



# **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**CURSO 2013-2014**

## **RADIOBALIZAS Y RADIOGONIOMETRÍA: IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN**

Tutor/es: Antonio Ceferino Bermejo Díaz

Alumno: Mario Hernández Hernández

Grado: Náutica y Transporte Marítimo



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>1. RADIOBALIZAS</b>	7
<b>1.1. SISTEMA COSPAS-SARSAT</b>	7
1.1.1. Principio de funcionamiento	11
1.1.2. Conceptos	13
1.1.3. Radiobalizas de emergencia	15
1.1.3.1. EPIRB's	17
1.1.3.2. ELT's	23
1.1.3.3. PBL's	24
1.1.4. Radiobalizas incompatibles con Cospas-Sarsat	29
1.1.5. Proceso de rescate	30
<b>1.2. SISTEMA INMARSAT</b>	30
1.2.1. Principio de funcionamiento	31
1.2.2. EPIRB's Inmarsat	33
<b>1.3. OTRAS APLICACIONES</b>	35
1.3.1. Chaleco con radiobaliza – INDRA	35
<b>2. RADIOGONIOMETRÍA</b>	39
<b>2.1. INTRODUCCIÓN A LA RADIOGONIOMETRÍA</b>	39
<b>2.2. HISTORIA</b>	41
<b>2.3. PRINCIPIOS DEL SISTEMA</b>	43
2.3.1. El Diagrama Polar de recepción	46
2.3.2. El Principio de la Antena de Cuadro	47
2.3.3. La ambigüedad en la demora. (La incertidumbre de los 180°)	56
<b>2.4. ANTENAS</b>	59
2.4.1. La Antena de cuadro giratorio	59
2.4.2. La Antena cruzada Bellini-Tosi	61

2.4.3. La Antena de Barra de Ferrita	67
<b>2.5. RADIOGONIÓMETROS PORTÁTILES</b>	69
<b>2.6. FRECUENCIAS DE TRABAJO</b>	70
<b>2.7. RADIOFAROS</b>	70
2.7.1. Radiofaros omnidireccionales, giratorios y dirigidos	70
2.7.2. Estaciones Radiogoniométricas	72
2.7.3. Radiofaros marítimos de VHF	73
<b>2.8. RADIOGONIÓMETROS CON ANTENA ADCOCK, VHF</b>	75
<b>2.9. RADIOGONIOMETRÍA Y RADIOBALIZAS</b>	78
<b>CONCLUSIÓN</b>	81
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	82

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Logo sistema Cospas-Sarsat	8
Ilustración 1.2. Segmento espacial Cospas-Sarsat	9
Ilustración 1.3. Funcionamiento del sistema Cospas-Sarsat	10
Ilustración 1.4. Visión general sistema Cospas-Sarsat	11
Ilustración 1.5. Partes de una radiobaliza EPIRB	19
Ilustración 1.6. Radiobaliza ELT	24
Ilustración 1.7. Radiobaliza PLB	25
Ilustración 1.8. Mensajero satelital SPOT	28
Ilustración 1.9. Funcionamiento de un SPOT	29
Ilustración 1.10. Cobertura del sistema INMARSAT	32
Ilustración 1.11. EPIRB INMARSAT	34
Ilustración 1.12. Chaleco con radiobaliza	35
Ilustración 1.13. Funcionamiento del chaleco con radiobaliza	36
Ilustración 2.1. Campo eléctrico en torno a una antena vertical	44
Ilustración 2.2. Ondas eléctricas y magnéticas	45
Ilustración 2.3. Forma aproximada del campo electromagnético, las líneas de fuerza del campo eléctrico, se encuentran inclinadas a una cierta distancia de la antena vertical transmisora	45
Ilustración 2.4. Plano de la antena perpendicular a la dirección de propagación de la onda de radio	48
Ilustración 2.5. Plano de la antena paralelo a la dirección de propagación de la onda	49
Ilustración 2.6. Voltaje $e_2$ desplazado del $e$	50
Ilustración 2.7. $\Phi$ función de $d \cdot \cos \theta$	51
Ilustración 2.8. Diagrama polar de recepción de la antena de cuadro	52
Ilustración 2.9. Distintos tipos de antenas de radiogoniómetros	53
Ilustración 2.10. Diagrama polar asimétrico	54

Ilustración 2.11. Cubierta de la antena	55
Ilustración 2.12. Diagrama con desequilibrio	56
Ilustración 2.13. Cardiode	58
Ilustración 2.14. Efecto conjunto de la antena de cuadro y la vertical en una vuelta completa al horizonte	58
Ilustración 2.15. Antena aislada de las ondas electromagnéticas	60
Ilustración 2.16. Antena de cuadro giratorio	61
Ilustración 2.17. Antena cruzada Bellini-Tosi	62
Ilustración 2.18. Receptor antena cruzada Bellini-Tosi	64
Ilustración 2.19. Situación de la antena cruzada Bellini-Tosi a bordo	64
Ilustración 2.20. Voltajes finales en las antenas FA y PS	65
Ilustración 2.21. Bobinas	65
Ilustración 2.22. Circuito característico de los receptores de las antenas cruzadas tipo Bellini-Tosi	67
Ilustración 2.23. Comparación del comportamiento de una antena de barra de ferrita con el de una antena de cuadro	68
Ilustración 2.24. Radiogoniómetro portátil	69
Ilustración 2.25. Radiofaros giratorios de VHF	74
Ilustración 2.26. Antena Adcock	76
Ilustración 2.27. Receptor de VHF	77
Ilustración 2.28. Receptor de HF	78
Ilustración 2.29. Crewguard Receiver	79
Ilustración 2.30. Acercamiento a la radiobaliza (homming)	80

## **LISTA DE CUADROS**

Tabla 1.1. Canales asignados a la banda de 406 MHz a 406.1 MHz	16
--	----

# INTRODUCCIÓN

De todos es conocido el vertiginoso avance que han experimentado los sistemas electrónicos y la tecnología espacial y de comunicaciones, durante las últimas décadas. Todo ello ha provocado una evolución en los sistemas de radionavegación que aparentemente han ido desplazando gradualmente a la Radiogoniometría.

Las múltiples ventajas de los modernos sistemas, tales como, mayor precisión, facilidad de manejo, disponibilidad y menor susceptibilidad a efectos perturbadores, han hecho que el marino moderno casi no utilice el gonio.

Sin embargo en embarcaciones de salvamento y buques pesqueros, el Gonio de VHF constituye una herramienta eficaz para el acercamiento (homming), a radiobalizas, hombres caídos al agua y embarcaciones de supervivencia localizando la dirección de procedencia de los transmisores.

En este trabajo haremos una revisión de los diferentes tipos de radiobalizas para buques y personales.

También se desarrollará el fundamento teórico de la radiogoniometría y su utilidad para el acercamiento a radiobalizas y transmisores, especialmente en situaciones de poca visibilidad (noche, nieblas y densas calimas).

# CAPÍTULO 1

## RADIOBALIZAS

En este capítulo se desarrollará el Sistema COSPAS-SARSAT y los tipos de radiobalizas de los que está compuesto. También se hablará del Sistema INMARSAT y el tipo de radiobaliza que complementa.

### 1.1. SISTEMA COSPAS-SARSAT

COSPAS-SARSAT es un sistema internacional de búsqueda y rescate. Actualmente es uno de los sistemas de búsqueda y rescate operativo más importantes. Consiste en una constelación de satélites, con cobertura global, que están situados en órbita polar (aprox. Entre 800 y 1000 Km. de altitud, órbita LEO), y una serie de estaciones terrestres de recepción, que envían señales de alerta e información de localización a las autoridades terrestres de recepción, que envían señales de alerta e información de localización a las autoridades responsables del rescate ya sea por mar, tierra o aire.

El sistema nace de la unión de SARSAT (Search And Rescue Satellite-Aided Tracking) y su homólogo soviético COSPAS (que significa Sistema Espacial para la búsqueda de buques en peligro, en ruso).

El uso del sistema COSPAS-SARSAT por las agencias SAR (Search and Rescue) comenzó en 1982 cuando se rescataron a 3 personas en un accidente de avioneta en Canadá [1].



Ilustración 1.1. Logo sistema Cospas-Sarsat.

Este sistema está compuesto por dos segmentos el de superficie y el espacial:

- Radiobalizas de socorro que deben activarse en una emergencia que amenace la vida.
- Repetidores de señal SAR (SARR) y procesadores de señales SAR (SARP) a bordo de los satélites.
- Satélite enlace de recepción y estaciones de procesamiento de señales denominada LUT (terminales de usuario locales).
- Centros de Control de Misión que distribuyen a los Centros de Coordinación de Rescate los datos de alerta de socorro (en particular los datos de radiobalizas de localización) generados por las tablas de búsqueda.
- Centros de Coordinación de Rescate que facilitan la coordinación de la agencia de búsqueda y salvamento y personal de respuesta a una situación de peligro.

El segmento espacial del sistema Cospas-Sarsat en la actualidad lo compone el instrumental SARR a bordo de 5 satélites geoestacionarios llamados GEOSARs, y los instrumentales SARP y SARR a bordo de 6 satélites de órbita polar baja llamada LEOSARs.



Ilustración 1.2. Segmento espacial Cospas-Sarsat.

El primer satélite del sistema, el "COSPAS-1" (Kosmos 1383) se lanzó desde el cosmódromo de Plesetsk, el 29 de junio de 1982. En septiembre de 1982 Cospas-Sarsat comenzó a seguir dos tipos de radiobalizas de socorro [2].

En concreto, fueron:

- **EPIRB's** (Emergency Position Indicating Radio Beacon): Radiobalizas marítimas de emergencia e indicadoras de posición que transmiten en 406 MHz, asociadas al código de identificación del barco [3].
- **ELT's** (Emergency Locator Transmitter): balizas de emergencia aeronáutica que transmiten en 406 MHz, asociadas a una aeronave, permitiendo su identificación [3].

Más recientemente, está disponible un nuevo tipo de radiobaliza de socorro (en el año 2003 en los EE.UU.) [2]:

- **PLB's** (Personal Locator Beacon): radiobalizas portátiles de emergencia para uso personal que transmiten en 406 MHz. Normalmente se llaman simplemente "balizas" (*beacons* en inglés) [3].

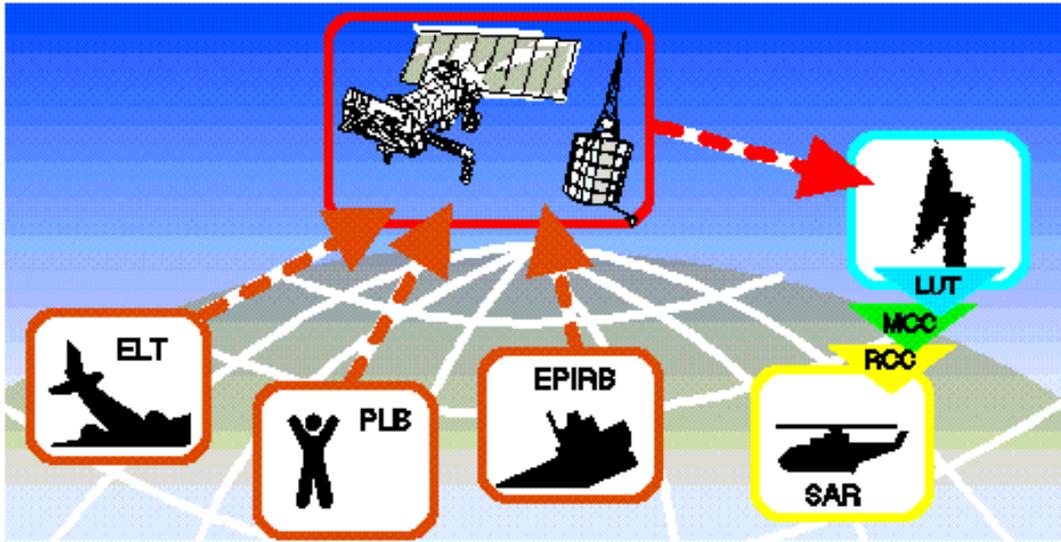


Ilustración 1.3. Funcionamiento del sistema Cospas-Sarsat.

El diseño de las radiobalizas de socorro ha evolucionado significativamente desde 1982, las nuevas balizas de 406 MHz incorporan receptores GPS. Dichas balizas transmiten la posición con elevada precisión casi al instante a los organismos de búsqueda y salvamento a través de los satélites GEOSAR.

Cospas-Sarsat es un elemento del Sistema mundial de socorro y seguridad marítima (SMSSM) de la Organización Marítima Internacional. Por ahora se requiere la activación automática de las RLS en los buques sujetos a los requisitos de la Convención Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (los llamados buques clase SOLAS), los buques de pesca comercial, y todos los buques de pasaje. Los emisores puede tener la información de identificación del buque pre-programado en la transmisión. O bien, si la baliza ha sido debidamente registrada ante las autoridades con antelación, los Centros Coordinadores de Salvamento serán capaces de recuperar la identificación del buque e información de contacto a partir de una base de datos de registro de balizas [2].

### 1.1.1. Principio de funcionamiento

Las balizas transmiten las señales de alerta a los satélites, que las retransmiten a las estaciones terrestres denominadas LUT's (Local User Terminal) donde se procesan y se determina la localización de la baliza. Esta información se envía al Centro de Control de Misiones (MCC) que se encarga de transmitirla o bien a otro MCC o bien al Centro de Coordinación de Rescates más apropiado (RCC). En España este centro se encuentra ubicado en las instalaciones del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, en el Centro Espacial de Canarias (Estación Espacial de Maspalomas) [1].

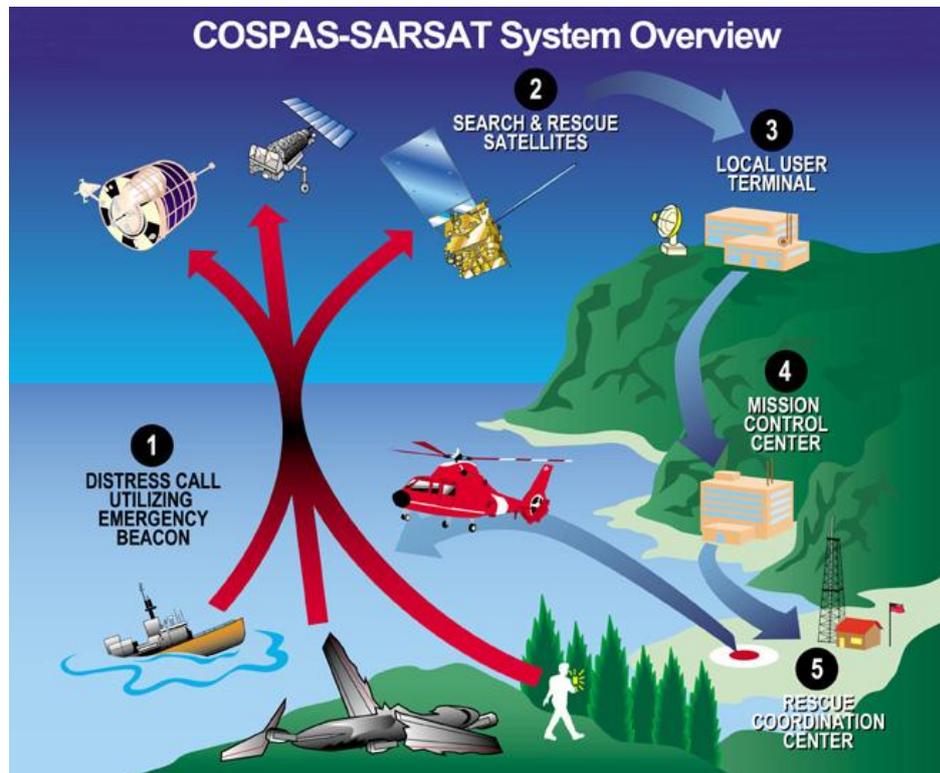


Ilustración 1.4. Visión general sistema Cospas-Sarsat.

El protocolo de actuación, ante la activación de una radiobaliza de emergencia es diferente dependiendo si el ámbito es el de la aeronáutica civil u otro. Para disminuir el tiempo de reacción ante una posible alarma, se hace necesario

poder diferenciar la activación de una baliza militar de una civil. Por ello se requiere regular el procedimiento de registro, de manera que en su codificación se reserven unos dígitos cuyo empleo esté limitado a las Fuerzas Armadas y a la Guardia Civil [3].

La localización de las balizas se realiza haciendo uso del efecto Doppler (variación de la frecuencia debido a la velocidad relativa del satélite respecto a la baliza). Las frecuencias usadas son de 121.5 y de 406 MHz. Las balizas que emplean la frecuencia de 406 MHz son más sofisticadas que las de 121.5, ya que incluyen códigos de identificación junto con el mensaje.

El uso del efecto “Doppler” para la localización de las balizas da como resultado dos localizaciones: la verdadera y otra, que no es más que la imagen de la anterior. Para averiguar cuál es la correcta se emplean unos cálculos que tiene en cuenta la rotación de la tierra. Con las balizas de 406 MHz. es posible solucionar este problema más rápido.

Actualmente existen 14 MCC’s operativos en 14 países y 29 LUT’s operativas en 17 países. Además existen 6 MCC’s bajo test en 6 países y 4 LUT’s en otros 4 [4].

El acuerdo COSPAS-SARSAT lo forman Estados Unidos, Canadá, Francia y Rusia. Además hay 14 países proveedores de segmentos terrestres, 8 países usuarios y 2 organizaciones participantes, que en total suman 28, entre países y organizaciones. Existen más países que están en proceso de integración.

Las organizaciones que toman parte en el sistema son: The International Maritime Organization (IMO); The International Civil Aviation Organization (ICAO); The International Telecommunication Union (ITU); The International Chamber of Shipping (ICS); The International Radio Maritime Committee (CIRM); The International Federation of Air Line Pilots Associations (IFALPA).

La configuración nominal del sistema comprende 4 satélites, dos Cospas y dos Sarsat.

Rusia proporciona dos satélites Cospas situados en órbitas casi polares, a una altitud de 1000Km. y equipados con instrumentación SAR a 121.5 y 406MHz. Los Estados Unidos proporcionan dos satélites meteorológicos NOAA situados en órbita casi polar aproximadamente 850 Km. de altitud, equipados con instrumental SAR a 121.5 y 406 Mhz, suministrado por Canadá y Francia [1].

### **1.1.2. Conceptos**

1. *Centro de Control de la Misión (MCC) Cospas/Sarsat (Cospas/Sarsat Mission Control Centre)*: Centro encargado de almacenar, ordenar y distribuir, la información de detección y localización de las alertas de emergencia, procesadas en las estaciones de recepción, a los Centros Coordinadores de Salvamento correspondientes o a los Puntos de Contacto SAR [1].

2. *Centro Coordinador de Salvamento (RCC) (Rescue Coordination Centre)*: Centro responsable de proporcionar la organización eficiente, coordinación y conducción de los servicios de búsqueda y salvamento aéreo (SAR) dentro de su área de responsabilidad, capaz de recibir alertas de emergencia Cospas/Sarsat distribuidas por un MCC [1].

3. *Alerta de emergencia Cospas/Sarsat*: mensaje que se transmite desde un MCC a un RCC informando de una potencial situación de emergencia emitida por una radiobaliza [1].

4. *Código de identificación de radiobaliza*: conjunto de 15 caracteres hexadecimales que se le asigna a una baliza y la identifica inequívocamente [1].

