

MODERNAS SEÑALES MARITIMAS RADIOELECTRICAS

Por RAFAEL SOLER GAYA

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Las siguientes páginas son continuación de lo publicado en el mes de abril pasado, que por la extensión del artículo se dividió en dos partes, concluyéndose en este número tan interesante trabajo.

4.5. Sistema Toran.

Se fundamenta, como el dispositivo Decca, en la comparación de las fases de las fuerzas electrométricas producidas en la entrada de un receptor a bordo de los buques. Del mismo modo se obtienen dos o tres familias de hipérbolas que se dibujan en cartas especiales, correspondientes, respectivamente, a cuatro o seis estaciones emisoras en los focos.

Las peculiaridades del sistema estriban en la adopción de las disposiciones que se indican a continuación:

Las dos emisoras, A y B, no emiten exactamente en la misma frecuencia, sino en dos frecuencias distintas, F_A y F_B , decaladas una de otra. F_A y F_B están comprendidas en la banda de 1,4 a 2,0 MHz. y se tiene por construcción:

$$70 \text{ Hz} \leq F_A - F_B \leq 90 \text{ Hz}$$

En determinado punto fijo C, cuya fijación es arbitraria, se monta un receptor llamado de "compensación" que detecta las dos ondas emitidas en A y B; este receptor permite reconstituir una señal de frecuencia $f = F_A - F_B$ y de fase φ_c igual a la diferencia de fases de las ondas que la componen, o sea:

$$\varphi_C = \varphi_A - \varphi_B - \frac{2\pi F_A}{v} (AC - BC) - \frac{2\pi f}{v} BC$$

Esta señal se utiliza para modular un emisor en C, llamado de "referencia", cuya frecuencia F_c es distinta de F_A y F_B , pero comprendida en su misma banda.

Un receptor colocado a bordo en un punto M detecta:

a) Por una parte las ondas emitidas por cada uno de los emisores de los focos A y B y puede reconstituir así una señal de frecuencia f y fase:

$$\varphi_{M_1} = \varphi_A - \varphi_B - \frac{2\pi F_A}{v} (AM - BM) - \frac{2\pi f}{v} BM$$

b) Por otra parte, la onda procedente del emisor de referencia, lo que permite reconstituir una señal de frecuencia f y fase:

$$\varphi_{M_2} = \varphi_A - \varphi_B - \frac{2\pi F_A}{v} (AC - BC) - \frac{2\pi f}{v} BC - \frac{2\pi f}{v} CM$$

Comparando entre estas dos señales se eliminan por diferencia los términos φ_A y φ_B y se hace aparecer el término útil:

$$\frac{2\pi F_A}{v} (AM - BM)$$

correspondiente a la hipérbola.

El término:

$$- \frac{2\pi F_A}{v} (AC - BC) - \frac{2\pi f}{v} BC$$

es una constante sin importancia que puede ser eliminada; el término:

$$\frac{2\pi f}{v} CM$$

es suficientemente pequeño para poder ser despreciado.

Estas disposiciones permiten poner en servicio un material de emisión simple y consecuentemente seguro.

Los pares de emisores que dan lugar a los focos de cada hipérbola son independientes entre sí y ello facilita la ubicación de las estaciones en tierra.

La amplitud de los canales hiperbólicos sobre la línea de los focos es del orden de los 7,5 metros; la precisión instrumental es del orden del 1 por 100 del canal y la precisión global para la posición del receptor de a bordo es superior a los 5 metros. La alta banda de frecuencias empleada en este sistema es, sin embargo, un obstáculo para su desarrollo a pesar de la precisión.

En España no se encuentran montadas este tipo de señales. Se utiliza por los servicios franceses en el estuario del Sena.

4.6. Sistema Loran.

Este sistema cubre el Atlántico Norte y el Pacífico, y fue instalado entre 1942 y 1945 para el servicio de los buques y aviones de los Estados Unidos de Norteamérica. La denominación procede de "Long Range navigation", o sea, navegación a gran distancia.

Se funda en la medida de las diferencias del tiempo de recorrido de impulsos radioeléctricos recibidos procedentes de diversos emisores.

Si una estación principal, A, y una esclava, B, separadas de 500 a 600 millas emiten en la misma frecuencia sendos impulsos simultáneos con auxilio de un receptor especial instalado a bordo, puede medirse la diferencia de tiempo:

$$t_B - t_A = \frac{MB - MA}{v}$$

transcurrido entre una y otra recepción, es decir, entre los tiempos consumidos por cada impulso para llegar al punto M. La medida se realiza en la pantalla de un oscilógrafo catódico alimentado por el receptor. De este modo el navegante puede determinar su posición interpolando entre dos hipérbolas de una carta especial de un

modo enteramente análogo al que ya ha sido expuesto al tratar del sistema Decca.

