

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1874 (04/2010)

Características técnicas y de funcionamiento de los radares oceanográficos que funcionan funcionan en subbandas de la gama de frecuencias 3-50 MHz

Serie M

**Servicios móviles, de radiodeterminación,
de aficionados y otros servicios
por satélite conexos**



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1874

Características técnicas y de funcionamiento de los radares oceanográficos que funcionan en subbandas de la gama de frecuencias 3-50 MHz

(Cuestión UIT-R 240/5)

(2009-2010)

Cometido

Esta Recomendación proporciona las características técnicas y de funcionamiento de los radares oceanográficos para su utilización en los estudios de compartición y compatibilidad, en la planificación del espectro y en la instalación de sistemas en la banda de 3 a 50 MHz. Proporciona las características pertinentes de los sistemas de medición oceanográficos de corto alcance, alcance normalizado, largo alcance, muy largo alcance y alta resolución.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que es necesario el funcionamiento de sistemas de radares oceanográficos en el servicio de radiodeterminación¹ que utilizan espectro en la gama de frecuencias de 3 a 50 MHz;
- b) que durante algunos años los sistemas de radares oceanográficos han funcionado en la gama de 3 a 50 MHz en algunos países con arreglo a la disposición del número 4.4 del Reglamento de Radiocomunicaciones;
- c) que hay un interés a escala mundial en la instalación de sistemas operacionales en todo el mundo;
- d) que la calidad de funcionamiento, las funciones y los requisitos de datos normalmente determinan la gama de espectro que puede utilizar los sistemas de radar de observación oceánica;

reconociendo

- a) que para la gestión del espectro y la planificación e instalación de sistemas es necesario conocer las características técnicas y de funcionamiento representativas de los radares oceanográficos,

recomienda

- 1 que al realizar estudios de compartición y compatibilidad con sistemas de otros servicios se consideren los aspectos técnicos y de funcionamiento de los radares oceanográficos indicados en el Anexo 1;
- 2 que a efectos de planificación también se tengan en cuenta los aspectos técnicos y de funcionamiento de los radares oceanográficos indicados en el Anexo 1.

¹ Los servicios de radiolocalización y radionavegación son subservicios del servicio de radiodeterminación.

Anexo 1

Características técnicas y de funcionamiento de los radares oceanográficos que funcionan en subbandas de la gama de frecuencias 3-50 MHz

1 Introducción

Un porcentaje significativo de la población mundial vive a menos de 50 kilómetros de la costa, lo que pone en evidencia la necesidad de realizar mediciones precisas, fiables y detalladas de las variables de los entornos costeros.

Así como los vientos en la atmósfera proporcionan información sobre dónde y cuándo se producen fenómenos meteorológicos, las corrientes oceánicas determinan el movimiento de los eventos oceánicos. Estos dos flujos dinámicos se utilizan para determinar hacia dónde se desplazan los contaminantes, naturales o artificiales. Actualmente, las mediciones de las corrientes oceánicas no están tan fácilmente disponibles como las mediciones de los vientos.

Debido a ello cada vez hay más interés en la capacidad de medir con precisión las corrientes y las olas en las aguas costeras. Los sistemas de radar que funcionan en frecuencias superiores a 50 MHz están limitados en su capacidad de proporcionar datos que satisfagan los actuales requisitos de alcance, precisión y resolución. La comunidad oceanográfica mundial está planificando la implementación de unas redes de radares de supervisión de la superficie marina costera. Las ventajas que aporta a la sociedad el sistema de medición mejorado de las corrientes costeras y del estado del mar incluyen una mejor comprensión de temas tales como la contaminación costera, la gestión de los bancos de pesca, la búsqueda y salvamento, la erosión de playas, la navegación marítima y el transporte de sedimentos. Las mediciones que realizan los radares costeros de la superficie marítima proporcionan soporte a las operaciones meteorológicas mediante la recopilación de datos sobre el estado del mar y las olas oceánicas dominantes. Además, la tecnología de los radares oceanográficos tiene aplicaciones del dominio marítimo global permitiendo la detección a gran distancia de barcos en la superficie, lo cual redundará en beneficio de la seguridad global de la navegación y los puertos².

