

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1874-1
(02/2013)

**Características técnicas y de funcionamiento
de los radares oceanográficos que
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 | Radioastronomía |
| RS | Sistemas de detección a distancia |
| S | Servicio fijo por satélite |
| SA | Aplicaciones espaciales y meteorología |
| SF | Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo |
| SM | Gestión del espectro |
| SNG | Periodismo electrónico por satélite |
| TF | Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias |
| V | Vocabulario y cuestiones afines |

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2014

© UIT 2014

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.1874-1

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)

(2009-2013)

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 la CMR-12 atribuyó un cierto número de bandas de frecuencia entre 3 a 50 MHz para el funcionamiento de estos radares;
- 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

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

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, el transporte de sedimentos y los tsunamis y la respuesta de resonancia de la ola de superficie asociada a los mismos (véase el Apéndice). 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

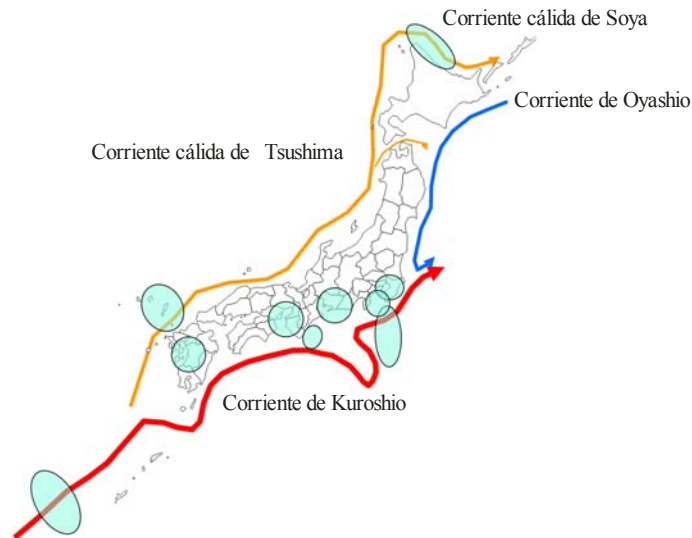
Ejemplo de la corriente en la superficie observada por los radares oceanográficos del sistema de vigilancia de la bahía de Tokio, explotado por el Ministerio del Territorio, Infraestructura, Transporte y Turismo, Japón



M.1874-01

FIGURA 2

Radares oceanográficos en Japón
(se muestran las zonas de observación para cada emplazamiento de radar fijo)

