

DANIEL GARCÍA GOMEZ DE BARREDA



30
EB
TEXTOS BÁSICOS
UNIVERSITARIOS

Sistemas circulares de radionavegación

SERVICIO DE
PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD
DE **CÁDIZ**

Sistemas Circulares de Radionavegación

Sistemas Circulares de Radionavegación

Daniel García Gómez de Barreda



Universidad
de Cádiz

Servicio de Publicaciones
2004

García Gómez de Barreda, Daniel

Sistemas circulares de radionavegación / Daniel García Gómez de Barreda. -- Cádiz: Universidad, Servicio de Publicaciones, 2004. -- 184 pp.

ISBN 84-96274-20-9

1. Radiogoniómetros. 2. Navegación aérea. 3. Antenas (Electrónica). I.Universidad de Cádiz. Servicio de Publicaciones, ed. II. Título

621.396.6

© Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz
Daniel García Gómez de Barreda

Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz
c/ Doctor Marañón, 3. 11002 Cádiz
www.uca.es/serv/publicaciones

I.S.B.N.: 84-96274-20-9
Depósito legal: CA-072/04

Diseño: Cadigrafía
Maquetación y Fotomecánica: Produce
Imprime: Imprenta Vistalegre

Índice

TEMA 1. RADIOGONIOMETRÍA

1.1. Introducción	11
1.2. Evolución histórica	13
1.3. Fundamentos del sistema	18
1.3.1. Características de las ondas electromagnéticas	18
1.3.2. Frecuencias de radiogoniometría	20
1.3.3. Notas del Artículo S5 del Reglamento de Radiocomunicaciones	22
1.3.4. Modulación	25
1.3.5. Modos de emisión empleados en radiogoniometría	26
1.3.6. Funcionamiento del sistema	27
1.4. Antenas radiogoniométricas	28
1.4.1. Fundamentos y componentes	28
1.4.2. Antenas de cuadro	30
1.4.3. Principios de funcionamiento	31
1.4.4. Ambigüedad de la demora	37
1.5. Determinación del sentido de procedencia de la señal	39
1.5.1. Radiogoniómetros con antena vertical	39
1.5.2. Radiogoniómetros sin antena vertical.	42
1.6. Antenas de cuadro giratorio	42
1.6.1. Instalación de la antena de cuadro	45
1.7. Antena cruzada	45
1.8. La Antena ADCOCK	45
1.9. Antena de cuadro de ferrita	46
1.10. Antena de barra de ferrita	47
1.11. Receptores Radiogoniométricos	48
1.11.1. Partes principales	48
1.11.2. Clases o tipos	48
1.11.3. Determinación de la radio demora	48
1.11.4. El diagrama polar de recepción.	49

1.11.5. El receptor de antena giratoria	50
1.11.6. Radiogoniómetros de cuadro fijo	51
1.11.7. Sistema BELLINI- TOSI	51
1.11.8. Análisis del sistema	52
1.11.9. El receptor de antenas cruzadas tipo BELLINI-TOSI	53
1.12. radiogoniómetros automáticos	56
1.12.1. Radiogoniómetro de giro mecánico	57
1.12.2. Radiogoniómetros de giro electrónico	58
1.12.3. Radiogoniómetros servo - activados	59
1.12.4. Radiogoniómetros automáticos con microprocesador	60
1.13. Receptores direccionales	64
1.13.1. Introducción	64
1.13.2. Principios de funcionamiento	64
1.13.3. Diagrama de bloques del sistema	65
1.14. Obtención de radiomarcaciones	67
1.14.1. Procedimiento a bordo	67
1.14.2. Estación radiogoniométrica	68
1.15. Calibración y compensación de errores	68
1.15.1. Calibración de un radiogoniómetro	69
1.15.2. Compensación del RDF	70
1.16. Servicio de radiofaros	75
1.16.1. Radiofaros	75

TEMA 2. SISTEMA VOR

2.1. Introducción	79
2.2. Sistema de aerovías	81
2.3. Principio de operación del VOR	82
2.3.1. Selección de la información del VOR	83
2.3.2. Indicador de Desviación de Curso (CDI - Course Deviation Indicator)	83
2.3.3. Funcionamiento del sistema	84
2.3.4. Orientación del VOR	85

2.3.5. Principios de funcionamiento	85
2.4. Transmisión y alcance	88
2.4.1. Equipos de abordó	91
2.4.2. Instrumental	92
2.4.3. Indicación de radiales	96
2.5. Determinación de la posición	101
2.5.1. Interceptación y mantenimiento del vuelo en la radial	106
2.5.2. Derrota y deriva	108

TEMA 3. RADAR

3.1. Introducción	121
3.2. Historia	121
3.2.1. Antecedentes	122
3.2.2. Desarrollo	123
3.3. Tipos de radares	124
3.4. Microondas	125
3.5. Tecnología del radar de navegación marítima	127
3.5.1. Introducción	127
3.5.2. Diagrama de bloques básico de un radar marino	128
3.5.3. Análisis del diagrama	128
3.5.4. Elementos del radar	131
3.5.5. Factores que intervienen en el funcionamiento del radar	134
3.5.6. El transmisor	134
3.5.7. El receptor	136
3.5.8. Unidad exploradora	139
3.5.9. El duplexor	142
3.5.10. Formas de presentación	143
3.6. Sistemas de transmisión de los impulsos	144
3.6.1. Introducción	144
3.6.2. Impulsos	144
3.6.3. Frecuencia de repetición	144
3.6.4. Forma	145

3.6.5. Ciclo de trabajo	145
3.6.6. Generador de impulsos	146
3.6.7. Descripción de algunos tipos de generadores de impulsos	147
3.6.8. Modulador del transmisor	149
3.7. Medidas de demora y distancia	151
3.7.1. Introducción	151
3.7.2. Medida de la distancia	152
3.7.3. Discriminación en distancia	153
3.7.4. Precisión en distancia	155
3.7.5. Medida de la demora	156
3.7.6. Discriminación en demora	156
3.7.7. Precisión en demora	158
3.7.8. Normas prácticas para obtener las medidas	158
3.8. Dispositivos para la formación de blancos en la pantalla	159
3.8.1. Introducción	159
3.8.2. TRC del radar	160
3.8.3. Sincronizador	163
3.8.4. Base de tiempos	165
3.8.5. Sincromotores	169
3.9. Sistemas de rotación de la traza	172
3.10. Amplificador de video	173
3.11. Alcance del radar	173
3.11.1. Introducción	173
3.11.2. Factores que intervienen en el alcance	174
3.11.3. Ecuación del radar	174
3.11.4. Alcance máximo	175
3.11.5. Alcance mínimo	176
3.12. Sectores ciegos y ecos falsos	178
3.12.1. Introducción	178
3.12.2. Sectores ciegos	178
3.12.3. Ecos falsos	179

Tema I

Radiogoniometría

1.1 Introducción

Si entendemos como Radionavegación, al conjunto de sistemas que se emplea para calcular la posición del buque valiéndose de señales de radio, la Radiogoniometría constituye la primera técnica utilizada a tal fin.

Todo sistema de radionavegación requiere una serie de transmisores de ondas de radio ubicados en lugares conocidos y un receptor capaz de interpretar las señales captadas, también y en función de la dirección en 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, propagación según la trayectoria del círculo máximo, o distancia más corta entre dos puntos, y generación de fuerza electromotriz en una antena de cuadro. Esto permite obtener la situación de un buque con solo recibir la señal de dos o más estaciones diferentes, con la ayuda de unos aparatos denominados Radiogoniómetros, RDFs o más familiarmente, «gonios». Dicho de forma más simple, con un receptor sencillo se captan las señales de estaciones o radiofaros, repartidos por casi todas las costas del mundo. En función de la orientación de la antena del receptor en el momento de escuchar la señal mínima o máxima, se determina la dirección de procedencia de la señal, o lo que es lo mismo, una demora o una línea de posición. Repitiendo el mismo proceso con la señal de un segundo transmisor, podremos obtener la situación del receptor. Es decir, hemos obtenido demoras de unas estaciones por medio de señales de radio, de manera similar a las demoras obtenidas con la aguja náutica.

La radiogoniometría está considerada como un sistema semiautónomo de navegación, ya que, está basada 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.

Etimológicamente la palabra Radiogoniometría proviene del Latín radius = rayo, y de las palabras griegas, gonia =ángulo y metrón = 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. Simplemente, con una antena de cuadro, una unidad amplificadora y un altavoz, se podrá apreciar la dirección de procedencia de las ondas.

Durante muchos años fue el principal sistema de radionavegación. El horizonte del barco estaba limitado al alcance visual y el radiogoniométrico, hasta la aparición del RADAR en los barcos mercantes después del término de la segunda guerra mundial. Sin embargo, hoy en día ha sido eclipsado por sistemas electrónicos mucho más evolucionados. Por todo ello, es sin duda, el más antiguo, sencillo y extendido de los sistemas de navegación radioeléctrica.

Los métodos empleados para solucionar el problema de la demora y el de la situación con ayuda de la radio, se suelen dividir en dos grupos:

a) Determinación de la demora a bordo, mediante la sintonización y marcado de un radiofaro u otra estación con un receptor gonio. Siendo éste el método más utilizado, se obtienen principalmente, demoras de radiofaros dirigidos (RD), radiofaros giratorios dirigidos (RW) y radiofaros circulares omnidireccionales (RC). También pueden aprovecharse las transmisiones de otros buques o de emisoras de radiodifusión comercial.

b) Determinación de la demora del buque desde tierra, mediante la ayuda de estaciones dedicadas a este propósito, conocidas como Estaciones Radiogoniométricas (RG). Este sistema es cada vez menos frecuente debido a que son escasas las estaciones que hoy prestan este servicio.

En cuanto a los sistemas de transmisión, existen, en la radiogoniometría actual, dos tipos, el Omnidireccional o Circular y el Dirigido o Direccional.

a) La transmisión Omnidireccional se basa en la esencia de la radiogoniometría. El transmisor envía señales de la misma potencia, en todas las direcciones del horizonte, permitiendo al receptor la medición de la dirección de procedencia de la señal radioeléctrica.

b) La transmisión Direccional requiere que el receptor tenga información previa relativa a las estaciones que emiten según direcciones establecidas e identificables. Estas estaciones de características especiales, son conocidas como Radiofaros Dirigidos (RD) y Radiofaros Dirigidos Giratorios (RW), que transmiten un haz de radio ondas haciéndolo girar en acimut, de igual forma que lo hace el haz luminoso de un faro convencional. Las señales recibidas de

estos radiofaros son aprovechadas por buques y aeronaves para situarse o recalar (homming).

En cuanto al tipo de navegación para el cual ha sido destinada la instalación de los radiofaros, podemos decir que en la navegación marítima se utilizan tanto los radiofaros especialmente instalados para el servicio de los buques, como los destinados a la navegación aérea que se encuentren próximos a la costa y permitan utilizarlos con exactitud. También, existen otro tipo de radiofaros diseñados para el uso en los dos tipos de navegación, que se denominan aeromarítimos.

En cuanto a las frecuencias utilizadas, los radiofaros marítimos suelen trabajar entre los 250 y 315 kHz. (final de las ondas largas y principio de las medias). Los aéreos lo hacen entre los 315 y los 500 kHz. En definitiva, con ayuda de la radiogoniometría, no solo se pueden obtener demoras de una o varias estaciones para situarse, sino que es de gran utilidad ante la incertidumbre de las recaladas con niebla poniendo proa a la dirección de procedencia de la señal. Además, sirve para localizar los buques y permite dirigirse a ellos para auxiliarlos en situaciones de peligro. En los buques de pesca facilita la llegada a caladeros desde donde otro buque puede informar sobre la localización de las buenas capturas. En navegaciones polares, sirve para localizar buques y diferenciarlos de los iceberg, en circunstancias de visibilidad reducida, cosa que el RADAR no puede hacer. Este procedimiento lo solían hacer las flotas pesqueras soviéticas. Para desvelar en la pantalla de RADAR cuál de los ecos se correspondía con un buque y cuál con un iceberg, todos los buques de la flotilla comenzaba a transmitir, obteniendo radiodemoras reciprocas. Aquellos ecos RADAR que no se encontrasen sobre las líneas de posición obtenidas con el RDF, tenían gran probabilidad de tratarse de hielos peligrosos para la navegación.

Incluso en situaciones de emergencia, navegando en botes o balsas salvavidas con escasa o nula visibilidad, que no permita la observación de los medios naturales de situación (mar y cielo), un sencillo receptor de radio de AM, puede hacer las funciones de radiogoniómetro, para servir de orientación. Como se verá más adelante, basta con hacer girar el receptor hasta recibir un mínimo de señal de una emisora de radiodifusión para, poder determinar la dirección de procedencia de la señal.

1.2 Evolución histórica

La invención del radiogoniómetro se atribuye a Italia, concretamente al ingeniero Ettore Bellini y al capitán Alessandro Tosi, que en el año 1907, crearon la antena fija de cuadros cruzados siguiendo los estudios iniciados por su maestro, el profesor Artom en 1903. Naturalmente, el invento no pudo ser posible sin la lógica aportación de otros científicos, que realizaron experimen-

tos y descubrieron propiedades en las que se basa el sistema, y de los cuales, a continuación destacaremos los más relevantes.

El físico alemán Henrich Hertz (1857-1894), en 1887 descubrió las ondas electromagnéticas y las propiedades direccionales de las antenas de cuadro. El experimento lo realizó con unos espejos cilíndricos de desarrollo parabólico, buscando una analogía con la reflexión de la luz. Consistía en un conductor curvado en anillo, con extremos abiertos, próximos y con unas pequeñas esferas en las puntas, de tal forma que facilitara la descarga. Una chispa saltaba entre las dos bolas cuando el cuadro se colocaba en una posición determinada con respecto al emisor, al girar el cuadro la chispa iba disminuyendo hasta desaparecer. Por lo tanto, la idea de la radiogoniometría apareció en el mismo momento que la radioelectricidad. Su evolución fue vertiginosa pocos años después de establecerse la primera comunicación sin hilo entre un buque y la costa en 1895.

El primer Organismo que adoptó este sistema de comunicación, fue la Royal Navy Británica. En 1901 ya había instalado 150 receptores en sus buques. Uno de los primeros usos navales fue el comparar los valores de la longitud de diferentes situaciones. Otra aplicación consistió en la transmisión de señales horarias, servicio que comenzó en 1905 en Estados Unidos de América, y dos años más tarde en Alemania. Por otra parte, se cree que Marconi sugirió, con anterioridad al comienzo del siglo, la posibilidad de crear una línea de posición comparando la intensidad de las señales transmitidas desde dos emisores separados y con igual potencia de transmisión. La antena direccional es una consecuencia de la teoría de Marconi, aunque fue J. Stone quién ideó, en 1902, el girar dos antenas separadas media longitud de onda sobre un eje vertical equidistante entre ambas para poder determinar la dirección de procedencia de las señales de radio. No obtuvo éxito debido a las grandes longitudes de onda empleadas en esa época, pero esta idea constituyó la primera aproximación a la antena de cuadro.

El ingeniero francés A. Blondel, jefe del servicio central de faros y balizas, estudiando las características de emisión de los radiofaros, con el fin de resolver la dirección de procedencia de la señal, en sus primeros ensayos utilizó radiogoniómetros de antenas dirigidas, dispuestas radialmente en torno a una toma de tierra central. Estos aparatos disponían de un conmutador giratorio que, sucesivamente conectaba cada una de las antenas con el receptor; la dirección de la estación emisora era la de la antena que proporcionaba una señal más intensa. Este experimento data de 1901, y se puede afirmar, que se trata del primer receptor radiogoniométrico de la historia. Posteriormente, en 1902 según unos autores y 1903, según otros, inventó las antenas de cuadro con inductancia y capacidad de sintonía.

Según los Ingleses, con anterioridad al descubrimiento de los italianos Artom, Bellini y Tosí, el capitán Round, antes de 1905, demostró en Inglaterra

la solución a la ambigüedad del sentido de procedencia de la señal, combinando las salidas de la antena de cuadro y de la antena vertical.

En 1905, a bordo de la nave británica "Furious", Marconi experimentó las propiedades direccionales de las antenas. Para ello, utilizó antenas en forma de "L" invertida, basándose en la antena inclinada de Braun. A Marconi se le atribuye la creación de las emisoras comerciales de radio, principalmente por el descubrimiento de la antena de "L", considerada clave en las comunicaciones por radio. En esta antena, si la rama horizontal es más larga que la vertical, las propiedades transmisoras o receptoras serán mayores en la dirección de la rama horizontal pero en sentido opuesto al que apunta su extremo. Esta antena fue patentada por Marconi en 1905 y al año siguiente, un sistema basado en cierta disposición conjunta de antenas de "L" con el que conseguía una emisión direccional y lejana.

Siguiendo con los descubrimientos de Marconi, entre 1906 y 1907 y basándose en el sistema RT de Artom, los italianos, Bellini y Tosí, idearon el radiogoniómetro, utilizando cuatro antenas abiertas e inclinadas, cuyos extremos superiores quedaban sujetos a un mástil central.

El sistema se fue perfeccionando con aportaciones de diferentes científicos. Así, en 1907, Scheller patentó el ajustador de ruta, utilizando el sistema de señales A (Babor) / N (Estribor), que aún se utiliza en radiofaros direccionales y en sistemas de aproximación de aeronaves. Entre 1909 y 1910, A. Blondel creó el dispositivo para resolver el sentido de procedencia de las señales, resolviendo la indecisión de 180°.

Posteriormente, en 1912, Prince sustituyó las antenas abiertas de Bellini y Tosí, por dos cuadros cerrados. Este descubrimiento fue aprovechado para usos de tipo militar en operaciones terrestres y marítimas durante la Primera Guerra Mundial. Durante la contienda se instalaron numerosas estaciones radiogoniométricas en el Mar del Norte y el Canal de la Mancha, con el fin de controlar los movimientos de las flotas enemigas. No obstante, el sistema aún estaba por perfeccionar, desconociéndose en aquellos años los factores que afectaban a la precisión y alcance del mismo. Se podría decir que la primera misión realizada en el mundo con la ayuda de un sistema de radionavegación, fue el ataque alemán a Gran Bretaña en abril de 1915. La cadena terrestre estaba compuesta por una pareja de estaciones radiogoniométricas del tipo de Bellini-Tosí, situadas en Nordholz (base aérea cerca de Cuxhaven) y en Borkum, formando una línea base a menudo corta, por lo que se aumentó con estaciones en Sylt y Brujas.

El uso del radiogoniómetro no evitó graves pérdidas debidas a los problemas en la navegación, que fueron los que hicieron abandonar la campaña del "Zepelin" en 1917. El sistema experimentaba grandes errores, que hoy se sabe que eran debidos a los efectos de la onda celeste, a interferencias en la comu-

nicación aire-tierra para solicitar y recibir mensajes de determinación de la situación, y a la saturación en el servicio debido a estar transmitiendo simultáneamente dos o más estaciones.

Durante el invierno de 1917 a 1918, fueron instalados radiofaros por la empresa "Telefunken Compass" destinados al uso de los pesados bombarderos y los buques de guerra en el Mar del Norte; las propiedades de estos equipos pudieron ser la causa de la prolongación de la guerra. El radiofaro generaba secuencialmente una serie de líneas de posición que se transmitían radialmente desde la estación, pudiendo ser detectadas por el buque o aeronave con un simple receptor de baja frecuencia. Teóricamente las líneas de posición podían utilizarse por todos los usuarios y trazarse en la carta de navegación, no existiendo posibilidad de saturación, debido a no transmitir señal alguna el receptor. El transmisor Telefunken Compass fue el primer Radiofaro Giratorio, en él una señal nula giraba en acimut por la estación transmisora a una velocidad constante conocida, pudiendo el receptor determinar la demora a la estación, en función del tiempo que tardase en recibir dicha señal nula, tomando como origen o referencia de tiempos, generalmente la indicación del Norte verdadero.

Mientras, al otro lado del Atlántico, el primer uso práctico, que se conoce en navegación electrónica en los EE.UU. fue realizado con un primitivo radiogoniómetro instalado en tierra. Se tomó la demora de un buque y posteriormente de un avión, transmitiendo una señal continua CW. Una vez obtenidas las demoras, éstas fueron transmitidas al buque y al avión por telegrafía. Posteriormente fueron interconectadas por hilo telefónico varias estaciones, para así poder obtener situaciones por corte de dos o más demoras.

En 1916, con el desarrollo de los amplificadores, se hizo posible el empleo de pequeños cuadros móviles, aumentando a la vez el radio de acción de la radiogoniometría. Posteriormente, en 1921 se comienzan a instalar los primeros radiofaros fijos en tierra. Concretamente en Francia, es instalado el primero en 1924 por la Compañía Radio Marítima.

Como puede verse, la Radiogoniometría fue algo más que una curiosidad científica, hasta la segunda década del siglo, en la que la gradual introducción de las posibilidades de comunicarse por radio, convirtieron a cada barco, por pequeño que fuera, en una estación transmisora móvil. Por entonces, en Europa, se comenzaron a explotar comercialmente los receptores radiogoniométricos o "gonios", la mayoría de ellos utilizaban el sistema de antenas cruzadas de grandes dimensiones, normalmente de diámetros similares a la manga del buque. Con la aparición de la amplificación de señales conseguida con la invención americana de la válvula electrónica, se pudo disminuir el tamaño de las antenas y los receptores.

En 1925, el capitán del vapor Stuttgart, calificó el sistema, de muy útil, cuando lo utilizó para recalcar en Nueva York en medio de una densa niebla.

Siguiendo con el intento de perfeccionar el sistema con destino a la aviación, en 1926, Michelssen introdujo la antena auxiliar de compensación, Dieckmann la conmutación mecánica del cardiode (efecto diferencial), Hell en 1929, la conmutación electrónica, etc.

Con la aparición de la antena vertical "Adcock", constituida por un par de antenas verticales en contrafase, se reducen los problemas de polarización y se hace posible la utilización del radiogoniómetro a gran distancia, cuando la onda es recibida después de sucesivas reflexiones en la ionosfera. Esta antena fue desarrollada entre los años 1917 y 1919, pero no se generalizó su uso hasta la década de los 30.

En los EE.UU. en la década de los 30, la radiogoniometría experimenta un gran impulso con mejoras en la técnica y los equipos, generalizándose su utilización como ayuda a la navegación, tanto aérea como marítima, instalándose una extensa red de radiofaros a lo largo de la costa.

Posteriormente, se comienzan a instalar radiocompases en las aeronaves y a trabajar con ondas cortas. Una prueba de la creciente fiabilidad del sistema, la da el accidente ocurrido en 1934, cuando el buque-faro de Nantucket fue abordado y hundido por un barco que navegaba proa a él con ayuda del gonio. La visibilidad era reducida y desconocía la distancia a la que se encontraba del buque-faro. Sin embargo, la marcación por la proa era totalmente exacta.

Progresivamente se fue elevando la frecuencia de transmisión consiguiéndose cada vez mayor precisión para localizar buques y aeronaves, así en 1939 comienzan a utilizarse radiofaros de VHF, siendo de gran utilidad durante la Segunda Guerra Mundial.

Actualmente se sabe que en la guerra europea todos los beligerantes obtuvieron resultados muy aceptables de los radiogoniómetros, los aliados para dirigir los grandes transportes de tropas norteamericanas en sus recaladas y los alemanes para saber la situación de sus sumergibles. Unos y otros los aplicaron con éxito para determinar la situación de aeronaves de bombardeo, dándoles el rumbo y distancia de su objetivo.

Hasta la aparición del radar, la radiogoniometría constituyó el único medio de extender el horizonte visual del navegante en toda clase de tiempo y circunstancias meteorológicas. Las ayudas a la navegación se limitaban al cronómetro, el compás y el sextante. En 1946, después de haberse utilizado profusamente durante la guerra, la radiogoniometría fue declarada, en la Conferencia Internacional sobre Aparatos Radioeléctricos celebrada en Londres, oficialmente muy eficaz para las recaladas.

Ya más tarde, aparece el radiogoniómetro visual Plath, el cual indica la demora de la estación transmisora mediante un tubo de rayos catódicos. En 1960, apareció la primera antena de gonio realmente estanca al agua y los transistores diseñada por Richard Gatehouse's Homer/Heron, especialmente para yates.

Finalmente, en la historia más reciente, algunos autores afirman, que diversos desastres marítimos pudieron haberse evitado, si se hubiese utilizado el radiogoniómetro. Concretamente se dice, que la M/N "Torrey Canyon" pudo haberse salvado, pues con ayuda del RDF, los tripulantes hubiesen notado la deriva experimentada hacia el Este antes del accidente.

1.3 Fundamentos del sistema

1.3.1 Características de las ondas electromagnéticas

Antes de iniciar el estudio de los principios de funcionamiento del sistema radiogoniométrico, es conveniente realizar un análisis de las características de las ondas electromagnéticas, que ayude a comprender más fácilmente las características de recepción direccional en las que se basa el mismo. Dentro de este apartado se verá, dentro del espectro de frecuencias, cuáles son las utilizadas en radiogoniometría, al igual que los modos de emisión utilizados por el sistema.

Las ondas electromagnéticas gozan de las mismas propiedades que las luminosas, de las que únicamente difieren en su longitud de onda. La velocidad de propagación de la radiofrecuencia en el espacio, es aproximadamente de 164.000 millas náuticas por segundo, o sea, muy próxima a la velocidad de la luz (300.000 Km./s.). Generalmente se suelen clasificar, o bien por su frecuencia, o bien por su longitud de onda, relacionándose ambas magnitudes por la siguiente expresión:

$$\text{Frecuencia (} f \text{ en Hz)} \times \text{Longitud de onda (} \lambda \text{ en metros)} = 300.000.000 \text{ m/s}$$

Una onda de radio se propaga alrededor de la antena, de la misma forma que lo hacen las olas producidas al lanzar una piedra en un estanque en calma, y que consiste en una serie de senos y crestas que se propagan en forma circular. Esta analogía no es del todo exacta, pero sirve para hacerse una idea previa. Brevemente se puede decir, que una onda electromagnética se produce expandiendo y comprimiendo un campo magnético muy rápidamente, hecho que se consigue abriendo y cerrando, alternativamente el suministro de energía a un circuito especialmente diseñado para la generación de tales ondas. En términos electrónicos, dicho circuito se denomina oscilador. La onda generada en el oscilador es amplificada antes de transmitirla a través de una antena.

Esta onda electromagnética, debido a los métodos utilizados para su propagación, presenta forma sinusoidal.

En la figura 1.1 se puede ver las cuatro características fundamentales que definen una onda de radio, que son: la amplitud, la longitud de onda, el ciclo y la frecuencia.

La amplitud, es la distancia desde el nivel medio hasta la cresta o el seno de la onda, y es la medida del nivel de energía de la onda.

La longitud de onda, es el espacio, generalmente medido en metros, ocupado por su ciclo completo; puede medirse entre dos crestas, dos senos o desde cualquier punto hasta el siguiente correspondiente.

El ciclo, lo realiza la onda moviéndose inicialmente en una dirección, seguidamente en la opuesta y, finalmente, volviendo a la primera dirección para comenzar un nuevo ciclo.

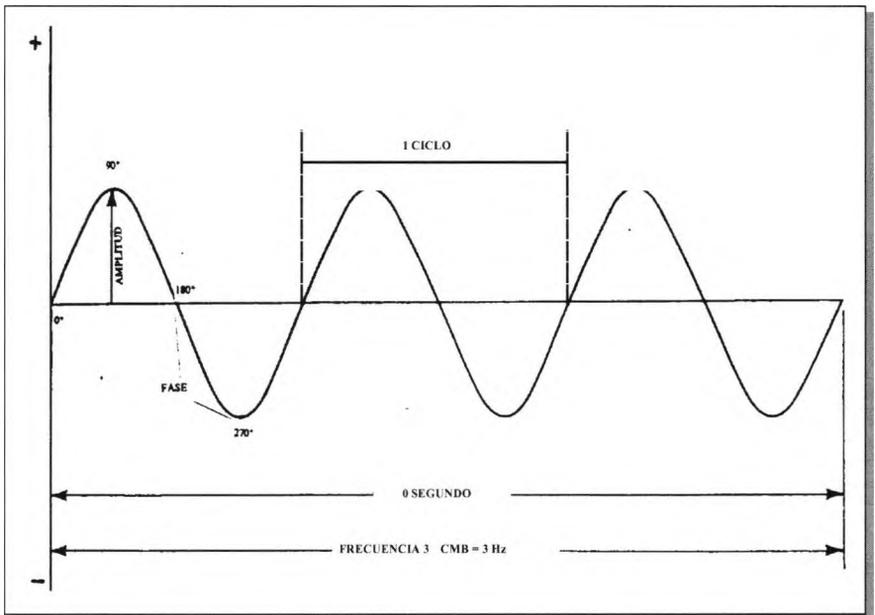


Figura 1. 1.- Características de las ondas de radio

La frecuencia de una onda de radio, es el número total de ciclos que completa en una unidad de tiempo. La unidad de medida de frecuencia es el Hertz (Hercio), en honor al pionero de la radiación electromagnética, Henrich Hertz, que equivale a 1 ciclo por segundo. Existen otras características de la onda electromagnética: El período, que es el tiempo necesario para completar un ciclo completo. La fase, que indica la cantidad que se ha desplazado la onda con respecto a un origen preestablecido. Se expresa en grados, con un ciclo de

360 grados de longitud. Con ella se pueden comparar dos ondas midiendo su diferencia de fase.

Las ondas que llegan al receptor de forma directa, es decir, de antena a antena siguiendo la curvatura de la tierra, se conocen como ondas terrestres. Aquellas que llegan después de reflejarse, una o varias veces en las capas altas de la atmósfera, se denominan ondas celestes.

En las capas altas existen gases fuertemente ionizados, dando lugar a una desviación de las ondas radioeléctricas, en mayor o menor grado, según su longitud de onda, ocasionando una reflexión de las mismas hacia la superficie de la tierra.

Las frecuencias superiores a 30 MHz ($\lambda < 10$ m), o sea de la banda de VHF, atraviesan estas capas sin reflejarse. Por el contrario, todas las ondas de frecuencia inferior a la anterior, se reflejan aumentando notablemente el alcance de estas emisiones. Sin embargo, las ondas reflejadas tienen como inconveniente la posible aparición de errores en la onda recibida.

Con el empleo de frecuencias bajas se consiguen grandes alcances por medio de la onda terrestre, que se adapta a la curvatura de la tierra propagándose hasta varios miles de millas. A medida que la frecuencia aumenta, disminuye la propiedad de adaptarse a la superficie terrestre, con lo que el alcance de la onda terrestre disminuye hasta reducirse a unas pocas millas cuando se emplean ondas de muy alta frecuencia. Por otro lado, las ondas se debilitan al propagarse sobre la superficie terrestre más que si lo hacen a través del espacio libre, siendo este debilitamiento directamente proporcional al aumento de la frecuencia. El alcance de las ondas no solo depende de la potencia y de la frecuencia, sino también de la naturaleza del suelo sobre el que se propaguen. A modo de ejemplo, una onda que sobre el mar tenga un alcance de 900 millas, sobre tierra puede no ser captada a más de 100 millas del transmisor. Esta atenuación de la onda será tanto mayor cuanto más seca sea la superficie del suelo.

1.3.2 Frecuencias de radiogoniometría

Los radiogoniómetros funcionan entre la parte alta de la banda de frecuencias bajas (LF) y la parte baja de la banda de frecuencias medias (MF), debido a ser estas las frecuencias en las que transmiten los radiofaros, tanto marítimos como aeromarítimos. Para poder recibir las señales de los, cada vez más numerosos, radiofaros de VHF, también se deberán dotar a los RDF de la banda de 156 a 162 MHz. De acuerdo con lo establecido por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), ambas bandas ocuparán el espectro desde los 30 kHz hasta los 3 MHz. Dentro de ellas se encuentran las estaciones de radio de OM, las estaciones de radiodifusión europeas de onda larga, así como las balizas y

radiofaros utilizadas por aviones y buques. Según esto los radiofaros aeronáuticos ocupan la gama de frecuencias comprendidas entre 190 y 415 kHz, y de 510 a 535 kHz, mientras que los radiofaros marítimos utilizan las comprendidas entre 190 y 335 kHz incluso entre los 250-285 y 500 kHz. De cualquier modo, se ha de tener en cuenta que prácticamente todos los radiofaros marítimos europeos transmiten entre los 285 y 315 kHz y los norteamericanos entre 285 y 325 kHz. En la reuniones preparatorias al WARC del Instituto Británico de Navegación, celebradas en Mayo de 1977, se acordó ampliar las frecuencias máximas de transmisión de los radiofaros entre 315 y 325 kHz. Esto explica el por qué de la ampliación americana hasta los 325 kHz.

En el Acuerdo Regional relativo a la planificación del Servicio de Radionavegación Marítima (Radiofaros) en la Zona Marítima Europea, firmado por España en 1985 y ratificado en Noviembre de 1991; entre otras cosas, se acordó que los radiofaros marítimos de la Zona Europea trabajen en las frecuencias de 283,5 a 315 kHz, atribuida de acuerdo al artículo 8 del Reglamento Internacional de Radiocomunicaciones (Ginebra 1979). Igualmente, en el Acuerdo Regional relativo a los servicios móvil marítimo y de radionavegación aeronáutica en la banda de ondas hectométricas (Región I), firmado y ratificado en la misma época, se acordó aplicar las frecuencias siguientes:

- a) 415-435 kHz, para el servicio de radionavegación aeronáutica principalmente y al servicio móvil marítimo a título secundario.
- b) 435-495 kHz y 505-526,5 kHz para el servicio móvil marítimo principalmente.
- c) 505-526,5 kHz, para el servicio de radionavegación aeronáutica a título secundario.
- d) 1.606,5-1.625 kHz, 1.635-1.800 kHz y 2.045-2.160 kHz, para el servicio móvil marítimo principalmente.

Por todo ello, algunos aparatos extienden su ámbito de frecuencias desde los 190 a los 400, o incluso los 550 kHz para poder recibir las señales de los radiofaros aéreos. No obstante, todos los aparatos deben estar preparados para recibir las frecuencias internacionales de socorro de 500 y 2182 kHz. Como, según la Regla 14 del Capítulo IV del SOLAS, el aparato radioeléctrico portátil para embarcaciones de supervivencia, deberá poder transmitir en la frecuencia de 500 kHz, en radiotelegrafía, a parte de las asignadas para embarcaciones de supervivencia, de 4.000 a 27.500 kHz, pudiendo también transmitir en telefonía, en la frecuencia de 2.182 kHz, estas señales podrán ser recibidas con el RDF y localizar, no solo a los buques, sino también a sus embarcaciones de supervivencia. Resumiendo, un radiogoniómetro completo deberá cubrir las siguientes gamas de frecuencia:

- 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 535 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 éstas no se encuentren lejos de la mar, para evitar el error de costa. Generalmente, se suele 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.). 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.

El vigente Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias fue aprobado por la Orden CTE/630/2002 de 14 de marzo de 2002 (B.O.E. nº 70, de 22 de marzo de 2002) y modificado por la Orden CTE/2082/2003 de 16 de julio de 2003 (B.O.E. nº 175 de 23 de julio de 2003).

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)

BANDAS DE FRECUENCIAS

VLF/LF	0 - 315 kHz	Ondas Miriamétricas y Kilométricas
MF	315 kHz -3230 kHz	Ondas Hectométricas
HF	3230 kHz -27500 kHz	Ondas Decamétricas
VHF	27500 kHz - 322 MHz	Ondas Métricas
UHF	322 MHz -3300 MHz	Ondas Decimétricas
SHF	3300 MHz - 31,8 GHz	Ondas Centimétricas
WHD	31,8 GHz - 1000 GHz	Ondas Milimétricas

1.3.3 Notas del Artículo S5 del Reglamento de Radiocomunicaciones

ARTÍCULO S5

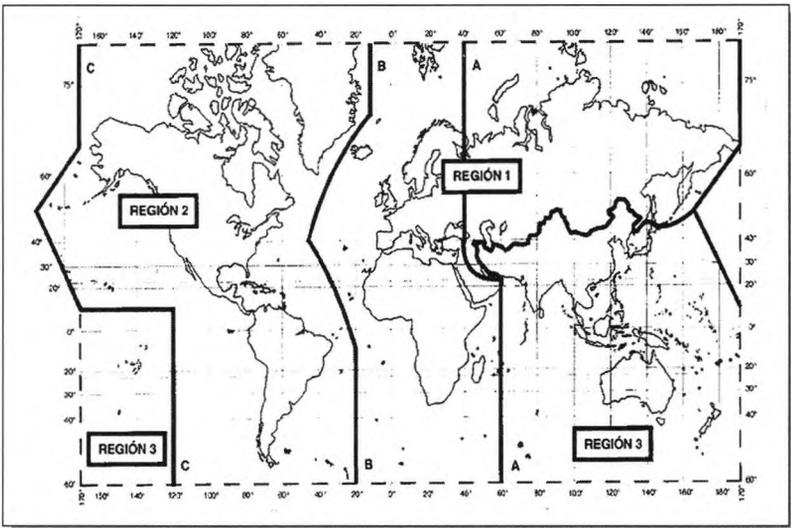
S5.1 En todos los documentos de la Unión en los que corresponda utilizar los términos atribución, adjudicación y asignación, éstos tendrán el significado

que les asigna en los números S1.16 a S1.18 con la equivalencia en los tres idiomas de trabajo indicada en el cuadro siguiente:

Distribución de frecuencias entre	➡	En francés	En inglés	En español
Servicios	➡	Attribution (attribuir)	Allocation (attribuer)	Atribución (to allocate)
Zonas o países	➡	Allotissement (allotir)	Allotment (to allot)	Adjudicación (adjudicar)
Estaciones	➡	Assignation (assigner)	Assignment (to assign)	Asignación (asignar)

Sección I – Regiones y Zonas

S5.2 Desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias se ha dividido el mundo en tres Regiones indicadas en el siguiente mapa y descritas a continuación



S5.3 Región 1: La región 1 comprende la zona limitada al este por la línea A (más adelante se definen las líneas A, B, y C), y al oeste por la línea B, excepto el territorio de la República Islámica del Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Federación de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C.

S5.4 Región 2: La Región 2 comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C.

S5.5 Región 3: La Región 3 comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Federación de Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía, Ucrania y la zona norte de la Federación de Rusia. Comprende, asimismo, la parte del territorio de la República Islámica del Irán situada fuera de estos límites.

S5.14 La “Zona Europea de Radiodifusión” está limitada: al oeste, por el límite Oeste de la Región 1; al este, por el meridiano 40° Este de Greenwich y, al sur, por el paralelo 30° Norte, de modo que incluya la parte septentrional de Arabia Saudita y las partes de los países que bordean el Mediterráneo comprendidas en dichos límites. Asimismo, Iraq, Jordania y la parte del territorio de Siria, Turquía y Ucrania situada fuera de los límites mencionados están incluidos en la Zona Europea de Radiodifusión.

S5.15 La “Zona Marítima Europea” está limitada al norte por una línea que sigue a lo largo del paralelo 72° Norte, desde su intersección con el meridiano 55° Este de Greenwich hasta su intersección con el meridiano 5° Oeste; sigue luego por este meridiano hasta su intersección con el paralelo 67° Norte y, por último continúa a lo largo de dicho paralelo hasta su intersección con el meridiano 32° Oeste; al oeste por una línea que se extiende a lo largo del meridiano 32° Oeste hasta su intersección con el paralelo 30° Norte; al sur, por una línea que sigue a lo largo del paralelo 30° Norte hasta su intersección con el meridiano 43° Este; al este, por una línea que se extiende a lo largo del meridiano 43° Este hasta su intersección con el paralelo 60° Norte, siguiendo luego por este paralelo hasta su intersección con el meridiano 55° Este y continúa por este último meridiano hasta su intersección con el paralelo 72° Norte.

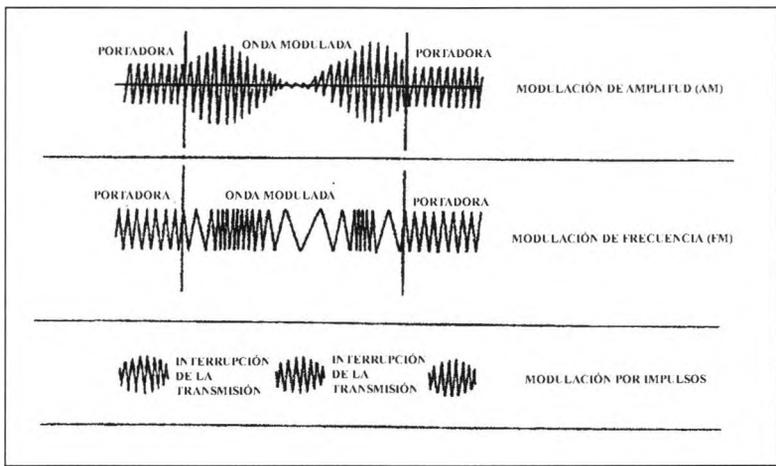


Figura 1. 2.- Modos de emisión

1.3.4 Modulación

Si se transmite una serie de ondas electromagnéticas en una frecuencia y amplitud constantes, se estará transmitiendo una onda continua (CW) con este tipo de ondas sólo se puede transmitir muy poca información, las transmisiones telegráficas suministran energía del transmisor a la antena mediante un manipulador telegráfico. Los mensajes se envían mediante impulsos cortos y largos (puntos y rayas) que se corresponden con letras y números del código Morse.

Con la finalidad de conseguir que dicha onda continua contenga más información, en la navegación radioelectrónica, se hace necesario modificarla o modularla de alguna manera. Cuando se hace esto, a la onda continua básica a la que se le superpone información, es decir. la que se modula, la conocemos como “onda portadora”. Por lo tanto, en las transmisiones en onda continua (CW), para transmitir el código Morse, lo único que se hace es conectar o desconectar la portadora, no alterando para nada ni la frecuencia ni la amplitud.

No obstante, una señal no modulada en Onda Continua (CW), podría captarse y obtenerse su dirección de procedencia con un Radiogoniómetro automático (ADF), aún cuando no fuera audible. Para transmitir una señal audible, la forma de la onda portadora se deberá modular de acuerdo con las variaciones de los tonos que se quieran transmitir. La fuente de la señal modulada viene a ser el voltaje de salida de un micrófono. Y como éste es esencialmente un convertidor de energía sonora en eléctrica, las palabras, la música o cualquier otra clase de información, han de ser convertidos previamente en voltajes alternos.

En la práctica existen tres modos básicos mediante los cuales se suele modular la onda portadora:

- Modulación de Amplitud (AM).
- Modulación de Frecuencia (FM).
- Modulación por Impulsos, o de Pulso (PM).

- Modulación de Amplitud. En ésta, la amplitud de la onda portadora se modifica en función de la amplitud de una onda modulada que, normalmente, aunque no siempre, suele ser una frecuencia audible. En la figura 1.2 podemos ver esta clase de modulación. Al llegar la señal al receptor debe ser demodulada y convertirla a su forma original. Esta forma de modulación se emplea en los radiofaros, comunicaciones habladas y radiodifusión comercial.

- Modulación de Frecuencia. Aquí la que se altera es la frecuencia de la portadora, de acuerdo con la frecuencia de la onda modulada (Fig. 1.2). Se utiliza

en comunicaciones habladas, en Radiodifusión Comercial, para transmitir el sonido en televisión, En los radiofaros de VHF y VOR. Está directamente relacionada con la modulación en fase, cuando se emplea una, se afecta indirectamente a la otra. Este tipo de modulación ofrece las ventajas de una mayor fidelidad y la ausencia de corrientes estáticas.

- Modulación por Impulsos. Es diferente de las dos anteriores, ya que no se emplea una señal modulada previa. La onda continua es cortada en impulsos muy cortos y potentes, separados por períodos de silencio relativamente largos, durante los cuales no se transmite ninguna onda. Se utiliza en el radar, loran, equipo de medida de distancias (DME, en la navegación aérea). En la figura 1.2 se puede ver como se transforma la portadora en este caso.

1.3.5 Modos de emisión empleados en radiogoniometría

En la Radiogoniometría se emplea principalmente la modulación de amplitud, aunque en la actualidad se están extendiendo por las costas de todo el mundo, numerosas estaciones de frecuencia modulada, principalmente en puertos deportivos.

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, establece cómo se deben denominar las emisiones, en función del modo utilizado. Se debe especificar la clase y anchura de banda necesaria. Para abreviar, se clasifican y simbolizan, con arreglo a sus características, por medio de tres símbolos, en el orden siguiente:

1^{er} símbolo - Tipo de modulación de la portadora principal.

2^o símbolo - Tipo de transmisión.

3^{er} símbolo - Características suplementarias.

De acuerdo con estas normas, a continuación se exponen los modos de emisión más utilizados en Radiogoniometría:

A1A Telegrafía, sin modulación por audiofrecuencia, (manipulación por interrupción de portadora). Para recepción acústica.

A2A Telegrafía, con manipulación por interrupción de una o más audiofrecuencias de modulación, o con manipulación por interrupción de la emisión modulada (caso particular: emisión no manipulada, modulada en amplitud). Para recepción acústica.

R3E (A3A) Telefonía, banda lateral única, con portadora reducida.

A3E Telefonía. Doble banda lateral.

H3E (A3H) Telefonía, banda lateral única, con portadora completa

J3E (A3J) Telefonía, banda lateral única, sin portadora.

F1B Telegrafía con manipulación por desviación de frecuencia, sin modulación por una audiofrecuencia; se emite siempre una de las dos frecuencias. Para recepción automática.

F3E Telefonía, por modulación directa, en frecuencia de la portadora.

NOM Ausencia de toda modulación.

1.3.6 Funcionamiento del sistema

Configuración del campo electromagnético

Las ondas hertzianas se propagan, sobre la superficie de la tierra, siguiendo la distancia más corta entre el emisor y el receptor, es decir, siguiendo el arco de círculo máximo. La Radiogoniometría consiste en medir la dirección en que estas ondas se propagan y con ello obtener las líneas de posición llamadas radiodemoras que convenientemente utilizadas nos determinen la situación del buque. La navegación radiogoniométrica, es un caso particular de la navegación por marcaciones o demoras, en el cual éstas se obtienen por transmisores situados en puntos de referencia y determinando la dirección en que lleguen las ondas, por medio de un sistema receptor con antena directiva.

Otra alternativa de navegación por marcaciones o demoras radioeléctricas, es situar el transmisor a bordo de la nave y con equipos radioeléctricos de emisión y recepción en puntos fijos de tierra, convenientemente elegidos, el navegante se dirige a la estación o estaciones radiogoniométricas más próximas y éstas le informan del rumbo con el cual recibe sus emisiones, llevando luego estos rumbos sobre cartas de navegación se obtiene, por intersección, el punto en que está situado el barco. Para ello, un radiofaro debe emitir una onda polarizada verticalmente (campo eléctrico vertical). Esta onda, puede ser modulada por una frecuencia audible (A2), o no modularse (A1). Así el observador, que dispone de un receptor con una antena direccional, puede marcar una estación, esto 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, se tendrá una segunda línea de posición. El punto de intersección de las dos líneas, puede considerarse como la situación del buque. No se puede iniciar el estudio de los principios de funcionamiento del sistema, sin antes analizar las

fuerzas que afectan a una onda, después de haber abandonado la antena del transmisor y las características de recepción direccional de ciertas antenas.

Al igual que en las demás ayudas a la navegación, es esencial un buen conocimiento de los factores que afectan al funcionamiento del sistema. Los factores más significativos son los relacionados con la propagación de las ondas de radio, es decir, la forma en que se propagan las ondas de radio al salir de una antena transmisora.

En la figura 1.3a está representada la configuración del campo en torno a una antena vertical 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 figura 1.3b se puede ver la forma de ambas ondas, eléctrica y magnética.

Situados a mucha distancia de la antena respecto a las dimensiones de la antena, se puede considerar que las líneas de fuerza del campo eléctrico tienen el aspecto de la figura 1.5, es decir, son perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético.

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.

Por lo tanto, después de ver los métodos básicos de determinación de la demora, se estudia el funcionamiento de las antenas direccionales.