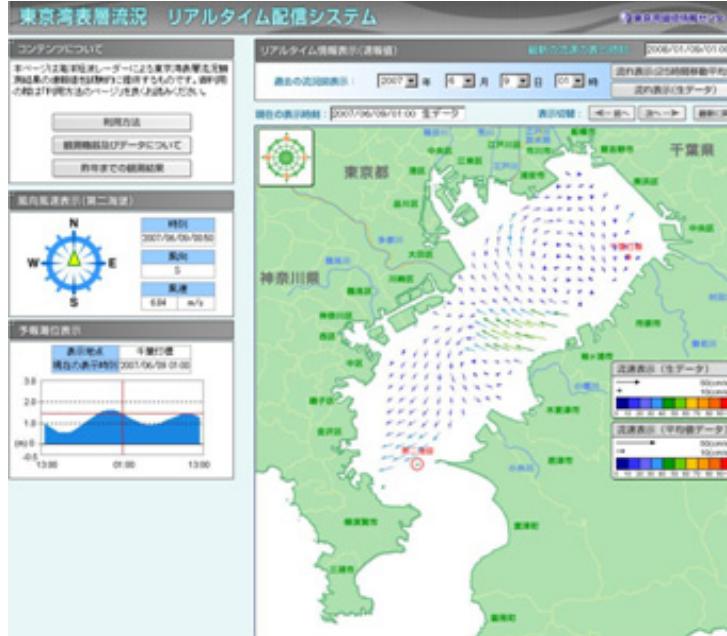
La necesidad de contar con datos adicionales para reducir los efectos de las catástrofes, incluidos los maremotos, entender el cambio climático y garantizar la seguridad de los desplazamientos marítimos ha llevado a considerar la utilización operacional de las redes de radares oceanográficos a escala mundial.

En las Figs. 1 y 2 aparece la implementación de estos sistemas en Japón.

² Use of Coastal Ocean Dynamics Application Radar (CODAR) Technology in the United States of America Coast Guard Search and Rescue Planning, David Ullman; James O'Donnell; Christopher Edwards; Todd Fake; David Morschauser; Coast Guard Research and Development Center Groton CT.

FIGURA 1

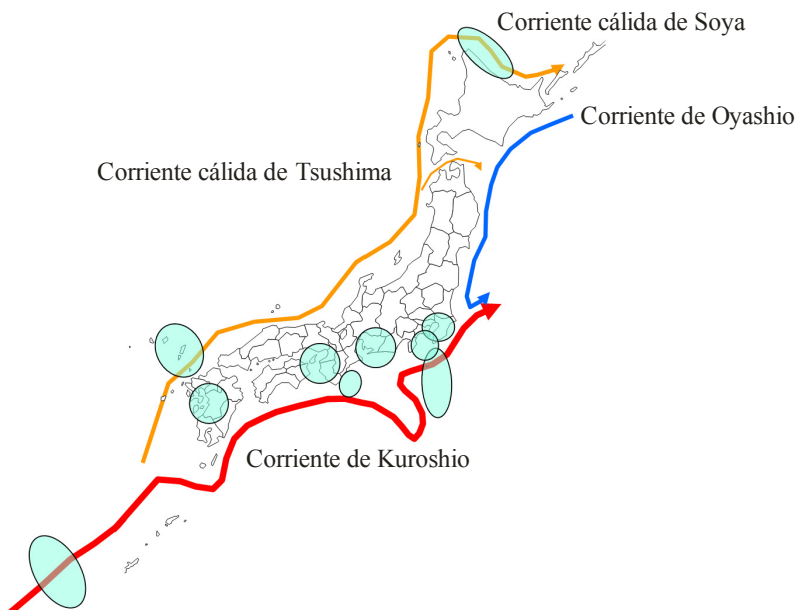
Ejemplo de la corriente en la superficie observada por los radares oceanográficos del sistema de vigilancia de la bahía de Tokio, explotado por el Ministerio del Territorio, Infraestructura, Transporte y Turismo, Japón



M.1874-01

FIGURA 2

Radars oceanográficos en Japón
(Se muestran las zonas de observación para cada emplazamiento de radar fijo)

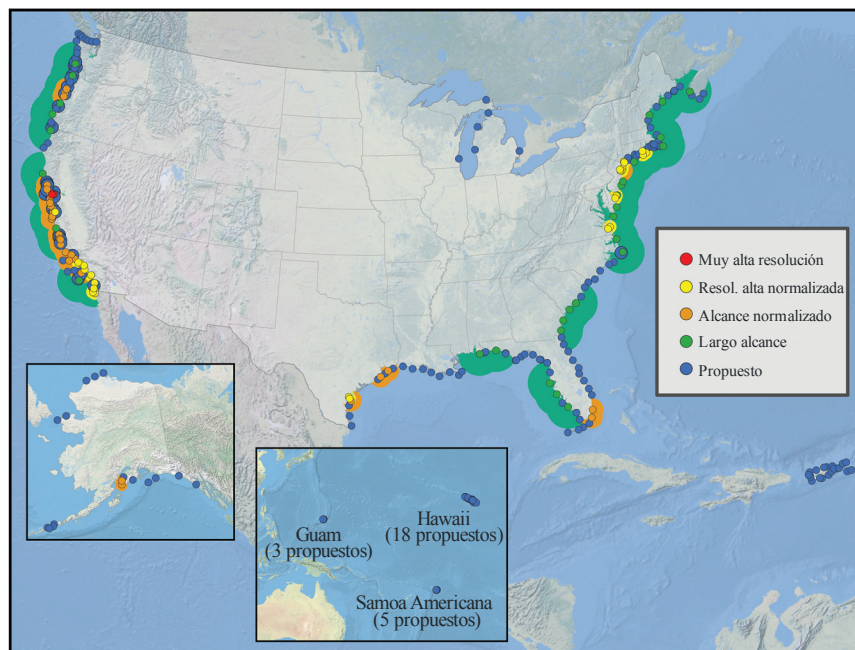


M.1874-02

En 2009, funcionaban 143 radares oceanográficos distribuidos de manera no uniforme en las regiones costeras de Estados Unidos de América (este total incluyen radares que no funcionan actualmente de forma regular). Casi todos los sistemas de radares oceanográficos en Estados Unidos de América pertenecen a departamentos de investigación universitarios y son explotados por los mismos. En la Fig. 3 se muestran los emplazamientos de los radares oceanográficos actuales y propuestos en Estados Unidos de América, las Islas del Pacífico y la Región del Caribe.