5. *Registrador de radiobalizas militares*: es el órgano encargado de asignar el código de identificación de radiobaliza en función de parámetros determinados para cada ejército o institución [1].

6. *Formulario para el registro de radiobalizas*: impreso que proporciona el órgano registrador para obtener los datos necesarios y asignar el código de radiobaliza [1].

### 1.1.3. Radiobalizas de emergencia

Una radiobaliza de emergencia es un aparato transmisor de radio utilizado en situaciones de emergencia para facilitar la localización de un barco, un avión o una persona que se encuentran en peligro. Cuando se activa, este dispositivo envía señales intermitentes con los datos que permiten la localización de personas, buques o aeronaves en la necesidad de rescate. La señal es recogida por un satélite de la red (COSPAS-SARSAT) que calcula la posición y alerta a los servicios de rescate. Los modelos más modernos pueden enviar las coordenadas, lo que agiliza el rescate [5].

La finalidad básica de esta tecnología es permitir el rescate más rápido posible de las víctimas, pues se sabe estadísticamente que la mayoría de las bajas sólo sobrevive los primeros días, cuando no sólo el primer día, dependiendo de la situación. Entre 1982 y 2002, este sistema permitió el rescate de cerca de 14.700 personas. En 2002, se registraron aproximadamente 82.000 usos del sistema, ayudando a muchas personas en todo el mundo [6].

Como ya expuse anteriormente existen tres tipos:

- Navegación marítima: **EPIRB-RLS** (Emergency position-indicating radio beacon, Radiobaliza de Localización de Siniestros).
- Navegación aérea: **ELT** (Emergency Locator Transmitter).
- Uso personal: **PLB** (Personal Locator Beacon).

La mayoría del equipo es de colores brillantes (rojo, amarillo, naranja), resistentes al agua, mide unos 30 cm de ancho, y pesa de 2 a 5 kg. Se pueden adquirir en las tiendas náuticas o de aviación, y en algunos países en tiendas de material de montaña. Las unidades tienen una vida útil de 10 años, y se construyen para operar en condiciones severas ( $-40^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ ), y transmitir la señal de 24 a 48 horas.

El emisor transmite en una frecuencia entre 406 MHz a 406,1 MHz y en la frecuencia 121,500 MHz en un intervalo de 100 h a  $+20^{\circ}\text{C}$  y la vida de la batería debe ser como mínimo de 40 horas a  $-40^{\circ}\text{C}$ . Las balizas marinas se pueden poner en

funcionamiento automáticamente cuando entra en contacto con agua de mar o tan pronto como salen de su contenedor (presencia de un imán que actúa como un interruptor). También se puede activar manualmente. Las balizas de aviación se activan cuando sufren una fuerte desaceleración.

- El emisor tiene una potencia de entre 3 W y 7W a una frecuencia entre 406 MHz a 406.1 MHz en la transmisión del código digital de MMSI duración 440 ms cada 50 s.
- El emisor tiene una potencia entre 25 mW y 350 mW a 121,500 MHz. La modulación de amplitud de la emisión de frecuencia corresponde a un barrido de más de 700 Hz entre 300 Hz y 1600 Hz y una guía de radio a los equipos de emergencia, una vez llegados al lugar del accidente.
- En los buques. El emisor se coloca en la parte superior de la nave en un recipiente equipado con una unidad de liberación hidrostática diseñada para liberar automáticamente cuando detecta una presión equivalente a la inmersión a una profundidad de 3 a 4 metros cuando el barco se hunde.
- Desde el 1 ° febrero de 2009, los satélites Cospas-Sarsat no localizan las emisiones en las frecuencias: 121.500 MHz y 243 MHz.

#### Frecuencia 121,500 MHz

Esta frecuencia ya no la escuchan los satélites. El seguimiento se realiza desde la superficie o desde aviones.

La escucha de la frecuencia 121,5 MHz se realiza de forma continua durante las horas de servicio en:

- los centros de control regional e información de vuelo;
- centros de detección y el control militar (H24 7/7);
- la torre de control de los aeropuertos;
- las oficinas de control de aproximación de los aeropuertos internacionales.

Además:

- Muchos aviones tienen un dial en la frecuencia 121,5 MHz.
- En el mar, los barcos de alta mar están equipados, en la frecuencia 121,5 MHz, con un buscador de localización de emergencia. Las cuatro antenas de la baliza de emergencia de 121,5 MHz para el efecto Doppler se alimentan uno tras otro para determinar la dirección de la estación en peligro.
- Todo buque de pasajeros cuenta con instalaciones para la transmisión y recepción de radio en el sitio, para búsqueda y rescate, en las frecuencias aeronáuticas de 121,5 MHz y 123.1 MHz [7].

<b>FRECUENCIAS</b>	<b>CANALES</b>	<b>FECHAS DE COMERCIALIZACIÓN</b>
406.025 MHz	B	balizas construidas entre 1982 y 2001
406.028 MHz	C	balizas construidas entre 2000 y 2006
406.037 MHz	F	balizas construidas después de 2004
406.040 MHz	G	balizas construidas después de 2011
406.049 MHz	J	futuras balizas
406.052 MHz	K	futuras balizas
406.061 MHz	N	futuras balizas
406.064 MHz	O	futuras balizas
406.073 MHz	R	futuras balizas

406.076 MHz	S	futuras balizas
-------------	---	-----------------

Tabla 1.1. Canales asignados a la banda de 406 MHz a 406.1 MHz.

La frecuencia de 121.500 MHz, siempre presente, se utiliza para guiado por radio del equipo de rescate, una vez que llegaron al lugar del accidente [7].

### **1.1.3.1. EPIRB's**

Una radiobaliza de localización EPIRB (Emergency Position Indicating Radio Beacon), es empleada como un sistema de alerta en caso de socorro, indicando a las autoridades SAR la identidad y la posición de una persona o de un buque, que está en peligro grave e inminente y requiere ayuda inmediata.

Cabe destacar que las radiobalizas EPIRB reconocidas por el Sistema GMDSS son de dos tipos, las que funcionan con la Organización COSPAS-SARSAT (121,5/406,025 Mhz) y las que lo hacen con la INMARSAT (1.646 Mhz) de la cual hablaremos más adelante.

#### **1.1.3.1.1. Registro obligatorio**

Cada radiobaliza EPIRB se programa con una identidad única antes de que llegue al cliente. Esto se hace por el fabricante o, en algunos casos, por el distribuidor. La identidad incluye un código de país de 3 dígitos. Es el país el que toma la responsabilidad de almacenar los detalles del registro de cada radiobaliza EPIRB. En la mayoría de los casos el país es el de la bandera del buque. El país programado en su radiobaliza EPIRB se puede encontrar en la etiqueta de la identidad donde están generalmente todos los datos necesarios, excepto el nombre del buque. Marcar el nombre del buque es responsabilidad de los clientes. El cliente tiene que registrar su radiobaliza EPIRB en las autoridades apropiadas en su país. Todo lo que se tiene que hacer es poner todos los detalles del buque y proveer los números de contacto en formas impresas con la identidad de la radiobaliza EPIRB.

Cuando se ha rellenado el formulario, se puede elegir enviarlo por fax o enviarlo por correo y esperar la confirmación.

Las radiobalizas EPIRB no deben ser cambiadas de un buque a otro sin informar antes a las autoridades de registro apropiadas.

### **1.1.3.1.2. Los componentes de una radiobaliza EPIRB**

Los componentes principales de una radiobaliza EPIRB son los siguientes:

- Antena; debe estar cerca de la vertical cuando funciona (transmitiendo),
- Interruptor del mar; activa la radiobaliza EPIRB automáticamente cuando está sumergido en agua,
- Interruptor de la activación; permite activar la radiobaliza EPIRB manualmente,
- Botón de prueba; permite al usuario hacer secuencias de prueba para verificar si la radiobaliza EPIRB funciona correctamente,
- Acollador; la cuerda que se utiliza para atar la radiobaliza EPIRB a una balsa salvavidas,
- Luz estroboscópica; cuando se activa la EPIRB, la luz empieza a parpadear y así da una ayuda visual a la unidad SAR,
- LED y zumbido; se utilizan para mostrar en qué modo está funcionando la radiobaliza EPIRB o mostrar el resultado de las secuencias de prueba.
- Fuente de batería interna que dura por lo menos 48 horas (transmitiendo),
- Sistema de la fijación de la posición (GPS) en la mayoría, pero no en todos los modelos; permite a las autoridades SAR comenzar instantáneamente la búsqueda.



Ilustración 1.5. Partes de una radiobaliza EPIRB.

Las radiobalizas EPIRB pueden ser portátiles y capaces de ser activadas manualmente o deben poder ser desplegadas automáticamente sin ninguna intervención del operador.

#### **1.1.3.1.3. Radiobalizas EPIRB de activación manual**

Las radiobalizas EPIRB de activación manual son convenientes y adecuadas para su instalación en un buque de ocio, por ejemplo un motovelero o un pequeño barco de pesca. Se suministran normalmente con una consola de montaje de tabique hermético, pero incluso así se desmontan. También disponen del collar

de seguro desprendible, el cual desactiva el interruptor del mar de la radiobaliza EPIRB para que no puedan ser activadas por la humedad.

#### **1.1.3.1.4. Radiobalizas EPIRB de activación automática**

Las radiobalizas EPIRB de activación automática se utilizan en los buques del SOLAS, por ejemplo un buque de pasaje, buques de carga o petroleros. Se suministran en un recinto plástico en el cual el interruptor del mar de la radiobaliza EPIRB está desactivado. El recinto plástico contiene una palanca de muelle que empuja automáticamente la tapa del recinto y suelta la radiobaliza EPIRB si el recipiente se hunde. Esta eyección automática está controlada por un dispositivo llamado Unidad del Lanzamiento Hidrostático (HRU) que suelta automáticamente a la radiobaliza EPIRB cuando se alcanza una profundidad de aproximadamente 4-5 m. Después, la radiobaliza EPIRB flota hasta la superficie del mar y activa el interruptor del mar.

#### **1.1.3.1.5. Activación de una radiobaliza EPIRB**

Cuando una radiobaliza EPIRB se activa en una emergencia, comienza a transmitir señales de radio que incluye también su número de identidad. Las señales de radio son detectadas y procesadas por los satélites que reenvían el mensaje con el número de la identidad y posición al MRCC más cercano (centro de coordinación de rescate marítimo). MRCC entonces descifra el código de país del mensaje. Después de eso acceden a la base de datos del registro de ese país y buscan los detalles del buque al cual pertenece la radiobaliza EPIRB, su equipo de radio y con quien contactar. Si no pueden encontrar esta información, el rescate se puede retrasar.

Entonces, comienzan con la operación del SAR. El buque/helicóptero/avión del SAR implicado en esta operación intentará encontrar la radiobaliza EPIRB con los equipos de posicionamiento, basándose en la señal de radio emitida por la radiobaliza EPIRB.

#### **1.1.3.1.6. Localización de una EPIRB**

El soporte del tabique hermético de una radiobaliza EPIRB de activación manual debe de estar situado cerca de una salida de emergencia y a la vista.

El recinto de una radiobaliza EPIRB de activación automática debe de estar situado idealmente en una zona despejada del buque, por ejemplo en el ala del puente o sobre el puente mismo, ya que es muy importante que se elija una ubicación adecuada de la radiobaliza EPIRB, para que una vez despegada del buque, no se quede atrapada por las proyecciones del mismo, por las antenas u otros obstáculos.

Al elegir una posición de montaje conveniente se debe también considerar:

- Facilidad del acceso en una emergencia.
- Montar por lo menos a 1m de distancia de cualquier equipo del compás.
- Montar por lo menos a 2m de distancia de cualquier antena de radar.
- Evitar el impacto directo de ondas.
- Evitar las posiciones con el espacio escaso para la eyección de la tapa y el mantenimiento.

La radiobaliza EPIRB se suministra, generalmente, con una placa auto-adhesiva con las instrucciones, que se deba montar al lado de la EPIRB de modo que sea fácilmente visible en una emergencia.

#### **1.1.3.1.7. Normativa radiobalizas EPIRB**

Los buques SOLAS tienen la obligación de llevar las radiobalizas COSPAS-SARSAT, que operan en unas frecuencias de 406MHz y 121.5MHz. Las señales de radio de 406MHz se utilizan para los propósitos de localización, mientras que las señales de radio de 121.5MHz se utilizan para los propósitos de guiamento por buques/helicópteros/aviones SAR implicados en las operaciones SAR que está intentando encontrar EPIRB con los equipos de posicionamiento.

De acuerdo con los requisitos de la eficacia según el convenio SOLAS, la radiobaliza EPIRB está equipada con una batería con una capacidad de trabajo de 48 horas (tiempo de transmisión) [8].

Las embarcaciones de recreo que naveguen en las zonas 1 y 2 están obligadas a llevar una radiobaliza. y deben registrarse en la Dirección General de la Marina Mercante.

Los **requerimientos técnicos básicos** que deben cumplir las radiobalizas son los siguientes:

- Que tenga capacidad para transmitir una alerta de socorro en la banda de 406 MHz.
- Que esté instalada en un lugar fácilmente accesible del barco.
- Que esté lista para poder ser soltada manualmente y transportada por una persona a una embarcación de supervivencia.
- Que pueda zafarse y flotar si se hunde el buque y ser activada automáticamente cuando se encuentre a flote.

Las **recomendaciones sobre el uso** de la radiobaliza son los siguientes:

- Recordar que es un sistema fundamental para poder localizar en caso de emergencia, por lo que es importante que se lleve una a bordo, aunque no sea obligatoria para la embarcación.
- Realizar el mantenimiento adecuado que figura en el manual entregado por el fabricante del equipo.
- Las radiobalizas sólo deben usarse en caso de emergencia, ya que de lo contrario se producen innecesarias, costosas, y a veces peligrosas movilizaciones de los medios de salvamento.
- Las radiobalizas no son sustitutos de otros elementos de transmisión de mensajes de socorro (canal 16 y canal 70 LSD en VHF, y 2.182 kHz y 2.187,5 kHz LSD en Onda Media), sino que son un elemento complementario.
- Prestar atención a las fechas de caducidad de la batería y la zafa hidrostática. Son dos elementos caducables que deben ser sustituidos cada cuatro y dos años respectivamente.

- No olvidar tampoco que es obligatorio que las radiobalizas se encuentren convenientemente registradas en la Dirección General de la Marina Mercante para ser fácilmente identificadas en caso de emergencia [9].

#### **1.1.3.1.8. Clasificación**

Se subdividen de la siguiente manera:

- Categoría I - 406/121.5 MHz. Flotador libre, activa automáticamente RLS. Detectable por satélite en cualquier parte del mundo. Reconocido por el SMSSM.
- Categoría II - 406/121.5 MHz. Al igual que en la Categoría I, con excepción de que se active manualmente. Algunos modelos también son activados por el agua [7].

#### **1.1.3.2. ELT's**

Las balizas ELT utilizan la red de satélites Cospas-Sartat de cobertura mundial para retransmitir la señal de socorro. Se pueden activar manualmente o automáticamente al sobrepasar un umbral de 'G' determinado.

Una vez activadas la petición de ayuda llega al Centro de Control que se encarga de poner en marcha a los servicios de rescate.

Las ELT se alimentan exclusivamente de sus baterías internas y su vida útil es de unos 5 años. Pasado este periodo se deben reemplazar las baterías.

A partir del 01/02/2009 todas las nuevas instalaciones de ELT deben efectuarse con balizas digitales que operen en la banda de 406MHz. Para que sean plenamente operativas y reconocidas por la red de satélites, las ELT deben registrarse. Aeroplans Blaus se encarga del registro y programación de las balizas sin coste adicional [10].



Ilustración 1.6. Radiobaliza ELT.

El ELT se encuentra ubicado en un lugar donde es muy posible que sea afectado en un accidente. Por tanto se instala lo más próximo al frente del avión que se pueda, y está conectado a una antena flexible.

La baliza tiene un interruptor de inercia, el cual se activa cuando se produce un accidente. La instalación debe ser tal que este interruptor debe quedar orientado para que tenga una fuerza sensitiva de aproximadamente 5 G en el eje longitudinal del avión [11].

### 1.1.3.3. PLB's

Se las conoce como PLB (*Personal Location Beacon*) y funcionan igual que las grandes. Por tanto debemos registrar el código personal MMSI para que emitan el identificador nuestro. Con ellas aumentamos mucho la seguridad en caso de hombre del agua. El problema de irse al agua es el de no poder ser localizados en la inmensidad del mar, ya que una persona caída al mar deja de ser rápidamente visible

y por tanto localizable. Por la noche la cosa es aún peor, un hombre que no posea una luz es imposible de localizar incluso a pocos metros [12].



Ilustración 1.7. Radiobaliza PLB.

Un PLB es un transmisor portátil capaz de enviar una señal de socorro de emergencia personalizado a una red de satélites en órbita militar. Estos satélites pueden transmitir su información a los equipos de búsqueda y rescate en cualquier parte del mundo.

Un Personal Locator Beacon sólo se activará en situaciones de peligro grave e inminente, y sólo como último recurso, cuando se hayan agotado todos los medios de auto-rescate [13].

Las radiobalizas personales son muy pequeñas y ahora también muy económicas. Son muy compactas y muy livianas. Caben en cualquier bolsillo de la cazadora o enganchada al pantalón [12]. Su robusta carcasa fabricada en plástico resiste los choques y es totalmente acuática pues se puede sumergir hasta los 10 metros de profundidad. Son alimentados por baterías especiales de litio de larga duración y además no requiere la contratación de ningún servicio de pago mensual o suscripciones como ocurre con otros servicios [13].

#### **1.1.3.3.1. Funcionamiento**

Las PLB transmiten señales en las frecuencias de socorro reconocidas internacionalmente. En los EE.UU., transmiten a 406 MHz, una frecuencia monitorizada por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y el AFRCC.

Un PLB se comunica con una red de satélites rusos, canadienses, estadounidenses y francesas (COSPAS-SARSAT) [13].

La señal del satélite es reenviada hasta uno de los centros de recepción de datos distribuidos en el mundo. En España el más importante es el de Maspalomas en Canarias (Telf: 928 727 104/5/6). Allí el mensaje es distribuido a uno de los servicios de protección civil dependiendo del código recibido; radiobalizas personales, buques mercantes, aviación civil, barcos de recreo,...

En este último caso el aviso es canalizado hacia la central de Salvamento Marítimo (Telf. 91 755 91 32) que será la encargada de validar que no se trata de una falsa alarma o por el contrario desencadenar un procedimiento de emergencia [12].

### 1.1.3.3.2. Duración de la transmisión

Un PLB viene equipado con una batería de litio de larga duración. Esta batería permanece latente hasta que se activa el interruptor para activar el PLB.

Por regulaciones COSPAS-SARSAT:

- Una batería de clase 1 debe ser capaz de transmitir a  $-40^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.
- Una batería de clase 2 debe ser capaz de transmitir a  $-28,9^{\circ}$  durante 24 horas.

Las bajas temperaturas acortan el tiempo de funcionamiento de la batería, y las situaciones anteriores representan los peores escenarios. Por ejemplo, a una temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ , estas baterías funcionarán durante aproximadamente dos veces más tiempo que lo harían a temperaturas muy frías [13].

