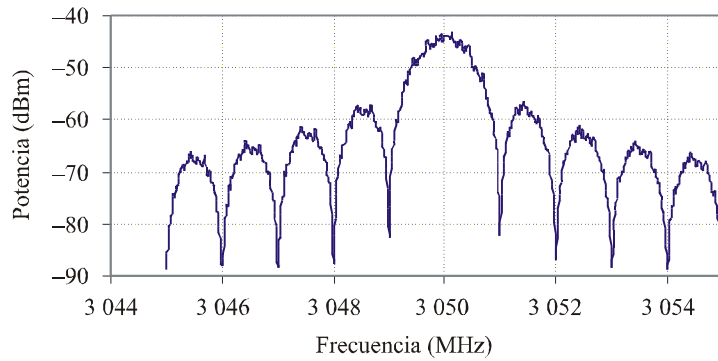
Parámetros del transmisor y receptor del radar C

Parámetro	Valor		
Frecuencia (MHz)	3 050 ± 10		
Potencia de impulso (kW)	30		
Alcance (millas náuticas)	0,125-3	6-24	48-96
Anchura del impulso (µs)	0,050	0,25	0,80
PRF (Hz)	1 800		785
Anchura de banda de FI (MHz)	20	20	3
Atenuación de la respuesta parásita (dB)	No se aplica		
Factor de ruido del sistema (dB)	4		
Anchura de banda en RF (MHz)	No se aplica		
Velocidad de barrido de la antena (r.p.m)	25/48		
Tiempo de barrido de la antena (s)	2,31		
Velocidad de barrido de la antena (r.p.m)	2,0		
Anchura del haz horizontal de la antena (grados)			

FIGURA 1

Espectro de emisión de la señal MDP-4

Señal MDP-4 de 2 Mbit/s

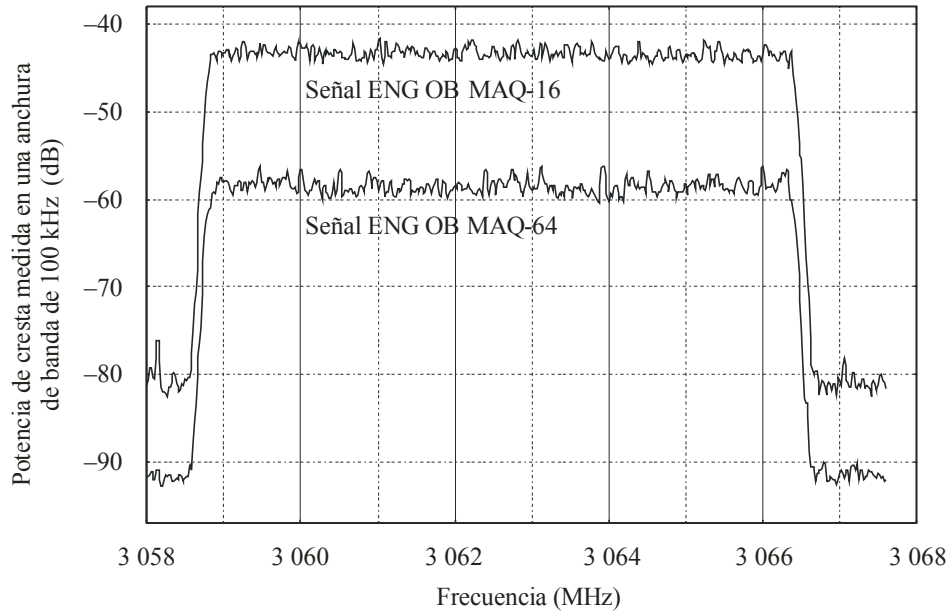


1460-01

FIGURA 2

Señales de periodismo electrónico (ENG)/radiodifusión en exteriores (OB) en modos de portadora de datos de MAQ-16 y MAQ-64 (ETSI 300 744)