FIGURA 3

Emplazamientos de radares oceanográficos existentes y propuestos para Estados Unidos de América, las Islas del Pacífico y la Región del Caribe



M.1874-03

El establecimiento de una red de emplazamientos de los radares oceanográficos se incluyen en el Plan de Desarrollo del Sistema Integrado de Observación del Océano (IOOS) y forma parte del Sistema Mundial de Observación de los Océanos (GOOS) que, a su vez, es un componente importante de la Red Mundial de Sistemas de Observación de la Tierra (GEOSS).

2 Principios de funcionamiento

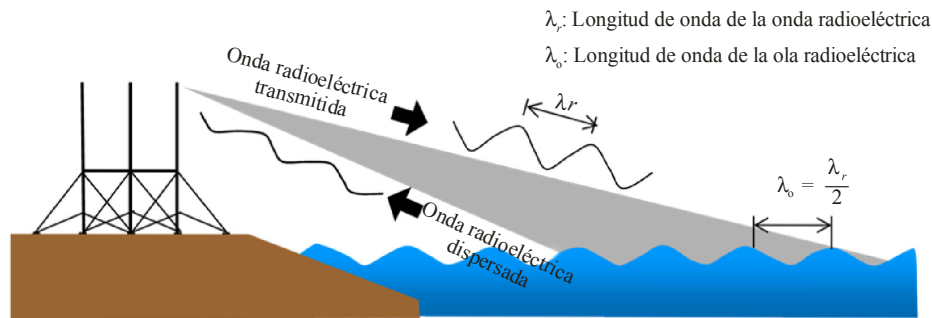
En los radares oceanográficos que utilizan dispersión de Bragg³, la gama de frecuencias de 3 a 50 MHz (longitud de onda de 100 a 6 m) es muy útil para medir las olas del océano causadas por el viento (véase la Fig. 4). La resolución espacial del radar viene limitada por la anchura de banda de la señal; por ejemplo, las anchuras de banda de 100 kHz y 300 kHz ofrecen resoluciones de 1,5 km y 500 m, respectivamente⁴.

³ Cuando la longitud de onda de la superficie transmitida es igual a la semilongitud de onda de la ola de superficie en el océano, se reflejará en dirección del radar una señal de gran intensidad.

⁴ La resolución L , la velocidad de la luz c ($= 300\,000$ km/s) y la anchura de banda fc están relacionadas por la siguiente ecuación $fc = c/2L$.

FIGURA 4

Imagen esquemática de la propagación de las ondas radioeléctricas y una dispersión de Bragg



M.1874-04

Los objetivos de los sistemas son los siguientes: obtener información continua y en tiempo real de datos medioambientales (por ejemplo, medición y control de la contaminación), proporcionar servicios destinados a reducir los efectos de las catástrofes (por ejemplo, detección de la ola de un maremoto), y proporcionar servicios de seguridad marítima (por ejemplo, observación del estado del mar y supervisión de las corrientes oceánicas) por radares oceánicos.

Los parámetros físicos que miden los radares oceanográficos y los requisitos de calidad de funcionamiento asociados determinan las gamas de frecuencias que soportarán la recopilación de datos. Los radares oceanográficos para la observación del océano utilizan la superficie agitada del océano para medir las corrientes oceánicas y el estado del mar. Cuando la separación de las olas en la superficie del océano es igual a media longitud de onda de la frecuencia utilizada por el radar oceanográfico, se refleja una señal intensa en dirección del radar. Este fenómeno se conoce con el nombre de dispersión de Bragg. La gama de frecuencias de 3 a 50 MHz es muy útil para el funcionamiento del radar de observación oceanográfico ya que siempre hay olas presentes cuando la separación entre las olas se ajusta a la frecuencia de funcionamiento del radar. A efectos de reducción de las consecuencias de las catástrofes es necesario conseguir la mayor resolución temporal posible mientras que para el estudio medioambiental es necesario la mayor resolución espacial posible. Además, la medición del desplazamiento Doppler del retorno de la señal permite a los operadores medir otras propiedades del estado del mar y de las corrientes.

Las dos principales técnicas de transmisión utilizadas en los radares oceanográficos son los impulsos de onda continua y las ondas continuas moduladas en frecuencia (FMCW) («chirps»). El Cuadro 1 presenta los parámetros asociados a un radar oceanográfico típico.