1.4 Antenas radiogoniométricas

Como el fundamento de la recepción direccional reside en la forma de las antenas, seguidamente se estudian las más importantes.

1.4.1 Fundamentos y componentes

Generalmente, la antena de un receptor radiogoniométrico está compuesta por un conjunto de elementos, dispuestos de tal forma, que se pueda conseguir una respuesta adecuada a la señal recibida. En esencia consiste en una disposición simple de conductores, es decir, con dos terminales para la recepción de energía de radiofrecuencia. En los diferentes sistemas de radiogoniometría se utilizan una gran variedad de tipos de antenas, tales como: monopolos, dipolos, cuadros, sensores de corriente, etc. La elección de cualquiera de ellos viene dada por la aplicación que se le dé y la banda de frecuencia en que tra-

baje el transmisor. A la hora de elegir la antena adecuada de recepción direccional, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Cobertura de la emisión, es decir, la distancia entre la estación transmisora y el receptor, así como, el sector de demoras que se puede recibir. Estos factores determinaran la forma de la antena.

- b) Combinación de rapidez y precisión en las lecturas. Factor determinante del tamaño o diámetro de la antena.

- c) Modo de propagación de la onda que se desee recibir (terrestre, celeste directa, etc). Con este dato se puede determinar el nivel de respuesta del sistema y los componentes de la antena.

- d) Condicionantes físicos para la instalación de la antena. Así se evaluará la necesidad de aspectos tales como: antena fija o giratoria, el espacio a bordo para su colocación, etc.

Seguidamente, dando respuesta a las cuatro cuestiones anteriores, se determinará cuáles son los tipos de antenas adecuados a cada necesidad.

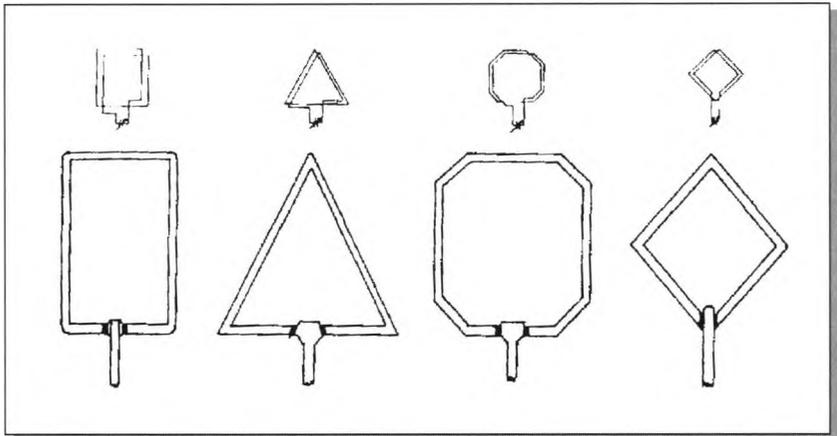


Figura 1. 4.- Distintos tipos de antenas de cuadro

- A) Alcance: 200 millas náuticas. Sector: todo el horizonte 0 a 360°.
- B) Buena rapidez y precisión, especialmente a media distancia.
- C) Onda terrestre o de superficie.
- D) Giratoria o fija, y que no ocupe un gran espacio.

Combinando estos cuatro factores se ha llegado a los dos tipos de antenas más difundidos que a continuación se describen, es decir, la antena de cuadro giratorio y la de cuadros cruzados fijos.

1.4.2 Antenas de cuadro

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

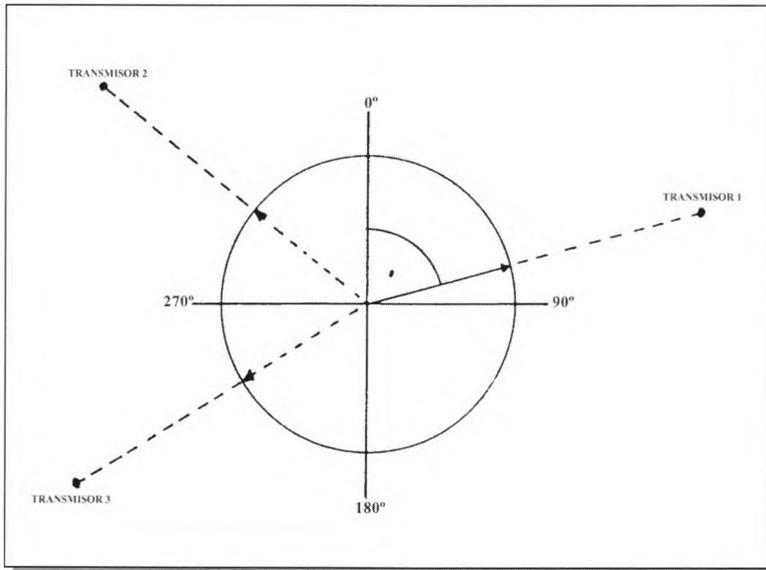


Figura 1. 5.- Diagrama de recepción Omnidireccional

También, si un número cambiante de líneas de fuerza magnética pasan a través de la superficie de una bobina, se generará un voltaje inducido en los devanados de la misma. El mismo efecto se consigue sustituyendo la bobina por una antena de cuadro. Ésta antena, constituida bien en forma circular, o bien en forma cuadrada, es un arrollamiento de alambre, con un eje de giro que coincide con el eje de simetría del 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 ofrece la respuesta deseada.

Las antenas de cuadro más comunes son las 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.

1.4.3 Principios de funcionamiento

Antes de explicar el principio de funcionamiento del sistema debemos aclarar que la emisión del transmisor es de polarización vertical y por tanto el campo eléctrico que incide en la antena es vertical y el magnético horizontal por estar ambos desfasados 90° entre sí. Para comprender mejor lo que ocurre en la antena, recurriremos a la de tipo giratorio, aunque como veremos más adelante, la antena más difundida en la actualidad es la fija de cuadros cruzados. 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 (Fig. 1.6) 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.

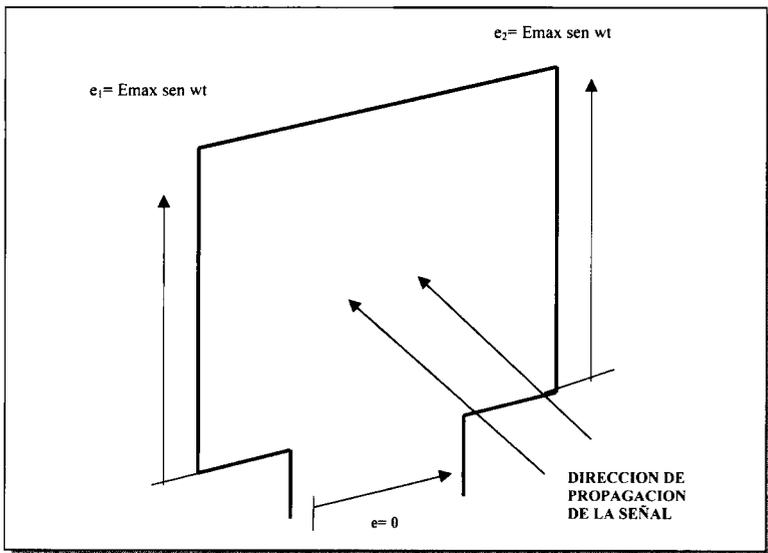


Figura 1. 6.- Antena de cuadro con el plano perpendicular al emisor

B) Con el plano de la antena paralelo a la dirección de propagación de la onda (Fig. 1.7).

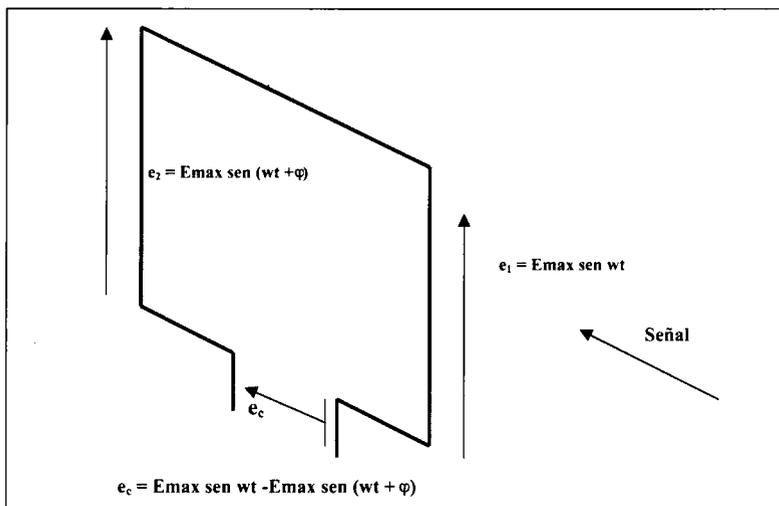


Figura 1. 7.- Plano de la antena de cuadro paralelo a la dirección de emisión

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 figura 1.8 se ve como el voltaje e_2 se encuentra desplazado del e_1 un ángulo de fase φ O sea,

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

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

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

$$e_c = (e_1) + (-e_2) = E_{max} \cdot \text{sen}\omega t + [(-E_{max} \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi))];$$

$$e_c = E_{max} \text{sen}\omega t - E_{max} \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

ahora desarrollando el $\text{sen}(\omega t + \varphi)$ y sustituyendo en la expresión resultará:

$$e_c = E_{max} \cdot \text{sen}\omega t - E_{max}(\text{sen}\omega t \cdot \cos\varphi + \cos\omega t \cdot \text{sen}\varphi)$$

y haciendo $\cos \varphi = 1$,

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

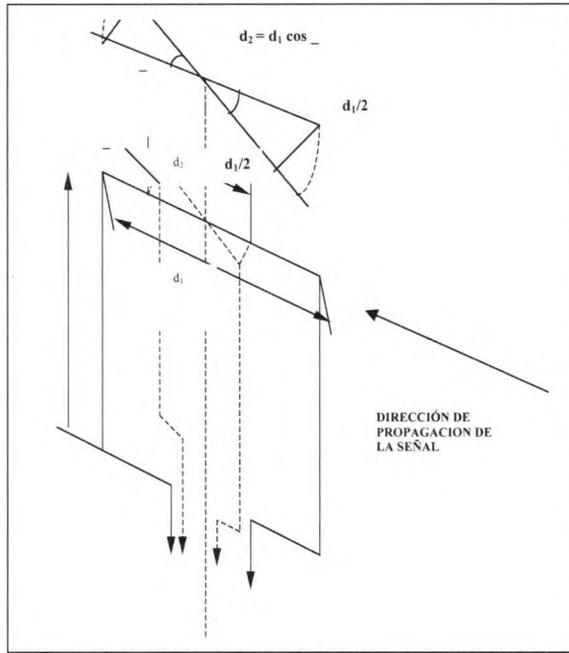


Figura 1. 8 - Inducción de la señal en la espira

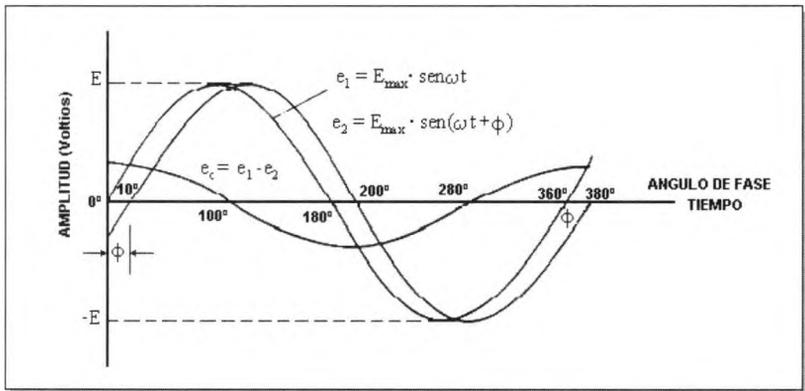


Figura 1. 9.- Desplazamiento entre tensiones inducidas en la antena de cuadro

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

* La fase del voltaje resultante e_c está en cuadratura ($\cos \omega t$) con el voltaje inducido en un elemento vertical simple ($\text{sen} \omega t$).

* El máximo voltaje inducido en la antena es: $E_{\max} \cdot \text{sen} \phi$.

En las bandas de frecuencia bajas y medias, φ 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 φ , el cual es función de la separación de los elementos verticales, medida en la dirección de propagación de las ondas.

En la figura 1.9 vemos que φ es función de $d \cdot \cos \theta$, y que el voltaje de pico para un ángulo θ , será:

$$e_c = E \cdot \text{sen } \varphi \cdot \cos \theta$$

Calculando esta fórmula para todos los valores de θ de 0° a 360° , nos resultará el diagrama polar de recepción de la antena de cuadro (figura 1.10). En él podemos ver las propiedades direccionales necesarias que debe tener un radiogoniómetro básico. A este diagrama se le suele llamar “diagrama en ocho”, y las antenas de “características direccionales en forma de 8”.

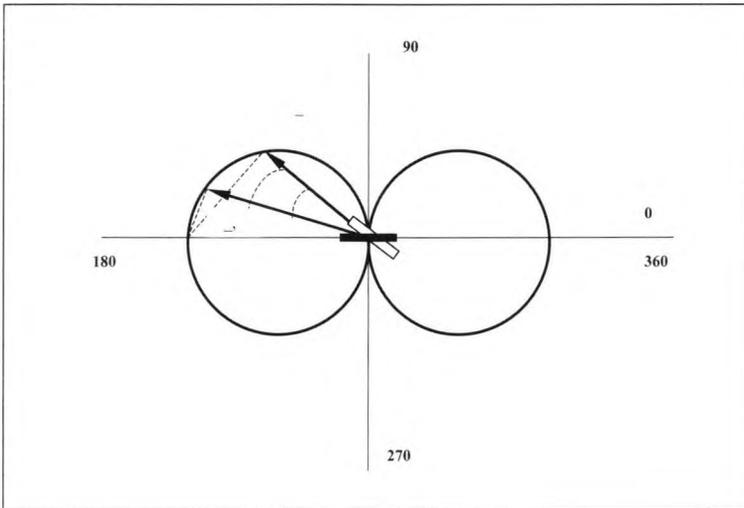


Figura 1. 10.- Diagrama polar de recepción de la antena de cuadro

Observando la figura vemos que existen dos posiciones de máximo voltaje inducido (0° y 180°), y dos de voltaje cero (90° y 270°).

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 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.

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

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

podemos suponer, que $\text{sen } \varphi$, es aproximadamente igual a φ . Vemos que el ángulo de fase φ 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 b de la antena (para el caso normal de una onda polarizada verticalmente).

Por tanto, el voltaje inducido en el cuadro e_c será función de $d \cdot b$, 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.

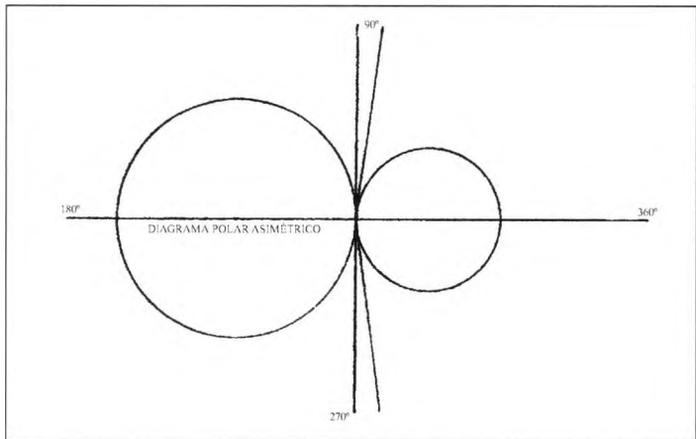


Figura 1. 11.- Diagrama polar asimétrico

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 bobinado dentro de la antena.

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 (figura 1.11).

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 (Fig.1.12). No obstante, en el apartado dedicado a las antenas, se estudiará de forma más pormenorizada.

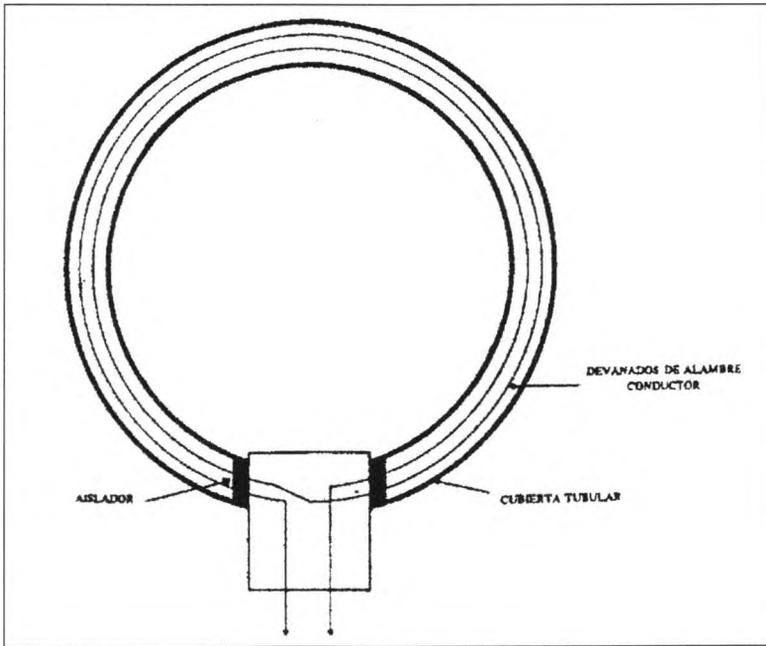


Figura 1. 12.- Tipo de antena de cuadro completa

En ocasiones puede observarse un desequilibrio en el que los voltajes inducidos sean iguales en amplitud pero desiguales en fase (Fig.1.13). 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".

1.4.4 Ambigüedad de la demora

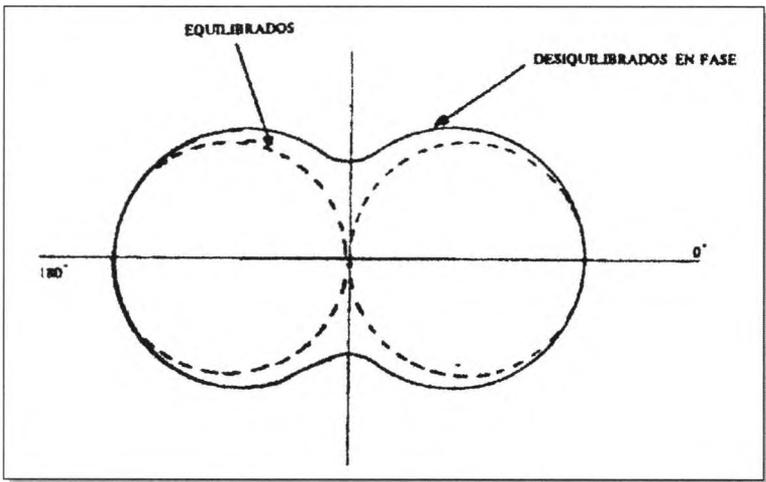


Figura 1. 13.- Tensiones equilibradas

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 180° entre sí, 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 observador, 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.

La señal de recepción omnidireccional añadida, se obtiene con una antena vertical. A esta antena se le conoce como, "antena vertical" o "antena de senti-

do”, ya que 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,

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

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 ($E \sin \varphi \cos \theta$), al voltaje “C” de la antena vertical ($E \sin \varphi$), será,

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

Que no es otra cosa que la expresión del diagrama polar de recepción conjunto, más conocido como “cardioides”, por su forma similar a un corazón (Fig.1.14). 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 variable que lleva la antena vertical. 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.

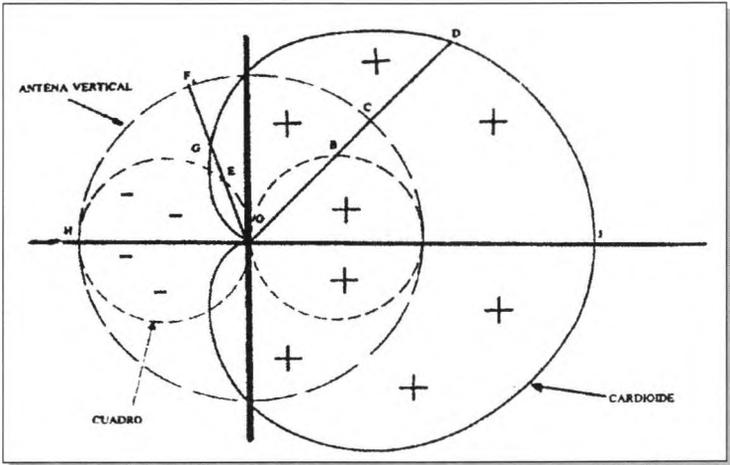


Figura 1. 14.- Diagrama “Cardioides” de recepción

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° 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 $OHOH=0$. De esta forma, sumando con sus signos los vectores representativos del voltaje de ambas antenas obtendremos el diagrama en forma de corazón, o Cardioide.

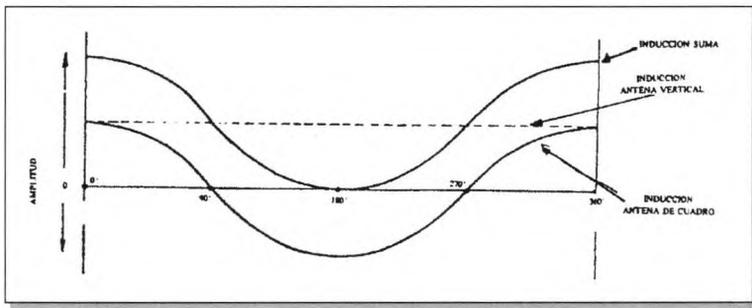


Figura 1. 15.- Efecto conjunto de las antenas de cuadro y vertical

De igual forma, en la figura 1.15 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 senoide de trazo continuo. Se ve que durante 180° se suman ambos efectos, y durante los restantes 180° se restan, resultando un solo mínimo donde antes había un máximo.

1.5 Determinación del sentido de procedencia de la señal

1.5.1 Radiogoniómetros con antena vertical

El procedimiento para determinar el sentido de procedencia de la señal recibida, generalmente sigue el mismo procedimiento para todas las antenas de cuadro giratorio:

1°.- Se procede a girar lentamente la antena observando la amplitud de la señal hasta encontrar el punto de recepción nula (Fig.1.16a). Como hemos visto anteriormente, existirá otro punto de recepción nula en la demora opuesta a esta.

2º.- Si existe ambigüedad en la demora, se conecta la antena vertical al circuito, originándose el diagrama polar en forma de cardioide (Fig. 1.16b).

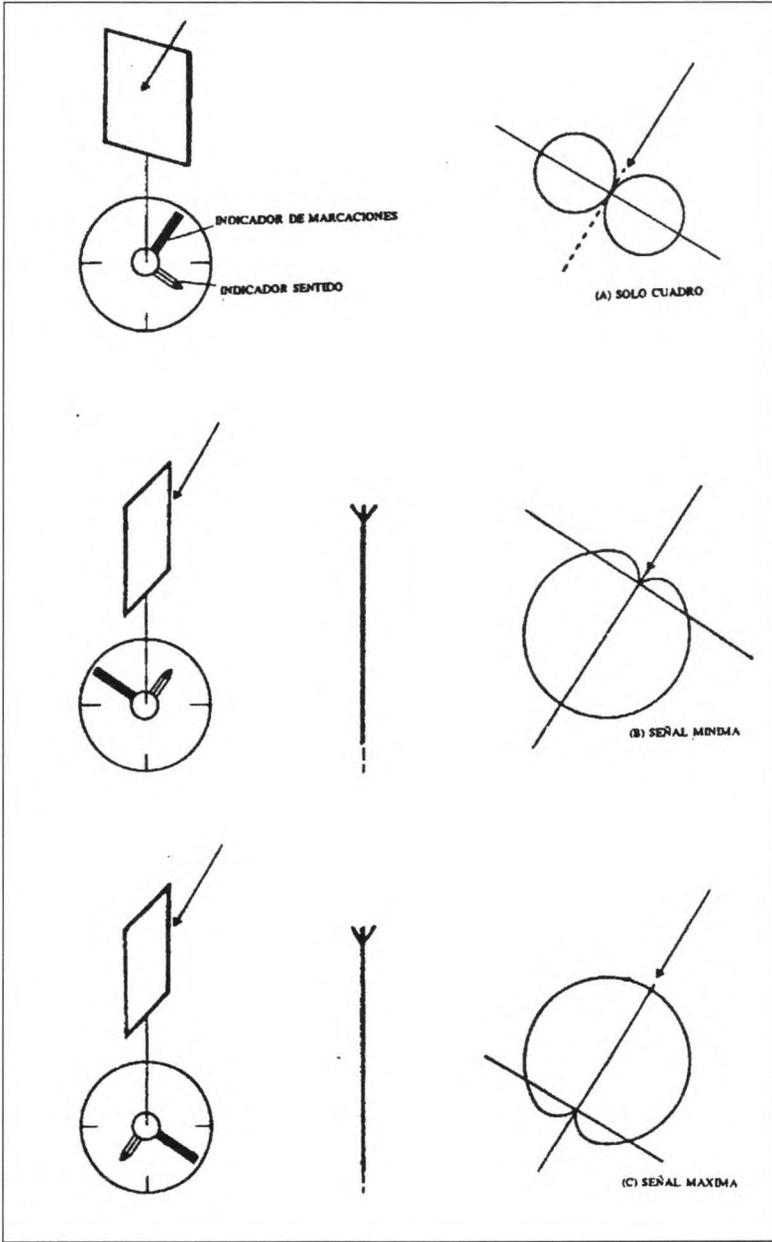


Figura 1. 16.- Procedimiento para determinar el sentido

Como la posición del cero del cardioide esta desfasada en 90° de la posición de los ceros de la antena de cuadro, se coloca un indicador de sentido (desfasado 90° con el indicador de demora), que nos indicará la dirección de la señal de recepción nula.

La antena se hace girar hasta que el indicador de sentido señale, primero en una de las posibles demoras (Fig. 1.16c), y después en la otra (Fig. 1.16d). La demora en la que se aprecie una señal más débil, será la dirección de procedencia de la onda.

La precisión del mínimo del cardioide depende de la relación entre la amplitud del voltaje máximo de la antena de cuadro y la del voltaje de la antena vertical de sentido.

Si el voltaje de la antena vertical es mayor que el de la de cuadro, el mínimo quedará mal definido (Fig. 1.17).

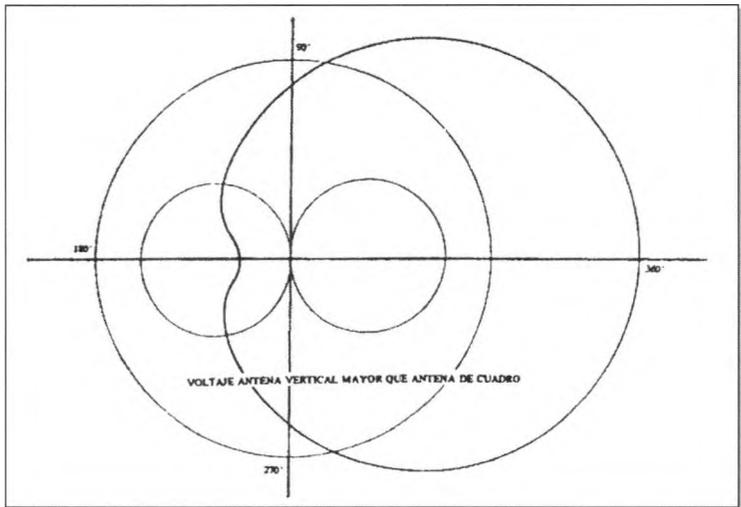


Figura 1. 17.- Tensión de la antena vertical mayor que la de cuadro

Si el voltaje de la antena vertical es menor, entonces aparecerán dos mínimos y ninguno de los dos será el correcto.

Vemos que al depender de la necesidad de ser iguales en amplitud ambos voltajes, el cardioide no siempre será útil para la correcta determinación de la demora. Ahora bien, si solamente lo usamos para resolver el problema de la incertidumbre de los 180° , generalmente nos servirá para deshacer la duda. Por consiguiente, lo que se debe hacer es obtener la demora solamente con la antena de cuadro y seguidamente conectar la antena vertical para averiguar el sentido de la misma. (Fig. 1.16a y 1.16b)

1.5.2 Radiogoniómetros sin antena vertical

Cuando se trabaje con un gonio sin antena de sentido, existe un procedimiento sencillo para deshacer la incertidumbre de los 180° . Consiste en hacer caer el buque hasta recibir la señal mínima justo por el través, manteniendo ese rumbo, se comienzan a tomar marcaciones sucesivas para observar si el valor de las mismas aumenta o disminuye. Caso de aumentar, significará que la estación transmisora se encuentra por estribor, y si disminuye, se encontrará por babor. Como norma general se podría establecer, que la estación transmisora se encontrará en la banda en la que las sucesivas marcaciones se vayan desplazando hacia popa desde el través.

1.6 Antenas de cuadro giratorio

Las antenas de cuadro diseñadas para uso a bordo, consisten básicamente en un conductor con forma de espira en el que se inducen unas corrientes. 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.

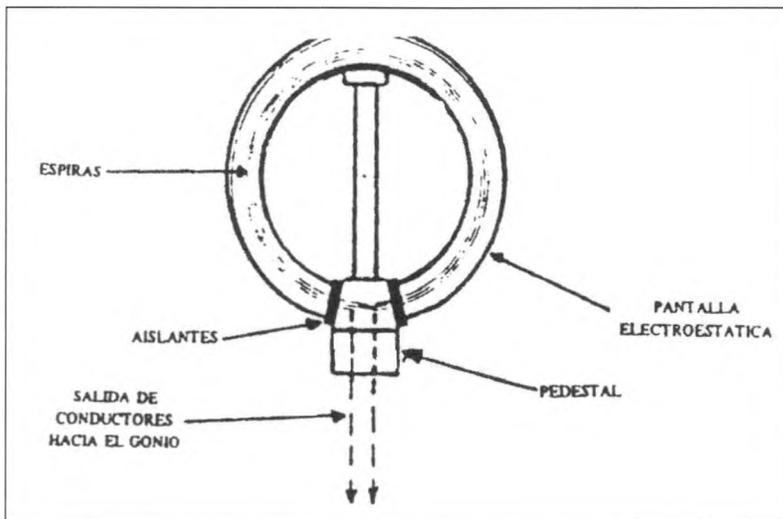


Figura 1. 18.- Detalle de la antena de cuadro de tipo circular

Los conductores van arrollados en el interior de un tubo metálico curvado que le sirve de pantalla. En la figura 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. En la figura 1.19, se puede ver otra disposición en la que se consigue el mismo efecto impidiendo que las corrientes puedan circular como si se tratase de un circuito cerrado. En este caso el tubo está cortado en su parte alta donde se coloca un aislante y en la parte baja, se conectan las dos ramas a tierra.

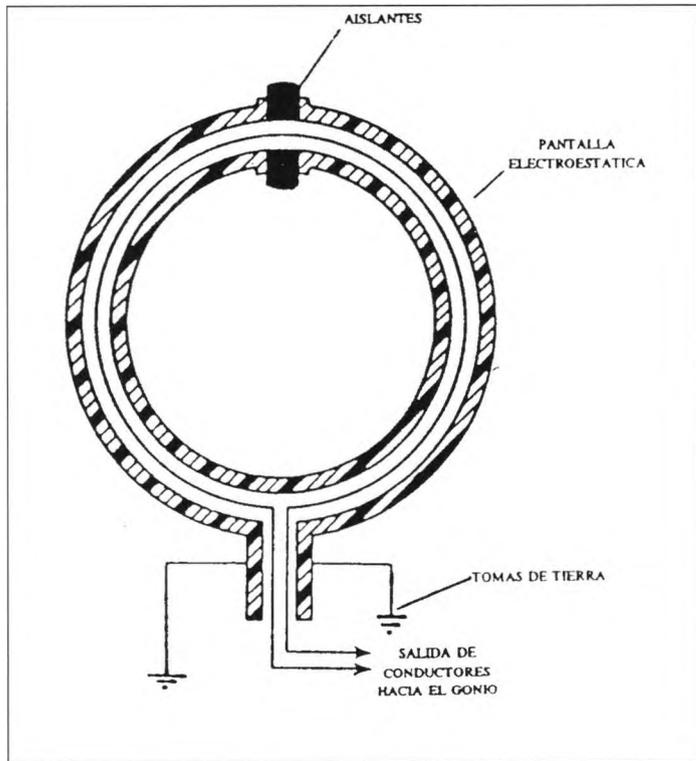


Figura 1. 19.- Sección de la antena de cuadro

En ambas figuras, vemos como las espiras de la antena van instaladas exactamente en el centro de la pantalla tubular. Si esto se cumple estrictamente, la capacitancia con respecto a tierra de la parte de conductor a un lado de la antena será igual a la correspondiente al otro lado. Por lo tanto, la proximidad de otros objetos conectados a tierra no alterará este equilibrio.

Como hemos dicho en el párrafo anterior, la recepción con antenas de cuadro cumple la función de protección contra los parásitos. Para comprenderlo debemos admitir que la antena y la cubierta o suelo que está debajo, forman las armaduras de un condensador, por lo que este colector de ondas será muy sensible a la componente electrostática del campo electromagnético, puesto que lo que hace es aumentar o disminuir el potencial de la armadura que constituye la antena. En cambio, el cuadro es un circuito oscilante cerrado que responde sobre todo a la componente magnética del campo. Como los parásitos se propagan por el campo electrostático, el cuadro se constituye en un protector eficaz.

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. La frecuencia intermedia en radiogoniometría marítima es de 300 kHz, a la que corresponde una longitud de onda de 1.000 metros, hecho por el cual dicho requisito 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.

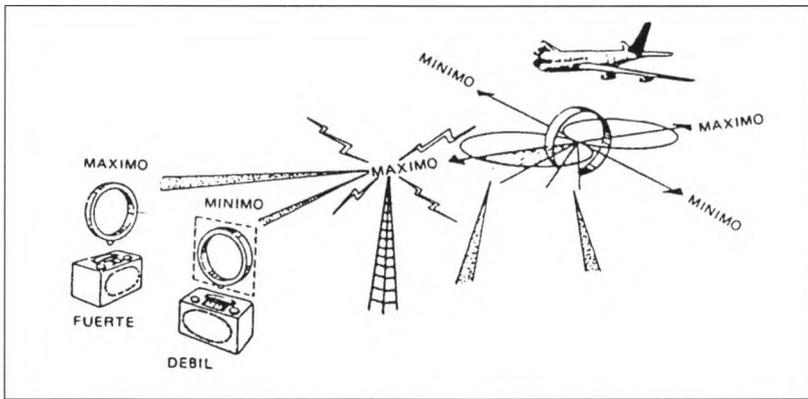


Figura 1. 20.- Determinación de la posición de un avión con el RDF

Una derivación de la antena giratoria la constituye la antena LOOP. Esta es una antena utilizada en navegación aérea de gran similitud a la marítima. Es plana y con gran cantidad de arrollamientos o espiras colocadas en distintos ángulos. Tiene la capacidad de orientarse automáticamente hacia la recepción mínima mediante un transmisor Autosyn. Antiguamente se accionaba manualmente mediante un conmutador para determinar la posición del nulo de recepción. Constituía un sistema de navegación denominado RDF.

1.6.1 Instalación de la antena de cuadro

El giro de la antena de cuadro se consigue por medio de un volante colocado en el extremo de un eje vertical que atraviesa la cubierta magistral, apareciendo por el techo del cuarto de derrota. Asimismo, el eje está dotado de un puntero que indica el ángulo girado sobre un círculo graduado, de 0° a 360° en el sentido de las agujas del reloj. El círculo debe tener el cero en la dirección de la proa, y en las estaciones terrestres, en la dirección del Norte Verdadero.



Figura 1.21.- Modelo de antena de cuadro

En la figura 1.21, podemos ver dos modelos de antenas de cuadro giratorias. Este tipo de antena estuvo en uso en la marina mercante española, incluso en buques de pasaje, hasta la década de los años 60.

1.7 Antena cruzada

En los receptores que utilicen este tipo de antenas cruzadas, serán aplicables todos los principios teóricos de las antenas giratorias. Igualmente, 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° . 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. Actualmente, la inmensa mayoría de los buques mercantes utiliza este tipo de antenas.

1.8 La antena ADCOCK

Las utilizadas en algunas embarcaciones suelen ser dos pares de antenas en forma de "H", como la de la figura 1.22, con una antena central de sentido que se encuentra sobre el tubo aislante que sujeta a los cuatro elementos verticales. Las dos parejas de antenas están dispuestas perpendicularmente. El secreto de una buena antena Adcock reside en la consecución de un buen aisla-

miento de los elementos horizontales de la misma, con la finalidad de evitar errores de polarización ocasionados por la onda celeste.

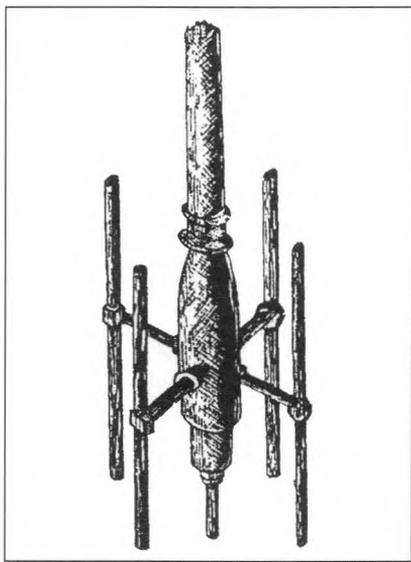


Figura 1. 22.- Antena Adcock naval

1.9 Antena de cuadro de ferrita

Este tipo de antenas se utilizan profusamente en radiogoniómetros portátiles, generalizados en embarcaciones menores o de recreo, en las que se necesitan antenas de dimensiones reducidas. Su fundamento nace de la necesidad de aumentar la sensibilidad de la antena de cuadro. Esto se puede conseguir alternado cualquiera de los siguientes parámetros de la fórmula:

$$\varphi = \mu S H n$$

donde: φ = intensidad de la corriente generada en el cuadro; μ = permeabilidad magnética; S = Superficie del cuadro; H = intensidad del campo electromagnético; n = número de espiras. Se debe destacar que el número de espiras no conviene aumentarlo porque disminuiría la superficie transversal del cuadro, quitando precisión a la obtención del mínimo. La intensidad del campo depende de la distancia y situación de la estación transmisora. La superficie del cuadro no se debe aumentar porque sería un estorbo para los trabajos de a bordo. Por lo tanto, el parámetro que se puede alterar es la permeabilidad magnética, utilizando núcleos de ferrita.

1.10 Antena de barra de ferrita

Este tipo de antenas se utiliza principalmente en gonios portátiles manuales y automáticos, y especialmente en los de mano. En la figura 1.23, comparamos el comportamiento de una antena de barra de ferrita con el de una antena de cuadro.

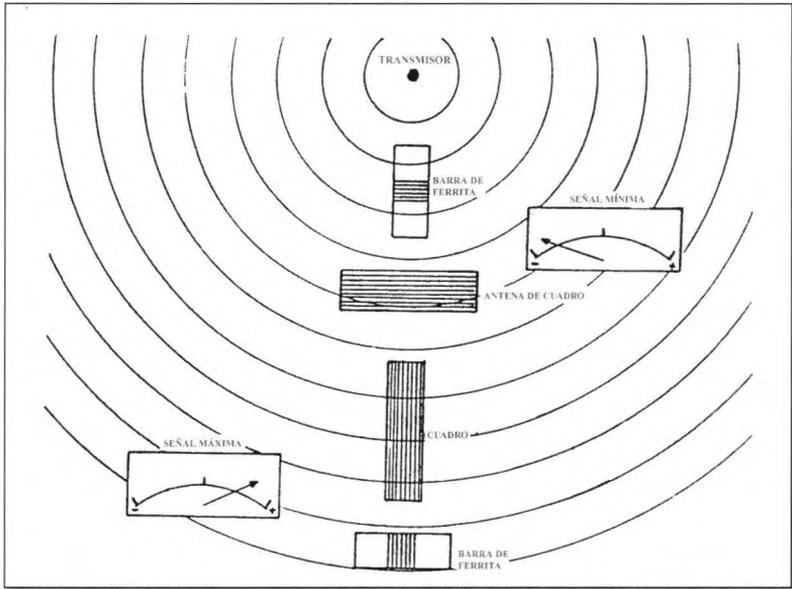


Figura 1. 23.- Tipos de recepción de RDF

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 se observa el bobinado de la antena de barra de ferrita, se entiende 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.

La dirección del mínimo audible coincide con la dirección de la barra de ferrita, por lo que en los gonios que usan este tipo de antenas se observa con un indicador en forma de flecha, que suele estar grabada sobre la cubierta de las mismas en sentido longitudinal. Visto esto, se puede entender cómo con un receptor normal de radiodifusión comercial, se puede determinar la demora de una estación de Onda Media, ya que están dotados de una antena de este tipo.

1.11 Receptores radiogoniométricos

Los receptores radiogoniométricos son aquellos dispositivos que a partir de un receptor común de radiofrecuencia disponen de un sistema goniométrico que les permite determinar la dirección y sentido de la señal de radiofrecuencia recibida.

1.11.1 Partes principales

Las principales partes de un radiogoniómetro son:

- Sistemas de antena direccional.
- Receptor.
- Sistema Goniométrico (determina la dirección).
- Sistema de presentación.

1.11.2 Clases o tipos

Los Radiogoniómetros se clasifican de varias formas:

- Por el tipo de antena: -De cuadro: Giratorio y Fijo.
- De cuadros separados.
- Adcock.
- Por el equipo: -DF o RDF.
- Automáticos: De Canales.
- Doppler.
- De medida de fase.
- ADF Girocompás

1.11.3 Determinación de la radio demora

La emisora da una marcación y por tanto una línea de posición, (línea imaginaria que une los puntos emisor y receptor). Para determinar completamente la posición se necesitará otra emisora. Antes de entrar en la determinación de la radio demora, recordemos algunas definiciones:

1.11.3.1 Radiomarcación

Se denomina radiomarcación dada por un transmisor, al ángulo formado por la dirección en que llegan las señales del mismo y la línea proa-popa del buque o aeronave.

1.11.3.2 Radiodemora

Ángulo formado por la línea de la dirección de propagación de las ondas y la línea barco-norte magnético.

Existen dos métodos básicos de determinación de la radiodemora de un transmisor situado en la costa o en un buque:

a) Con un receptor se capta la señal emitida por un transmisor que se encuentre en un lugar fijo, esta señal puede emitirse en uno o más sectores. Dicha señal puede diferir en potencia, frecuencia y duración. Éste es el método que utilizan los radiofaros direccionales instalados en algunos faros.

b) Otro sistema consiste en medir la dirección de propagación de las ondas que describen una trayectoria de círculo máximo entre la posición del transmisor y la del receptor. Esta medida se hace con el Radiogoniómetro o Gonio.

1.11.4 El diagrama polar de recepción

Para describir las características de la recepción direccional de las antenas, se recurre al uso de un diagrama polar. Ésta 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 analiza el acimut, 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} , se ve que ésta es la misma en cualquier dirección de procedencia de la onda, y que la diferencia de potencial será igual a $E_{\max} \cdot \sin \omega t$. 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 " θ ". La expresión para el caso simple de la antena omnidireccional es la siguiente: $r = C$ (constante).

1.11.5 El receptor de antena giratoria

En la figura 1.24 se muestran los componentes de un circuito para radiogoniómetro básico que recibe señales a través de una antena de cuadro giratoria.

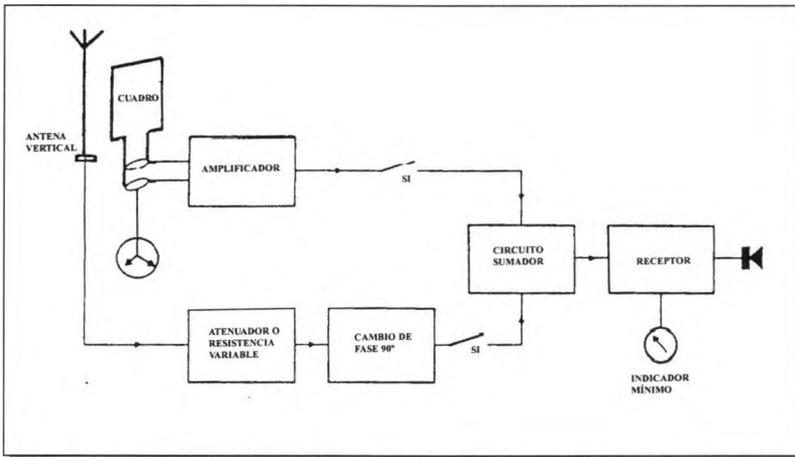


Figura 1. 24.- Diagrama de bloques de un radiogoniómetro de antena giratoria

El voltaje de la antena de cuadro es siempre menor que el de la antena vertical, por lo que es necesario amplificar el primero, para poder combinar ambos voltajes. El voltaje de la antena vertical pasa por un transformador variable que permite equilibrar los voltajes de la antena de cuadro y de la vertical. Seguidamente la señal que sale del transformador variable pasa a un rectificador de fase que la altera en 90° para ponerla en fase con el voltaje de la antena de cuadro.

Una vez modificados ambos voltajes, pasan a combinarse en un circuito que suma ambas señales mediante tres bobinas diferentes: dos de ellas para la introducción del voltaje del cuadro y de la antena vertical, y la tercera para realizar la adición de las mismas. Por medio de los interruptores S1 y S2 se seleccionan las tres formas de trabajo:

a) con S1 cerrado y S2 abierto, resulta la figura simple del diagrama en 8 de la antena de cuadro solamente.

b) Con S1 cerrado y S2 cerrado, resulta la figura del cardioide para la determinación del sentido de procedencia de la señal.

c) Con S1 abierto y S2 cerrado, resulta el diagrama polar de recepción omnidireccional de la antena vertical, que se puede utilizar para uso del gonio como receptor convencional.

Este tipo de receptores presentan el inconveniente de que uno de los órganos esenciales de él ha de estar al aire libre, obligando por su constitución a que el eje de giro y los circuitos móviles queden al exterior. Otra limitación importante de la antena giratoria primitiva era la de necesitar un acoplamiento mecánico entre la antena de cuadro y el indicador de demoras. El hecho de tener que instalar el indicador de demoras cerca del receptor, obligaba en ocasiones a colocar la antena en un lugar poco adecuado, condicionado por la distribución de la caseta de gobierno.

1.11.6 Radiogoniómetros de cuadro fijo

Hemos visto que uno de los elementos más importantes del Radiogoniómetro (RDF) es la antena y sus características, posteriormente, se ha estudiado los RDF de cuadro giratorio, es decir, aquellos cuyo sistema de antena se basa en el giro de la misma, se gira el cuadro hasta encontrar un mínimo de señal, pero este sistema es complicado e incomodo.

Por ello, Bellini y Tosi desarrollaron en 1907 otro sistema, que permitía a la antena de cuadro seguir siendo direccional y determinar la dirección de procedencia de una señal, sin necesidad de girar manual o mediante un motor la antena de cuadro. Con la aparición de la antena desarrollada por Bellini y Tosi, que consiste en dos cuadros fijos colocados formando ángulos rectos, quedó salvado este problema, siendo hoy el fundamento de la mayoría de los receptores radiogoniométricos.

1.11.7 Sistema Bellini-Tosi

El sistema Bellini-Tosi, en el que se fundamenta la Radiogoniometría de cuadro fijo, está constituido por :

- Dos antenas de Cuadro, con eje de simetría común y formando entre sí ángulos de 90 grados. El plano de una de las antenas se alinea en el eje longitudinal del barco y el plano de la otra en el eje transversal.

- Dos bobinas cuyos ejes se sitúan perpendiculares entre sí, por lo que están en el mismo plano pero desfasadas entre si 90°, estas bobinas están conectadas, mediante cableado, a los terminales de las antenas de cuadro.

Una bobina móvil, con giro de 360 grados, cuyo eje de simetría se inicia en el punto de corte de los ejes de las dos bobinas anteriores; ésta bobina se denomina bobina goniométrica. Al conjunto de las tres bobinas se le llama Sistema Goniométrico Magnético. La salida de la bobina giratoria o goniométrica se envía al Receptor.