La primera advertencia que se debe hacer es que las radiobalizas están pensadas para ser revisadas y mantenidas por un servicio técnico autorizado, y por tanto todo lo que se cuenta en este trabajo debe ser entendido como una referencia útil, sin significar que podamos ahorrarnos el mantenimiento de la radiobaliza por parte de un servicio oficial.

Lo cierto es que es totalmente viable la sustitución de la batería aunque para ello debemos actuar correctamente. Y no es menos cierto que en este caso, aunque la radiobaliza quede perfectamente “puesta al día”, esta no será válida frente a las autoridades, pues no habrá sido revisada por ningún servicio oficial que pueda garantizar este mantenimiento [12].

Hay dos tipos de PLB

- PLB con GPS
- PLB sin GPS

Cuando se activa un PLB envía dos señales: 406 MHz (que lleva los datos GPS UIN y para los satélites) y 121,5 MHz, una frecuencia de recalada.

Si se utiliza un PLB sin GPS, la señal de 406 MHz del satélite recibirá rescatistas dentro de 2 millas de su posición. Los equipos de rescate utilizan un dispositivo de rastreo en la frecuencia de 121,5 MHz. Con este tipo de PLB se necesita un promedio de aproximadamente 45 minutos para alertar a los equipos de búsqueda y rescate de su posición.

Si se utiliza un PLB con una interfaz GPS, la señal de 406 MHz guiará rescatistas a un área de menos de 100 metros de su posición. Al mismo tiempo, se empleará un dispositivo de rastreo en la frecuencia de 121,5 MHz difundida por el PLB. Cuando se utiliza un PLB compatible con GPS se tarda solamente 5 minutos para alertar al personal de búsqueda y rescate de su posición [13].

#### **1.1.3.3. Mensajero satélite SPOT**

Un mensajero satelital SPOT es una reciente innovación basada en GPS que le permite enviar sus coordenadas a familiares y amigos, así como enviar las llamadas de ayuda.



Ilustración 1.8. Mensajero satelital SPOT.

Se basa en los satélites comerciales en lugar de la red militar utilizada por PLB. Si bien es una herramienta muy útil para los excursionistas ocasionales y

mochileros, una señal de SPOT es considerablemente menos potente que una señal de PLB y no está diseñado para un uso serio en montañas. Se requiere una cuota de suscripción anual [13].



Ilustración 1.9. Funcionamiento de un SPOT.

#### 1.1.4. Radiobalizas incompatibles con Cospas-Sarsat

- Radiobaliza Marina: Canal 16. Funcionan en la banda marina, y por tanto no son detectables por satélite y estándar de los aviones.
- Radiobaliza Marina: 2182 kHz. Funcionan en la banda marina, y por tanto no son detectables por satélite.
- Emisor de aviación militar de emergencia: 243 MHz.
- Baliza de emergencia de aviación: 121.500 MHz / 243 MHz.
- Transpondedor de radar marino: 9,2 GHz a 9,5 GHz.

### **1.1.5. Proceso de rescate**

El proceso de rescate es el siguiente de forma resumida. Dependiendo del país el cuerpo encargado de las distintas operaciones difiere.

1 - Cuando se activa la señal de 406 MHz los satélites GOES (satélites geoestacionarios), ubicados aproximadamente a 36 mil kilómetros de altitud son los primeros en recibirla, y luego por enjambre de satélites COSPAS-SARSAT en órbita alrededor de 1,000 kilómetros, que localizan la posición de la fuente de la señal de socorro y transmiten la información a la estación de tierra. La señal de radiobaliza también contiene la identificación de la embarcación o aeronave y su código.

2 - La estación terrestre recibe la señal y la transmite al Centro de Control de Misión.

3 - El Centro de Control de la Misión combina la información recibida con otras recepciones de satélite, refina la ubicación, añade información al registrar el transmisor y genera un mensaje de alerta. Este mensaje se transmite al Centro de Coordinación de Salvamento en cuya área se encuentra la señal.

4 - El mensaje de alerta a bordo de buques o aeronaves siniestradas o en peligro, son recibidas por el Centro de Salvamento que coordinan los recursos disponibles para las operaciones de búsqueda y rescate.

5 - Se envía al SAR para localizar a las víctimas de accidentes o naufragos y rescatados [14].

## **1.2. SISTEMA INMARSAT**

Inmarsat significa International Satellite Organization y nace de una idea que se origina dentro de la IMO allá por el año 1966.

Aunque la actividad original de Inmarsat eran las comunicaciones marítimas, posteriormente se amplió su cobertura proporcionando Servicios Móviles Aeronáuticos (1985) y Servicios Móviles Terrestres (1989).

Inmarsat sentó un precedente cuando el 15 de abril de 1999 se convirtió en la primera organización Intergubernamental que se transformó en empresa comercial privada. Inmarsat Ventures Ltd., nombre de la nueva compañía, funcionará con criterios comerciales pero con el compromiso de mantener sus obligaciones de servicio público de seguridad en la mar. Para vigilar y asegurarse de que Inmarsat cumplirá sus obligaciones de servicio público con el GMDSS se creó una organización de la IMO llamada IMSO (International Maritime Satellite Organization).

### **1.2.1. Principio de funcionamiento**

El sistema satelital de Inmarsat tiene 3 componentes principales:

1. El segmento espacial proporcionado por Inmarsat.
2. Las estaciones costeras terrenales (Coast Earth Stations, CES) también denominadas LES (Land Earth Stations) proporcionadas por los signatarios de Inmarsat.
3. Las estaciones móviles o MES (Mobile Earth Stations) formada por las estaciones de barco (Ship Earth Stations, SES), los servicios móviles aeronáuticos (Aircraft Earth Stations, AES) y los servicios móviles terrestres (Land-mobile Earth Stations, LMES).

El sistema Inmarsat proporciona a los buques en la mar los mismos sistemas de comunicaciones modernos y de calidad que los que se disponen en tierra. El marcado directo y la conexión automática proporcionan comunicaciones de alta calidad y sin demora. Además, se le pueden añadir a una SES periféricos como monitores, impresoras, teléfonos adicionales, indicador de mensajes, facsímil y ordenador para datos, Internet y correo electrónico.

Se entiende por “segmento espacial”, los satélites, así como las instalaciones y el equipo de seguimiento, telemetría, telemando, control y vigilancia, y los medios y el equipo conexos, necesarios para que funcionen dichos satélites.

El segmento espacial es proporcionado por Inmarsat y consta de cuatro satélites de comunicaciones, con otros cinco satélites de repuesto en órbita y listos para ser usados si se necesitan. Estos satélites están colocados en órbita geostacionaria a una altura sobre la Tierra de unos 35.700 Km y dan cobertura a toda la superficie terrestre entre latitud 76°N Y 76°S.

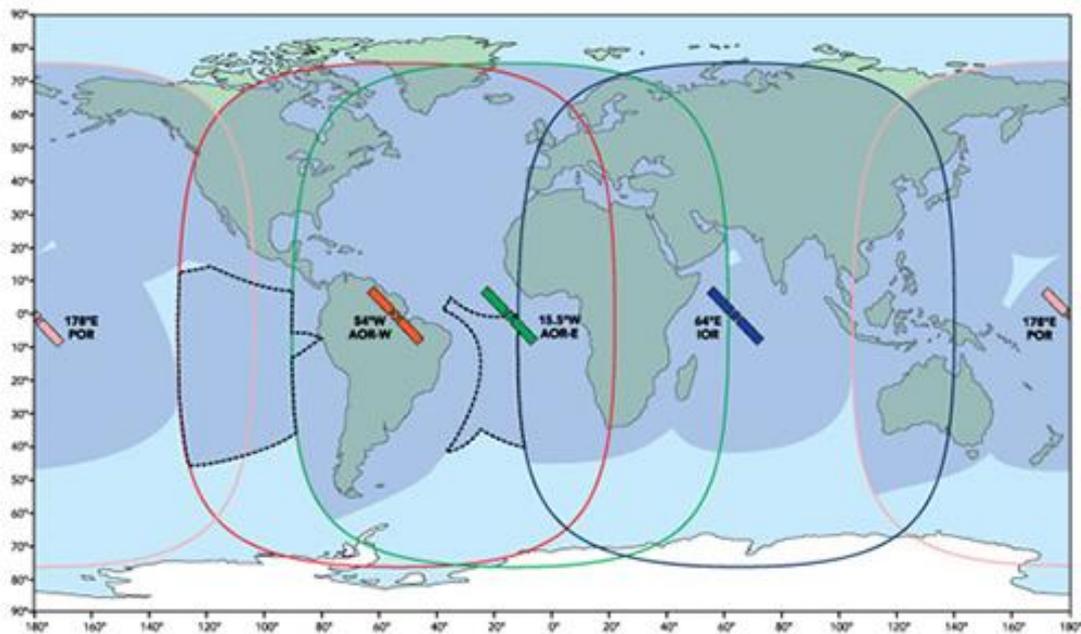


Ilustración 1.10. Cobertura del sistema INMARSAT.

Inmarsat no sólo provee los servicios mundiales de socorro, urgencia y seguridad marítima sino que además proporciona una amplia gama de comunicaciones como las que puede disponer la oficina de tierra más moderna. Así, dependiendo del modelo de estación terrena o SES, se puede disponer de teléfono, fax, télex, correo electrónico, Internet y datos a varias velocidades que van desde 2,4 Kbps hasta 64 Kbps, además de las comunicaciones de socorro, urgencia y seguridad [15].

### **1.2.2. EPIRB's Inmarsat**

Muy resumidamente INMARSAT proporciona los siguientes servicios, esencialmente encuadrados en las comunicaciones relativas a socorro y seguridad: alerta de socorro buque – costera, alerta de socorro costera – buque (para estaciones terrenas de buque de la norma A, y mediante el sistema LIG, de Llamada Intensificada a Grupos), comunicaciones para la coordinación de las operaciones SAR, comunicaciones SAR en el lugar del siniestro, servicio LIG para la recepción de información relativa a seguridad marítima (ISM), comunicaciones radioeléctricas generales (servicios de información, transmisión de datos, facsímil, televisión de exploración lenta, circuitos arrendados, compilación automática de datos procedentes de buques, televisión videocomprimida, etc.), y sistema satelitario de RLS de banda L.

Este último, importantísimo, como es evidente, para la seguridad de la vida humana en la mar, funciona en la banda de frecuencias de 1,6 GHz, utilizando el segmento especial geostacionario de INMARSAT. Emplea Radio-Balizas de Localización de Siniestros (RLS) autozagables, satélites de INMARSAT y estaciones terrenas costeras también de INMARSAT.

Estas radiobalizas han sido desarrolladas para la transmisión de mensajes exclusivamente mediante datos digitales. Este equipo mide solamente 30 x 20 x 11 cm, tiene una antena incorporada en su propia cúpula, de aproximadamente 8 cm de diámetro y 5 cm de altura, y pesa únicamente 6,2 kg. Este terminal de bajo consumo, con su antena omnidireccional y peso reducido, representa una solución práctica para su instalación incluso en los buques más pequeños, poniendo, por consiguiente, al alcance de todos los navegantes los beneficios de las comunicaciones por satélite.

Estas EPIRB's transmiten una señal de socorro a los satélites geostacionarios de la organización INMARSAT, que incluye un código identificativo registrado similar al de las de 406 MHz y la situación obtenida a través de un receptor GPS instalado en la propia radiobaliza. Pueden ser detectadas en cualquier lugar de La Tierra entre las latitudes 70°N a 70°S. Las señales de alarma

son retransmitidas casi instantáneamente a los RCCs asociados con la estación de tierra INMARSAT que ha recibido la señal [16].

La recepción de una alerta de socorro procedente de esta baliza queda garantizada sólo en el caso que sea activada en las zonas A1, A2 y A3, que son las zonas de cobertura de los satélites geoestacionarios de INMARSAT [17].

No proporciona comunicaciones telefónicas, pero da acceso a las redes internacionales de télex/teletexto, servicios de correo electrónico y bases de datos de los computadores.

Después de la activación, la RLS satelitaria transmite el mensaje de socorro que contiene la identidad de la estación del buque, información sobre la situación y otra información adicional que puede servir para facilitar el salvamento. Además, se activa un respondedor de radar de 9 GHz [17].

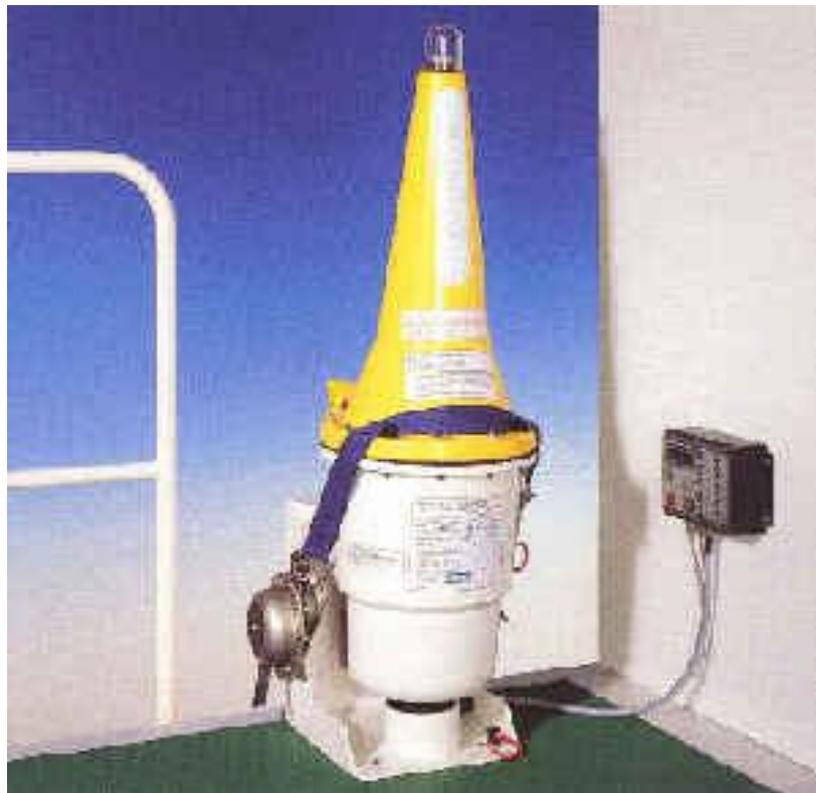


Ilustración 1.11. EPIRB INMARSAT.

## 1.3. OTRAS APLICACIONES

### 1.3.1. Chaleco con radiobaliza - INDRA

Se trata de un salvavidas que incorpora una radiobaliza adherida con un mini receptor GPS.



Ilustración 1.12. Chaleco con radiobaliza.

En 1990 murieron medio millón de personas en el agua, más que en las guerras. Aunque las cifras han mejorado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que perecen ahogadas siete de cada 100.000 personas al año. La OMS no distingue entre los que perecen en ríos, piscinas o playas. Pero una de las causas más habituales podría verse reducida gracias a un salvavidas desarrollado por la empresa española Indra [18].

Los equipos de Indra facilitan las operaciones de búsqueda y rescate de aquellas personas que accidentalmente caen al agua desde una embarcación o aeronave, mediante la transmisión de una señal de alarma en la frecuencia internacional SOS del 121.5 MHz. Para ello, el equipo consta de una radiobaliza personal integrada en un chaleco salvavidas y una estación receptora localizada en el puente de gobierno o cabina de la embarcación de referencia. Estos receptores alertan de la situación de emergencia proporcionando precisa información para la localización de las personas en peligro, gracias a la integración de un micro receptor GPS.

Los sistemas incorporan además una interesante funcionalidad en los receptores que hace posible la visualización de la información obtenida durante una operación de rescate a través de Google Maps o Google Earth proporcionando datos del posicionamiento de las radiobalizas [19].

Su nombre técnico es **RP-GPS-LHA** y lo definen como Sistema de Localización y Seguimiento Personal 'Hombre al Agua'. En realidad se trata de un salvavidas naranja de los que se lleva en los barcos. Pero este es un salvavidas especial. Incorpora una radiobaliza adherida con un mini receptor GPS. En caso de que alguno de los navegantes caiga al mar, el chaleco incorpora sensores de humedad y el dispositivo entra en funcionamiento.

El caído tiene 5 segundos para activar la alarma, si no lo hace, por estar inconsciente o presa del pánico, esta se pone en funcionamiento de forma automática.

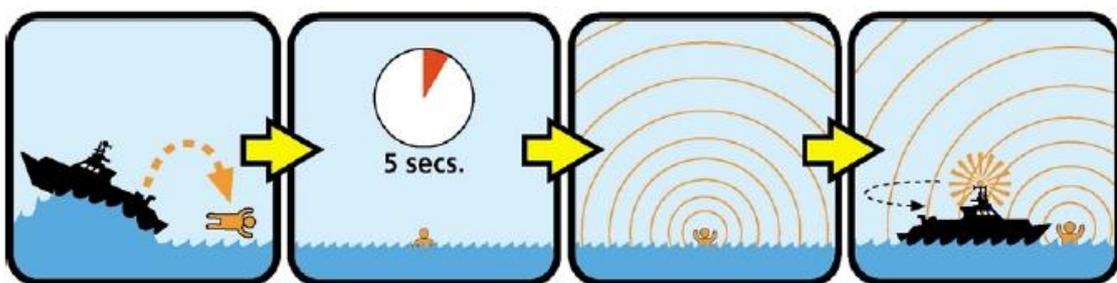


Ilustración 1.13. Funcionamiento del chaleco con radiobaliza.

Hasta ahora, los salvavidas más avanzados emitían una señal de socorro que captaba uno de los satélites del sistema Cospas-Sarsat. De ahí, llegaba un aviso al Centro de Misión de Control más cercano de esta organización, en la que participan varios países. El siguiente paso es alertar al Centro de Coordinación de Recate de la zona que da la orden a los Puntos de Búsqueda, Contacto y Rescate. Entonces, helicópteros, guardacostas y barcos de la zona se ponen a buscar al náufrago. En total, unos 90 minutos en poner en marcha el dispositivo de rescate, demasiado tiempo.

El sistema patentado por Indra, y homologado por la Dirección General de la Marina Mercante, puede determinar la posición geográfica del tripulante en menos de un minuto. Además, a diferencia de otros diseños, la solución de la empresa española cuenta con un receptor base instalado en el puente de gobierno del barco. Gracias al GPS, se puede rastrear al infortunado en una pantalla. RP-GPS-LHA está configurado para disparar dos alarmas, una sonora conectada a la bocina del barco y otra visual, para que el resto de la tripulación se percate del accidente. En barcos de grandes dimensiones, no es extraño que nadie se dé cuenta de la caída al agua hasta que es demasiado tarde.

El sistema puede guiar entonces hasta la víctima. Aunque las radiobalizas con GPS dan una posición más aproximada que los radiogoniómetros –localización por ondas de radio- que se usaban hasta ahora, no son exactos. Por eso, los salvavidas desarrollados por Indra incorporan también emisores acústicos y una antena electro luminiscente para que sea visto con más facilidad. La novedad está en la instalación del receptor en el propio barco y así acortar dramáticamente el tiempo de localización pero este ingenio también manda la señal de emergencia por la frecuencia de socorro internacional. Esto permite que otros barcos que se encuentren en un radio de una milla náutica puedan participar en el rescate.

La idea de Indra es que sirva tanto para barcos pesqueros, recreativos y para la Armada española. Aseguran que, con unas mínimas modificaciones, puede destinarse a otros escenarios como localización de patrullas forestales en misión de

extinción de incendios, equipos de salvamento de alta montaña o labores de recuperación de artefactos de ensayo [18].