CUADRO 1

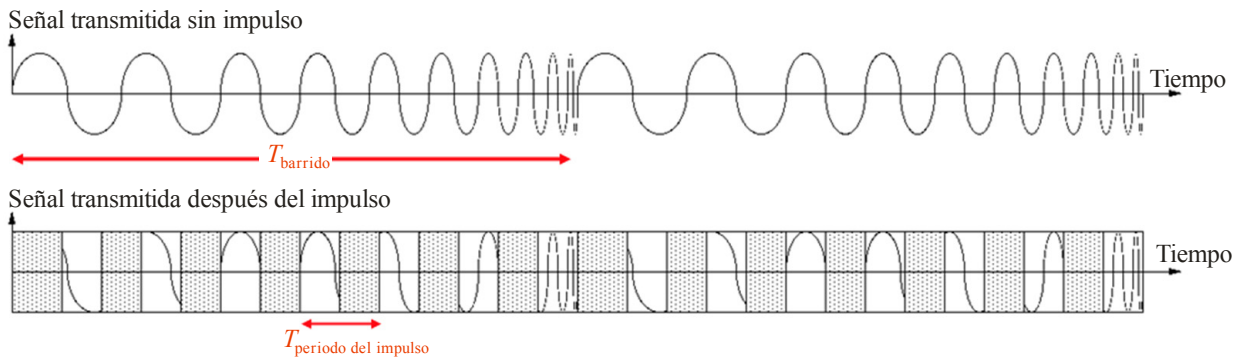
Lista de parámetros de las formas de onda de un radar oceanográfico típico

Frecuencia central (MHz)	Anchura de banda de barrido (kHz)	Tiempo de barrido (T_{barrido}) (s)	Periodo del impulso ($T_{\text{periodo del impulso}}$) (μs)	Ciclo de trabajo (%)
4,53	25,6	1	1 946	50
13,46	49,4	0,5	669	50
24,65	101	0,5	486	50

La Fig. 5 ilustra la estructura de la forma de onda de los radares oceanográficos típicos. La forma de onda de la parte superior de la imagen representa una señal FMCW. La forma de onda en la parte inferior es representativa de una señal controlada.

FIGURA 5

Típicas estructuras de formas de ondas oceanográficas



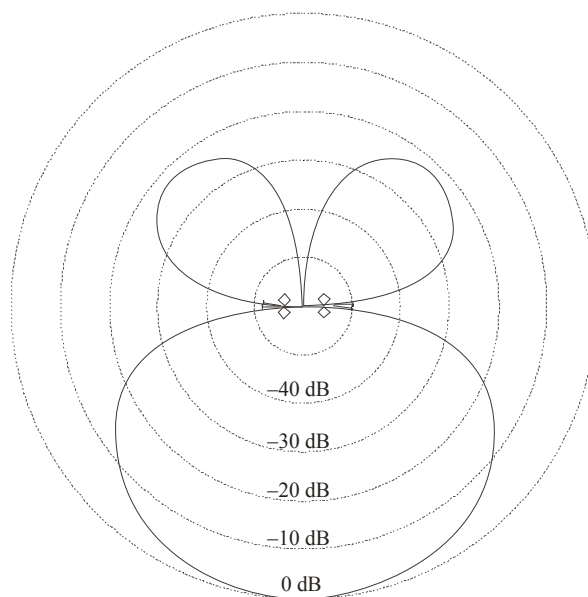
M.1874-05

3 Antenas de radares oceanográficos

Actualmente se utiliza una cierta variedad de antenas en los sistemas de radar de observación del océano. Los sistemas emplean antenas Yagi de tres elementos o un sistema de antenas en fase a fin de realizar un barrido en dirección acimutal utilizando múltiples grupos de antenas Yagi para la transmisión, limitando la geografía sobre la que se propaga la señal del radar oceanográfico. Las Figs. 6, 7 y 8 ilustran unos diagramas de antena típicos de radares oceanográficos.

FIGURA 6

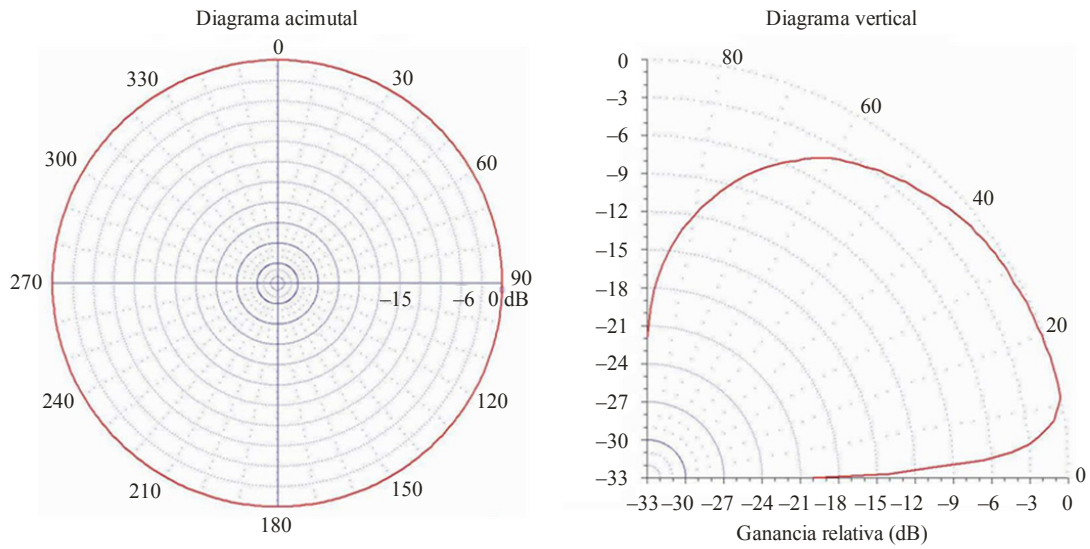
Diagramas de antena típicos en un radar oceanográfico (Sistema de 4 monopolos verticales)