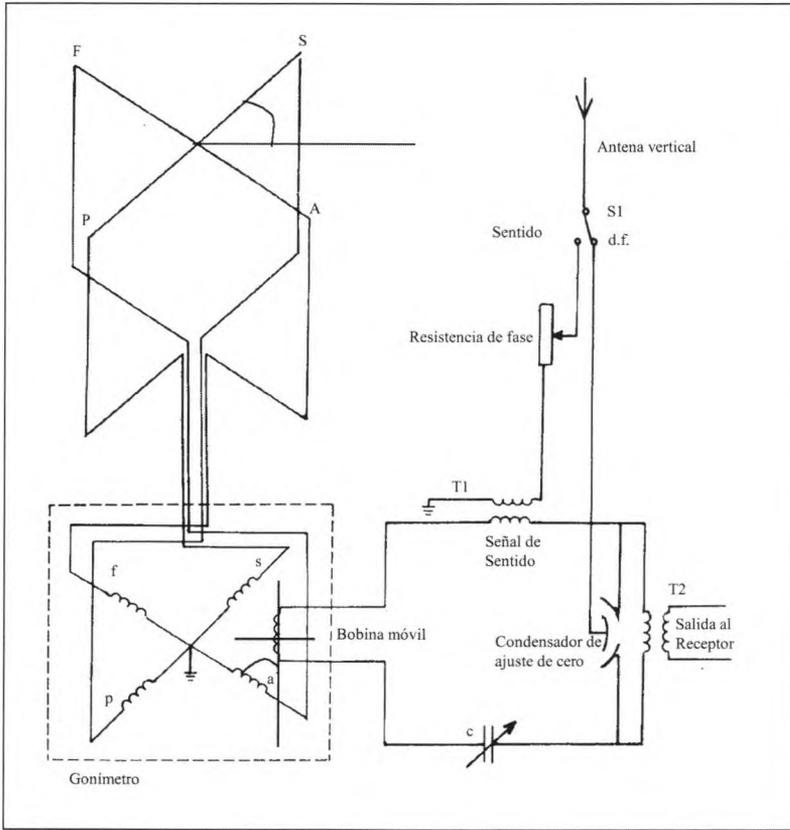


Figura 1. 25.- Sistema Bellini-Tosi

1.11.8 Análisis del sistema

Las corrientes que circularán por las bobinas serán:

$$I_1 = I_0 \cos \Phi, \text{ e } I_2 = I_0 \text{ sen}\Phi. \text{ Siendo } I_0 \text{ la intensidad máxima.}$$

La tensión inducida en la bobina móvil que va al receptor será:

$$|v| = M_1 \omega I_1 + M_2 \omega I_2. \text{ Siendo } M_1 \text{ y } M_2 \text{ los coeficientes de acoplamiento en los que, por construcción:}$$

$$M_1 = M_O \cdot \cos \Omega$$

$M_2 = M_O \cdot \sin \Omega$. Siendo $M_O =$ Coeficiente de acoplo máximo

Siendo ésta la mayor dificultad del sistema, construir estas bobinas con esos coeficientes de acoplamiento.

Según lo anterior, tendremos que la tensión a la salida de la bobina móvil será:

$$|v| = \omega I_O M_O \cos \Phi \cos \Omega + \omega I_O M_O \sin \Phi \sin \Omega = \omega I_O M_O \cos (\Phi - \Omega)$$

y tendremos un nulo cuando: $\Phi - \Omega = \pm \pi/2 \rightarrow \Omega = \Phi \pm \pi/2$. Es decir que la dirección de propagación está a $\pi/2$ del ángulo Ω .

Tendremos un máximo cuando $\Phi - \Omega = \pm \pi \rightarrow \Omega = \Phi \pm \pi$.

Las ventajas de este sistema están en:

1º Se evita el movimiento, no sólo si se trata de antenas grandes, sino también, si son pequeñas ya que siempre es bueno evitar mecanismos de giro mecánico en las antenas.

2º Se puede alejar, todo el sistema, de la antena.

Los inconvenientes son:

1º La dificultad de acoplar las bobinas, según las leyes anteriores, apareciendo errores al existir desacoplo.

2º Los cuadros tienen que ser idénticos y no sólo ellos, sino todo el sistema de conductores. Tiene que haber una simetría perfecta.

1.11.9 El receptor de antenas cruzadas tipo Bellini-Tosi

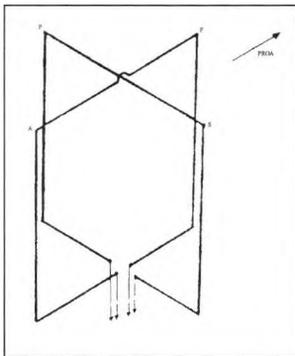


Figura 1. 26.- Espiras del Sistema Bellini-Tosi

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 (Fig. 1.26).

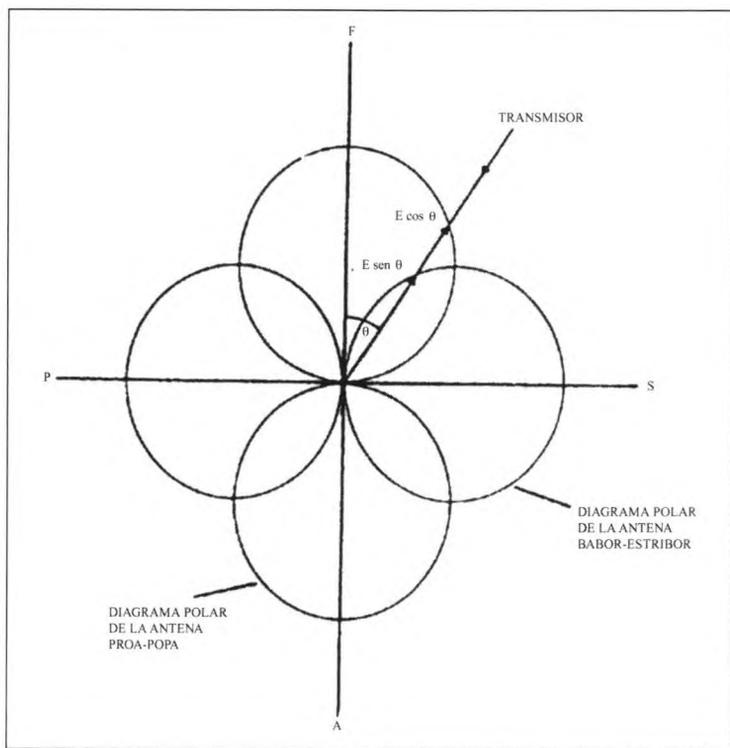


Figura 1. 27.- Diagramas de recepción

A bordo, este tipo de antenas se instalan de tal forma que un cuadro esté alineado en cruz y el otro perpendicular al primero. Por lo tanto, una antena estará referida al eje Proa-Popa (FA) y la otra al eje Babor-Estribor (PS).

Una señal que se reciba con un ángulo de marcación θ , generará un voltaje final igual a $E \cos \theta$, en la antena FA y otro, $E \sin \theta$, en la antena PS, (Fig. 1.27). Vemos que el ángulo θ , en este caso viene representado por dos 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.

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

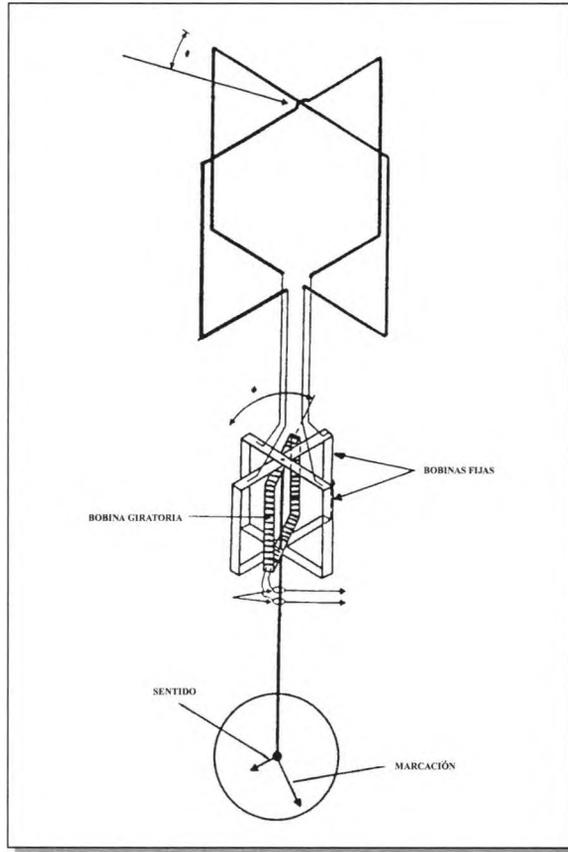


Figura 1. 28.- Sistema Bellini-Tosi completo

El goniómetro está formado por dos bobinas colocadas en los mismos planos relativos de las dos antenas. Una tercera bobina gira en el interior del campo magnético producido por la corriente que pasa por las bobinas (Fig. 1.28). Por lo tanto, la amplitud del campo magnético será proporcional a los voltajes de las antenas. El campo magnético de la bobina FA será proporcional a: $E \cos \theta$, y el campo magnético de la bobina PS será proporcional a: $E \sin \theta$.

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

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

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

cuando el voltaje inducido sea igual a cero, $\cot \theta = \tan \varphi$. Esto se cumplirá cuando, $\theta = \varphi + 90 + n 180$, donde $n = 0$ o a cualquier número entero.

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 de marcaciones al eje del rotor de la bobina giratoria, indicando la marcación cuando el rotor está orientado hacia la dirección de mínima recepción. A esta tercera bobina giratoria, también se le conoce con el nombre de “bobina exploradora”.

Como el goniómetro tiene el mismo diagrama polar que una antena simple de cuadro, tendrá también el problema de la incertidumbre de los 180° . Este problema se soluciona de la misma manera, añadiendo un voltaje omnidireccional.

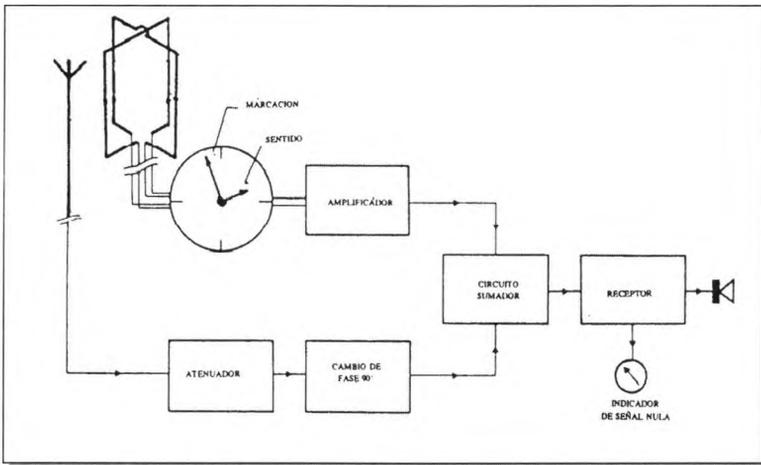


Figura 1. 29 - Diagrama de bloques del sistema RDF fijo

En la figura 1.29 se muestra de forma esquematizada el circuito característico de este tipo de receptores. Se ve que en su composición es muy similar al de antena giratoria, diferenciándose solamente, en la antena cruzada y el goniómetro o conjunto de bobinas.

1.12 Radiogoniómetros automáticos

Los Radiogoniómetros vistos anteriormente forman parte del grupo de los denominados “manuales”. Con ellos es necesario girar a mano, bien la antena, o la bobina giratoria, para obtener la marcación de la señal recibida. Con la finalidad de facilitar la labor, se idearon diferentes modelos de radiogoniómetros automáticos, que nos indican la demora simplemente con sintonizar el receptor en la frecuencia adecuada.

En esencia, el principio fundamental del radiogoniómetro automático (ADF) es el mismo que para el radiogoniómetro manual (RDF), con la diferencia que en lugar de determinar la dirección y sentido de una radio señal, mediante la habilidad del operador en el manejo del radiogoniómetro de forma manual, aquí el trabajo lo realiza el equipo, mostrando en un display la marcación exacta del buque respecto a la estación costera. Por lo tanto, el ADF se fundamenta en la determinación de la dirección en la cual se encuentra una estación de situación conocida respecto al buque que tratamos de situar; esta operación se realiza mediante las antenas de cuadro, en forma circular, una orientada de proa a popa y otra cruzada con ella en la dirección babor-estribor, en la intersección de las dos, se coloca la antena vertical omnidireccional, que determinará el sentido mediante el diagrama cardioide correspondiente.

Los Radiogoniómetros automáticos actuales incorporan parte de las nuevas tecnologías: electrónica digital, microprocesadores, circuitos integrados, etc., lo cual hace que a pesar de la implantación de nuevos sistemas de radio posicionamiento como el Loran C, Decca, Omega, satélite, etc.; el más antiguo de los Sistemas, sigue siendo de los más utilizados en la navegación. Existen varios tipos de radiogoniómetros automáticos, los más importantes son los siguientes:

1.12.1 Radiogoniómetro de giro mecánico

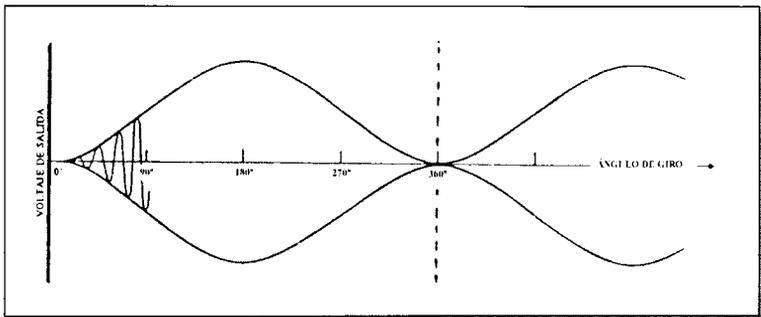
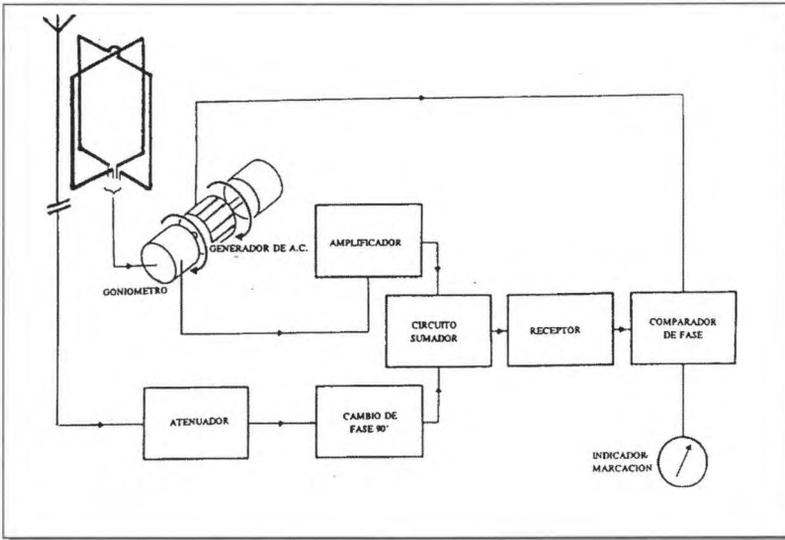


Figura 1. 30.- Diagrama de la señal recibida

Este tipo de radiogoniómetro utiliza una antena cruzada y un receptor normal con la única salvedad que el goniómetro está acoplado a un motor que lo hace girar a gran velocidad. En la figura 1.30 se puede ver la señal de salida del goniómetro cuando la antena recibe una transmisión continua. La posición de los puntos de recepción nula en el eje X da la demora de la señal y la situación de estos puntos en función de su desplazamiento angular, esto se consigue mediante el acoplamiento mecánico de un generador de corriente alterna al motor. Este produce un voltaje de referencia, que sirve para obtener la posición del mínimo.



En la figura 1.31, se puede ver la disposición clásica del circuito para este tipo de radiogoniómetros. Presenta el problema de la incertidumbre de los 180°, que es solucionado igualmente, introduciendo un voltaje omnidireccional proveniente de una antena vertical. La introducción de este voltaje produce una modulación en la señal, reduciendo los mínimos a la mitad y como una vez ocurrido esto, ya se ha generado el cardioide, los mínimos aparecen desplazados con respecto a los originales.

1.12.2 Radiogoniómetros de giro electrónico

Su fundamento consiste en modular la señal de salida de cada antena, consiguiendo por procedimientos electrónicos, el mismo efecto que el radiogoniómetro de giro mecánico.

En la figura 1.32, si modulamos los voltajes de las antenas FA y PS, $E \cos \theta$ y $E \sin \varphi$, con los voltajes $E \sin \omega t$ y $E \cos \omega t$, respectivamente, obtendremos los siguientes voltajes resultantes:

Voltaje de la antena FA = $E \cos \theta \sin \omega t$ Voltaje de la antena PS = $E \sin \vartheta \cos \omega t$. Existen dos puntos en el ciclo de modulación en los que la amplitud de los voltajes es igual. Esto ocurre cuando,

$E \cos \theta \sin \omega t = E \sin \theta \cos \omega t$ es decir, cuando $\omega t = \theta$. Una vez conocidos los dos puntos en los que los voltajes de las antenas son iguales, traduciéndolos al valor correspondiente en fase, podremos conocer el ángulo de marcación θ .

Las amplitudes de los voltajes modulados son iguales en dos ocasiones a lo largo de un ciclo de modulación, debido a la presencia de dos marcaciones recíprocas. La incertidumbre se soluciona añadiendo un voltaje procedente de una antena omnidireccional, como en los casos anteriores.

1.12.3 Radiogoniómetros servo - activados

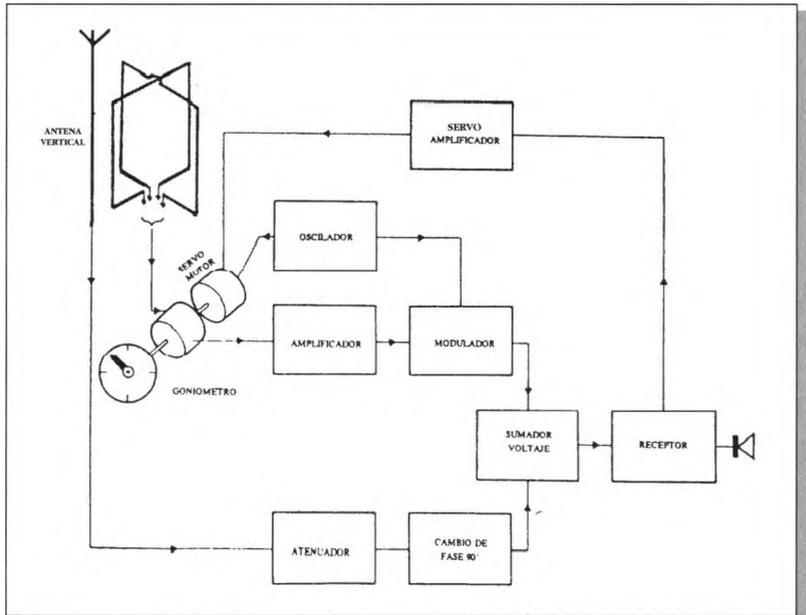


Figura 1. 32.- ADF servo activado

Estos radiogoniómetros se basan en un servomotor que mueve al goniómetro o conjunto de bobinas (fijas + giratoria). El receptor y el goniómetro están conectados, de tal manera, que el servomotor mueve el rotor del goniómetro hacia la posición de la señal mínima. En estos radiogoniómetros se elimina la posibilidad de que lleguen las dos marcaciones recíprocas. La antena omnidireccional no se utiliza para crear el diagrama polar de recepción "cardioide", sino para comprobar que el voltaje erróneo ha sido generado con la fase correcta por el servomotor, consiguiendo que el rotor del goniómetro gire siempre hacia el mínimo real.

Supongamos el caso en el que el rotor del goniómetro se encuentre en la posición de la demora recíproca sintonizando una determinada señal. Teóricamente el goniómetro permanecería estático en esa posición, pero en la práctica, simplemente el ruido del receptor impide que permanezca estático en esta posición falsa. En cuanto el rotor se mueva ligeramente de su posición,

se generará un voltaje que orientará el rotor hacia la posición correcta (Fig. 1.33). La mayoría de estos receptores están dotados de un sistema de Vigilancia Automática o "Autoguardia", que se encuentra conectado entre la alarma del aparato y el servo sistema de determinación de la demora, con la finalidad de poder obtener demoras automáticas en la frecuencia internacional de socorro de 500 kHz., cuando no se esté utilizando el aparato.

El Autoguardia desactiva el servomotor hasta el momento de recibir energía del circuito de alarma. En ese momento un relé activa el servomotor durante unos segundos, permitiendo conocer la dirección de procedencia de las señales del buque en peligro. Si seguidamente se obtienen radio demoras de otro buque que se encuentre en las proximidades, la acción combinada de nuestro buque y esta última, ambas dotadas de Autoguardia, permitirá obtener con precisión la situación del buque en peligro.

1.12.4 Radiogoniómetros automáticos con microprocesador

Este tipo de receptores también utilizan una antena de cuadros cruzados con una antena integral de determinación del sentido de procedencia de las señales. La salida de cada una de las antenas se combina en un receptor mediante un sistema de interruptores controlados por un microprocesador.

Básicamente constan de dos receptores, A y B, muy estables, teniendo la posibilidad de realizar la conversión doble de las señales, siendo del tipo superheterodino, es decir, que están dotados de un oscilador capaz de inducir una fuerza electromotriz constante en el circuito.

La estabilidad en la frecuencia de ambos receptores se consigue mediante la acción del microprocesador, que controla a un sintetizador de frecuencias con la finalidad de conseguir las frecuencias necesarias en el oscilador local. La estabilidad en la frecuencia, la fase y la ganancia, son importantes si se quieren evitar errores en el funcionamiento. La componente transversal y la longitudinal de la señal resultante, es decir, la señal recibida en cada antena de cuadro, es enviada a un receptor donde se comparan ambas amplitudes. La señal más fuerte de las dos, es enviada al receptor primario "A". Para eliminar la incertidumbre de los 180°, se conecta la antena de sentido al receptor "B". Seguidamente, por comparación de las fases de las señales de la antena de cuadro seleccionada y la de la señal de la antena de sentido, se determina la marcación mediante un proceso muy complejo.

Cuando el equipo esté encendido, o se encuentre en situación de preparado (Stand-by), y se recibe una señal automática de alarma, el procesador seleccionará de forma automática la frecuencia de 500 kHz, aparecerá en la pantalla una señal de aviso, y a continuación comenzará a tomar demoras del buque en peligro. Seguidamente, mantendrá en la pantalla dos demoras consecutivas,

siempre y cuando considere que son de calidad o confianza. El equipo obtiene demoras mediante una técnica de canal gemelo, conmutando la salida de la antena apropiada a uno de los receptores que lo requiere. El equipo puede verse como un par de milivoltímetros de RF los cuales miden las salidas de la antena de cuadro o sentido bajo el control del microprocesador. El microprocesador opera los relés a las entradas del receptor para obtener la selección y leer la salida digital de un convertidor AND para obtener las medidas necesarias usándose para calcular la demora promedio cada segundo, la cual, se muestra en el TRC de presentación visual. Este tipo de operación e inicialización de variables tales como la frecuencia se introducen por vía del teclado.

1.12.4.1 Sistema de recepción

La unidad receptora realiza el procesamiento de la señal analógica, la cual, es necesaria para convertir una señal recibida en una forma adecuada para usar por el microprocesador basado en la digital. También proporciona una salida demodulada, derivada de una señal recibida, la cual puede ser monitorizada en un altavoz externo o en unos auriculares. Todas las conmutaciones del receptor están bajo el control directo del μP y un doble sistema de CAG optimiza la ganancia del receptor por encima de una escala ancha de condiciones de operación. El módulo del receptor se subdivide en:

a) - Circuitos de Conmutación de Antena:

- Antena de cuadro Proa-Popa.
- Antena de cuadro Bbr-Estri.
- Antena de sentido.
- Selección conmutada por relés.

b) - Receptor propiamente dicho.

Con una parte común y otra dividida de modo gemelo en canales A y B. Formado por un par de receptores idénticos, cada uno cubre la banda de frecuencia de 70kHz a 8,5MHz y emplea doble conversión con una primera FI de 10.7MHz y una segunda FI de 20kHz. El receptor gemelo "A" y "B" canales son controlados por un oscilador común y doble sistema de C.A.G. y cada uno tiene una salida nominal de 0 dBm a 20kHz \pm 200Hz. Las salidas están controladas por el μP por vía análoga al convertidor digital con la salida del canal "A". También, sirve para conducir el sistema principal del CAG. Cada receptor tiene salidas de ancho de banda estrecho y ancho, las cuales pueden seleccionarse por el procesador y usado para conducir los 20kHz al monitor.

c) Sistema de CAG

Dos funciones principales nos proporciona esta parte del receptor.

a) Mayor CAG de antena de cuadro. La salida estrecha en la banda de 20kHz procedente del canal A del receptor. Se usa para generar un voltaje de control de ganancia automático el cual controla la ganancia de los receptores gemelos. Estos datos los almacena el μP y los envía al monitor de audio cuando es necesario.

b) Receptor Monitor de 20kHz. La salida de 20kHz de los receptores A y B se usa para conducir al receptor, que tiene su propio sistema de CAG, dos demoduladores que permiten que la señal recibida sea monitorizada y una salida integral de ancha etapa conductora al altavoz.

- Sintetizador de frecuencia:
- Oscilador/Regulador que contiene cuatro circuitos:
- Sintetizador buffer.
- Oscilador de cristal.
- Oscilador de frecuencia de batido.
- Control de filtro.

1.12.4.2 Sistema lógico

El sistema lógico, representado en la figura 1.34, está formado por: un teclado, un sistema de alimentación, un microprocesador, un detector de demora, una interfase para el sistema giroscópico y un sistema de presentación con un TRC lógico.

a) Teclado: Contiene los circuitos necesarios para enviar los datos e informaciones exteriores al sistema.

b) El Procesador: Contiene circuitos que le permiten relacionarse con todas las demás unidades, además tiene memorias EPROMS, RAM y circuitos I/O con algunos componentes adicionales: buses, salidas de control para periféricos de panel lógico de control.

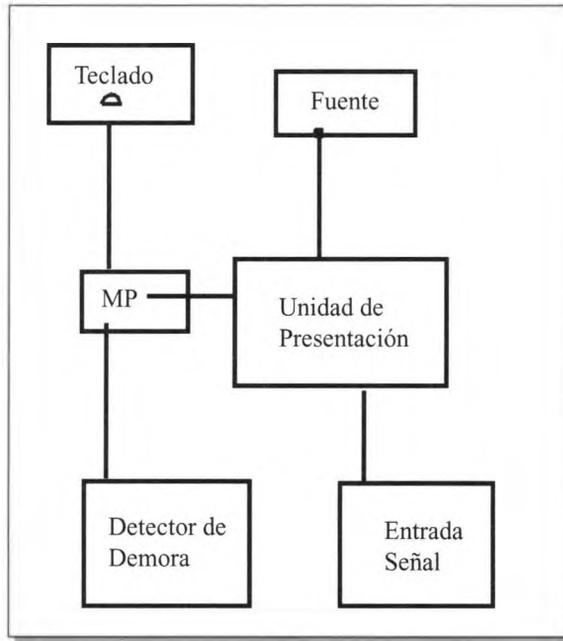


Figura 1. 33.- Diagrama del sistema lógico.

c) Sistema de detección de demora: desempeña un importante papel en todo el equipo, ya que:

- Se encarga de medir la diferencia de fase entre las entradas de los dos receptores, promediando 2048 diferencias y almacenando los resultados en pocos μs .

Utiliza los datos introducidos por el teclado y mide las salidas del receptor, corrigiendo por diferencia de fases entre receptores. Convirtiendo entonces a 10 bit, números digitales promediando 256 lecturas, calculando la media entre las diferencias. El resultado lo envía al μP .

- Mide el voltaje C.A.G. y las salidas en números de 8 bit y los envía al μP . La medida de diferencia de fase entre receptores se realiza sobre 2048 ciclos, promediando y almacenando los datos. El μP principal selecciona la entrada, dependiendo del nivel de la señal, si ésta es sobre la marca mínima, el lóbulo más grande se forma en ambos receptores, en otro caso se selecciona la antena de sentido. El canal A asume la dirección.

d) Interfase de giro: mediante circuitos puerta, TTL, Schmitt, flip-flops controla las entradas y salidas de los datos de la giro.

e) Circuito lógico TRC: muestra en pantalla los datos procesados. Está formado por:

- 1.- Circuito TRC, con control DMA.
- 2.- Circuito reloj.

1.13 Receptores direccionales

1.13.1 Introducción

Los Receptores direccionales son unos equipos de radio ayuda a la navegación que determinan la dirección, aproximada, de procedencia de una señal radioeléctrica, emitida en una frecuencia determinada. Son equipos cuyo uso se limita a buques de muy pequeño tonelaje y se basan en el principio del radiogoniómetro, no se usan en buques de más de 1.600 TM.

1.13.2 Principios de funcionamiento

Los receptores direccionales, al igual que los radiogoniómetros, se basan en la teoría básica de la directividad de antenas, según la cual, si un hilo de antena bipolar está dirigida hacia una estación transmisora, la señal recibida es mínima. Cuando el hilo de la antena dipolo simple horizontal está en posición paralela al frente de ondas procedentes de un emisor, se produce una señal inducida de valor máximo. Un dipolo como el mencionado tiene pobre capacidad de recepción, para obtener una mayor calidad en la señal se utilizan antenas de cuadro ya que son más eficaces, aunque su respuesta a la captación de señales es algo diferente a la del dipolo. Una señal polarizada verticalmente, al incidir sobre los hilos de la antena, induce corrientes en los lados verticales S_1 y S_2 . Si el transmisor está a igual distancia de los lados S_1 y S_2 (posición del lector) las corrientes inducidas serán de igual amplitud y polaridad, por lo que se cancelarán las dos en la parte superior del cuadro, dejando la señal reducida a cero. Si giramos el cuadro 180° , los hilos se colocan en una posición análoga y tendremos otra señal de valor cero. Las frecuencias en las que reciben estos equipos son: Banda de RDF. 200 a 400 kHz. Radiodifusión. 600 a 1.200 kHz. Marina. 1.500 a 3.000 kHz.

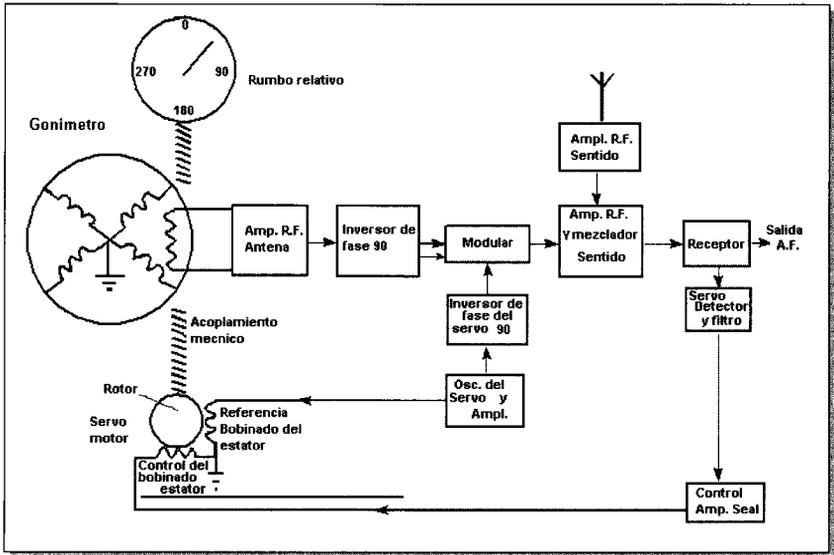


Figura 1.34.- Diagrama de bloques del Receptor Direccional

1.13.3 Diagrama de bloques del sistema

1.13.3.1 Análisis del diagrama

Un receptor direccional automático del tipo de lectura directa funciona del siguiente modo: Cuando el motor funciona, la bobina de exploración gira y la salida de voltaje de la bobina quedará registrada en el cuadro de bobinas. Cuando la bobina de exploración se enfrenta a la dirección de silencio, la salida de la bobina cae a 0V y el motor se para. En ese momento el indicador, que ha estado funcionando conjuntamente con la bobina de exploración, indicará la dirección y sentido. El indicador señala una sola dirección que es la radiomarcación de la estación.

1.13.3.2 Antena y cuadro de bobinas

Cuando la posición de la bobina de exploración del cuadro de bobinas es como en la figura 1.38, ésta gira a la izquierda y se para cuando el indicador señala el sentido de la onda recibida.

1.13.3.3 Motor y servo amplificador

El motor de cc puede girar a dcha. e izda. dependiendo de que la tensión sea positiva o negativa comparada con el potencial de alimentación. La velocidad del motor de cc puede ser disminuida mediante el tren de engranajes y así la

bobina de búsqueda y el indicador pueden funcionar adecuadamente. El servo amplificador es de realimentación negativa y amplifica la señal de cc obtenida del circuito detector de fase, previniendo la oscilación (hunting) de la aguja indicadora.

1.13.3.4 Circuito faseador de 90°

La fase de salida de la antena de cuadro se invierte 90° y así puede ser puesta en fase con la entrada de la antena vertical o igualada en la fase inversa, es decir 180°.

1.13.3.5 Modulador balanceado

La señal de alta frecuencia procedente del faseador se compara con la generada en el receptor direccional y se modula por una onda de baja frecuencia de aproximadamente 55 Hz del oscilador local.

1.13.3.6 Receptor

Es del tipo superheterodino y su salida acciona el altavoz. Por otra parte, envía una salida de baja frecuencia de 55 Hz. al motor de c.c. a través del circuito detector de fase, por el cual se produce el sentido de giro correcto del motor de c.c.

1.13.3.7 Detector de fase y oscilador de audio

El primero transforma la señal de 55 Hz obtenida por el receptor en una tensión de c.c. El segundo da los pulsos al circuito detector de fase como una señal de control y también el modulador balanceado, como una frecuencia modulada.

1.13.3.8 Composición de unidades

Generalmente, un receptor direccional está formado por las siguientes unidades:

- Unidad de antena: formada por una antena de cuadro, otra vertical y un transformador balanceado combinado con el goniómetro.
- Unidad principal: goniómetro, receptor, circuito servo, fuente de alimentación estabilizada, pantalla indicadora de frecuencia y un panel de control.

1.14 Obtención de radiomarcaciones

Un barco puede determinar su posición tomando una marcación a dos transmisores de la costa, cuyas localizaciones sean conocidas y dibujando las dos marcaciones en un mapa o plano del área local. El punto del plano en el que dos marcaciones se cortan determina la posición del barco.

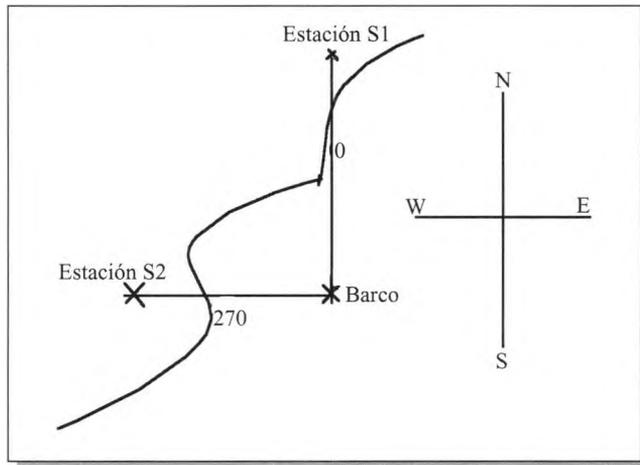


Figura 1. 35.- Obtención de una marcación

Así, en la figura 1.35 tenemos un barco que toma la marcación a dos estaciones costeras S_1 y S_2 cuyas posiciones están representadas en el plano. La marcación de S_1 resulta ser al Norte, o sea 0° . La marcación de S_2 resulta ser al Oeste, o sea, 270° desde el Norte Verdadero. En el plano se dibuja una recta a través de la posición 1 a un ángulo de 0° . El ángulo se toma de la rosa de los vientos, dibujada en la carta de navegación, y se traslada a la posición S_1 con las "paralelas". A través de S_2 se dibuja otra línea. La posición indicada por la intersección de ambas se denomina situación relativa

1.14.1 Procedimiento a bordo

El proceso a seguir para tomar una buena radiomarcación, a bordo de un buque, con un RDF o ADF respecto a una o varias emisoras en tierra, que disponen de radiofaro es el siguiente:

1.- Aislar todas las antenas de la estación radio, excepto la de cuadro y sentido del RDF.

2.- Conectar el receptor, seleccionando en la posición correspondiente al tipo de emisión, control de volumen en máxima ganancia, agudeza de cero en posición central, el conmutador de diagrama polar en recepción.

3.- Localizar en el Nomenclátor de Radiofaros y Servicios Especiales, la frecuencia, el modo de emisión y en general las características del radiofaro y ajustar el receptor de acuerdo con estos datos.

4.- Con la señal correctamente sintonizada cambiar el conmutador del diagrama polar (sentido), de la posición Recepción a la posición D (dirección). Al girar la aguja del goniómetro sobre la escala aparecerán dos mínimos de la señal desplazados uno de otro 180°. Ajustar la aguja al mínimo de señal hasta conseguir un mínimo igual o inferior a 1°.

5.- Para determinar el sentido de la señal, pasar el conmutador a la posición de sentido, el sentido verdadero será aquel en que se oiga la señal con mayor intensidad.

6.- La lectura así obtenida representa la marcación del transmisor con relación a la línea de proa, que, sumada al rumbo verdadero del buque nos dará la demora verdadera del transmisor.

1.14.2 Estación radiogoniométrica

Ver las instrucciones especificadas en el Apéndice 41 y Artículo 35 del Reglamento de Radiocomunicaciones, en lo referente a estaciones radiogoniométricas y procedimiento para obtener marcaciones radiogoniométricas y posiciones.

1.15 Calibración y compensación de errores

Dadas las características del sistema radiogoniométrico y la cantidad de factores que intervienen en la obtención de una radiomarcación, es posible que se puedan cometer errores en el resultado de la misma, por varios motivos que podemos sintetizar en tres grandes grupos de clases de errores.

-Errores de propagación. Causados por la onda electromagnética o factores relacionados con ella y las condiciones en que se propaga.

-Errores de emplazamiento. Aquí se pueden agrupar todos los errores que se pueden producir por las características de las instalaciones de los equipos. Así como, los factores asociados.

-Errores de los equipos. Errores que se cometen o pueden cometerse por las características intrínsecas de los equipos.

1.15.1 Calibración de un radiogoniómetro

Se denomina calibración a la acción de determinar experimentalmente los valores absolutos que corresponden a la escala de un RDF. Para ello, es necesario comparar las lecturas de las radiomarcaciones del RDF con otras lecturas que correspondan a unas referencias fijas, exactas y fiables.

El modo más frecuente de comparar ambas marcaciones para ver la magnitud del error es haciendo girar el barco en un círculo dentro de la vista de una antena transmisora RDF. Esto nos permite tomarse simultáneamente marcaciones visuales con alidada y marcaciones de radio cada cinco o diez grados, según gire el barco. En un gráfico, con las lecturas visuales y las radioeléctricas podemos trazar la curva de desvíos, con lo cual podemos asegurarnos una corrección para posteriores lecturas. Este procedimiento sirve para compensar los errores cuadrantales.

Debido a que el RDF es sensible a las señales reflejadas desde los objetos próximos, es importante que la calibración se lleve a cabo con el barco en condiciones de navegación, por lo que respecta a drizas, grúas, mástiles, etc.

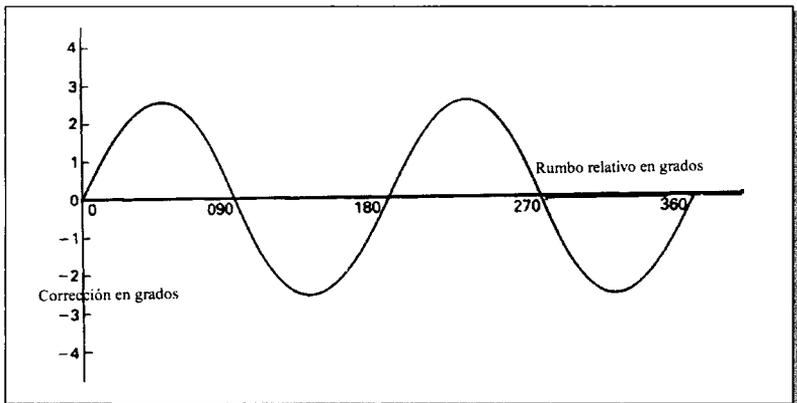


Figura 1.36.- Curva de calibración del RDF

Puesto que las antenas de la estaciones de radio están, normalmente, instaladas sobre la parte superior del cuadro de antenas, la calibración del RDF puede variar si se cambia la frecuencia resonante de las antenas. Para prevenir esto y como condición de calibrado del RDF, éste debe estar enlazado con el conmutador de antenas de la estación, de tal manera que al proceder a la calibración, se debe conectar el conmutador en la posición RDF, con ello se desconectan las demás antenas y cierra un circuito que conecta el receptor RDF a su antena y las demás no producen efectos sobre la marcación. Se llama, por lo tanto, calibración a la compensación mediante curva de desvíos, del error cuadrantal.

1.15.2 Compensación del RDF

Se llama compensación de un RDF a la acción de sumar errores opuestos, producidos mecánica, eléctrica o matemáticamente, a las marcaciones obtenidas por el RDF que tengan algún tipo de error, de este modo se obtienen unas marcaciones sin error apreciable. Los tipos de error en la radiogoniometría se pueden clasificar:

1.15.2.1 Errores de propagación

Causados por alguna perturbación atmosférica, los podemos clasificar en tres tipos:

(a) Efecto de noche

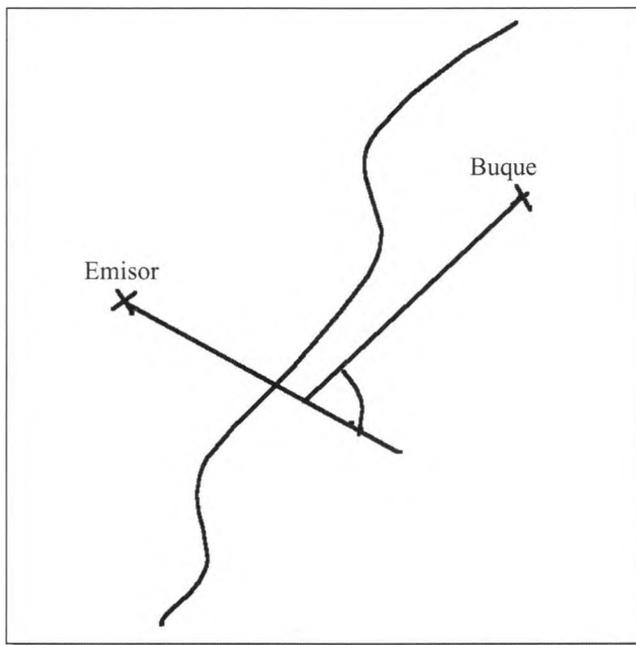


Figura 1.37.- Efecto de noche

El efecto de noche tiene lugar por la coincidencia de la onda directa o terrestre y la indirecta reflejada en las capas atmosféricas llamadas de HEANISIDE o ionosfera, y que varíe la polarización de la onda electromagnética. Por tanto, al tomar una marcación con el RDF en horas próximas al anoecer se produce el fenómeno conocido como FADING y no podemos obtener un nulo de señal suficientemente nítido, analizando las ffeemmii de la antena veríamos que los lados horizontales de la antena de cuadro inducen, también, una femi siendo la resultante de todas ellas un nulo confuso.

En efecto, al incidir la onda directa induce en la antena de cuadro una femi en los lados verticales, pero la onda indirecta induce en los horizontales una femi, siendo, por tanto, la resultante una suma algebraica de todas las ffeem-mii y resultaría un nulo confuso.

(b) Error de círculo máximo o de semiconvergencia

Cuando se realizan marcaciones a una distancia superior o igual a 150 millas de la emisora, aproximadamente, hay que tener en cuenta la curvatura de los círculos máximos, ya que, las señales radio electromagnéticas se dirigen al receptor siguiendo el camino más corto, es decir el del círculo máximo, por lo tanto, en las cartas mercatorianas las ondas de radio aparecen como si recorriesen líneas curvas en lugar de rectas, ya que la tierra es una esfera no perfecta.

$$C = \frac{1}{2} \Delta L \operatorname{sen} \gamma_m$$

Para corregir este tipo de error, en la marcación obtenida cuando la distancia emisor - receptor es elevada, se efectúa una compensación o corrección, en este caso, sobre las cartas mercatorianas cuya ecuación es:

siendo γ_m = la latitud media, y ΔL = diferencia de longitud.

(c) Error de costa

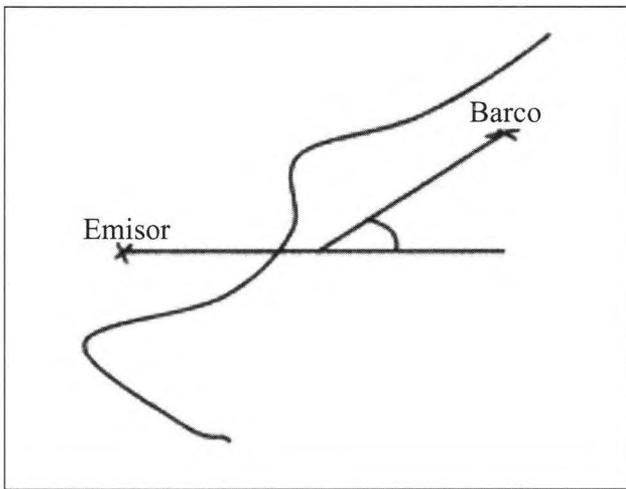


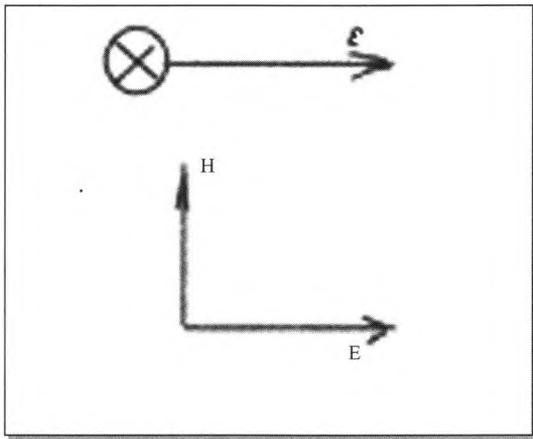
Figura 1.38.- Efecto de costa

Al pasar las ondas electromagnéticas de tierra a mar, la velocidad de propagación de la onda cambia y en consecuencia su dirección varía, a este fenómeno se le llama efecto terrestre o de costa y se debe a que las ondas al pasar de

una zona terrestre a una de agua, con un ángulo distinto del recto, se refractan o curvan hacia la línea de costa, por ello se denomina refracción de la línea de costa.

Cuanto más cerca de la costa y apartado de la normal a la costera, mayor será el error de refracción. También, cuanto mayor sea la distancia barco-tierra y más cerca de la normal a la costera menor será el error.

Por otra parte, el error de refracción puede variar la marcación del RDF por acantilados o cualquier gran obstáculo.



(d) Errores de emplazamiento

Es obligatorio tener la antena en la línea de crujía y en lo más alto así como aislada de superestructuras, antenas de látigo y de cualquier conductor que pueda interferir en la correcta recepción de la antena. Sin embargo, como el barco rerradia un campo, puede inducir errores en la marcación. Estos errores se pueden corregir estudiando el campo que rerradia el barco, el cual se puede considerar como una bobina cuyo campo electromagnético creara un campo propio que se puede descomponer en dos, uno en fase con la onda del campo y otro en desfase de 90° perpendicular a la onda.

