

## INFORME UIT-R M.2032\*

**Pruebas de compatibilidad entre los radares de radionavegación marítima y las emisiones de los radares de radiolocalización en la banda 2 900-3 100 MHz**

(2003)

**1 Introducción**

Se han efectuado pruebas sobre dos radares de radionavegación marítima representativos con una atribución primaria en la banda 2 900-3 100 MHz para valorar los efectos sobre aquéllos de las emisiones características de los radares de radiolocalización con una atribución secundaria en dicha banda. En este Informe los radares de radionavegación marítima utilizados en estas pruebas se identifican como radares A y B<sup>1</sup>. Las pruebas se realizaron por separado en dos ensayos. En el primer ensayo, las emisiones de radiolocalización se simularon por medio de generadores de señal con impulsos sin modulación intrapulso que se aproximaban a las emisiones de los radares de radiolocalización del tipo P0N descritos en la 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.

En el segundo ensayo, se realizaron las pruebas con emisiones del tipo P0N con impulsos más anchos y ciclo de trabajo más alto, que ya no son representativos de los radares definidos en la Recomendación UIT-R M.1460. Se utilizó asimismo la reconstrucción analógica de la grabación digital de las emisiones de un radar de radiolocalización de frecuencias escalonadas con características y parámetros semejantes a los del radar 2 de la Recomendación UIT-R M.1460, como excitación no deseada de uno de los radares marítimos.

Este Informe describe cómo se llevaron a cabo los dos ensayos de la prueba y sus conclusiones.

**2 Objetivos**

Los objetivos de la prueba fueron los siguientes:

- cuantificar la capacidad del proceso de rechazo de interferencia de los radares de radionavegación marítima característicos para atenuar los impulsos P0N asíncronos indeseados procedentes de las emisiones de radares de radiolocalización, en función de su ciclo de trabajo, anchura de impulso y nivel de potencia;

---

\* Este Informe respalda el texto de la Reunión Preparatoria de Conferencias (RPC) relativo al punto 1.17 del orden del día de la CMR-03.

<sup>1</sup> En estas pruebas se consideraron radares de impulsos para radionavegación marítima con anchuras de impulsos, frecuencias de repetición de impulsos (FRI), anchuras de banda, factores de ruido y anchuras de haces de las antenas característicos de los definidos en la Recomendación UIT-R M.1313. Estos radares suelen emplear técnicas y métodos de proceso de reducción de la interferencia definidos en la Recomendación UIT-R M.1372 para poder funcionar en presencia de otros radares de radionavegación y radiolocalización. Las técnicas de reducción citadas son relativamente asequibles en la actualidad por la disponibilidad de electrónica digital de procesamiento de señal de gran eficacia y bajo costo que se utiliza asimismo en una gran variedad de funciones de los radares de navegación. Los radares de radionavegación marítima más antiguos y menos complejos tal vez no dispongan de capacidades de rechazo de interferencia del mismo nivel que las que suelen ostentar los radares de la categoría de la Organización Marítima Internacional (OMI) definidos en la Recomendación UIT-R M.1313 – Características técnicas de los radares de radionavegación marítima.

- cuantificar la capacidad del proceso de rechazo de interferencia de los radares de radionavegación marítima representativos de reducir las señales no deseadas procedente de los radares de radiolocalización de frecuencia escalonada;
- observar y cuantificar la eficacia de las técnicas de rechazo de interferencia de los radares de radionavegación marítima representativas destinadas a reducir el número de blancos falsos, ya sea en forma de líneas radiales (estroboscópicas) o de «granularidad» moteada;
- observar y cuantificar la repercusión en la atenuación de la interferencia de la aplicación a las emisiones de los radares de radiolocalización de modulación de los diagramas de sus antenas.

### 3 Radares probados

El radar A es un sistema más antiguo pero el B se introdujo recientemente (en torno al 2000). Los valores nominales de los principales parámetros de ambos radares se obtuvieron de documentos reglamentarios de homologación, folletos comerciales y manuales técnicos, y se presentan en los Cuadros 1 y 2.

CUADRO 1

#### Parámetros de transmisión y recepción del radar A

Parámetro	Radar A (antiguo)		
Frecuencia (MHz)	3 050 ± 30		
Potencia del impulso (kW)	60		
Alcance (millas náuticas)	0,25-3	6-12	24-64
Anchura del impulso (µs)	0,06	0,50	1,0
FRI (Hz)	3 600	1 800	900
Anchura de banda de FI (MHz)	22	4	4
Rechazo de respuesta no esencial (dB)	40		
Factor de ruido del sistema (dB)	10		
Anchura de banda de RF (MHz)	100		
Velocidad de exploración de la antena (r.p.m.)	33		
Tiempo de exploración de la antena (s)	1,8		
Anchura de banda horizontal de la antena (grados)	1,25		
Polarización	Horizontal		

Otros valores interesantes son el tiempo de permanencia en el blanco del haz principal de la antena y el correspondiente número de impulsos sobre el blanco durante la permanencia del haz principal. El Cuadro 3 muestra dichos valores. Para cada frecuencia de repetición de impulsos, estos valores se obtienen a partir de los parámetros de los Cuadros 1 y 2.

Antes del comienzo de las pruebas los técnicos alinearon los radares a fin de lograr una calidad de funcionamiento óptima.

CUADRO 2

**Parámetros de transmisión y recepción del radar B**

Parámetro	Radar B (moderno)			
Frecuencia (MHz)	3 050 ± 30			
Potencia del 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
FRI (Hz)	2 200		1 028	600
Anchura de banda de FI (MHz)	28	3	3	3
Rechazo de respuesta no esencial (dB)	60 <sup>(1)</sup>			
Factor de ruido del sistema (dB)	4			
Anchura de banda de RF (MHz)	Desconocida			
Velocidad de exploración de la antena (r.p.m.)	26			
Tiempo de exploración de la antena (s)	2,31			
Anchura de banda horizontal de la antena (grados)	1,9			
Polarización	Horizontal			

<sup>(1)</sup> La medición mostró que el rechazo de la respuesta no esencial era de 44 dB.

CUADRO 3

**Parámetros derivados de los radares de radionavegación marítima objeto de la prueba**

Parámetro	Radar A	Radar B
Tiempo sobre el blanco (ms)	6,3	12
Impulsos sobre el blanco	23 11 6	23 13,4 7,3

**3.1 Características comunes a los radares**

Los dos radares marítimos son esencialmente semejantes. Ambos tienen transmisores de magnetrón. Ambos pueden transmitir impulsos cuya anchura oscila entre 0,06 (ó 0,08) μs y 1,0 (ó 1,2) μs. Ambos utilizan varias anchuras de banda de FI, correspondientes a las distintas anchuras de impulso. Ambos radares pueden funcionar con escalas de alcance que pueden ir desde una fracción de milla náutica hasta un máximo de 64 a 96 millas náuticas (aproximadamente 118-178 km). Ambos tienen una frecuencia nominal de funcionamiento de 3 050 MHz. Ambos tienen un tiempo de exploración de la antena próximo a 2 s y una anchura de haz horizontal comprendida entre 1° y 2°. Ninguno de estos radares dispone de indicador de blanco móvil ni otro tipo de proceso de señal basado en Doppler. Ambos radares disponen de una función que rechaza la interferencia de impulsos asíncronos.

Ambos radares utilizan amplificadores logarítmicos de FI y acoplamiento en corriente alterna (c.a.) en el trayecto de la señal de vídeo, lo que utilizan prácticamente todos los radares de navegación marítima. Estas opciones de diseño obedecen aparentemente a la conclusión, establecida en 1956, de que la fluctuación de la señal detectada en envolvente debida al retorno de eco con una distribución de Rayleigh es esencialmente independiente de la intensidad del eco (o del efecto de la

distancia) cuando la señal se procesa en un amplificador logarítmico seguido de un acoplamiento en c.a.<sup>2</sup>. En la práctica, las fluctuaciones de la señal del eco de retorno provocado por la lluvia y el mar se apartan ligeramente del modelo de Rayleigh, con el resultado de que la fluctuación del valor eficaz (r.m.s.) varía con la intensidad del eco y la distancia al mismo, aunque menos que si se utilizase un receptor lineal o uno logarítmico con acoplamiento en corriente continua (c.c.).

Es muy importante destacar que ambos radares tienen capacidad de procesamiento para rechazar la interferencia de impulsos asíncronos. La forma de procesar el rechazo de la interferencia, del radar B es algo diferente de la del radar A, pero el proceso se inspira en los mismos principios en ambos radares. El radar A compara el contenido de una determinada célula de distancia de cada intervalo de repetición de impulsos (PRI, *pulse repetition interval*) con el contenido de la misma célula del PRI anterior, y muestra en pantalla un punto (o eco) sólo si ambas células contienen detecciones. En el proceso del radar B se anotan los niveles de señal en tres barridos consecutivos en vez de en dos. Para una distancia determinada, si la amplitud del impulso de la señal supera el del PRI anterior y el siguiente en una cantidad excesiva, sustituye la amplitud por la media ponderada de los valores del PRI anterior y del siguiente. En la versión del radar B probada en el primer ensayo, la diferencia admisible entre la amplitud de señal en el PRI actual y en las amplitudes de los PRI anterior y siguiente era ajustable. En el segundo ensayo de la prueba, se revisaron los programas informáticos que controlaban la función del rechazo de la interferencia para que sólo el operador pudiese desactivarlos. El valor por defecto del sistema es que el control del rechazo de la interferencia esté activado.

La Fig. 1 muestra casos típicos de impulsos asíncronos con la amplitud utilizada en las pruebas actuales (2  $\mu$ s) como aparecen en los sucesivos barridos de distancia de un radar de radionavegación semejante al radar A y al radar B cuando funcionan en el rango de distancias utilizado en las pruebas actuales. El diagrama muestra asimismo algunos de los impulsos que devolvería un blanco real a una distancia (2,37 millas náuticas, o sea 4,39 km) equivalente a un retardo de ida y vuelta de 29,25  $\mu$ s. (Se muestran exageradamente largos por las limitaciones del programa informático utilizado para generar el diagrama; su longitud real sería un octavo de la representada.) En las condiciones que prevalecieron en las pruebas, un blanco puntual se reflejaría en 23 barridos del haz principal de la antena, de los que sólo aparecen 12 en el diagrama. Como los reflejos reales de los blancos son sincrónicos, todos los reflejos caen dentro de la misma célula de distancia.

Ambos radares disponen de control temporal de sensibilidad (STC, *sensitivity time control*), seleccionable por el usuario, que atenúa el intenso eco de retorno del mar desensibilizando el receptor para cortas distancias aunque no para largas distancias. Ambos radares disponen asimismo de una constante de tiempo rápida (FTC, *fast time constant*), seleccionable por el usuario, que diferencia la señal de vídeo y se utiliza para discriminar el eco de la lluvia.