M.1874-06

FIGURA 7

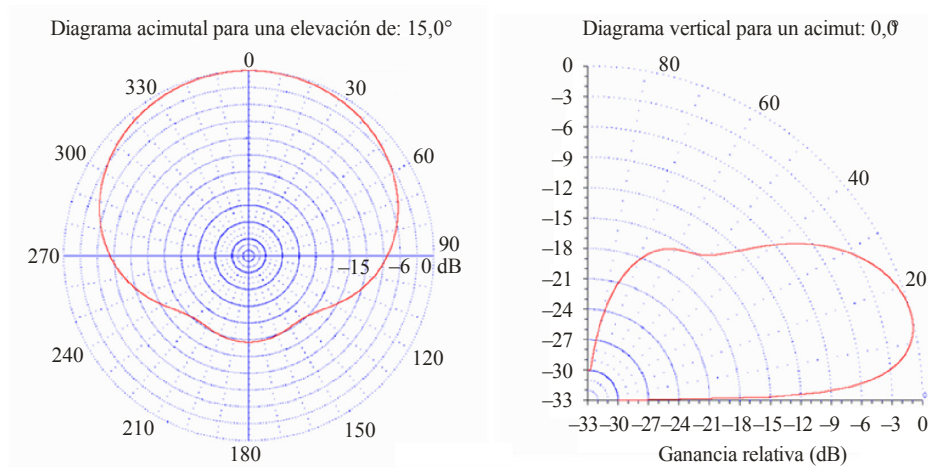
Diagramas de antena típicos de un radar oceanográfico
(omnidireccional; izquierda: acimutal, derecha: vertical)



M.1874-07

FIGURA 8

Diagramas de antena típicos de un radar oceanográfico
(directivo, Yagi de 3 elementos; izquierda: acimutal, derecha: vertical)



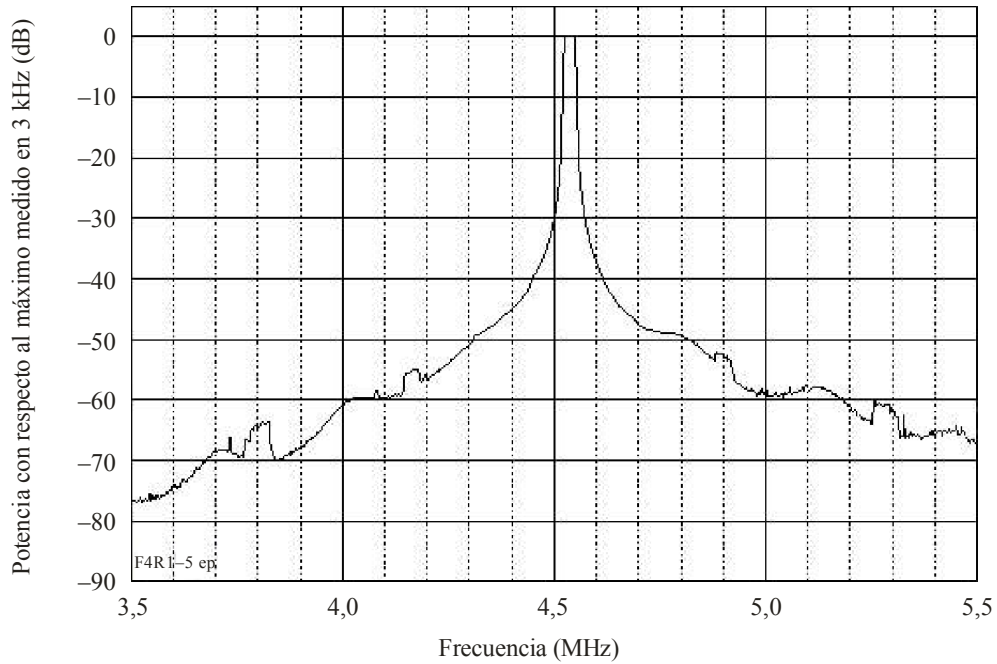
M.1874-08

4 Emisiones del transmisor

Las Figs. 9 y 10 ilustran emisiones típicas de radares oceanográficos a 4,5 MHz y 24 MHz.