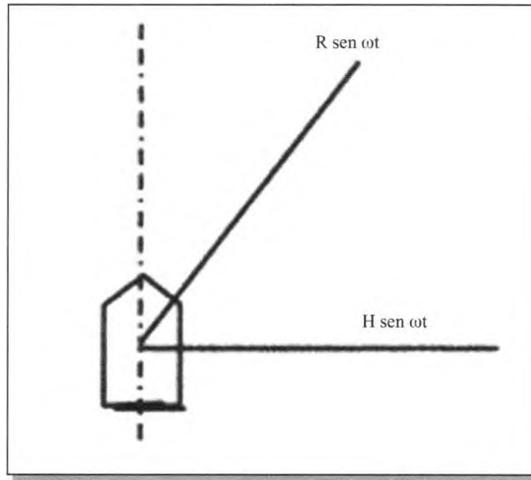
En efecto:

Sí $H \text{ sen } \omega t =$ campo de la emisora, entonces el campo magnético rerradiado será $R \text{ sen } \omega t$. Experimentalmente se sabe que los vectores R y Q están en posición trasversal, en relación al barco.

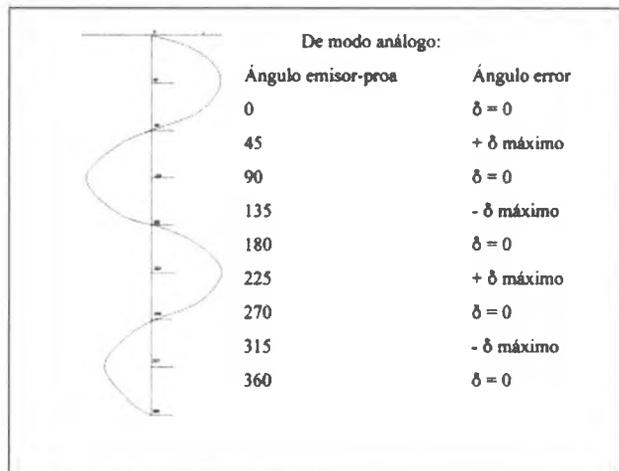
(e) Error de ley cuadrantal

Considerando la onda magnética que llega a la línea de crujía de forma paralela, el campo magnético es perpendicular y la femi es máxima.

En consecuencia, cuando la emisora está por la proa el error cuadrantal es cero.



Si $R \text{ sen } \omega t$ está desfasado 45° de $H \text{ sen } \omega t$ la resultante nos dará el ángulo de error δ . Si el desfase fuese de 90° , el error sería nulo.



0

Del mismo modo, cuando el ángulo formado por la línea proa-popa y la dirección de la emisora vale 135° , el error será de -

Con los datos así obtenidos, podemos confeccionar una curva de desvíos con la que se puede compensar el error cuadrantal y así calibrar el RDF.

(f) Error de ley semicircular

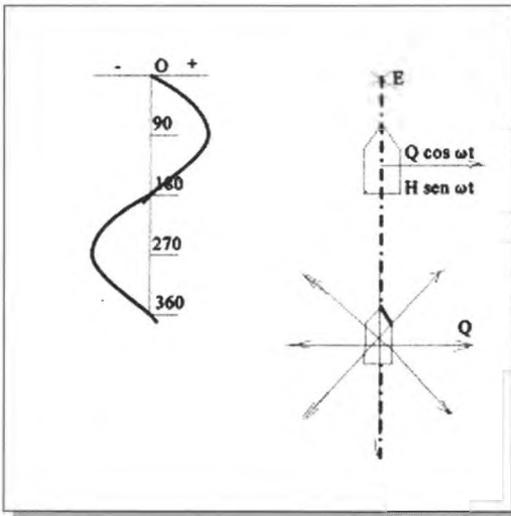
En este error interviene la componente del campo rerradiado:

$Q \cos \omega t$ está desfasado 90° de $H \sin \omega t$, por tanto, cuando uno es máximo el otro es nulo. Como consecuencia de ello, se puede considerar que cuando H es máxima, entonces Q es nulo.

Así, en los instantes en que estando desfasados H y Q en la dirección de 90° , resulta un vector giratorio que produce un error máximo, el resto de los instantes se obtiene un nulo contuso.

(g) Efecto de antena de cuadro y vertical

Es el error que se produce cuando las antenas de cuadro no son simétricas o no están bien aisladas, así como la falta de aislamiento en los conductores o en la antena vertical. El efecto se puede detectar porque el nulo es contuso. La explicación de este efecto radica en que la corriente inducida por el campo E en las dos mitades verticales de la antena, cuando el plano es perpendicular a la dirección de llegada de la onda, no sumara cero y por eso la dirección de llegada precisa para dar una posición nula no será perpendicular al plano del cuadro.



Esta descompensación en los dos tramos verticales puede deberse a diferentes capacidades parasitarias con tierra a cada lado del cuadro. De todos modos, en un sistema Bellini-Tosi, bien diseñado, donde cada cuadro está compensado por una derivación central a tierra este problema no suele presentarse.

(h) Errores de los equipos

Son aquellos arares propios de los equipos electrónicos con partes mecánicas, desgastes de las piezas por rozamiento, desfase en el dial, etc.

1.16 Servicio de radiofaros

Con el fin de completar el sistema radiogoniométrico, ya que el equipo a bordo es insuficiente para tomar marcaciones, existe una red mundial de insoluciones terrestres en las cuales existen unos equipos emisores que, según sus características se puede establecer una clasificación. Básicamente, todos emiten periódicamente señales morsa por medio de las cuales se identifican y a continuación emiten señales continuas para que, a bordo se puedan efectuar las correspondientes marcaciones. Actualmente, dado el progresivo desuso del RDF, van quedando solamente emisoras que emiten para la aviación y de los cuales se sirve la navegación marítima, por eso hoy son muchos los radiofaros aéreos utilizados por la navegación marítima. Las distintas administraciones a través de la OMI y la UIT se encargan de tener en sus costas instalaciones de este tipo para la seguridad de la vida humana en el mar.

1.16.1 Radiofaros

Son estaciones de radiomarcación que emiten señales que al ser captadas a bordo por un equipo adecuado (RDF), proporciona al buque una indicación directa de la marcación de la estación. Los radiofaros pueden ser:

1.16.1.1 Radiofaros circulares (RC)

También llamados omnidireccionales, son los formados por una estación radioeléctrica cuya emisión es radiada en todas las direcciones del horizonte. Se instala a bordo de buques-faro o en tierra en las proximidades de la costa, en lugares donde las ondas pasan de tierra a la mar con un mínimo de oblicuidad para evitar la retracción de la línea de costa. Los radiofaros circulares se indican en los libros o nomenclatores, en los que viene información sobre estos servicios, como RC y trabajan generalmente en frecuencias próximas a 300 kHz; operan en períodos cuya concreción viene en el nomenclátor correspondiente a radiofaros.

1.16.1.2 Radiofaros dirigidos (RD)

Son aquellos cuya estación radioeléctrica emite un haz de ondas dirigidas dentro de estrechos Emites o en un sector determinado. Constan de dos antenas de cuadro fijas PP' y RR' según la Fig.1.42. Las dos antenas transmiten con la misma longitud de onda y con la misma potencia, de modo que, los diagramas polares de intensidad de emisión serán iguales.

En el eje AB, llamado eje de radiación, que es la bisectriz del ángulo que forman los planos de los cuadros, las señales emitidas por estos, se oirán con igual intensidad, de modo que si uno de los cuadros emite rayos y el otro puntos, combinados de tal manera que los puntos serío emitidos entre las rayas, todo buque, provisto de un receptor radiotelegráfico, que se encuentre en el estrecho haz AB oirá un sonido continuo indicador del mantenimiento en la derrota señalada por el radiofaro, pero si se sale del nimbo, la preponderancia de las rayas o de los puntos indicará el signo del error.

Se instala en aquellos lugares en que los buques deben llevar una derrota fija. En Vigo esta instalado un radiofaro de este tipo para facilitar la entrada en la ría. Se indican en el nomenclátor por RD.

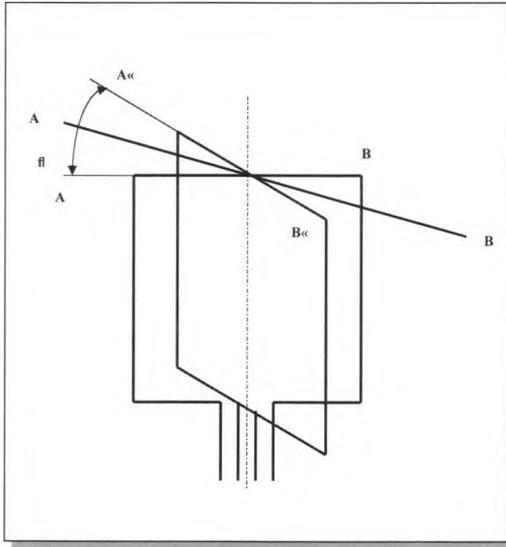


Figura 1. 42.- Radiofaro Dirigido

1.16.1.3 Radiofaro dirigido giratorio (RW)

Se denominan así a las estaciones que emiten uno o varios haces de ondas dirigidas animadas de un movimiento constante de rotación. Consta de una antena de cuadro, dotada de un movimiento giratorio que describe una rotación completa en un minuto. La separación de los lados verticales del cuadro

debe ser tal que, las ondas sumen los efectos en la dirección del plano del cuadro por coincidir en fases iguales y, en cambio, se anulan en la dirección perpendicular a la anterior. Por lo tanto, existe un máximo de emisión en la dirección del plano del cuadro y un mínimo en la dirección perpendicular a la anterior. Cuando el mínimo demora al norte del radiofaro, este emite una señal y en el momento de oír se pone en marcha un cronómetro contándose el número de segundos transcurridos entre la señal anterior y el paso del mínimo por el receptor del buque, multiplicando los segundos contados por seis se tendrá en grados la demora del buque respecto al radiofaro, puesto que la velocidad de giro de éste es de 6 grados por segundo. Para prever el caso en que el buque se encuentre en el meridiano del radiofaro, éste emite otra señal cuando el mínimo demora al E, en cuyo caso se añaden 90 grados. En los nomencladores se indica por RW y operan en ondas decamétricas.

1.16.1.4 Radiofaros conjugados

Son agrupaciones de radiofaros que emiten, en la misma frecuencia, señales desfasadas en tiempo de modo que se puedan escuchar sucesivamente, sin tener que variar la sintonía, permitiendo obtener sus marcaciones casi simultáneamente. Los de la zona europea trabajan en frecuencias comprendidas entre 285 y 315 kHz. En España existen varios radiofaros conjugados como los de Cabo Villano, Cabo Finisterre y Cabo Sillero, o los de Cabo Machichaco, Cabo Mayor y Cabo Ferret (Francia).

1.16.1.5 Señales T.S.H y acústicas sincronizadas

En algunos radiofaros y al objeto de obtener una demora y distancia simultánea, se emite una señal sonora sincronizada con la radioseñal. Un signo de la radioseñal es emitido simultáneamente con otro igual de la señal sonora o el final de un signo de la radioseñal coincide con el comienzo de otra señal sonora. Ahora bien, dada su gran velocidad, la señal T.S.H. se recibe en el mismo instante de su emisión pero no así la sonora, dada su velocidad relativamente pequeña. Si multiplicamos el número de segundos transcurridos, desde el instante de la sincronización hasta el de llegada del signo sincronizado de la señal sonora, por la velocidad del sonido, tendremos la distancia a que nos encontramos del radiofaro. Si la señal sonora fuese aérea se multiplicarla el número de segundos transcurridos por 0,18. Si fuese submarina por 0,8 dando las distancias en millas.

1.16.1.6 Estaciones radiogoniométricas

Son estaciones instaladas en tierra, provistas de radiogoniómetro destinado a determinar las demoras de las señales emitidas desde una estación móvil. Estas estaciones pueden ser: conjugadas o independientes. Las frecuencias que se emplean en las estaciones radiogoniométricas son de tres tipos:

Frecuencia de llamada, la que debe emplearse para llamar a la estación.

Frecuencia de marcación, en h que debe transmitir el buque para que la estación RDF le marque.

Frecuencia de transmisión, que es la que utiliza la estación para emitir al buque los resultados.

De acuerdo con h estimación de la exactitud de la marcación, la estación RDF clasifica la marcación en una de las siguientes clasificaciones:

CLASE A: Marcaciones que el operador pueda considerar razonablemente exactas dentro de los 2 grados o según el Reglamento de RR 5 millas.

CLASE B: Marcaciones que el operador puede considerar razonablemente exactas dentro de los 5 grados de aproximación, equivalente a una exactitud dentro de 20 millas.

CLASE C: Marcaciones que el operador considera razonablemente exactas dentro de los 10 grados o 50 millas.

Tema 2

Sistema VOR

2.1 Introducción

El sistema de navegación VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range) es tal vez el más difundido sistema de navegación aérea real y prácticamente el único considerado por Flight Simulator, hasta la utilización del GPS en versiones más recientes.

Consta de dos equipamientos, un transmisor fijo en tierra y el receptor instalado en el avión enlazados por ondas de radio de muy alta frecuencia comprendidas entre los 108,0 y 118,0 MHz.

La estación de tierra es un transmisor omnidireccional, esto quiere decir que transmite en todas las direcciones como los rayos de la rueda de una bicicleta, captándose si se está dentro del alcance, sus señales independientemente uno se encuentre al sur, norte, este u oeste, como muestra la figura 2.1.

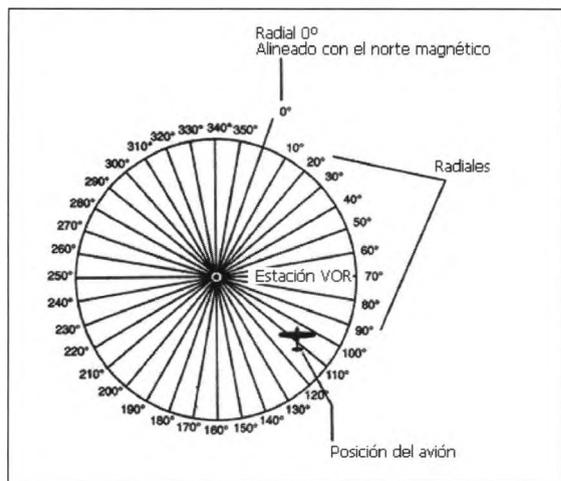


Figura 2.1- Transmisión de una estación VOR

La información transmitida es tal que tras decodificarla por el sistema de recepción instalado en el avión, pueda determinarse en que posición se encuentra la aeronave respecto de la estación de tierra.

La estación VOR genera e indica 360 “rutas o calles” denominadas radiales alrededor de ella, separados entre si 1° según se ve en la figura 2.1, de modo que el receptor puede saber sobre que “calle” se encuentra en ese momento, siguiendo esa ruta (radial) llegará a la estación.

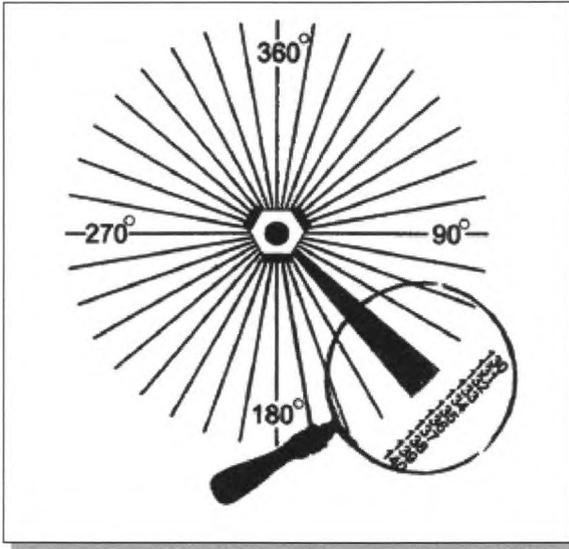
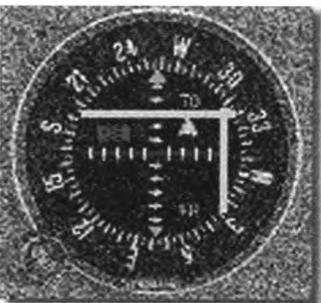


Figura 2.2.- La separación de las radiales es de 1°

La idea en principio es muy simple, por ejemplo para viajar de una ciudad a otra en automóvil solo basta saber que ruta las une, luego se sigue esa ruta para llegar a destino, con los VOR ocurre lo mismo, con conocer que radiales de cada VOR nos conducen a destino, con solo seguirlos llegaremos al punto deseado. De igual forma se pueden determinar posiciones e intercepciones.

Como se hace evidente, todo muy fácil pero si no se conoce la posición en tierra de la estación y sus radiales nada se puede hacer, aquí es donde empiezan a aparecer las cartas de navegación aérea de las que habrá que disponer para no andar a la deriva.



Las estaciones se las ubica de tal forma que la radial 0° o 360° corresponde al norte magnético y se las numera como en una brújula es decir que si se vuela en la radial 90° se esta al este, en la 180° al sur, etc.

Sin duda alguna la más utilizada de todas las radioayudas en tierra, es el VOR. Su nombre quiere decir:

VHF: pues transmite en la banda de VHF (30-300 MHz).

Omni-direccional: su señal se transmite en todas las direcciones.

Radio Range: es un sistema basado en radio

La simplicidad de los receptores de GPS modernos (con sus pantallas que despliegan mapas móviles y representaciones gráficas) está eclipsando al VOR tanto en exactitud como en simplicidad. Sin embargo cuando no se dispone de un GPS, el mejor compañero en cabina para vuelos IFR seguirá siendo el VOR.

2.2 Sistema de aerovías

Cuando un vuelo de tipo instrumental (Instrument Flight Rules) IFR parte de un destino remoto debe seguir una ruta definida por una serie de radioayudas en tierra. Estas ayudas de navegación forman la base del sistema de aerovías y están geográficamente localizadas de forma tal que proveen una red de rutas entre faros o estaciones alineadas con las principales rutas aéreas. La ruta de vuelo que el piloto seleccione se basará en esta estructura de rutas. La mejor ruta será la que provea el camino más corto entre los aeropuertos de partida y destino. Estudiando las cartas de navegación se observa que gran parte de las radioayudas se encuentran localizadas cerca de los aeropuertos para poder suministrar a las aeronaves información que permita dirigir sus vuelos y efectuar aproximaciones por instrumentos.

En la gráfica se observa dos de los tipos de radioayudas que existen en el sistema de aeropuertos: VOR:

VHF Omni-directional Radio Range.

NDB: Non Directional Beacon.

DME: Distance Measurement Equipment. Sistema sofisticado utilizado para mostrar la distancia desde una radioayuda.

La información suministrada por estas radioayudas se interpreta en el panel: el VOR está representado en el OBI Omni Bearing Indicator, el NDB en el ADF Automatic Direction Finder y el DME en el DME1 o DME2.

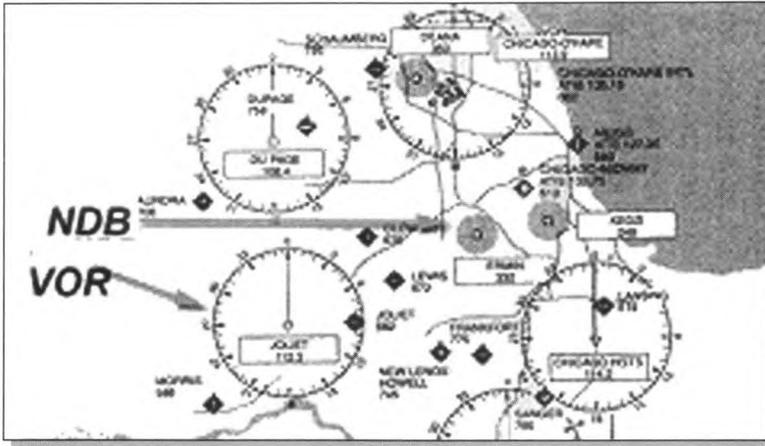


Figura 2.3.- Foto del VOR y del NDB

2.3 Principio de operación del VOR



Figura 2.4.- Estación terrestre del VOR

En la imagen se aprecia una estación de VOR. El VOR emite dos señales: Una señal omnidireccional en intervalos de tiempo y una señal circular. Midiendo el tiempo entre las dos señales es posible determinar la ubicación con respecto a la estación. Para entender lo anterior, consideremos la analogía de un faro donde la luz blanca que gira se complementa con una segunda señal que emite un rayo omnidireccional verde cada que la luz que gira pasa por el norte.

Si el tiempo que toma la luz blanca en dar el giro total de 360° es conocido, podemos determinar, midiendo el tiempo que se tarda entre el momento en que vemos la luz verde y en volver a ver la luz blanca, la ubicación de la nave con respecto al faro. Digamos que el periodo de rotación es de un minuto:

- si pasan 30 segundos entre el momento en que vemos la luz verde y volvemos a ver la luz blanca, la nave debe estar en: $30/60 * 360 = 180^\circ$;

- si el tiempo que pasa es de 20 segundos entonces la nave deberá estar a: $20/60 * 360 = 120^\circ$ del faro.

El mismo principio se aplica al VOR. Midiendo la diferencia de tiempo entre las señales, podemos determinar la posición con respecto a la estación. Imaginemos el VOR como una estación que emite 360 señales o radiales (una por cada grado). Podemos saber en que radial del VOR estamos ubicados, sintonizando la frecuencia del VOR y observando la indicación que nos da el panel en el OBI.

2.3.1 Selección de la información del VOR

El simulador nos provee dos receptores de VOR independientes, conocidos como receptores NAV identificados como Nav1 y Nav2 respectivamente.

Ellos se sintonizan utilizando los selectores de frecuencia al lado derecho del panel. Se puede utilizar el mouse o el teclado para este efecto.

Presentación del OBI.

La representación estándar de las señales recibidas del VOR se muestra gráficamente en el Omni Bearing Indicator OBI. Este incluye un potenciómetro que permite seleccionar el radial deseado llamado el OBS (Omni Bearing Selector). Estos se encuentran ubicados en el simulador en la parte inferior izquierda de cada OBI.

2.3.2 Indicador de Desviación de Curso (CDI - Course Deviation Indicator)

La información del curso se puede leer de una aguja vertical llamada CDI (Course Deviation Indicator). Esta aguja trabaja simultáneamente con el selector de curso y el indicador TO-FROM. A todo momento la aguja indica su desviación en grados con respecto al radial seleccionado y el indicador TO-FROM te indica si el radial seleccionado es hacia el VOR o desde el VOR. Si la aguja esta centrada, estarás en el radial seleccionado con el selector de curso. El CDI puede considerarse como una barra de comandos 'Vuele hacia', o sea, debes volar en la dirección que se encuentra el CDI para regresar al curso deseado.

Existe una excepción que veremos mas adelante. La cantidad de desplazamiento indicado está graduado en incrementos de 2° , siendo el perímetro del círculo los primeros 2° . El CDI es capaz de determinar variaciones en curso de hasta 10° . Desviaciones de más de 10° no pueden ser representadas en el instrumento.

2.3.3 Funcionamiento del sistema

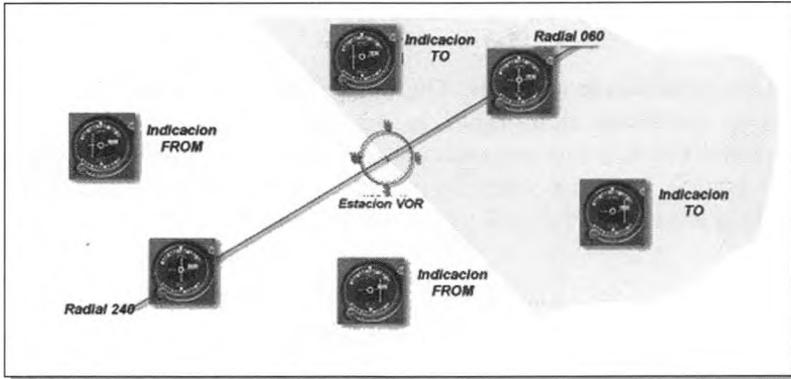


Figura 2.5.- Funcionamiento del sistema

Cada radial que se seleccione con el Selector de Curso, tiene su radial recíproco o contrarumbo. El término radial se refiere a un haz de señal que sale de la estación del VOR. Por ejemplo, en radial 240° es un haz (o línea imaginaria) que sale de la estación VOR en dirección magnética 240° desde la estación. Existe otra forma de referirse al radial 240° y es haciendo referencia al contrarumbo de entrada al VOR radial 060° (a 180° o sentido contrario). No podemos decir en este caso que 060° sea un radial pues se refiere a un rumbo de entrada a la estación del VOR. Reservamos el término radial solamente a aquellas direcciones que salen de la estación.

En la gráfica al lado pensemos en el radial 240° de un VOR imaginario. Si suponemos que hemos seleccionado 240° , no importa en que sitio de la zona de color amarillo el indicador va a marcar FROM. Si se encuentra en la sección de color azul el indicador va a indicar TO. Cuando la aeronave se encuentra en el punto de transición el indicador marcará OFF. En el momento en que la situación anterior se presente estarás pasando sobre el VOR. Es importante que se note que la dirección en que va el avión no se tiene en cuenta en la información mostrada por el OBI. Por ejemplo el indicador TO de cualquiera de los tres OBIs que vemos en la zona azul de la gráfica son independientes de la dirección en que vaya el avión. Por ejemplo el avión que se encuentra en la zona azul cuyo OBI muestra el CDI centrado podría estar alejándose del VOR con rumbo 060° y eso no lo podemos deducir del instrumento. Se debe pensar en función del rumbo que lleve el avión. Si el rumbo corresponde al valor

que haya colocado en el selector de curso, la lectura del indicador TO-FROM es correcta. Cuando el rumbo o la dirección en que se esté volando es contraria a la seleccionada en el selector de curso, la indicación TO-FROM es contraria a lo que señala. Sugerimos en este caso seleccionar en el selector de curso el contrarumbo para que coincida con la dirección en que va el avión.

2.3.4 Orientación del VOR

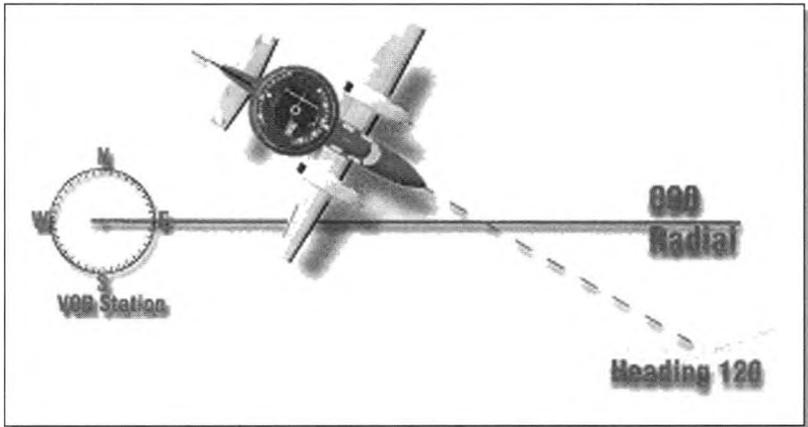


Figura 2.6.- Ejemplo de orientación del VOR

Para aclarar los conceptos mencionados anteriormente tomemos el ejemplo de la gráfica: Supongamos que estas volando con rumbo 120° y deseas volar a un VOR específico por el radial 090° (debes volar por el radial 270° entrando al VOR). Deberás sintonizar el OBI en 270° y deberás obtener indicador TO en su instrumento y el CDI te debe indicar que gires a la izquierda. En esta situación se nos indica que giremos a la izquierda para tomar el rumbo 090 hacia el VOR. Como nos encontramos volando en dirección contraria al VOR y tenemos indicador TO seleccionado, debemos interpretar el comando en sentido contrario o sea si nos indica que volemos a la izquierda, debemos volar hacia la derecha. A medida que vamos volando hacia la estación VOR y vamos tomando rumbo 240° el OBI nos estará marcando la información correcta (acercándonos a la estación con el indicador TO). En ese momento puede seguir la instrucción del CDI y seguir la dirección que le indique su aguja.

2.3.5 Principios de funcionamiento

Aquí vamos a tratar de dar una explicación lo más simple posible sobre como una estación VOR logra identificar las 360 radiales, la 360 y la 0 es la misma.

Para lograrlo, la estación no emite una señal, sino dos, una es la señal de referencia y la segunda la señal variable, la que se desfasará con la radial respectiva.

Para entender mejor el concepto defasaje debemos entender primero ¿qué es una onda? y para dar una idea de la misma diremos que es cuando un fenómeno físico varía alguno de sus parámetros en forma repetitiva respondiendo a una función o funciones matemáticas.

Por ejemplo, veamos que sucede con la alimentación eléctrica hogareña que es corriente alterna y adopta un valor de tensión de 220v con una frecuencia de 50 Hz. Si instaláramos un instrumento que nos muestre en forma gráfica (osciloscopio) el comportamiento de la tensión veríamos la forma de onda que ésta adopta y sería el que se muestra en la figura 2.7.

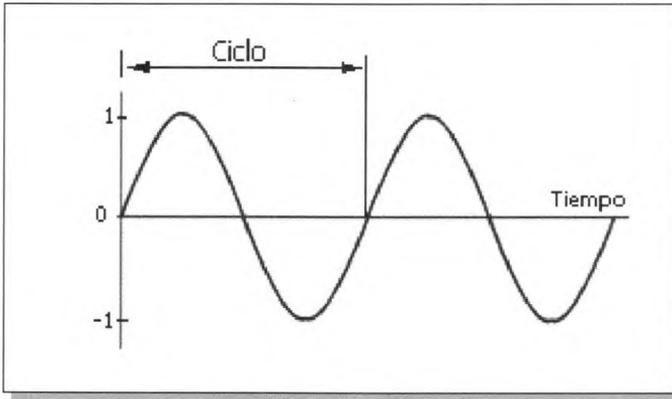


Figura 2.7.- Onda sinusoidal

Esto quiere decir que la tensión en un momento se encuentra a 0v, luego crece hasta alcanzar el valor de 220v para descender y alcanzar un valor inverso de 220v pasando previamente por 0v, luego nuevamente crecer hasta los 0v y comienza a repetir el ciclo. Al ser estricto el valor en el pico o en el valle en realidad no es de 220v pues éste es un valor medio (valor eficaz), siendo la tensión de pico un poco superior (308v).

El punto desde donde comienza la observación hasta en dónde comienza a repetirse se le denomina ciclo, correspondiendo la cantidad de ciclos ejecutadas por segundo a la frecuencia, es decir que una frecuencia de 50Hz corresponde a 50 ciclos por segundo ($1 \text{ ciclo/segundo} = 1 \text{ Hz}$). Estrictamente la frecuencia se la define como la inversa del tiempo.

La forma de la onda corresponde a una función sinusoidal por lo que ya sabrán aparece un ángulo:

$$Y = \text{sen } X$$

Esta no es la única forma de onda, hay otras resultantes de diversas funciones matemáticas o resultantes de transformaciones de las mismas.

Ahora veamos el tema del defasaje, para ello tracemos la curva desde 0° hasta 360° representada en la figura 2.8 con color azul, aclaremos que el seno del ángulo está representado por la magnitud del segmento AB. Luego hagamos lo mismo pero esta vez en lugar de ir de 0° a 360° , lo haremos desde 90° una vuelta completa hasta alcanzar nuevamente los 90° , representado en la Fig. 2.8 en color rojo, aquí el seno de x está representado por el segmento A'B', obtendremos la curva en color rojo.

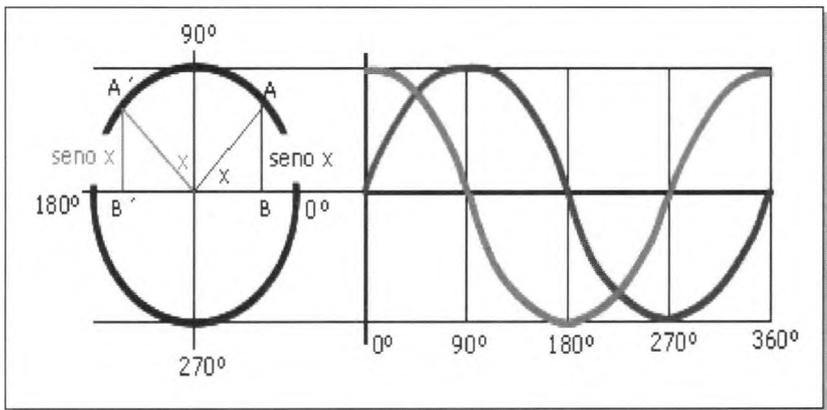


Figura 2.8.- Defasaje de ondas

Estas curvas en apariencia diferentes, si observamos bien son iguales, salvo porque una está desplazada 90° (curva roja), observen que la curva azul pasa por 0 en 0° , 180° y 360° , mientras que la roja lo hace en 90° y 270° , es decir hay una diferencia de 90° entre los puntos cero, en este caso las ondas están desfasadas en 90° .

Para finalizar, las ondas son iguales, si la roja se desplazara se superpondría a la azul y se vería una sola curva, en ese caso las ondas están en fase, cuanto más se desplacen mayor será el defasaje.

Este es el concepto bajo el cual la estación VOR informa la radial, emite dos señales una fija y estable en 0° y la variable la va desfasando de acuerdo a los grados de la radial, es decir que para la radial 0 las señales estarán en fase, para la radial de 2° la variable estará desfasada en 2° , para la radial 90 habrá 90° de defasaje, para la de 100 habrá 100° y así por lo 360° .

El equipo en el avión lo que hace es medir el grado de defasaje entre la señal fija y la variable para determinar la radial correspondiente, o sea si hay un defa-

saje de 90° se encuentra en la radial 90, si el defasaje es de 180° la radial será la 180, etc.

Esta es la explicación del concepto por eso se adopto la sinusoide, pues es la que permite ver más fácilmente los conceptos básicos, esto no quiere decir que sea la forma de onda utilizada, pues existe una gran cantidad de formas de ondas de características diversas.

2.4 Transmisión y alcance

Como ya se dijo las estaciones VOR (Radiofaro Omnidireccional de Muy Alta Frecuencia Very High Frequency Omnidirectional Range) operan con frecuencias que van desde los 108.0 hasta los 118.0Mhz, como frecuencia de transmisión.

Para evitar confusiones con el punto de las señales de información tratadas anteriormente, aclaremos que ésta es una onda distinta y no tiene que ver con las señales antedichas.

Esta onda es lo que se denomina “onda portadora” y es en realidad el medio de transporte de las señales de información, una vez sintonizada por el equipo de a bordo y recibida se la descarta y solamente se procesan las señales de información.

De acuerdo a la frecuencias las ondas tienen comportamientos marcadamente diferentes, es así que se las clasifica en distintas bandas como se muestra en la tabla siguiente.

Banda	Rango de frecuencias
Baja Frecuencia (L/F)	30 - 300 kHz
Frecuencia Media (M/F)	300 - 3000 kHz
Alta Frecuencia (H/F)	3000 Khz. - 30 MHz
muy Alta Frecuencia (VHF)	30 - 300 MHz
Ultra Alta Frecuencia (UHF)	300 - 3000 MHz

Las ondas de L/F y M/F viajan hacia arriba hasta que chocan en la ionosfera y se reflejan hacia el suelo, así su alcance varia con la altura y la densidad de la ionosfera. Las ondas de H/F también se reflejan en la ionosfera hacia el suelo, el que también las vuelve a reflejar hacia la ionosfera dando como resultado un mayor alcance que las anteriores.

Las VHF y UHF no son reflejadas en la ionosfera, para ser recibidas debe estar el receptor directamente en la trayectoria de la onda, a esto se lo denomina “recepción en línea”.

El alcance de estas últimas depende directamente de la altura, aumentando con esta y puede ser estimada en millas náuticas obteniendo la raíz cuadrada del producto entre la altura desde la estación VOR al avión por 1,5 como indica la fórmula siguiente:

$$\text{alcance} = \sqrt{\text{altura} \cdot 1,5}$$

Por ejemplo si se vuela a 10.500 pies y la transmisión se realiza desde un lugar con una elevación de 500 pies, te encontraras en realidad a 10.000 pies sobre la estación, al multiplicarlo por 1,5 de 15000, la raíz cuadrada de 15.000 es 122, 47. El alcance será en este caso de aproximadamente 122 NM.

Un planteamiento matemático similar al comentado realiza Flight Simulator por lo que en general funcionará, pero es necesario entrar en una consideración.

En la realidad existen tres tipos de VOR, todos ellos modelizados en Flight Simulator, estos son:

Clase de VOR	Rango de Frecuencias
H	112,00 - 118,00 Mhz
L	112,00 - 118,00 Mhz
T (terminal)	108,00 - 112,00 Mhz

Si se utilizan los escenarios que vienen con Flight Simulator y se utiliza la cartografía incluida en el “Pilot´s Guide” (Guía del Piloto) que viene incluido con el software verán que algunas estaciones aparecen unas “T”, en ese caso se trata de un VOR clase T o terminal, mientras que para los “L” o “H” no hay indicación. No obstante los VOR clase “L” son relativamente pocos en comparación con los “H”.

Para determinar que clase de VOR se esta sintonizando, es necesario ver en que rango de frecuencias a menos que se tenga el dato preciso están trabajando, es decir si la frecuencia está entre 108,0 y 112,0 es un clase “T”, mientras que si es de 112,0 a 118,0 puede ser un “H” o “L”, en este caso lo más probable es que se trate de un “H” pues hay muchos mas instalados en comparación con los “T”.

Es necesario tener en cuenta el tipo de VOR, pues estos tienen distintos alcances, los clase "T" en general tienen un alcance de 40 a 55 NM, variando proporcionalmente con la altitud, mientras que los clase "H" y "L" superan muchas veces las 120 NM aumentando con la altitud, en este último caso podemos usar para la estimación la fórmula antedicha, en realidad también podemos utilizarla en el clase "T" pero debemos tener en cuenta encontrarnos dentro de las 40 o 50 NM del VOR.

Agreguemos también que muchas o la mayoría de las estaciones VOR tienen instalados equipos telemétricos asociados como los DME y TACAN.

Además de los problemas de alcance y transmisión ya comentados, existen otros muy particulares.

El sistema VOR indica si se vuela hacia el VOR o desde la misma, en la medida que se acerque a estación no podrá distinguir de que lado de ella se encuentra dando como resultado la indicación de no recepción de señal hasta que logre poder diferenciar la posición, a esto se lo conoce como "cono de silencio" cuyo diámetro aumentara con la distancia al VOR. Algo similar ocurre con las radiales, al estar cerca de la estación las radiales se encuentran muy cerca y no podrá distinguir las, otra vez aparecerá la indicación de no hay recepción de señal que se corregirá al alejarse un poco, de esta forma se crea lo conocido como "cono de incertidumbre", el diámetro del cono aumentara con la altura.

Debido a que puede haber estaciones VOR relativamente cercanas entre si y con mínimas diferencias entre sus frecuencias, puede darse el caso de sintonizar una frecuencia errónea y aún así recibir señal, aunque en realidad se trate de un VOR equivocado y terminar guiándonos por una estación ubicada a 100 NM de distancia del VOR que creemos estamos siguiendo, algo como esto ocurrió en la vida real durante la guerra fría, el resultado fue el derribo por un caza Mig de la ex Unión Soviética de un avión comercial tras haber ingresado en espacio aéreo restringido, resultaron muertos todos los pasajeros y tripulación.

Para evitar malos ratos conviene verificar que el código de tres letras del VOR sintonizado se corresponde con el deseado, los instrumentos electrónicos pueden mostrar este indicador directamente, si no se pasee uno de estas características se lo verifica escuchando el código Morse que la estación transmite.

A los pilotos se les enseña siempre a verificar el correcto funcionamiento del equipo VOR, este puede presentar varios tipos de problemas y errores, en Flight Simulator en general la opción es que por falla deje de funcionar, mientras que en la realidad puede haber mediciones erróneas mientras el instrumento sigue funcionando.

Para realizar la verificación es necesario sintonizar los dos equipos VOR (es aconsejable que siempre este equipo este duplicado) en la misma estación,

luego accionar los selectores de rumbos (OBS) hasta que sus indicadores muestre la alineación en la radial, debiendo dar una lectura similar en ambos instrumentos, no deberían nunca superar los 4° de diferencia.

2.4.1 Equipos de abordó

Como ya hemos dicho, un sistema VOR consta de dos partes, una estación transmisora en tierra y el receptor abordó del avión con su instrumento asociado.

Receptores NAV 1 y NAV 2:



Figura 2.9.- Receptores VOR de abordó

En la figura 2.9 se ven los equipos receptores VOR que vienen en los Cessna, las frecuencias marcadas con las líneas rojas corresponden al las frecuencias de funcionamiento del VOR y suelen señalizárselas con NAV 1 y NAV 2, mientras que las frecuencias no marcadas sobre el costado izquierdo (COMM 1 y COMM 2) corresponden a las transmisiones de radio de la nave.

Se ven dos paneles pues hay dos equipos VOR abordó, lo que brinda mayor seguridad por su redundancia, facilidad para verificar el correcto funcionamiento de los equipos y mayor precisión en la navegación.

Para sintonizarlos hay que posar el Mouse sobre el dígito seleccionado y aparecerá la pequeña manita con los signos más y menos, seleccionando su valor

haciendo clicks, respecto de los botones y pulsadores que se ven en la imagen no tienen funciones en Flight Simulator.

Hasta Flight Simulators 2000, la frecuencia podía también seleccionarse por medio del menú AVIONES > NAVEGACIÓN > RADIOS se verá el menú de la figura 2.10.

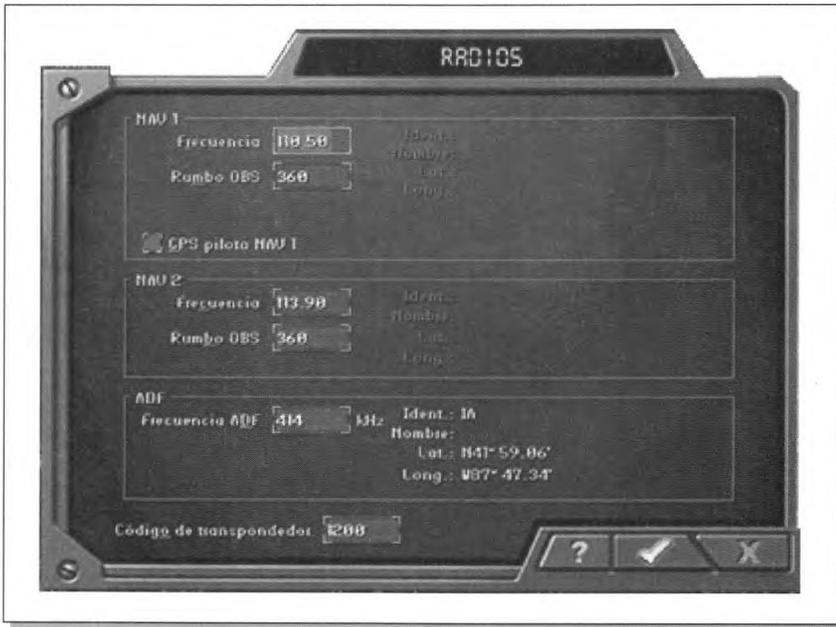


Figura 2.10.- Menú de radios

En este cuadro se pueden modificar las frecuencias y rumbos OBS (radial seleccionada) tanto para el sistema NAV 1 como para el NAV 2, además también se modifica la frecuencia del ADF y el código de trasponder que serán tratados mas adelante.

2.4.2 Instrumental

El instrumento encargado de señalar la radial en la que se vuela es el OBI (Omni Bearing Indicator) mostrado en la figura 2.11:

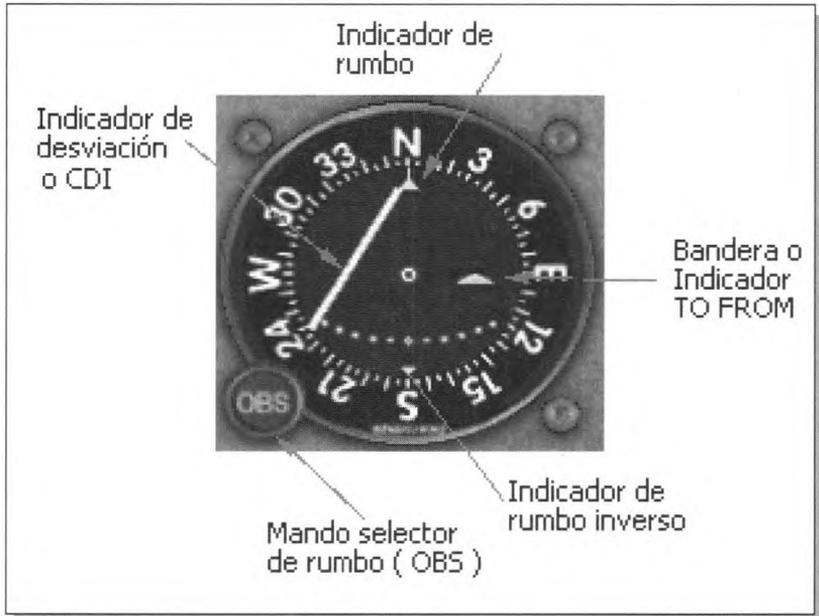


Figura 2.11.- OBI

El elemento más notorio es el indicador de desviación de rumbo o CDI (Course Deviation Indicator), se trata de una aguja que se desvía según la ubicación de la radial seleccionada, es decir que si se desvía a izquierda la radial estará a la izquierda como en la figura, si lo hace a derecha la radial estará a la derecha siempre y cuando se este volando hacia la estación VOR. Si el CDI se encuentra centrado se esta volando sobre la radial seleccionada.

La bandera o indicador TO-FROM (Hacia-Desde) en FS se puede presentar de dos formas, una directamente con carteles de TO (hacia) y FROM (desde) según se vuele hacia el VOR o desde el mismo. La segunda forma es con flechas como en la figura, si esta está puntando hacia arriba indica que se vuela hacia el VOR mientras que si lo hace hacia abajo se esta volando desde la estación.

En ciertos momentos del vuelo, cuando no se recibe señal o cuando se pasa sobre la estación el instrumento no puede distinguir si se vuela hacia o desde la estación en ese caso la indicación es nula (OFF) representándose con una banda blanca con rayas rojas en el indicador TO-FROM.

Los indicadores de rumbo señalan, el superior la radial seleccionada y el inferior el rumbo de la radial opuesta a esa, El mando denominado OBS (Omni Bearing Selector) es el que permite seleccionar el rumbo, para ello en FS utilice el mouse de igual forma que en los casos anteriores o el menú mostrado en la figura 2.

Otra variante del mismo instrumento es el de la figura 2.12:



Figura 2.12.-Variante de OBI (principal)

El OBI mostrado en la figura 2.11 es una variante, generalmente instalado como secundario (NAV 2), otra variante, el principal, posee una aguja extra en posición horizontal (fig 2.12), la que se utiliza en aproximaciones por el sistema ILS (Instrumental Landing System) destinada a indicar la desviación de la senda de planeo que serán tratadas mas adelante.

Los instrumentos multifunción electrónicos también suelen tener incorporadas las funciones del OBI como se muestra en la figura 2.13, en el que la información se presenta de la misma forma.



Figura 2.13.- función OBI del HSI

Algunas estaciones VOR tienen asociados diversos equipos que la dan funciones extras, uno de los mas comunes son los DME (Distance Measuring Equipment), sistema que también tiene un equipo fijo en tierra y otro a bordo, su función es la de medir la distancia entre el avión y la estación de tierra.

El equipo fijo esta asociado a una estación VOR, y el receptor DME en el avión se sintoniza solo al sintonizar dicha estación.

Para medir la distancia el DME a bordo del avión emite una señal hacia el equipo de tierra, este le responde con un pulso, para luego por la duración que tuvo el ciclo puede calcularse la distancia, la velocidad respecto a tierra y el tiempo en alcanzar la estación.