Cada cadena emisora lleva dos estaciones esclavas y, en consecuencia, dos familias de hipérbolas designadas con la misma letra pero de distinto color. Hay dos modalidades: el Loran A y el Loran C.

En el Loran A las frecuencias son del orden de 2 000 KHz. (longitud de onda de unos 150 metros) la duración de los impulsos es de 50 microsegundos, la potencia de cresta de unos 100 kW. y la frecuencia de repetición de impulsos de unos 30 por segundo, lo que corresponde a un intervalo de 33 000 μ s entre dos impulsos consecutivos.

Este procedimiento adolece de los siguientes inconvenientes:

a) Las emisiones ocupan una amplitud de banda importante — del orden de 120 KHz. — en una gama de frecuencias utilizadas por la radiotelefonía de los barcos.

b) Las frecuencias utilizadas permiten de día una propagación sobre tierra de unas 100 a 200 millas, mientras que en el mar el alcance es de unas 700 a 800 millas; de noche la onda de cielo permite alcanzar en tierra y mar de unas 1 200 a 1 400 millas, introduciendo cierta corrección.

c) La precisión sobre el mar se limita a una milla a causa de la interferencia de la onda de suelo y de la onda de cielo, cuyo recorrido es mayor por sufrir una reflexión sobre las capas ionizadas de la alta atmósfera.

La cobertura del sistema Loran A se expone en la figura 23.

Al objeto de poner remedio a los inconvenientes del Loran A se han desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica los llamados Loran B y C (actualmente sólo es de uso habitual el C), fundados en el mismo principio, pero utilizando ondas largas en la banda de 90 a 110 Kz. (longitud de onda de unos 3 000 metros). A estas frecuencias la onda de suelo se propaga mejor, especialmente sobre tierra (donde puede alcanzar las 1 000 millas con una atenuación que no excede en más de 5 dB. el valor sobre el mar). Con una potencia de radiación de 100 kW. el alcance sobre el mar es del orden de 1 500 millas de día y de noche; sobre tierra y en condiciones favorables de propagación el alcance es de 1 000 a 1 200 millas, y algo me-