### 3.2 Diferencias entre las características de los radares A y B

#### 3.2.1 Diferencias de mayor importancia

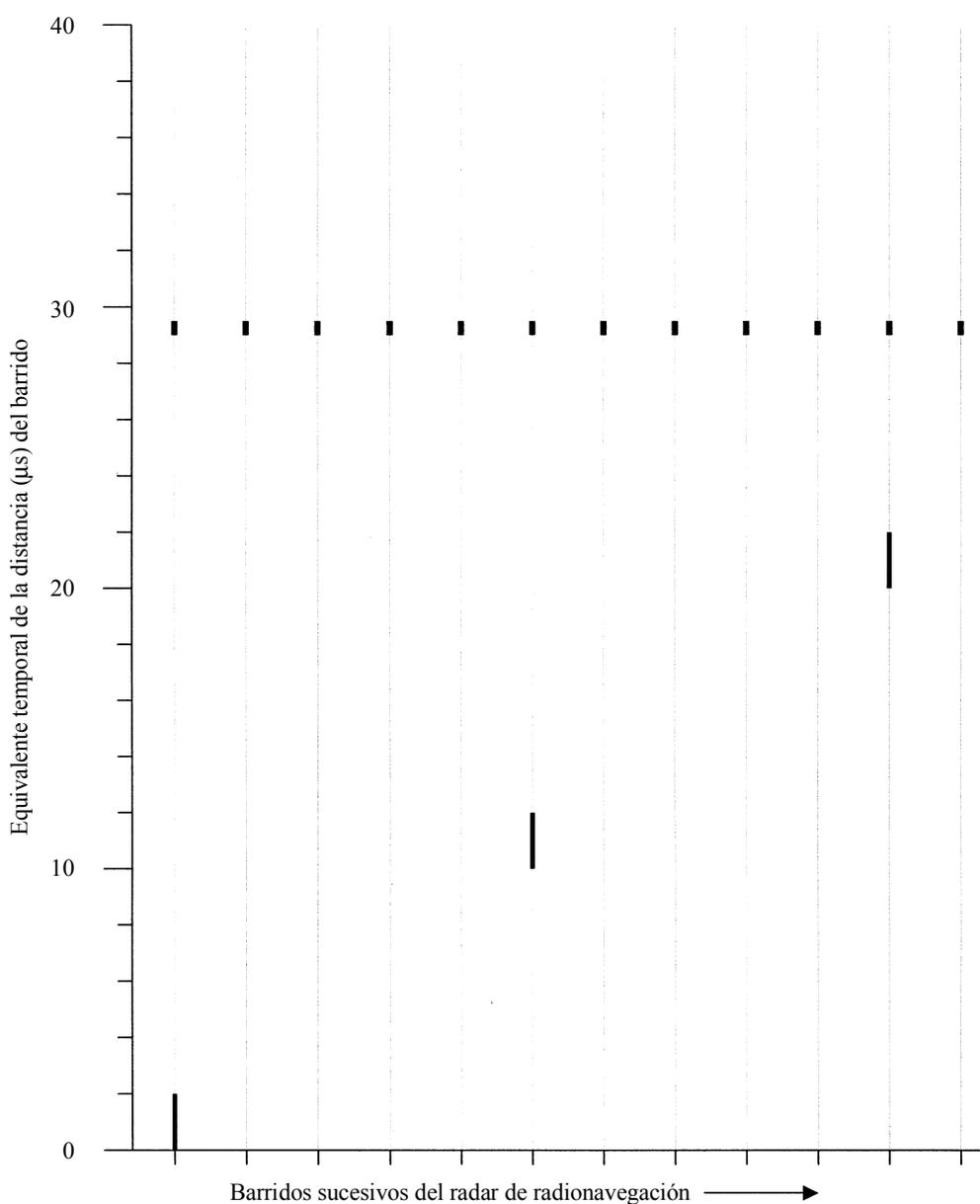
El radar B tiene un preamplificador de RF con un factor de ruido nominal de 4 dB, mientras que el radar A no tiene, al parecer, preamplificador de RF y su factor de ruido oscila entre 9,3 y 11 dB. El radar B dispone de un proceso de señal más completo y de mejor capacidad de seguimiento de los blancos, incluida la función local adaptable de tasa de falsa alarma constante (CFAR, *constant false alarm rate*) y una función de correlación de exploraciones sucesivas, de las que no dispone el

---

<sup>2</sup> CRONEY, J. [abril de 1956] Clutter on radar displays. *Wireless Eng.*, p. 83-96.

radar A. La CFAR local (que actúa en una pequeña fracción del barrido de distancia) es del tipo conocido como CFAR estadística ordenada, que permite la reducción o evitación del efecto desensibilizador de los impulsos interferentes. En este tipo de CFAR, se puede rechazar un número seleccionable de muestras de señal de fondo (contenidos de intervalos de distancia), de modo que sólo las restantes (especialmente las de mayor intensidad) puedan utilizarse para establecer el umbral de detección. Este proceso rechaza las muestras que tienen mayor amplitud de modo que cuanto más muestras se rechazan menor es la influencia que pueden tener los impulsos de gran amplitud sobre la sensibilidad de detección de blancos válidos.

FIGURA 1  
**Manifestación de impulsos asíncronos de 2  $\mu$ s en los barridos del radar y en las células de distancia**



El radar B también puede llevar a cabo un proceso de correlación de exploraciones sucesivas como medio adicional de discriminar entre señales que estén presentes constantemente, como las de los blancos válidos, y las señales que aparezcan aleatoriamente, tales como las de la interferencia de impulsos asíncronos.

La mayor complejidad de las capacidades de procesamiento de señal del radar B obedece a los progresos de la microelectrónica digital, incluido el abaratamiento de costos, que ha tenido lugar en los últimos años con posterioridad al diseño del radar A. La implementación de este proceso de CFAR local requiere una importante cantidad de memoria digital, imposible de obtener cuando se desarrolló el radar A. Se prevé que los futuros diseños de radares de radionavegación marítima mejoren también estas características.

### 3.2.2 Diferencias de menor importancia

Ambos radares presentan asimismo diferencias más sutiles. Aunque ambos radares disponen de amplificadores logarítmicos de FI, el radar A utiliza redes de diodos para efectuar la conformación logarítmica en el amplificador de FI, mientras que el radar B utiliza una configuración de amplificador/detector logarítmicos; es decir utiliza varias etapas de FI de ganancia logarítmica cada una de las cuales está asociada a un detector de envolvente. Las salidas de los amplificadores y detectores de FI se suman para proporcionar una señal de vídeo con una característica logarítmica.

El Cuadro 4 resume las semejanzas y diferencias entre los radares de radionavegación marítima A y B.

CUADRO 4

#### Semejanzas y diferencias entre los radares de navegación marítima A y B

Característica	Radar A	Radar B
Situación de la electrónica del transmisor y del receptor	Bajo cubierta	Pedestal de la antena
Tipo de amplificador de FI	Amplificador logarítmico	Amplificador/detector logarítmicos
Acoplamiento de vídeo	c.a.	c.a.
STC	Sí (ajustable por el operador)	Sí (ajustable por el operador)
FTC	Sí (ajustable por el operador)	Sí (ajustable por el operador)
Rechazo de impulsos asíncronos (Rechazo de la interferencia)	Comparación entre dos impulsos	Comparación entre tres impulsos con sustitución (véase el texto)
Control automático de ganancia	Sí (seleccionable)	Sí (seleccionable)
Sintonización automática	No	Sí
Preamplificador de RF	No	Sí
Control de velocidad de falsa alarma	Manual	CFAR local adaptable (sólo para blancos sintéticos)
Correlación de exploraciones sucesivas	No	Activa sobre símbolos de blancos sintéticos
Intensidad de visualización	2 niveles no nulos	Hasta 15 niveles no nulos
Tipo de pantalla	Exploración radial en tiempo real	Exploración por trama
Persistencia	Determinada por el fósforo del tubo de rayos catódicos (TRC)	Variable

### 3.3 Anchura de banda de FI y mediciones del factor de ruido de los receptores de los radares A y B

El umbral mínimo de ruido del receptor de radar se calculó como  $kTB$  más el factor de ruido, siendo  $B$  la anchura de banda de FI de 3 dB del radar.

#### 3.3.1 El radar A

La anchura de banda de FI de 3 dB medida fue de 21,3 MHz cuando el radar se dispuso para el funcionamiento a corta distancia (distancias entre 0,25 y 3 millas náuticas, equivalentes aproximadamente a 0,46-5,56 km). Esto corresponde estrictamente a las especificaciones de un apartado de los manuales técnicos del radar.

En el radar A, el factor de ruido medido en el receptor fue de 11 dB, 1 dB mayor que la especificación de un manual técnico (10 dB) y 1,7 dB mayor que la especificación de otro manual técnico (9,3 dB). El umbral mínimo de ruido del radar A se calculó en  $-90$  dBm.

#### 3.3.2 El radar B

En el radar B se efectuaron mediciones adicionales para caracterizar más adecuadamente su respuesta en FI. Entre estas mediciones se incluyó la determinación de la respuesta entrada/salida midiendo la selectividad de FI (para una distancia de 3 millas náuticas) y el factor de ruido.

Como se ha indicado anteriormente, el radar utiliza un amplificador/detector logarítmico de FI multietapa. La prueba puso de manifiesto que el radar presenta un rechazo de hasta 70 dB para las frecuencias desintonizadas de la banda 2 900-3 100 MHz, presentando asimismo un elevado margen dinámico. El margen dinámico del radar se muestra en la Fig. 2, a continuación, mientras que la respuesta de la electrónica de FI en un punto de prueba de salida de vídeo con el radar preparado para una distancia de 3 millas náuticas (5,56 km) se muestra en la Fig. 3.

FIGURA 2  
Margen dinámico del radar B

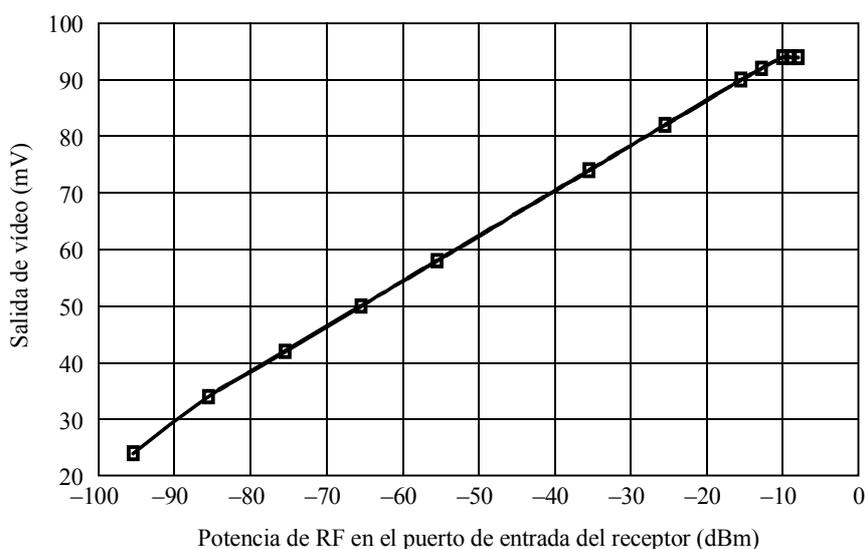
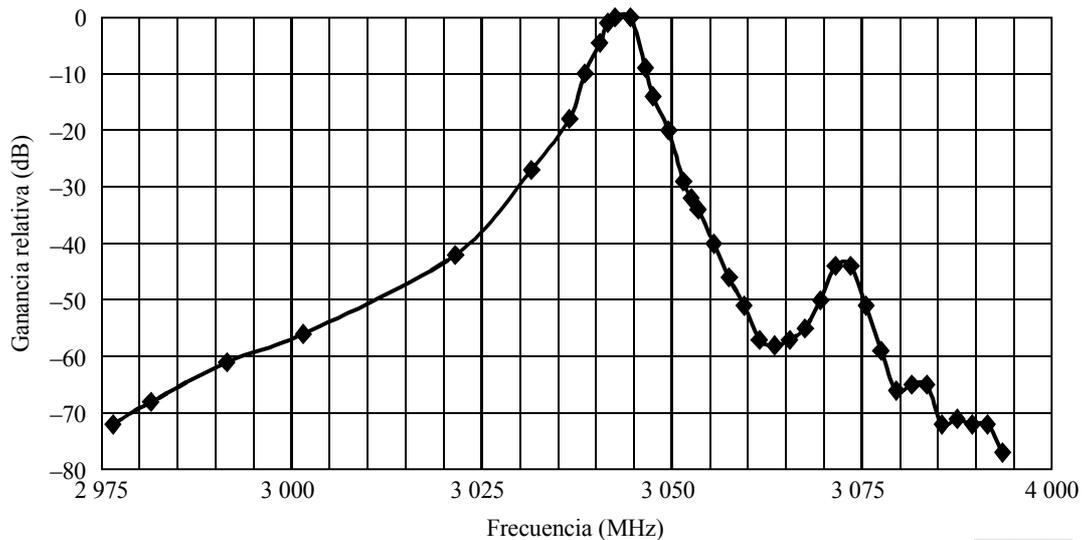


FIGURA 3  
Selectividad del radar B en FI



Rap 2032-03

Las mediciones efectuadas en un nivel de vídeo ligeramente superior al nivel de la señal visible mínima del impulso medio pusieron de manifiesto una respuesta no esencial, visible en la Fig. 3, que se suprimía en 44 dB aproximadamente a 30 MHz por encima de la frecuencia sintonizada. No hay razones que permitan suponer que esta respuesta no esencial tenga repercusión alguna sobre las conclusiones de estas pruebas. No obstante, los radares de radionavegación con respuestas no esenciales pueden ser sensibles a señales continuas desintonizadas.

Se midió la figura de ruido del radar B, y se obtuvo el valor de 5,3 dB, coherente con el valor nominal de 4 dB. El cálculo del umbral mínimo del radar B dio como resultado  $-104$  dBm.

### 3.4 Pantallas de vídeo y blancos de los radares A y B

El radar A tiene dos niveles de intensidad no nulos para visualizar las detecciones, mientras que el radar B tiene 3 ó 15, dependiendo de la selección del operador. El radar A utiliza un indicador de posición en plano (PPI, *plan position indicator*) de barrido radial y muestra los blancos como «ecos» de vídeo amorfo no procesado (lo que se denomina pantalla de imagen). Por consiguiente, la «imagen» del radar se muestra en tiempo real; se incorporan nuevos barridos mientras los anteriores siguen visualizándose aunque con intensidad decreciente. La persistencia de las pantallas de los radares antiguos se consigue gracias a las características del fósforo de los TRC (con la salvedad de que el ajuste del brillo puede modificar la percepción visual de la persistencia). El radar A no muestra en pantalla símbolos de vídeos sintéticos, pero amplía los impulsos de retorno en la porción exterior del área de visualización para mejorar su visibilidad.