Espectro de la señal ENG OB



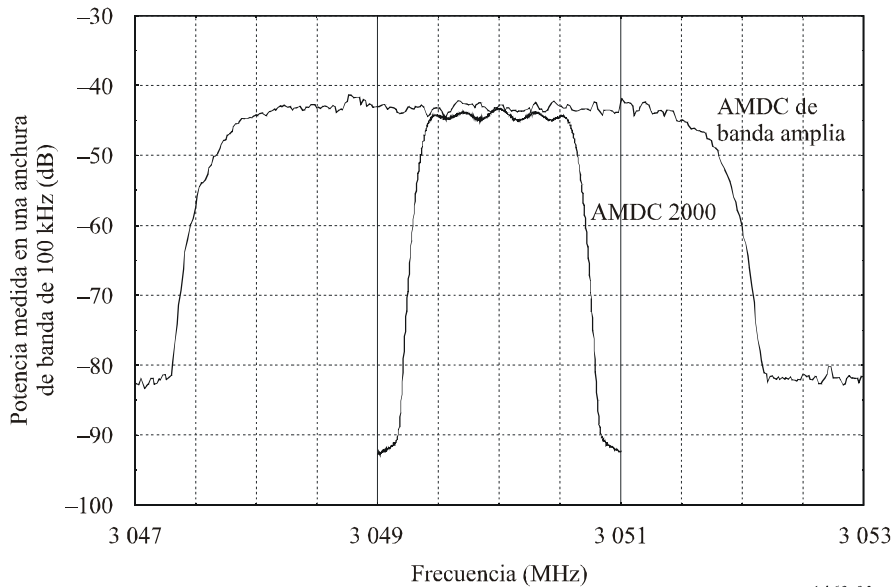
Nota – Las curvas del espectro están desplazadas en amplitud para mayor claridad gráfica.

1460-02

FIGURA 3

Señales AMDC de banda amplia europea y AMDC 2000 de Estados Unidos de América/Japón (enlace inverso)

Espectros de las señales AMDC de banda amplia y AMDC 2000



1460-03

4 Generación de blancos sin oscilaciones

Se utilizó una combinación de generadores de señales y formas de onda, generadores de señal de RF, circuitos discretos, un ordenador portátil, y otros componentes de RF (cables, acopladores, combinadores, etc.) para generar diez blancos equidistantes a lo largo de un radio de tres millas náuticas que tenían el mismo nivel de potencia de RF. El nivel de potencia de los blancos simulados se ajustó hasta lograr una probabilidad de detección de aproximadamente 90%. Los 10 impulsos de blanco resultantes de cada disparador del radar se producen dentro de un ciclo de una de las escalas de corto alcance del radar; es decir, un «barrido». Por consiguiente, los impulsos simulan 10 blancos a lo largo del radio; es decir, una sola marcación. Para ajustar la configuración del monitor, la potencia de RF del generador de blancos se fijó a un nivel tal que los 10 blancos fueran visibles a lo largo del radio sobre el monitor indicador de posición en el plano (ppi, *pixels per inch*) y de modo que los controles del vídeo del radar estén en posiciones representativas de funcionamiento normal. Los valores de referencia de las funciones informáticas que controlan el brillo, el color y contraste del blanco y del fondo fueron determinados experimentalmente por los operadores de las pruebas, con la colaboración de los fabricantes y marineros profesionales que tienen experiencia en estos tipos de radares en barcos de diversos tamaños. Una vez determinados, estos valores se utilizaron en todo el programa de prueba de esos radares.

El sistema de generación de blancos produce blancos sin oscilaciones; esto es, la STR es constante a cada distancia.

5 Resultados de las pruebas

5.1 Radar A

Las observaciones de los blancos de la imagen del vídeo en el ppi del radar se hicieron aplicando a su receptor emisiones del generador MDP-4. El nivel de potencia de la emisión MDP-4 se ajustó para que la apariencia del ppi del radar fuera igual a la de referencia.

El nivel de potencia de la forma de onda MDP-4 se ajustó dentro de una gama de valores a fin de determinar el nivel en el que las emisiones MDP-4 no afectaban negativamente a la representación de blancos en el monitor del radar. Los resultados muestran que los efectos de la señal MDP-4 son insignificantes en la pantalla ppi del radar, con un nivel de potencia de -112 dBm aproximadamente (medidos en una anchura de banda de 3 MHz). La potencia de ruido del receptor del radar es de unos -104 dBm. La relación I/N resultante es de -8 dB.