# CAPÍTULO 2

## RADIOGONIOMETRÍA

En este capítulo se hablará de la Radiogoniometría, tanto su historia como sus elementos físicos (antenas, receptores, radiofaros...) finalizando con la explicación de por qué es importante el radiogoniómetro para la localización, búsqueda y rescate en el mar.

### 2.1. INTRODUCCIÓN A LA RADIOGONIOMETRÍA

Etimológicamente la palabra Radiogoniometría proviene del Latín *Radius*, que significa rayo, y de las palabras griegas, *gonia*, que se traduce por ángulo y *metrón* que es medida, viniendo a significar, "medición del ángulo con el que se recibe una señal radioeléctrica". Dicho esto, podremos clasificarlo desde el punto de vista geométrico, como un sistema angular de Radionavegación, llamando Radiogoniométricos a los sistemas de recepción direccional [20].

Como sabemos, todo sistema de radionavegación requiere una serie de transmisores de ondas de radio ubicados en lugares conocidos, así como, un receptor capaz de interpretar las señales captadas, y en función de la dirección con la que se reciben y sus características, poder determinar la situación del receptor.

Las ondas de radio tienen dos características que configuran el fundamento de la radiogoniometría, que son:

- Propagación según la trayectoria del círculo máximo, o distancia más corta entre dos puntos.
- Generación de fuerza electromotriz en una antena de cuadro.

Esto permite obtener la situación de un buque con sólo recibir la señal de dos o más estaciones diferentes, con la ayuda de unos aparatos denominados Radiogoniómetros, o más familiarmente, *gonios*.

La radiogoniometría está considerada como un sistema semiautónomo de navegación, ya que está basado en las señales recibidas de transmisores que pueden ser Radiofaros o equipos terrestres no especializados, tales como emisoras de radiodifusión, con las que se obtiene una o varias demoras [21].

La importancia de la radiogoniometría reside en las aplicaciones de sus sistemas. Algunas de las más comunes se describen a continuación:

**Radio navegación y servicios de posicionamiento global vía satélite:** La navegación terrestre de largo alcance (LORAN por sus siglas en inglés) utiliza comparación de fases de señales de referencia para líneas de rumbo (LOB por sus siglas en inglés) y geolocalización. El sistema estadounidense de Posicionamiento Global (GPS) y su contraparte de Rusia (GLONASS) proveen señalización de tiempos de arribo para una geolocalización y velocidad más precisas [22].

**Sistemas de localización de radiotransmisores clandestinos:** Los servicios de administración del ancho de banda de radio emplean sistemas RDF para garantizar que los usuarios no sobrepasen el ancho de banda que se les ha asignado, y en caso contrario poder conocer con precisión la ubicación de la fuente de RF y aplicar sanciones [22].

**Servicios de localización y rescate:** Los guardacostas estadounidenses y organizaciones mundiales como COSPAS-SARSAT monitorean canales de radio de emergencia para rescate. Redes satelitales y terrestres de sistemas RDF, se usan continuamente para localizar señales de emergencia [22].

**Sistemas de localización:** Estos sistemas operan en microondas hasta 18 GHz para propósitos de localización de animales o autos robados [22].

**Sistemas autodirigibles:** Usualmente son pequeños sistemas RDF diseñados para guiar armas de artillería en el ámbito militar [22].

**Sistemas de alarma:** Estos son también llamados sistemas de soporte de medidas electrónicas (ESM, por sus siglas en inglés) y se usan típicamente como RDF de respuesta rápida e identificación para protección de radares hostiles y sistemas autodirigibles [22].

**Radio astronomía:** Estos sistemas se caracterizan por grandes antenas de plato o arreglos de las mismas que son sincronizadas en sistemas interferométricos y utilizan las estrellas a modo de radiofaro [22].

**Antenas inteligentes:** Avances recientes en arreglos adaptativos de antenas o antenas inteligentes, proveen aislamiento espacial de transmisores, cancelación de interferencia y resistencia a las multitrayectorias [22].

## 2.2. HISTORIA

Heinrich Hertz comenzó con los primeros experimentos de radiogoniometría, con el descubrimiento de la direccionalidad de las antenas en 1888 [23]. El primer sistema RDF móvil, fue construido en 1906 cuando la compañía Stone Radio & Tellegraph Co. Instaló un dispositivo para indicar la dirección a modo de radiofaro en un barco naval de U.S., sin embargo resultó que el dispositivo no era muy práctico ya que requería girar el barco para obtener el máximo de la señal y con ello el rumbo [24]. En 1915 el Doctor Frederick A Kolster, un antiguo empleado de la compañía antes mencionada que trabajó posteriormente en la agencia de estándares estadounidense descubrió una bobina de alambre de forma rectangular, podía ser rotada para determinar la dirección de una señal. Un año después; 20 sistemas DF de Kolster, llamados “SE 74”, fueron instalados en barcos estadounidenses [25]. Los experimentos para el servicio de navegación continuaron en la agencia de estándares, resultando en la primera aeronave con sistema RDF en los años 20’s [26]. Las

primeras antenas para sistemas DF en aeronaves, se rotaban manualmente, pero en los años 40's, sistemas como el Japonés tipo 1-3 y el sistema Fairchild Aero Compass del cual fue copiado, funcionaban mediante un par de antenas de lazo rotadas por un motor [27].

A mediados de los años 20's, Robert Watson Watt, inventor del radar, condujo una investigación en Ditton Park, con la colaboración de Edward Appleton redescubrieron la capa de propagación Heavyside, con una elevación de 300 km sobre la tierra, a la cual Watson Watt bautizó como ionosfera [28].

En 1937 las fuerzas navales de Estados Unidos usaron la ionosfera para sistemas RDF que operaban en HF (HFDF, que algunos llamaban "Huff-Duff"). En 1941 se establecieron redes de radiogoniómetros en el Atlántico y en el Pacífico medio, como una estrategia, dando a los aliados la capacidad de seguimiento de submarinos alemanes [29]. En 1943 los alemanes mejoraron el diseño del HFDF con un arreglo circular de antenas llamado Wullenweber que consistía en un arreglo de antenas dispuesto de forma circular (CDA). Posteriormente a la guerra, el diseño fue copiado por los rusos llamando a su versión "Krug" y de la misma forma por los estadounidenses, quienes lo llamaron "Jaula de elefante" por su tamaño.

En la segunda guerra mundial surgió el sistema LORAN desarrollado en el MIT. El sistema LORAN-C reemplazó al original en 195, usando señales pulsadas [23].

Los principios matemáticos para el empleo de método Doppler fueron desarrollados por el ruso Kotelnikov [29], pero usado por la EUA quienes lanzaron el primer sistema de satélites funcional en 1960. El sistema fue llamado "Transit" y usaba una red de 6 satélites de órbita baja (LEO) para proporcionar transmisiones de referencia de 150 y 400 MHz [31]. En 1967 la Unión Soviética lanzó el sistema Tsyklon, el cual era similar al sistema Doppler [30]. Actualmente los EUA con el sistema NAVSAT GPS y su contraparte rusa GLONASS, proporcionan la posición, tiempo y velocidad en todo el mundo.

Usando el mismo método Doppler para la navegación, los estadounidenses Lehan y Brown recibieron la patentet 3063048 para búsqueda con satélites y sistemas

de rescate [33]. En 1977 el sistema COSPAS-SARSAT fue puesto en marcha conjuntamente por EUA y la Unión Soviética y posteriormente más de 35 países desde Argelia hasta Vietnam [31].

Desde 1980 sistemas DF satelitales y terrestres se han cambiado por sistemas digitales reemplazando los algoritmos DF analógicos, por los digitales como el algoritmo de correlación de Bartlett y Schmidh o el famoso algoritmo MUSIC [32].

En 2006, surge otra posibilidad para radiogoniometría empleando arreglos de antena que consisten en radiadores parásitos. Esta técnica emplea también un solo canal y es mejor conocida como ESPAR por sus siglas en inglés (Electronically Steerable Parasitic Array) [33].

## **2.3. PRINCIPIOS DEL SISTEMA**

Un radiofaro emite una onda polarizada verticalmente (campo eléctrico vertical). Esta onda, cuya frecuencia facilita la propagación correcta por onda celeste u onda directa, puede ser modulada a una frecuencia audible (A2), o sin modular (A1).

Si el observador dispone de un receptor con una antena direccional, marcar una estación, consiste en orientar la antena en la dirección de la emisión, obteniendo una marcación, o sea, la dirección con respecto al eje de crujía del buque.

Si se conoce la situación de la estación transmisora, es posible trazar en la carta una línea de posición del buque. Tomando la marcación de otra estación, tendremos una segunda línea de posición. El punto de intersección de las dos líneas, puede ser considerado como la situación del buque.

En primer lugar expongo una breve descripción de la forma en que se propagan las ondas de radio a partir de una antena transmisora.

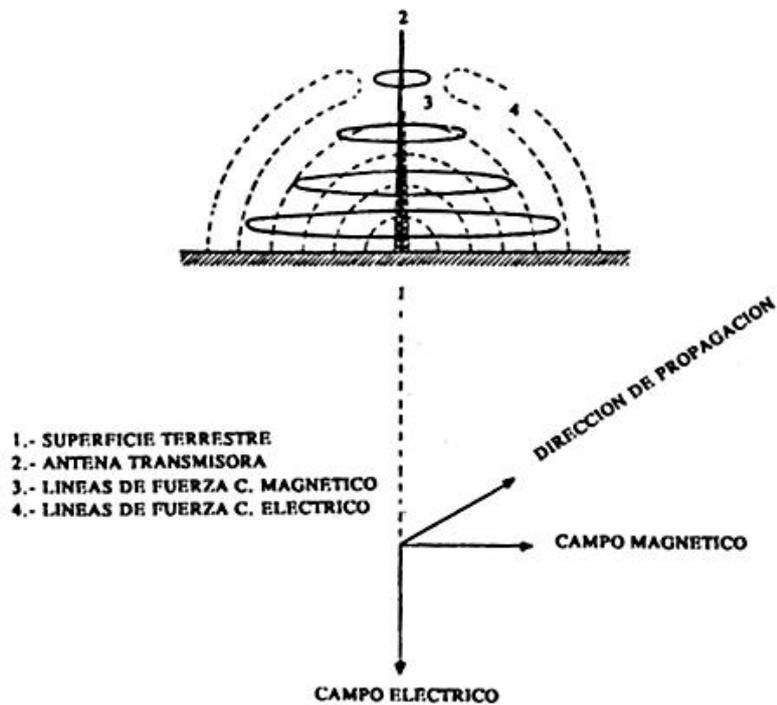


Ilustración 2.1. Campo eléctrico en torno a una antena vertical.

En la imagen 2.1 está representada la configuración del campo en torno a una antena vertical (marconiana), instalada fija en tierra. Las líneas de fuerza magnética tienen forma de círculo concéntrico con centro en el eje vertical de la antena, siendo las líneas de fuerza perpendiculares a la superficie de La Tierra.

En la imagen 2.2 podemos ver la forma de ambas ondas, eléctrica y magnética

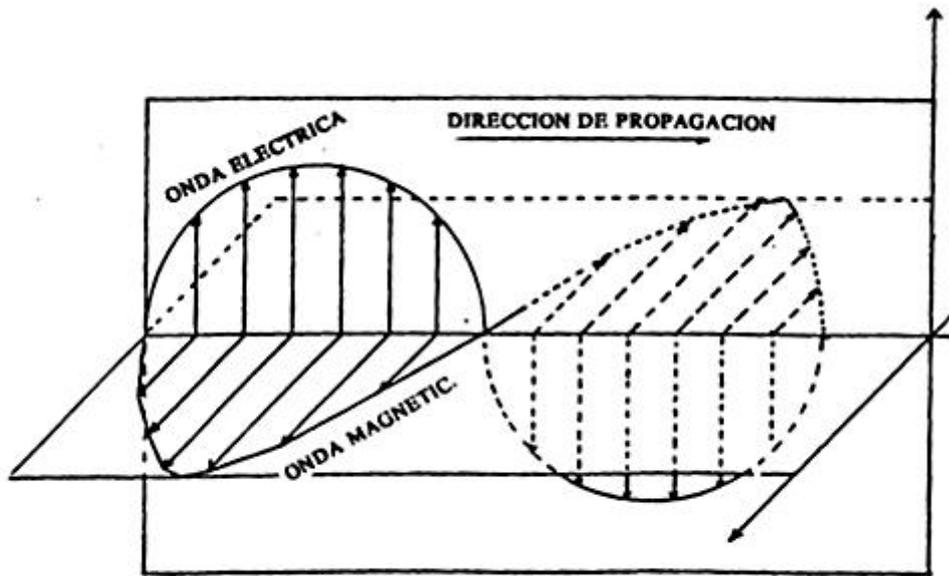


Ilustración 2.2. Ondas eléctricas y magnéticas.

Situados a cierta distancia de la antena, se puede suponer que las líneas de fuerza del campo eléctrico tendrán el aspecto de la imagen 2.3, perpendiculares a las del campo magnético.

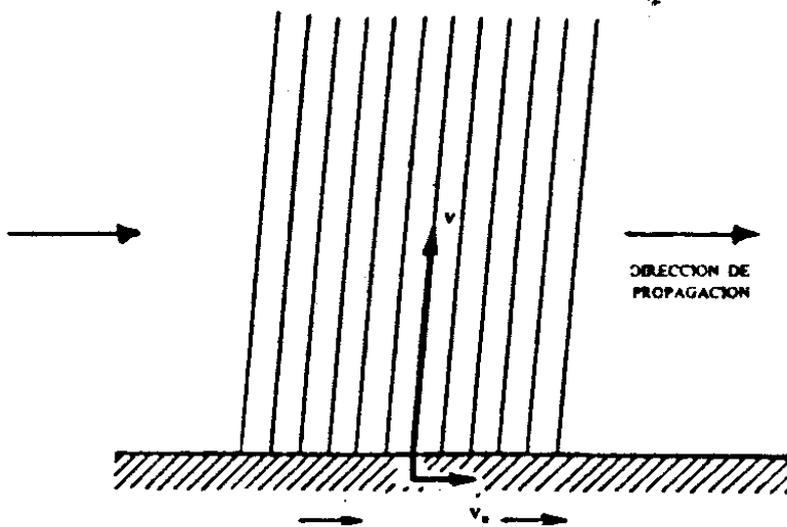


Ilustración 2.3. Forma aproximada del campo electromagnético, las líneas de fuerza del campo eléctrico, se encuentran inclinadas a una cierta distancia de la antena vertical transmisora.

Independientemente del aspecto exterior de los diferentes tipos de Radiogoniómetros, el principio de funcionamiento de todos ellos es en esencia el mismo, como norma general, todos utilizan una antena con propiedades direccionales [34].

### **2.3.1. El Diagrama Polar de recepción**

Para describir las características de recepción direccional de las antenas, se recurre al uso de un diagrama polar. Esta es una técnica de representación gráfica de la respuesta de una antena a las señales procedentes de diferentes direcciones.

En el funcionamiento normal de los receptores Radiogoniométricos marinos, se considera que la señal de radio se propaga solamente como una onda terrestre, por lo que en el diagrama polar solo se analizará el Azimut o ángulo que forma la dirección de procedencia de la onda con el Norte Verdadero.

En el caso de una antena vertical, cuando llegue a ella una onda polarizada verticalmente, o sea, que la dirección del vector eléctrico es vertical, la fuerza electromotriz inducida será el producto de la fuerza del campo eléctrico por la altura (h) de la antena,  $E \cdot h$ . Teniendo en cuenta esta fuerza electromotriz máxima  $E_{\max}$ , vemos que ésta será la misma en cualquier dirección de procedencia de la onda, y que la diferencia de potencial sería igual a  $E_{\max} \cdot \sin wt$ .

El diagrama polar más sencillo es el que corresponde a este tipo de antena vertical abierta, que se conoce como omnidireccional, y su diagrama queda representado por un círculo.

La expresión matemática que representa a esta recepción direccional será la siguiente:

$$r=f(\theta).$$

donde r es proporcional al voltaje inducido en la antena para un determinado desplazamiento angular “ $\theta$ ”.

La expresión para el caso simple de la antena omnidireccional es la siguiente:

$$r = C \text{ (constante) [35].}$$

### **2.3.2. El Principio de la Antena de Cuadro**

Sabemos que un gran número de antenas poseen características direccionales y teóricamente cada una podría utilizarse como elemento básico de un sistema de recepción direccional.

También conocemos que si un número cambiante de líneas de fuerza magnética pasan a través de la superficie encerrada por una bobina, entonces se generará un voltaje inducido en los devanados de la misma. El mismo efecto se consigue sustituyendo la bobina por una antena de cuadro.

En radiogoniómetros de Baja Frecuencia, el tipo de antena más utilizado en la práctica, casi sin excepción, es el de cuadro sencillo, debido a que nos ofrece la respuesta polar deseada.

La antena de cuadro consiste simplemente en un cuadro conductor cerrado, cuya forma no tiene mayor importancia, siendo los más comunes de forma circular, triangular o rectangular. La forma más adecuada para estudiar la teoría de la antena, es la rectangular. El estudio de las demás antenas se realiza descomponiendo los diferentes factores en los ejes horizontal y vertical de las antenas rectangulares.

Para la explicación del principio de funcionamiento del sistema recurriremos a la antena giratoria, aunque como veremos más adelante, la antena más difundida en la actualidad es la fija de cuadros cruzados, cuyo estudio realizaremos separadamente al hablar de los diferentes tipos de receptores.

Como la onda de radio que llega a la antena está normalmente polarizada verticalmente, solo aparecerá voltaje inducido en los elementos verticales. Los elementos horizontales se pueden considerar como complementos, o elementos de unión en serie del circuito eléctrico [34].

Para describir el funcionamiento de la antena de cuadro, tendremos en cuenta dos orientaciones de la misma:

- A. Con el plano de la antena perpendicular a la dirección de propagación de la onda de radio (imagen 2.4).
- B. Con el plano de la antena paralelo a la dirección de propagación de la onda (imagen 2.5).

A) en este caso, la distancia del transmisor a los dos elementos verticales de la antena es la misma y, por consiguiente, los voltajes inducidos serán iguales en amplitud y fase, por llegar la señal simultáneamente a ambos. Como en los elementos horizontales no se induce voltaje alguno, la suma de los voltajes alrededor de todo el cuadro será igual a cero, no existiendo circulación de corriente en la antena.

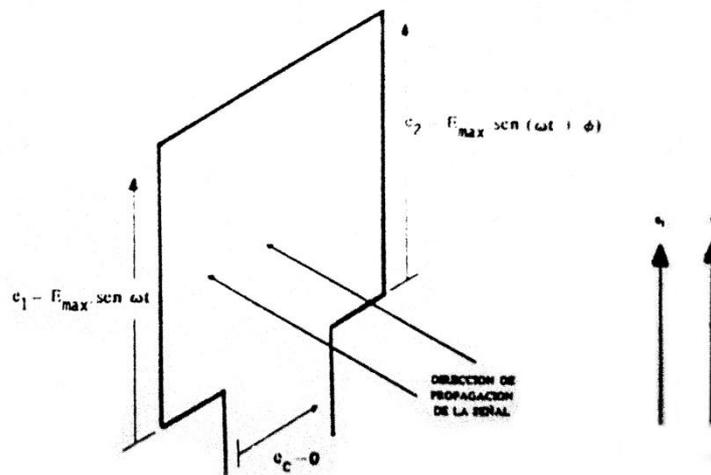


Ilustración 2.4. Plano de la antena perpendicular a la dirección de propagación de la onda de radio.