El radar B a su vez, tiene una pantalla de tramas: se procesan los retornos del radar digitalizados y se almacenan en memoria los resultados; el contenido de la pantalla de trama sintética se monta en base a los resultados almacenados; la pantalla de tramas sólo se actualiza tras el paso de muchos barridos desde la recepción del retorno del radar. En vez de avanzar gradualmente en torno a la pantalla, en barridos sucesivos, la pantalla del radar B avanza por sectores del orden de  $15^\circ$  simultáneamente. La persistencia de la pantalla la ajusta el operador.

El radar B tiene la posibilidad de mostrar diversos tipos de blancos en distintas combinaciones. El radar puede mostrar «ecos» amorfos, blancos sintéticos que aparecen como una «o» y/o blancos rastreados que aparecen como una «x». El brillo de los blancos de la imagen de vídeo corresponde

al nivel del retorno del blanco. Los blancos que exhiben un «eco» más brillante devuelven un eco mayor. Los blancos sintéticos requirieron entre 2 y 3 dB de potencia deseada adicional en comparación con los blancos de vídeo sin procesar, para obtener la misma probabilidad de detección funcionando al nivel de señal detectable mínima (MDS, *minimum detectable signal*) aunque su brillo no cambiaba en función de la intensidad de la señal reflejada.

## 4 Medición de la calidad de funcionamiento

### 4.1 Presentación de la prueba de emisiones indeseadas

Estas pruebas se refieren principalmente a la influencia de las señales de impulsos asíncronos procedentes de los radares de radiolocalización en la generación de falsas alarmas, la probabilidad de detección de blancos válidos y la visibilidad de los blancos válidos detectados entre las falsas alarmas. La simulación de los blancos válidos se explica en el § 4.2. La potencia de salida de RF del generador de blancos simulados se ajustó inicialmente para producir detecciones de blancos estacionarios coherentes con una determinada probabilidad de detección. A continuación se inyectaron en el radar señales de impulsos asíncronos junto con los blancos simulados y se observaron y fotografiaron con una cámara digital los efectos de dichos impulsos asíncronos sobre la visibilidad de los blancos mostrados. Los blancos simulados y las señales de radiolocalización indeseadas se inyectaron directamente en el receptor de navegación marítima, sin acoplo a través de la antena de este último.

Los resultados de la prueba se expresaron en términos de relación de potencia de la señal indeseada a la potencia del ruido del sistema, denominada relación  $I/N$ . Se efectuaron observaciones para numerosas relaciones  $I/N$  correspondientes a emisiones PON indeseadas y a la señal de frecuencia escalonada. Se efectuaron asimismo observaciones de las emisiones PON para diversos ciclos de trabajo.

### 4.2 Generación de los blancos

Los blancos se simularon mediante los instrumentos que se muestran en la Fig. 4. La salida del generador de blancos simulados se muestra en la Fig. 5.

FIGURA 4

Montaje del equipo de prueba utilizado para simular retornos de blancos e inyectar señales indeseadas

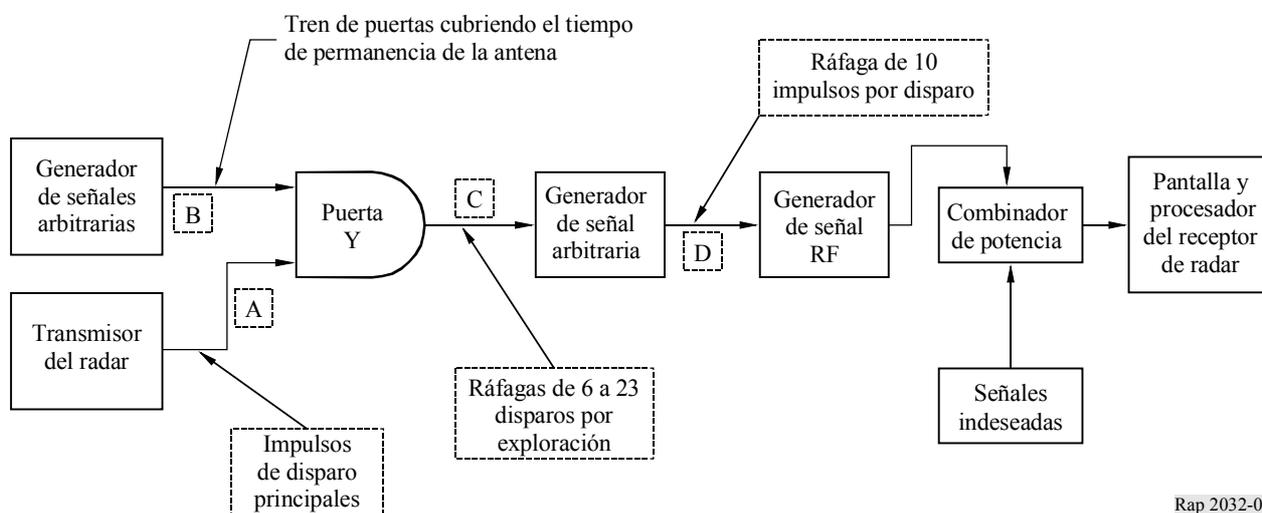
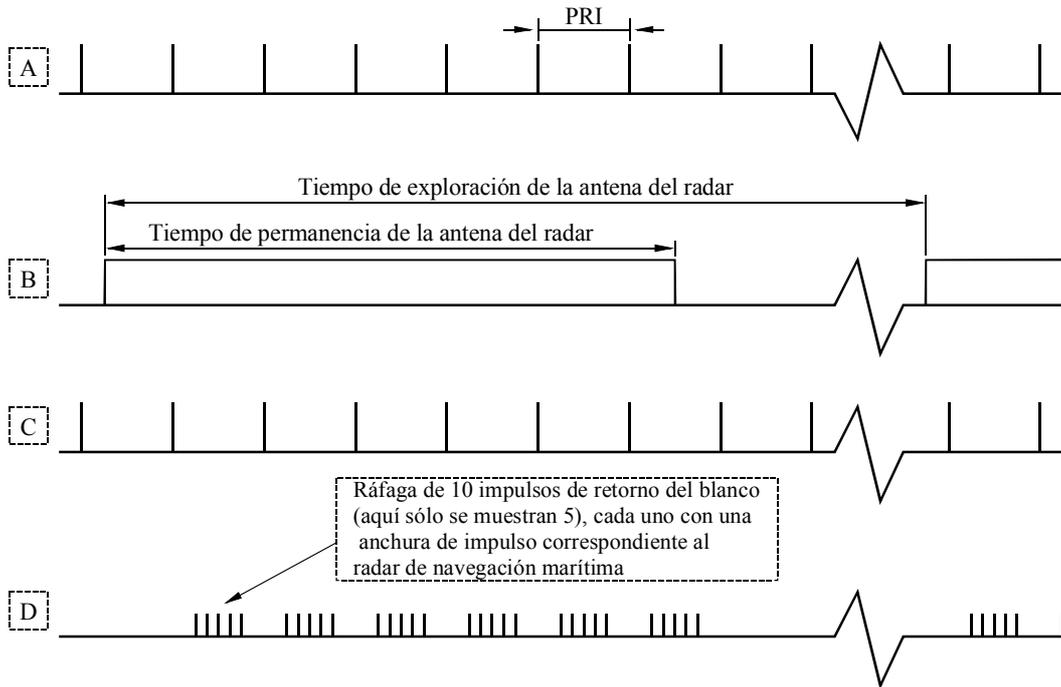


FIGURA 5  
Señales típicas en los puntos A, B, C, y D de la Fig. 2



Rap 2032-05

Para activar el generador de blancos simulados se utilizó el tren de impulsos de disparo del transmisor (A). Para producir los impulsos de puerta (B) que representaban el efecto modulador de amplitud del retorno de los blancos debido al haz de la antena se utilizó un generador de impulsos libre. Estos impulsos controlaban la entrada del tren de disparos del transmisor mediante un circuito de puerta Y, produciendo ráfagas (C) de impulsos de disparo con un número de impulsos por ráfaga comprendido entre 6 y 23. Cada uno de los impulsos de disparo se aplicaba a un generador de señales arbitrarias, que retrasaba el disparo adecuadamente y generaba una ráfaga de nueve o diez impulsos (D), cada uno de los cuales tenía una anchura de uno de los impulsos cortos o largos del radar (normalmente  $0,06$  ó  $1,0 \mu\text{s}$  en el radar A y  $0,08$  ó  $1,2 \mu\text{s}$  en el radar B). Sólo se generaron nueve impulsos en algunas de las pruebas de frecuencia escalonada, pero en los demás se generaron diez; en este sentido el texto se refiere a «diez impulsos» o «diez blancos». Los diez ocurrían dentro de un «barrido» del radar; es decir dentro de la fracción visible de un PRI. Cada uno de dichos impulsos, a su vez, modulaba un generador de señal de RF funcionando a una frecuencia próxima a los  $3050 \text{ MHz}$  para producir un tren de impulsos que simulaba el retorno de un blanco. La frecuencia específica del generador de la señal de RF se ajustaba para maximizar la respuesta del radar simulando de este modo impulsos de retorno desde blancos reales cuando el oscilador local del receptor se ajustaba adecuadamente.

Los diez impulsos del blanco activados por cada uno de los disparos del radar tienen lugar dentro del tiempo de retorno de una de las escalas de distancia del radar. Por consiguiente, los impulsos simulan diez blancos situados en un radio, es decir en una única marcación.

Los diez blancos simulados uniformemente separados (nueve de ellos durante algunas de las pruebas de frecuencia escalonada) se generaron a lo largo de un radio con el radar funcionando a la distancia de 3 millas náuticas ( $5,56 \text{ km}$ ). A esta distancia, el radar A establece automáticamente la amplitud del impulso en  $0,06 \mu\text{s}$  con una FRI de  $3600$  impulsos por segundo (pps) y el radar B establece automáticamente la anchura de impulso en  $0,30 \mu\text{s}$  con una FRI de  $2200$  pps. A esta distancia el radar A utiliza una anchura de banda de  $22 \text{ MHz}$  mientras que el radar B utiliza una anchura de banda de FI de  $3 \text{ MHz}$  aproximadamente. Se efectuaron asimismo algunas pruebas

adicionales sobre el radar B seleccionando manualmente una anchura de impulso de 80 ns, lo que provocó la selección por parte del radar de una anchura de banda de FI mayor.

La potencia de RF del blanco (es decir, el nivel de señal de los retornos del blanco simulado) se ajustó de modo que, en ausencia de señales indeseadas, los diez blancos se detectaran marginalmente como «ecos» uniformemente espaciados en la pantalla PPI del radar con los controles del vídeo del radar en posiciones representativas del funcionamiento normal. En 20 exploraciones consecutivas aproximadamente, 9 de los 10 blancos, por término medio, se hicieron visibles en la radial. Los blancos son visibles como «ecos» en las fotografías del PPI y del radar incluidas en las Figuras de los § 4.3 y 5 del presente Informe. La frecuencia de repetición de impulsos del generador de blancos se ajustó de modo que éstos aparecieran en el mismo acimut en exploraciones consecutivas del PPI. En ciertas pruebas del radar B, se generaron asimismo los blancos como blancos en anillo sin control de puerta.

### 4.3 Señales indeseadas

Se utilizaron dos tipos de señales de radiolocalización para representar a las señales indeseadas en estas pruebas, un tipo de emisión P0N genérica sintonizada y una señal de frecuencia escalonada. La señal indeseada P0N se probó en los radares A y B. La señal de frecuencia escalonada se utilizó únicamente para excitar el radar B.

La emisión de tipo P0N sintonizada utilizaba impulsos con anchuras entre 2 y 10  $\mu$ s y ciclos de trabajo de 0,1, 1, 5 y 10%. Estos impulsos eran asíncronos con respecto a los impulsos del blanco generados. Los impulsos P0N se inyectaron de dos maneras. En la primera, se aplicaron como un tren continuo de impulsos que simulaba la señal indeseada y aparece en todos los acimuts en todo momento. Esto representa un entorno grave. En la segunda manera, la señal P0N se controló mediante una puerta de modo que los impulsos sólo se aparecían dentro del haz horizontal del radar marítimo en el acimut de generación de blancos. Las señales P0N controladas por puerta representan un caso más real que simula al radar marítimo «mirando» con su haz principal a otro radar de radiolocalización.