FIGURA 9

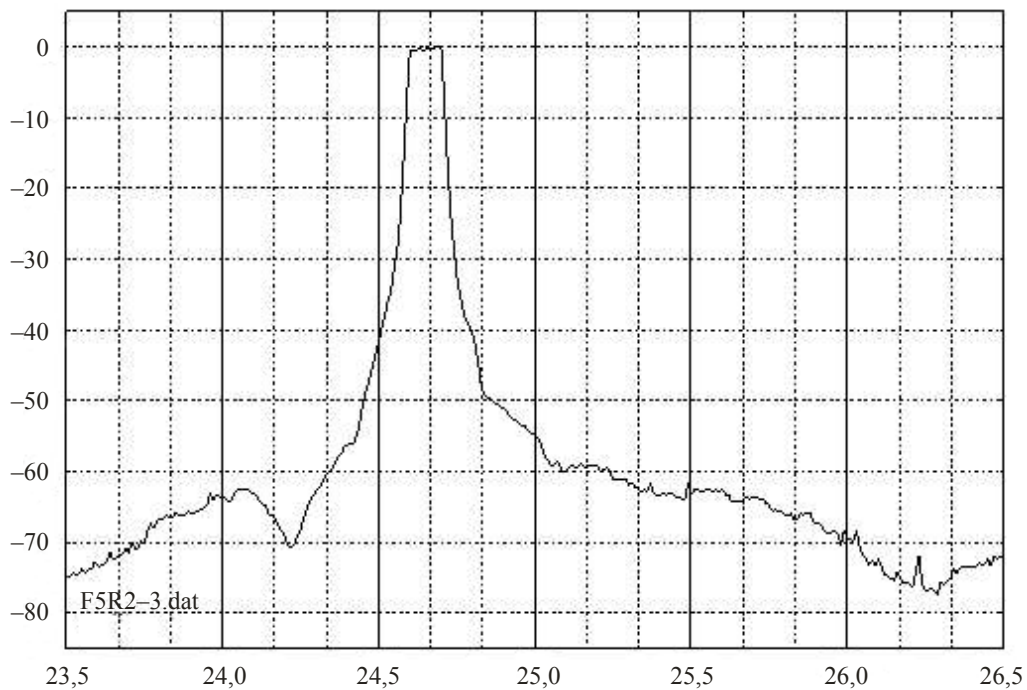
Emisión de un radar oceanográfico a 4,5 MHz



M.1874-09

FIGURA 10

Emisión de un radar oceanográfico a 24 MHz



M.1874-10

5 Características del sistema

Los Cuadros 2 a 4 contienen un resumen de las características de radiofrecuencia de sistemas de radares oceanográficos representativos utilizados para la supervisión del océano en las gamas de frecuencia entre 3 y 50 MHz.

CUADRO 2

Características de los radares oceanográficos genéricos para la observación del océano utilizando onda continua interrumpida modulada en frecuencia (FMICW)

Características	Sistema 1 5 MHz	Sistema 2 13 MHz	Sistema 3 25 MHz	Sistema 4 42 MHz
Función	Mediciones oceanográficas de largo alcance	Mediciones oceanográficas normalizadas	Mediciones oceanográficas de alta resolución	
Máximo alcance operacional (medición) ⁽¹⁾	170-200 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾	60-90 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾	30-50 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾	15-25 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾
Gama de resolución de alcance seleccionable por el usuario	3-12 km ⁽³⁾	2-3 km ⁽³⁾	0,3-2 km ⁽³⁾	0,3-1 km ⁽³⁾
Típicas anchuras de banda de barrido	25 kHz ⁽³⁾	50 kHz ⁽³⁾	100 kHz ⁽³⁾	125 kHz ⁽³⁾
Gramas de frecuencias ⁽⁴⁾	4-6 MHz ⁽⁴⁾	12-14 MHz ⁽⁴⁾	24-27 MHz ⁽⁴⁾	40-44 MHz ⁽⁴⁾
Potencia de cresta típica utilizada Máxima capacidad de sistema – Potencia de cresta entregada a la antena	50 W 80 W			50 W 80 W(100 W)
Anchura del impulso (µs)	1 000-2 000	300-600		30-100
Máximo ciclo de trabajo	50%			
Tiempo de elevación/caída del impulso (µs)	16/32	16		8/16
Método de sintonía del transmisor	Digital			
Método de sintonía del receptor	Digital			
Dispositivo de salida	FET conmutado (Funcionamiento de clase AB)			
Estabilidad del transmisor	0,001 ppm			
Estabilidad del receptor	0,001 ppm			

CUADRO 2 (Continuación)

