

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1460\*

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y OPERACIONALES Y CRITERIOS DE PROTECCIÓN  
DE LOS RADARES DE RADIODETERMINACIÓN Y METEOROLÓGICOS  
EN LA BANDA 2 900-3 100 MHz**

(Cuestiones UIT-R 226/8 y UIT-R 216/8)

(2000)

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 y meteorológicos vienen determinadas por la misión del sistema y varían ampliamente incluso dentro de una banda;
- c) que el servicio de radionavegación es un servicio de seguridad, tal como se especifica en el número S4.10 del RR, y no puede aceptarse el que se le cause interferencia perjudicial;
- d) que desde la CAMR-79 se han eliminado o degradado atribuciones considerables de espectro (equivalente a unos 1 GHz) a la radiolocalización y la radionavegación;
- e) que algunos grupos técnicos del UIT-R están considerando la posibilidad de introducir nuevos tipos de sistemas (por ejemplo, el acceso fijo inalámbrico y los sistemas fijos y móviles de gran densidad) o servicios en las bandas comprendidas entre 420 MHz y 34 GHz utilizadas por los radares de radiodeterminación y meteorológicos;
- f) que se requieren características técnicas y operacionales representativas de los radares de radiodeterminación y meteorológicos a fin de determinar la viabilidad de la introducción de nuevos tipos de sistemas en las bandas de frecuencia en que éstos funcionan;
- g) que se necesitan procedimientos y metodologías para analizar la compatibilidad entre los radares de radiodeterminación y meteorológicos y los sistemas de otros servicios;
- h) que la Cuestión UIT-R 216/8 pide que se realicen estudios sobre la compatibilidad entre los dos servicios de radiodeterminación en las bandas de frecuencias 2 900-3 300 MHz y 5 350-5 650 MHz;
- j) que las estaciones de radar de los servicios de radionavegación, radiolocalización, y ayudas a la meteorología funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz,

*observando*

- a) que las características técnicas y operacionales de los radares de radionavegación marítima que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz figuran en la Recomendación UIT-R M.1313;
- b) 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;
- c) que se prevé que las características técnicas y operacionales de los radares de radionavegación aeronáutica 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,

---

\* 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 (AISM) y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

*recomienda*

- 1 que las características técnicas y operacionales de los radares de radiodeterminación y meteorológicos descritas en el Anexo 1 y en las Recomendaciones de los *observando* a), b) y c) como representativas de los que funcionan en la banda de frecuencias 2 900-3 100 MHz;
- 2 que se emplee la Recomendación UIT-R M.1461 como guía en el análisis de compatibilidad entre los radares de radiodeterminación y meteorológicos 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 y meteorológicos y que esta cifra represente el nivel de protección neto si hay múltiples fuentes interferentes presentes.

NOTA 1 – Esta Recomendación será revisada cuando se disponga de información más detallada.

## ANEXO 1

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

**1 Introducción**

Muchos radares transportables y a bordo de barcos funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz. Los radares de radiolocalización se examinan en los § 2 a 4. Los radares de radionavegación se examinan brevemente en el § 5 y los radares meteorológicos son objeto del § 6. Los criterios de interferencia o protección de los radares figuran en el § 7.

**2 Características técnicas de los radares de radiolocalización**

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° 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°	600 kW entre 5,5° 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°
Anchura del impulso/subimpulso del transmisor ( $\mu$ 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 $\mu$ 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

CUADRO 1 (Continuación)

Características	Radar N.º 1	Radar N.º 2	Radar N.º 3
Anchura de banda a 3 dB del transmisor	Anchura de impulso 10 µs: 100 kHz aproximadamente Anchura de impulso 4,6 µs: 225 kHz aproximadamente Anchura de impulso 2,5 µs: 700 kHz aproximadamente	Normal y MTI: 300 kHz/ subimpulso Modulación de impulso: 300 kHz Combustión: 34 kHz	Anchura de impulso 10 µs: 100 kHz aproximadamente Anchura de impulso 4,6 µs: 225 kHz aproximadamente Anchura de impulso 2,5 µs: 700 kHz aproximadamente
Anchura de banda a 20 dB del transmisor		Normal y MTI: 2 MHz/ subimpulso Modulación de impulso: 700 kHz Combustión: 240 kHz	
PRI (µs) <sup>(1)</sup>	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 (µs)		Modo normal: 5 120 Modo 5º: 4 977 MTI de 3 impulsos y largo alcance: 5º: 4 357 45º: 6 760 MTI de 4 impulsos y corto alcance: 5º: 10 534 45º: 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 explo- raciones 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 (0,5º/MHz)	4,1 MHz (0,39º/MHz)	2,25 MHz (0,5º/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 Vídeo coincidente: 12,5 Últimas unidades: 8, 6, 4	4 y 8	8, 6 y 4