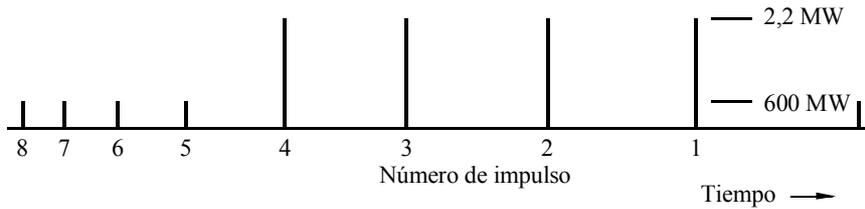
La segunda señal de radiolocalización consistió en una reconstrucción analógica de la grabación digital de las señales de un radar que transmitía impulsos de frecuencia escalonada de 27  $\mu$ s funcionando con las características y parámetros semejantes a los del radar 2 de la Recomendación UIT-R M.1460 y que se mencionará como radar 2 de radiolocalización en este Informe. La Fig. 6, muestra un diagrama de las relaciones entre la temporización de los impulsos, su potencia, frecuencia y el ángulo de elevación del radar 2 de radiolocalización. Obsérvese que hay escalones de frecuencia dentro de cada impulso (que la Fig. 6 simplifica mostrándolos como bandas continuas) así como de un impulso al siguiente.

Se midieron asimismo los diagramas de antena en el plano horizontal de dos radares 2 de radiolocalización en el instante de grabación de sus emisiones. Un diagrama se midió a 3 050 MHz, que es la frecuencia nominal de los radares de navegación marítima de la banda S. A dicha frecuencia el haz principal del radar se eleva, de modo que el diagrama horizontal consiste en un corte del lóbulo lateral, cuya máxima intensidad ocurre aproximadamente en el acimut del haz principal elevado. El otro se midió a 2 957 MHz, que es la frecuencia a la que el haz principal del radar 2 de radiolocalización se encuentra en el horizonte.

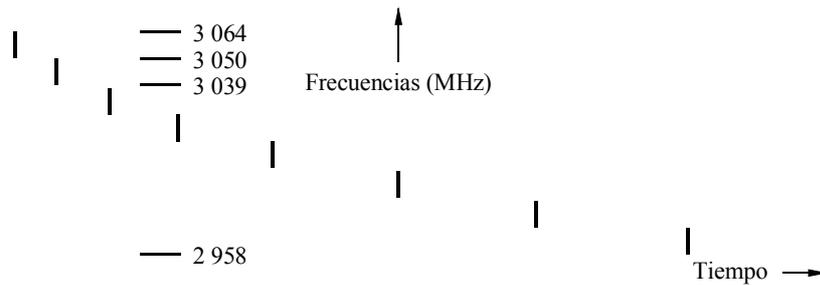
En pruebas anteriores se midió asimismo el diagrama del plano horizontal de la antena del radar B. Se obtuvieron diagramas de ganancia recíproca de las antenas a 2 957 y 3 050 MHz a partir de los diagramas del radar 2 de radiolocalización y del radar B que muestran la intensidad del acoplamiento de antena entre ambos radares. Estos diagramas se muestran en las Figs. 7 y 8 para 2 957 MHz y 3 050 MHz, respectivamente.

FIGURA 6

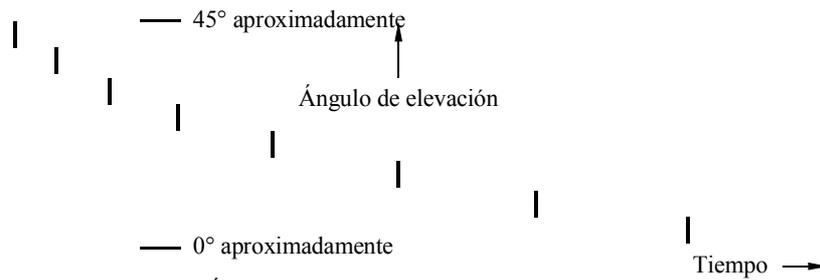
**Diagramas de tiempos del radar 2 de radiolocalización**



a) Amplitud del radar de radiolocalización en función del tiempo



b) Frecuencia de la portadora del radar de radiolocalización en función del tiempo



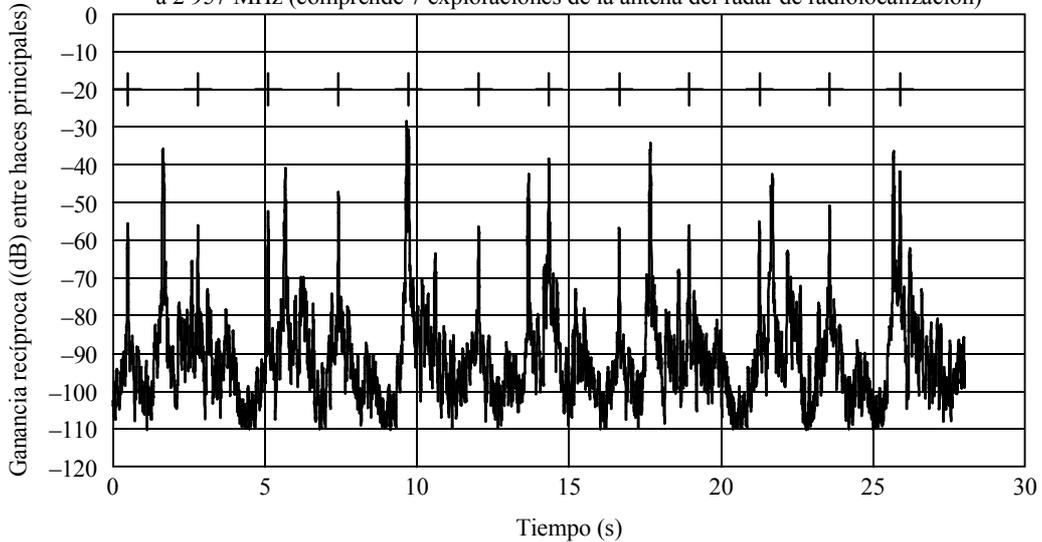
c) Ángulo de elevación del radar de radiolocalización en función del tiempo

Rap 2032-06

FIGURA 7

**Diagrama de ganancia recíproca de las antenas a 2 957 MHz**

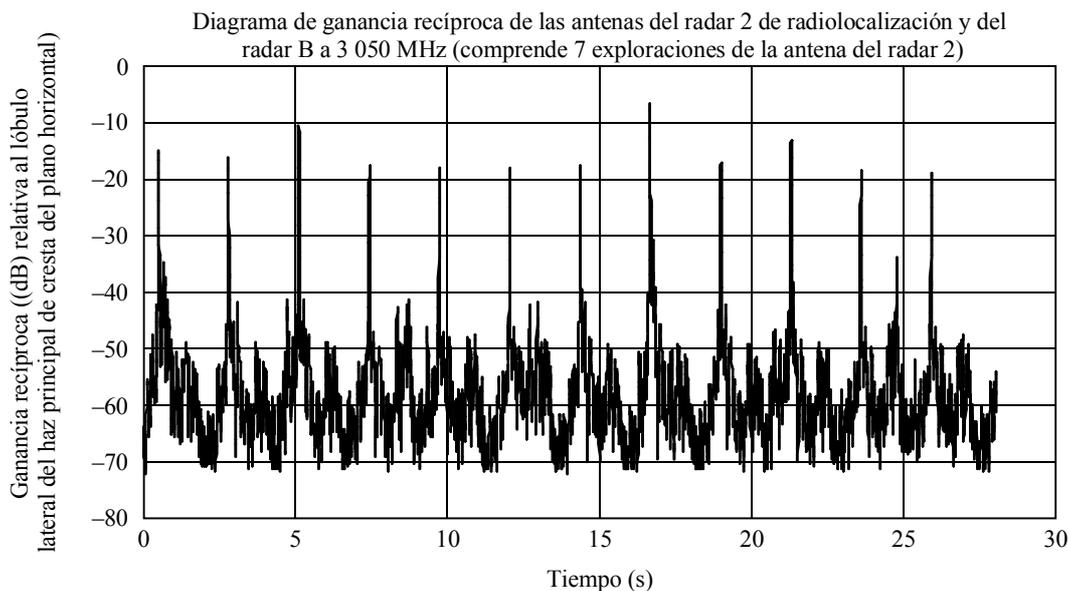
Diagrama de ganancia recíproca de las antenas del radar 2 de radiolocalización y del radar B a 2 957 MHz (comprende 7 exploraciones de la antena del radar de radiolocalización)



Rap 2032-07

FIGURA 8

**Diagrama de ganancia recíproca de las antenas a 3 050 MHz**



Rap 2032-08

En la Fig. 7, el signo + señala las crestas del haz principal del radar 2 de radiolocalización; si se estudia detenidamente se advierte que ninguna de dichas crestas coincide con las otras, debidas principalmente al haz principal del radar marítimo B. Por consiguiente, no suele producirse el acoplamiento entre haces principales. Este diagrama y el correspondiente a 3 050 MHz (véase la Fig. 8) se utilizaron para modular los trenes de impulsos de frecuencia escalonada indeseada en algunas de las pruebas).

Obsérvese que los niveles de referencia de 0 dB de las Figs. 7 y 8 representan las máximas ganancias recíprocas posibles en las respectivas frecuencias. A 2957 MHz (Fig. 7) 0 dB representa el producto de la ganancia del haz principal de ambos radares, ya que ambos tienen haces principales en el horizonte a dicha frecuencia. Sin embargo, a 3 050 MHz, 0 dB representa el producto del máximo lóbulo lateral del plano horizontal por la máxima ganancia de haz del radar de navegación marítima. Cualquiera de estas conjunciones constituiría un acontecimiento extremadamente improbable, como lo indican las Figs. 7 y 8.

**4.4 Resumen de las condiciones de prueba**

Las pruebas se efectuaron utilizando en los radares de radionavegación marítima los parámetros mostrados en el Cuadro 5.

CUADRO 5

**Valores de control de los radares A y B**

Parámetro	Valor
Anchura del impulso (ns)	Radar A 60, radar B 300
STC	Desactivado
FTC	Desactivada (por defecto)
Rechazo de la interferencia	Activo (por defecto) e inactivo
Control automático de ganancia	Activo (por defecto)
Imagen seleccionada	Vídeo sin procesar («imagen») y/o blanco sintéticos <sup>(1)</sup>
Escala de distancias	3 millas náuticas

<sup>(1)</sup> Los blancos sintéticos sólo se utilizan en el radar B.

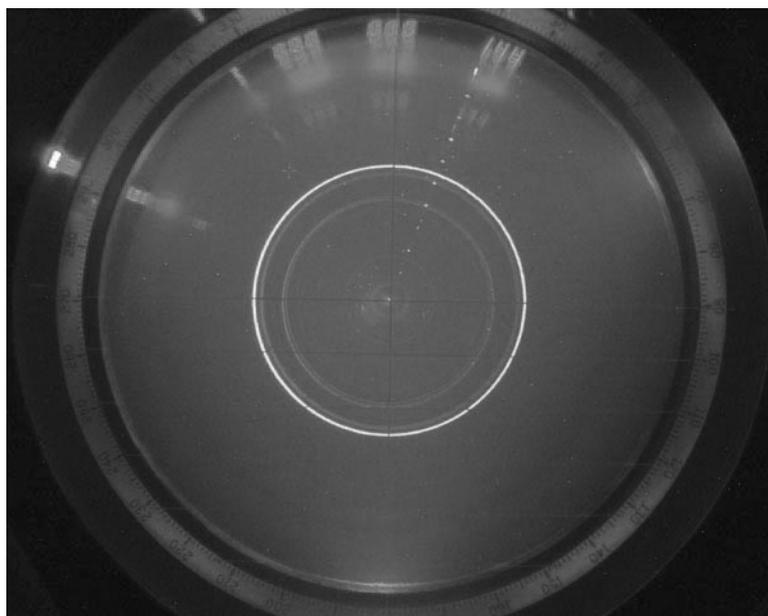
Como la función de rechazo de interferencia está activada por defecto en ambos radares, la mayor parte de las pruebas se efectuaron en dichas condiciones. No obstante, algunas pruebas se efectuaron con esta función desactivada a fin de calibrar mejor su eficacia. Se seleccionó la escala de distancias de 3 millas náuticas (5,56 km) porque es la que se suele utilizar a efectos anticolidión en los puertos y para la navegación por vías navegables interiores.