Características	Sistema 1 5 MHz	Sistema 2 13 MHz	Sistema 3 25 MHz	Sistema 4 42 MHz
Tipo de diagrama de la antena transmisora	Omnidireccional (en el plano horizontal)			
Tipo de antena transmisora	Monopolo de cuarto de longitud de onda con plano de tierra			
Polarización de la antena	Vertical			
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	8			
Anchura de haz en elevación de la antena de transmisión	35°			
Anchura de haz acimutal de la antena de transmisión	Omnidireccional			
Velocidad de exploración horizontal de la antena de transmisión	Antena fija			
Altura de la antena de transmisión (m)	10	4	2	1,2
Tipo de diagrama de antena de recepción	Dipolos eléctricos y magnéticos			
Tipo de antena de recepción	Dos bucles cruzados y un monopolo como unidad sencilla			
Polarización de la antena de recepción	Vertical			
Ganancia del haz principal de la antena de recepción (dBi)	5			
Anchura de haz en elevación de la antena de recepción	45°			
Anchura de haz acimutal de la antena de recepción	Anchura de haz 90-360°			
Velocidad de exploración horizontal de la antena de recepción	Antena fija			

CUADRO 2 (Fin)

Características	Sistema 1 5 MHz	Sistema 2 13 MHz	Sistema 3 25 MHz	Sistema 4 42 MHz
Altura de la antena de recepción (m)	4			
Anchura de banda a 3 dB de la FI del receptor (Hz)	500			
Factor de ruido del receptor	12 dB con impulsos			
Mínima señal detectable	-147 dBm (500 Hz RBW ⁽⁵⁾) (nivel de ruido del sistema especificado)			
Intervalo de barrido	0,5 a 1,0 s			
Anchura de banda de la emisión del transmisor				
3 dB	26 kHz	54 kHz	105 kHz	128 kHz
20 dB	58 kHz	70 kHz	150 kHz	170 kHz
Supresión de armónicos	Sí			

- (1) El alcance depende de un cierto número de factores ambientales: ruido externo, altura de la ola significativa, velocidad de la corriente, emplazamiento del radar (proximidad al agua, obstrucciones cercanas) y frecuencia de funcionamiento.
- (2) El alcance se reduce significativamente durante las horas nocturnas.
- (3) Si bien la anchura de banda de barrido es ajustable (una anchura de banda mayor produce una mayor resolución en los datos), los sistemas funcionan normalmente con anchuras de banda de barrido típicas especificadas debido a la limitada anchura de banda disponible y a la necesidad de coexistir con otros sistemas radioeléctricos.
- (4) Especifica la gama de frecuencia para un comportamiento óptimo desde un punto de vista científico. No se necesita toda la gama de frecuencias para el funcionamiento.
- (5) RBW se refiere a la anchura de banda de resolución.

CUADRO 3

Características de los radares oceanográficos genéricos de ondas continuas moduladas en frecuencia (FMCW)

Características	Sistema 5 8 MHz	Sistema 6 12 MHz	Sistema 7 16 MHz	Sistema 8 25 MHz	Sistema 9 42 MHz
Función	Mediciones oceanográficas de muy largo alcance	Mediciones oceanográficas de largo alcance	Mediciones oceanográficas normalizadas	Mediciones oceanográficas de alta resolución	Mediciones de corto alcance de resolución óptima
Máximo alcance operacional (medición)	150-300 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾	100-150 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾	50-100 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾	30-60 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾	10-20 km (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾
Resolución de alcance	3-12 km	1-3 km	1-3 km Modo de alta resolución: 0,5 km	0,5-2 km Modo de alta resolución: 0,25 km	150-500 m
Anchura de banda de barrido (kHz)	50-12.5	150-50	300-50	600-75	300-1 000
Gama de frecuencias (MHz)	6-9	11-14	14-18	24-27	40-44
Potencia media entregada a la antena (= potencia de cresta)	30 W 7 W por antena				
Anchura de los impulsos	No hay impulso				
Máximo ciclo de trabajo	Onda continua				
Tiempo de elevación/caída del impulso	Onda continua				
Método de sintonía del transmisor	Digital (DDS)				
Método de sintonía del receptor	Digital (DDS)				
Dispositivo de salida	De estado sólido, bipolar (Funcionamiento de clase AB)				
Estabilidad del transmisor	0,1 ppm/año				
Estabilidad del receptor	0,1 ppm/año				

CUADRO 3 (Continuación)

Características	Sistema 5 8 MHz	Sistema 6 12 MHz	Sistema 7 16 MHz	Sistema 8 25 MHz	Sistema 9 42 MHz
Tipo de diagrama de antena del transmisor	Directiva > 90% de energía en el intervalo de $\pm 60^\circ$ de la anchura de haz				
Tipo de antena de transmisión	Sistemas de antenas rectangulares de 4 monopolos verticales $0,5 \times 0,15$ de longitud de onda				
Polarización de la antena	Vertical				
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	5 a 8				
Anchura de haz en elevación de la antena de transmisión	25 a 35°				
Anchura de haz acimutal de la antena de transmisión	120°				
Velocidad de exploración horizontal de la antena de transmisión	Antena fija				
Altura de la antena de transmisión (m)	< 10	< 6	< 4	< 3	< 2
Tipo de diagrama de antena de recepción	Directiva con anchura de haz de $\pm 3^\circ$ a $\pm 15^\circ$				
Tipo de antena del receptor	Sistema de monopolos (4 a 16 monopolos)				
Polarización de la antena de recepción	Vertical				
Ganancia del haz principal de la antena de recepción (dBi)	10 a 18				
Anchura de haz en elevación de la antena de recepción	35°				