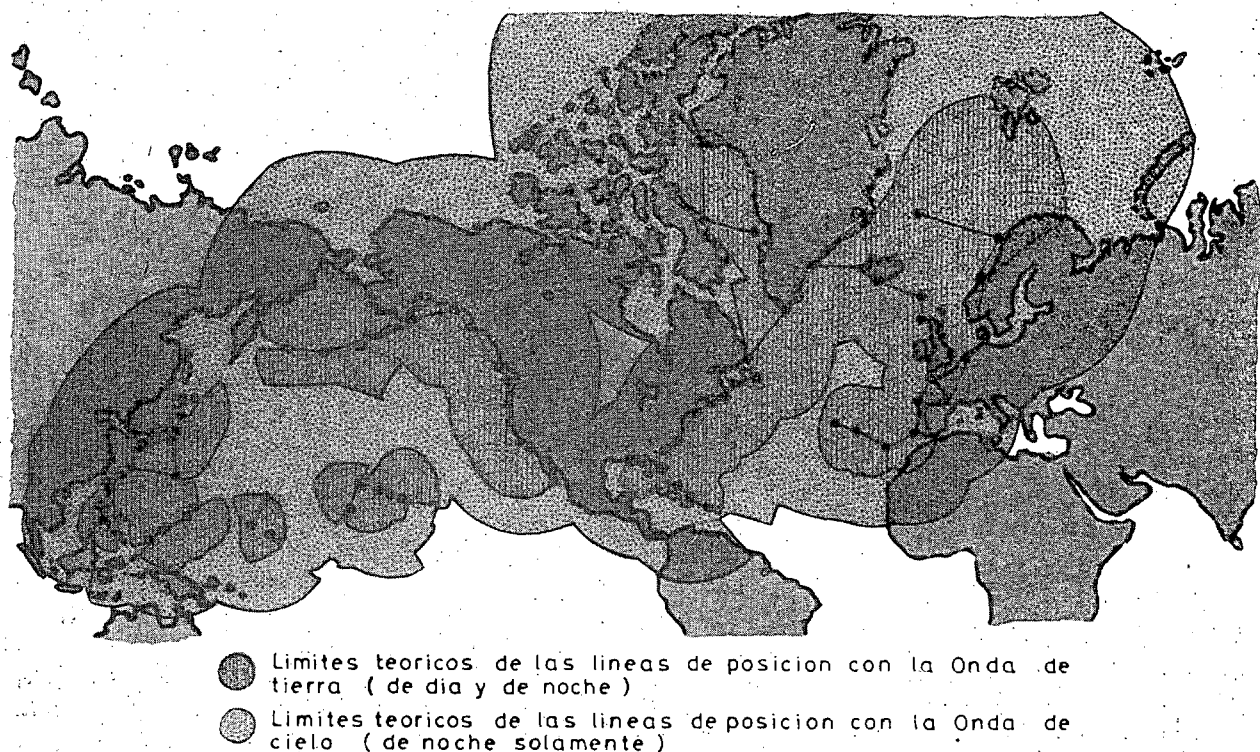


Fig. 23. — Cobertura del sistema Loran A.

nor si el suelo es montañoso. Para obviar las imprecisiones que introduce la onda de cielo se aprovecha la circunstancia de que ésta llega sólo algunas decenas de microsegundos después de la de suelo, que sigue un camino más directo; durante este corto lapso, no solamente se realiza la medida de la diferencia de tiempo de llegada de las ondas de suelo procedentes de las dos estaciones emisoras en los focos, sino también la comparación de fases de estas ondas.

La precisión obtenida en la medida de las diferencias de tiempo es del orden de un microsegundo; para la posición y en los casos más favorables, la precisión es del orden de ± 300 m.

La identificación de las diversas estaciones emisoras Loran C se realiza según el ritmo de emisión de sus impulsos, utilizando cada emisora la totalidad de la banda para producir impulsos tan rápidos como resulte posible.

El Loran A exige receptores de tamaño similar a los receptores de radio ordinarios, con antena análoga a las habitualmente utilizadas en los barcos.

El Loran C, a causa del complicado sistema de medida, tiene equipo muy complejo y más voluminoso, que exige, además, personal especializado para su manejo.

El sistema Loran C se utiliza principalmente en los Estados Unidos para finalidades militares y oceanográficas, por lo que se extiende el área de cobertura en las regiones administradas por la U. S. Coast Guard. Los servicios de señalización marítima española no atienden estaciones de este sistema.

4.7. Sistema Omega.

Todos los sistemas radioeléctricos de ayuda a la navegación que trabajan en frecuencias HF, MF o LF son incapaces de producir una cobertura mundial a causa del limitado alcance de las ondas de suelo e inestables condiciones de propagación de la onda de cielo o ionosférica.

A muy bajas frecuencias (VLF) la onda de suelo tiene escasa atenuación y por ello consigue grandes alcances. La fase de las ondas en

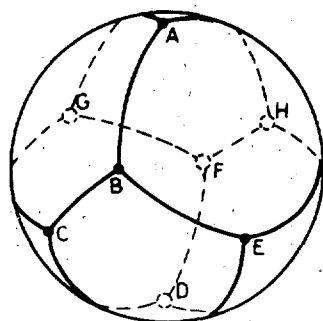
VLF a grandes distancias tiene estabilidad relativamente alta, si bien se aprecian fluctuaciones diurnas, pero que son de características estables y previsibles.

El sistema Omega es hiperbólico y se basa en la comparación de fases como el Decca; no obstante todos los transmisores utilizan la misma serie de frecuencias a lo largo de una secuencia repartiendo el periodo de tiempo.

Al igual que en el sistema Decca existe una ambigüedad en relación con el canal hiperbólico; para resolverla se ha ideado una disposición de frecuencias múltiples; no obstante, como la anchura de los canales hiperbólicos es de 8 a 10 millas, los barcos que navegan a moderada velocidad no precisan la identificación del canal.

El sistema es fruto de las investigaciones derivadas del perfeccionamiento del Loran hacia 1950, siendo denominado Omega por entender su investigador Jack Pierce que sería el último sistema en que trabajaría, con posible utilización universal.

La cobertura mundial exigiría ocho estaciones situadas teóricamente en los vértices de un exaedro inscrito en el globo terrestre (fig. 24).



B Estaciones

A, B, C, D, E, F, G, H.

Fig. 24. — Disposición de las estaciones Omega.

En la práctica, las estaciones previstas son las que se exponen en la figura 25, de las que ya están instaladas las A (Bodo), B (Trinidad), C (Haiku) y D (Nueva York); quedan por instalar

las de Japón, Nueva Zelanda-Australia, Argentina-Chile y Madagascar.

Dadas las específicas condiciones topográficas que exigen estas estaciones, la elección del lugar donde deben ubicarse resulta difícil (grandes antenas).