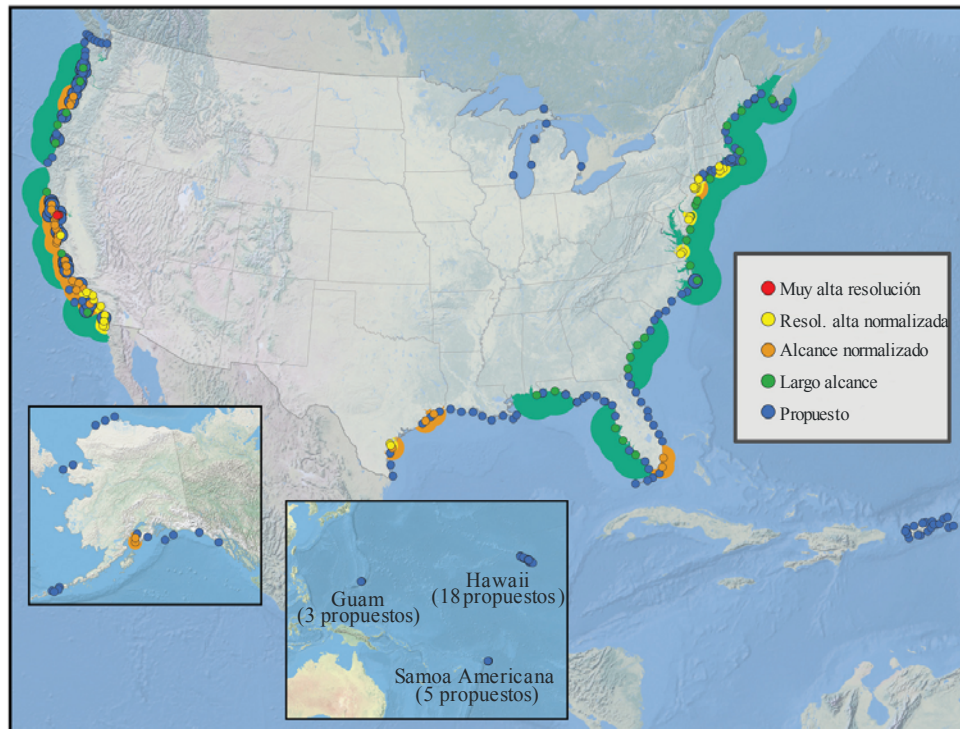


M.1874-02

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

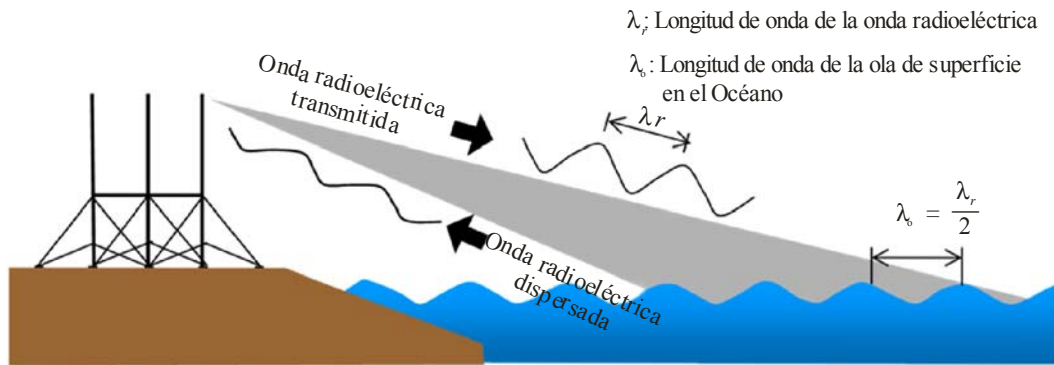
En los radares oceanográficos que utilizan dispersión de Bragg³, la gama de frecuencias de 3 a 50 MHz (longitud de onda de 100 a 6 m) es muy útil para medir las olas del océano causadas por el viento (véase la Fig. 4). La resolución espacial del radar viene limitada por la anchura de banda de la señal;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

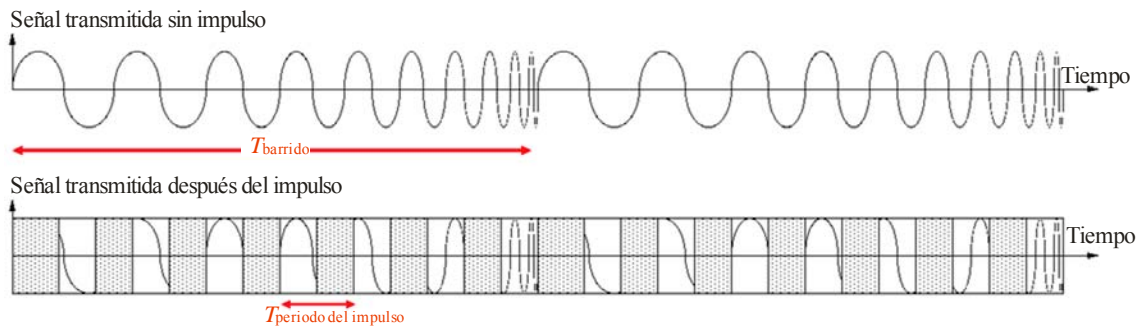
**Lista de parámetros de las formas de onda
de un radar oceanográfico típico**