#### 4.5 Procedimientos de prueba

La potencia de salida de RF del sistema generador de blancos se ajustó de modo que la probabilidad de detección del blanco fuera del 90% aproximadamente en ausencia de señales de radiolocalización. Para el radar A este valor fue aproximadamente de  $-81$  dBm en el puerto receptor del circulador. Para el radar B este valor fue de  $-90$  dBm aproximadamente a la entrada de la guíaonda del receptor entre la antena y la etapa de RF y del mezclador. Las Figs. 9 y 10 muestran fotografías digitales de los estados básicos de funcionamiento (sin inyección de señal de radiolocalización) del PPI para los radares A y B, respectivamente. Obsérvese que los blancos en vídeo no elaborado aparecen en un radial a  $20^\circ$  aproximadamente en el radar A y a  $320^\circ$  en el radar B. En la pantalla del radar B son también visibles los ecos locales de los edificios y un ligero granulado.

FIGURA 9

Estado básico del radar A con blancos de vídeo a  $20^\circ$

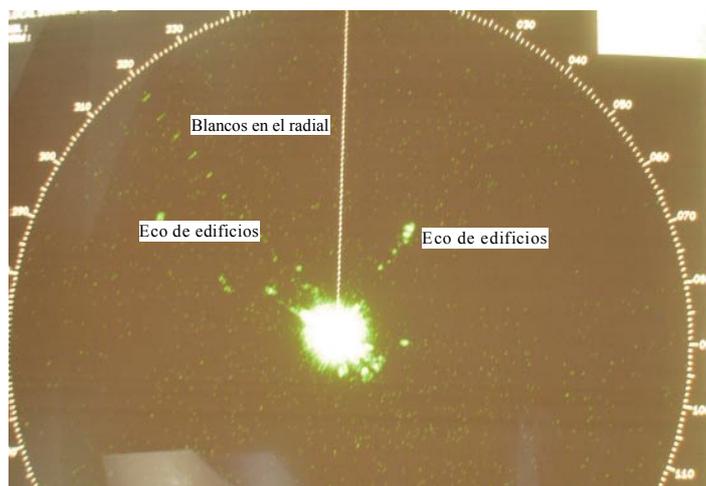


Rap 2032-09

Tras poner los radares en condiciones básicas, se inyectaron emisiones de radiolocalización indeseadas en sus receptores. El nivel de potencia de la señal de radiolocalización indeseada se varió mientras se mantenía fijo el nivel de potencia de los blancos. Al variar el nivel de potencia de la radiolocalización, se observó en la pantalla del radar una disminución de la probabilidad de detección del blanco y un aumento del número de blancos falsos. Éstos aparecen como líneas radiales («estroboscópicas») en ciertos casos y como un incremento de la densidad de los «ecos» puntuales o «granularidades» en otros casos.

FIGURA 10

Estado básico del radar B con blancos de vídeo a 320°



Rap 2032-10

## 5 Resultados de la prueba

### 5.1 Radar A con señal de radiolocalización P0N indeseada

Las observaciones de los blancos de imagen de vídeo en la pantalla del radar A tuvieron lugar mientras se aplicaban a su receptor emisiones P0N sintonizadas de 2  $\mu$ s con relaciones de trabajo de 0,1 y 1% para relaciones  $I/N$  de 20 a más de 80 dB. Los impulsos se inyectaron asincrónicamente como un tren de impulsos continuo. La función de rechazo de interferencia se activó y se desactivó. Las relaciones  $I/N$  se determinaron restando los valores del umbral mínimo de ruido definidos en el § 3.3 del nivel de la señal de radiolocalización aplicada.

A pesar de la escasa potencia reflejada por el blanco, la probabilidad de detección de éste era prácticamente independiente de la señal de impulsos asíncronos, incluso con elevadas relaciones de potencia de los impulsos indeseados a potencia de ruido del sistema. Esto sucedió con independencia de la activación o desactivación de la función de rechazo de interferencia. No obstante, la detección de blancos podría enmascarse (es decir confundirse) por las falsas alarmas cuando se forzase la función de rechazo de interferencia a la posición de desconexión (el valor por defecto es el de rechazo de interferencia activado).

Los resultados de estas pruebas muestran que el control del rechazo de interferencia repercute considerablemente sobre la capacidad de funcionamiento del radar en presencia de impulsos de interferencia. Con la función del rechazo de interferencia activada, la pantalla contenía muy pocas detecciones de fondo localizadas al azar de forma aislada, que reciben el nombre de granularidad. Por contra, cuando se desactivaba el rechazo de interferencia a propósito, se podía apreciar la granularidad de fondo incluso cuando no se inyectaban señales de impulsos indeseados. Más importante aún es que mientras estuvo activa la función del rechazo de interferencia, no se detectaron impulsos indeseados, aunque se inyectaron con relaciones muy elevadas de  $I/N$ .

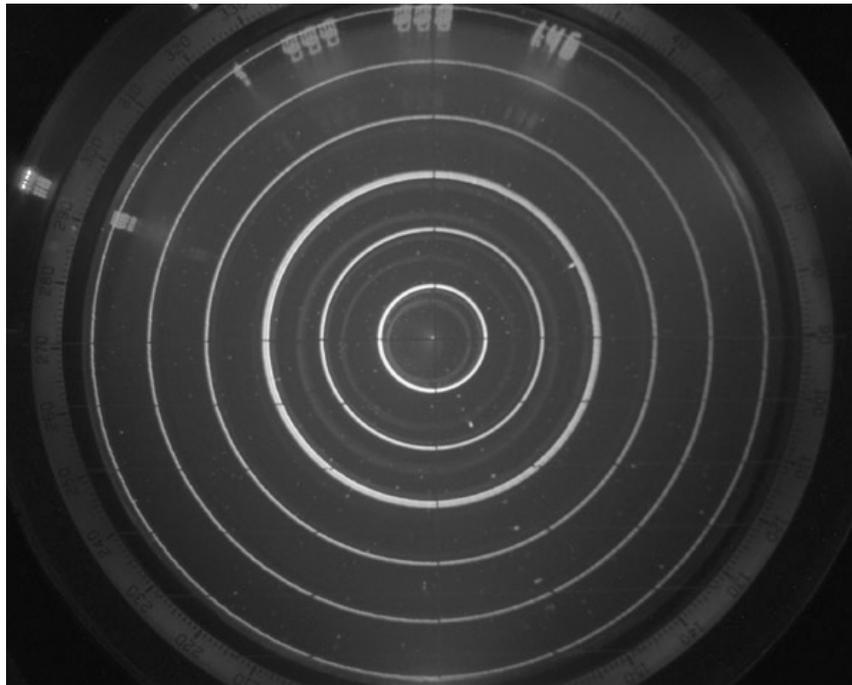
#### 5.1.1 Radar A: impulsos P0N de 2 $\mu$ s con ciclo de trabajo del 0,1%

La Fig. 11 representa el caso en el que el ciclo de trabajo del tren de impulsos era del 0,1% estando activado el rechazo de interferencia, y siendo la relación  $I/N$  de 80 dB. En dicha Figura se pueden ver claramente los blancos en la pantalla PPI con alguna granularidad aleatoria simultánea. Con el rechazo de interferencia desactivado, por el contrario, los impulsos P0N indeseados se detectaban y

visualizaban a  $160^\circ$  relativos, aproximadamente, cuando se inyectaban con relaciones  $I/N$  de valor muy inferior, como 26 dB. Esto se ilustra en la Fig. 12, en donde los impulsos relativamente largos (de  $2 \mu\text{s}$ ) aparecen como trazos radiales largos y los blancos (a  $165^\circ$  relativos aproximadamente) son escasamente discernibles entre la interferencia.

FIGURA 11

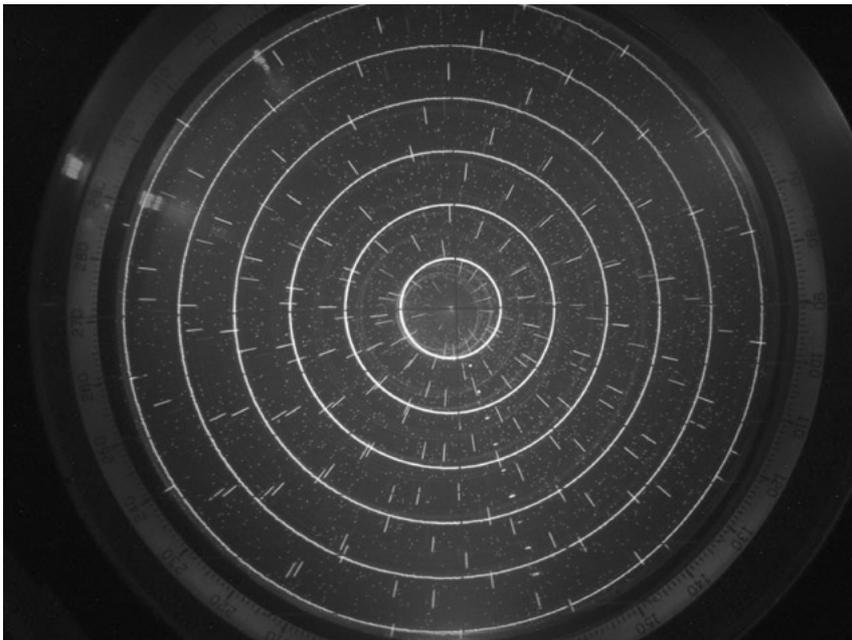
**Radar A: Impulsos indeseados de  $2 \mu\text{s}$  con un ciclo de trabajo del 0,1% y rechazo de interferencia activado ( $I/N = 80 \text{ dB}$ )**



Rap 2032-11

FIGURA 12

**Radar A: Impulsos indeseados de  $2 \mu\text{s}$  con un ciclo de trabajo del 0,1% y rechazo de interferencia desactivado ( $I/N = 26 \text{ dB}$ )**



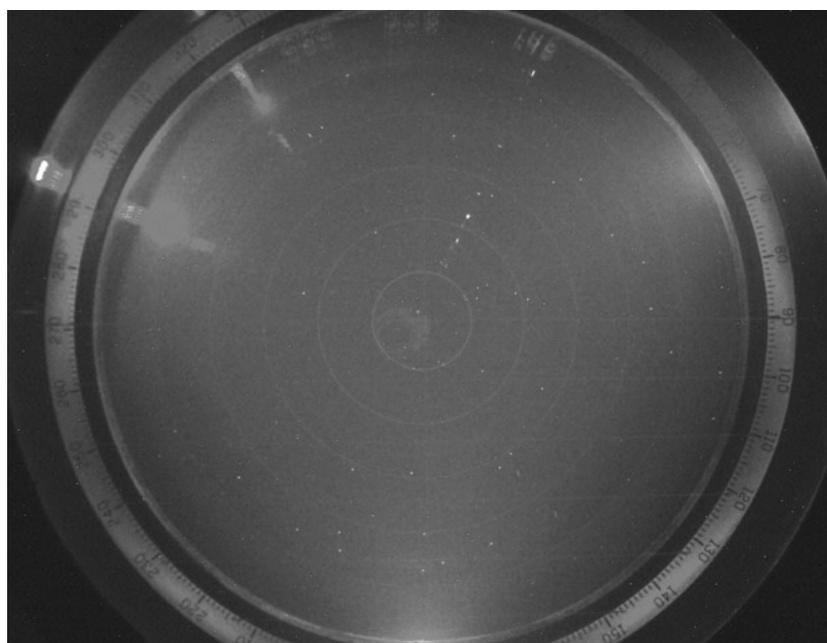
Rap 2032-12

### 5.1.2 Radar A: Impulsos P0N de 2 $\mu$ s y ciclo de trabajo del 1%

La Fig. 13 muestra la ausencia de granularidad de fondo y de «falsas alarmas» (impulsos indeseados detectados) cuando el ciclo de trabajo del tren de impulsos era del 1%, estando activado el rechazo de interferencia. La relación  $I/N$  era de 62 dB pero los blancos eran fácilmente visibles a unos 20° relativos. No obstante, al desactivar el rechazo de interferencia, se detectaron y visualizaron de nuevo los impulsos indeseados cuando se inyectaban con relaciones  $I/N$  mucho más débiles, como ocurría cuando el ciclo de trabajo era del 0,1%. Por ejemplo, una relación  $I/N$  de 23 dB con el rechazo de interferencia desactivado producía la imagen saturada de la Fig. 14. Los blancos se encontraban a 120° relativos, aproximadamente.