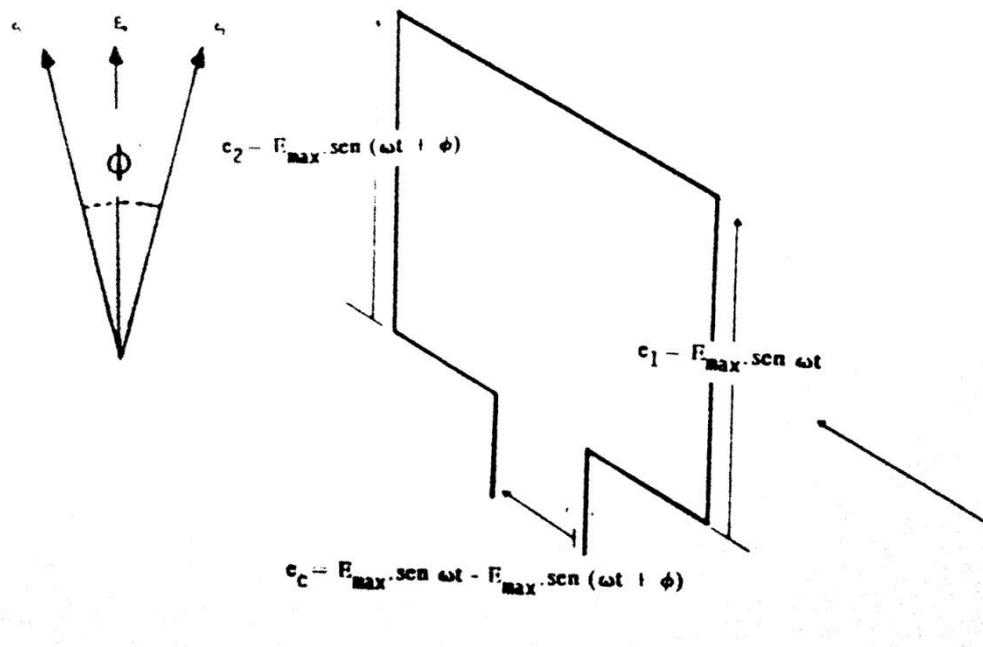


Ilustración 2.5. Plano de la antena paralelo a la dirección de propagación de la onda.

B) en este segundo caso, como la distancia del transmisor a la antena es siempre considerablemente grande en comparación con las dimensiones del cuadro, el voltaje inducido en los dos elementos verticales tendrá siempre el mismo valor máximo ( $E_{\max}$ ). La separación entre los dos elementos verticales ocasiona una diferencia de amplitud instantánea en los voltajes inducidos  $e_1$  y  $e_2$ . En la imagen 2.6 se ve como el voltaje  $e_2$  se encuentra desplazado del  $e_1$  un ángulo de fase  $\Phi$ . Es decir,

$$e_1 = E_{\max} \cdot \text{sen} \omega t$$

y

$$e_2 = E_{\max} \cdot \text{sen}(\omega t + \Phi)$$

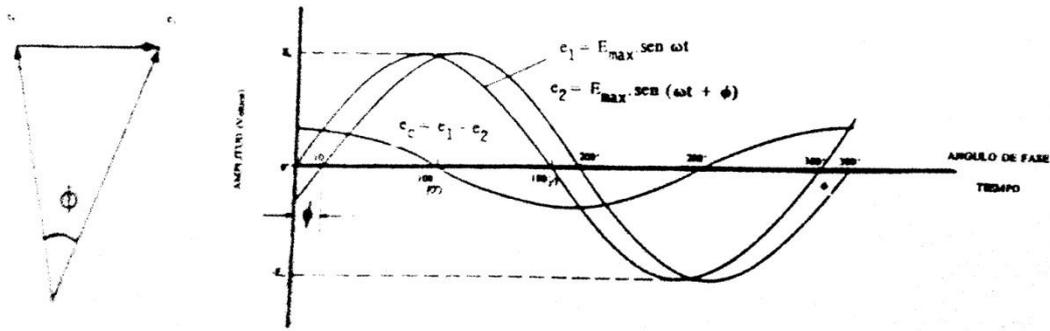


Ilustración 2.6. Voltaje  $e_2$  desplazado del  $e_1$ .

Sumando los voltajes inducidos, tendremos que el voltaje inducido en todo el cuadro será:

$$e_c = (e_1) + (-e_2) = E_{\max} \cdot \text{sen} wt + [(-E_{\max} \cdot \text{sen} (wt + \Phi))]$$

$$e_c = E_{\max} \cdot \text{sen} wt - E_{\max} \cdot \text{sen} (wt + \Phi)$$

Ahora desarrollando el  $\text{sen} (wt + \Phi)$  y, sustituyendo en la expresión resultará:

$$e_c = E_{\max} \cdot \text{sen} wt - E_{\max} (\text{sen} wt \cdot \cos \Phi + \cos wt \cdot \text{sen} \Phi)$$

y haciendo  $\cos \Phi = 1$ ,

$$e_c = E_{\max} \cdot \cos wt \cdot \text{sen} \Phi$$

De esta expresión nacen las siguientes conclusiones referentes a las antenas de cuadro:

- La fase del voltaje resultante  $e_c$  está en cuadratura ( $\cos wt$ ) con el voltaje inducido en un elemento vertical simple ( $\text{sen} wt$ ).
- El máximo voltaje inducido en la antena es " $E_{\max} \cdot \text{sen} \Phi$ ".

En las bandas de frecuencia bajas y medias,  $\Phi$  será siempre muy pequeño por lo que el voltaje resultante inducido en el cuadro, será mucho menor que el voltaje inducido en un elemento vertical de la antena.

La amplitud máxima del voltaje inducido en el cuadro depende del ángulo de fase  $\Phi$ , el cual es función de la separación de los elementos verticales, medida en la dirección de propagación de las ondas.

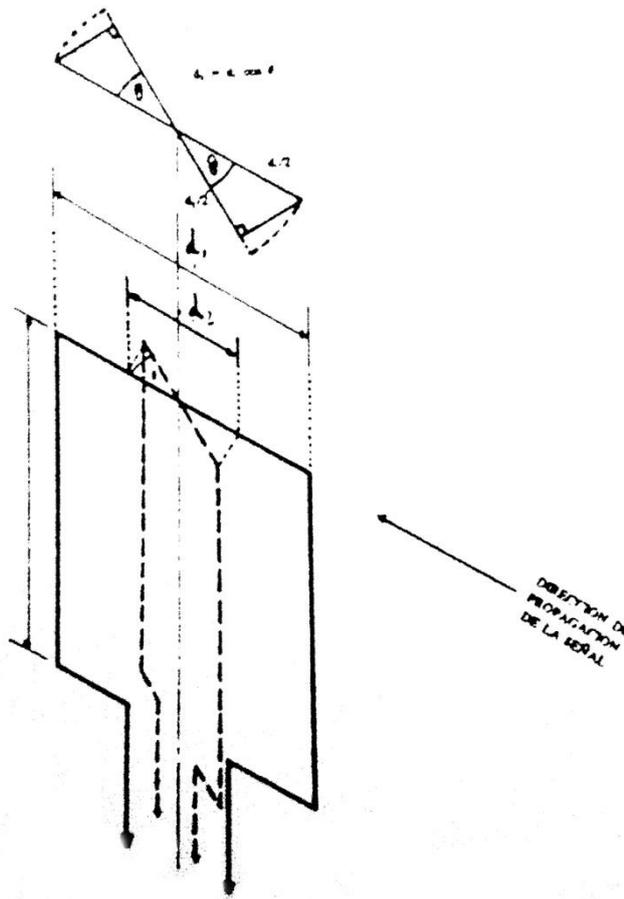


Ilustración 2.7.  $\Phi$  función de  $d \cdot \cos \theta$ .

En la imagen 2.7 vemos que  $\Phi$  es función de  $d \cdot \cos \theta$ , y que el voltaje de pico para un ángulo  $\Phi$ , será:

$$E_c = E \cdot \text{sen} \Phi \cdot \cos \theta$$

Calculando esta fórmula para todos los valores de  $\theta$  de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , nos resultará el diagrama polar de recepción de la antena de cuadro (imagen 2.8). En él podemos ver las propiedades direccionales necesarias que debe tener un radiogoniómetro básico o elemental. A este diagrama se le suele llamar "diagrama en ocho", y las antenas de "características direccionales en forma de 8".

Observando la imagen vemos que existen dos posiciones de máximo voltaje inducido ( $0^\circ$  y  $180^\circ$ ), y dos de voltaje cero ( $90^\circ$  y  $270^\circ$ ).

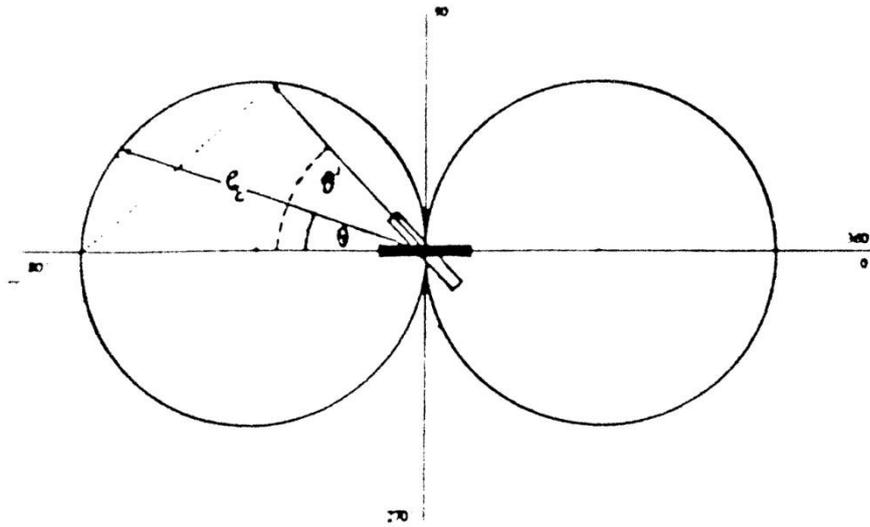


Ilustración 2.8. Diagrama polar de recepción de la antena de cuadro.

Para construir un radiogoniómetro básico, basta con acoplar a un receptor, una antena de cuadro que pueda girar. La dirección de procedencia de una determinada transmisión se determinará sintonizando el receptor en la frecuencia adecuada, y luego girando la antena hasta que la amplitud de la señal sea, o bien máxima o mínima. Observando la posición angular de la antena, conoceremos la dirección de procedencia de las ondas.

Generalmente se utiliza la posición de mínima señal en lugar de la de máxima para determinar la procedencia de la señal, ya que el índice de variación del voltaje de cuadro es considerablemente mayor en la zona de mínima. A este dato tenemos que unir el de la mejor apreciación por el oído humano de los mínimos que de los máximos. Por lo tanto, las posiciones de voltaje cero, pueden ser apreciadas más fácilmente que las de máximo voltaje.

Las antenas de gonio pueden ser de diferentes formas, ya que en cualquiera de ellas, sus parámetros, pueden calcularse descomponiéndolos en sus ejes horizontal y vertical. [35]



Ilustración 2.9. Distintos tipos de antenas de radiogoniómetros.

Sabemos que en las frecuencias medias y bajas, el ángulo de fase es muy pequeño, luego en la expresión anterior,

$$e_c = E_{\max} \cdot \cos \omega t \cdot \text{sen } \Phi$$

podemos suponer, que  $\text{sen } \Phi$ , es aproximadamente igual a  $\Phi$ .

Vemos que el ángulo de fase  $\Phi$  es directamente proporcional a la dimensión horizontal de la antena de cuadro "d". El voltaje inducido  $E_{\max}$ , será directamente proporcional a la longitud de los componentes verticales de "h" de la antena (para el caso normal de una onda polarizada verticalmente).

Por lo tanto, el voltaje inducido en el cuadro  $e_c$  será función de d.h, o sea, proporcional al área encerrada por el cuadro.

La longitud de la componente vertical es directamente proporcional al número de vueltas que tenga el conductor bobinado dentro de la antena. Como la inductancia del cuadro es proporcional al cuadrado del número de vueltas, cualquier aumento del voltaje inducido obtenido al aumentar el número de vueltas, se pierde al tener que introducir un transformador entre la antena y el receptor.

En definitiva, vemos que la efectividad de una antena de radiogoniómetro depende del área encerrada por la antena, siendo independiente del número de vueltas o devanados que tenga el conductor embobinado dentro de la antena.

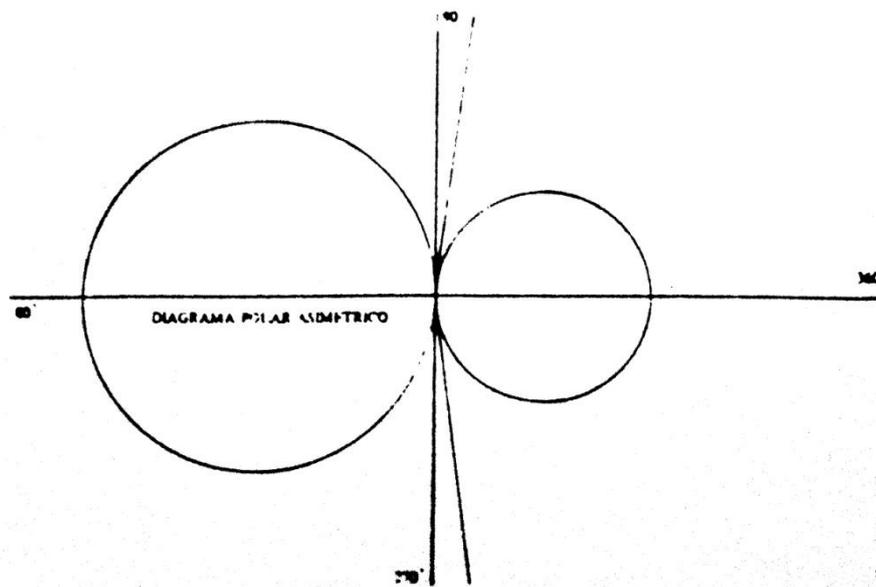


Ilustración 2.10. Diagrama polar asimétrico.

Para obtener una correcta definición de los ceros en el diagrama polar, los voltajes inducidos en las secciones verticales deben tener una amplitud igual. Una desigualdad en la misma, producirá un diagrama polar asimétrico y una posición incorrecta de los ceros o mínimos (imagen 2.10). Esto puede ser ocasionado por un acoplamiento desigual de capacidades entre los elementos verticales de la antena y otros objetos metálicos cercanos a la misma. Para que esto no ocurra nunca, se recurre a colocar la antena en el interior de una cubierta o tubo metálico con toma de tierra. Con esto se consigue una capacitancia fija y uniforme en todas las partes de la antena. La cubierta de la antena no debe ser totalmente cerrada, pues podría apantallar las ondas incidentes, dificultando la recepción (imagen 2.11).

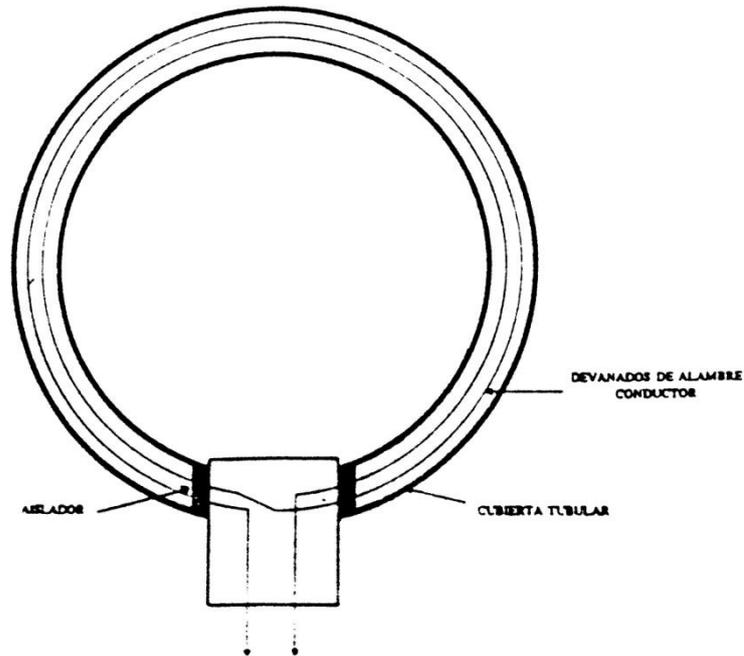


Ilustración 2.11. Cubierta de la antena.

En ocasiones, puede observarse un desequilibrio, en el que los voltajes inducidos sean iguales en amplitud, pero desiguales en fase (imagen 2.12). En este caso, los mínimos de señal quedarán indicados correctamente, pero el voltaje de la antena no llegará a cero. Este efecto se reduce por medio de la cubierta de la antena o introduciendo un voltaje igual y opuesto al residual. Este voltaje se conecta a la antena vertical de sentido, que seguidamente estudiaremos, mediante un condensador que se conoce como " indicador de cero" o "agudeza de cero".

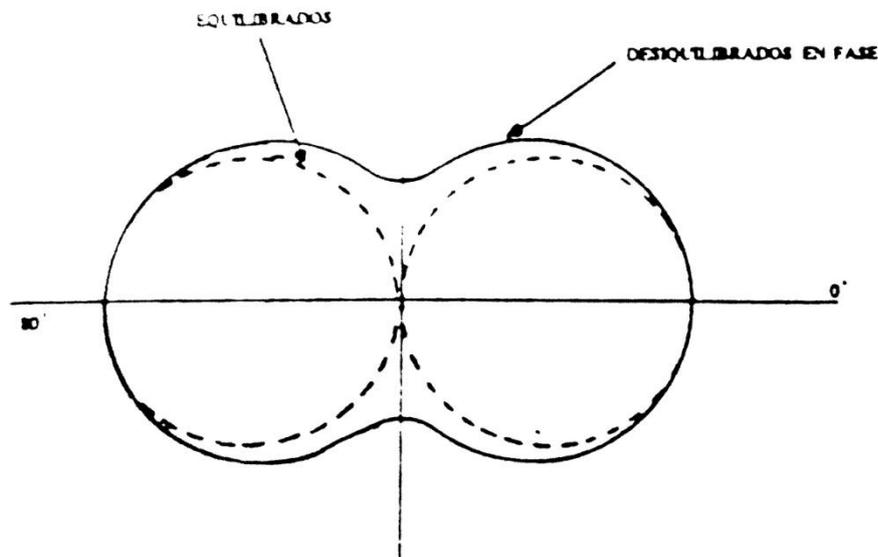


Ilustración 2.12. Diagrama con desequilibrio.

### 2.3.3. La ambigüedad en la demora. (La incertidumbre de los 180°)

El diagrama polar de recepción en forma de ocho de la antena de cuadro, nos sirve de base ideal para el estudio del sistema.

Al obtener la posición de los ceros, o mínimos de voltaje inducido en el cuadro, se puede determinar con facilidad la dirección de procedencia de la transmisión. Solo existe una dificultad básica en el diagrama polar, motivada por el hecho de haber dos posiciones de la antena en las que se aprecia un voltaje nulo.