| 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

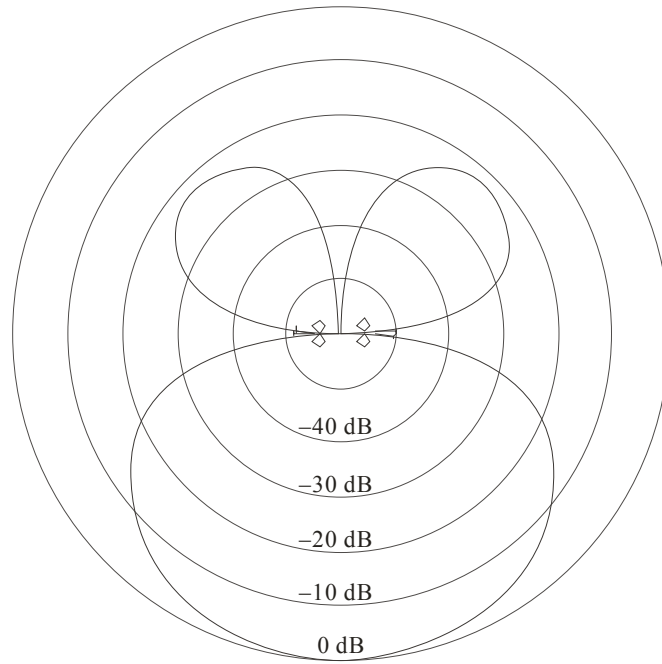


M.1874-05

3 Antenas de radares oceanográficos

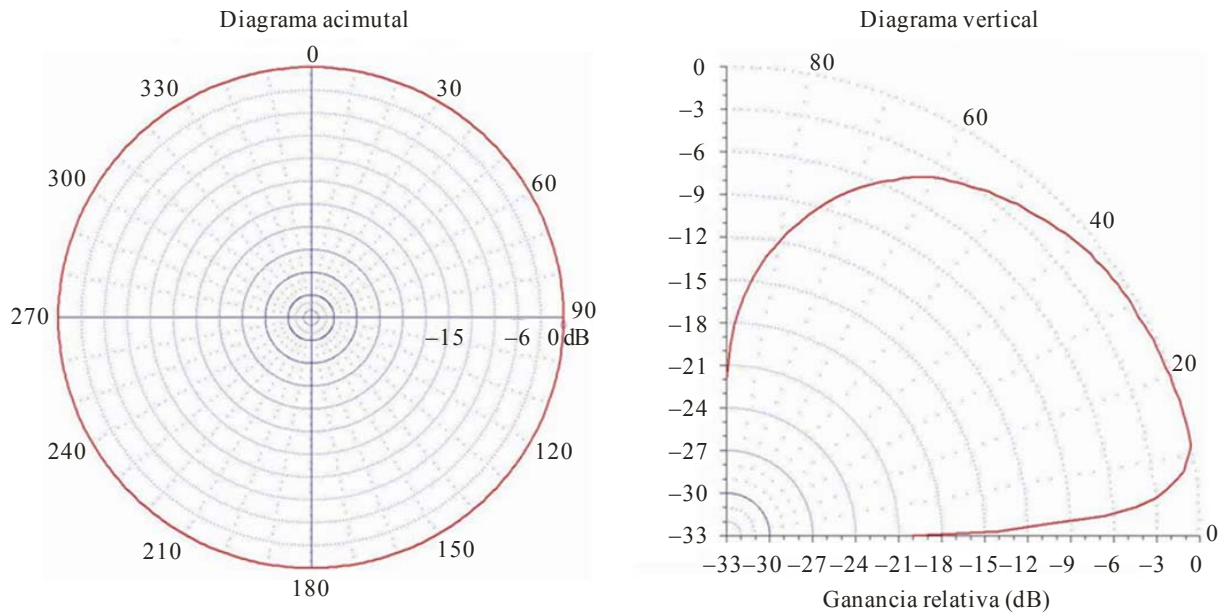
Actualmente se utiliza una cierta variedad de antenas en los sistemas de radar de observación del océano. Los sistemas emplean antenas Yagi de tres elementos o un sistema de antenas en fase a fin de realizar un barrido en dirección acimutal utilizando múltiples grupos de antenas Yagi para la transmisión, 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

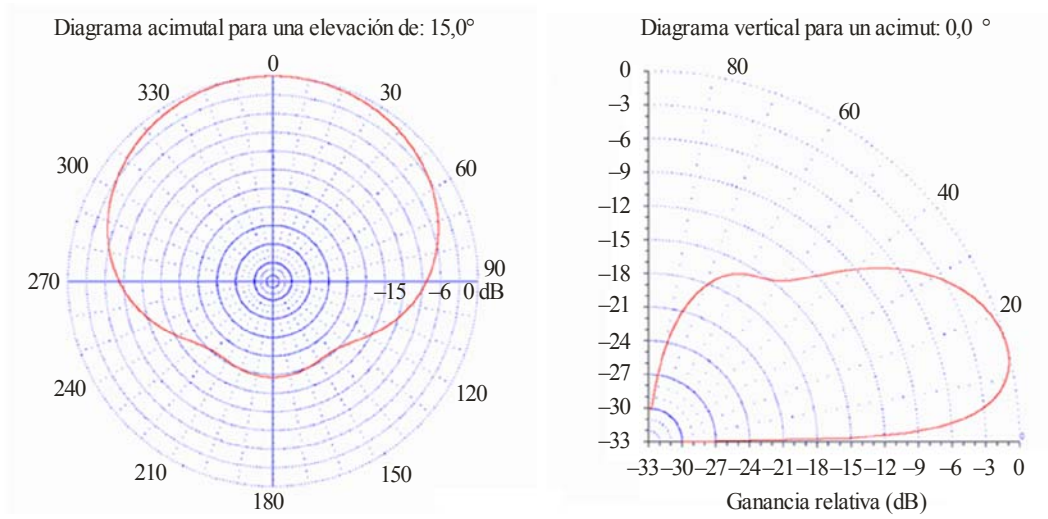
FIGURA 7
Diagramas de antena típicos de un radar oceanográfico
(omnidireccional; izquierda: acimutal, derecha: vertical)