FIGURA 13

**Radar A: Impulsos indeseados de 2  $\mu$ s con un ciclo de trabajo del 1% y rechazo de interferencia activado ( $I/N = 62$  dB)**



Rap 2032-13

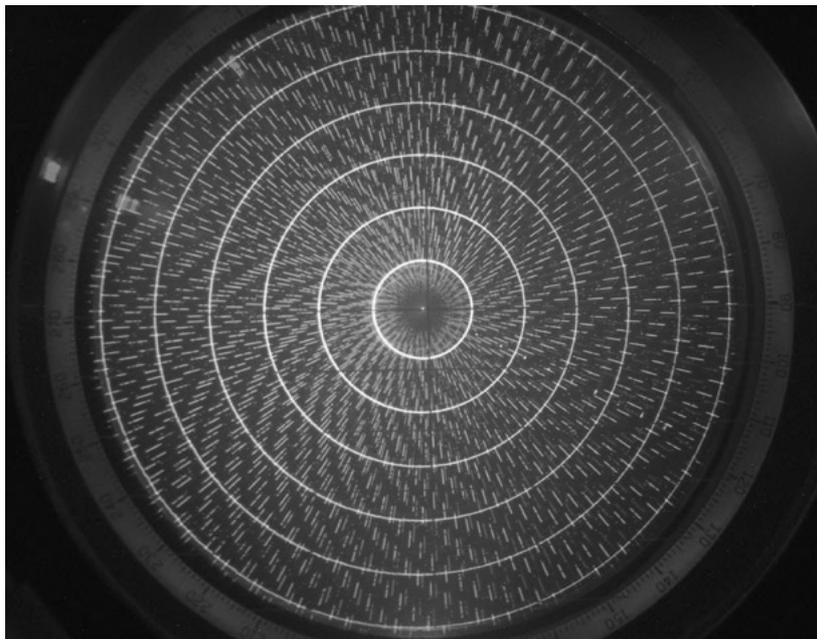
### 5.2 Radar B con señal de radiocalización P0N indeseada

Se efectuaron observaciones de las imágenes de vídeo de los blancos en la pantalla del radar B mientras se aplicaban a su receptor emisiones P0N sintonizadas de 2 y 10  $\mu$ s con relaciones de trabajo de 0,1, 1, 5 y 10%. Los impulsos se inyectaron asincrónicamente. En ciertas pruebas, se controlaron por puerta para acotar el acimut objetivo (véase la Fig. 4) y en otras pruebas se inyectaron sin utilizar puerta alguna. La función de rechazo de interferencia se activó en unas pruebas y se desactivó en otras.

Como ocurría con el radar A, los resultados de la prueba del radar B muestran que a pesar de la escasa potencia devuelta por el blanco, la probabilidad de detección del blanco es esencialmente independiente de la señal de impulsos asincrónica, incluso para elevadas relaciones de potencia de impulso indeseado a potencia de ruido del sistema. Esto sucedió con independencia de la activación o desactivación de la función de rechazo de interferencia. No obstante, la detección de blancos podría enmascarse por las falsas alarmas cuando se forzase la función de rechazo de interferencia a la posición de desconexión (el valor por defecto es de rechazo de interferencia activado).

FIGURA 14

**Radar A: Impulsos indeseados de 2  $\mu$ s con un ciclo de trabajo del 1% y rechazo de interferencia desactivado ( $I/N = 23$  dB)**



Rap 2032-14

### 5.2.1 Radar B: impulsos P0N de 2 $\mu$ s con ciclo de trabajo del 1%

Se inyectaron en el radar marino impulsos P0N de 2  $\mu$ s con un ciclo de trabajo del 1% a niveles de potencia adecuados para producir valores  $I/N$  de 80 dB con el de rechazo de interferencia totalmente activado y 57 dB con el rechazo de interferencia desactivado. Obsérvese que en estas pruebas el programa informático que controlaba la función de rechazo de interferencia permitía su ajuste. La Fig. 15 muestra el radar B con una relación  $I/N$  de 80 dB (rechazo de interferencia activado) y la Fig. 16 muestra una  $I/N$  de 57 dB. Estas Figuras muestran que con el rechazo de interferencia activado (fijado al 100%), el radar podía compensar los impulsos P0N no deseados. Para esta condición, la señal P0N indeseada no se controló por puerta.

En la Fig. 16, el control de rechazo de interferencia estaba desactivado (fijado al 0%). Dicha Figura muestra que los impulsos indeseados aparecen como muchas detecciones sin procesar, de un modo muy parecido a lo que ocurría con el ciclo de trabajo del 1% en el radar A. Incluso así, los impulsos indeseados no provocaron la aparición de símbolos de detecciones procesadas (blancos sintéticos) excepto quizás en la proximidad de un blanco válido simulado. Esto puede deberse a que el radar B implementa el procesamiento CFAR local adaptable cuando genera símbolos de blancos sintéticos y rastrea blancos. Los impulsos de 2  $\mu$ s aquí utilizados son muchos más amplios que los impulsos del radar B, abarcando 33 células de distancia del radar B cuando éste funciona en la escala de 3 millas náuticas (5,56 km). Por este motivo, los impulsos indeseados pueden elevar el umbral de detección mediante la actuación del CFAR local evitando su propia detección. El procesamiento CFAR local proporciona de este modo una forma de discriminación de impulsos en anchura que depende de los valores del CFAR seleccionados en fábrica que no suelen ser accesibles al operador de consola.



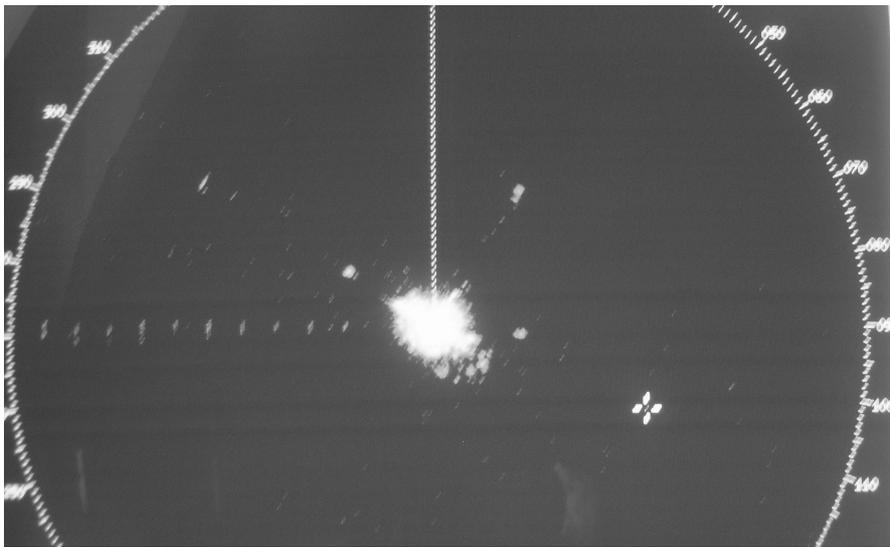
### 5.2.2 Radar B: impulsos P0N de 2 $\mu$ s con ciclos de trabajo del 5 y del 10%

Se inyectaron en el radar marino impulsos P0N de 2  $\mu$ s con ciclos de trabajo del 5 y del 10% a niveles de potencia adecuados para producir valores de la  $I/N$  de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 60 y 80 dB.

La pantalla del radar marino no dio señal alguna de los impulsos controlados por puerta de 2  $\mu$ s con un ciclo de trabajo del 5% y una relación  $I/N$  máxima de 60 dB estando activada la función de rechazo de interferencia. Esto se muestra en la Fig. 17, donde los blancos se encuentran a 270° relativos.

FIGURA 17

**Impulso de 2  $\mu$ s controlado por puerta con un ciclo de trabajo del 5%, rechazo de interferencia activado ( $I/N = 60$  dB)**



Rap 2032-17

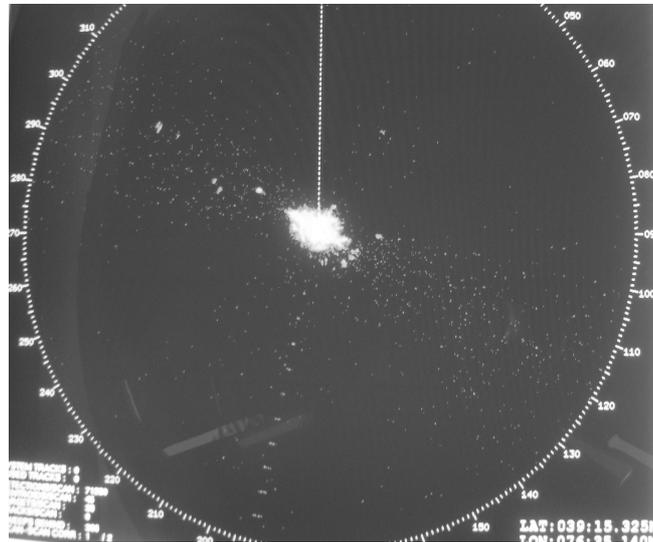
Para una señal de impulsos de 2  $\mu$ s no controlada por puerta con un ciclo de trabajo del 5% y una  $I/N$  de 60 dB, la función de rechazo de interferencia pudo una vez más eliminar la interferencia. Esto se muestra en la Fig. 18. Los blancos son claramente visibles a lo largo del radio situado a 190° con un ligero aumento de la granularidad de fondo.

La pantalla del radar marino empezó a mostrar los efectos de los impulsos de 2  $\mu$ s controlados por puerta con un ciclo de trabajo del 10% y una relación  $I/N$  de 15 dB estando activada la función de rechazo de interferencia. Esto se muestra en la Fig. 19. Los objetivos se encuentran a 190° relativos, pero están considerablemente oscuros.

Este resultado puede parecer incongruente con los de las demás pruebas efectuadas con interferencia P0N. Se trata de un caso único en el que, debido a la anchura del impulso de radiolocalización y a la FRI, la electrónica de supresión de interferencias y de procesamiento de la señal del radar B parece incapaz de compensar. No obstante, cabe observar que en este momento no se conoce ningún radar de radiolocalización en la banda S con un impulso de 2  $\mu$ s y un ciclo de trabajo del 10%. Por otra parte, los radares de radiolocalización de gran ciclo de trabajo conocidos suelen ser ágiles en frecuencia y/o tener impulsos modulados de gran amplitud que distribuyen la energía en una anchura de banda mayor que las bandas de paso de los radares de navegación. Los radares de la banda S tienen casi siempre FRI sensiblemente menores que el valor (50 kHz) correspondiente a este caso.

FIGURA 18

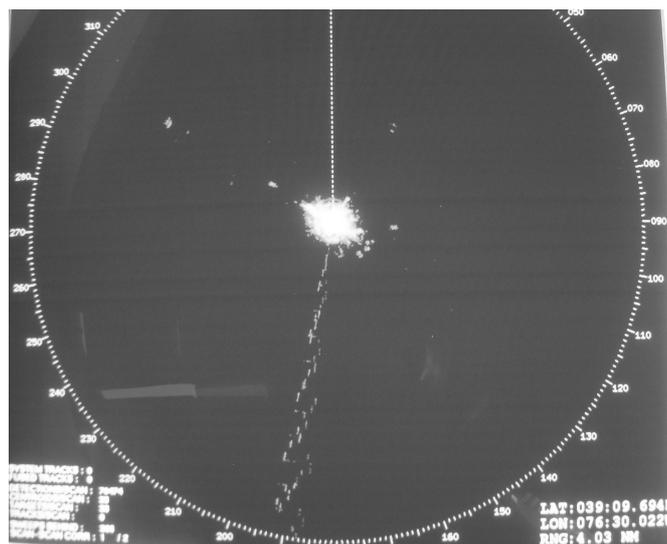
Impulso de 2  $\mu$ s no controlado por puerta con un ciclo de trabajo del 5%,  
rechazo de interferencia activado ( $I/N = 60$  dB)



Rap 2032-18

FIGURA 19

Impulso de 2  $\mu$ s controlado por puerta con un ciclo de trabajo del 10%,  
rechazo de interferencia activado ( $I/N = 15$  dB)



Rap 2032-19

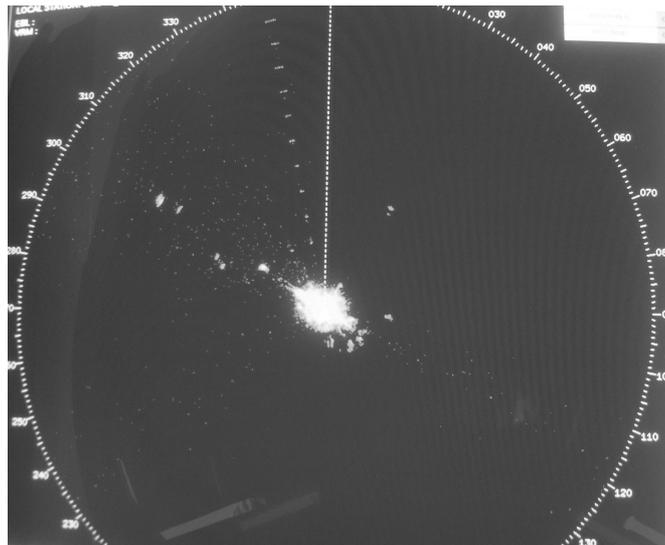
### 5.2.3 Radar B: impulsos P0N de 10 $\mu$ s

Se inyectaron en el radar marino impulsos P0N de 10  $\mu$ s con ciclos de trabajo de 0,1, 1, 5 y 10%, a niveles de potencia adecuados para producir valores  $I/N$  de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 60 y 80 dB.