Las dos posiciones están diferenciadas en 180°, por lo que siempre servirán como marcaciones. En la práctica, este hecho no representa un gran problema para saber cuál de las dos direcciones es la correcta, pues el marino, normalmente, sabrá en que sentido se encuentra la costa o la fuente generadora de la señal. No obstante, para aquellos casos en los que el sentido de la demora es totalmente desconocido, se hace necesario emplear algún recurso para resolver esta ambigüedad o incertidumbre de sentido.

Con tal finalidad se añade el diagrama de recepción de una antena omnidireccional al diagrama polar de recepción en forma de ocho de la antena de cuadro, resultando un diagrama con una sola posición de voltaje inducido igual a cero.

La señal de recepción omnidireccional añadida, se obtiene con una antena vertical. A esta antena se le conoce como, "*antena vertical*" o "*antena de sentido*", que como sabemos, en ella se genera una corriente inducida constante, sea cual fuere la dirección de procedencia de la señal. El voltaje inducido en la antena vertical se sumará al inducido en el cuadro. Como los voltajes inducidos están desfasados en 90°, el de uno de las dos antenas debe ser corregido en esa cantidad para colocarlos en fase.

Desarrollando previamente la expresión del voltaje final de la antena de cuadro,

$$e_c = E_{\max} \cdot \cos \omega t \cdot \sin \Phi$$

$$e_c = E_{\max} \cdot \cos t\theta t \cdot \sin \Phi$$

donde el voltaje de la antena de cuadro está desfasado 90° con respecto al voltaje inducido en un simple conductor vertical.

La resultante de sumar el voltaje del cuadro ( $E \sin \Phi \cdot \cos \theta$ ), al voltaje "C" de la antena vertical ( $E \cdot \sin \Phi$ ), será,

$$E_{\text{total}} = E \cdot \sin \Phi \cdot \cos \theta + E \sin \Phi = E \sin \Phi (1 + \cos \theta)$$

Que no es otra que la expresión del diagrama polar de recepción conjunto, más conocido como "cardioide", por su forma similar a un corazón (imagen 2.13). Aprovechando la circunstancia de que las corrientes inducidas en dos posiciones opuestas del cuadro son de sentido contrario, en una de las posiciones del cuadro las corrientes inducidas de ambas antenas se sumarán, y en la otra posición se restarán, anulándose si son del mismo valor e intensidad, lo que se consigue mediante una resistencia graduable que lleva la antena lineal. En este caso, el diámetro de los círculos pequeños del diagrama de 8, deben ser iguales al radio del círculo grande del diagrama polar de la antena vertical.

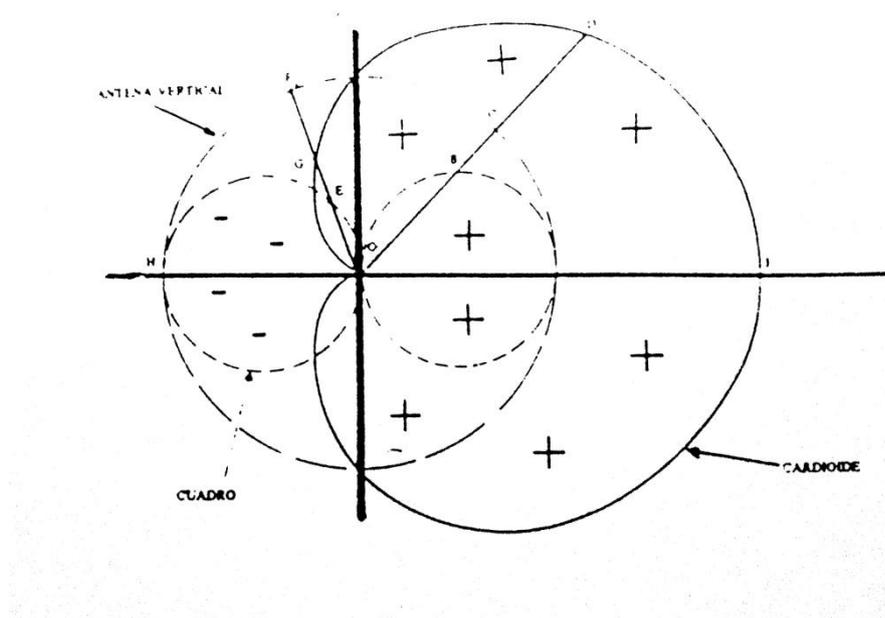


Ilustración 2.13. Cardiode.

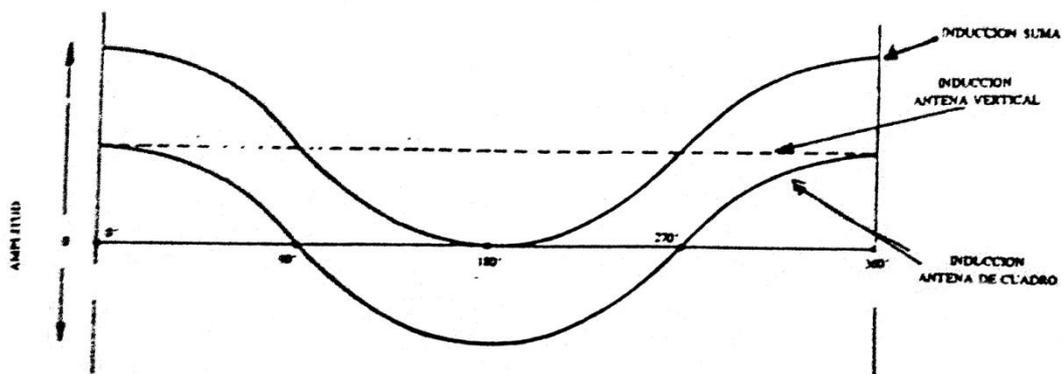


Ilustración 2.14. Efecto conjunto de la antena de cuadro y la vertical en una vuelta completa al horizonte.

El voltaje generado en la antena de cuadro, representado por el círculo de la derecha, se encuentra en fase con el voltaje de la antena vertical. Ambos voltajes se sumarán ( $OB+OC=OD$ ). El voltaje representado por el círculo de la izquierda debe ser restado del de la antena vertical por estar desfasado  $180^\circ$  con respecto al del círculo de la derecha ( $OF-OE=OG$ ).

En la figura vemos como OJ es igual al doble del radio del diagrama circular. Si giramos la antena hasta la dirección opuesta, no recibiremos señal alguna, ya que OH-

$\text{OH}=0$ . De esta forma, sumando con sus signos los vectores representativos del voltaje de ambas antenas obtendremos el diagrama en forma de corazón, o Cardioide.

De igual forma, en la imagen 2.14 vemos como la línea de puntos representa el voltaje constante generado en la antena vertical, de igual valor que la inducción máxima de la antena de cuadro, representada por la cosinusoide de trazo continuo. Se ve que durante  $180^\circ$  se suman ambos efectos, y durante los restantes  $180^\circ$  se restan, resultando un solo mínimo donde antes había un máximo.

## **2.4. ANTENAS**

Un vez dejado claro, en el punto anterior, como el fundamento de la recepción direccional reside en la forma de las antenas, seguidamente estudiaremos los dos tipos de antenas más difundidos, es decir, la antena de cuadro giratorio y la de cuadros cruzados fijos.

### **2.4.1. La Antena de cuadro giratorio**

Las antenas de cuadro diseñadas para uso a bordo, consisten básicamente en dos conductores verticales cerrados en su parte alta y con sus extremos inferiores adaptados para el paso de la corriente. Estos conductores rígidos están formados por un número determinado de espiras.

La forma del cuadro no tiene gran importancia, puede ser rectangular, triangular, romboidal, octagonal, circular etc., La forma circular es la más difundida, cómoda y conveniente.

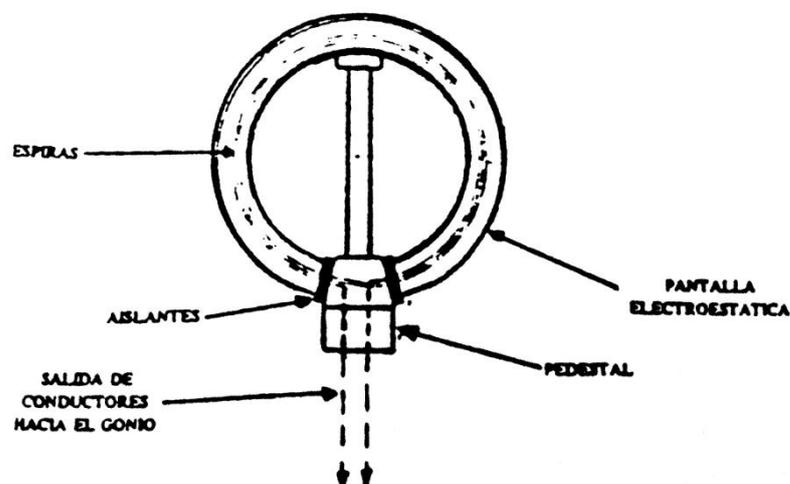


Ilustración 2.15. Antena aislada de las ondas electromagnéticas.

Los conductores van arrollados en el interior de un tubo metálico curvado que le sirve de pantalla. En la imagen 2.15, podemos ver, que el hecho de instalar una pantalla tubular en la antena podría significar que la antena se encontrase totalmente aislada de la acción de las ondas electromagnéticas, en cuyo caso no se produciría fuerza electromotriz alguna. Esto no es así, ya que en el centro del tubo exterior se le instala una toma de tierra y se acopla al pedestal por medio de dos tacos aislantes, evitando que la pantalla o tubo electrostático se convierta en un circuito cerrado, hecho que provocaría que las ondas electromagnéticas no llegasen al receptor, indicando este, permanentemente cero.

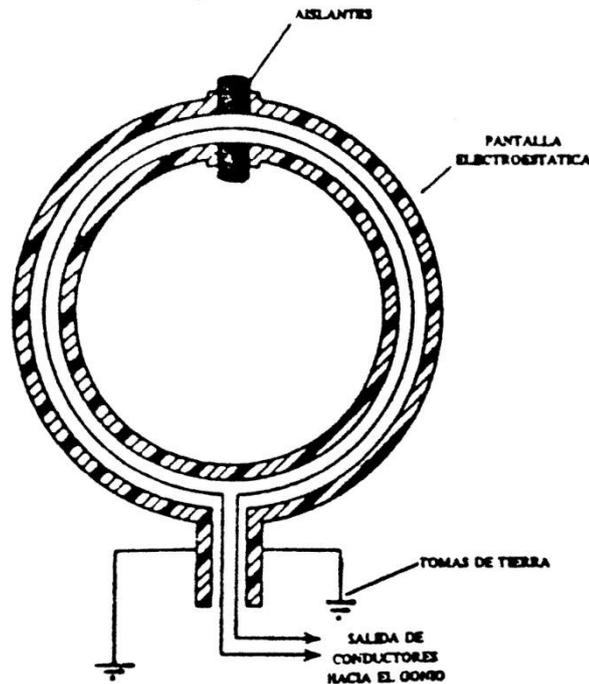


Ilustración 2.16. Antena de cuadro giratorio.

La distancia entre los dos elementos verticales o diámetro en el caso de las antenas circulares, debe ser menor de una longitud de onda de la frecuencia de recepción. Como sabemos, la frecuencia intermedia en radiogoniometría marítima es de 300 KHz, a la que corresponde una longitud de onda de 1000 metros, hecho por el cual dicho requerimiento no presenta ningún problema.

En el caso de radiogoniómetros de muy alta frecuencia (VHF), al corresponderles unas longitudes de onda entre 1 y 10 metros, habrá que afinar más a la hora de calcular el diámetro de la antena, con el fin de conseguir una buena sensibilidad, al mismo tiempo que se logra un manejo cómodo debido a las pequeñas dimensiones, especialmente en radiogoniómetros portátiles.

#### 2.4.2. La Antena cruzada Bellini-Tosi

En aquellos receptores que utilicen este tipo de antenas cruzadas, serán aplicables todos los principios teóricos de las antenas giratorias. Igualmente, podemos

decir que el sistema de construcción de estas antenas es similar, con la salvedad de que aquí existen dos antenas montadas sobre un mismo pedestal y separadas 90 grados.

Las antenas son fijas, generalmente una de mayor diámetro que la otra. Por el interior del pedestal pasan 5 cables conductores que salen al exterior a través de un cajetín estanco que se encuentra en su base.

La antena vertical, para la determinación del sentido de procedencia de la señal, se encuentra normalmente en el eje de intersección de las dos antenas.

Estas antenas deben instalarse en un lugar alto, lejos de las masas metálicas y de conductores, pero al mismo tiempo debe estar cerca del receptor para evitar que el cable de conexión sea demasiado largo.

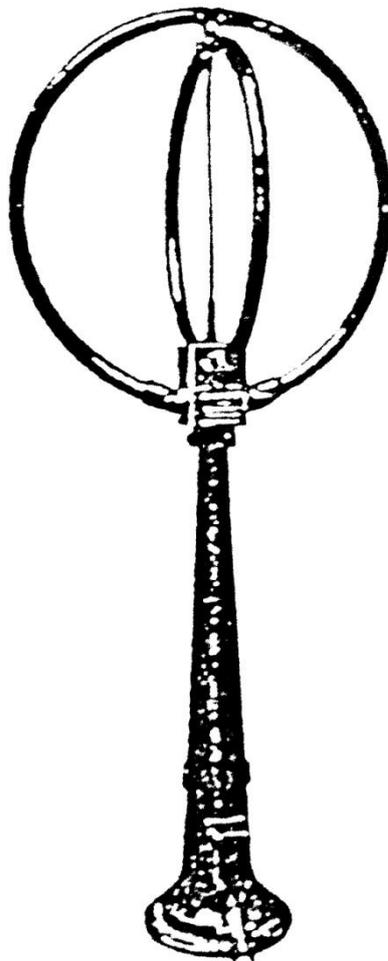


Ilustración 2.17. Antena cruzada Bellini-Tosi.

Actualmente, la inmensa mayoría de los buques mercantes utilizan este tipo de antenas.

### El receptor de antena cruzada tipo Bellini-Tosi

Con la aparición de la antena desarrollada por Bellini y Tosi en 1907, que consistía en dos cuadros fijos colocados formando ángulos rectos, quedó salvado el problema de los elementos mecánicos, siendo el fundamento de la mayoría de los receptores radiogoniométricos.

Todos los principios teóricos aplicados a la antena de cuadro sencilla, se aplican de igual forma para las dos antenas individuales cruzadas de Bellini-Tosi, (imagen 2.18).

A bordo, este tipo de antenas se instalan de tal forma que un cuadro esté alineado en crujía y el otro perpendicular al primero (imagen 2.19). Por lo tanto, una antena estará referida al eje proa-popa y la otra Babor-Estribor.

Una señal que se reciba con un ángulo de marcación  $\theta$ , generará un voltaje final igual a  $E \cdot \cos \theta$ , en la antena FA y otro,  $E \cdot \sin \theta$ , en la antena PS (imagen 2.20). Vemos que el ángulo  $\theta$ , en este caso viene representado por las amplitudes de voltaje, que pueden ser combinadas en el receptor mediante cuatro cables de interconexión. Utilizando este sistema se pueden eliminar los dispositivos mecánicos de la antena giratoria pues no son necesarios.

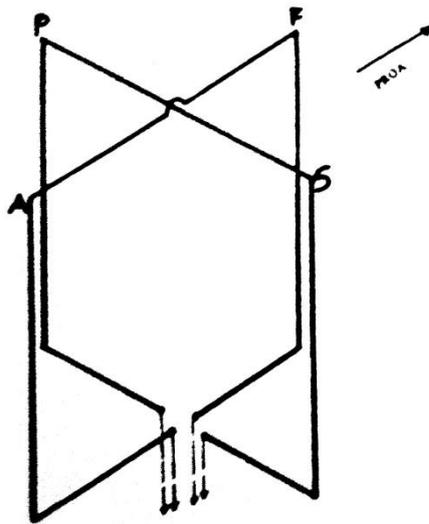


Ilustración 2.18. Receptor antena cruzada Bellini-Tosi.

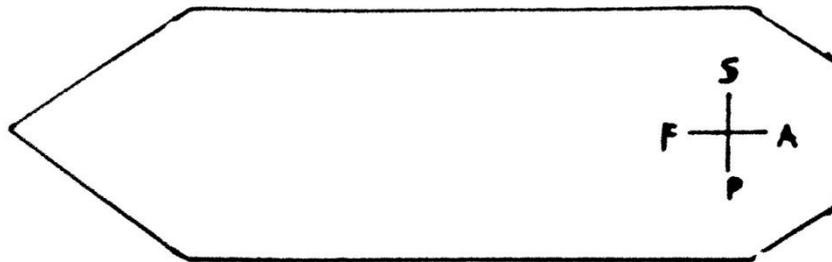


Ilustración 2.19. Situación de la antena cruzada Bellini-Tosi a bordo.

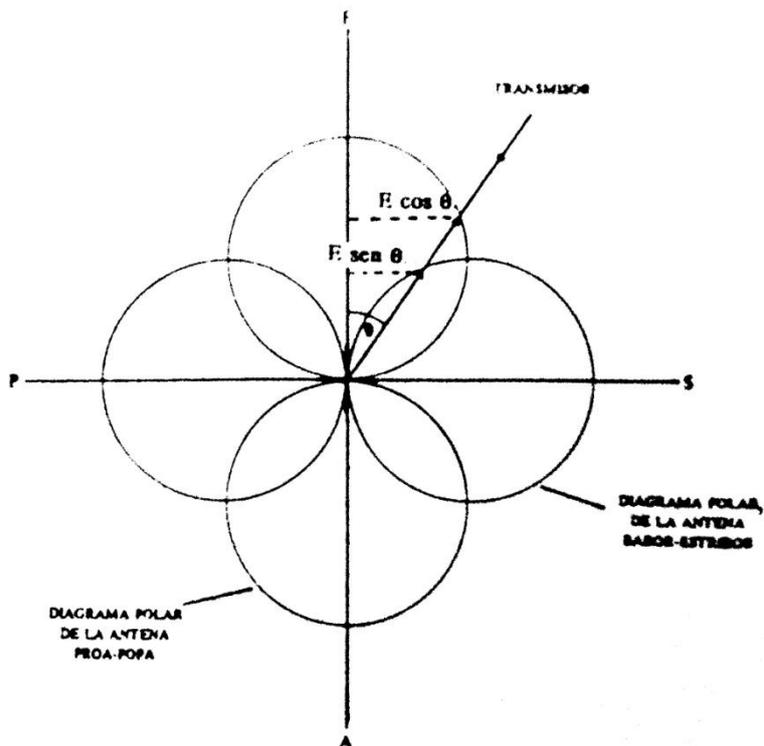


Ilustración 2.20. Voltajes finales en las antenas FA y PS.

El hecho de introducir el uso de esta antena motiva el realizar varios cambios en el receptor. Al venir dado el ángulo  $\theta$  en función de los voltajes inducidos en las dos antenas y tener que combinarlos, se ideó el goniómetro o conjunto de tres bobinas.