CUADRO 1 (Fin)

Características	Radar N.º 1	Radar N.º 2	Radar N.º 3
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 <sup>(2)</sup>	200 MHz (estimada)	≥ 200 MHz	200 MHz
Anchura de banda de FI del receptor <sup>(2)</sup>	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 <sup>(3)</sup>
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 ( $\leq 16$ 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 $\mu$ 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 <sup>2</sup>	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 <sup>(1)</sup>	Variable desde: 3 772 µs en el horizonte a 1 090 µs a 18°, excepto 1 090 µs para MTI	Fijo: 4 082, 4000 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 <sup>2</sup>	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 vídeo 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 vídeo 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

<sup>(1)</sup> 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 se han utilizado los siguientes términos y abreviaturas:

$\Leftrightarrow$ :	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
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 características de observación mediante la que muestrean 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 el servicio de radiolocalización tiene actualmente atribuciones en esta banda que son de carácter secundario, mientras que el servicio de radionavegación tiene atribuciones de tipo primario, y también 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 (véase, por ejemplo, la Recomendación UIT-R M.1313). 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 las 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

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 10 000 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

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 en la banda 2 900-3 100 MHz**

La Recomendación UIT-R M.1313 ofrece las características de los radares de radionavegación marítima.

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.

Un informe extraoficial indica que la banda 2 900-3 100 MHz se utiliza también por los sistemas de radionavegación aeronáutica al menos en ocho países de Europa y sus proximidades. Ello queda corroborado en particular por el hecho de que se han registrado en la UIT radares de radionavegación aeronáutica en veinte emplazamientos de Francia y en uno de los Países Bajos. Estas inscripciones se refieren evidentemente a radares primarios, pues todos ellos muestran potencias de cresta comprendidas entre 0,6 MW y 2,0 MW y la mayoría de ellos tienen coordenadas idénticas para los emplazamientos de transmisión y de recepción, si bien estas inscripciones contienen numerosas anomalías, tales como indicaciones de que las antenas tienen una ganancia de 0 dBi y/o que no giran.

Aun así, todavía no ha sido posible determinar 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 1 215-1 400 MHz, es probable que toda utilización para la radionavegación aeronáutica de la banda 2 900-3 100 MHz se refiera principalmente a la vigilancia aeroportuaria o al control de aproximación terminal. Parece que la banda 2 900-3 100 MHz se utiliza para el control del tráfico aéreo civil únicamente cuando la banda 2 700-2 900 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 2 700-2 900 MHz. Se espera en principio que los radares utilizados para la radionavegación aeronáutica en la banda 2 900-3 100 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 2 700-2 900 MHz. En la medida en que algunos de ellos pueden parecerse a los radares que funcionan en la banda 2 700-2 900 MHz, sus características se describen en la Recomendación UIT-R M.1464. Se está evaluando de forma constante la utilización específica de la banda 2 900-3 100 MHz para la radionavegación aeronáutica.

## **6 Características técnicas y operacionales de los radares meteorológicos en la banda 2 900-3 100 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 2 700-2 900 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 2 900-3 100 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 2 700-3 100 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.

## 7 Criterios de protección

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 una relación  $(I + N)/N$  de 1,26 o a una relación  $I/N$  de -6 dB, aproximadamente. Esto representa el efecto acumulado admisible de múltiples fuentes de interferencia presentes; la relación  $I/N$  admisible para una fuente interferente individual depende del número de fuentes de interferencia y de su geometría, y se ha de evaluar a lo largo del análisis de una situación determinada. Si se recibiese interferencia de onda continua de la mayoría de las direcciones acimutales, se produciría una reducción de la zona de vigilancia del 12% aproximadamente para un radar de búsqueda de superficie o una reducción del volumen de vigilancia del 19% aproximadamente para un radar de búsqueda aérea; habría que mantener una relación  $I/N$  inferior.

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 sincrónicos con los impulsos, y los impulsos de interferencia que generalmente son asincrónicos, 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.

---