Figura 2.14.- DME

Cuando se tienen sintonizados dos VOR en los receptores NAV 1 y 2, si ambas estaciones tienen equipos DME funcionando se podrá medir la distancia, velocidad y tiempo a cada una de ellas, para ello el DME de a bordo posee un selector (Fig. 2.14) de NAV 1 o NAV 2, el que conmuta en FS por acción del mouse o con las teclas CTRL 3 para NAV 1 y CTRL 4 para NAV 2.

Aclaremos que la velocidad indicada por este instrumento es respecto a tierra (GS) pues este sistema no se ve influenciado por el viento, a diferencia de lo que ocurre con el anemómetro.

Si bien el instrumento es confiable y facilita el trabajo evitando tener que tomar tiempos y realizar cálculos, hay que tener en consideración ciertos factores de error del instrumento.

Principalmente los valores de velocidad y tiempo son confiables en la medida que se este volando sobre una radial emitida por la estación VOR.

En lo que respecta a la distancia, hay que considerar que el instrumento mide la distancia en línea recta entre el morro del avión y la estación de tierra por lo que se ve afectada por el nivel de vuelo o altitud como muestra la figura 2.15. Por ejemplo, en el momento en que se pasa sobre la estación se tiene una elevación sobre esta de 6000 ft, el DME indicara una distancia al vor de 1 nm.

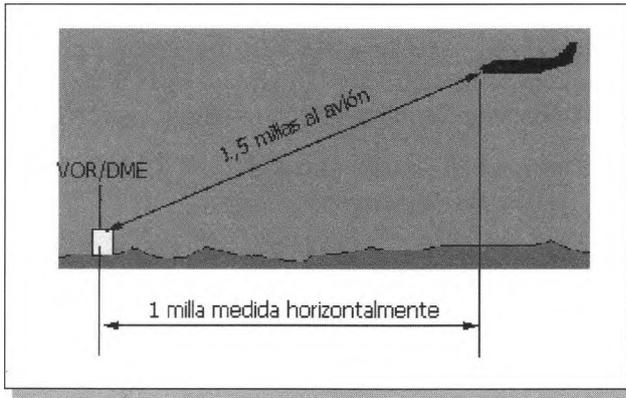


Figura 2.15.- Medición de distancia por DME

Este es el motivo por el cual cerca de la estación el error es importante, mientras que lejos de la estación o volando a baja altitud el error disminuye. El error se hace despreciable si se está a más de 1 nm por cada 1000 ft de altura sobre la elevación de la estación VOR/DME.

2.4.3 Indicación de radiales

Una vez sintonizado el equipo de recepción y volando dentro del alcance del VOR el OBI comenzará a señalarnos en que radial estamos volando o bien para donde se encuentra la radial buscada.

En las condiciones anteriores, si seleccionamos una radial determinada utilizando el selector OBS veremos que en el instrumento el CDI se desplazará hacia un lado, por ejemplo, si nos encontramos sobre la radial de 0° y deseamos volar en la radial de 350° que se encuentra a nuestra izquierda, veremos en el instrumento el CDI se desplaza a la izquierda indicándonos así que se debe virar a la izquierda para alcanzar dicha radial.

En cambio si queremos volar la radial de 10° , que queda a nuestra derecha, tras seleccionarla con el OBS veremos que el CDI se desplazará a la derecha, debiendo hacerse hacia ese lado el viraje para alcanzar la radial (fig 2.16).

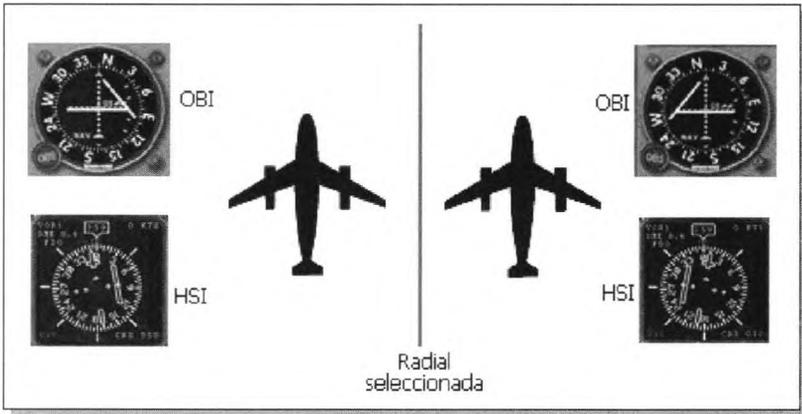


Figura 2.16.- Señalización de radiales en curso directo

El CDI se irá acercando al centro en la medida que nos acerquemos a la radial seleccionada por el OBS, llegando al centro cuando se intercepta la radial.

Pero no basta con poder encontrar una radial para saber donde estamos, hacen falta mas datos, como ser donde se encuentra la estación de tierra, aquí es donde empieza a jugar otro elemento del OBI, denominado bandera o indicador TO-FROM, que nos indica si volamos hacia la estación VOR o si la pasamos y nos estamos alejando de ella (Fig. 2.17).

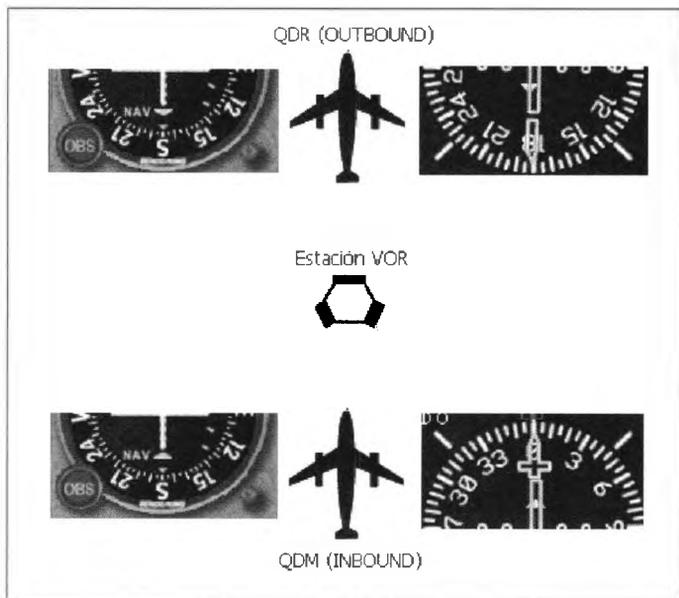


Figura 2.17.- Posición respecto de la estación, QDM o INBOUND (hacia) o QDR o OUTBOUND (desde)

Este indicador es una punta de flecha que apunta hacia arriba (o adelante en realidad) o hacia abajo (hacia atrás), en caso de no haber recepción dicha flecha pasa a ser un rectángulo de color blanco con rayas oblicuas rojas. Indicación similar ocurre en los HSI con la salvedad que si no hay recepción el instrumento no marcara nada ni aparecerá el CDI.

Cuando la flecha apunta hacia arriba indica que el VOR está por delante nuestro, pues esta señalando el rumbo que estamos llevando, siendo este el caso, es decir, volar hacia el VOR se dice que se vuela QDM según el código Q de radiocomunicaciones, o también el termino INBOUND es utilizado.

Por el contrario si la flecha señala hacia abajo indica que la estación esta por detrás nuestro, es decir que volamos desde el VOR en ese caso se dice que se vuela QDR según el código Q de radiocomunicaciones, o también OUTBOUND.

Una forma simple de saber en que radial se está volando es la de accionar el OBS hasta que el CDI quede centrado en el cuadrante, en esa situación la indicación de rumbo del instrumento corresponde a la radial que se vuela en ese momento. Ahora bien, desde ese punto sigamos girando el OBS 180° más y veremos que el CDI vuelve a centrarse, siendo esto el rumbo inverso o back course.

Esto se debe a que dos radiales opuestas 180° entre si tienen el mismo “camino”, lo que cambia es el sentido en el que “corren”, si se me permiten los términos.

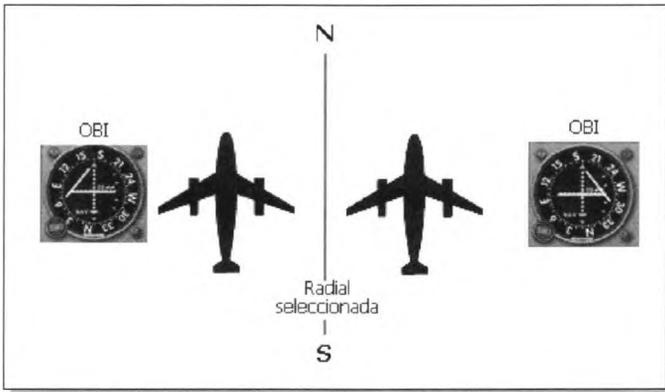


Figura 2.18.- Señalización de radiales en back course

Cuando se vuela por curso inverso, el instrumento tendrá sus indicaciones invertidas, es decir que si el indicador TO-FROM señala que volamos hacia el VOR en realidad estamos volando desde la estación y viceversa.

Algo similar ocurre con el CDI, si este se desplaza a la derecha, para interceptar la radial deseada debemos virar a izquierda y si se desplaza hacia la izquierda se deberá virar a derecha (Fig. 2.18).

Para tener una idea mas clara digamos que sería en caso de rumbo directo, la posición centrada es la radial en la que se vuela y el CDI señala donde esta la radial deseada, mientras que por curso inverso la radial buscada se encuentra señalada en la posición centrada mientras que el CDI señalaría la radial en la que se esta volando en ese momento.

La forma de corroborar si el OBS esta seccionado en rumbo inverso es corroborando la indicación de rumbo entre el OBI, la brújula y el giroscopio direccional, deben tener los tres una indicación similar si el rumbo es directo, si el OBI presenta una diferencia aproximada a los 180° está seleccionado en rumbo inverso (Fig. 2.19).



Figura 2.19.- Comparación de indicación de instrumentos

En realidad salvo escasas excepciones como en algunas aproximaciones por back course específicas, no tiene mucho sentido volar por rumbo inverso, puede resultar muy confuso si no se tiene practica y cuidado, además no afecta en nada al vuelo en condiciones normales girar el OBS 180° y tener una lectura directa.

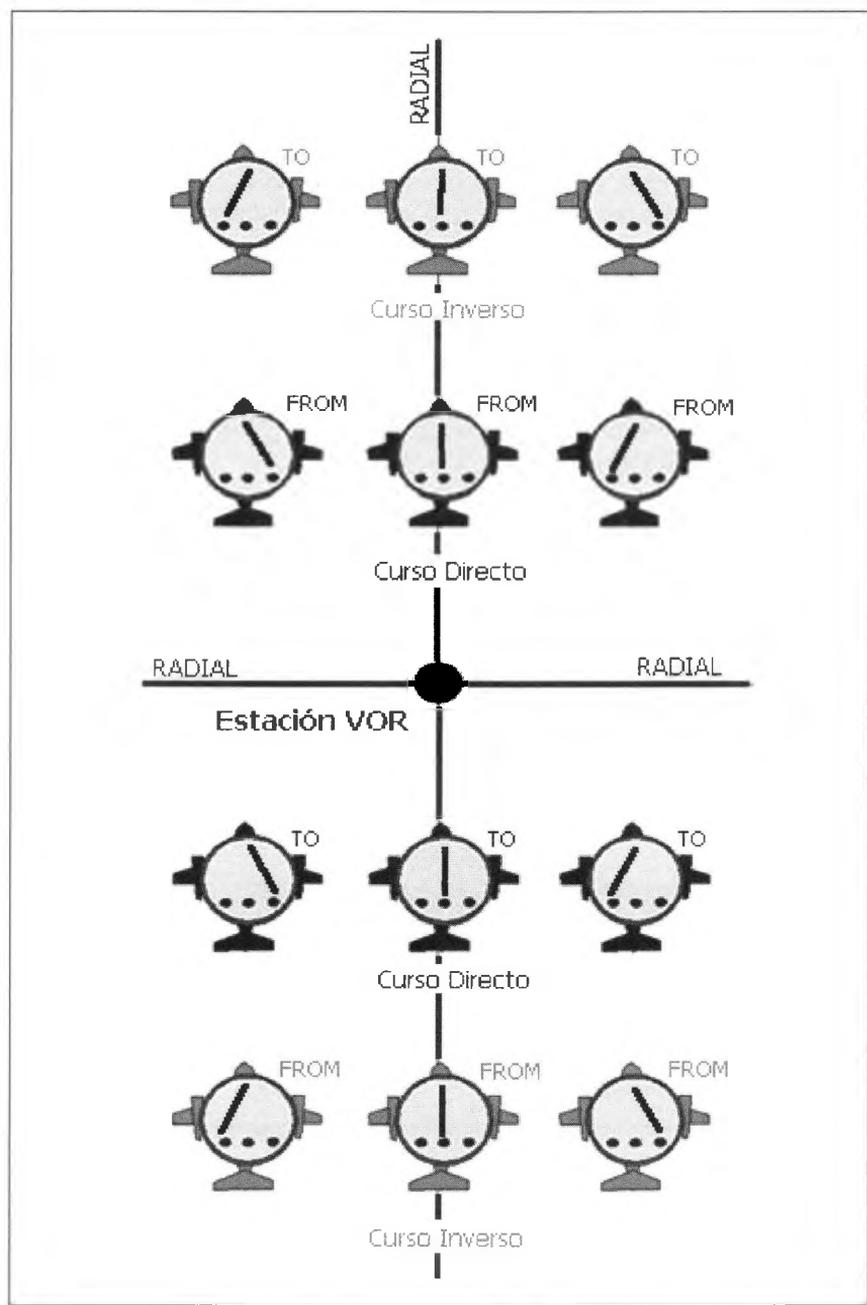


Figura 2.20 - Indicaciones

La figura 2.20 muestra en forma general las indicaciones que dará el OBI según sus posiciones respecto de la radial.

Sobre el cuadrante tanto del OBI como del HSI pueden verse una serie de puntos de disposición horizontal, estos indican los grados de separación con la radial, dando una diferencia de 2° aproximadamente, es decir que si el CDI se encuentra sobre el primer punto mas cercano al centro nos encontramos a 2° de la radial seleccionada en el OBS.

La forma más simple de comprobar esta diferencia es sintonizando un VOR y luego accionar el OBS hasta que el CDI se desplace entre dos puntos contiguos y ver en cuanto varió la selección.

En algunos casos pueden verse también puntos dispuestos verticalmente, en ese caso estos indican la desviación de la senda de planeo y es de utilización en aproximaciones por ILS que se verán en otro momento.

2.5 Determinación de la posición

Una de las funciones que permite el VOR es la de encontrar la posición con relativa facilidad, aunque en realidad es cierto, pero previamente se debe conocer la posición exacta de la estación, es aquí donde tienen aplicación las cartas de navegación aérea.

El primer paso es empezar ubicándonos respecto de la estación VOR, para esto primero debemos conocer la radial en la que se vuela, esto lo conseguimos girando el OBS hasta que el CDI quede centrado y observando su indicación, siempre teniendo cuidado de no poner una indicación inversa (back course).

Una vez conocida la radial vemos la indicación TO-FROM para saber si volamos inbound (to) u outbound (from) sabiendo así en forma relativa, aunque poco exacta, nuestra posición.

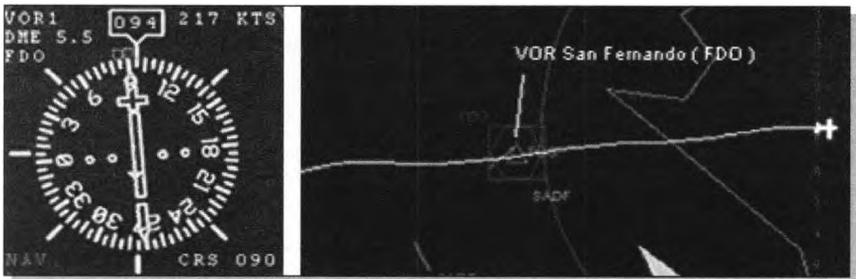


Figura 2.21.- Indicación en un HSI y GPS, en este caso al ESTE de la estación VOR

Por ejemplo, si volamos en la zona del Río de la Plata (Argentina - Uruguay) y tenemos sintonizado el VOR de San Fernando (FDO 114,40) mientras volamos su radial 90 con una indicación FROM (QDR u outbound), estaremos al Este de la estación y alejándonos de la estación (Fig. 2.21), en cambio si vola-

mos la radial 90 pero con indicación TO (QDM o inbound) estaremos al Oeste y acercándonos a la estación (Fig. 2.22).

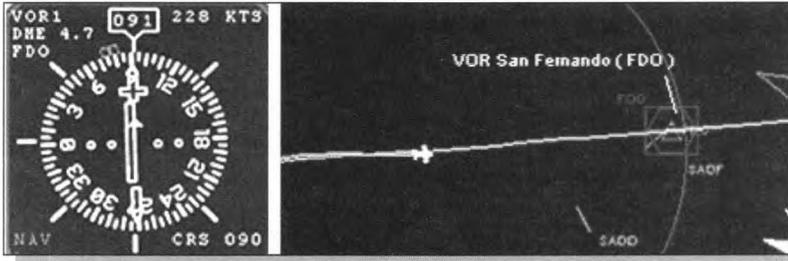


Figura 2.22.- Indicación en un HSI y GPS, en este caso al OESTE de la estación VOR

Si volamos la radial 270 con una indicación QDM (to) estaríamos al Este de la estación pero acercándonos a ella (Fig. 2.23), mientras que si la indicación es QDR estaríamos al Oeste y alejándonos (Fig. 2.24), de igual forma deducimos las posiciones Norte o Sur.

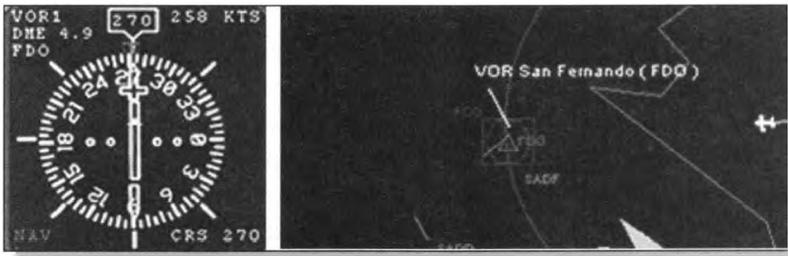


Figura 2.23.- Indicación en un HSI y GPS, en este caso al ESTE de la estación VOR

Esto nos permite encontrar el rumbo si por algún motivo nos desorientamos, así podremos volar hacia un punto conocido y establecido en las cartas.

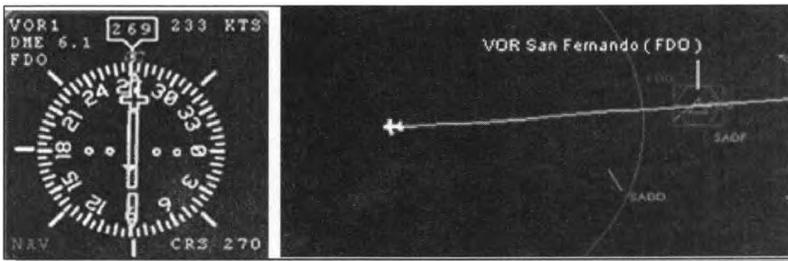


Figura 2.24.- Indicación en un HSI y GPS, en este caso al OESTE de la estación VOR

Pero si queremos conocer con mas exactitud nuestra posición debemos tener mas datos, uno puede ser la distancia al VOR lo que resulta fácil si la estación sintonizada posee instalado en sistema DME podremos tener la distancia a la estación, teniendo en cuenta el error que posee este sistema de medición.

Por ejemplo, volamos QDR (from) en la radial de 90° del VOR de San Fernando y el DME nos indica una distancia de 30 NM, si transportamos estas indicaciones a un mapa veremos que nos encontramos cerca de la costa de Uruguay (Fig. 2.25) y la indicación de from en el OBI nos dice que nos acercamos a esta ultima.

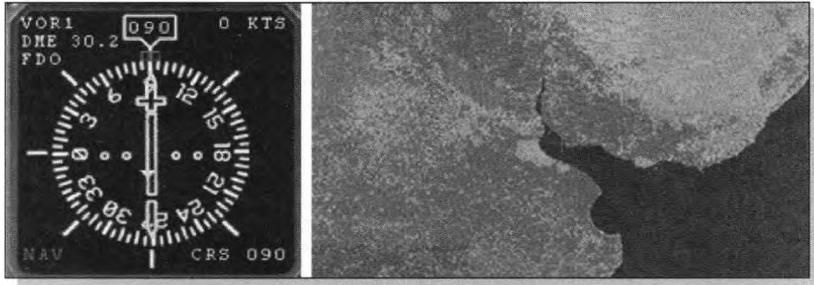


Figura 2.25.- El HSI mostrando la radial y la distancia por DME, a la derecha la vista de mapa de la zona en que volamos

Hasta aquí todo bien, pero ¿que pasa si el VOR no tiene un DME?

En ese caso debemos recurrir al segundo equipo VOR instalado en el avión para sintonizar otra estación, de esta forma tendremos en los dos OBI sintonizadas estaciones VOR diferentes para luego determinar en que radial de cada VOR nos encontramos, nuestra posición será la intersección de ambas radiales.

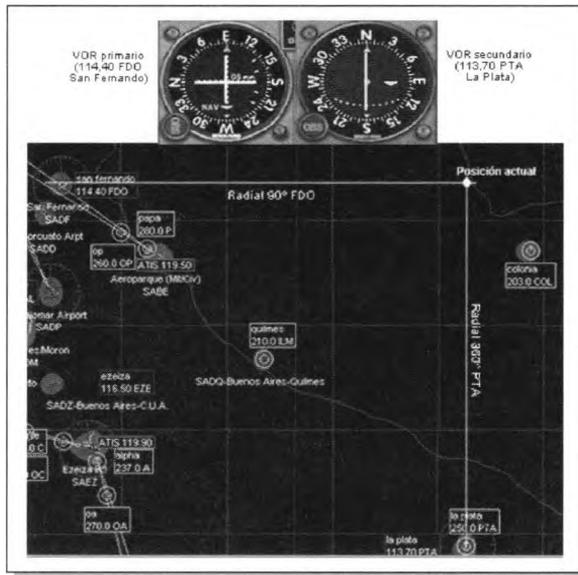


Figura 2.26.- Determinación de la posición por intersección de dos radiales de dos VOR diferentes

Veámoslo con un ejemplo, en el VOR principal sintonizamos San Fernando (FDO - 114,40) y en el secundario sintonizamos otro que puede ser cualquiera dentro del alcance, nosotros optamos por La Plata (PTA - 113,70). Giramos ambos OBS hasta centrar las agujas, que para el caso indican para FDO la radial de 90° y para PTA 360° .

Si sobre un mapa ubicamos ambas estaciones VOR y dibujamos las rectas coincidentes con cada radial indicada por los instrumentos, la intersección de ambas rectas será la posición en ese momento como muestra la figura 2.26, esto se corrobora fácilmente con el GPS (Fig. 2.27), noten la coincidencia (salvo error de software que en este caso se traduce con un error en la posición del NDB de Colonia (Uruguay)).



Figura 2.27.- Indicación de la posición en el GPS

Además de determinar nuestra posición, este método al igual que como si hubiera un DME podemos seguir la evolución del vuelo, vigilando como cambian las radiales en el VOR sintonizado en el segundo OBI.

Este método que al principio puedes parecerles correcto pero impreciso e impracticable considerando las dimensiones, funciones y comodidades de la cabina, en realidad se utiliza mucho aunque los pilotos no están dibujando líneas en los mapas.

El punto donde se cortan dos radiales se lo denomina intersección y no son determinadas por los pilotos dibujando las líneas correspondientes a las radiales, lo que sería muy impreciso, sino pues vienen ya predefinidas en las cartas, desde luego que prácticamente las intersecciones posibles son infinitas, solo se marcan las convenientes para llegar a los aeropuertos.

Aclarémoslo más, existen las rutas de navegación aérea de diversos tipos, estas están dibujadas en las cartas. Las rutas no son más que radiales definidas de una estación VOR determinada, es decir que cuando volamos una ruta no hacemos más que seguir una radial de un VOR definida previamente por una autoridad aeronáutica.

Estas rutas suelen cortarse entre si definiendo una intersección que estará marcada en la carta, el piloto en general lo que hace es sintonizar los dos VOR y volando sobre por una de las rutas busca dicha intersección mientras vigila la evolución del vuelo.

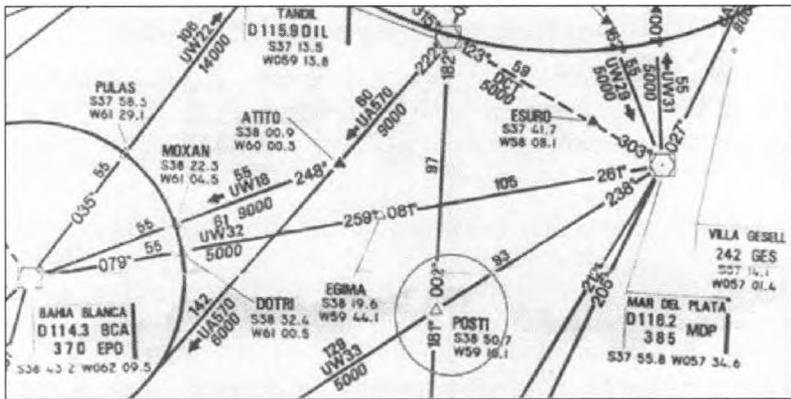


Figura 2.28.- Porción de una carta de rutas

Veamos la porción de carta de la figura 2.28, dentro de un círculo rojo marcado adrede se ve un pequeño triángulo justo en el lugar de cruce de dos líneas con la denominación POSTI, debajo de dicha inscripción se muestran las coordenadas de su posición.

Este triángulo es en realidad un punto de reporte, en este caso no obligatorio, es decir que el piloto tiene la opción de reportar el alcanzarlo o no al controlador de turno. Si observan también verán otro triángulo completamente negro, a diferencia del anterior, este es un punto de reporte obligatorio e identificado como ATITO. Agreguemos que a estos puntos se los denomina con nombres de 5 letras.

Estos triángulos estrictamente no son intersecciones, sino puntos de reporte, que generalmente se ubican en las intersecciones, por ejemplo si tenemos

en un VOR el de Mar del Plata (MDP), en el secundario Tandil (DIL) y los instrumentos muestra que nos alejamos del VOR de MDP en la radial 238° y la indicación del secundario dice que nos acercamos a la radial 182°, pues estaremos llegando a POSTI.

De forma similar podemos determinar la zona en la que volamos con las indicaciones de los instrumentos y la carta correspondiente en la mano. De todas formas incursionaremos en el tema de cartas mas adelante, aunque para aquellos que quieran adelantarse hay varios sitios que explican el tema muy bien, en la sección de links encontrarán las direcciones.

Existen otros equipos que permiten conocer la posición tanto en la aviación real como ser el INS y GPS como en Flight Simulator, me refiero al GPS que apareciera a partir de la versión 2000, si les resulta confuso al principio pueden recurrir a la vista de mapa o visión aérea que con un zoom alejado verán la zona en la que vuelan.

2.5.1 Interceptación y mantenimiento del vuelo en la radial

Para volar a lo largo de una radial, es necesario primero interceptarla, para luego, corrigiendo el rumbo mantenerse volando sobre ella; realmente sobre esto no hay muchos secretos siendo el principal y único diría, la práctica y experiencia.

Antes de intentar interceptar cualquier radial es necesario que sepamos nuestra posición en referencia a la estación VOR originadora de la radial, hecho fácil con los instrumentos y cartas que ya fuera explicado, conocido esto y determinada la radial en la que nos encontramos sabremos hacia que lado virar, para interceptar la radial buscada, mas fácil aún, el OBI directamente nos indicará hacia que lado virar como se muestra en la figura 2.29 y se explicó anteriormente), siendo el problema ¿cuanto virar?

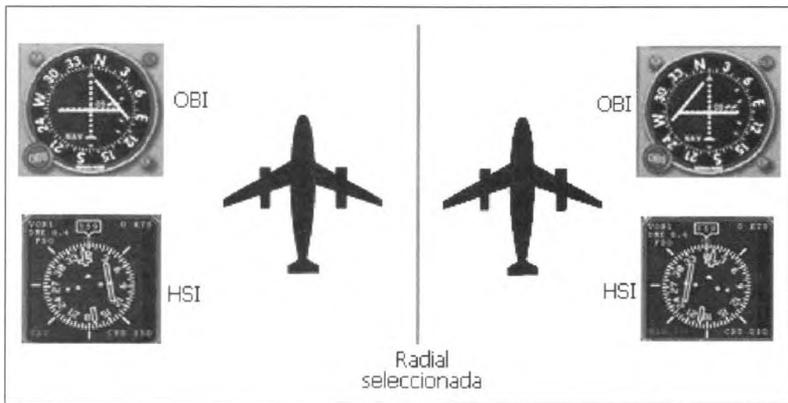


Figura 2.29 - Indicación de la posición de la radial

Para interceptarla, haremos un viraje y pondremos rumbo que será, el rumbo de la radial al que se le sumará o restará el ángulo con que haremos la intercepción.

Pongamos un ejemplo: Volamos inbound al Noroeste de una estación VOR y queremos volar inbound por la radial de 90° , si ponemos un rumbo de 90° magnéticos volaremos paralelos a la radial, para interceptarla pondremos un rumbo de 120° y alcanzaremos la R 90° con un ángulo de 30° , el calculo es simple $90^\circ + 30^\circ = 120^\circ$ como se ve en la figura 2.30.

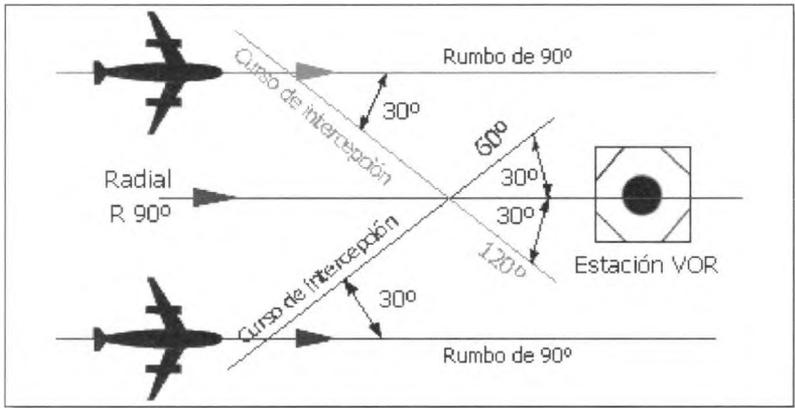


Figura 2.30.- Curso de intercepción

Si nos encontramos al Sudoeste también inbound viraremos a la izquierda y para llegar a la radial con un ángulo de 30° debemos poner rumbo de 60° resultante de $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$.

En pocas palabras, cuando el viraje es hacia la izquierda el ángulo de intercepción se resta mientras que si el viraje es a la derecha se suma.

Respecto a este ángulo muchas opiniones existen, hay quienes dicen que el mejor ángulo es de 15° , otros de 20° y otros 30° . La realidad es que esto es muy variable, tomen en cuenta que la distancia en millas náuticas de separación entre dos radiales consecutivas aumenta en la medida que nos alejamos del VOR, pero sobre esto volveremos mas adelante.

Es decir que si estamos cerca del VOR un ángulo de 15° puede ser excesivo, al virar para volar sobre la radial lo mas probable es que nos pasemos de largo de dicha radial y debamos virar más para corregir el problema, si estamos muy cerca del VOR y no tenemos cuidado comenzaremos a zigzaguear, pasaremos haciendo S sobre el VOR y seguiremos serpenteando hasta que nos alejemos de la estación.

Por el contrario un ángulo de 30° puede ser demasiado poco si nos encontramos lejos de la estación y prácticamente nos llevará todo el día el alcanzar la radial, incluso si estamos muy lejos podemos llegar a poner un ángulo de 90° sin problemas, eso si, siempre a medida que nos acercamos a la radial es mejor reducir el ángulo proporcionalmente a valores mas convenientes para no pasarnos y comenzar a vivorear.

Una vez alcanzada la radial, lo que se sabrá por la posición centrada del CDI del OBI solo hay que virar hasta alcanzar el rumbo de la radial buscada.

Aquí es fácil pensar e imaginar que con mantener el rumbo magnético permaneceremos sobre la radial, lo que seria cierto salvo por un pequeño detalle, el viento. Lo dicho anteriormente seria cierto si el viento fuera nulo o perfectamente longitudinal al avión, es decir, de frente o cola.

Si se mantiene el rumbo magnético y se observa el CDI se verá que este se desplazará hacia uno u otro lado de la posición central, esto se debe al desplazamiento lateral que le causa el viento a la nave y no es indicado por los instrumento de medición de rumbo magnético, es así donde surge el concepto de "DERROTA" la que deberemos compensar.

2.5.2 Derrota y deriva

La derrota es la verdadera trayectoria del avión, mejor dicho es la trayectoria descripta por la proyección sobre el suelo de la trayectoria de vuelo del avión.

Vamos a suponer que nos dirigimos a un punto ubicado al Este de nuestra posición, justo a los 90° , ponemos ese rumbo en el DG o en la brújula y después de recorrer la distancia no nos encontraremos sobre el punto, sino que estaremos al Norte de dicho punto.

Aquí surge la diferencia entre el rumbo seguido y la derrota del avión, el rumbo seguido es el correspondiente al que "apunta" la proa del avión y que es indicado por la brújula que en el ejemplo es siempre hacia el Este, pero si vemos la trayectoria del avión se vera que no es tan así, en realidad la trayectoria fue Noreste para el ejemplo. ¿Qué es lo que pasó para que exista esta diferencia?

Varios factores intervienen en este error, para empezar, mientras el avión se esta moviendo en el aire la tierra también se mueve, de esta forma la trayectoria seguida resulta de la composición de ambos movimientos. Este fenómeno se nota principalmente en los vuelos de largo alcance, notándose en muchos casos importantes diferencias no solo en la derrota, también en el tiempo de duración del vuelo.

Como se dijo este efecto es más notorio en los vuelos de largo alcance variando su interferencia según el rumbo que se siga mientras que en los de corto alcance casi no se notan.

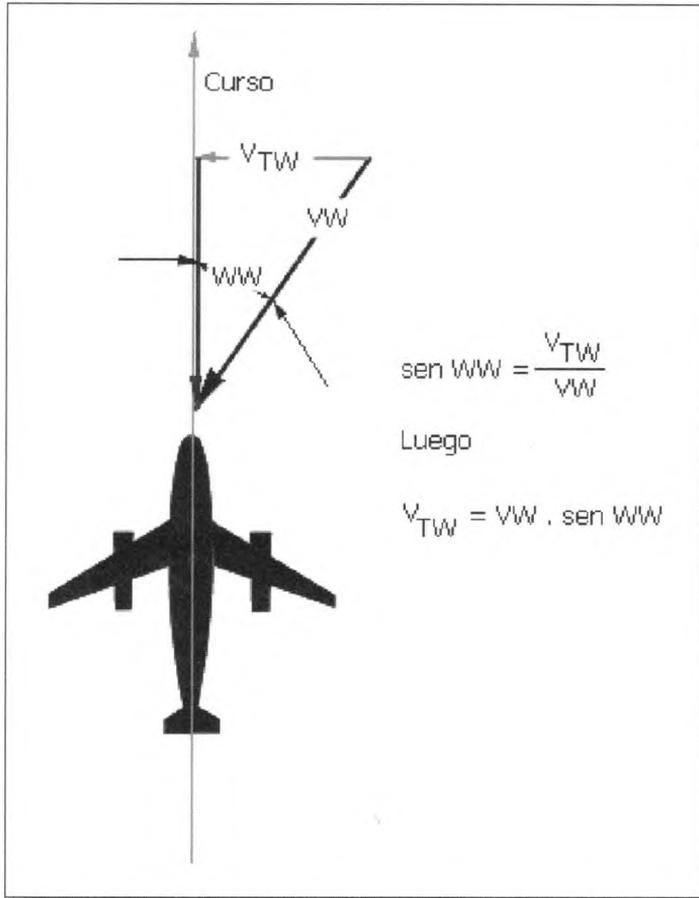


Figura 2.31 - Componentes del viento

La causa principal tanto en vuelos de largo alcance como en los de corto alcance del desvío está dado por el viento, mejor dicho por la componente del viento transversal al eje longitudinal del avión como muestra la figura 2.31, pongamos un ejemplo:

Un avión se desplaza a TAS de 250 kts mientras el viento sopla desde un rumbo a 30° del eje longitudinal del avión con una velocidad de 20 kts.

Para calcular la velocidad de la componente transversal del viento utilizamos la función seno, recordemos que algo similar se había hecho con la velocidad en el capítulo de instrumental y aviónica, pero sigamos con lo nuestro:

sen WW = V_{TW} / V_W donde: WW ángulo entre el eje longitudinal del avión y la dirección del viento V_{TW} : velocidad de la componente transversal del viento V_W : velocidad del viento

de donde se deduce:

$$V_{TW} = V_W \cdot \text{sen WW} \quad V_{TW} = 20 \cdot 0,5 = 10 \text{ kts}$$

Esto nos dice que el avión se desplaza a una velocidad en dirección a su eje longitudinal coincidente con el rumbo de la nave junto con un desplazamiento transversal a una velocidad similar a la del viento, pues el avión se desplaza dentro del aire en movimiento, a este desplazamiento lateral se lo denomina "DERIVA".

La derrota del avión será la resultante de la acción entre el rumbo y velocidad del avión y el rumbo y la deriva a causa del viento.

Esto se traduce en un desvío en grados del rumbo del avión apreciable en la figura 2.32, para calcular el ángulo (WCA) de deriva usaremos la función TAN (tangente) y su inversa la arco tangente (atan).

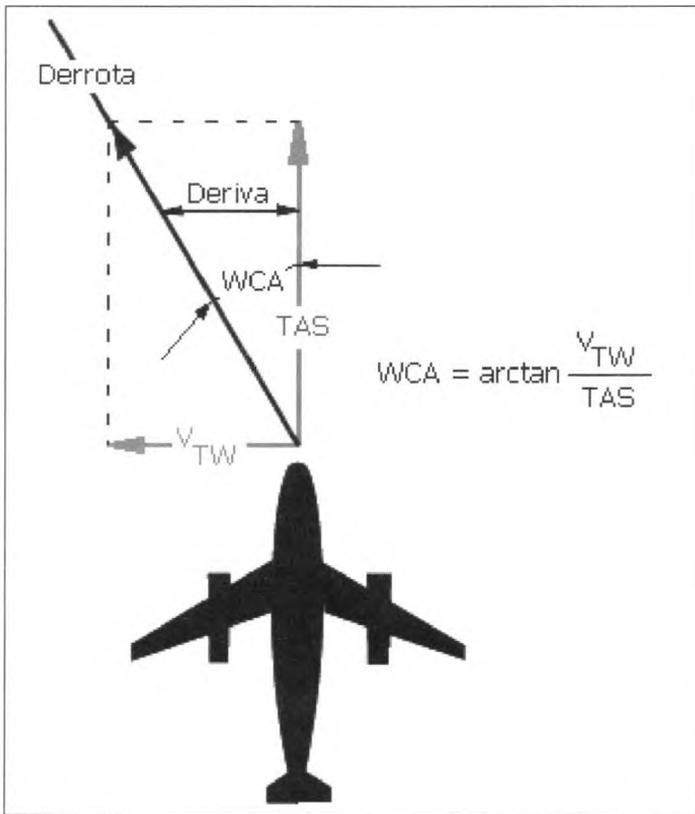


Figura 2.32.- Ángulo de deriva

La tangente (tan) se define como:

$$\tan WCA = VTW / TAS$$

Luego

WCA = atan (VTW / TAS) donde: WCA ángulo de deriva VTW: velocidad de la componente transversal del viento TAS: velocidad aerodinámica real

Quedando la expresión anterior:

$$WCA = \text{atan} (10\text{kts} / 250\text{kts}) = 2,29^\circ$$

Es decir que para el ejemplo el avión vuela con una diferencia en su curso de $2,29^\circ$ respecto al sentido que lleva y dependiendo del caso este ángulo de deriva (WCA) se deberá sumar o restar al curso.

Si para el caso estudiado el avión indicara un curso de 0° y el viento soplara desde los 30° en realidad esta volando con un rumbo de poco menos que 358° .

Este es el motivo del desvío que ocurre en el CDI comentado anteriormente, por ello es que se debe compensar para mantenerse en la radial. Para saber cuanto hay que compensar se puede recurrir al análisis anterior si se quiere, pero a no asustarse, no es la única forma, hay trucos que facilitan dicha estimación.

2.5.2.1 Corrección del ángulo de deriva (WCA)

Para corregir el ángulo de deriva hay varios métodos posibles, uno de ellos es por prueba y error.

Debemos observar para que lado se desvía el CDI y en base a eso sabremos desde donde sopla el viento, por ejemplo si llevamos un curso volando QDR la radial 360 de una estación cualquiera, el viento sopla desde el Este lo que causa que el avión se desplace hacia el Oeste. Si mantenemos sintonizado el OBI en la radial veremos que el CDI se desplaza hacia la derecha indicando la posición de la radial.

En principio para volver a la radial corregiremos con 15° o 20° hacia el viento, es decir tendremos un curso de 15° , al llegar a la radial reduciremos a 10° por ejemplo, y observaremos el comportamiento del CDI.

Si se desvía hacia el lado opuesto nos indica que la corrección es excesiva, si es así reducimos en 5° , por el contrario si se sigue desviando como lo hacia en un principio, quiere decir que el viento es mas fuerte de lo esperado, entonces aumentaremos en 5° , si cambia la desviación reducimos en 2° o 3° y así

sucesivamente. De esta forma aumentando o reduciendo por mitades encontraremos el punto donde quedará corregido el ángulo de deriva.

Si bien este método funciona, ¿que ocurre cuando tenemos que hacer correcciones en maniobras que duran poco y requieren precisión?, la respuesta es anticiparse a la corrección, para ello hay que calcularla.

Uno de los métodos para hacerlo es por medio del análisis detallado en el texto anterior que sin duda es tedioso, puede resultar confuso y requiere prácticamente recordar los valores de funciones trigonométricas de memoria, esto es casi imposible en situaciones de gran carga de trabajo como en aproximaciones.

Para no sufrir esto se recurre a una formula rápida en la que se aplica un coeficiente correspondiente con un ordenamiento del viento lateral por zonas según desde donde sople con referencia al rumbo del avión, tal como muestra la figura 2.33.

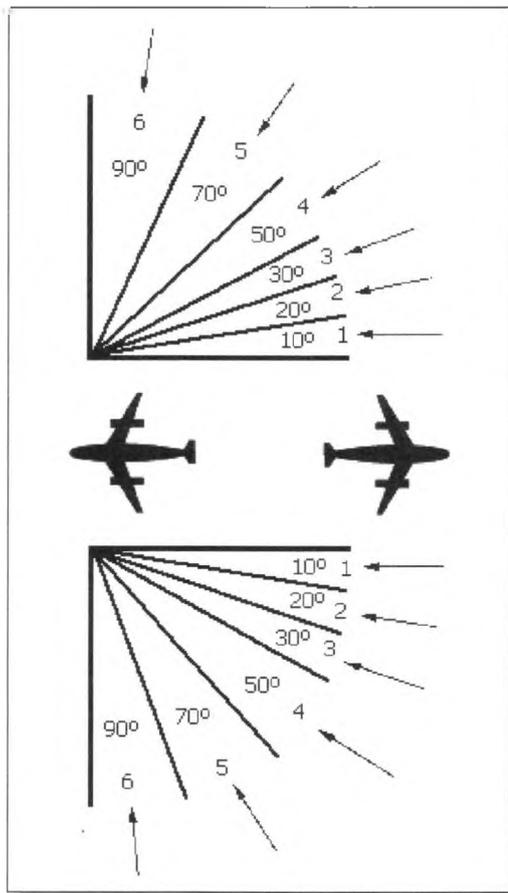


Figura 2.33.- factores del viento lateral

Los coeficientes mostrados en la figura 2.33 se aplican según desde donde sopla el viento en la fórmula:

$$\text{Fórmula rápida WCA} = \frac{\text{VW} \cdot \text{Factor (de 1 a 6)}}{0,1 \cdot \text{TAS}}$$

donde: VW velocidad del viento Factor, factor del viento lateral TAS velocidad aerodinámica real

Para verlo analicemos el mismo ejemplo puesto en el apunte de “Derrota y deriva” en la que un avión a 250 kts se ve sometido a un viento lateral que sopla a 20 kts con un ángulo de 30° en relación al rumbo del avión. Recordemos que el análisis de ese ejemplo nos dio un resultado de $2,29^\circ$ y en un momento supusimos que el avión tenía rumbo QDR 360° , entonces la aplicación de la fórmula queda:

$$\text{Fórmula rápida WCA} = \frac{20\text{kts} \cdot 3}{0,1 \cdot 250} = \frac{60}{25} = 2,4$$

El resultado es que nos da un desvío de $2,4^\circ$ mientras que en el caso anterior nos había dado $2,29^\circ$, si bien no es del todo exacta, es lo suficiente para saber cuanto debemos corregir con eficacia.

Como ya se comentó la deriva respecto de una radial señalada será indicada en el OBI por medio del desplazamiento del CDI que se alejará del centro cuanto mas nos alejemos de la radial.

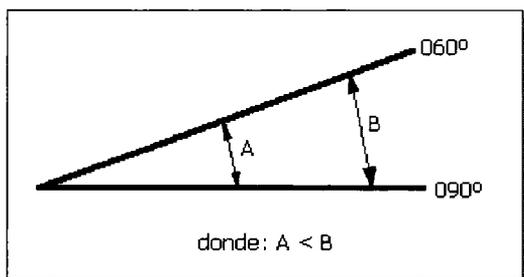


Figura 2.34.- variación de la separación según la distancia

Es importante entender que la señalización del instrumento es en grados, por lo tanto cuanto mas nos alejemos de la estación, aunque la diferencia en grados se mantenga, la distancia longitudinal entre la posición y la radial será mayor, es decir que mayor será el desvío en millas de la radial como se ve en la figura 2.34.

Si observamos el cuadrante del OBI veremos unos puntos, diez en total, cinco a izquierda y cinco a derecha. Cada uno de ellos indica en realidad cuantos grados existen de desvío de la radial, siendo a razón de 2° por cada punto.

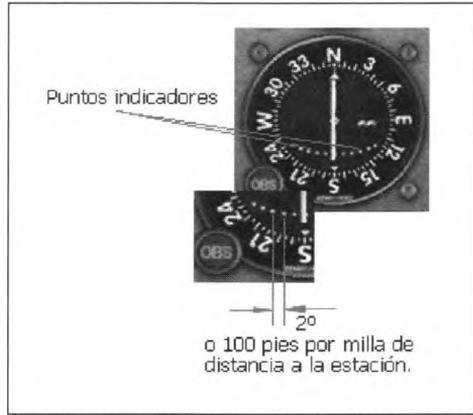


Figura 2.35.- Puntos indicadores de desvío

En base a esto sabremos que si el CDI está en el 3er punto desde el centro nos dice que estamos a 6° de la radial seleccionada. Con este dato podemos saber cuanto es la distancia de separación con la radial si tomamos en cuenta que cada punto son aproximadamente 100 pies por cada milla de distancia a la estación.

Si nos encontráramos a 1 milla de la estación y el CDI señala un desvío de 3 puntos estaríamos a una distancia de 300 pies de la radial, mientras que si estuviéramos a 20 millas la separación sería de 6000 pies, dato importante a la hora de realizar intercepciones y correcciones.

2.5.2.2 Método de intercepción (interception methode)

Ya hemos comentado que si bien el ángulo de intercepción de la radial será relativamente pequeño, pero en su comienzo, cuando se hace el primer viraje podrá ser mucho mayor según que tan lejos nos encontremos de la radial buscada y de la estación, caso contrario nos podría llevar todo el día alcanzarla.