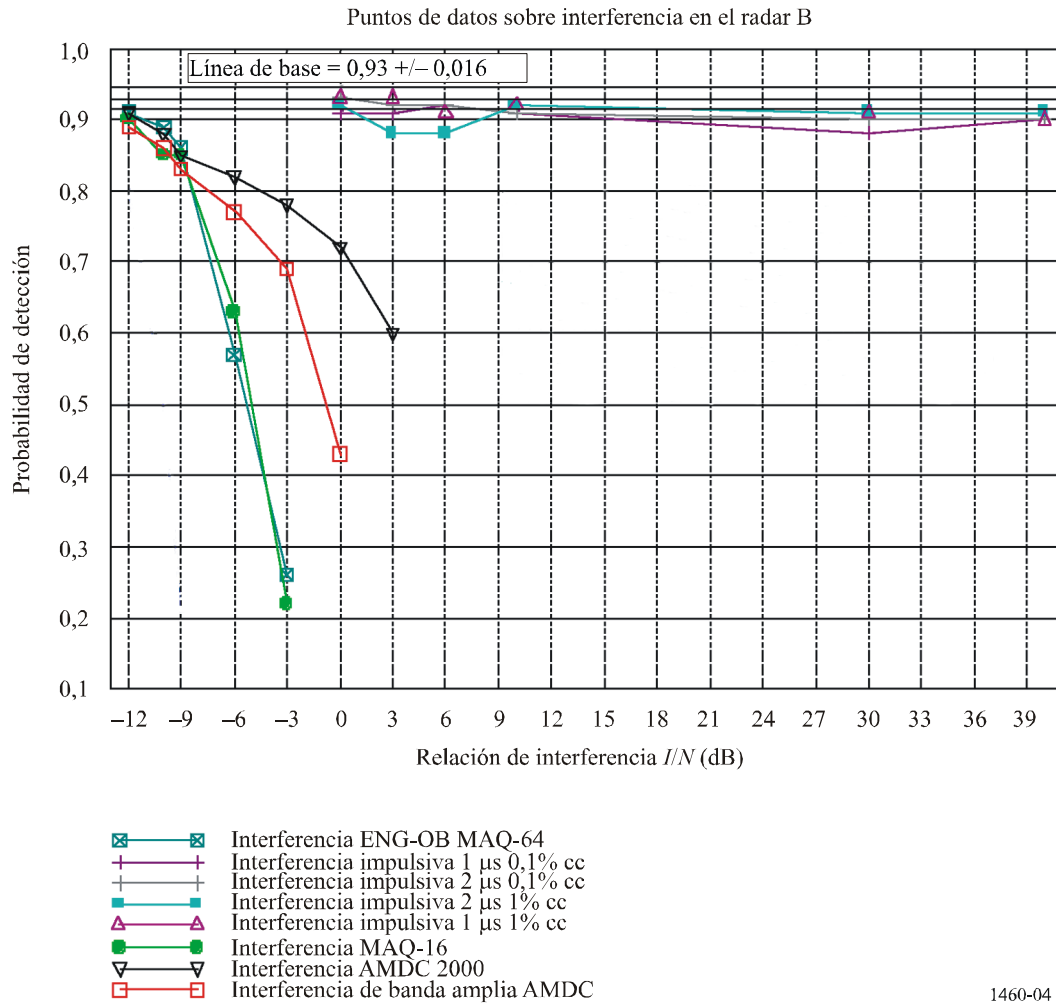
5.2 Radar B

Para el radar B fue posible observar los efectos de las señales no deseadas en cada uno de los blancos. Para cada señal no deseada, se pudo cuantificar la disminución del número de blancos visibles en el ppi al aumentar el nivel de I/N . Se contaron los blancos para cada nivel I/N y para cada tipo de interferencia. El cómputo de la (P_d , *probability of detection*) del blanco de referencia se realizó antes de comenzar cada prueba. Los resultados de las pruebas del radar B se muestran en la Fig. 4, que representa la P_d de los blancos en función del nivel de I/N para cada tipo de interferencia. La P_d de referencia en la Fig. 4 es de 0,93 con barras de error 1-sigma de 0,016 por encima y por debajo de ese valor. Obsérvese que cada punto en la Fig. 4 representa un total de 500 blancos deseados.