La frecuencia utilizada es de 10 a 14 KHz. (VLF). Un par de estaciones da lugar a la familia de hipérbolas o líneas de posición, y las ocho estaciones con bases de 5 000 a 6 000 millas permiten una cobertura mundial.

Las ocho estaciones, llamadas A, B, C, D, E, F, G, H, radian en la serie de frecuencias cuyos valor y secuencia se definen en la figura 26.

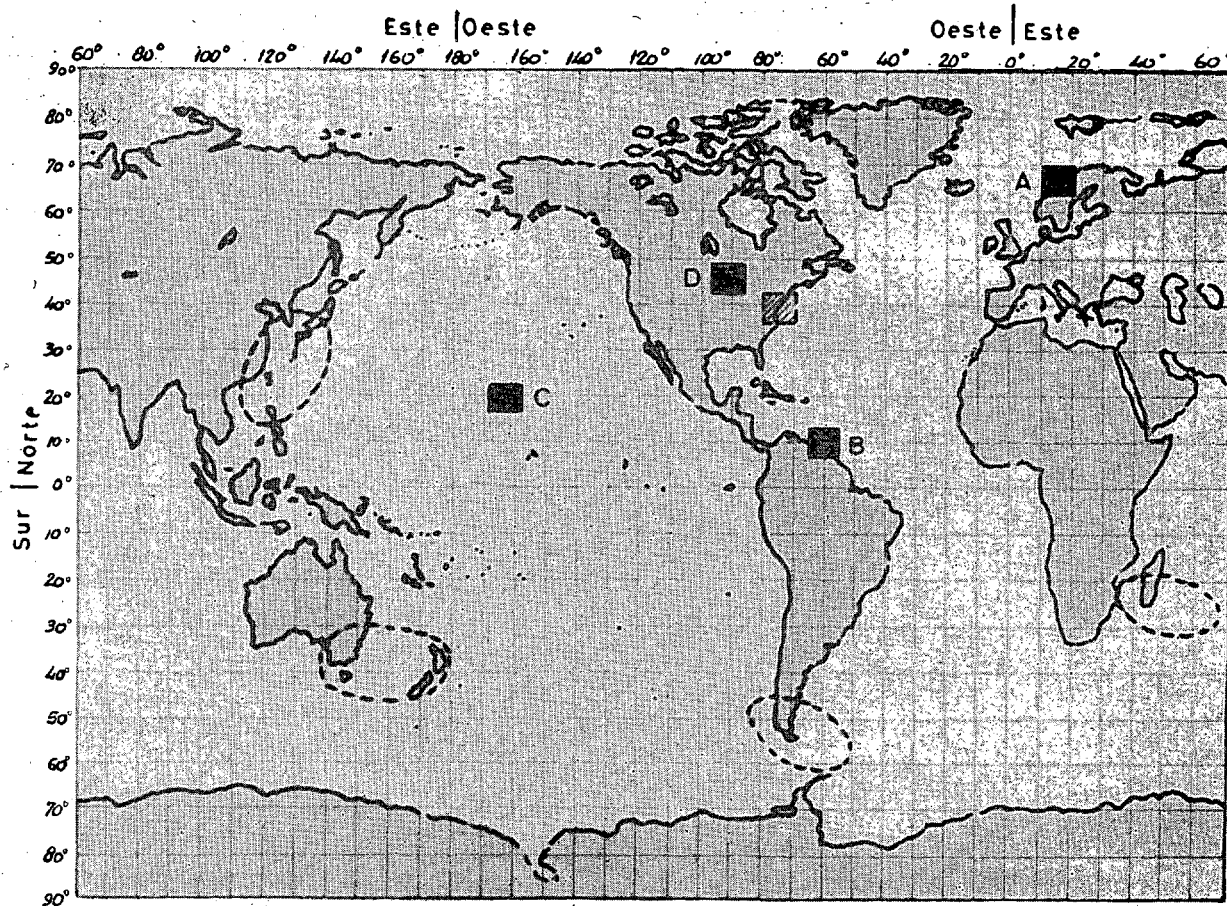
Todas las transmisiones han de tener la fase sincronizada y repetir su emisión individual cada diez segundos, radiando con frecuencia de 10,2 KHz. durante 0,9 segundos, tras un intervalo de 0,2 segundos pasa a la frecuencia de 13,6 KHz. durante el segundo siguiente, tras otro intervalo de 0,2 segundos pasa a la frecuencia de 11,33 KHz. durante 1,1 segundo a la que sigue otro intervalo de 0,2 segundos. Sigue un último lapso de 6,2 segundos, en que se transmite en una frecuencia no especificada, con una interrupción de 0,2 segundos a los 4,8 segundos del comienzo de emisión.