Esto dicho de esta forma da la impresión de realizarse a ojo en base a la experiencia, sin embargo hay métodos muy útiles para tal fin, definidos por las combinaciones de los ángulos siendo $180^\circ/90^\circ/45^\circ$, $90^\circ/45^\circ$, 45° , 30° , basados en la diferencia angular existente entre la actual posición y la radial buscada, siendo lo recomendado:

Para una diferencia angular	Interceptions
Mayor a 70°	180°/90°/45°
Entre 20° y 70°	90°/45°
Hasta 20°	45°
A menos de un minuto para el descenso	Máximo 30°
Tabla 1: Métodos de intercepción.	

Para entender esto pongamos como ejemplo una intercepción de 180°/90°/45°, no dice que debemos acercarnos a la situación requerida de la siguiente forma:

En principio tomamos un rumbo a 180° hasta estar a unos dos minutos de vuelo, en dirección paralela y sentido contrario al QDM requerido, luego se vuela a 90° con respecto a la misma, hasta que se alcance una marcación diferencial de 15° en donde se vira a 45° respecto de la radial. Con una marcación diferencial de 3° aproximadamente se corrige de nuevo el rumbo alcanzando así la radial.

Los valores de las marcaciones se emplean para hacer los virajes, y dependen de la distancia al emisor, a una distancia mayor de 5 minutos al emisor es apenas necesario virar en la marcación.

Habrán notado que se nombro QDM y además que algo que parecía hacerse a ojo esta tabulado y ya estarán empezando a sospechar que debe haber un meto para realizar una intercepción, la respuesta es si, como todo en aviación, hay que ser metódico si se quiere conservar la licencia...o más aun.... la vida de nuestros pasajeros y la nuestra propia.

En principio hagamos diferencia entre las clases de intercepciones las que llamaremos QDM- interceptions y QDR-interceptions en las que son aplicables diversos métodos de intercepción, pero el método de 6 pasos es siempre valido, comencemos con una QDM-interception, el método dice:

1. Actual
2. QDM
3. Diferencia
4. Interception
5. Interception-HDG (rumbo de intercepcion)
6. First Turn (primer viraje)

Para ponerlo en castellano diremos que los seis pasos son:

1. Actual QDM, que no es más que la radial sobre la que nos encontramos volando hacia el VOR, en otras palabras, es ¿donde me encuentro?
2. QDM requerido, es la radial necesaria o buscada que queremos interceptar, siempre en QDM
3. Calculo de la diferencia angular entre ambas radiales, lo que nos permite saber cuan lejos nos encontramos.
4. Con la diferencia angular determinamos el método de intercepción, mostrados en la tabla 1
5. Según el método a utilizar se calcula el nuevo rumbo a seguir.
6. Determinar para que lado debe realizarse el viraje.

Para clarificar el tema pongamos un ejemplo:

Volamos con rumbo (Heading) de 90° encontrándonos sobre la radial de 110° QDM y queremos interceptar la QDM de 160° . Ahora veamos el análisis paso a paso:

Heading	=	090°
1. actual QDM	=	110°
2. requerido QDM	=	160°
3. diferencia angular	= 160° - 110° =	50°
4. Interception methode	= por lo explicado en la tabla 1 =	90°/45°
5. Interception-HDG	= 160° - 90° =	70°
6. First turn = Left (izquierda)	resulta simple darse cuenta.	

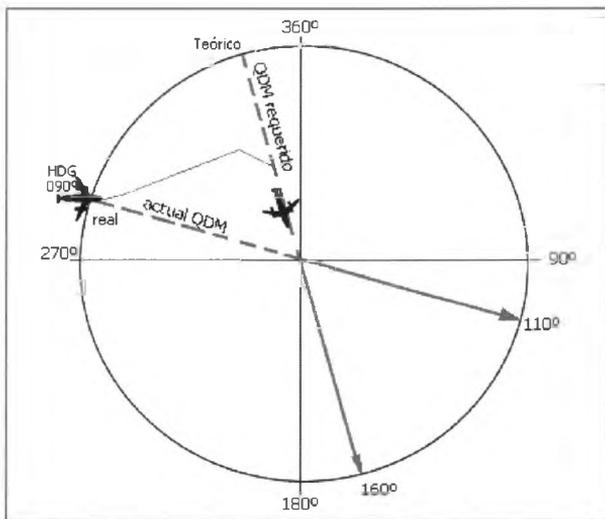


figura 2.36.- QDM interception

Esta serie de cálculos, que en parece tediosa a la hora de realizar una intercepción puede simplificarse mucho con un pequeño truco y un poco de imaginación.

La figura 2.36 muestra los rumbos a seguir para la intercepción del ejemplo, observen la indicación que tiene de los grados que van desde 0° hasta 360° (para ejemplo se indicaron 90° , 110° , 160° , 180° , 270° y 360°), es decir es una rosa de rumbos.

El giroscopio direccional tiene en su cuadrante una rosa de rumbos, si suponemos que la estación VOR esta sobre el centro del cuadrante y transportamos los QDMs sobre el borde del instrumento resolveremos el problema con facilidad, desde luego esto requiere práctica, lo mejor es al comienzo dibujar sobre un papel diversas intercepciones hasta acostumbrarnos y luego saldrá automáticamente, además el instrumento nos estará señalando el HDG actual.

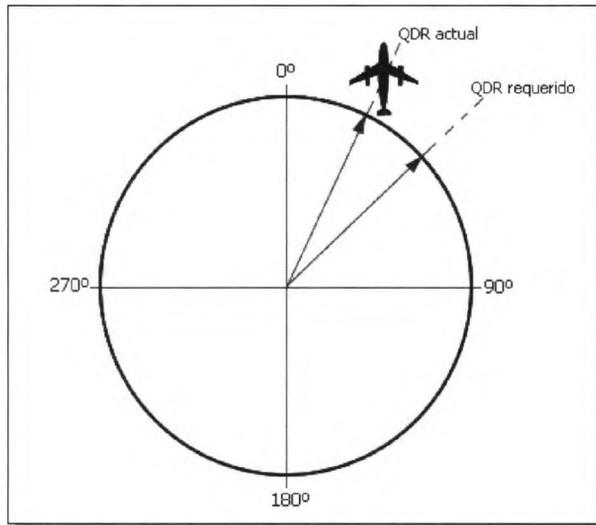


Figura 2.37.- QDR interceptions

Lo mismo ocurre con las QDR intercepción, con la salvedad que lo representado y lo que se calcula es con los valores QDR actual y QDR requerido. En estos casos, luego de sobrevolar la estación lo conveniente es interceptar con 30° la QDR requerida, con ángulos grandes (mas de 90°) con $90^{\circ} / 45^{\circ}$ y con muy pequeñas haciendo previamente un vuelo paralelo durante 30 segundos aproximadamente a una distancia de un minuto al primer fix (punto o marcación predeterminada para un cambio de rumbo.) lo mejor es interceptar con 45° .

Aunque a primera leída alguno de los métodos de intercepción parezca descabellado, cuando se lo piensa con mas cuidado se llega a ese método por propia deducción, tal vez el caso más llamativo sea el procedimiento $180^{\circ}/90^{\circ}/45^{\circ}$,

entonces pongamos como ejemplo una intercepción de ese tipo y de paso practicamos la determinación de los valores de intercepción.

Supongamos que volamos con un heading de 0° y nos encontramos en QDR 030, queremos arribar a la estación con un QDM de 340° , tal como lo muestra la figura 2.38.

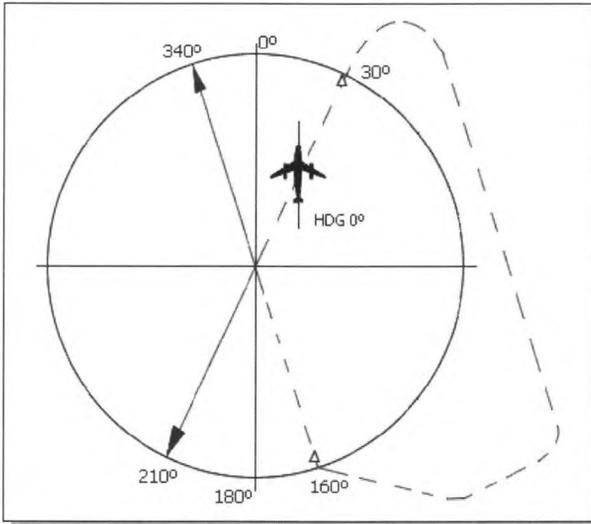


Figura 2.38.- Representación gráfica del ejemplo planteado

Aclaremos que una de las marcaciones es QDR, mientras que el método maneja QDM, así que para el cálculo utilizaremos el valor de la radial correspondiente en QDM.

Heading		=		=	0°		
1.	actual	QDM	=		210°		
2.	requerido	QDM	=		340°		
3.	diferencia angular	=	340	-	210	=	130°
4.	interception method	=	$180^{\circ} / 90^{\circ} / 45^{\circ}$	por diferencia angular mayor a 70°			
5.	primer interception-heading	=				160°	
6.	First turn	=				right	

Sugerimos ahora para ganar práctica plantearse diversas intercepciones y resolverlas tanto en forma de cálculo como con la representación gráfica de la situación en la rosa de rumbos.

2.5.2.3 Tiempo y distancia a una estación

Como ya hemos comentado muchas estaciones VOR poseen asociado un equipo medidor de distancia, el que en conjunto con el equipo dentro de la nave nos permite conocer la distancia a dicha estación, como ya saben este equipo es el DME.

Si bien la lectura es directa hay que tener en cuenta que el equipo mide la distancia entre el avión y la estación tal como muestra la figura 2.39.

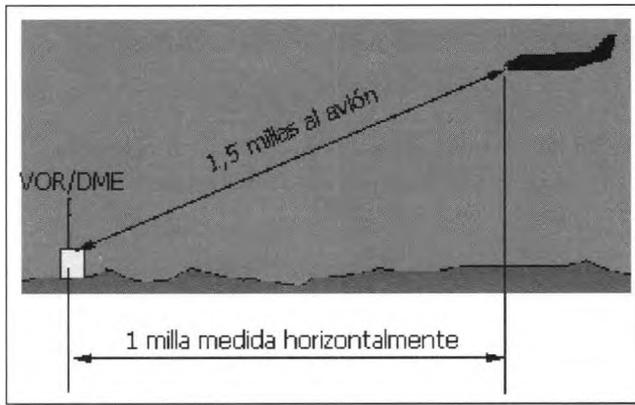


Figura 2.39.- Medición DME

Es decir que si el DME nos indica una distancia de una milla a la estación y volamos a por ejemplo 4000ft la distancia medida horizontalmente será menor a la milla.

Ahora como hacemos cuando la estación no tiene disponible un DME, en ese caso recurriremos a medir tiempo de vuelo entre radiales para luego calcular la distancia.

Sugiero ir empezando a acostumbrarse a la utilización del reloj para determinar distancias y posiciones y si se dispone de un cronometro mejor, este debe formar parte del equipamiento y herramientas del piloto pues el control de tiempos es muy útil aunque al principio suene raro, incomodo e impreciso.

La idea consiste en tomar el tiempo de vuelo entre dos radiales para luego determinar la distancia a la estación mediante la fórmula:

Minutos a la estación = segundos entre radiales / grados entre radiales.

Para esto es necesario que la radial tomada para referencia sea perpendicular a nuestro curso y los instrumentos estén estabilizados, es decir que no es conveniente hacerlo inmediatamente después de salir de un viraje.

Una vez cumplida estas condiciones y seleccionada la radial, cuando esta se centre en el OBI comenzamos la medición de tiempo, luego seleccionamos una radial mas adelante en nuestro curso y al volverse a centrar terminamos la medición del tiempo transcurrido para finalmente determinar el tiempo de vuelo a la estación por medio de la formula arriba expresada. Luego conociendo la velocidad y el tiempo a la estación conoceremos la distancia a ella.

Por ejemplo, midamos el tiempo entre dos radiales separadas 10° entre si, para ello empezamos a cronometrar al centrarse la primer radial y finalizamos al centrarse la segunda 10° delante nuestro, supongamos que pasaron 25 segundos hasta que se centraron ambas radiales, entonces:

$$\text{Minutos a la estación} = 25 \text{ seg} / 10^\circ = 2,5 \text{ minutos}$$

Ahora conociendo la Ground Speed (GS - velocidad respecto a Tierra) y este tiempo podemos conocer la distancia a la estación (como obtenerla ya fuera explicado en el capitulo de Velocidades).

Supongamos que la GS es de 125 nudos, entonces la distancia es:

$$125 \cdot 2,5 / 60 = 5,2 \text{ millas}$$

El 60 aparece para unificar las unidades de tiempo pasando los minutos a horas en la formula.

Tema 3

Radar

3.1 Introducción

Se conoce con el nombre de RADAR, a un sistema de detección de obstáculos y medida de distancias que emplea las ondas electromagnéticas. El sistema se basa en el hecho de que, la energía electromagnética radiada por un transmisor se refleja en los obstáculos que encuentra a su paso. Mediante la recepción de la energía reflejada y la medida del tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción se puede conocer la distancia a que se encuentra, respecto al transmisor, el obstáculo que dio lugar a la reflexión o eco, como se denomina por analogía con el fenómeno acústico correspondiente.

El RADAR se desarrolló de forma independiente y casi simultánea en Alemania, Gran Bretaña y Francia, bajo diferentes nombres. El término RADAR (Radio Detection and Ranging) fue adoptado por la Navy en 1942 y posteriormente por todos los países; podríamos traducirlo por: Detección de objetos y medida de sus distancias por medio de la radio.

3.2 Historia

El inicio del RADAR como sistema descrito anteriormente lo podemos situar a los principios de los años treinta. En efecto, bajo supervisión militar, se hicieron estudios en EE.UU., Alemania, Inglaterra y Francia; así, en Alemania comenzó el desarrollo de un detector de barcos, siguiendo un camino abierto por el doctor Rudolf Kuhrhold en el verano de 1933 registraron el eco de una embarcación de superficie a la distancia de 8 millas. El doctor Wilhelm Runge registró el eco de un avión JU-52 en los primeros meses de 1935.

En Inglaterra (julio de 1935) una serie de científicos, entre los que se encontraba Watson-Watt, recogieron la señal de un avión que se aproximaba desde

una distancia de 38 millas y se siguió a un avión desde su salida durante 34 millas.

En octubre de 1935 los tres pioneros del RADAR británico, Wilkins, Bowen y Watson-Watt, prepararon el proyecto de un sistema, que después se denominaría "Indicador del Plano de Posición (PPI)", para el que necesitaban longitudes de onda de 1,5 metros como máximo. Una antena de giro constante enviaba impulsos de duración muy corta para formar un haz de unos grados en forma de punto indicador que podía tocar a un objeto y el eco de retorno sería visible en una escala de distancia como un punto brillante. La escala podría tener su comienzo en el centro del Tubo de Rayos Catódicos TRC y no tendría que aparecer fija en el centro de la pantalla, sino que giraría alrededor del centro, que sería el cero de la escala de distancia, giro que sería sincrónico con el del punto buscador. De este modo, cuando un eco regresara, procedente de un blanco, aparecería en la pantalla PPI a una distancia del centro proporcional a la distancia del blanco a la antena emisora; su ángulo, a partir de la línea norte-sur de la pantalla, sería el ángulo, a partir del norte, en que estuviera orientada la antena y sobre cuya línea llegaría el eco del retorno. Pudiéndose así obtener un mapa que se trazaba sólo y se renovaba continuamente con los ecos del RADAR, centrado en el emisor y visible por la persistencia de la imagen fluorescente. Cuatro años más tarde la longitud de onda permitió limitar la anchura del haz explorador a sólo unos grados y la anchura angular del eco correspondiente en la pantalla a un valor equivalente. Sin embargo, todas las posibilidades del PPI no se pudieron explorar hasta conseguir el RADAR de micro-ondas con la invención del magnetrón de cavidades resonantes, el klistrón y otros elementos.

Sin embargo, EE.UU. se anticipó, pues en diciembre de 1934 podían mostrar fotografías del eco de un avión en el radar. De estos estudios y experimentos saldría lo que actualmente conocemos como RADAR.

3.2.1 Antecedentes

Durante el siglo pasado se realizaron diversos estudios radioeléctricos y matemáticos. Así, en la *Teoría Sobre La Naturaleza De La Luz y Las Radiaciones* que publicó en 1871 el matemático inglés C. Maxwell se encuentra la justificación matemática de la primera idea básica del RADAR. Entre 1885 y 1889 el físico alemán Heinrich R. Hertz realizó trabajos sobre la citada teoría que le condujeron a la producción, en laboratorio, de ondas electromagnéticas, la medida de sus longitudes de onda, velocidad de propagación y la posibilidad de ser reflejadas, refractadas y polarizadas. Durante los estudios llevados a cabo en Gran Bretaña por E.U. Appleten y Miles A.F. Barnet, por cuenta del British Radio Research Board, se utilizaron métodos de observación de las interferencias de los ecos procedentes de las capas ionizadas con la onda directa radiada por el transmisor.

La segunda idea básica del radar, es decir, el principio de la transmisión de impulsos, fue desarrollada por Gregory Breit y Merle A. Truce en 1925 en el Carnegie Institute de Washington DC y rápidamente adoptada para la investigación ionosférica.

Las primeras ideas sobre la posibilidad de localización de objetos por medio de ondas electromagnéticas se encuentra en un artículo publicado por el físico Nikola Tesla en el número de junio de 1900 de Century Magazine. Posteriormente, Guglielmo Marconi en una conferencia, que tuvo lugar en el Institute of Radio Engineers de Nueva York en 1922, puso de manifiesto la posibilidad de localización de objetos móviles, tal como barcos en el mar.

El primer antecedente documentado de un detector de radio ecos es el desarrollado por el ingeniero alemán Christian Hülsmeier que patentó en 1904, un instrumento para la prevención de colisiones entre barcos, aunque no se conoce si tal instrumento llegó a ser operativo.

3.2.2 Desarrollo

La contribución decisiva para el desarrollo del RADAR tuvo lugar en Gran Bretaña durante 1940 con la invención del magnetrón de cavidades resonantes por un equipo de la Universidad de Birmingham, dirigido por los físicos Boot y Randall. Esto hizo posible el empleo de equipos de RADAR en la banda de ondas centimétricas, lo que además de mejorar la precisión, permitía la construcción de equipos aptos para ser instalados en buques y aviones.

Durante la S.G.M., el desarrollo del RADAR en EE.UU. y Gran Bretaña se llevó a cabo bajo una estrecha cooperación que produjo excelentes resultados y permitió la producción de equipos de RADAR en la banda de microondas. A principios de 1944 se puso en servicio un RADAR de vigilancia en la banda de 3 GHz, con resultados muy satisfactorios, poco tiempo después se puso el primer RADAR que operaba en 9 GHz. En Japón, se realizaron trabajos sobre el tema desarrollándose algunos radares de onda continua basados en el efecto Doppler. En 1940 se comenzó a utilizar el RADAR de impulsos. Posteriormente se desarrolló un tipo de magnetrón, basándose en el RADAR de un avión capturado en Filipinas en 1942, que operaba en la banda de 200 MHz y que fue instalado en bombarderos pesados. Más tarde se construyeron versiones del RADAR "Würzburg" con planos cedidos por Alemania. En Japón llegó a fabricarse un magnetrón que operaba en longitud de onda de diez centímetros, pero no se puso en servicio ningún equipo comparable a los utilizados por los Aliados.

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial se prosiguió el desarrollo del RADAR en el campo civil, lo que dio lugar a una creciente demanda y consiguiente abaratamiento del producto.

Los primeros radares destinados a uso civil eran relativamente voluminosos y pesados y utilizaban gran número de válvulas, lo que requería el empleo de potencias de alimentación relativamente grandes y su fiabilidad no era muy buena. Progresivamente los equipos fueron mejorando, tanto en precisión como en fiabilidad. En la década de 1960 comienza la transistorización de los equipos de RADAR marinos, produciéndose un retroceso en la fiabilidad, ya que la técnica de los semiconductores para uso civil no estaba, en ese momento, suficientemente desarrollada. Posteriormente se superó tal situación y, actualmente la fiabilidad de los equipos de RADAR transistorizados ha mejorado en alto grado, debido tanto a la mejora de los semiconductores en sí, como al diseño de sus circuitos asociados.

Así pues, el efecto fundamental en que se basa el radar, es decir, el hecho de que la energía de radiofrecuencia se refleja en los obstáculos que encuentra a su paso, era conocido desde muchos años atrás. Sin embargo, el estado de los conocimientos y técnicas de la época no permitían la realización práctica de un sistema de RADAR operativo. Uno de los requisitos era el empleo de frecuencias muy elevadas, con el fin de que la precisión y definición del sistema fueran aceptables. Hasta la invención del magnetrón de cavidades resonantes no se contaba con medios para generar las potencias requeridas, en la gama de frecuencias necesarias.

Éste es uno de los muchos casos en que un fenómeno físico conocido no puede ser aprovechado porque las técnicas del momento no han alcanzado el grado de desarrollo necesario.

3.3 Tipos de radares

En términos generales y en esencia podemos decir que el RADAR es un sistema de telemetría por ecos, en el que un transmisor emite energía de radiofrecuencia y un receptor recibe parte de esta energía reflejada por los obstáculos o blancos. El sistema comprende los medios necesarios para medir el tiempo transcurrido así como para determinar la dirección de procedencia del mismo.

Hay varios tipos de radar, basado en diferentes propiedades del eco y que utilizan diferentes clases de emisión, resultando cada uno de ellos apropiados para empleos específicos.

Dependiendo del sistema de modulación utilizado en la energía radiada se consiguen diversos tipos de instrumentos con diferentes aplicaciones.

Si se utilizan ondas moduladas en frecuencia, de modo que la variación de la frecuencia se produzca de un modo rítmico constante, se podrá conseguir un

instrumento que proporcione distancias con gran exactitud, y si se construye con la antena transmisora o receptora direccional se podrá determinar también la demora, pero necesitará objetos reflectantes de gran superficie y distancias relativamente cortas. Este tipo se suele emplear en los radios altímetros de los aviones.

Otro tipo de instrumento es el que se sirve del efecto Doppler y que es posible emplear en los objetos móviles para determinar su velocidad; integrando esta velocidad respecto al tiempo se obtiene la distancia. Este sistema es el utilizado en los radares modernos para determinar la velocidad del blanco, y, con la ayuda de la giroscópica, el rumbo. Es decir, que es posible conocer la situación del blanco con respecto a nuestro móvil, (distancia, rumbo y velocidad).

Los radares marinos utilizan impulsos de energía electromagnética muy cortos. Estos impulsos no necesitan modularse ya que no deben transportar ningún tipo de información y se originan por ondas de forma cuadrada o rectangular.

En términos generales, los radares pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- RADARES DE NAVEGACIÓN.

Proporcionan información acerca de la distancia y dirección de los objetos que rodean al buque, son del tipo de transmisión de impulsos de corta duración y alta potencia, separados entre sí por espacios relativamente grandes comparados con la duración del impulso, los más utilizados tienen un alcance de unas 100 millas.

- RADARES DE VIGILANCIA Y METEOROLOGÍA.

Proporcionan información sobre la presencia de objetos o lluvias y tormentas, con un alcance de unas 250 millas.

- RADARES DE CONTROL DE TIRO.

Siguen automáticamente a un blanco determinado.

3.4 Microondas

Las microondas son radiaciones electromagnéticas que en el espectro de las ondas, están comprendidas entre las ondas de UHF y las de los rayos infrarrojos. Por lo tanto, incluyen las frecuencias entre 300 millones y 3 billones de ciclos por segundo, o lo que es igual, las longitudes de ondas comprendidas entre 1 metro y 0,1 milímetro. El nombre de microondas es indicativo de ondas

muy cortas por comparación con las longitudes de onda de la radio comercial, cuya longitud es de varios centenares de metros. Como las microondas están en la región del espectro comprendida entre las ondas de la luz y las ondas de radio, poseen propiedades comunes a ambas; por ejemplo:

- * Las microondas se trasladan en línea recta igual que las de la luz y quedan bloqueadas por la mayoría de los objetos sólidos.
- * Se pueden enfocar y dirigir en forma de rayo.
- * Se reflejan igual que los rayos de luz.

Sin embargo, las microondas son similares a las ondas de radio en que se generan por métodos relacionados y derivados de las radiaciones de baja frecuencia; se pueden explicar en los términos de la teoría clásica de la radio y se pueden emplear para las radiocomunicaciones de modo muy parecido al de las ondas ordinarias.

La invención de las válvulas especiales como son el *magnetrón* y el *klistrón*, capaces de generar grandes cantidades de energía en microondas dieron lugar al rápido progreso de los radares.

En el RADAR se requieren altas frecuencias (microondas) con el fin de lograr lóbulos finos de radiación, utilizando antenas de tamaño físico razonable y también concentrar la potencia de radiación en los ángulos más bajos respecto del horizonte.

El empleo de altas frecuencias tiene también sus desventajas, por ejemplo la potencia que puede generarse en el transmisor tiende a ser menor a medida que la frecuencia es mayor, el factor de ruido en el receptor es más acusado y los fenómenos atmosféricos de lluvia y nieve introducen serias atenuaciones, limitando los alcances y aumentando las perturbaciones de la señal.

En los radares marinos las frecuencias utilizadas corresponden a las longitudes de onda de 3 y 10 cm., que equivalen a las bandas X (8-10 GHz) y S (2.000-4.000 MHz), respectivamente. Con radares de $\lambda = 3$ cm., se obtiene una mayor precisión y discriminación de blancos, por el contrario se ven afectados por los efectos de atenuación de lluvia y nieve.

Los radares de $\lambda = 10$ cm., tienen la definición y la precisión menor, pero sus lóbulos de radiación se ven menos afectados por la lluvia y la nieve. El RADAR de banda S es más sencillo de fabricación y requiere una antena más pequeña.

La potencia de un RADAR se expresa en función de la *potencia de cresta*. Esta es la potencia que generaría el transmisor (generador oscilador de potencia) si trabajase continuamente con el nivel de potencia que tiene cuando se generan los impulsos. Para definir los impulsos generados por el transmisor del RADAR

no es suficiente hablar de su potencia sino especificar la duración de los mismos y su frecuencia de repetición.

La duración de los impulsos utilizados en los radares es de alrededor $0,07 \mu\text{s}$ a $1 \mu\text{s}$. Los impulsos de corta duración tienen mayor poder de resolución, separan y distinguen ecos próximos, reduciendo su alcance.

La frecuencia de repetición de los impulsos de radiación varía dependiendo de los trabajos a los que el sistema RADAR va a ser destinado. En radares de corto alcance se utilizan altos regímenes de repetición de impulsos, por cuanto los ecos devueltos desde una distancia correspondiente a un retardo de tiempo mayor que el tiempo comprendido entre impulsos, evidentemente no serán registrados o presentados en el indicador de la unidad de presentación.

3.5 Tecnología del radar de navegación marítima

3.5.1 Introducción

El RADAR marino es un sistema electro-mecánico que determina la dirección y distancia de cualquier objeto que refleja las ondas de radio; basado en la teoría de microondas, las líneas de transmisión y los circuitos de ondas no sinusoidales. Requiere una serie de unidades unas de tipo electrónico y otras mecánico, cuyo funcionamiento básico consiste en transmitir, mediante un emisor, ondas suficientemente cortas para que se trasladen en línea recta y en periodos breves para recibir el eco. Consta de una antena giratoria direccional que barre el horizonte a velocidad constante, normalmente a 20 ó 30 rpm, de forma que la onda, emitida horizontalmente, choca con los objetos que se encuentra a su paso y se refleja en forma de eco, siendo recibida por la antena de a bordo que la envía al receptor, el cual registra la energía de la onda y el intervalo transcurrido entre la emisión y recepción de la onda, indicándonos la distancia en la pantalla de Tubo de Rayos Catódicos (TRC), todo ello controlado por un sincronizador.

La energía radiada por un transmisor se refleja en los obstáculos que encuentra a su paso, mediante la recepción de la energía reflejada y la medida del tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción, se puede conocer la distancia a que se encuentra, respecto del transmisor, el obstáculo que dio lugar a la reflexión del eco. Como sabemos las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz, a 300.000 Km/s , cada microsegundo (10^{-6} s) transcurrido entre el instante de emitirse un impulso RADAR y la llegada de la reflexión corresponde a 150 metros, es decir la distancia total recorrida por la señal en un microsegundo es de 300 metros.

3.5.2 Diagrama de bloques básico de un radar marino

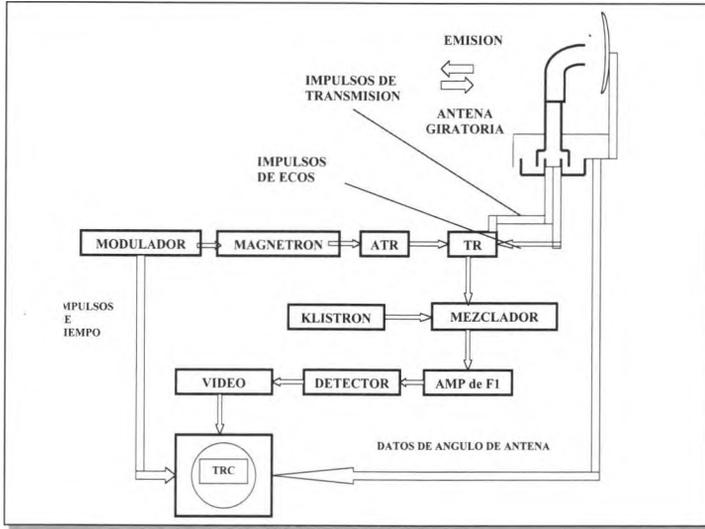


Figura 3.1.- Diagrama de bloques del RADAR marino

3.5.3 Análisis del diagrama

3.5.3.1 Introducción

La antena concentra direccionalmente la energía emitida, con el fin de determinar la demora y presentar en pantalla la información recibida. El duplexor actúa como conmutador automático evitando que la señal de salida del transmisor y la señal recibida en el receptor se mezclen de forma que sólo se utiliza una antena, tanto para la transmisión, como para la recepción. El componente fundamental del transmisor es el magnetrón (donde se generan las microondas). La parte "inteligente" del emisor lo constituyen la central de sincronismo y el modulador, que ejecutan las siguientes misiones:

- Crear todas las señales de sincronismo necesarios tanto para el emisor como para el receptor.
- Almacenar la energía necesaria para la creación de los impulsos durante los periodos de tiempo en los que el RADAR no emite.
- Conseguir la forma adecuada en el impulso.

A pesar de que el receptor RADAR puede ser considerado a grandes rasgos como un receptor superheterodino clásico, las características de las señales recibidas, la aparición de señales parásitas y la necesidad de extraer de la

misma señal diferentes informaciones de forma automática, hacen que este receptor sea algo más complejo.

Las características más notables que debe reunirse en un receptor son:

- Sensibilidad, del orden de 100 dB, para recibir señales débiles.
- Ganancia en los amplificadores de Frecuencia Intermedia (FI) y video para suministrar a la unidad de presentación una tensión de un centenar de voltios.
- Control de la sensibilidad con el tiempo, S.T.C. (Sensitivity Time Control).
- Amplificadores logarítmicos, para lograr que ecos tan diferentes como una montaña a corta distancia o un bote a varias millas puedan ser diferenciados sin lugar a dudas.

La función primordial del transmisor es la de crear impulsos de alta frecuencia y potencia para enviarlos a la antena.

El RADAR del diagrama emite la energía en forma de impulsos de corta dirección. De esta forma la recepción de los ecos se produce en los intervalos en que el transmisor está inactivo. Debido a este hecho, es posible utilizar una sola antena para emitir y recibir siempre que esté provista de un dispositivo, llamado duplexor que la conecta alternativamente, al transmisor y al receptor en los tiempos adecuados. El sistema de transmisión de impulsos nos ofrece dos ventajas, respecto a los sistemas de emisión continua.

1º.- Permite medir el tiempo transcurrido entre la emisión del impulso y la recepción del eco reflejado.

2º.- La energía radiada se concentra en impulsos de corta duración, con lo que la potencia instantánea radiada puede ser considerable, y la fuente de alimentación, sin embargo, relativamente de poca potencia.

3.5.3.2 Ciclo de trabajo

Para comprender mejor el diagrama anterior, vamos a considerar como punto de partida el modulador, el cual, al recibir un impulso de control enviado por el sincronizador, aplica impulsos de alta tensión y potencia al magnetrón. Éste oscila a su frecuencia propia de operación durante el tiempo de aplicación del impulso, permaneciendo en reposo en los intervalos.

El impulso de radiofrecuencia generado por el magnetrón se propaga por la guía ondas, encontrando en su camino dos células conmutadoras, ATR y TR, constituidas por tubos gaseosos de baja presión en los que se produce la ionización mediante la propia energía de radiofrecuencia que los alcanza. Estas células están construidas de forma tal que constituyen secciones de guía ondas

de las dimensiones adecuadas como para, dependiendo de su estado de ionización, actuar como conmutadores para la energía de radiofrecuencia.

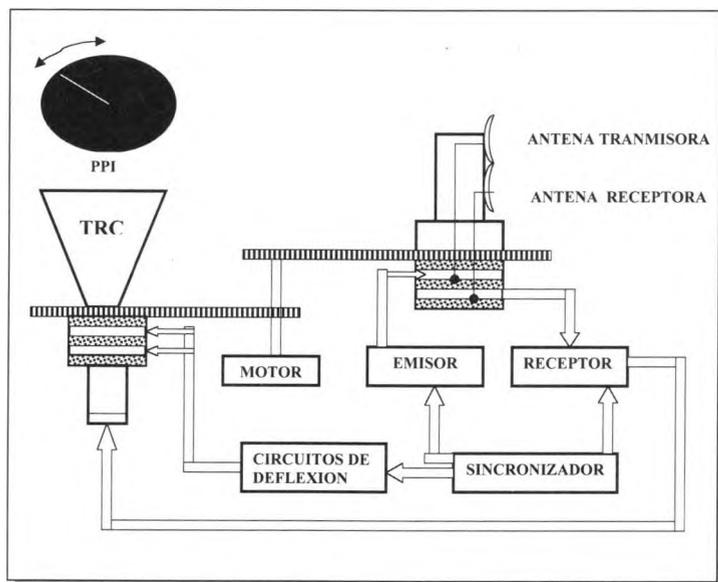


Figura 3.2.- Sistema de presentación por PPI

Durante el tiempo de duración del impulso de transmisión, la célula TR conecta la salida del magnetrón a la antena mientras desconecta el mezclador a fin de protegerlo del impulso de emisión, que dada su alta potencia, podría dañarlo. Mientras tanto, la célula ATR permite el paso de la energía de radiofrecuencia, con pérdidas despreciables.

En el intervalo de tiempo que no hay impulsos de transmisión, ambas células se desionizan y conectan la antena con el mezclador del receptor, al tiempo que se desconectan del magnetrón para impedir que parte de la energía contenida en las señales de eco recibidas le alcance. Una vez que el impulso de transmisión ha sido radiado y las células TR y ATR quedan en reposo, el sistema está listo para recibir las señales de ecos procedentes de los obstáculos situados dentro del haz en que ha sido radiado el impulso.

Cuando las señales de eco llegan a la antena, se transmiten por guía ondas hacia el receptor, cuya primera etapa es el mezclador que, en esencia, es igual al de un superheterodino corriente.

El mezclador recibe, por una parte, las señales procedentes de los ecos y por la otra, la generada por el oscilador local, constituido por una válvula especial llamado Klistrón. La frecuencia generada por éste difiere, generalmente por

exceso, de la generada por el magnetrón, obteniéndose en el mezclador una frecuencia diferencia entre ambas. A esta frecuencia diferencia se le da el nombre de frecuencia intermedia (FI) y suele tener un valor comprendido entre 20 y 60 MHz.

Las señales de eco, convertidas a FI, se simplifican y detectan, obteniéndose señales de video que se amplifican nuevamente y por último se aplican al indicador para presentación visual.

En los radares navales la presentación se hace siempre sobre una pantalla PPI lo que implica que el indicador debe recibir además de las señales de eco, unos impulsos o señales de sincronización que establecen los tiempos de inicio del barrido electrónico del TRC ,así como otras señales auxiliares, que procedentes de la antena, contienen información acerca de la dirección en que está radiando a cada instante; a fin de que el barrido radial, que se produce en la pantalla, gire en sincronismo con ella y produzca los ecos en la dirección adecuada.

Puede considerarse al RADAR como el accesorio más importante de a bordo, ya que, se utiliza tanto para la navegación, como para la prevención de colisiones. Tanto en la noche, como con niebla y con mal tiempo “es como los ojos del barco”, además tiene considerable alcance, aproximadamente alcanza blancos a 90 ó 100 millas náuticas. El propósito principal del RADAR es detectar blancos y presentarlos en la pantalla durante un tiempo suficiente para que el observador los detecte visualmente.

Los actuales radares marinos emiten radiaciones de gran potencia generando pulsos cortos de radiación electromagnética que se emiten desde la antena, la cual gira a una determinada velocidad. Cuando la energía de esta radiación se encuentre con un obstáculo, parte de ella será reflejada en la dirección de nuestra antena transmisora-receptora, la otra parte será absorbida por el propio blanco o rerradiada en otras direcciones.

3.5.4 Elementos del radar

Fundamentalmente un equipo de RADAR debe estar compuesto por:

a) Un transmisor que sea capaz de producir una señal con la intensidad suficiente para que pueda llegar hasta un objeto situado a una distancia máxima y regresar con potencia suficiente para que se pueda recibir y detectar. Éste consiste en un oscilador de radiofrecuencia controlado por un modulador que genera impulsos de alta potencia y de corta duración. La salida del generador de potencia se transmite a la antena por medio de guía ondas o cables coaxiales.

b) De una *antena direccional* para que pueda barrer todo el horizonte y señalar la dirección en que se encuentra un objeto detectado. Los radares utilizan la misma antena para transmitir que para recibir, lo que requiere aislar el receptor del transmisor cuando éste esté emitiendo el impulso de potencia y desconectar el transmisor durante los intervalos en que no transmite. Estas funciones las cumple el conmutador o *Duplexor*.

c) De un *receptor* que pueda utilizar la señal recibida del modo más conveniente y convertirla en información visible y fácil de interpretar. Este es un receptor ordinario con las características de disponer de gran sensibilidad y el menor factor de ruido posible, características técnicamente siempre superables y que constituyen un reto permanente.

d) De una *unidad de tiempo* que pueda medir el intervalo de tiempo transcurrido entre la omisión de un impulso y el retorno de su eco y que, al mismo tiempo, transforme esta distancia en señal visible que permita medirla.

e) De una *unidad de presentación*, que permita al observador tener la información de forma fácil de interpretar. La salida del receptor se combina con la pantalla del tubo de rayos catódicos que representa de forma adecuada las distancias y direcciones de los ecos. La tensión de barrido en el TRC está sincronizada con los impulsos del transmisor.

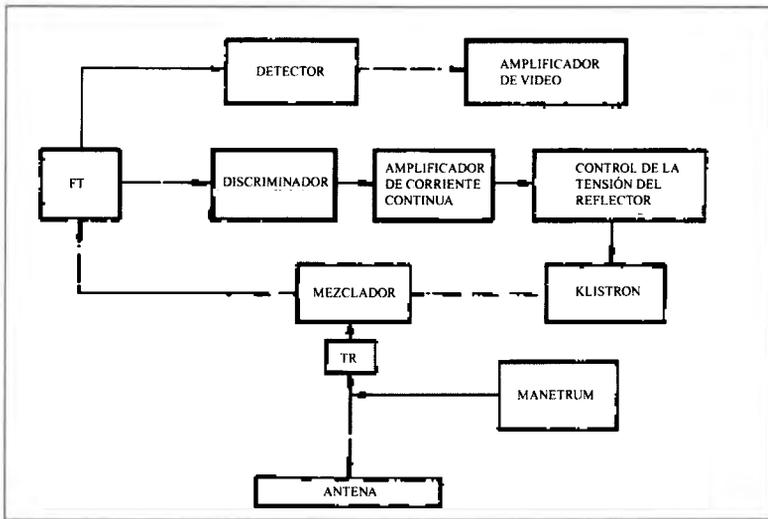


Figura 3.3.- Diagrama de bloques de corrección Automática de sintonía

La salida del receptor radar, compuesta por señales de videofrecuencia, se conecta al tubo de rayos catódicos que constituye la pantalla radar. Los radares de ayuda a la navegación utilizan pantallas panorámicas o PPI (Plan Position Indicator). Estas muestran el mapa del área que hay alrededor del buque, indi-

cando todos los blancos (tanto tierra, barcos como otros accidentes) que se encuentre a su alcance. Técnicamente, una señal en la base de tiempo con forma de diente de sierra, desvía radialmente el rayo catódico alejándolo respecto del centro y sincronizándolo con el impulso transmitido, de manera que la distancia radial medida desde el centro es proporcional al tiempo que tarda en volver el eco producido en el blanco y que parte del transmisor del radar. La dirección angular en la que desvía al rayo la onda del diente de sierra de control de tiempo, en un instante dado, corresponde a la dirección en que se encuentra transmitiendo la antena. El resultado es que los ecos se presentan al operador del radar, como puntos brillantes en forma de un plano que da la distancia y el acimut en sus verdaderas relaciones con respecto a un sistema de coordenadas polares.

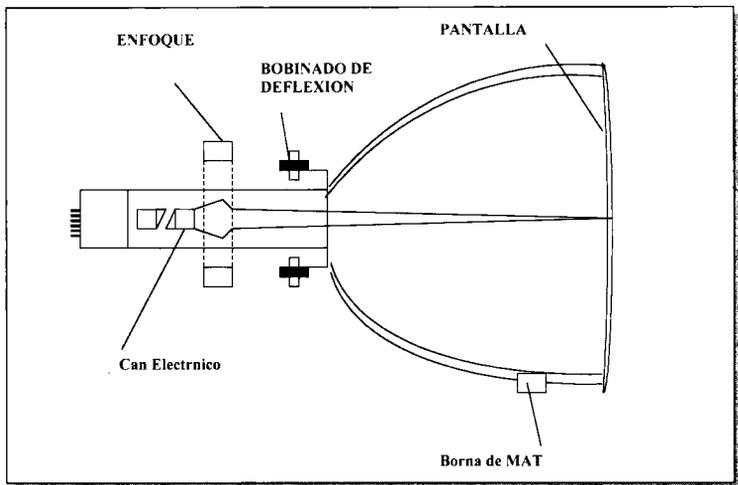


Figura 3.4.- TRC de deflexión magnética

Los tubos de rayos catódicos empleados para las pantallas RADAR tienen una gran persistencia de imagen por cuanto pueden transcurrir varios segundos y dar tiempo a que la antena dé una vuelta completa permitiendo ver la imagen o mapa RADAR completo.

Todos estos elementos pueden estar contenidos o alojados en varias unidades cuyo número tiende a reducirse a medida que se va reduciendo la dimensión de sus componentes. Como el equipo esté formado por la unión de todos los elementos podemos diferenciar principalmente las siguientes unidades:

- * La unidad exploradora.
- * La unidad de transmisor receptor.
- * La unidad de presentación.
- * Elementos accesorios como pueden ser: convertidores, cajas de conexión etc.

3.5.5 Factores que intervienen en el funcionamiento del radar

Los resultados que se obtengan de un equipo de RADAR serán función de:

- 1º El alcance máximo. Depende de la cantidad de energía que se suministre en cada uno de los impulsos transmitidos, puesto que cuanto mayor sea esta energía, mayor será el tiempo durante el cual cada impulso conservará las características físicas de amplitud y frecuencia, es decir, se verá menos afectado por las condiciones atmosféricas que tienden a atenuar la señal y, por tanto, regresará al receptor con las máximas posibilidades de detección.
- 2º La posibilidad de detectar objetos pequeños depende de las características físicas de la antena, es decir, de la anchura horizontal y vertical del haz de energía emitida.
- 3º De la sensibilidad del receptor, es decir de la posibilidad de detectar señales débiles, ya que cuanto más sensible sea, mayor capacidad tendrá para captar la existencia de ecos débiles correspondientes a objetos pequeños a distancias cortas y objetos grandes a distancias largas.
- 4º La posibilidad de detectar objetos próximos, depende directamente de las características físicas del transmisor, ya que cuanto menor sea la longitud o duración del impulso menor será la distancia a que se puedan detectar objetos.
- 5º Con independencia del equipo de RADAR en sí, los ecos que aparezcan en la pantalla, a igualdad de todas las circunstancias anteriores, dependerá de las características reflectantes del objeto interpuesto en la trayectoria de las ondas emitidas. Estas características dependen de las dimensiones del objeto, de las características de su superficie, de su forma e incluso de su color, ya que las microondas poseen propiedades y características comunes a las ondas luminosas.

3.5.6 El transmisor

El transmisor que se encarga de generar los impulsos cortos de gran potencia que se emitirán por la antena está formado por: La unidad de disparo y sincronización, el modulador y el magnetrón.

La misión de la unidad de disparo es la de recoger la corriente de alimentación principal, que libera a intervalos regulares en forma de onda rectangular. Estos intervalos se determinan al proyectar el equipo para que respondan a los resultados que se quiera obtener del mismo, y se refieren concretamente a la duración del impulso y al número de impulsos que por segundo se emiten desde la antena y que se denomina frecuencia de repetición. De la unidad de

disparo se toma la conexión adecuada para el sincronismo de la unidad de presentación y la base de tiempo que es la que sirve para medir la distancia.

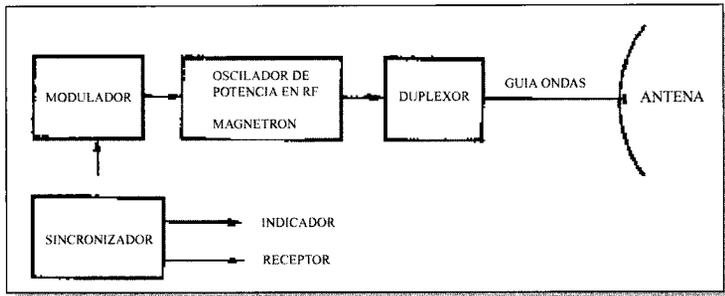


Figura 3.6.- Diagrama de bloques del transmisor

El modulador es el circuito encargado de dar forma y amplificar la señal del circuito de disparo a la potencia necesaria para activar el magnetrón, que es finalmente el encargado de producir el impulso de radio frecuencia que sale por la antena. El tipo de moduladores a válvulas más corriente es el de la válvula Tiratrón llena de gas hidrógeno, o el de la válvula trigatrón llena de gas inerte y que fundamentalmente es un diodo con un ánodo en forma de paraguas, pero con un tercer electrodo que se conecta al sincronizador. Cuando no hay emisión, la energía se almacena en el ánodo del trigatrón y al aplicar, a intervalos regulares, corriente en el tercer electrodo, el gas se ioniza haciendo saltar una chispa que produce el disparo de la válvula. La energía que ahí se libera, representada gráficamente como un impulso de forma cuadrada, se lleva al cátodo del magnetrón por medio de un transformador.

Cuando este impulso llega al magnetrón, bajo la influencia de la carga repentina y sacando energía del campo magnético se produce el inicio de un impulso de radio frecuencia de longitud de onda muy corta. La energía del magnetrón se libera por medio de un extractor en forma de lazo o gancho situado en una de las cavidades del mismo, y por el lazo pasa al tubo guía ondas o cable coaxial.

La duración de la emisión varía entre 0,06 y 1 microsegundos en los radares de ondas centimétricas. Como ya se comentó, en la teoría del RADAR se adopta como velocidad de las ondas la de la luz, con lo que un impulso supone una longitud de entre 18 y 300 metros.

La elección de la duración del impulso es muy crítica porque de ella depende el alcance y la distancia mínima de detección. Conviene que el impulso sea largo y potente para que la distancia a la que la energía se refleja en un blanco y regresa con la suficiente potencia para ser detectado por el receptor sea máxima. Para obtener la distancia mínima de detección es necesario que el impulso sea lo más corto posible. Generalmente los radares disponen de varias

duraciones del impulso, cortas para distancias cortas y largas para distancias más largas y máximas.

La frecuencia de repetición está también relacionada con el alcance y suelen estar comprendidas entre 500 y 3.000 impulsos por segundo.