M.1874-07

FIGURA 8

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



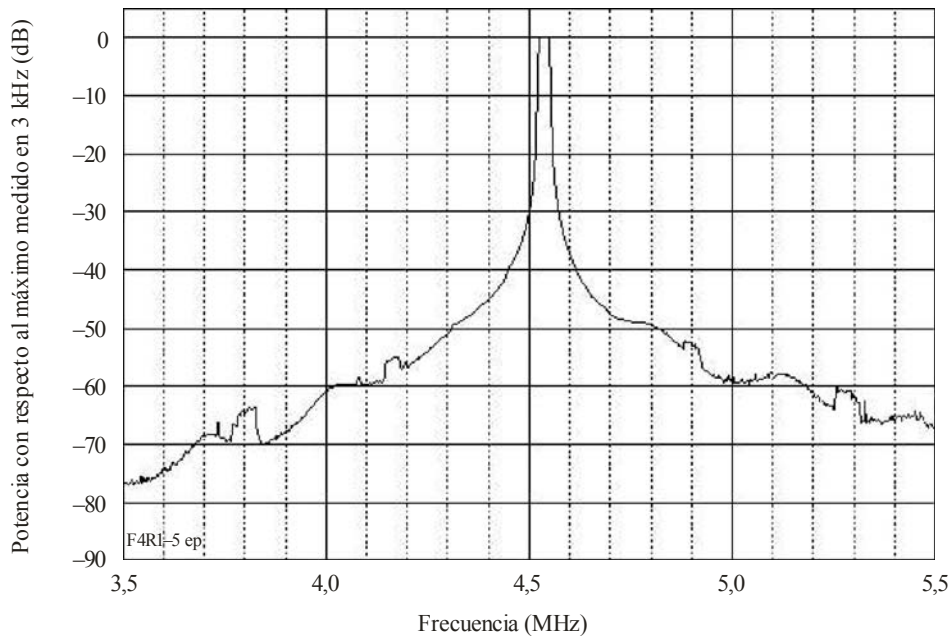
M.1874-08

4 Emisiones del transmisor

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

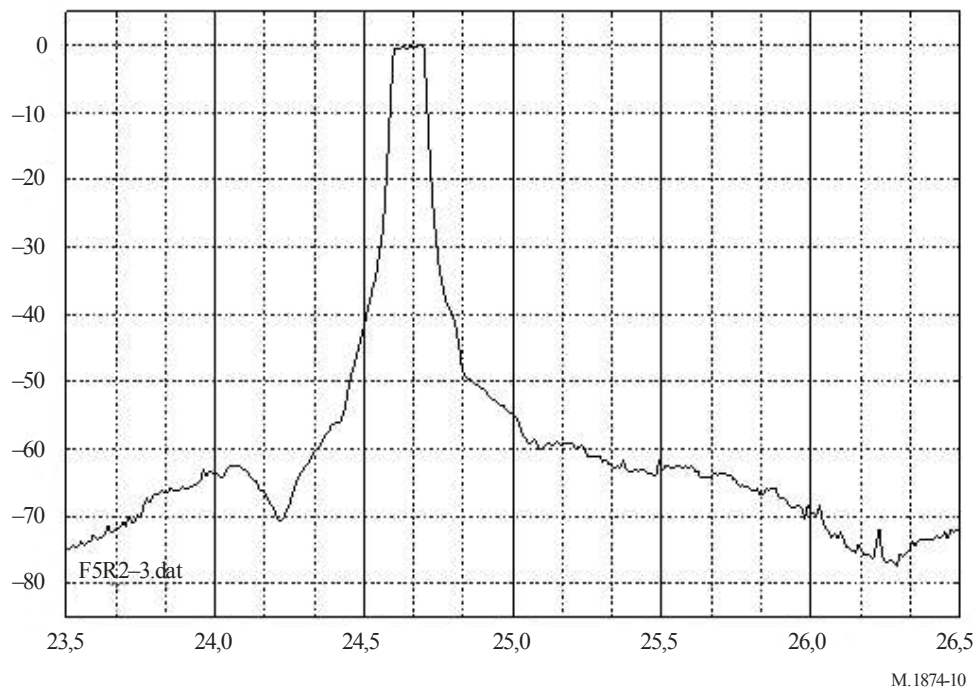
FIGURA 9

Emisión de un radar oceanográfico a 4,5 MHz



M.1874-09

FIGURA 10
Emisión de un radar oceanográfico a 24 MHz



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 | Unidades | 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⁾ | km | 170-200 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾ | 60-90 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾ | 30-50 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾ | 15-25 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽²⁾ |
| Gama de resolución de alcance seleccionable por el usuario | km | 3-12 ⁽³⁾ | 2-3 ⁽³⁾ | 0,3-2 ⁽³⁾ | 0,3-1 ⁽³⁾ |
| Típicas anchuras de banda de barrido | kHz | 25 ⁽³⁾ | 50 ⁽³⁾ | 100 ⁽³⁾ | 125 ⁽³⁾ |
| Gama de frecuencias ⁽⁴⁾ | MHz | 4-6 ⁽⁴⁾ | 12-14 ⁽⁴⁾ | 24-27 ⁽⁴⁾ | 40-44 ⁽⁴⁾ |
| Potencia de cresta típica utilizada Máxima capacidad de sistema – Potencia de cresta entregada a la antena | W | 50 80 | | | 50 80(100) |
| 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) | | | |

CUADRO 2 (continuación)

| Características | Unidades | Sistema 1 5 MHz | Sistema 2 13 MHz | Sistema 3 25 MHz | Sistema 4 42 MHz |
|---|----------|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| Estabilidad del transmisor | ppm | 0,001 | | | |
| Estabilidad del receptor | ppm | 0,001 | | | |
| 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 | grados | 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 | grados | 45 | | | |

CUADRO 2 (fin)

| Características | Unidades | Sistema 1 5 MHz | Sistema 2 13 MHz | Sistema 3 25 MHz | Sistema 4 42 MHz |
|---|----------|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| Anchura de haz acimutal de la antena de recepción | grados | 90-360 | | | |
| Velocidad de exploración horizontal de la antena de recepción | | Antena fija | | | |
| 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 | dB | 12 con impulsos | | | |
| Mínima señal detectable | dBm | -147 (500 Hz RBW ⁽⁵⁾) (nivel de ruido del sistema especificado) | | | |
| Intervalo de barrido | s | 0,5 a 1,0 | | | |
| Anchura de banda de la emisión del transmisor | kHz | | | | |
| 3 dB | | 26 | 54 | 105 | 128 |
| 20 dB | | 58 | 70 | 150 | 170 |
| 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 | Unidades | 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) | km | 150-300 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾ | 100-150 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾ | 50-100 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾ | 30-60 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾ | 10-20 (alcance medio durante las horas diurnas) ⁽¹⁾ |
| Resolución de alcance | km | 3-12 | 1-3 | 1-3 Modo de alta resolución: 0,5 km | 0,5-2 Modo de alta resolución: 0,25 km | 0,15-05 |
| 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) | W | 30 7 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) | | | | |