En la Fig. 4 puede verse que, salvo en el caso de la interferencia impulsiva, la P_d del blanco cayó por debajo de la P_d de referencia utilizada en estas pruebas un valor igual a la desviación típica para valores de I/N por encima de -12 dB en todas las señales no deseadas que emplean modulación digital.

FIGURA 4

Curva de Pd del radar B



5.3 Radar C

Para el Radar C resultó difícil cuantificar la disminución de la Pd de los blancos a medida que se aplicaba interferencia al receptor del radar. La interferencia causó el desvanecimiento de todos los blancos a la misma velocidad, independientemente de cuál fuera su posición en la línea en la que se encuentran los blancos. No fue posible hacer «desaparecer» los blancos por separado aumentando la potencia de interferencia, ni contar el número de blancos perdidos a fin de calcular la Pd. Por consiguiente, los datos tomados del Radar C indican si la aparición o no de todos los blancos se vio afectada en cada nivel de I/N para cada tipo de interferencia. Los datos correspondientes al Radar C se resumen en los Cuadros 8 y 9.

Los datos en el Cuadro 8 muestran que las señales MAQ no deseadas afectaron la visibilidad de los blancos en el ppi del radar C para un nivel de I/N de -9 dB. A ese nivel, el brillo de los blancos sobre el ppi se debilitó ligeramente con respecto a su estado de referencia. Para niveles de I/N de -6 dB se debilitaron aún más y para todos los niveles de I/N por encima de -3 dB los blancos se debilitaron tanto que ya no eran visibles en el ppi.

Los datos en el Cuadro 9 muestran que las señales AMDC no deseadas afectaron la visibilidad de los blancos en el ppi del radar C para un nivel de I/N de -6 dB. A ese nivel, el brillo de los blancos en el ppi se había debilitado considerablemente con respecto a su estado de referencia. Para niveles I/N de -3 dB y superiores, los blancos se debilitaron tanto que ya no eran visibles en el ppi.

En el radar C, la interferencia impulsiva de 2,0 μ s y 1,0 μ s con ciclos de trabajo de 0,1 y 1,0% no afectó la visibilidad de los blancos en el ppi al nivel más alto de I/N , a saber, 40 dB.

CUADRO 8

Radar C con interferencia continua causada por sistemas de periodismo electrónico y radiodifusión en exteriores

I/N (dB)	MAQ-64	MAQ-16
-12	Sin efectos	Sin efectos
-10	Sin efectos	Sin efectos
-9	Blancos levemente debilitados	Blancos levemente debilitados
-6	Blancos debilitados	Blancos debilitados
-3	Blancos invisibles	Blancos invisibles
0	Blancos invisibles	Blancos invisibles
3	Blancos invisibles	Blancos invisibles
6	Blancos invisibles	Blancos invisibles

CUADRO 9

Radar C con interferencia AMDC sincronizada

I/N (dB)	AMDC-BA	AMDC2000
-12	Sin efectos	Sin efectos
-10	Sin efectos	Sin efectos
-9	Sin efectos	Sin efectos
-6	Blancos debilitados	Blancos debilitados
-3	Blancos invisibles	Blancos invisibles
0	Blancos invisibles	Blancos invisibles
3	Blancos invisibles	Blancos invisibles
6	Blancos invisibles	Blancos invisibles

6 Resumen de los resultados de las pruebas

El objetivo de las pruebas de radares era determinar el nivel de I/N para el que la interferencia no produce efecto alguno en radares específicos que utilizan objetivos sin oscilación y fuentes de interferencia (es decir, el radar funciona en condiciones normales). En estas pruebas se observaron y/o contaron como blancos las muy conocidas «señales luminosas» o «vídeo amorfo» que genera el radar sin procesamiento.