Los resultados muestran que la electrónica/programa informático de rechazo de interferencias del radar marino era capaz de eliminar los efectos provocados por los impulsos P0N de 10  $\mu$ s controlados por puerta con ciclos de trabajo de hasta el 10% y relación  $I/N$  de 60 dB. La Fig. 20 muestra el caso en que la relación  $I/N$  es igual a 60 dB y la interferencia se combina por puerta con los blancos simulados, estando activada la función de rechazo de interferencia. Los blancos son claramente visibles a 350° junto con el eco de fondo ordinario. La granularidad de fondo es aproximadamente igual a la del nivel básico.

FIGURA 20

**Impulso de 10  $\mu$ s controlado por puerta con un ciclo de trabajo del 10%, rechazo de interferencia activado ( $I/N = 60$  dB)**



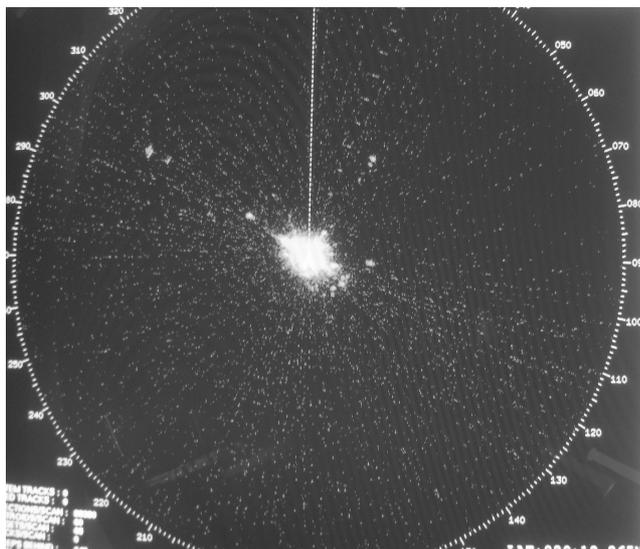
Rap 2032-20

La Fig. 21 muestra el caso de una interferencia P0N no controlada por puerta estando activada la función del rechazo de interferencia para un ciclo de trabajo del 10% y una  $I/N$  de 60 dB. En este caso los blancos siguen siendo visibles a 30° aproximadamente pero el fondo muestra líneas radiales de granularidad.

Las diferencias en cuanto a granularidad de fondo y número de blancos falsos entre las Figs. 20 y 21 pone de manifiesto que, en el caso de la interferencia controlada por puerta, la electrónica de rechazo de interferencia y el sistema de procesamiento del radar marino permitían obtener una mejora considerable en la pantalla de radar para una  $I/N$  de 60 dB. Cuando la relación  $I/N$  se fijaba en 80 dB, la pantalla se poblaba y los blancos se confundían.

FIGURA 21

Impulso de 10  $\mu$ s no controlado por puerta con un ciclo de trabajo del 10%, rechazo de interferencia activado ( $I/N = 60$  dB)



Rap 2032-21

#### 5.2.4 Señal de radiolocalización de frecuencia escalonada (sólo para el radar B)

Se efectuaron observaciones sobre la pantalla del radar B del vídeo sin procesar de los blancos aplicando al receptor del mismo impulsos del radar 2 de radiolocalización sintonizados y desintonizados (respecto al radar B). Las emisiones sintonizadas consistían en trenes periódicos de impulsos de dos escalones de frecuencia en los que las frecuencias de la portadora subimpulso oscilaban entre 3 038 MHz y 3 064 MHz aproximadamente. Estas frecuencias abarcan la banda de paso del radar B cuando funciona en una escala de distancias de 3 millas náuticas, utilizando su anchura de impulso por defecto y la anchura de banda de FI por defecto. Al transmitir en dichas frecuencias, el haz principal de la antena del radar de radiolocalización se eleva, de modo que sólo los lóbulos laterales de la antena se acoplan con el radar B.

Las partes desintonizadas consisten en trenes periódicos de dos impulsos largos de frecuencia escalonada en los que las frecuencias de la portadora subimpulso oscilaban entre 2 957 MHz y 2 970 MHz. Al transmitir en dichas frecuencias, el haz principal de la antena del radar 2 de radiolocalización estaba en el horizonte próximo a él. Esto proporciona la máxima directividad hacia los sistemas basados en superficie en el entorno, incluidos los radares de navegación marítima.

Tanto las emisiones sintonizadas como las desintonizadas contenían dos impulsos por periodo, de 27  $\mu$ s de longitud cada uno de ellos y conteniendo 9 subimpulsos separados entre sí 1,5 MHz de frecuencia de la portadora. Las frecuencias de portadora de cada impulso abarcan de este modo 12 MHz, y las frecuencias de portadora de las señales sintonizada y desintonizada abarcan cada una 25,5 MHz aproximadamente. El periodo de la señal compuesta era de 97 pps, que coincide con el periodo de la emisión del radar de radiolocalización correspondiente al modo que abarca impulsos sintonizados para los radares de navegación marítima. La temporización, potencia, frecuencia y ángulos de elevación de los impulsos se muestra cualitativamente en la Fig. 3.

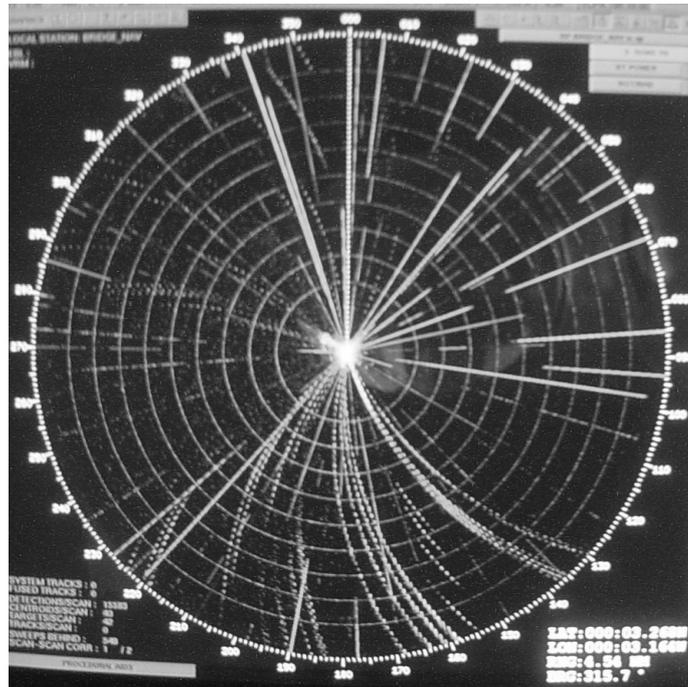
### 5.2.4.1 Señal indeseada sintonizada

Cuando se aplicaron impulsos sintonizados del radar 2 de radiolocalización sin simular la modulación del diagrama de antena (es decir con la máxima amplitud en todo el periodo de exploración del radar de radionavegación) y sin seleccionar la función de rechazo de interferencia, apareció interferencia en la pantalla de «imagen» en forma de líneas radiales de gran densidad de separación o estroboscópicas repartidas en los 360° del PPI.

En otras ocasiones, se imprimió en el tren de impulsos sintonizado un diagrama de la ganancia recíproca de antenas, determinado a 3050 MHz. En unas observaciones, se repitió dicho diagrama cada 4,9 s, y en este caso la cresta máxima representaba una ganancia recíproca de 15 dB inferior a la máxima ganancia recíproca posible a dicha frecuencia (producto del lóbulo lateral de plano horizontal de mayor intensidad del radar 2 de radiolocalización por la ganancia del haz de antena del radar de radionavegación marítima). En otras observaciones, se repitió dicho diagrama cada 15 s, en cuyo caso la cresta máxima representaba una ganancia recíproca de 10,3 dB inferior a la máxima ganancia recíproca posible. Independientemente del diagrama utilizado, la máxima potencia de cresta de la señal indeseada aplicada al radar B fue la misma; sólo varía la interpretación de los resultados en términos de las pérdidas de propagación requeridas. Cuando se imprimieron las modulaciones del diagrama de antena en la forma de onda de la señal indeseada manteniendo desactivada la función de rechazo de interferencia, las líneas eran más escasas y abarcaban menos de 360° del PPI excepto cuando las crestas de la señal indeseada se elevaban a relaciones  $I/N$  que superaban los 60 dB. Esto se muestra a continuación en la Fig. 22.

FIGURA 22

**El radar B con una señal sintonizada de frecuencia escalonada y emisión del radar de radionavegación, estando desactivado el rechazo de interferencia**

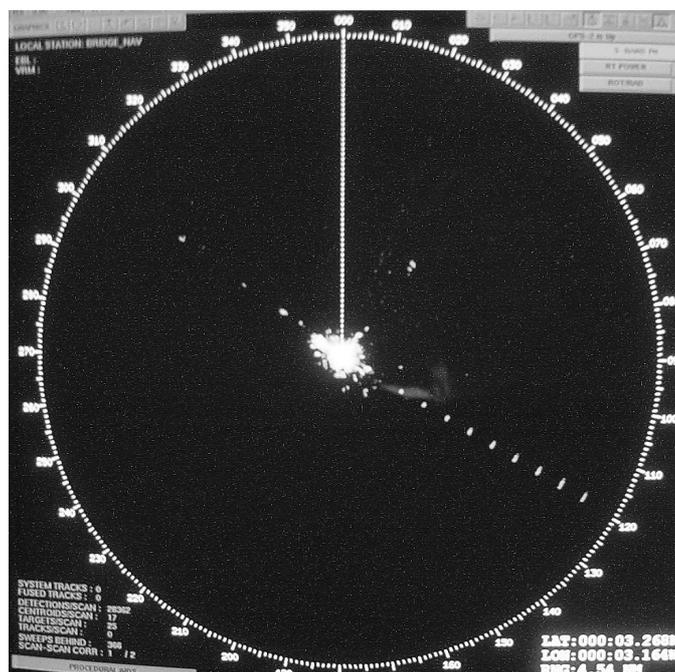


Las líneas radiales o «estroboscópicas» se deben a las emisiones de radiolocalización de frecuencia escalonada procedentes del radar 2 de radiolocalización. Las líneas de puntos en espiral se deben a las emisiones procedentes del radar de radionavegación que funcionaba en las proximidades (a pesar de que la antena se desconectó del receptor). En este caso los blancos no se controlaron por puerta y aparecen como anillos de 360°.

Cuando se imprimió la modulación del diagrama de antena sobre la señal indeseada sintonizada y se activó la función de rechazo de interferencia, desaparecieron prácticamente todas las líneas así como las espirales provocadas por el otro radar de navegación marítima. Aparte de cierto eco residual provocado por la reflexión en estructuras próximas, sólo aparecen en el PPI los blancos simulados aunque las crestas alcanzadas por los impulsos de la señal indeseada durante los lóbulos de mayor intensidad del diagrama de ganancia recíproco utilizados en la prueba superaron los 90 dB aproximadamente por encima del umbral mínimo de ruido del receptor. Cuando se consideran las estadísticas de los diagramas de ganancia recíproca, la relación  $I/N$  media mantenida durante los impulsos en estas observaciones fue de 49 dB aproximadamente cuando se utilizó el diagrama de ganancia recíproca de 4,9 s, y de 44 dB aproximadamente cuando se utilizó el diagrama de ganancia recíproca de 15 s. Esta situación se muestra en la Fig. 23, y se fotografió utilizando un diagrama de ganancia recíproca con un periodo de 4,9 s.