El impulso emitido sale de la antena trasladándose de forma recta y lo más paralelamente posible a la superficie terrestre, de forma que si el impulso no se encuentra con ningún blanco por el camino se pierde en la atmósfera. Es decir el alcance en las diversas escalas las establece el aparato limitando los tiempos para emitir ecos.

La potencia de pico o de cresta de transmisión viene indicada en el manual del equipo, pero la potencia media es muy inferior. Si por ejemplo, la potencia de pico es de 75 Kw la duración del impulso es de 0,5 microsegundos y la frecuencia de repetición es de 1.000 microsegundos, lo que significa que el tiempo entre cada dos emisiones sucesivas es de 1.000 microsegundos, la potencia media será:

$$\frac{75.000}{1.000} = 0,5 \cdot 37,5 \text{ vatios}$$

3.5.7 El receptor

Si seguimos el diagrama de bloques veremos que el eco de retorno o señal de R.F. pasa al mezclador a través del mismo guía de ondas utilizado para la emisión. Esta señal de radiofrecuencia es muy débil y necesita amplificación. Pero aquí aparece un problema y es que el tránsito del electrón por el interior de una válvula es demasiado lento comparado con la frecuencia de las ondas centimétricas y como la circulación de los electrones en el interior de la válvula no puede seguir a la frecuencia, se perdería el control de la señal. Por lo que las válvulas ordinarias no son apropiadas para las señales de frecuencia muy elevada. Una solución es disminuir la frecuencia conservando las características de variación, para posteriormente aplicar la amplificación necesaria para convertir la señal del eco en señal de video. Esta disminución de la frecuencia se puede lograr mezclando la señal de entrada con otra que tenga casi la misma frecuencia.

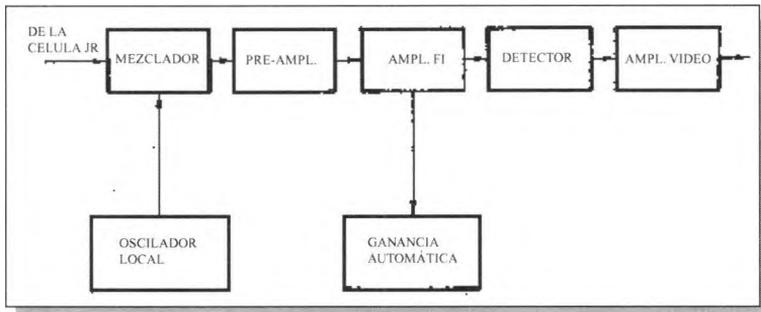


Figura 3.7.- Diagrama del receptor

Esta segunda onda se produce en el mezclador, que es la primera etapa del receptor, y concretamente en el Klistrón. Por ejemplo: supongamos que tenemos dos diapasones cuyas oscilaciones tienen una frecuencia de 460 y 450 vibraciones por segundo respectivamente. Se observará que si ambos diapasones se hacen vibrar al mismo tiempo -los mezclamos- la intensidad resultante aumenta y disminuye por ciclos y es posible demostrar que la frecuencia de estos ciclos es de $460-450=10$ oscilaciones por segundo. Esta última frecuencia de 10 oscilaciones por segundo se llama *frecuencia de batido*. Si se varía la frecuencia de una de las horquillas o diapasones de 460 a 455 vibraciones por segundo, la frecuencia de batido variará de 10 a 5. Es decir, habremos conseguido una frecuencia inferior pero con variaciones similares a las del diapason sintonizador.

El Klistrón se puede comparar con un de los diapasones y es el que se encarga de producir la frecuencia de valor fijo con la que se mezcla la señal de entrada. Después de mezclada la frecuencia resultante se llama *frecuencia intermedia (FI)* que conserva el carácter de la señal de entrada y ya se puede amplificar. Si por ejemplo, la señal tiene una frecuencia de 9.400 MHz y la señal del Klistrón es de 9.370 MHz la frecuencia intermedia será de 30 MHz.

La frecuencia intermedia se puede sintonizar variando la frecuencia del Klistrón por medio de un tornillo de ajuste situado en las paredes de la cavidad del mismo.

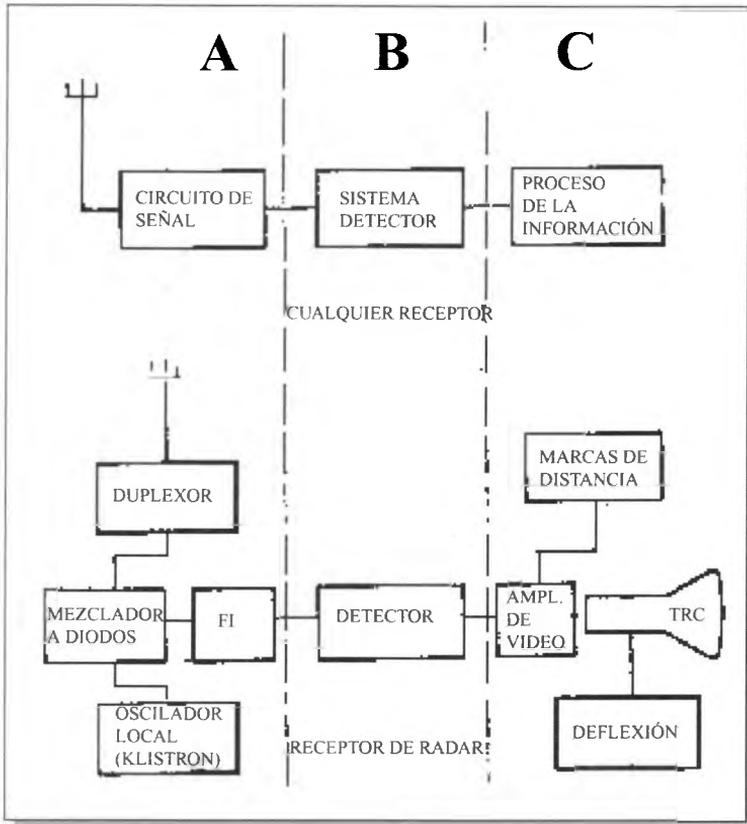


Figura 3.8 - Diagramas comparativos entre receptores

En muchos aparatos la sintonización debía hacerse a mano, aunque en los modernos existe un *Control Automático de Frecuencia* (CAF) que mantiene la sintonía ajustada. Este circuito es una unidad de realimentación que bloquea parte de la FI y alimenta dos canales; uno inferior y otro superior a la FI y la diferencia de salida entre las señales de los dos canales se rectifica y se aplica como potencial al repulso del Klistrón. Este potencial varía al variar la FI sintonizándose el klistrón.

La mezcla de las dos señales, la de entrada del eco y la del klistrón, tiene lugar en el cristal, a la vez que sirve de rectificador. La acción rectificadora del cristal se puede destruir si pasa por él un exceso de energía, y en tal caso decimos que el cristal se ha quemado, sin observarse cambio aparente. Para proteger al cristal del potente impulso producido por el magnetrón, se coloca un elemento de seguridad, la válvula TR o cualquier duplexor, en el guíaondas que va al mezclador.

3.5.8 unidad exploradora

Esta unidad consta de tres partes: la antena, el motor de arrastre y el transmisor sincrónico. Puede incluir también la caja de ecos y en caso de que el transmisor-receptor esté montado parcialmente en el exterior, incluye también el magnetrón y mezclador.

1ª) La antena

Los radares de ondas centimétricas utilizan antenas formadas por una placa parabólica metálica o un guíaondas ranurado. Las dimensiones de la antena deberían ser grandes con relación a la longitud de onda empleada, con objeto de que el haz sea muy estrecho en sentido horizontal. Las antenas parabólicas tienen una bocina o proyector colocado en el foco de la parábola, bocina que forma parte del guíaondas y gira con el reflector; la bocina es la que emite la energía, que se refleja en la antena y sale al espacio.

En la mayoría de los aparatos de RADAR hay una sola antena para la emisión y la recepción, de forma que el emisor y receptor están conectados a un guíaondas común, es decir, hay un sistema duplexor para diferenciar la transmisión de la recepción.

2ª) El motor

El motor de arrastre, con una potencia suficiente para hacer girar a la antena a una velocidad uniforme, incluso con temporales y viento muy fuertes. Para mantener la velocidad uniforme se utilizan una serie de engranajes.

3ª) El transmisor sincrónico

El sincronizador proporciona los impulsos necesarios para el disparo del modulador, a fin de que este excite al magnetrón mediante impulsos de alta potencia perfectamente definidos en el tiempo. Mediante la aplicación de estos impulsos el magnetrón comienza a oscilar y la energía resultante se propaga por el guía ondas hasta la antena que la radia al espacio libre.

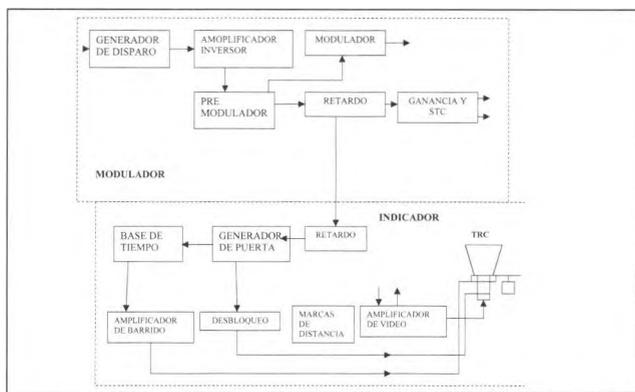


Figura 3.9.- Diagrama de bloques de un sincronizador integrado en el modulador

Los transmisores deben ser capaces de transmitir al menos con dos longitudes de impulsos y frecuencias de recurrencia, lo que conduce a que el sincronizador y el modulador tengan que estar provistos de algún elemento conmutable que haga cambiar sus características para poder cumplir con el fin provisto. En muchos casos el sincronizador, o al menos una parte importante del mismo, se encuentra en la unidad de presentación o indicador. Su función es la generación y distribución a las diferentes unidades y circuitos del RADAR de impulsos de control, perfectamente determinados en el tiempo, para asegurar que cada uno de ellos realice su función en el momento exacto con relación a los demás. Fundamentalmente el sincronizador, a partir de un generador de impulsos y a través de los circuitos de retardo necesarios, controla el funcionamiento del disparo del transmisor, desbloqueo del TRC, desbloqueo del amplificador de FI, inicio de la forma de onda de control de sensibilidad respecto al tiempo, inicio del barrido o base de tiempos y anillos de distancia.

Como los circuitos empleados en el RADAR introducen retardos en las señales que pasan a través de ellos y por otra parte, el RADAR está constituido por un cierto número de unidades separadas entre sí e interconectadas por un cableado exterior que también puede producir retardos, es evidente que el problema de conseguir que cada circuito realice su función, en el momento que le corresponde en relación con los tiempos de los demás circuitos es relativamente complejo.

La función de este elemento es la de transmitir la rotación de la antena a la traza de la pantalla del PPI, de modo que ésta gire en concordancia con la antena y su dirección -relativa o verdadera- y que se corresponda en la pantalla con la dirección de la antena sin necesidad de transmisión mecánica alguna.

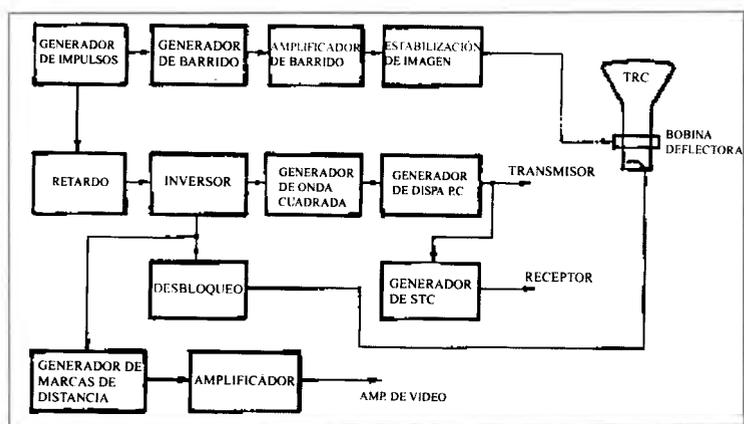


Figura 3.10.- Diagrama de bloques de un sincronizador controlado por multivibrador

En la unidad exploradora el motor de arrastre se acopla mecánicamente a un rotor con arrollamiento simple. Rodeando al rotor, hay tres bobinas (estator)

separadas 120° en forma de estrella o de delta. Cuando el rotor gira, se inducen corrientes alternas en las bobinas estacionarias y el campo magnético resultante está relacionado exactamente con la rotación y dirección del rotor y de la antenna. Las bobinas fijas de la unidad de antenna están conectadas con tres bobinas iguales en la unidad de presentación, y a partir de este punto es posible encontrar dos sistemas:

a) Las corrientes inducidas en las bobinas del estator de la unidad de presentación producen un campo magnético que hace girar un rotor con una velocidad exactamente igual a la del rotor de la antenna. A este rotor van acopladas las bobinas deflectoras que giran en perfecto sincronismo con la antenna alrededor del cuello del PPI. En este sistema el circuito de la base de tiempo, que es el que desplaza el punto luminoso desde el centro hasta el borde de la pantalla, va conectado directamente a las bobinas deflectoras del PPI.

b) En la unidad de presentación no hay rotor, sino que las mismas bobinas del estator forman las bobinas estacionarias de desviación. El que gira es su campo magnético y este campo es el que desvía el haz de electrones en el TRC. En este sistema el circuito de la base de tiempo se introduce en el rotor del transmisor sincrónico de la unidad de antenna como corrientes de dientes de sierra. La corriente de la base de tiempo se superpone a la señal que determina la posición angular de la antenna y la señal combinada es la que se introduce en las bobinas desviadoras del tubo de rayos catódicos.

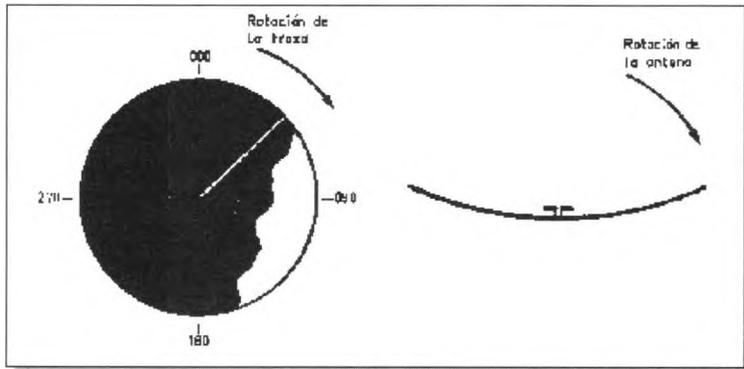


Figura 3.11.- Rotación de un barrido para presentación PPI

En ambos casos el resultado es el mismo: la traza se dibuja en la pantalla del PPI indicando una dirección igual a la que señala la antenna en el instante de la emisión y recepción.

Otros modelos de RADAR no tienen transmisión sincrónica, sino que el motor de arrastre acciona con un alternador, que a su vez mueve un motor similar acoplado a las bobinas desviadoras, que entonces giran en sincronismo con el motor de arrastre de la antenna.

3.5.9 El duplexor

Ya es sabido que en los radares marino se utiliza la misma antena para la emisión de la señal que para la recepción del eco de la misma. Pero nos encontramos con que la energía emitida por el transmisor es muy superior a la que puede recibir el receptor y el cristal que se emplea como rectificador en el receptor se puede quemar con un exceso de energía, para evitar que esto ocurra la antena durante el proceso de la emisión de energía deberá estar desconectada del receptor y de igual forma en el proceso inverso.

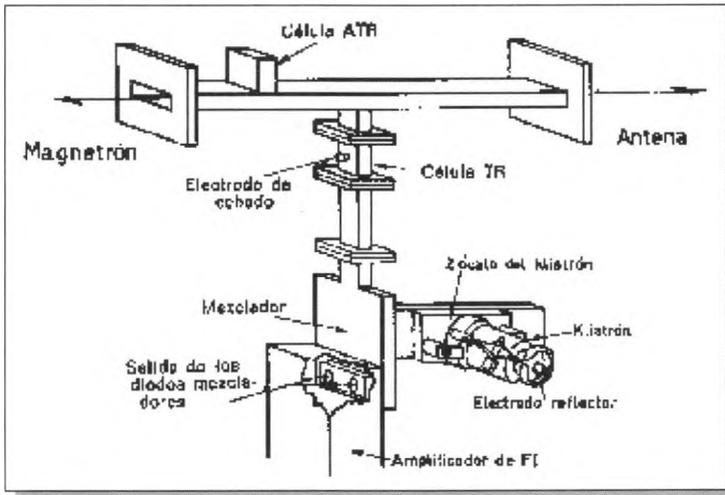


Figura 3.12.- Duplexor de guía de ondas con células ATR-TR

Para proteger el cristal del potente impulso de RF que genera el magnetrón, se coloca un dispositivo denominado duplexor cuya misión es impedir que cuando salga el pulso del transmisor hacia la antena, éste no entre en el receptor y cuando llegue un eco a la antena, éste vaya solo al receptor.

Un tipo de duplexor es el formado por las válvulas TR (Transmisión-Recepción) y ATR (Anti Transmisión-Recepción) como elemento de seguridad en el guíaondas que va al mezclador y que actúa como interruptor automático cada vez tiene lugar la transmisión y durante el resto del proceso permanece abierta; por lo tanto, el receptor está desconectado durante la emisión.

La válvula TR consta de una cavidad llena de vapor de agua que al disparar su impulso el magnetrón se produce una chispa a través de los electrodos; la chispa ioniza el gas y se produce un corto-circuito en la abertura con lo que se evita que la energía llegue al receptor.

Este bloqueo del receptor durante el tiempo de emisión es uno de los factores que afectan al alcance mínimo del equipo. Si un radar, por ejemplo, transmite durante 0,25 microsegundos, su antena emite un impulso cuya longitud

de onda es igual a $0,25 \cdot 300 = 75$ metros; cuando el extremo final del impulso sale de la antena el extremo anterior se encuentra a 75 metros de ella. En este momento se elimina el bloqueo del receptor, lo que quiere decir que los objetos situados a 37,5 metros de la antena devuelven su eco, que llega exactamente 0,25 microsegundos después de haber comenzado la emisión y precisamente en el instante en que empieza la recepción, es decir, llegan en el primer instante para que sean registrados. El alcance mínimo para este aparato, que emite durante 0,25 microsegundos, es de 37,5 metros. Debido al ligero retraso que se produce antes de que el receptor esté conectado y dispuesto para la recepción al terminar la transmisión, el alcance mínimo es ligeramente superior a la mitad de la longitud del impulso.

3.5.10 Formas de presentación

Los radares se pueden clasificar por la forma que presentan los diversos blancos en la pantalla de la unidad de presentación. Esta clasificación permite disponer de: radares de movimiento relativo, de movimiento relativo con estabilización acimutal y de movimiento verdadero.

* Radares de movimiento relativo. En este tipo de radares el buque se encuentra en el centro de la pantalla (coordenadas polares) y los blancos se mueven relativamente a su alrededor. La línea de proa está en el cero del círculo que rodea a la presentación.

Las medidas angulares que tomamos de los blancos son lecturas, es decir, lo que abren los blancos de nuestra proa.

* Radares de movimiento relativo con estabilización acimutal. Es prácticamente una presentación muy similar a la anterior con la diferencia de que a la pantalla se ha conectado a la señal de la giroscópica del buque, con lo que la línea de proa apunta al rumbo al que se navega. Las medidas angulares son demoras verdaderas y la imagen RADAR queda estabilizada al norte.

* Radares de movimiento verdadero. Si a la presentación RADAR anterior se le añade la velocidad propia, por medio de la señal de la corredera del buque, entonces el punto que representa el buque propio se mueve con su rumbo y velocidad real y los demás blancos de la pantalla tienen con respecto al buque propio movimientos verdaderos o absolutos. El observador, a la vista de la huella o rastro luminoso que van dejando detrás de sí los diversos ecos, puede deducir el rumbo verdadero del mismo. Es una mejora considerable sin ninguna duda de las posibilidades del RADAR de movimiento verdadero, pero también tiene sus inconvenientes, como son que el equipo puede confundir el rumbo del eco que se observa con respecto al verdadero por la baja velocidad de los barcos y que el RADAR registra las variaciones así como el hecho de tener bien calibradas las señales propias de rumbo y velocidad.

3.6 Sistemas de transmisión de los impulsos

3.6.1 Introducción

Hemos visto que existen varios tipos de radar, basados en diferentes propiedades del eco y que utilizan diferentes clases de emisión, resultando cada uno de ellos apropiado para empleos específicos.

Los radares empleados en la Marina Mercante son del tipo de transmisión de Impulsos:

Este tipo de RADAR se caracteriza porque emite una serie continua de impulsos de corta duración y alta potencia, separados entre sí por espacios relativamente grandes comparados con la duración del impulso. El receptor recibe los ecos procedentes de blancos situados a distancias intermedias son recibidos a continuación y por último, se reciben los procedentes de los objetos más lejanos. Cuando ha transcurrido el tiempo necesario para recibir los ecos procedentes de los objetos más lejanos, el transmisor emite otro impulso y se repite el ciclo.

Mediante el empleo de la medición del tiempo transcurrido entre la emisión del impulso y la recepción del eco se deduce la distancia a que se halla el objeto que lo ha producido respecto a la antena del sistema.

3.6.2 Impulsos

En el RADAR de impulsos, usado en la navegación, es necesaria la creación de pulsos de R.F. que puedan ser emitidos por la antena y otro tipo de impulsos que sirven para poder disparar simultáneamente las diversas unidades que lo forman.

Así el modulador del transmisor es disparado por un impulso de control generado en el Sincronizador, el cual envía impulsos de control a el indicador de P.P.I. y al receptor, etc.

3.6.3 Frecuencia de repetición

El número de impulsos transmitidos en la unidad de tiempo, que suele llamarse PRF anagrama de la expresión Pulse Repetition Frequency, así como la duración de cada impulso están íntimamente ligados con los alcances máximos y mínimo del RADAR, así como con su capacidad de resolución o discriminar

entre sí dos blancos situados en la misma dirección respecto a la antena y a muy corta distancia entre ellos.

3.6.4 Forma

La envolvente de la modulación de los impulsos debe ser tan rectangular como sea posible, ya que la medida de la distancia se origina en el instante en que comienza la transmisión del impulso y tanto la mínima distancia que pueda detectarse como la discriminación de blancos respecto a la distancia dependen de la duración del mismo. Por tanto, el comienzo y el final del impulso deben estar perfectamente definidos.

3.6.5 Ciclo de trabajo

Como el transmisor emite solamente durante la duración del impulso, y esto es poco tiempo comparado con el transcurrido entre impulsos, pueden obtenerse, potencias de pico relativamente altas con potencias medias pequeñas.

Por otra parte, durante el tiempo que el transmisor permanece inactivo, el generador de RF puede disipar el calor producido durante la emisión.

La relación entre la potencia media y la de pico toma el nombre de ciclo de trabajo y cumple la siguiente condición:

$$C = \frac{P_m}{P_p} = \frac{d}{T} = d \cdot Fr$$

Siendo C = ciclo de trabajo, P_m = potencia media, P_p = potencia de pico, d = duración del pulso T = periodo del impulso, Fr = frecuencia de repetición del pulso.

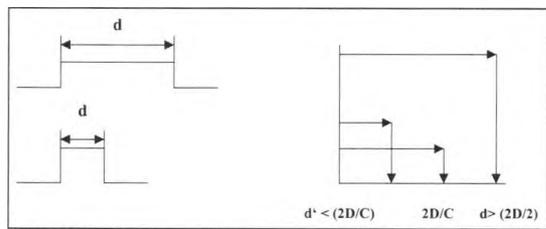


Figura 3.13.- Frecuencia de repetición

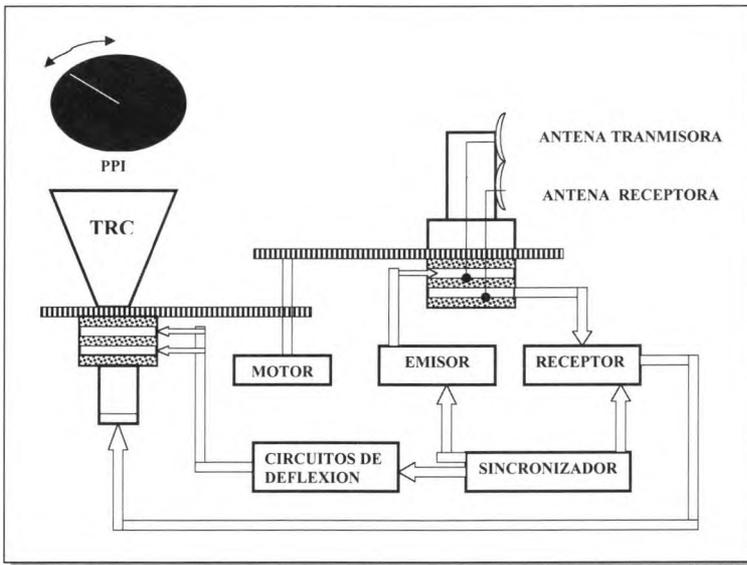


Figura 3.14.- Ciclo de trabajo del RADAR marino

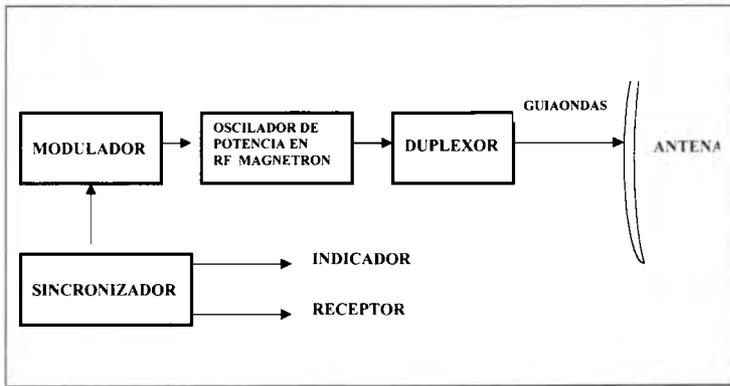


Figura 3.15.- Diagrama de bloques simplificado del RADAR

3.6.6 Generador de impulsos

Los generadores impulsos empleados en los sincronizadores de los radares marinos, pueden dividirse en dos grandes grupos.

1º.- Los que se basan en una oscilación libre. Los formados por un multivibrador astable de marcha libre.

2º.- Los que están controlados por la frecuencia de alimentación, que es el caso de los radares cuyo modulador está constituido por una línea de retardo cargada con corriente alterna, el generador de impulsos debe, necesariamente,

te, estar sincronizado con la misma frecuencia de alimentación, para impedir que el disparo se produzca, a causa de pequeños desplazamientos de frecuencia, en instantes inadecuados respecto a la carga de la línea de retardo.

3.6.7 Descripción de algunos tipos de generadores de impulsos

3.6.7.1 Por diodo SHOCKLEY

Otro tipo de generador de disparo también controlado por la frecuencia de alimentación, pero que utiliza la característica de funcionamiento del diodo Shockley, es el correspondiente al del esquema.

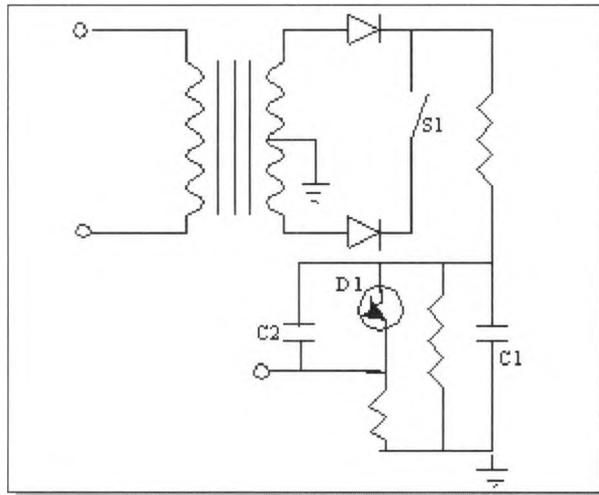


Figura 3.16.- Generador de disparo por diodo Shockley

Esta característica de funcionamiento del diodo Shockley, como puede verse en la figura 3.16 es, en cuanto a corriente inversa, la de un diodo normal. Por el contrario, su característica de corriente directa presenta la particularidad de que la corriente es prácticamente nula hasta que la tensión directa sobrepasa un cierto valor V , a partir del cual se produce la corriente de avalancha.

Si a un circuito como el de la figura 3.16 se le aplica una tensión alterna o pulsante, con una tensión de pico superior a la de avalancha del diodo, se produce la siguiente serie de acciones:

- Durante cada semiciclo positivo los condensadores C1 y C2 se cargan y el diodo queda sometido a la tensión final de carga.
- Cuando se alcanza, durante la carga, la tensión de avalancha, se produce un impulso de muy corta duración que alcanza un valor ligeramente inferior al valor de la tensión de avalancha, debido a la pequeña caída que se produce en

el D1. La corriente se produce debido a la tensión desarrollada sobre C1 y es un impulso muy estrecho.

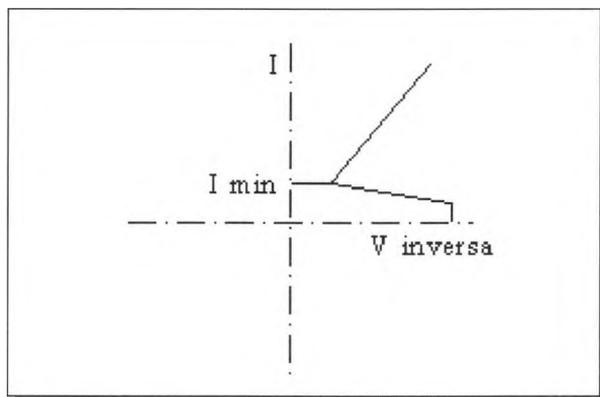


Figura 3.17.- Tensión y corriente del diodo

Establecida la conducción en el diodo, se mantiene mediante la descarga de C2 y posteriormente a un nivel más bajo del valor mínimo necesario para mantener el estado de conducción.

- En lo que respecta a la frecuencia de repetición de impulsos, mientras el conmutador S1 se mantengan abierto, solamente se rectifica media onda de la tensión aplicada y los impulsos se producirán a una frecuencia igual a la de alimentación, puesto que para cada ciclo de la frecuencia de alimentación se produce un impulso. Si se cierra S1 se rectifica la onda completa y la FR pulso resulta doble que la de alimentación. De esta forma puede conseguirse que el RADAR sea capaz de trabajar con dos frecuencias de repetición de Impulsos que están entre si en la relación de dos a uno.

3.6.7.2 Generador con transistor uniunión

Del mismo tipo de los anteriores, es decir, generador de disparo controlado por la fuente de alimentación, este generador emplea un transistor uniunión y funciona del siguiente modo.

La tensión alterna aplicada a la entrada se integra mediante el circuito R1 - C1 y se limita mediante los diodos D1 y D2, obteniéndose una forma de onda recortada por los picos.

Esta forma de onda carga al condensador C3 a través del potenciómetro P1. Cuando la forma de onda de entrada empieza a descender, llega un momento en que la tensión del condensador, que se mantiene prácticamente estable, es superior a la aplicada a la base 2 del transistor, alcanzándose el punto de dis-

paro. Entonces, el condensador se descarga a través de Q1 en un impulso rápido.

Para cambiar la frecuencia de recurrencia es necesario variar la frecuencia de la fuente de alimentación, ya que es evidente que se produce un impulso de disparo por cada ciclo completo de la tensión de alimentación.

3.6.7.3 Generador con oscilador de relajación

Este tipo de generador está comprendido entre los del primer grupo de la clasificación de generadores, pertenece, por tanto, a diferencia de los anteriores a los de marcha libre, no dependientes de la frecuencia de la fuente de alimentación.

Este generador de impulsos u oscilador de disparo se basa en un oscilador de relajación formado por un transistor unión:

El funcionamiento es como sigue: aplicada la tensión de alimentación, estabilizada mediante D1 y con el conmutados S1 en la posición indicada el Condensador C1 se carga a través del potenciómetro P1 hasta que la tensión desarrollada alcanza el nivel de disparo de Q1, en cuyo momento se descarga en forma de impulso de muy corta duración. Este impulso se toma de la base 1 del transistor y convenientemente amplificado, controla las etapas sucesivas.

El cambio de la frecuencia de recurrencia se lleva a cabo mediante el conmutador S1, que cambia las constantes del circuito y, por tanto, el periodo de carga.

3.6.8 Modulador del transmisor

El modulador, o pulsador de un radar, debe suministrar, en forma de impulsos eléctricos cuya duración está comprendida en el margen de 0,1 a 5 μ s, corrientes del orden de las decenas de amperios a tensiones tan altas como 20 a 40 Kv.

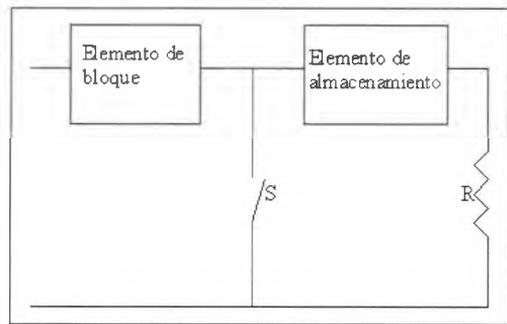


Figura 3.18.- Diagrama del modulador

Estos impulsos deben generarse con una frecuencia de recurrencia de 500 a 4000 Hz deben estar separados exactamente uno de otro por el mismo intervalo y deben ser tan rectangulares como sea posible, con una precisión mejor que 5%. En todos los tipos de moduladores la energía eléctrica se almacena en algún elemento del circuito y se libera rápidamente durante el impulso, recargándose nuevamente durante el intervalo entre impulsos.

La energía eléctrica se puede almacenar bien en el campo electrostático de un condensador o en el campo magnético de una bobina. Son más comunes los moduladores que emplean capacidad como elemento de almacenamiento de energía, principalmente, porque las pérdidas son menores que en el caso de emplear inductancias.

3.6.8.1 Tipos de moduladores

* DE OSCILADOR DE BLOQUEO

La duración del impulso está controlada por un oscilador de bloqueo que controla a una válvula amplificadora de alto vacío que excita al magnetrón.

* DE LÍNEA ARTIFICIAL

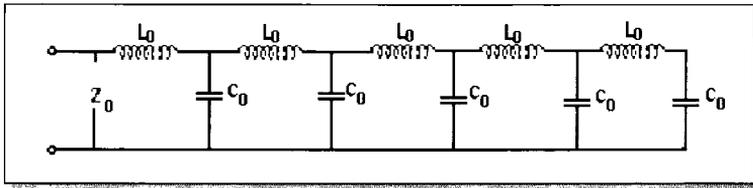


Figura 3.19.- Línea artificial como red formadora de pulsos

Se basa en las características de carga y descarga de una línea artificial, utilizando como conmutador un tubo de descarga gaseosa.

* CAPACITIVO

Utiliza la carga y descarga de un condensador para almacenar la energía y el impulso se forma mediante una línea artificial. Si el circuito básico anterior tiene como elemento de almacenamiento de la energía, a un condensador C cargado a una tensión V_0 , la energía almacenada será $\frac{1}{2} C V_0^2$.

Si cargado el C, se cierra el Interruptor S en el instante 0, el condensador comienza a descargarse exponencialmente sobre R. Si ahora se abre repentinamente S en un tiempo t' , pequeño comparado con la constante de tiempo RC del circuito, la tensión que aparece sobre la carga mientras conduce corriente es:

$$V_i = V_0 \left(1 - \frac{t'}{RC} \right)$$

que es prácticamente constante si t' es menor que $R C$.

Si se emplea una línea de transmisión como elemento de almacenamiento de energía en vez de un condensador, sus propiedades de descarga, cuando la impedancia de carga es la apropiada, son tales que proporciona una corriente constante hasta la descarga completa, que es precisamente la condición necesaria para la generación de impulsos rectangulares.

La teoría elemental de las líneas de transmisión muestra que, si una línea de inductancia L_0 y capacidad C_0 , por unidad de longitud se carga a una tensión V y se conecta instantáneamente a una resistencia de carga R , fluye por ella la corriente de magnitud.

$$\frac{V}{Z_0 + R}$$

durante un tiempo $2t$, siendo Z_0 la impedancia característica de la línea $\sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ y t el tiempo de transmisión en un sentido.

Si $R = Z_0$ no fluye corriente después de un tiempo $2t$ y, como consecuencia, se generan impulsos rectangulares.

El tiempo t viene dado por $l\sqrt{L_0 C_0}$ donde l es la longitud física de la línea.

Debido a la longitud de los impulsos necesarios es impracticable el empleo de líneas reales en los moduladores.

En efecto, para un impulso de $1 \mu s$ de duración, se requieren longitudes de línea de alrededor de 170 m. Por tanto, se utilizan líneas artificiales de secciones apropiadas de inductancias y capacidades que llamamos redes formadoras de impulsos.

3.6.8.2 Transformadores de impulsos

Estos transformadores se utilizan para acoplar, en ciertos casos, el modulador con el magnetrón. Están diseñados y construidos teniendo en cuenta que la energía que han de manejar se presenta en forma de impulsos.

3.7 Medidas de demora y distancia

3.7.1 Introducción

Para que un RADAR sea operativo y eficaz su utilización, es necesario que cumpla unos requisitos esenciales en orden a poder calcular, o bien observar,

en su pantalla las distancias y demoras de los diferentes blancos, para ello, entre los requisitos se deben encontrar los siguientes:

a) Aptitud para discriminar blancos situados a la misma distancia de la antena y en direcciones muy próximas entre si, caso de no tener esta aptitud, blancos diferentes pero muy próximos, podrían aparecer como si fuese uno solo.

b) Aptitud para discriminar blancos respecto a la distancia, es decir, que el sistema debe ser capaz de presentar como blancos individuales los ecos producidos por dos objetos situados en la misma dirección o demora respecto a la antena y muy próximos entre sí.

c) Capacidad para medir las demoras y distancias con un elevado grado de precisión.

A continuación se estudian estos requisitos y su relación con los distintos parámetros que condicionan su cumplimiento.

3.7.2 Medida de la distancia

Si se mide el intervalo de tiempo que transcurre entre la emisión del impulso y la recepción de su eco, podemos calcular la distancia total recorrida por el impulso siempre que se conozca la velocidad del mismo.

2°. Para poder medir con exactitud la distancia del blanco, es preciso emitir una señal cuyo espectro tenga una banda de frecuencia amplia:

$$\sqrt{t^{-2}} = \frac{1}{2\pi B \sqrt{R}}$$

Siendo $\sqrt{t^{-2}}$ la desviación típica del error t de la medida del tiempo entre la señal emitida y recibida (distancia ya que $1 \mu\text{seg} = 150 \text{ m}$). B = momento de 2° orden del espectro de la señal emitida y R = relación señal/ruido.

La señal de un radar, que emite impulsos de radiofrecuencia con una determinada frecuencia de repetición, tiene un espectro tanto más amplio, cuanto más estrecha es la impulsión por lo que es muy apropiada para medir la distancia al blanco.

1° El equipo RADAR mide la distancia al blanco D , evaluando el tiempo t transcurrido entre el instante de la emisión de la señal y el de la recepción del eco:

$$D = \frac{t \cdot c}{2}$$

siendo $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$, la velocidad de propagación de la onda electromagnética, a través del aire.

De la fórmula se deduce que, a cada μseg transcurrido le corresponden 150 m de distancia radar.

3.7.3 Discriminación en distancia

La discriminación en distancia o resolución en distancia es la posibilidad del equipo RADAR en diferenciar entre dos objetos próximos situados sobre la misma marcación. La resolución en distancia la podemos definir como el valor mínimo de la separación entre dos objetos, de tal forma que es posible detectarlos como entidades individuales. La resolución en distancia depende de:

a) *Longitud del impulso*. Si la duración del impulso es de 0,5 microsegundos, la longitud del impulso es de 150 metros ($0,5 \cdot 300 = 150$). Supongamos que tenemos 2 barcos situados en la misma marcación y distanciados entre sí 50 m, cuando el impulso alcance al segundo buque lo hará 50 m después de haber alcanzado al primero y consecuentemente el eco producido ya habrá emprendido el camino de retorno al buque. Consecuentemente ambos ecos se distanciarán en 100 metros de forma que a partir de que el segundo eco haya recorrido los 100 primeros metros los dos ecos estarán ya superpuestos y así seguirán durante 50 metros más, con lo que la longitud total de los ecos será de 250 m y en pantalla aparecerá como un sólo eco. Para que se puedan diferenciar ambos ecos su separación debe ser de 75 m, es decir la mitad de la longitud del impulso.

b) *La dimensión del punto*. Esta dimensión hace que la distancia de separación de los dos objetos deba ser algo mayor que la mitad del impulso y su efecto es más notable en las escalas pequeñas (que corresponde a cuando se representan en la pantalla distancias mayores y la misma dimensión del punto brillante representa un tamaño mayor en realidad).

Como consecuencia de lo anterior, podemos deducir que la condición para que dos blancos situados en la misma dirección respecto a la anterior, produzcan ecos independientes, uno de otro, es que se encuentren, como mínimo, a una distancia:

$$L = \frac{d \cdot c}{2}$$

Siendo L = distancia entre los blancos, d = ancho del pulso y c = velocidad de propagación.

En efecto:

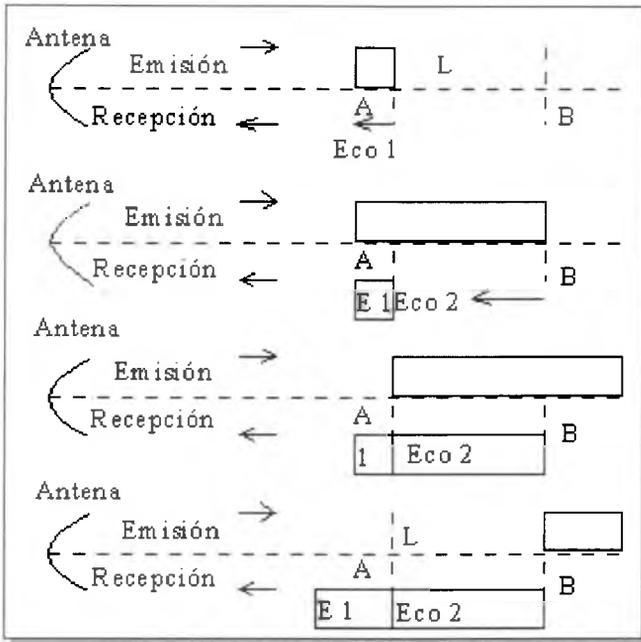


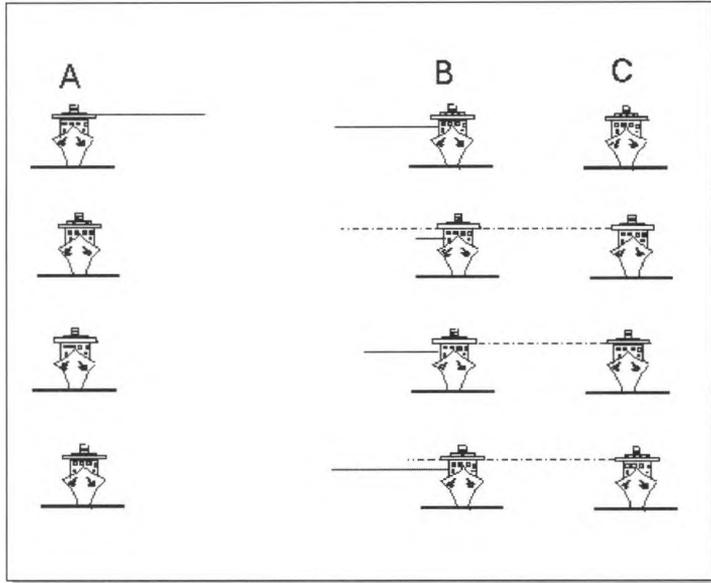
Figura 3.20.- Resolución en distancia

Sean dos blancos A y B que se encuentran en la misma dirección vistos desde la antena y separados entre sí una distancia igual a $dc/2$.

Cuando el frente anterior del impulso de transmisión incide sobre el blanco A, comienza a formarse un eco que se propaga con la misma velocidad c hacia la antena. Un tiempo igual a $d/2$ después de ese instante, el impulso llega al blanco B y comienza a formarse un segundo eco, que también se propagará hacia la antena, con velocidad c . Transcurrido otro intervalo de tiempo igual a $d/2$, el impulso de transmisión en su alejamiento de la antena, deja de incidir sobre A, que, por tanto, deja de producir eco. Pero en el mismo instante, el eco procedente del B en su movimiento hacia la antena se ha unido con el A. Transcurrido otro intervalo igual a $d/2$ el impulso de transmisión abandona el blanco B mientras el eco originado en él se ha iniciado con el blanco A y en forma de impulso único viajan hacia la antena. En estas condiciones producirán un solo eco sobre la pantalla.

Para que el sistema sea capaz de diferenciarlos en pantalla, es necesario que el tiempo del impulso de transmisión sea más corto. Esto supone una solución de compromiso en la elección del ancho del impulso, pues, si el impulso es demasiado corto habrá poca energía radiada e influirá negativamente en el alcance. La distancia real a que debe encontrarse los blancos entre si para producir ecos individuales es algo mayor que la obtenida anteriormente. Esto se debe a que el ancho de banda del receptor no es el suficiente como para admi-

tir impulsos perfectamente rectangulares, por lo que éstas son, a la salida del receptor, más anchos que el impulso radiado.



3.21.- Discriminación en distancia

3.7.4 Precisión en distancia

La precisión con que puede obtenerse la medida de distancia, depende en primer lugar de la precisión, linealidad y estabilidad de los circuitos de la base de tiempos, es evidente que si el barrido de la base no es lineal, la medida de distancia estará sujeta a errores.

También, depende de la forma del impulso radiado y del ancho de banda del receptor, ya que si la forma de onda se aparta mucho de la ideal, la medida de tiempos no podrá llevarse a cabo con exactitud.

Por otra parte, también depende de los retardos que pueden originarse en el disparo de las distintas unidades que constituyen el radar. A este fin se incluyen líneas de retardo ajustables para poder controlar los retardos de los impulsos de disparo y que cada unidad sea disparada en el momento adecuado.

El RADAR como instrumento tiene una precisión cuyos límites introducen los errores que del mismo se puede esperar. Las condiciones mínimas exigibles legalmente y que en la realidad sobrepasan todos los fabricantes, en cuanto a la precisión son:

- Dos boyas cónicas situadas sobre la misma demora deberá verse como ecos separados y distintos, cuando se encuentren a 50 m. una de otra y a la distancia de 1 milla.

El funcionamiento del equipo debe ser tal que, la precisión de la medida no se vea afectada por balances del buque hasta 10° en ambos sentidos.

3.7.5 Medida de la demora

En navegación, se entiende por demora, el ángulo formado por la línea directa que une un blanco detectado, con el buque propio y la línea directa que une el norte magnético con el buque. Para poder realizar la medida de este ángulo, es necesario que la antena utilizada por el RADAR sea de directividad muy alta.

Para conseguir esta alta directividad en las frecuencias utilizadas por el RADAR, se utilizan antenas de abertura con dimensiones de varias longitudes de onda, estas antenas radian haces estrechos como se observa en el diagrama adjunto. Una típica antena capaz de este rendimiento es el reflector parabólico de microondas, así como otras cuya descripción se tratará más adelante.

Una vez conseguida la emisión de un haz de RF mediante ese tipo de antenas, el eco del blanco, en su retorno a la antena es captado de modo que indica la dirección de procedencia, lo cual nos permite determinar una línea de dirección, que junto con la del barco-Norte magnético, determinado por el Girocompás, podemos ver en el indicador del RADAR las dos líneas y determinar el ángulo de demora.