CUADRO 3 (continuación)

| Características | Unidades | Sistema 5 8 MHz | Sistema 6 12 MHz | Sistema 7 16 MHz | Sistema 8 25 MHz | Sistema 9 42 MHz |
|---|----------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Estabilidad del transmisor | ppm | 0,1/año | | | | |
| Estabilidad del receptor | ppm | 0,1/año | | | | |
| 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 | grados | 25 a 35 | | | | |
| Anchura de haz acimutal de la antena de transmisión | grados | 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 | grados | Directiva con anchura de haz de ± 3 a ± 15 | | | | |
| 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 | | | | |

CUADRO 3 (fin)

| Características | Unidades | Sistema 5 8 MHz | Sistema 6 12 MHz | Sistema 7 16 MHz | Sistema 8 25 MHz | Sistema 9 42 MHz |
|---|----------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Anchura de haz en elevación de la antena de recepción | grados | 35 | | | | |
| Anchura de haz acimutal de la antena de recepción | grados | 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 | kHz | No se utiliza FI. La anchura de banda de la banda base es 1,5 | | | | |
| Factor de ruido del receptor | dB | 8 | | | | |
| Mínima señal detectable | dBm | -142 (en una anchura de banda de resolución de 1 500 Hz) ⁽²⁾ (nivel de ruido del sistema especificado) | | | | |
| Anchura de banda instantánea 3 dB 20 dB 60 dB | kHz | 0,2 0,6 30 | | | | |
| Supresión de armónicos | dBc | < -60 | | | | |
| Intervalo de barrido | ms | 200 a 500 | 130 a 500 | | 130 a 250 | |

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

⁽²⁾ RBW se refiere a la anchura de banda de resolución.

CUADRO 4

| Características | Unidades | 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 | W | 1000 | 100 | 200 | 100 |
| Anchura del impulso | µs | 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 | ppm | 0,03/año | | | |
| Estabilidad del receptor | ppm | 0,03/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 | Unidades | 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 | grados | 30 | 25 | | |
| Anchura de haz acimutal de la antena de transmisora | grados | 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 | grados | 30 | 25 | | |
| Anchura de haz acimutal de la antena de recepción | grados | 8-10 | 15 | | |
| Velocidad de exploración horizontal de la antena de recepción | | Conformación del haz digital de la antena fija ⁽³⁾ | Sistema de antenas fijas en fase 60 min por 12 direcciones | Conformación del haz digital de la antena fija ⁽³⁾ | |

CUADRO 4 (fin)

| Características | Unidades | 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 | dB | 17 con impulsos | 12 con impulsos | | 13 con impulsos |
| Mínima señal detectable | dBm | -157 (1 Hz anchura de banda de resolución) | -162 (1 Hz anchura de banda de resolución) | | -161 (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 | s | 0,7 | 0,5 | | 0,25 |

⁽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.

⁽³⁾ Conformación del haz digital.

Apéndice

Estudio de caso de aplicación de un radar oceanográfico

Detección de la respuesta resonante de la ola de superficie de un tsunami

1 Consideraciones generales

A las 14.46 horas JSF (hora oficial de Japón) del 11 de marzo se produjo en las costas del Pacífico el Gran Terremoto del Este de Japón de M9.0 y las olas del tsunami asociadas. Deseamos manifestar nuestro más sincero dolor a las víctimas y agradecer la ayuda prestada y las condolencias recibidas de todo el mundo.

Esta breve contribución indica cómo el radar oceanográfico puede ayudar a detectar la ola del tsunami en una zona costera y hace hincapié en la importancia de las nuevas atribuciones al SRL para aplicaciones de radares oceanográficos con las disposiciones reglamentarias apropiadas para una posible compartición con los servicios existentes a fin de permitir un uso más eficaz del espectro y disminuir la interferencia causada a estos servicios existentes.

2 Tsunami en la costa del Pacífico de Japón

El nivel del mar subió más de 39 m en la zona Noreste de Japón (Fig. 11. Por el mapa de altura de la inundación del nivel del mar realizado por el 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group, <http://www.coastal.jp/tjt/>). La altura del tsunami y la anchura de la zona inundada alcanzaron proporciones históricas y resultó afectada un área de más de 500 km².

Las olas del tsunami alcanzaron la pendiente de la plataforma continental al sur del Canal de Kii, situado en la parte occidental de Japón (Fig. 12) en torno a las 16.20 horas (JST) del 11 de marzo de 2011, aproximadamente 1,5 horas después de producirse el terremoto. Las oscilaciones prolongadas y amplias en el canal produjeron numerosos daños por inundación. En el Puerto de Tachibana, situado en la costa occidental del canal, se registró una altura de la inundación de unos 3,5 m. En el Puerto de Kainan (KA en la Fig.12) situado en la costa oriental del canal, la máxima altura de la ola, de aproximadamente 2,6 m, apareció unas 4,5 horas después de la llegada del primer tsunami, como muestra la Fig. 13.

3 Sistema utilizado

La detección se realizó mediante el típico radar oceanográfico Sistema 12 de esta Recomendación. El radar tiene un sistema de antenas directivas (compuesto por 1 antena de transmisión y 8 antenas de recepción Yagi de 3 elementos) con conformación de haz digital. La resolución acimutal es de 7,5 grados en el ángulo de cobertura de ± 45 grados. El sistema funciona como una onda continua interrumpida modulada en frecuencia (FMICW) con una frecuencia central de 24,515 MHz y una anchura de banda de barrido de 100 kHz, dando lugar a una resolución en alcance de 1,5 km. Estas especificaciones permiten detectar corriente de superficie con una distribución especial de resolución espacio-temporal elevada.