El goniómetro está formado por dos bobinas colocadas en los mismos planos relativos de las dos antenas y una tercera bobina que gira en el interior del campo magnético producido por la corriente que pasa por las bobinas (imagen 2.21). Por lo tanto, la amplitud del campo magnético, será proporcional a los voltajes de las antenas. El campo magnético de la bobina FA será función de  $E \cdot \cos\theta$  y el campo magnético de la bobina PS será función de  $E \cdot \sin\theta$ .

El voltaje inducido en la bobina giratoria por cada uno de estos campos magnéticos es proporcional al ángulo de giro de la bobina " $\phi$ ". El voltaje inducido por la bobina FA es proporcional al  $\cos\phi$  y el de la bobina PS al  $\sin\phi$ .

El voltaje inducido dentro de la bobina giratoria es proporcional a:

$$E \cdot \cos\theta \cdot \cos\varphi - E \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi.$$

Cuando el voltaje inducido sea igual a cero,  $\cot \theta = \tan \varphi$ .

Esto se cumplirá cuando  $\theta = \varphi + 90 + n \cdot 180$ , donde  $n=0$  ó a cualquier otro número entero.

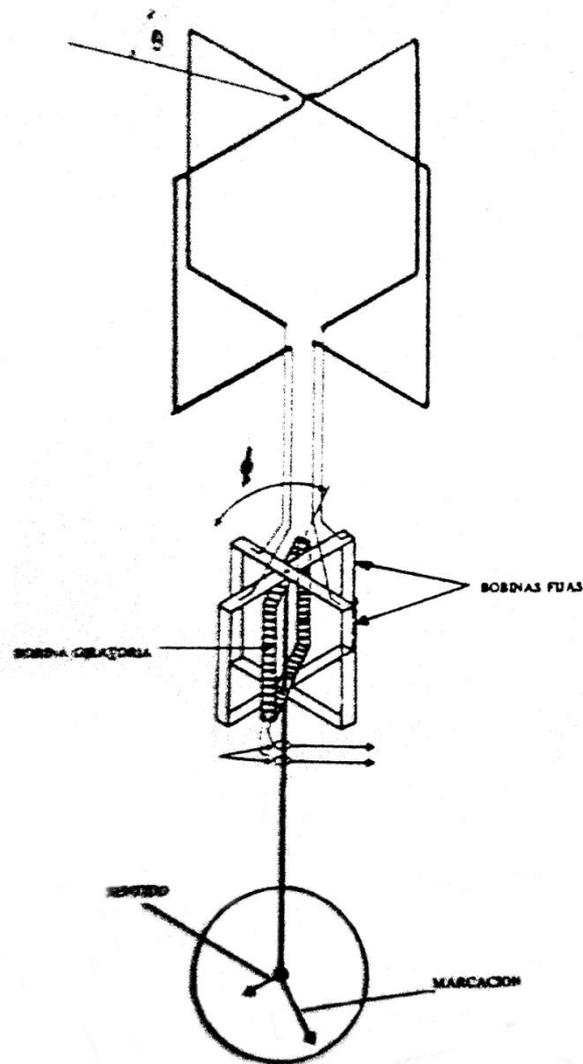


Ilustración 2.21. Bobinas.

La bobina giratoria de un goniómetro, produce el mismo efecto que una antena giratoria y, por lo tanto, su diagrama polar de recepción será el mismo. Cuando el goniómetro va montado dentro del receptor, se acopla un indicador demarcaciones

al eje del rotor de la bobina giratoria, indicándonos la marcación cuando el rotor está orientado hacia la misma dirección de la mínima recepción. A esta tercera bobina se le conoce con el nombre de bobina exploradora. Para resolver la incertidumbre de los  $180^\circ$  se le añade un voltaje producido en una antena omnidireccional, tal y como se ve en el diagrama de la imagen 2.22.

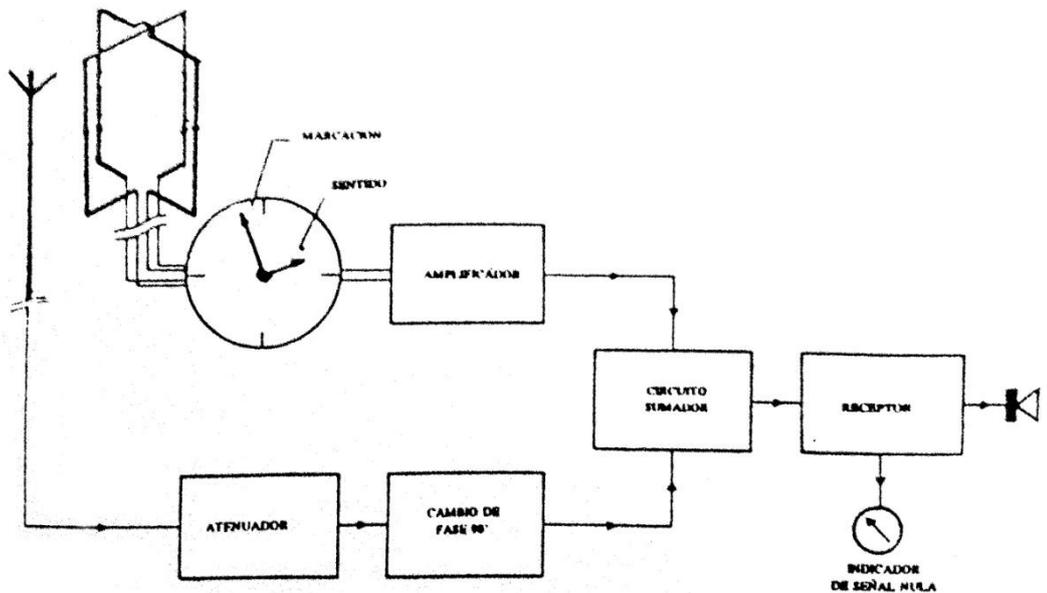


Ilustración 2.22. Circuito característico de los receptores de las antenas cruzadas tipo Bellini-Tosi.

### 2.4.3. La Antena de Barra de Ferrita

Dejando a un lado antenas menos difundidas como la Adcock o la de cuadro de ferrita, finalizaremos esta sección con las antenas de barra de ferrita que se utilizan principalmente en gonios portátiles manuales y automáticos, y especialmente en los de mano. En la imagen 2.23, comparamos el comportamiento de una antena de barra de ferrita con el de una antena de cuadro.

Se observa que con el cuadro paralelo a las líneas de fuerza, la intensidad del sonido será mínima. De igual forma, se ve que con el cuadro perpendicular a las líneas de fuerza la intensidad será máxima.

En cambio, si observamos el bobinado de la antena de barra de ferrita, entenderemos que con la barra paralela a las líneas de fuerza, la intensidad generada será máxima. Con la barra perpendicular a las líneas de fuerza, es decir, orientada hacia la estación, la intensidad será mínima.

Visto esto, podemos también entender como con un receptor normal de radiodifusión comercial, se puede determinar la demora de una estación de Onda Media, pues, como sabemos, están dotados de una antena de este tipo

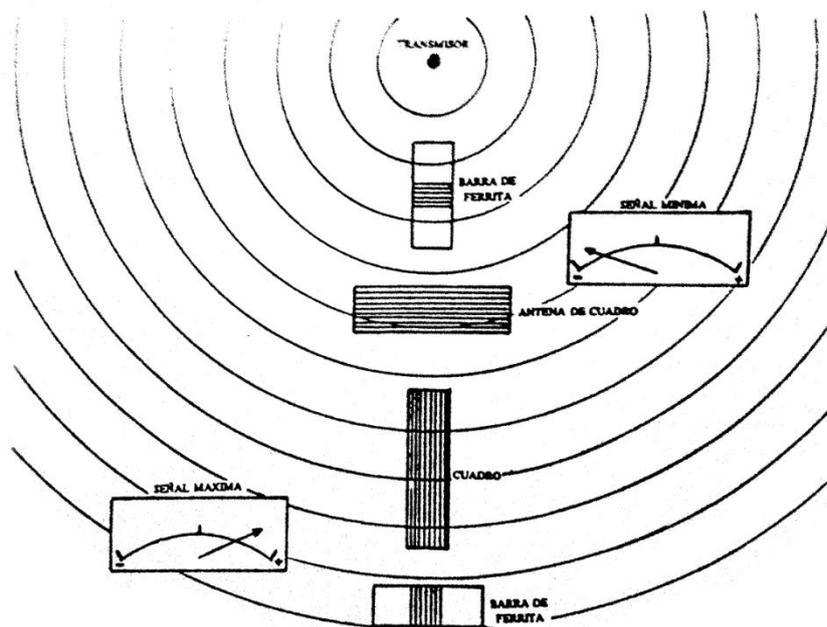


Ilustración 2.23. Comparación del comportamiento de una antena de barra de ferrita con el de una antena de cuadro.

Señal Mínima: - Barra de ferrita en la dirección del transmisor y antena de cuadro perpendicular a la misma (espiras paralelas a las líneas de fuerza).

Señal Máxima: - Barra de ferrita perpendicular a la dirección del transmisor y cuadro en la dirección del mismos (espiras perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético).

## 2.5. RADIOGONIÓMETROS PORTÁTILES

Actualmente, y principalmente en embarcaciones de recreo y menores, se están imponiendo los radiogoniómetros portátiles por su manejabilidad, escaso consumo de energía y bajo precio. La mayoría de ellos llevan una aguja magnética acoplada, permitiendo tomar simultáneamente, demoras visuales y radiogoniométricas. Simplemente se tienen que usar dos controles, uno para sintonizar la emisora, y otro, para regular el volumen. La escucha se efectúa mediante auriculares y la fuente de energía es de pilas normales o recargables.

Algunos modelos incorporan, además de las bandas de frecuencias propias de los radiofaros marítimos, las de los radiofaros aeronáuticos (200 a 2.000 kHz.), bandas de radiodifusión, BLU, VHF, etc.

Existen dos tipos diferenciados de receptores portátiles, unos que se colocan en cubierta alineados con la dirección de crujía, y otros de mano, que tienen que ser sujetados por el operador durante al operador de obtención de las radiodemoras (imagen 2.24).

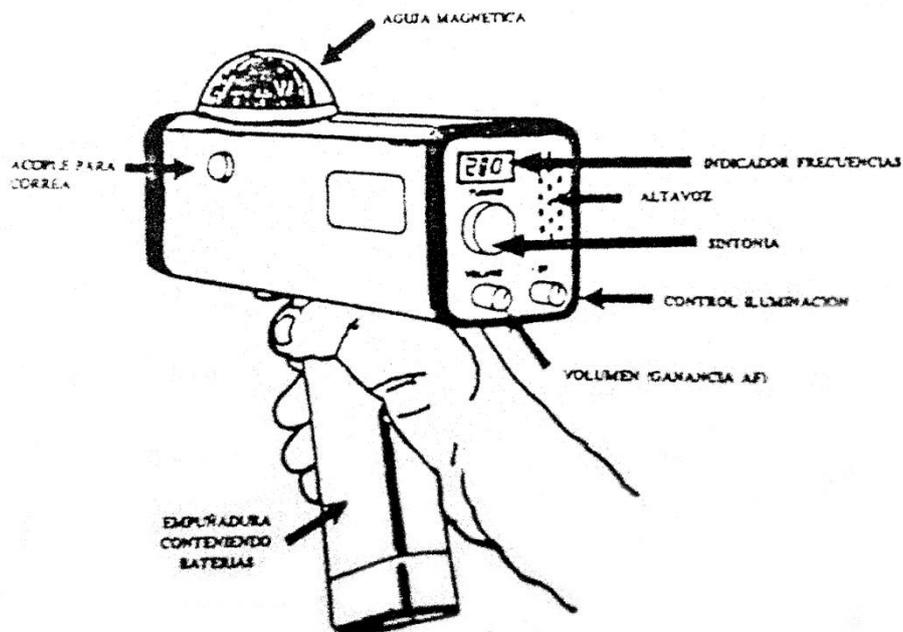


Ilustración 2.24. Radiogoniómetro portátil.

## 2.6. FRECUENCIAS DE TRABAJO

Podríamos decir que un radiogoniómetro completo debería cubrir las siguientes gamas de frecuencias:

- De 190 a 550 kHz, para recibir radiofaros aéreos y marítimos, incluyendo la frecuencia internacional de socorro en radiotelegrafía de 500 kHz.
- De 1,6 a 2,5 MHz, incluyendo la frecuencia internacional de socorro en radiotelefonía de 2182 kHz.
- De 156 a 162 MHz, para recibir los radiofaros que transmiten en VHF.
- De 545 a 1620 kHz, para poder recibir además, las emisoras comerciales de radiodifusión, cuyas señales también pueden ser útiles para el navegante, siempre que se conozca la situación exacta de las antenas de emisión y estas no se encuentren lejos de la mar, para evitar el *error de costa*. Generalmente, se suelen sintonizar las emisoras de gestión estatal, por ser, normalmente, las que transmiten con más potencia y la situación de sus antenas suele figurar en la mayoría de las Cartas Náuticas (RNE, RAI, BBC, etc.).

Debemos recordar que existen manuales de estas estaciones comerciales, que comprenden todas las existentes en el mundo, facilitando sus indicativos, frecuencias, potencias de emisión, situación geográfica, nombre, horarios de emisión, etc.

## 2.7. RADIOFAROS

### 2.7.1. Radiofaros omnidireccionales, giratorios y dirigidos

Con el fin de permitir a los navegantes la obtención de radiodemoras, se instalan transmisores en lugares destacados buscando que el sistema suponga una ayuda eficaz a la navegación. Los lugares más comunes suelen ser cabos, faros y buques faro.

Generalmente, y por razones técnicas, el radiofaro se instala fuera del faro, cerca de él y con su mismo nombre. Esto provocaría una desigualdad entre la demora visual y la radiodemora. Si la situación del radiofaro no está en la carta se puede obtener con el libro de Radioseñales.

Los Radiofaros instalados en tierra suelen encontrarse en lugares tales que las ondas de radio atraviesan la línea de costa con la mínima oblicuidad posible, es decir, que las radiodemoras cortan dicha línea de separación con un ángulo lo más próximo posible al recto. Con ello se consigue evitar, en lo posible, el conocido “Error de Costa”.

Atendiendo a la forma en la que radian sus señales, en la radiogoniometría actual existen dos tipos genéricos de radiofaros:

#### **2.7.1.1. Radiofaros omnidireccionales**

Se caracterizan porque el transmisor envía señales de aproximadamente la misma potencia a todas las direcciones del horizonte. A intervalos regulares transmite una señal morse que sirve de identificación. Son conocidos como Radiofaros Circulares (RC). Unos operan ininterrumpidamente, otros a horas fijas y otros lo hacen a petición del observador.

Dependiendo del tipo de navegación para el que hayan sido instalados. Se pueden distinguir, RC marítimos, RC aéreos y RC aeromarítimos.

#### **2.7.1.2. Radiofaros para obtención de la distancia**

Este tipo de estaciones fueron diseñadas para permitir al marino la situación por Radiodemora y distancia sonora. Esto se consigue mediante la transmisión sincronizada de la señal de radio con una señal de niebla hecha sonar desde el mismo radiofaro o una situación muy próxima a él.

Algunos radiofaros, fundamentalmente buques-faro transmiten la señal acústica por debajo de la superficie del mar, permitiendo a los submarinos la obtención de la distancia a la estación.

#### **2.7.1.3. Radiofaros direccionales**

Estas estaciones transmiten en unas direcciones privilegiadas e identificables. Se pueden dividir en dos clases:

- Dirigidos o fijos
- Giratorios

#### **2.7.1.3.1. Radiofaros dirigidos (RD)**

Transmiten un haz de radioondas en un sector circular determinado, siendo de gran utilidad como guía en las recaladas.

#### **2.7.1.3.2. Radiofaros giratorios dirigidos (RW)**

Emiten uno o varios haces de radioondas dirigidas, haciéndolas girar en azimut al igual que el haz luminoso de un faro. Normalmente son utilizados por buques y aeronaves para situarse o recalar, sin necesidad de llevar instalado el radiogoniómetro.

La antena del transmisor es de cuadro y describe una rotación completa por minuto, transmitiendo un máximo en la dirección del plano de la antena y un mínimo en la perpendicular a éste.

En el momento en el que el sector de extinción demora al Norte verdadero, se transmite una señal omnidireccional. El observador con un receptor normal y un cronógrafo, contará los segundos transcurridos desde la señal omnidireccional hasta que el mínimo pase por su situación. Multiplicando los segundos por la velocidad de rotación de la antena ( $6^\circ/\text{seg.}$ ), se obtendrá la demora del buque con respecto al radiofaro. Se debe comprobar el período del radiofaro antes de efectuar la medición por si no es de 60 segundos exactamente.

#### **2.7.2. Estaciones Radiogoniométricas**

Con el fin de facilitar radiodemoras a buques sin necesidad de tener instalado un gonio a bordo, o sin su utilización, se idearon las estaciones Radiogoniométricas (RG).

Estas estaciones, previa petición vía telegráfica, utilizan un gonio para obtener la dirección de procedencia de las ondas transmitidas por el buque. Técnicamente están mejor equipadas que los buques, están menos afectadas por interferencias, siendo las demoras obtenidas de mayor precisión que las tomadas con un gonio a bordo.

### **2.7.2.1. Servicio QTG**

Consiste en el servicio prestado por determinadas estaciones costeras, que funcionan, previa petición desde a bordo, temporalmente como Radiofaros. Efectúan transmisiones de una duración de 60 ó 90 segundos. Como el buque solicitante del servicio, debe transmitir las letras “QTG”, se le dio ese mismo nombre a este tipo de estaciones.

En los libros de radioseñales aparecen las características de la transmisión de estas estaciones, es decir, frecuencia, duración de la señal que permite el marcado, señal distintiva, situación geográfica, etc.

### **2.7.2.2. Estaciones Radiogoniométricas de VHF**

Actualmente existen, principalmente en Gran Bretaña, una serie de estaciones radiogoniométricas de emergencia repartidas por la costa, en estaciones del Coast Guard, que trabajan en VHF.

Los buques, solamente en caso de emergencia, transmitirán en el canal 16; también lo podrán hacer en el canal 67 al objeto de permitir que la estación determine sus demoras. A su vez, esta última transmitirá las demoras obtenidas en el canal 16, en caso de emergencia, o en el canal 67.

### **2.7.3. Radiofaros marítimos de VHF**

Se distinguen dos clases diferentes de radiofaros de VHF. Unos son los giratorios más antiguos, y otros, los omnidireccionales o circulares, de mayor difusión en la actualidad, especialmente en puertos deportivos para facilitar las recaladas.

#### **2.7.3.1. Radiofaros Giratorios de VHF**

Están instalados generalmente en Faros, o muy próximos a ellos, especialmente en aquellos que tienen luz con sectores de color. Como sabemos, estos faros desde hace muchos años han sido de gran ayuda a la navegación, sin embargo en condiciones de niebla o escasa visibilidad no son de utilidad. Por otro lado, cuando el marino está dentro de uno de los sectores, generalmente rojo o verde, no podrá saber con certeza si está cerca o lejos de la zona de cambio de luz, o lo que es lo mismo si está más o menos próximo al peligro.