CUADRO 3 (Fin)

Características	Sistema 5 8 MHz	Sistema 6 12 MHz	Sistema 7 16 MHz	Sistema 8 25 MHz	Sistema 9 42 MHz
Anchura de haz acimutal de la antena de recepción	6° a 30° dependiendo del tamaño del sistema				
Velocidad de exploración horizontal de la antena de recepción	Antena fija				
Altura de la antena de recepción (m)	< 10	< 6	< 4	< 3	< 2
Anchura de banda a 3 dB de la FI del receptor	No se utiliza FI. La anchura de banda de la banda base es 1,5 kHz				
Factor de ruido del receptor (dB)	8				
Mínima señal detectable	-142 dBm (en una anchura de banda de resolución de 1 500 Hz) (nivel de ruido del sistema especificado)				
Anchura de banda instantánea 3 dB 20 dB 60 dB	0,2 kHz 0,6 kHz 30 kHz				
Supresión de armónicos (dBc)	< -60				
Intervalo de barrido	200 a 500 ms	130 a 500 ms		130 a 250 ms	

⁽¹⁾ El alcance se reduce significativamente en las horas nocturnas.

CUADRO 4

Características	Sistema 10 9,2 MHz	Sistema 11 24,5 MHz	Sistema 12 24,5 MHz	Sistema 13 41,9 MHz
Función	Mediciones oceanográficas de largo alcance	Mediciones oceanográficas normalizadas		Mediciones oceanográficas de alta resolución
Máximo alcance operacional (medición) (km)	200-300	50-70		20-25
Resolución en alcance (km)	6,8	1,5		0,5
Anchura de banda de barrido (kHz)	22	100		300
Gama de frecuencias (MHz)	9,2	24,5		41,9
Potencia de cresta entregada a la antena	1 kW	100 W	200 W	100 W
Anchura del impulso (μ s)	1 330	488		244-280
Máximo ciclo de trabajo (%)	50			
Tiempo de elevación/caída del impulso	Suavizado ⁽¹⁾			
Método de sintonía del transmisor	Digital			
Método de sintonía del receptor	Digital			
Dispositivo de salida	FET conmutado (Funcionamiento de clase AB)			
Estabilidad del transmisor	0,03 ppm/año			
Estabilidad del receptor	0,03 ppm/año			
Tipo de diagrama de la antena de transmisión	Directiva			
Tipo de antena de transmisión	Yagi de 3 elementos	8 conjuntos de Yagi de 3 elementos	Yagi de 3 elementos	

CUADRO 4 (Continuación)

Características	Sistema 10 9,2 MHz	Sistema 11 24,5 MHz	Sistema 12 24,5 MHz	Sistema 13 41,9 MHz
Polarización de la antena	Vertical			
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	6	15	6	
Anchura de haz en elevación de la antena transmisora	30°	25°		
Anchura de haz acimutal de la antena de transmisora	120°	15°	120°	
Velocidad de exploración horizontal de la antena transmisora	Antena fija	Sistema de antenas fijas en fase 60 min por 12 direcciones	Antena fija	
Altura de la antena de transmisión ⁽²⁾ (m)	10	2-14		
Tipo de diagrama de antena del receptor	Directiva			
Tipo de antena de recepción	16 conjuntos de Yagi de 2 elementos	8 conjuntos de Yagi de 3 elementos		
Polarización de la antena de recepción	Vertical			
Ganancia del haz principal de la antena de recepción (dBi)	16	15		
Anchura de haz en elevación de la antena de recepción	30°	25°		
Anchura de haz acimutal de la antena de recepción	8-10°	15°		
Velocidad de exploración horizontal de la antena de recepción	Conformación del haz digital de la antena fija	Sistema de antenas fijas en fase 60 min por 12 direcciones	Conformación del haz digital de la antena fija	

CUADRO 4 (Fin)

Características	Sistema 10 9,2 MHz	Sistema 11 24,5 MHz	Sistema 12 24,5 MHz	Sistema 13 41,9 MHz
Altura de la antena de recepción ⁽²⁾ (m)	10	2-14		
Anchura de banda a 3 dB de la FI del receptor (Hz)	200			
Factor de ruido del receptor	17 dB con impulsos	12 dB con impulsos		13 dB con impulsos
Mínima señal detectable	-157 dBm (1 Hz anchura de banda de resolución)	-162 dBm (1 Hz anchura de banda de resolución)		-161 dBm (1 Hz anchura de banda de resolución)
Anchura de banda de emisión del transmisor (kHz)	25	110		320
Supresión de armónicos	Sí			
Intervalo de barrido	0,7 s	0,5 s		0,25 s

⁽¹⁾ Los bordes de los impulsos están conformados para controlar su espectro. La pendiente viene especificada indirectamente mediante el espectro.

⁽²⁾ Altura del punto de alimentación del sistema de antenas con respecto al suelo.