En modo de funcionamiento normal, el mapa de velocidad radial de superficie se mide cada hora. En modo de funcionamiento ad-hoc una señal transmitida y recibida continuamente permite obtener el mapa de velocidad cada 2-3 minutos. El radar oceanográfico funcionó en modo ad-hoc desde la 17.00 horas (JST) del 11 de marzo hasta las 16.30 horas (JST) del 19 de marzo de 2011.

En el análisis no sólo se utilizó el radar oceanográfico sino también los datos de elevación de la superficie del mar obtenidos en el canal (KA y KO) y sobre la pendiente de la plataforma continental (WA) también se utilizaron para el análisis. Los datos en KA fueron obtenidos por la Autoridad de Información Geoespacial de Japón. Los datos en KO y WA, obtenidos por la Red Nacional de Información sobre olas oceánicas para instalaciones portuarias (NOWPHAS) fueron proporcionados por el Ministerio del Territorio, Infraestructura, Transporte y Turismo (MLIT).

4 Resultados de la observación

La primera ola del tsunami llegó a WA en torno a las 16.20 horas del 11 de marzo. A continuación llegó a KO aproximadamente a las 17.00 horas y a KA a eso de las 17.05 horas, como muestra la Fig. 13. La altura de la primera ola en KA (168 cm) puede explicarse someramente por la llegada a aguas poco profundas de la ola incidente en WA (63 cm) sobre la plataforma continental, mientras que en KO (66 cm), en el lado occidental del canal, la altura fue casi igual que en WA (63 cm), probablemente debido a una combinación de la refracción de la ola inducida por batimetría y los efectos las aguas poco profundas.

En WA y KO, la altura de la ola disminuyó gradualmente con el tiempo y medía menos de 15 cm a las 12.00 horas del 12 de marzo. Por el contrario, en KA aunque la altura de las olas disminuyó gradualmente en la primera y la tercera ola, aumentó rápidamente a partir de la cuarta ola a causa de la resonancia de las olas de superficie. La máxima altura de la ola, de 262 cm, se observó en la séptima ola en torno a las 21.30 horas en KA. La oscilación de la resonancia de la ola de superficie en KA produjo una altura de la ola mayor que los 50 cm observados alrededor de las 12.00 horas del 12 de marzo.

De la primera a la tercera ola con mayores amplitudes de la velocidad radial, las fases a largas distancias deterioraron las fases a distancias más cortas (Fig. 14). La relación entre las fases cambió gradualmente tras la tercera ola pasando a fuera de fase de las 20.00 horas a las 23.00 horas seguido por el establecimiento de una relación en fase entre 1,5 km y 30 km a lo largo del haz del radar debido a la aparición de la resonancia de la ola de superficie. El cambio en la relación de fase es evidente en el diagrama de series temporales de las velocidades radiales en HF-12K y HF-24K (Fig. 14). De la primera a la tercera ola la fase en HF-12K se retrasó respecto a la de HF-24K unos 4 min. Teniendo en cuenta que la profundidad media del agua entre los dos puntos es 50 m, el tiempo de desplazamiento de la ola del tsunami se estimó en unos 8 min., que es un intervalo más breve que el tiempo de retraso observado, lo que sugiere que la dirección de propagación de las tres primeras olas sería diferente a la del haz del radar.

5 Conclusiones

Las olas del tsunami se propagaron desde la pendiente de la plataforma continental hasta la parte interior del Canal de Kii como ondas progresivas hasta la tercera ola y a continuación las oscilaciones naturales fueron excitadas por las olas. Ello provocó oscilaciones secundarias en el canal e inundaciones en la costa⁵.

La principal ventaja del radar oceanográfico es la distancia desde la costa a la que puede detectarse el tsunami; sin embargo, aún es necesario realizar estudios técnicos y operacionales adicionales^{6, 7}.

⁵ Hinata, H. *et.al.*, Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected by HF radar in the Kii Channel, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95: 268-273, 2011.