Este nivel «sin efectos» se define como el nivel correspondiente a una probabilidad de detección del 90% y se resume a continuación en términos de I/N para cada radar y fuente de interferencia. Los resultados se resumen en el Cuadro 10. La determinación del nivel de interferencia admisible para estos tipos de radares puede ser un tanto subjetiva, dado que varía con la agudeza visual y la experiencia del operador del radar que realiza el cómputo de blancos en el ppi y determina el nivel de brillo de los blancos. No obstante, debido al diseño del radar, no existe otro modo de realizar estas pruebas distinto a la observación de los blancos en el ppi del radar por parte del operador o realizador de las pruebas.

CUADRO 10

Resumen de los resultados para blancos sin oscilaciones

Fuente de interferencia	Radar A	Radar B	Radar C
MDP-4	-8	-	-
MAQ-64	-	-10	-10
MAQ-16	-	-12	-10
Impulsos 0,1	-	+40	+30
Impulsos 1,0	-	+40	+30
AMDC2000	-	-10	-9
AMDC-BA	-	-10	-9

Cabe observar que existen otros efectos causados por la interferencia que pueden reducir la eficacia de funcionamiento del radar. Un ejemplo es la aparición de «blancos falsos». Los radares de barcos utilizados en las pruebas no disponían de procesamiento de CFAR. Solamente el radar A, que se emplea para funciones de reglamentación adicionales, disponía de procesamiento CFAR más sofisticado y podía mostrar blancos procesados/sintéticos.

Los resultados de estas pruebas demuestran que cuando las emisiones de los dispositivos que emplean modulación digital apuntan hacia un radar del tipo de los probados en esta Recomendación con una relación I/N de -6 dB, en algunos de los radares los blancos comienzan a debilitarse, a perderse o a aparecer blancos falsos. En otros radares, los efectos a este nivel de I/N ya se hubieran manifestado. Por el momento, no se hace ninguna recomendación sobre la I/N requerida en cualquier hipótesis específica distinta a la que ya se especificó ($I/N = -6$ dB).

Ninguno de los radares probados pertenecen a la categoría de embarcaciones de recreo, que son los más numerosos (actualmente, >2 000 000 unidades en todo el mundo). Los radares de esta categoría no disponen de funciones de procesamiento o circuitos de supresión de interferencias como los que incorporan los radares A, B y C, o de otras técnicas de reducción de la interferencia que se describen en la Recomendación UIT-R M.1372, por lo que pueden requerir mayor protección para cumplir los objetivos de anticolisión.

Las pruebas muestran que los radares pueden soportar interferencia impulsiva con un ciclo de trabajo pequeño a niveles altos de I/N gracias a que incorporan circuitería y/o procesamiento de señales que reducen la interferencia entre radares. Las técnicas de reducción de la interferencia entre radares basada en dispositivos de correlación entre exploraciones y entre impulsos y el procesamiento CFAR, descritos en la Recomendación UIT-R M.1372, han demostrado funcionar bastante bien. Sin embargo, estas mismas técnicas no sirven para disminuir las emisiones continuas que aparecen como ruido o como onda continua en el receptor del radar.

Dado que la mayoría de los radares marinos en la banda 2 900-3 100 MHz tienen un diseño y un funcionamiento muy similar, no parece probable que haya una gran diferencia entre los criterios de protección para éstos y los criterios que se obtuvieron de los radares utilizados en estas pruebas. Por consiguiente, estos resultados de las pruebas deben aplicarse a otros radares similares que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz.

Las autoridades que deseen llevar a cabo estudios de compartición, con objeto de compartir las bandas atribuidas, deben emplear estos resultados a título orientativo, habida cuenta de que los resultados de las pruebas que figuran en los § 5 y 6 y, en particular, en el Cuadro 10 corresponden al caso de blancos sin oscilaciones. Si las pruebas se hubiesen realizado para blancos con oscilaciones, probablemente se habrían obtenido resultados diferentes.