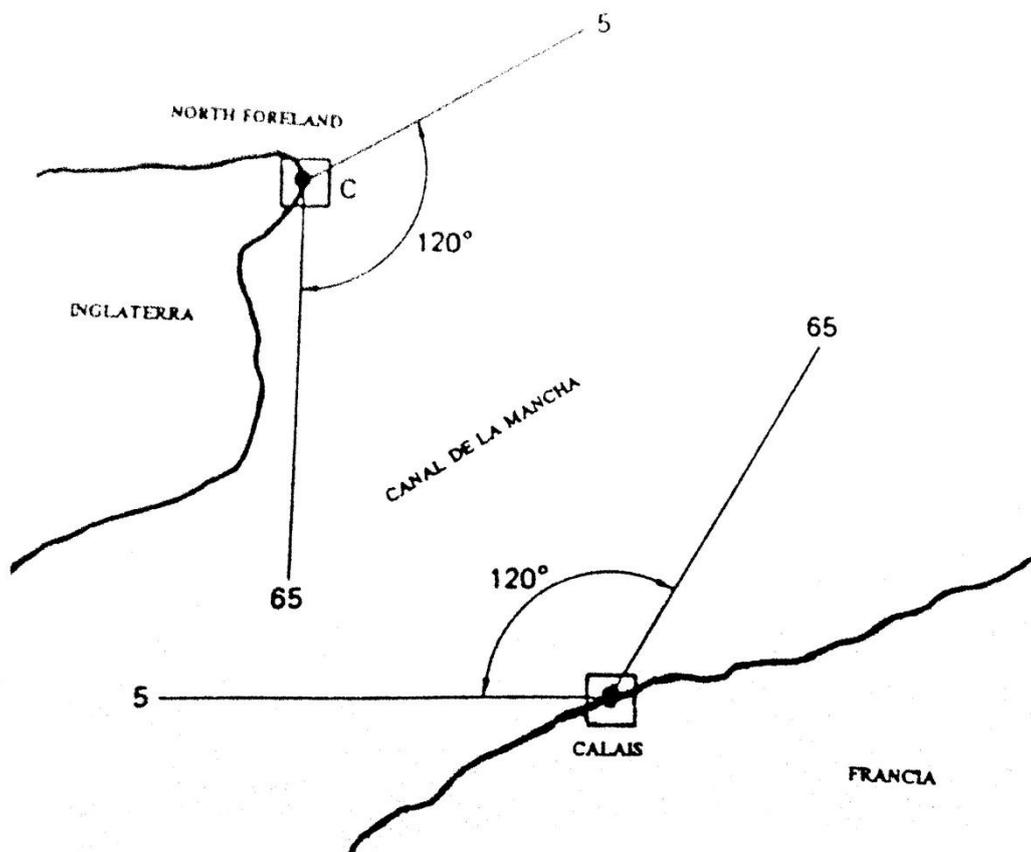


Ilustración 2.25. Radiofaros giratorios de VHF.

### 2.7.3.2. Radiofaros circulares de VHF

Suelen ser radiofaros situados en lugares destacados y conocidos de la costa o en buques faro, que transmiten en FM y en la banda de VHF. También desempeñan esta función las estaciones costeras que transmiten partes meteorológicas en estas frecuencias de manera continua o periódica.

## **2.8. RADIOGONIOMETROS CON ANTENA ADCOCK, VHF**

En los receptores con antenas de cuadro, solo los tramos verticales de la antena eran los que usábamos para la recepción dirección. Los otros, los tramos horizontales solo eran elementos de conexión que ocasionaban errores motivados por ondas polarizadas horizontalmente.

Con el fin de eliminar dichos errores se ideó la antena Adcock, la cual consiste en dos pares de antenas verticales, que en sus versiones más modernas van sujetas a un tubo o plato aislante central.

Este aislamiento de las ondas polarizadas no es perfecto, pero no cabe duda de que este tipo de antenas representan un gran avance en la eliminación de errores. La eficacia del sistema será menor cuanto mayor es el ángulo con que descienden las ondas celestes., en consecuencia, también será menor la fem generada en las antenas verticales y mayor la no deseada de los elementos horizontales de la antena. Por esto, podemos decir que los sistemas Adcock son ineficaces cuando el ángulo de descenso de las ondas es superior a los 60°.

Este sistema se ideó para la navegación aérea, con la finalidad de colaborar con los instrumentos de control del tráfico de los aeropuertos por medio de marcaciones radiogoniométricas. Su alcance es el de propagación óptica de los equipos normales de a bordo para comunicaciones en muy alta frecuencia (banda de radiotelefonía aérea de 118 a 132 MHz). Los equipos son normalmente automáticos sin indeterminación de sentido y con indicación visual por TRC. El equipo funciona como un receptor normal, permitiendo las comunicaciones con la aeronave, al mismo tiempo que se realiza la operación de marcado.

Como las señales de VHF normalmente no sobrepasan el alcance visual, solo se podrán recibir en un radio de unas 15 millas entre buques. Por lo tanto, será fundamental que la antena esté colocada en el lugar más alto posible de la embarcación. Sin embargo, como muchas estaciones costeras y de radiodifusión, que transmiten en VHF, tienen sus antenas a gran altura, estas podrán recibirse a grandes distancias, y si se conoce la situación de las mismas pueden servir de gran ayuda, principalmente en casos de recaladas.

Este tipo de receptores también son ideales para auxiliar en operaciones de búsqueda y rescate.

Si quisiéramos determinar la radiodemora desde tierra, se podrían cometer grandes errores debido a que las señales de VHF tienen la propiedad de reflejarse en edificios, carteles metálicos, paneles, postes metálicos. Esto provocaría, que en determinados casos, las señales de buques lejanos se recibirían con una procedencia aparente de tierra y no de la mar, debido a estar detectando la señal reflejada [34].

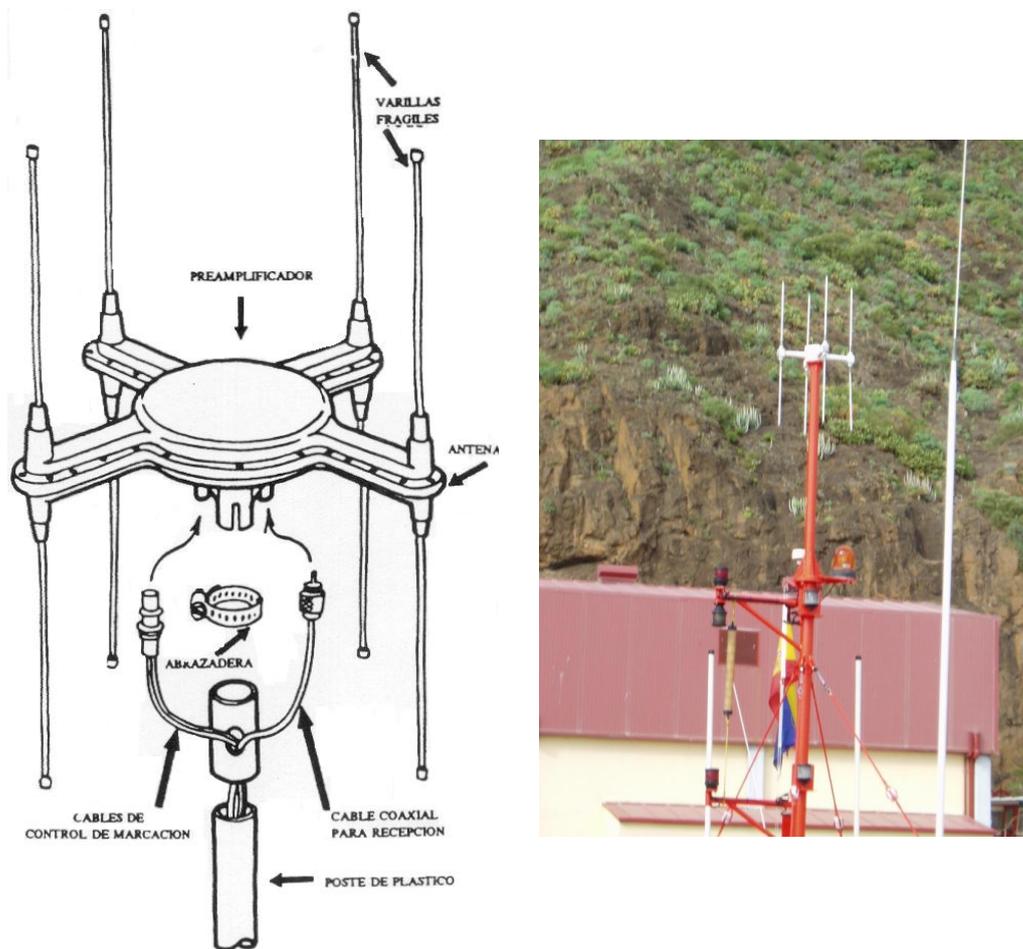


Ilustración 2.26. Antena Adcock.

Por otra parte, dependiendo de la intensidad con la que se reciban las señales de VHF, se podrá conocer de forma aproximada la distancia a la que se encuentra el

transmisor. Si la señal es débil y con ruidos, se encontrará a más de 10 millas, por el contrario si recibe fuerte y clara, el transmisor estará a menos de 5 millas.

Los radiogoniómetros automáticos de VHF, en esencia son radioteléfonos normales, dotados de 78 canales y 25 wattios de potencia máxima, que además están dotados del sistema de recepción direccional. Por lo tanto, se comportará como un receptor de VHF normal, hasta el momento en el que, por medio de un selector, se cambie a la posición de ADF (Automatic Direction Finding), momento en el que se desconecta la antena de transmisión/recepción de VHF, y se conecta la antena Adcock. Como la antena direccional tiene menor ganancia que la de fibra de vidrio del VHF, la intensidad de la señal disminuirá ligeramente.



Ilustración 2.27. Receptor de VHF.



Ilustración 2.28. Receptor de HF.

Otra alternativa que se emplea es la de acoplar el sistema de recepción direccional al radioteléfono convencional existente a bordo. Para ello se conecta la salida de la señal de audio, es decir, la salida del altavoz o el jack de auriculares, a un radiogoniómetro automático. Dependiendo de la calidad del receptor, se conseguirán unas demoras de calidad o no. Incluso se podrá conectar el gonio a un radioteléfono de mano (Walkie-Talkie) [34].

## 2.9. RADIOGONIOMETRÍA Y RADIOBALIZAS

La Radiogoniometría está presente a la hora de la localización y aproximación a las balizas. Los equipos de búsqueda y salvamento utilizan unidades receptoras Crewguard para esto. [36]



Ilustración 2.29. Crewguard Receiver.

Esta unidad de recepción da una alerta de peligro por hombre al agua, incorporando la tecnología de los microprocesadores. Su potencia es de 12-24V y además la unidad está preparada a prueba de polvo y de salpicaduras.

Recibe transmisiones en la frecuencia 121.5 MHz y tiene la capacidad de analizar y reconocer la típica señal procedente de MSLs, PLBs, ELTs, y EPIRBs para luego dar una alarma de advertencia muy fuerte; ya que tiene la posibilidad de ser conectada a la alarma exterior

También incorpora un segundo canal de recepción, un canal de test, en 121.65 MHz para ensayos, formación o pruebas.

Un indicador de la intensidad de la señal permite indicar la distancia desde el Crewguard hasta la PLB que lleva el hombre que ha caído al agua, o simplemente una EPIRB que posea una embarcación accidentada, para su posterior rescate.

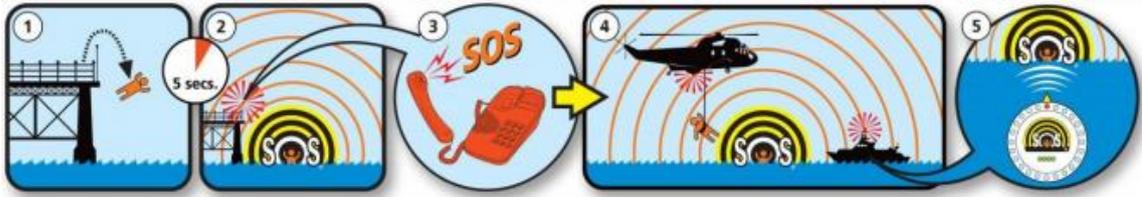


Ilustración 2.30. Acercamiento a la radiobaliza (homming).

Sus dimensiones suelen ser de 165x95x65 mm (sin antena y excluyendo conectores) y con un peso de 500 g. La temperatura a la que funciona correctamente oscila entre los  $-20^{\circ}\text{C}$  y los  $+60^{\circ}\text{C}$ . [37]

Por tanto no es más que un radiogoniómetro, un sistema electrónico capaz de determinar la dirección de procedencia de una señal de radio.

Como equipo de navegación ha quedado en desuso sin embargo hay que destacar el creciente auge que está experimentando el sistema en MF VHF, de menor cobertura pero mayor precisión. Prueba de ello es la instalación en las costas europeas y americanas de multitud de radiofaros de VHF y en los puertos deportivos, en los que se han ido instalando radiofaros de VHF para facilitar las recaladas.

Por otro lado, en las estaciones de Guardacosta y VTC internacionales y, en España en los Centros de Control Regional y Salvamento (CRCS), actualmente en funcionamiento, se han instalado Equipos de Radiogoniometría de VHF, que permiten reforzar la localización de la situación del buque obtenida mediante radar.

Finalmente, y destacando lo dicho anteriormente al hablar de los receptores de VHF, relativo a lo económico, compacto y manejable de los mismos, se prevé un interesante futuro para este sistema.

## CONCLUSIÓN

Como hemos visto, las radiobalizas al ser activadas facilitan datos de localización. Los gonios permiten a los equipos de salvamento realizar el rescate más rápido posible de las víctimas, pues a pesar de puedan llegar a tener GPS incluidas, se puede dar algún error y a la hora de socorrer es posible llegar a tener complicaciones en su localización.

Las radiobalizas, al emitir señales en la frecuencia de 121.5 MHz en onda terrestre permiten a los radiogoniómetros determinar la dirección de procedencia de la señal. Es por ello que el gonio de VHF, siempre con un alcance limitado, permitirá a estos buques la aproximación a la baliza para poder realizar con éxito la misión.

Este trabajo me ha servido para conocer en profundidad las ventajas y limitaciones de las radiobalizas así como la complejidad que tiene la radiogoniometría; llegando a la conclusión de que a pesar de las modernas y sofisticadas radiobalizas, es totalmente necesaria la presencia del radiogoniómetro de VHF para poder garantizar un rescate eficaz y seguro en caso de accidente.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.practicasderadiocomunicaciones.com/modules/apuntes/tema20.aspx>, abril 2014.
- [2] <http://es.wikipedia.org/wiki/Cospas-Sarsat>, abril 2014.
- [3] [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-9450](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-9450), abril 2014.
- [4] <http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo13/cosystem.htm>, mayo 2014.
- [5] <http://www.ausmar.com/es/radiobalizas.html>, mayo 2014.
- [6] <http://www.cyclopaedia.es/wiki/Radiobaliza-de-emergencia>, mayo 2014.
- [7] <http://spanish-facts.es/radiobaliza+de+emergencia>, mayo 2014.
- [8] <http://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/resource/view.php?id=805>, junio 2014.
- [9] <http://www.surcando.com/enciclopedia-nautica/radiobalizas-rls-de-406-mhz/>, junio 2014.
- [10] <http://www.aeroplans-blaus.com/es/192-balizas-elt>, mayo 2014.
- [11] <http://tla2-2009-canas.blogspot.com.es/2009/03/transmisor-localizador-de-emergencia.html>, mayo 2014.
- [12] [http://www.fondear.org/infonautic/equipo\\_y\\_usos/Electronica\\_Instrumentacion/Radiobalizas\\_Personales/Radiobalizas-Personales.asp](http://www.fondear.org/infonautic/equipo_y_usos/Electronica_Instrumentacion/Radiobalizas_Personales/Radiobalizas-Personales.asp), mayo 2014
- [13] BERMEJO, A. (2013). “*Apuntes de Navegación Radioelectrónica. Personal Locator Beacon*”.
- [14] [http://es.wikipedia.org/wiki/Radiobaliza\\_de\\_emergencia](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiobaliza_de_emergencia), junio 2014
- [15] JAIME PÉREZ, RICARD; RODRÍGUEZ-MARTOS DAUER, RICARD. Manual del Observador de Radar. Edicions Upc, 1995.

- [16] <http://www.axomaga.com/uploads/14%20Radiocomunicaciones%20y%20seguridad%20maritima.pdf>
- [17] <http://www.surcando.com/enciclopedia-nautica/radiobalizas-rls-de-406-mhz/>, Julio 2014.
- [18] BERMEJO, A. (2012). “Apuntes de Radiobalizas personales. Otra aplicación de la radiogoniometría”.
- [19] <http://www.indracompany.com/prensa/actual-indra/edition/2011/4/la-tecnologia-mas-puntera-en-seguridad-llega-a-la-antartida-8659>, septiembre 2014.
- [20] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/539/1/CD-1043.pdf>, septiembre 2014.
- [21] BERMEJO, A. (2013) “Apuntes Radiogoniómetros con antena Adcock”.
- [22] SCHWARZ, ROHDE &., *Radiomonitoring and Radiolocation, introduction into Theory of Direction Finding*. Germany: Rohde & Schwarz, 2000-2001.
- [23] VOLAKIS, JOHN LEONIDAS, *Antenna Engineering Handbook*. EUA : McGraw-Hill, 2007.
- [24] HOOPER, S.C. “Navy History - Radio, Radar and Sonar”, Recordings, Office of Naval History. Washington, D.C.: Hooper, 2008.
- [25] HOWETH, L. S., *History of Communications Electronics in the United States Navy*. Washington, D.C.: United States, Government Printing Office, 1963.
- [26] Dunmore, F. H. Engel and F.W., *A directive type of radio beacon and its application to navigation*. EUA: Scientific papers bureau of standars, 2008. Vol. 19.
- [27] [www.jaircraft.com/research/gregspringer/radios/radio\\_systems.htm](http://www.jaircraft.com/research/gregspringer/radios/radio_systems.htm), septiembre 2014.
- [28] <http://www.dittonpark-archive.rl.ac.uk/histTime.html>, septiembre 2014.

- [29] KOTELNIKOV, V. A., *Determination of the elements of the orbit of a satellite using the dopper effect*. RUSIA: Radiotechnika and Electronika, July 1958.
- [30] PERRY, P. DALY AND G. E., *Recent development with the soviet union`s VHF satellite navigation system, Space communications and broadcasting*. EUA: s.n., 1986.
- [31] [www.cospas-sarsat.org](http://www.cospas-sarsat.org), septiembre 2014.
- [32] SCHMIDT, R. O., *Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation*. EUA: *IEEE Trans. On Antenna and Propagation*, 1986. Vols. AP-34.
- [33] CHANDRAL, S., *Advances in Directon of Arrival Estimation*. EUA : Artech House, 2003.
- [34] BERMEJO, A. (2013). “Apuntes de Navegación Electrónica”.
- [35] BERMEJO, A.; MELÓN, E.; POLEO, A, *Radionavegación: Radiogoniometría Náutica*. Santa Cruz de Tenerife, 1.994, XB 248. TF-2.096/94.
- [36] [http://www.oocities.org/uwr\\_uk/crewguard.html](http://www.oocities.org/uwr_uk/crewguard.html), septiembre 2014.
- [37] [http://www.aeromarine-sl.com/contingut/m\\_pujadocuments/documents/File/MANUAL\\_CG121\\_MkII\\_ESP\\_ANOL.pdf](http://www.aeromarine-sl.com/contingut/m_pujadocuments/documents/File/MANUAL_CG121_MkII_ESP_ANOL.pdf), septiembre 2014.