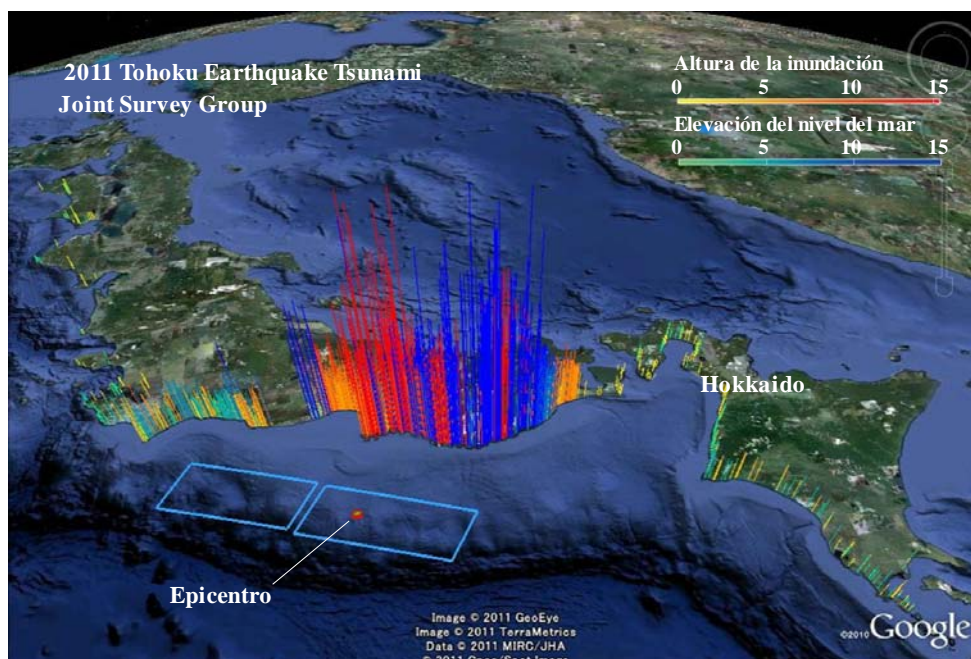
⁶ Lipa et al., Japan Tsunami Current Flows Observed by HF Radars on Two Continents, *Remote Sens.*3: 1663-1679, 2011.

Rec. UIT-R M.1874-1

Estas conclusiones añaden un nuevo cometido para el radar oceanográfico: medir detalladamente los campos de corriente de superficie con una elevada resolución espacio-temporal a fin de comprender perfectamente los procesos de la respuesta resonante a la ola del tsunami en los canales. Como la respuesta resonante podría excitar olas más elevadas que las olas de llegada originales, este es un tema importante para el que se debe estar preparado en caso de catástrofes inesperadas.

FIGURA 11

Mapa de altura de la inundación y elevación del nivel del mar
realizado por el 2011 Tohoku Earthquake Tsunami
Joint Survey Group (<http://www.coastal.jp/ttjt/>)



M.1874-11

⁷ HELZEL Messtechnik GmbH. WERA Ocean Rader in Chile Observed Tsunami Signatures after the Earthquake in Japan on March 11, 2011, Press Release on May 2011, (<http://www.helzel.com/files/432/upload/Tsunami/Press-Release-Tsunami-WERA-2011.pdf>).

FIGURA 12

Mapa de los sistemas de radar oceanográfico (cuadrados y triángulos) y de los sistemas de supervisión de elevación de la superficie del mar (círculos negros) en el Canal de Kii en la costa occidental de Japón

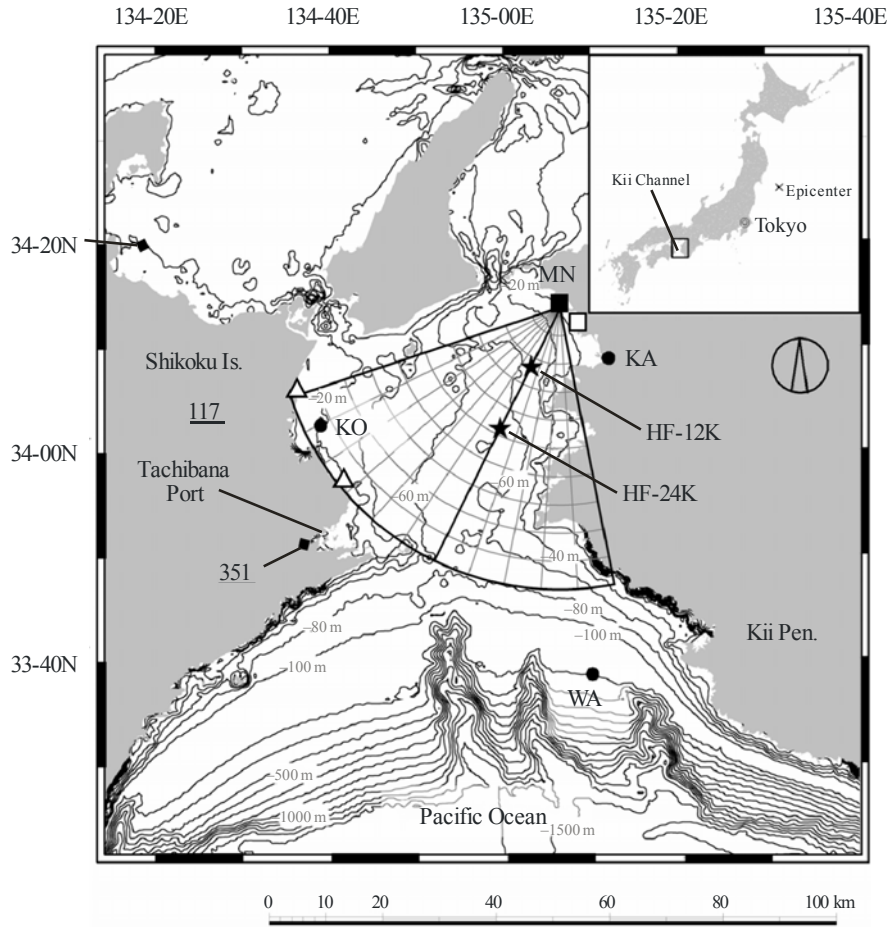
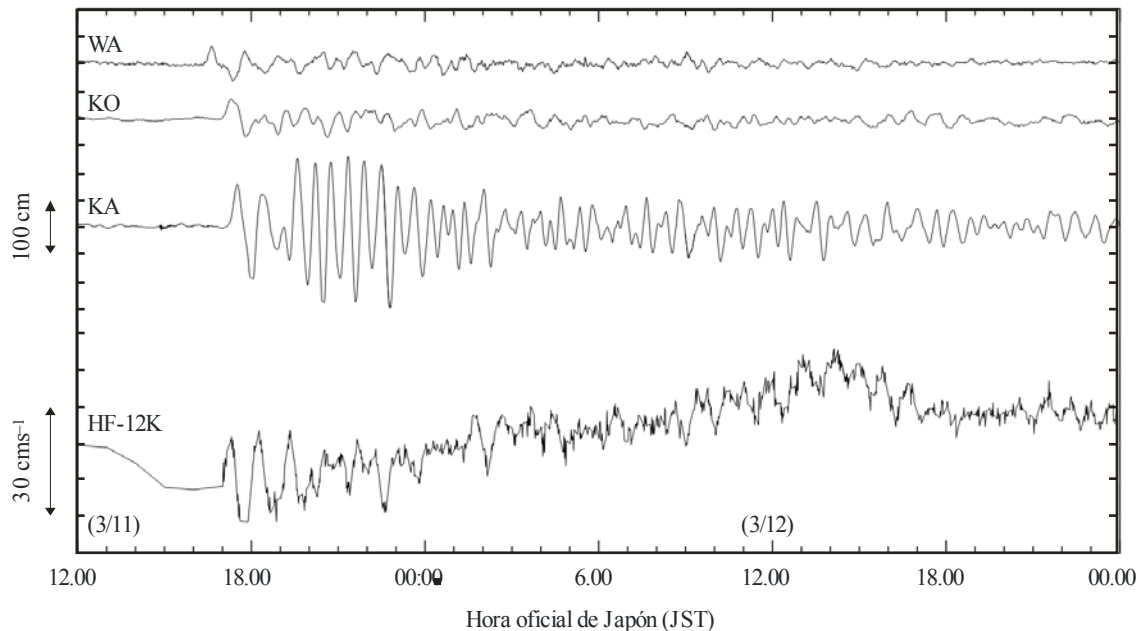