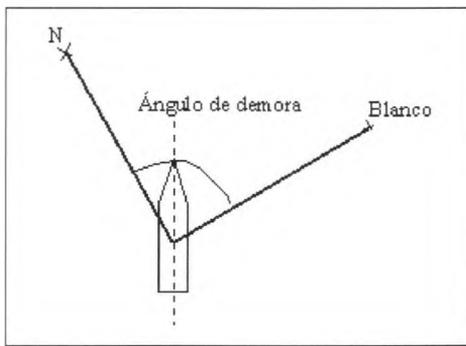


Figura 3.22.- Demora

3.7.6 Discriminación en demora

Se denomina así a la capacidad de resolución que tiene un RADAR en presentar como ecos individuales los originados en dos blancos situados a la

misma distancia de la antena y con poca diferencia en el ángulo que forman las dos direcciones. Depende fundamentalmente del ancho del haz radiado, es decir, de la directividad de la antena.

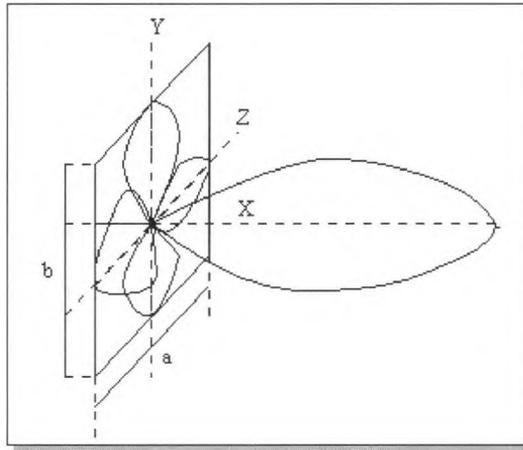


Figura 3.23.- Tipo de haz de la antena RADAR

En efecto, si el ancho del haz emitido es tal que alcanza a los dos blancos simultáneamente, los ecos correspondientes llegarán a la antena simultáneamente al receptor y aparecerán en la pantalla un solo eco.

Un RADAR podrá distinguir entre dos blancos A y B situados a la misma distancia de la antena, siempre que la distancia entre ellos, sea mayor que la expresada a continuación en función de la distancia y del ángulo del haz radiado:

Es evidente que son necesarios ángulos horizontales de haces muy pequeños, a fin de poder discriminar blancos muy próximos entre sí y a la misma distancia de la antena. En los radares marinos el ángulo del haz horizontal es de uno o dos grados.

$$L \gg 2 \cdot D \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}$$

De la expresión y la gráfica anterior, se deduce que a medida que la distancia al blanco crece, también lo debe hacer la distancia mínima entre los dos blancos para que sus ecos aparezcan en pantalla como ecos independientes.

Por ejemplo, a una distancia de 48 millas náuticas y con un ancho de haz horizontal de dos grados, la distancia mínima para que dos blancos produzcan en la pantalla ecos individuales será:

$$L = 2 \cdot 48 \cdot \operatorname{sen} 2 = 3,4 \text{ MN. Para una distancia de media milla, se obtiene:}$$

$$L = 2 \cdot 0,5 \cdot \operatorname{sen} 2 = 70 \text{ yardas.}$$

3.7.7 Precisión en demora

La exactitud en la medida de la demora depende fundamentalmente de la exactitud con que la rotación del haz electrónico siga a la rotación de la antena, así como la capacidad de esta última para concentrar la energía en un haz lo más estrecho posible en el plano horizontal.

3.7.8 Normas prácticas para obtener las medidas

En la práctica, para realizar una buena medida de distancia o de demora hay que tener presente las siguientes operaciones a realizar en la Unidad de Presentación o Indicador del RADAR.

3.7.8.1 Distancia

- (1) Ajustar el brillo de los anillos de distancia o del anillo de distancia variable a un punto más bajo para obtener la línea más fina posible.
- (2) Obtener la distancia al borde más próximo del blanco.
- (3) Emplear los anillos de distancia para obtener ésta cuando el blanco está sobre uno de ellos o en sus proximidades.
- (4) Emplear el anillo variable de distancia para interpolar la distancia entre anillos.
- (5) Comprobar el anillo variable de distancia con los anillos fijos regularmente.
- (6) Emplear la mayor escala adecuada.

3.7.8.2 Demora

- (1) Llevar el blanco lo más cerca posible del borde de la pantalla, es decir, emplear la escala más grande apropiada.
- (2) Asegurarse que el centro está correctamente alineado antes de utilizar el cursor perspex.
- (3) Poner la marca de proa cuidadosamente. Los errores en la introducción de la marca de proa conducen a errores en la demora.
- (4) Para blancos pequeños aislados (buques o islas pequeñas) alinear el curso con el centro del blanco.
- (5) Reducir la ganancia, si con ello se obtiene una imagen más definida del blanco.

- (6) Emplear la presentación norte verdadero arriba cuando se tomen, demoras de blancos fijos por comparación con una carta. Esto reduce las probabilidades de error cuando se convierten las demoras relativas en verdaderas.
- (7) Cuando se está tratando de localizar ecos débiles (p.ej. observando en una demora determinada) emplear el cursor perspex, no el cursor electrónico que puede oscurecer o impedir apreciar el blanco.
- (8) Cuando se emplea un tipo de despliegue no estabilizado, comprobar el rumbo cada vez que se tome una demora.

3.8 Dispositivos para la formación de blancos en la pantalla

3.8.1 Introducción

Una de las partes fundamentales del RADAR es la unidad de presentación o Indicador o más modernamente denominado Unidad de Presentación de la Información, la cual se encarga de presentar las señales de eco recibidas como puntos luminosos en la pantalla de un TRC. Las presenta a distancias del Centro que son proporcionales al tiempo transcurrido entre la emisión del impulso y el retorno del eco correspondiente así como en la dirección a aquella hacia la que está dirigida la antena en ese instante.

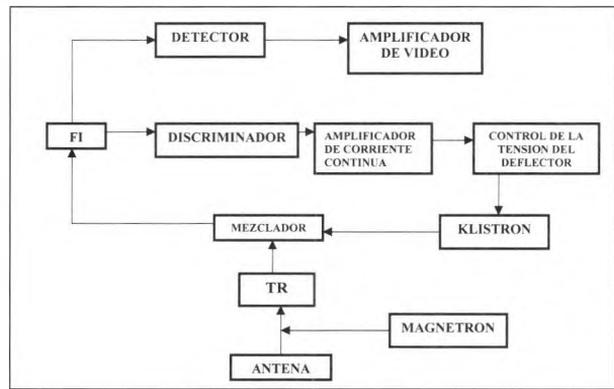


Figura 3.24.- Esquema de antena RADAR

Los indicadores, en los radares marinos, además de la pantalla del TRC empleado en el tipo PPI, alojan en la misma consola, una serie de dispositivos y circuitos o unidades que en unos casos controlan las restantes unidades, constitutivas del RADAR y en otros casos se encargan del funcionamiento y

complemento del propio Indicador. Entre todos los existentes podemos destacar los siguientes elementos constitutivos de la Unidad Indicadora.

- Tubo de rayos catódicos TRC con los circuitos necesarios para producir un barrido correspondiente al funcionamiento como PPI.
- Amplificador de video, cuya salida modula en intensidad el haz electrónico del TRC.
- Circuito correspondiente a la generación y presentación sobre la pantalla de las marcas de distancia fija y variable.
- Circuitos correspondientes a la generación y presentación sobre la pantalla de la línea de referencia de proa.
- Conmutación de las escalas de distancia, que controla tanto la velocidad del barrido en el TRC como los distintos elementos de circuito que deben ser conmutados en el transmisor, receptor y fuente de alimentación, según la escala en uso.
- Sincronizador, destinado a producir impulsos perfectamente determinados en el tiempo y distribuirlos a los circuitos y unidades necesarios, para que las acciones de cada uno de ellos se produzcan exactamente en el instante preciso.
- Estabilización de la imagen con relación a la proa del buque o respecto al norte verdadero.
- Controles de ganancias y brillo.
- Control de STC.
- Control de FTC.

3.8.2 TRC del radar

El tubo de rayos catódicos es una válvula especial que se emplea en los radares como indicador visual. Está constituido por una ampolla al vacío, dentro de la cual se genera un haz de electrones que es deflectado mediante un campo magnético, en este caso del radar, y que después de convenientemente acelerado incide sobre una pantalla fluorescente sobre la que reproduce en forma de punto luminoso, la señal recibida en el receptor correspondiente al eco reflejado por un objetivo o blanco.

3.8.2.1 Composición de la pantalla

La pantalla está compuesta de un material que emite luz bajo la acción del bombardeo electrónico y que toma el nombre genérico de "fósforo". Los tipos posibles de fósforo son muy numerosos y cada uno de ellos tiene propiedades distintas en cuanto a luminosidad, color y persistencia.

La luminosidad depende de la intensidad del haz de electrones y aumenta aproximadamente con el cuadrado de la tensión acelerada.

El tiempo de persistencia aumenta considerablemente mediante el empleo de pantallas de doble capa activa. La capa más cercana al vidrio externo es de muy alta persistencia y se excita mediante la luz emitida por la segunda capa, que posee un tiempo de persistencia muy corto.

La sección es la siguiente. El haz electrónico bombardea la segunda capa que produce un destello luminoso relativamente intenso y generalmente azulado. Este destello excita a la primera capa, de alta persistencia y color generalmente amarillento. Este es el tipo más usado en las pantallas de representación PPI. Ejemplos:

Tipo	Fluorescencia	Fosforescencia	Resistencia
P 3	Amarillo - verde	Amarillo - verde	Media
P 17	Verde - amarillo		Mixta
P 28	Amarillo - verde	Amarillo - verde	Larga
P 32	Púrpura - azul	Amarillo - verde	Larga

3.8.2.2 Bobinas deflectoras

Los TRC empleados en el RADAR del tipo PPI, son de deflexión magnética, el cañón electrónico tiene un filamento y un cátodo rodeados por la rejilla de control y un ánodo acelerador dividido en dos secciones.

El enfoque del haz se realiza mediante una bobina o imán permanente concéntrico con el cuello del tubo y que puede ser movido según el eje del mismo para conseguir el ajuste correcto del haz.

El haz de electrones emitido por el cátodo del TRC se puede considerar como equivalente a una corriente eléctrica que circula por un conductor sólido, por lo que le son válidas las reglas de Ampere sobre las secciones entre un campo magnético y una corriente eléctrica.

La dirección de la fuerza ejercida sobre el electrón es normal al plano definido por el flujo magnético y la trayectoria del haz y su sentido es tal que lo desplaza según la regla de Ampere de la mano derecha.

$$F = e \mu_0 B \text{ sen}; \text{ Pulgar} = \text{ fuerza, Índice} = \text{ campo, Corazón} = \text{ intensidad}$$

La deflexión del haz se obtiene mediante una bobina, que en el caso de la pantalla PPI, conduce una corriente en diente de sierra que hace desplazarse el haz desde el centro a la periferia de la pantalla. Al mismo tiempo, la bobina deflectora gira sobre el cuello del tubo en sincronismo con la antena, por lo que el haz barre del centro a la periferia sucesivamente en todas las direcciones que la antena va ocupando. Si las bobinas deflectoras son fijas, éstas producen un campo giratorio sincronizado con el giro de la antena.

La deflexión electromagnética consume mucha potencia, pero tiene la ventaja de permitir ángulos de deflexión grandes con pequeños desenfoques, razón por la que se emplea siempre que el tamaño de la pantalla tenga que ser grande, como es el caso de la presentación PPI.

3.8.2.3 Bobinas giratorias

Las bobinas deflectoras que giran alrededor del cuello del TRC, con lo que el campo magnético gira con ellas, se alimentan por medio de escobillas y anillos conductores, siendo movidas por medio de un motor acoplado, a través de la necesaria reducción de engranajes para que la velocidad de giro de la bobina sea igual a la de la antena, entre 20 y 30 R.P.M.

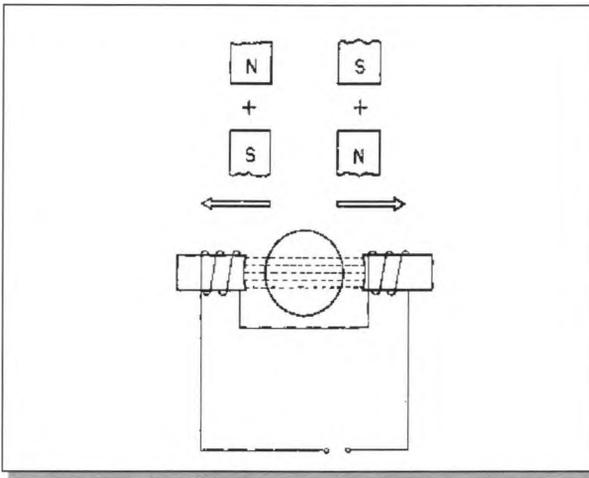


Figura 3.25 - Sentido del desplazamiento del has según la polaridad del campo

Las bobinas deflectoras giratorias se construyen de forma que sean coaxiales respecto al eje longitudinal del TRC y que puedan girar alrededor de su cuello.

La misma forma que aloja a la bobina lleva incorporado un piñón dentado sobre el que engrana el motor o alguno de sus engranajes reductores.

También, se encuentran sobre la misma forma dos anillos conductores metálicos aislados entre sí y del resto del conjunto, a los que se conecta el principio y fin del devanado.

Sobre los anillos frotan dos escobillas, generalmente metálicas, que sirven para alimentar la bobina durante su giro.

En la figura, que corresponde a un montaje típico, la bobina está suspendida, rodeando al cuello del TRC, sin tocar con él y coaxial respecto al eje longitudinal. Está soportado por tres cojinetes de bolas que encajan en una guía, de

que está provista la forma soporte y mediante los cuales se permite el giro y el ajuste de centrado.

Los cojinetes, motor de arrastre y conjunto de piñones reductores están soportados por una armadura cuya misión es dar una sujeción estable y rígida para que la bobina no se desplace de su posición correcta ni vibre con el movimiento del buque.

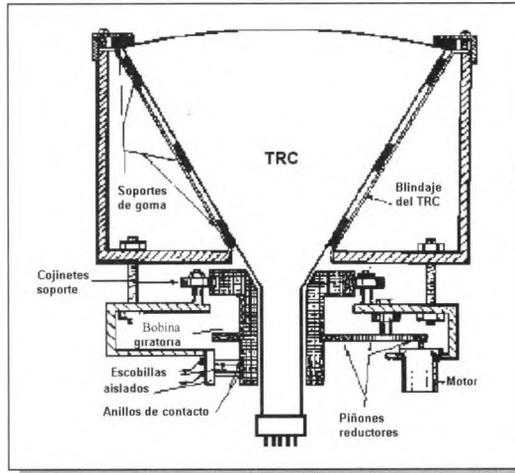


Figura 3.26 - Conjunto de deflexión con bobinas giratorias

3.8.2.4 Bobinas deflectoras fijas

Son aquellas en las que, mediante diversos medios, pueden ser alimentadas con corrientes polifásicas, obteniendo un campo magnético giratorio cuya velocidad de giro debe ser igual a la de la antena.

La construcción de las bobinas deflectoras fijas no difieren mucho de las giratorias, aunque en el aspecto mecánico son más sencillas puesto que no necesitan el piñón de engranajes, ni los anillos de alimentación. También, es más sencilla su sujeción en la posición adecuada ya que no necesitan moverse.

3.8.3 Sincronizador

La función del sincronizador es la generación y distribución de impulsos de control, perfectamente determinados en el tiempo, a las distintas unidades y circuitos del radar, para asegurar que cada uno de ellos realiza su función en el momento exacto con relación a los demás.

3.8.4 Base de tiempos

La desviación del haz electrónico, cuando en el TRC, se lleva a cabo por medio de un campo magnético generado por una corriente que atraviesa una bobina, es proporcional a la magnitud de la corriente.

Por consiguiente, para que el barrido sea lineal, es decir, que la deflexión radial crezca linealmente con el tiempo, la corriente que atraviesa la bobina generadora del campo magnético también debe crecer linealmente.

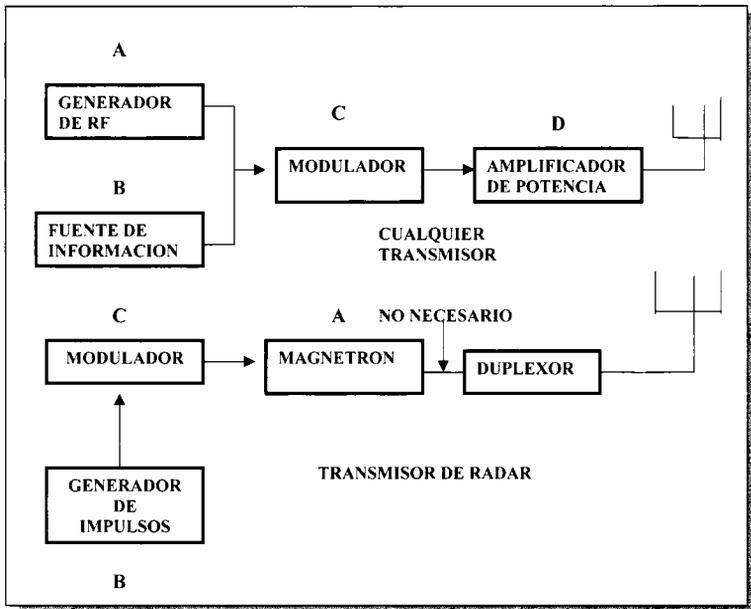


Figura 3.28.- Comparación de diagramas de bloques de transmisores

La necesidad de que la velocidad del desplazamiento radial del haz sea constante, se deriva del hecho de que el espacio recorrido por el citado haz sobre la pantalla en un tiempo determinado y que puede ser representado por $v t$, siendo v la velocidad del desplazamiento radial, debe ser proporcional al recorrido por el impulso radiado, que en el mismo tiempo será $c t$, afín de que las distancias medidas desde el origen del desplazamiento del haz, es decir, desde el centro de la pantalla, hasta que el eco recibido sea, a su vez, proporcional a la distancia medida desde el origen del impulso radiado, es decir, la antena, y el blanco generador del eco.

Cualquier falta de linealidad en la velocidad del barrido dará lugar a un error en la medida de distancias.

Las bobinas deflectoras poseen una resistencia y una inductancia en serie, dando lugar al circuito equivalente de la figura:

Para establecer la forma de onda de tensión que debe aplicarse a un circuito tal para que sea atravesado por una corriente linealmente creciente con el tiempo, veamos qué onda de tensión originaría una corriente de las citadas características sobre cada uno de los dos componentes, resistiva e inductiva, de la bobina.

Si un circuito tal es atravesado por una corriente linealmente creciente con el tiempo, se desarrollará sobre la componente resistiva una tensión IR que evidentemente, seguirá la misma ley de variación que la corriente, esto es, crecerá linealmente con el tiempo.

La caída de tensión en la componente inductiva es, de forma general, $L di/dt$, pero como el crecimiento de la corriente es, en este caso lineal, su derivada di/dt es constante y como L también lo es, evidentemente la citada caída de tensión será constante.

La suma de ambas caídas de tensión da, como resultado, una forma de onda trapezoidal, en la que la relación entre el escalón y la pendiente es igual a L/R , constante de tiempo de la bobina.

Según todo esto, si se aplica una bobina deflectora una tensión trapezoidal circulará, a través de ella, una corriente cuyo crecimiento será lineal, lo que dará lugar a un desplazamiento radial del haz electrónico sobre la pantalla, que suele llamarse barrido, cuya velocidad es constante.

Existen gran número de configuraciones capaces de producir un barrido lineal sobre la pantalla y, están constituidos por dos partes diferenciadas entre sí.

La primera, genera la forma de onda adecuada y la segunda la amplifica, a fin de obtener sobre la bobina deflectora los valores necesarios de corriente, relativamente grandes, necesarios para la deflexión.

Un requisito común a cualquier tipo de circuito empleado en la deflexión es que debe ser posible variar sus constantes para el funcionamiento en distintas escalas de distancia. El factor variable en la corriente deflectora, que se controla mediante la conmutación de elementos del circuito, es su pendiente o tasa de crecimiento con el tiempo, puesto que ha de alcanzarse el mismo valor final, correspondiente a la máxima deflexión, en tiempos diferentes, que pueden ir desde valores tan pequeños como $6,17 \mu s$ para la escala de 0,5 millas hasta $592 \mu s$, para la escala de 48 millas.

3.8.4.1 Análisis de un circuito tipo

En los radares marinos las bases de tiempos, actualmente son transistorizadas, quedando muy pocos con válvulas, además la tecnología digital esta desplazando a la analógica.

Un generador de base de tiempos típico consta fundamentalmente de tres partes perfectamente definidas.

- a) Un generador de puerta, cuya finalidad es producir un impulso rectangular cuya longitud determina la del barrido.
- b) Un generador de onda trapezoidal.
- c) Un amplificador que tomando como entrada la forma de onda trapezoidal proporciona a la bobina deflectora la corriente relativamente alta necesaria para su funcionamiento.

El generador de puerta suele estar constituido por un multivibrador monoestable con constantes conmutables para cada escala, a fin de proporcionar un impulso de duración necesaria.

El multivibrador es en esencia un amplificador de dos etapas acopladas a resistencia, dispuesto de tal forma que la salida de cada etapa excita la entrada de la otra.

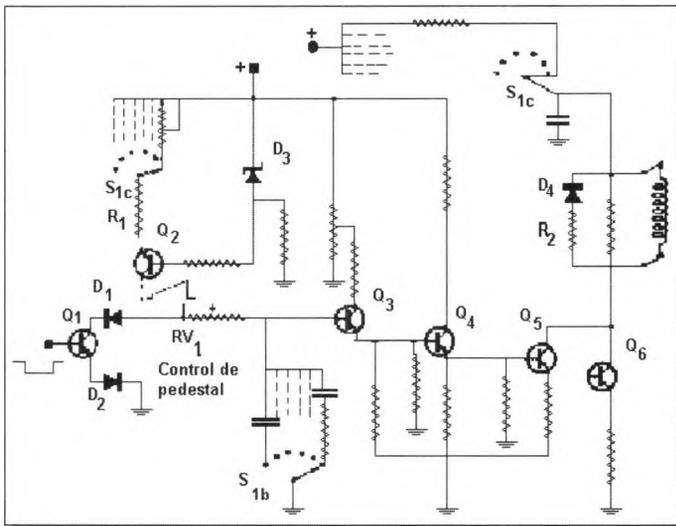


Figura 3.29.- Circuito típico de base de tiempos

En el circuito presentado, Q_2 es el generador de base de tiempos al que se aplica una tensión estabilizada por el diodo Zener D_3 que lo polariza directamente, por lo que la impedancia emisor-base es muy baja, quedando determinada la corriente por el valor de R_1 . Durante el periodo de reposo Q_1 también está polarizado directamente, por lo que la corriente de Q_2 fluye a través de él vía D_1 .

Cuando el impulso rectangular negativo se aplica a la base de Q_1 , éste queda abierto y la corriente de colector de Q_2 circula por R_1 y la combinación R - C seleccionada, según la escala en uso, por medio del conmutador S_{1b} .

El salto de tensión producido por la corriente sobre la resistencia serie, sirve para producir el pedestal de la forma de onda trapezoidal. La pendiente, que constituye el diente de sierra de la citada forma de onda trapezoidal, depende del valor de la capacidad serie y del valor de la corriente de carga. La capacidad se selecciona por medio de S_{1b} , mientras la corriente de carga se selecciona mediante S_{1a} , en el emisor de Q_2 .

La forma de onda trapezoidal obtenida en el colector de Q_2 es sucesivamente amplificada por medio de Q_3 y Q_4 , que reducen la impedancia de salida merced a su montaje en seguidor de emisor y se aplica a la etapa compuesta por Q_5 - Q_6 que proporciona la corriente necesaria para la bobina deflectora.

En el estado inicial o de reposo Q_5 , pone en conducción a Q_6 y a partir de este instante, las corrientes de colector de Q_5 y Q_6 crecen linealmente a medida que aumenta la señal aplicada a sus bases. Al finalizar el impulso puerta, Q_6 queda nuevamente abierto y la corriente que circula por la bobina vuelve a su valor de reposo. La pendiente, o tasa de crecimiento, de la corriente a través de la bobina deflectora debe ser mayor para las escalas de distancia cortas por lo que la tensión de alimentación se incrementa para las citadas escalas mediante S_{1c} .

Durante la cancelación de la corriente deflectora se producen tensiones inversas de alto valor, debido al colapso del campo magnético. Estas tensiones se eliminan mediante D_4 - R_2 .

Al tratar de las generalidades de las bases de tiempo quedó establecido que a mayor inductancia de la bobina deflectora será necesario generar una onda trapezoidal con un pedestal mayor.

3.8.4.2 Giro acimutal de barrido

En la presentación PPI el barrido o base de tiempos actúa sobre el haz electrónico, imprimiéndole una deflexión que da lugar, al incidir aquél sobre la pantalla, a una traza visible con origen en el centro de la misma y final sobre la periferia.

Con el fin de que todos los blancos situados puedan ser detectados, la antena gira en acimutal con movimiento de rotación uniforme, radiando los impulsos de RADAR sucesivamente hacia todos los puntos de su plano acimutal. Para que los blancos aparezcan sobre la pantalla de forma que se produzca una representación del área circundante son necesarias dos condiciones:

1º.- Que las distancias a que aparezcan los ecos, medidas desde el centro de la pantalla, en sentido radial, sean proporcionales a las distancias existentes entre la antena y los blancos origen de los ecos.

Esta condición se cumple por medio de una base de tiempos lineal respecto al tiempo y que genera sobre la pantalla una traza lineal.

2º.- Los ángulos que forman los radios determinados por cada uno de los ecos y otro tomado como referencia, deben ser iguales a los que formen las líneas que unen la antena con los blancos respectivos a cada eco con una dirección tomada como referencia.

Esta condición se cumple cuando el barrido es giratorio, es decir, cuando el extremo de la traza radial recorre sucesivamente todos los puntos de la periferia de la pantalla, en sincronismo con el giro de la antena.

Así, si la traza sobre la pantalla coincide en todo momento en dirección con la antena, es evidente que los ecos que aparezcan sobre la pantalla corresponderán a blancos situados precisamente en la dirección en que en cada momento se está emitiendo.

La dirección de referencia, en los radares marinos, en lo que se refiere a la antena puede ser, bien la proa del propio buque, bien el norte verdadero. En cuanto a la pantalla la línea de referencia es arbitraria, aunque por razones de facilidad de interpretación se toma como tal el extremo de un diámetro dirigido hacia proa y paralelo a la línea de crujía.

De esta forma, cuando la referencia para la antena es la proa del barco, la presentación de los blancos sobre la pantalla conserva los ángulos reales respecto a proa.

Cuando la referencia para la antena es el norte verdadero, se requiere una conexión con el compás giroscópico para que la imagen siga los posibles cambios de rumbo del buque y los blancos situados al norte verdadero del mismo aparezcan sobre la línea de cero de la pantalla, mientras la línea de referencia de proa aparecerá en la pantalla mareando el rumbo propio sobre el limbo graduado.

3.8.5 Sincromotores

Los sincromotores, son esencialmente transformadores en los que el acoplo entre devanados puede variarse mediante la rotación de uno de ellos. Externamente se asemejan a pequeños motores eléctricos en los que uno de los devanados que podemos considerar como el secundario, es el estator, mientras el primario está alojado sobre el rotor, cuya alimentación se hace mediante anillos y escobillas.

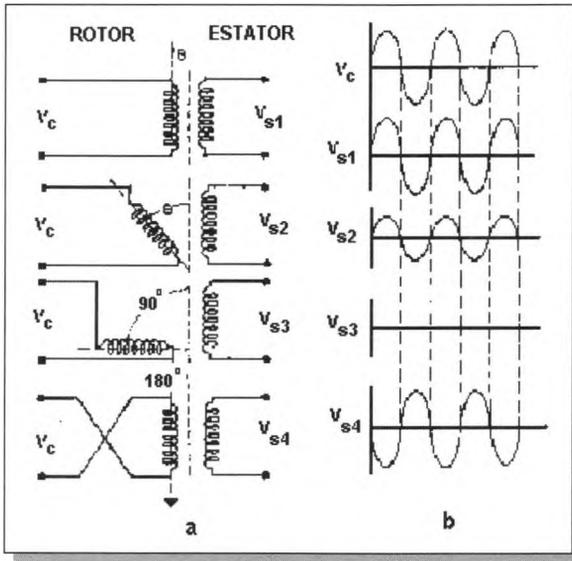


Figura 3.30.- Forma de onda de salida de un sincromotor en función del ángulo girado por su eje

Si al primario o rotor se le alimenta mediante una tensión alterna, sobre el estator o secundario se induce una tensión cuya amplitud es proporcional al coseno del ángulo formado por los ejes de ambos devanados entre sí, y que está siempre en fase o bien en contrafase con la entrada. Todo lo anterior sigue siendo válido si se invierte la entrada y las salidas, es decir si hacemos el primario el estator y el segundo el rotor.

Si se hace girar el rotor continuamente se obtiene como salida la onda representada en la figura cuya ley de variación es:

$$V_s = K V_e \cos$$

Hay sincromotores de muchos tipos y variedades, los cuales podemos enumerar:

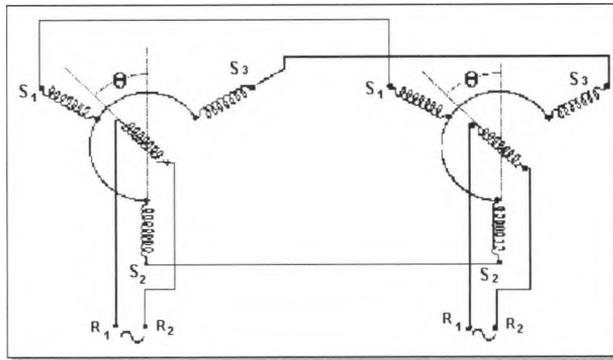


Figura 3.31.- Sincrotransmisores de tensión

A) Sincrotransmisores de tensión.

Constituidos por un devanado monofásico en el rotor y un estator con tres devanados en estrella y sus ejes separados 120° uno de otro.

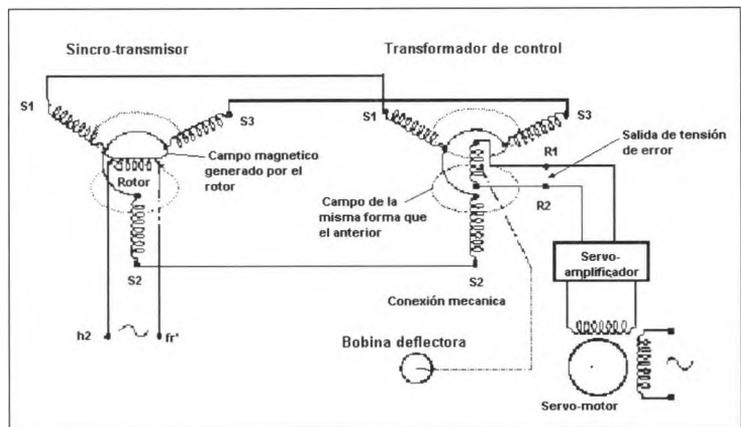


Figura 3.32.- Sincromotores de control

B) Sincros de control.

Los sincros o transformadores de control son una versión de alta impedancia de los anteriores, se emplean cuando se requiere mayor exactitud en la transmisión de la información, alimentando a un amplificador.

C) Transmisor diferencial de control.

Se utiliza para sumar o restar información angular en una cadena de control. Tanto el estator como el rotor tienen tres bobinados conectados en estrella.

3.9 Sistemas de rotación de la traza

Una de las partes que integra el sistema de rotación de la traza, independientemente del tipo de bobina deflectora, es el motor eléctrico en sus diversas variedades y tipos.

Genéricamente podemos hacer tres grandes clasificaciones:

- SINCROMOTORES: a su vez se dividen en:

- Sincrotransmisores de torsión.
- Sincros de control.
- Transmisor diferencial de control.
- Resolver.

- SERVOMOTORES

- MOTORES PASO A PASO

Los Servomotores:

Son motores que operan con dos devanados y cuyas características difieren mucho de las de los motores ordinarios. Una de las fases se mantiene permanentemente excitada, mientras la otra se utiliza para control. Un servomotor no puede funcionar con una sola fase, por lo que cuando la fase de control recibe una tensión nula, se detiene. Además una de sus características especiales es que la curva velocidad/par es aproximadamente lineal. Para mejorar la relación par/inercia, el rotor se hace de pequeño diámetro en relación con su longitud. Para mejorar la exactitud, el eje suele estar tallado en forma de piñón para que engrane directamente en la cadena de reducción sin necesidad de un piñón adicional.

Los motores paso a paso están formados por tres bobinados conectados en estrella y rotor magnetizado.

Para bobinas giratorias

El primer método y más simple es alimentar con la misma fuente, el motor de arrastre de la antena y el motor que mueve las bobinas giratorias. Solo puede emplearse con corrientes polifásicas. Otro método, consiste en mover

las bobinas giratorias mediante un servomotor excitado por un amplificador gobernado por una cadena de sincros de control.

Para bobinas fijas

El sincrotransmisor de antena se alimenta con la corriente de la base de tiempos, en diente de sierra.

3.10 Amplificador de video

Eleva el nivel de la envuelta de detección de los impulsos para que aplicados al TRC modulen en intensidad el haz electrónico. Los radares marinos tienen una disposición típica:

En la Unidad Transmisora-Receptora: El Preamplificador de video, junto con el detector van a continuación de la cadena de FI.

En la Unidad Indicadora: Amplificador de video, además de amplificar la señal detectada, mezcla y amplifica las señales procedentes de:

- Generadores de marcas fijas y variables de distancia.
- Generador de línea de proa.

Las características exigibles a un amplificador de video son rigurosas, debe proporcionar una curva de respuesta de frecuencia prácticamente constante desde el orden de pocos Hz al de 6 MHz o más. Además el retardo de tiempo del amplificador completo ha de mantenerse constante para todas las frecuencias.

3.11 Alcance del radar

3.11.1 Introducción

Las investigaciones realizadas con el RADAR, han ido encaminadas siempre hacia el objetivo de conseguir un mayor alcance, es decir, poder detectar a la mayor distancia posible un blanco determinado.

Los radares marinos, durante mucho tiempo han venido teniendo un alcance máximo de 48 millas, pero, sin embargo, actualmente, están proliferando los de 96 millas, de modo que gracias al empleo de nuevas tecnologías, circuitos integrados, electrónica digital, etc. el alcance se ha duplicado con las ventajas que esto reporta en su utilización.

3.11.2 Factores que intervienen en el alcance

Los factores que intervienen de modo directo en el alcance del RADAR son:

- La potencia radiada por el transmisor.
- La abertura de la antena.

También, debemos considerar los factores que intervienen de un modo inverso en el alcance, es decir, que el alcance disminuye cuando aumenta:

- La potencia mínima detectable.
- La longitud de onda utilizada.

3.11.3 Ecuación del radar

La expresión más común de la ecuación del radar, relaciona la potencia del eco recibido, en función de los siguientes parámetros:

$$S = \frac{P_t \cdot G}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2} \cdot \frac{G \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

S = Potencia recibida por el receptor. P_t = Potencia transmitida. G = Ganancia de antena.

λ = Longitud de onda. σ = Superficie RADAR equivalente del blanco. R = Distancia.

Siendo: el primer cociente la densidad de potencia que alcanza el blanco, el primero y segundo, la densidad de potencia, reflejada por el eco, que incide en la antena de recepción. El tercer cociente constituye la superficie equivalente de la antena de recepción, suponiendo que sea la misma que la de emisión.

Debido a que la señal recibida se encuentra mezclada con el ruido, interesa establecer la relación señal a ruido S/N.

El ruido presente en la entrada de un receptor de RADAR se puede expresar por la relación:

$$N = K [T_0 (N_f - 1) + T_a] B = K \cdot T_i \cdot B$$

en donde: $K = 1,38 \cdot 10^{-3}$ W/Hz 1.ºK (Cte. de Boltzmann), $T_0 = 290^\circ\text{K}$ (Temperatura de referencia), N_f = factor de ruido del receptor, T_a = temperatura de ruido de la antena, B = ancho de banda del ruido del receptor y T_i = Temperatura global del ruido del sistema.

Definiendo $N_{f_0} = T_i / T_0$ podemos deducir que: $N = K T_0 B N_{f_0}$ y por tanto:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot c}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot K \cdot T_0 \cdot B \cdot N_{f_0} \cdot L}$$

en donde L tiene en cuenta diversas pérdidas que se producen en la recepción.

3.11.4 Alcance máximo

La mínima energía detectable, esto es, la mínima potencia recibida por el receptor capaz de producir un eco, depende del diseño del RADAR y es evidente que corresponde al alcance máximo a que pueden detectarse los ecos. Por tanto, si llamamos a esa potencia mínima S/N_{\min} y sustituimos en la ecuación del radar, tendremos:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\min} = \frac{P_t G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R_{\max}^4 K T_0 B N_{f_0} L}$$

y despejando R_{\max} se obtiene el alcance máximo del radar:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 \left(\frac{S}{N}\right)_{\min} K T_0 B N_{f_0} L}}$$

De esta ecuación podemos deducir las siguientes conclusiones:

1º.- El alcance aumentará si $(S/N)_{\min}$ es realmente mínimo y esto se consigue utilizando en la recepción un filtro adaptado, llamando así a aquél cuya función de transferencia (transformada de la respuesta impulsional) es la conjugada compleja de la transformada de Fourier de la señal de entrada (salvo un retardo), filtro adaptado que generalmente es el filtro de FI.

2º La ganancia G de una antena se puede expresar por la ecuación:

$$G = \frac{A_e 4\pi}{\lambda^2}$$

en donde A_e es la apertura efectiva de la antena. Si esta fórmula se sustituye en la anterior, queda $R^4 A_e k_2/2$, por lo que cuando A_e sea constante, R aumentará al disminuir la longitud de onda. Sin embargo, para valores iguales de G, lo que supone una antena mayor, a mayor, el alcance aumenta con λ^2 .

3º.- En L se representan todas las pérdidas posibles del equipo entre las que se pueden enumerar:

- Pérdidas por mezclar una señal con más de una muestra de ruido.
- Pérdidas debidas a la operación de exploración.
- Pérdidas por la fluctuación del blanco.
- Pérdidas en la integración de las señales recibidas.
- Pérdidas en el receptor, en el transmisor, en las guías, en la inadaptación del filtro, etc.
- Pérdidas debidas a la naturaleza del camino de propagación o atmósfera.

Estas pérdidas son mayores cuantas más pequeñas son las longitudes de onda de transmisión. Esto nos indica, con claridad, que la de un RADAR es un factor importante, a elegir según la aplicación del mismo.

Por ejemplo, si se desea un RADAR de vigilancia con largo alcance (R elevada) convendrá que sea grande. Esto añadido a la observación 2º), lleva a la conclusión de que los radares de largo alcance han de ser de grande (frecuencia de transmisión f_c baja) y gran tamaño de antena. Y así es, la mayoría de las redes de vigilancia están realizadas con radares de la banda L (f_c aproximadamente de 1 GHz) o menores, UHF (aprox. 600 MHz). Existen radares de vigilancia de extremado alcance (más de 4.000 Km) conocidos con el nombre de radares OTH (Over The Horizon Radar) cuya frecuencia de transmisión es de unos pocos MHz, basando su funcionamiento en la reflexión de las ondas electromagnéticas en la atmósfera.

También, el alcance máximo del RADAR está íntimamente ligado a la frecuencia de repetición de impulsos. Si se produce la emisión de un impulso antes de que el eco, debido al impulso precedente, haya tenido tiempo de retornar a la antena, tal eco no podrá ser registrado, ya que, el receptor se mantiene bloqueado durante la transmisión. Por consiguiente, se deduce que, el periodo del impulso debe ser mayor, que el tiempo requerido por la energía radiada, para alcanzar un blanco situado a una distancia de la antena igual al máximo alcance del RADAR y retornar, es decir, que:

$$T = \frac{1}{Fr} > \frac{2 \cdot D_{\max}}{c}$$

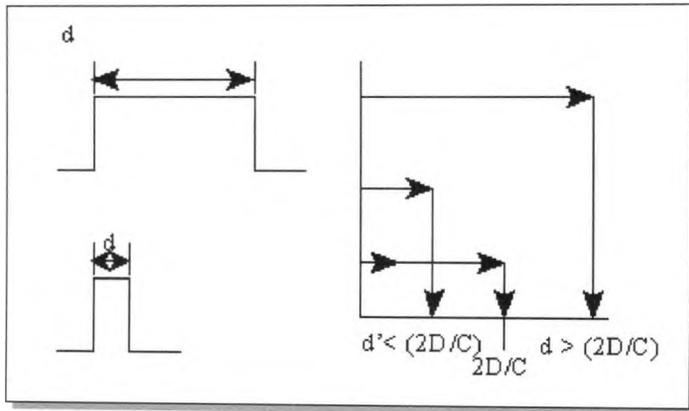
3.11.5 Alcance mínimo

La distancia mínima a la que puede detectarse un blanco depende del ancho del impulso radiado y del tiempo de conmutación del receptor.

Si el blanco está situado a una distancia tal que, el tiempo invertido por el impulso en recorrer el camino de ida y vuelta, entre la antena y el blanco, es menor que el ancho del impulso, es evidente que cuando el eco alcance la antena, ésta aún estará emitiendo, por lo que el eco se perderá. Así se tiene:

$$\frac{2 \cdot D_{\min}}{c} < d + t_c$$

El tiempo de conmutación es el que tarda el receptor en volver a condiciones de operación una vez ha cesado el impulso de transmisión.



En la figura se representa la relación entre el ancho del pulso d radiado y el alcance mínimo.

La fórmula que da la distancia mínima en función del ancho del impulso es, por tanto:

$$D_{\min} = \frac{C(d + t_c)}{2}$$

Todos los blancos situados a una distancia menor que la obtenida en la anterior expresión llegarán a la antena mientras ésta sigue emitiendo y por ello se perderán.

3.12 SECTORES CIEGOS Y ECOS FALSOS

3.12.1 Introducción

Además de los factores mencionados en el tema referido al alcance radar, es decir la potencia del transmisor, la longitud del impulso, la anchura vertical del haz, la longitud de onda de la señal, etc. Hay otros factores que afectan al alcance del RADAR o que modifican las posibilidades de recibir ecos reales en la pantalla. Entre estos factores, figuran:

Sectores ciegos, ecos falsos, ecos múltiples, ecos esparcidos, interferencias de otros radares, y las condiciones atmosféricas.

3.12.2 Sectores ciegos

Se denominan sectores ciegos, a los sectores de la pantalla de la unidad de presentación, en los que se produce una zona angular de sombras u oscuridad, en la que no se producen ecos.

La causa de los mismos es: si la trayectoria de la energía transmitida al exterior por la antena se ve interrumpido por chimeneas, crucetas, palos, grúas, etc la energía se esparce, si esta obstrucción es grande, una chimenea, por ejemplo, se forma un sector ciego en el que no hay señales del RADAR y deja la pantalla a oscuras. Las estructuras causantes de los sectores ciegos son a veces responsables de la producción de ecos falsos, que aparecen sobre los sectores ciegos como consecuencia de la reflexión de las señales en las mencionadas estructuras.

3.12.2.1 Determinación previa de los sectores ciegos

Es conveniente, antes de iniciar a bordo los trabajos de instalación del radar, determinar sobre planos la situación teórica de los sectores ciegos que se producirán según la situación prevista en la antena. De esta forma, es posible decidir el cambio de situación si ello fuera necesario, con la debida antelación como para no introducir retrasos ni gastos adicionales. Para ello se toma un plano del buque en donde aparezca toda la estructura con las partes de la misma capaces de determinar sectores ciegos.

Desde el punto elegido para la instalación de la antena se trazan tangentes a las estructuras que se encuentren en el camino del haz radiado. Mediante la semejanza de triángulos que se puede establecer entre la altura de la antena, las alturas de los obstáculos, distancia de estos a la antena y la distancia mínima a que aparecerá teóricamente el sector ciego, se puede hallar la distribución de tales sectores para la situación prevista de la antena.

Si los sectores ciegos así determinados son incompatibles con las características de detección deseadas será necesario cambiar la situación de la antena.

Hay barcos cuyas superestructuras, determinadas en función de necesidades específicas, como pueden ser el transporte de cargas especiales, impiden una adecuada instalación de la antena. En casos así será necesario elegir la menos mala de las posibles soluciones.

3.12.2.2 Medida de los sectores ciegos

La medida del acimut y ángulo comprendido por cada uno de los sectores ciegos o de sombra debe ser realizada y registrada para conocimiento del usuario. La forma más sencilla de efectuar esta medida es observando sobre la pantalla los sectores sombreados que se producen en la imagen en una escala corta y con un área circundante productora de gran número de ecos, como puede ser el interior de un puerto, o el retorno de interferencia de mar, sin utilizar el mando de supresión o STC.

Obtenida una imagen clara de los citados sectores ciegos y estabilizada la presentación con la línea de proa en cero, se toma mediante el curso giratorio, las medidas de acimut de los radios que los definen, la diferencia entre las citadas lecturas es el ángulo comprendido por el sector ciego. Los resultados se registren en la hoja de pruebas y en el diario del radar.

3.12.3 Ecos falsos

Los ecos falsos o fantasmas son ecos que aparecen en la pantalla del RADAR sin que en apariencia haya blanco productor de los mismos.

3.12.3.1 Tipos de causas

Tales ecos pueden deberse a dos clases diferentes:

- 1) Falsos ecos debidos a los lóbulos de radiación lateral.

Como se estudia en el tema de antenas, éstas además del haz principal, radian energía en forma de lóbulos laterales que, al reflejarse en blancos cercanos pueden dar lugar a ecos que aparecen en la pantalla a la misma distancia a que lo hacen los ecos verdaderos debidos a los mismos blancos originados por el haz principal, pero en distintas direcciones, por lo que aparentemente no hay blanco productor, tal como se ha dicho al definirlos.

En algunas ocasiones, cuando los blancos están muy próximos y producen ecos de gran intensidad, como ocurre con blancos grandes en el interior de los puertos, los falsos ecos debidos a los lóbulos laterales aparecen como arcos alrededor del origen del barrido.

2) Ecos falsos debidos a reflexiones múltiples.

Los ecos intensos debidos a un blanco grande y cercano pueden reflejarse varias veces entre la antena y el blanco, dando lugar, sobre la pantalla a ecos múltiples situados sobre la misma marcación y a distintas distancias del centro.

El eco también puede reflejarse en otro objeto de gran tamaño y alcanzar la antena procedente de una dirección distinta de la verdadera, por lo que aparecerá sobre la pantalla en una dirección distinta de la real y a una distancia igual al camino total recorrido.

3.12.3.2 Anulación de ecos falsos

La mejor forma de anular los ecos falsos, es impedir que se produzcan y la mejor manera de conseguir este objetivo, es elevando la antena del RADAR, lo más alto posible, por encima de las estructuras susceptibles de producirlos.

Otro método, por el cual se reducen en cierto grado los falsos ecos, es pintando la parte de la estructura productora de los mismos con una pintura anti-reflejante o absorbente a base de carbón coloidal.

En tercer lugar, si se siguen produciendo ecos falsos podemos atenuarlos, dentro de ciertos límites, especialmente los originados por los lóbulos laterales, por medio de ajuste del mando STC. Esto es debido a que la energía radiada por los citados lóbulos es muy pequeña comparada con la del haz principal, por lo que los ecos falsos suelen ser más débiles que los reales. Mediante el mando STC (Control de sensibilidad respecto al tiempo) llamada a veces Sea Anticlutler, se introduce una polarización en el receptor, con una ley de variación que produce una ganancia muy baja inmediatamente después del impulso de transmisión y que crece exponencialmente con el tiempo. Según la posición del citado mando, se obtiene una polarización más o menos, según las condiciones del momento. El resultado es que los ecos cercanos resulten menos amplificadas pudiendo, mediante un ajuste cuidadoso, eliminar los ecos falsos o los perturbadores por mar gruesa, etc.



ISBN 84-96274-20-9



9 788496 274204



UCA

Universidad
de Cádiz

Servicio de Publicaciones
2004

30
B
TEXTOS BÁSICOS
UNIVERSITARIOS