FIGURA 23

**El radar B con una señal sintonizada de frecuencia escalonada estando activo el rechazo de interferencia**



Rap 2032-23

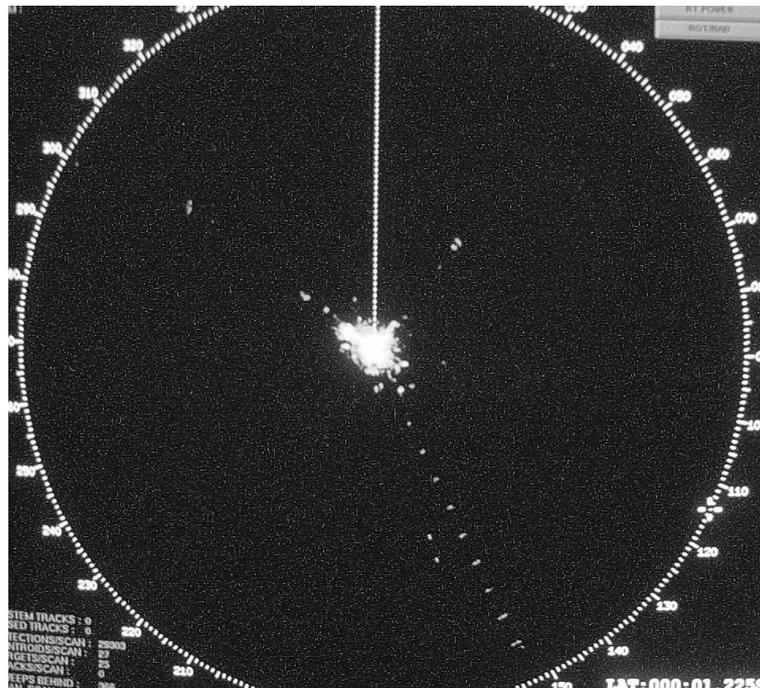
La sensibilidad de la pantalla de imagen del radar de navegación marítima quedó prácticamente inalterada por la señal indeseada, con una elevada probabilidad de detección (próxima al 100%) y «ecos» de blancos razonablemente visibles obtenidos con una relación  $S/N$  de 15 dB aproximadamente. El debilitamiento constituyó una limitación más importante que la probabilidad de detección. Es significativo el hecho de que la función de rechazo de interferencia no afecte a la sensibilidad de la señal deseada.

### 5.2.4.2 Señal indeseada desintonizada

Cuando se aplicaron impulsos desintonizados del radar 2 de radiolocalización al radar B, las conclusiones fueron muy similares a las obtenidas cuando se aplicó la señal deseada sintonizada. Se efectuaron observaciones únicamente con un diagrama de ganancia recíproca de las antenas imprimido en el tren de impulsos de la señal indeseada, que resulta más realista que aplicarlos con máxima intensidad en todo momento. Dicho diagrama, determinado a 2957 MHz, se imprimió en la porción de 2957 MHz del tren de impulsos transmitido por el radar 2 de radiolocalización. Consistía en los primeros 4,9 s del diagrama mostrado en la Fig. 7, repetidos periódicamente. Su cresta máxima representaba por consiguiente una ganancia recíproca que en conjunto era 35,8 dB más débil que el producto de las ganancias de haz principal del radar 2 de radiolocalización y del radar B (0 dB en la Fig. 7). Cuando se imprimió la modulación del diagrama de antena en la forma de onda de la señal indeseada, estando desactivada la función de rechazo de interferencia, aparecieron líneas radiales en los 360° de la pantalla de imagen PPI cuando las crestas de la señal indeseada se encontraba a 90 dB por encima del umbral mínimo de ruido del receptor. (No se efectuaron observaciones con señales indeseadas más débiles.) Cuando se imprimió la modulación del diagrama de antena estando activada la función de rechazo de interferencia, la pantalla de imagen sólo presentó ecos del blanco y eco de retorno, prácticamente sin líneas ni espirales de la señal indeseada, para el mismo nivel de señal indeseada. Esto se ilustra en la Fig. 24. En la Fig. 7 puede observarse que la ganancia recíproca media utilizada durante la prueba fue de 50 dB aproximadamente más débil que la máxima cresta alcanzada, de modo que la relación  $I/N$  media fue aproximadamente de  $90 - 50 = 40$  dB durante los impulsos.

FIGURA 24

El radar B con señal de onda desintonizada de frecuencia escalonada y rechazo de interferencia activado



### 5.2.5 Señales indeseadas del radar de navegación marítima

Durante las pruebas, se produjeron efectos de interferencia en el radar B inadvertidamente provocada por varios radares de navegación marítima, uno de los cuales se sabía había estado funcionando en una posición situada aproximadamente a 1/3 de milla náutica (620 m) del lugar de ensayo. Esto se muestra en la Fig. 22. El transmisor del radar interferente conocido tenía una potencia de 20 a 30 kW aproximadamente. En la pantalla de imagen, la función de rechazo de interferencia suprimió dicha interferencia, así como los efectos de la misma, de las señales del radar de radiolocalización<sup>3</sup>.

## 6 Análisis

### 6.1 Factores que afectan a la visualización de los blancos

Debe observarse que debido a que los blancos simulados se encontraban espaciados regularmente en una línea radial resultaban más visibles que los blancos reales debido a que éstos podían encontrarse en cualquier punto de la pantalla PPI en el funcionamiento del radar en la práctica. Por consiguiente, hay que manejar con cuidado los resultados de estas pruebas en las operaciones prácticas de radar en la realidad debido a que los valores  $I/N$  para los que resultaban discernibles los blancos simulados en el PPI en presencia de interferencia de impulsos son superiores a los correspondientes a los blancos distribuidos aleatoriamente en la práctica. Por otra parte, las fotografías que se adjuntan no muestran la mejora de visibilidad producida por la observación de varios barridos, durante los cuales las posiciones de las falsas alarmas se desplazan al azar mientras que las posiciones de las detecciones de blancos válidos permanecen fijas. Los impulsos reales detectados procedentes de otros radares se concentrarían en un sector acimutal, o en un número pequeño de éstos, y el sector de más densidad de las falsas alarmas fluctuaría en intensidad y giraría acimutalmente, ofreciendo oportunidades adicionales de discriminar entre las detecciones de blancos válidos y las falsas alarmas.

Debe observarse asimismo que los operadores de radares de radionavegación marítima suelen distinguir los blancos válidos detectados en presencia de falsas alarmas por eco marítimo a las distancias tan cortas consideradas en las pruebas aquí descritas.

### 6.2 Impulsos de radiolocalización P0N indeseados en los radares A y B

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas tomando las emisiones del radar de radiolocalización P0N como señal indeseada en el radar A, muestran que se pudieron soportar relaciones  $I/N$  de hasta 80 dB sin que se degradase la calidad de funcionamiento si estaban activados los circuitos de rechazo de la interferencia y de procesamiento de la señal. En las pruebas del radar A con emisiones P0N la señal indeseada estaba constituida por un tren continuo de impulsos que se presentaba en todos los acimuts, lo que no es real porque el radar A tendría que estar rodeado por otros radares para que ocurriese esto. Si hubiese de aplicarse un diagrama de antena a la señal P0N o bien se introdujera ésta por puerta (como en las pruebas del radar B) las pruebas habrían sido más realistas y los resultados serían mejores.

---

<sup>3</sup> Los radares de radiolocalización con impulsos más largos (impulsos P0N de 10  $\mu$ s e impulsos de 27  $\mu$ s registrados procedentes del radar 2 de radiolocalización) generaron líneas radiales porque un pulso del radar de radiolocalización abarca la mayor parte de los 37  $\mu$ s de duración del barrido de 3 millas náuticas (5,56 km). El radar de navegación marítima generó espirales porque sus impulsos ocupan una pequeña fracción del tiempo de barrido y cada línea de la espiral está compuesta de numerosos impulsos que se presentan asincrónicamente durante diferentes barridos del radar objeto de la prueba.

Los resultados obtenidos con las emisiones del radar de radiolocalización P0N como señal indeseada en el radar B muestran que se pudieron soportar relaciones  $I/N$  ligeramente superiores a 60 dB sin que se degradase la calidad de funcionamiento cuando las emisiones de radiolocalización se controlaban por puerta estando activada la electrónica de rechazo de la interferencia y de procesamiento de la señal. Esto se puede atribuir a que la entrada por puerta limita el número de impulsos de radiolocalización que ve el receptor del radar en su exploración y al algoritmo del programa de rechazo de interferencia (véase el § 4). Por otra parte, las emisiones de radiolocalización indeseadas introducidas por puerta representan una situación de acoplamiento de antena peor que el caso más desfavorable porque en realidad ambos radares están girando lo que disminuye aún más los efectos de la interferencia.

### 6.3 Señales de frecuencia escalonada

Los resultados obtenidos a partir de la grabación de las emisiones del radar 2 de radiolocalización como señal indeseada muestran que el radar B pudo soportar relaciones  $I/N$  muy superiores a los 60 dB sin que se degradase la calidad de funcionamiento cuando se aplicaba el diagrama de ganancia recíproca y se activaba la electrónica de rechazo de la interferencia y el procesamiento de la señal. Esto se puede atribuir en parte al hecho de que los ciclos de trabajo de dichas señales eran pequeños. El radar de radiolocalización cuyas señales se grabaron y reprodujeron durante estas pruebas es representativo de muchos radares de radiolocalización en estas frecuencias en la medida en que su ciclo de trabajo eficaz, en lo que se refiere al potencial de interferencia de los radares de navegación, es sensiblemente inferior a su ciclo de trabajo global.

Además, la modulación de la señal indeseada por los diagramas de ganancia recíproca de las antenas contribuyó sustancialmente a la desaparición de los efectos de la interferencia en el PPI. Cabe esperar que este último factor habría mejorado los resultados obtenidos anteriormente para el radar de prueba A con trenes de impulsos indeseados aplicados a un nivel de potencia de impulsos constante, si se hubiese implementado este factor que es más realista. Los diagramas de ganancia recíproca reales (por ejemplo, el de la Fig. 7) muestran que la amplitud de los lóbulos fluctúa y que casi nunca iguala la ganancia de los lóbulos más elevados. Por este motivo, las relaciones  $I/N$  que se consignan aquí para las señales de frecuencia escalonada representan valores que se alcanzan con menos frecuencia durante las pruebas y durante el funcionamiento real que los consignados aquí para los impulsos P0N.

### 6.4 Factor de acoplamiento de la antena

Resulta significativo que el acoplamiento entre haces principales no se presente casi nunca entre los dos radares. La Fig. 7 muestra que, para una muestra aleatoria que abarca siete exploraciones del radar de exploración más lento, la ganancia recíproca a 2957 MHz es siempre como mínimo 28 dB inferior al valor entre haces principales y suele ser más de 80 dB inferior a dicho valor. El diagrama de ganancia recíproca a 3050 MHz no queda tan reducido por debajo de su valor máximo. No obstante, a dicha frecuencia el máximo valor de la ganancia recíproca es muy inferior al de la frecuencia (2957 MHz) a la que pertenece la Fig. 7. Los resultados de la prueba con la modulación del diagrama de antena aplicada al radar 2 de radiolocalización deben interpretarse en dicho contexto. En las pruebas del radar 2 de radiolocalización en la proximidad de 3050 MHz, se utilizaron muestras de ganancia recíproca en las que las crestas máximas representaban ganancias recíprocas de 10 dB y 15 dB por debajo del producto de la ganancia del lóbulo lateral de cresta del radar 2 de radiolocalización por la ganancia del haz principal del radar B de radionavegación. Esto se ilustra en los segmentos de 5 y 15 s de la Fig. 5.

## 7 Conclusiones

Los resultados de la prueba de este Informe contribuyen sobremanera a comprender la larga historia de la compartición de la banda de 2 900-3 100 MHz con éxito, entre los radares de radiolocalización y los de radionavegación.

Los radares de radionavegación marítima soportaron relaciones  $I/N$  de las emisiones de radiolocalización indeseadas de 60-90 dB debido a los bajos ciclos de trabajo, el carácter asíncrono de la interferencia, la escasa probabilidad de acoplamiento de los haces principales y de la combinación de la potente electrónica de rechazo de la interferencia y de las capacidades de procesamiento de la señal.

Los radares de radionavegación marítima probados son representativos de los que funcionan en la banda 2 900-3 100 MHz y cabe esperar resultados análogos a los de otros radares de radionavegación marítima. Por consiguiente, los datos aquí incluidos parecen apoyar la actualización del servicio de radiolocalización al estado de titularidad en igualdad de condiciones que el servicio de radionavegación en la banda 2 900-3 100 MHz.

### Terminología

CFAR	Tasa de falsa alarma constante ( <i>constant false alarm rate</i> )
FI	Frecuencia intermedia
FRI	Frecuencia de repetición de impulsos
FTC	Constante de tiempo rápida ( <i>fast time constant</i> )
$I/N$	Relación interferencia/ruido
MDS	Señal detectable mínima ( <i>minimum detectable signal</i> )
PON	Designador de la emisión correspondiente a los impulsos no modulados (RR)
pps	Impulsos por segundo
PRI	Intervalo de repetición de impulsos ( <i>pulse repetition interval</i> )
STC	Control temporal de sensibilidad ( <i>sensitivity time control</i> )

---