FIGURA 13

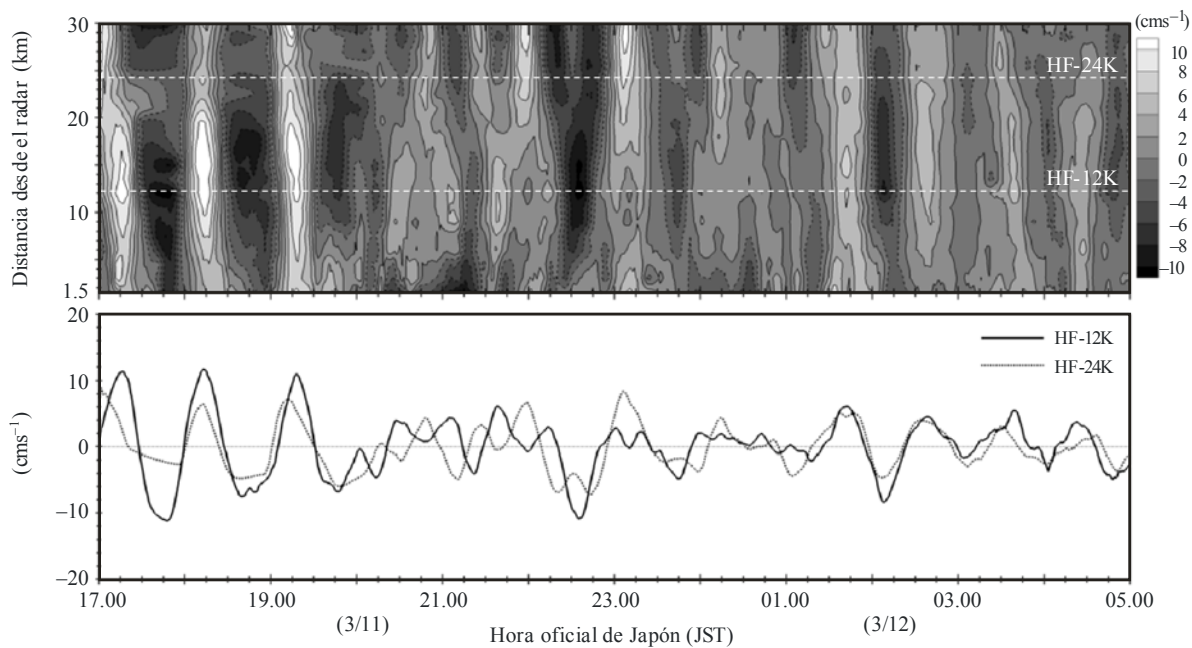
Detalles de la elevación de la superficie del mar en WA, KO, KA y velocidad radial en HF-12K (a una distancia de 12 km del radar mar adentro)



M.1874-13

FIGURA 14

Tiempo-distancia (arriba) y diagrama de series temporales (abajo) de las velocidades radiales de las 12.00 horas a las 17.00 del 11 de marzo de 2011



M.1874-14