Las restantes estaciones, B, C, ..., H, radian de un modo similar.

Las frecuencias básicas en navegación son de 10,2, 11,33 y 13,6 KHz.; las frecuencias de las otras emisiones, únicas para cada transmisor, pueden utilizarse en la navegación para medir distancias aplicando la técnica del cómputo de ciclos.

Entre estas frecuencias, la de 10,2 KHz. es la fundamental y para ella se han dibujado las curvas de las cartas especiales, que ya se encuentran disponibles para ciertas áreas o zonas del mundo; esta frecuencia da lugar, en las inmediaciones de la línea base que une las dos estaciones, a una zona de ambigüedad cuyo límite dista unos 15 Km. de dicha línea; esta ambigüedad debe reducirse por otros medios o tanteos.

La propagación de las ondas depende de muchos parámetros geofísicos, como son la conductividad del suelo, la dirección de la propagación, la altura efectiva a que se produce



■ Actuales ○ Zonas de ubicacion de las futuras

Fig. 25. — Estaciones actuales y futuras (aún no fijadas exactamente) del sistema Omega.

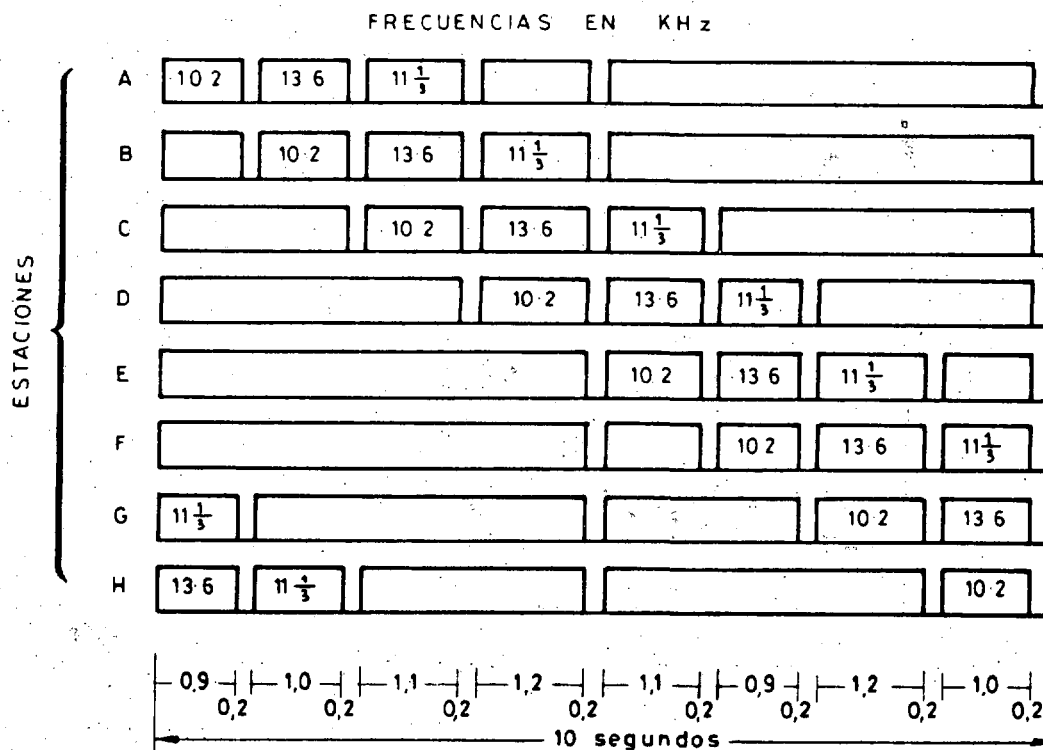


Fig. 28. — Formato básico de emisión del sistema Omega.

la reflexión sobre la ionosfera; esta circunstancia, en sistemas como el Omega, donde se pretenden grandes alcances, exige ciertas correcciones para aplicar debidamente las cartas náuticas, teniendo en cuenta, tanto las condiciones de tiempo como de espacio.

Para atenuar las descorrecciones de fase puede utilizarse la frecuencia de 3,4 KHz. procedente de la combinación de las 10,2 KHz. y 13,6 KHz., pero la ventaja que ello reporta en cuanto al retraso de fase no es absoluta, pues con 3,4 KHz. las curvas de las cartas experimentan una mayor variación que con la frecuencia de 10,2 KHz.

El sistema Omega, prácticamente desarrollado por Estados Unidos, con la colaboración del Japón, Nueva Zelanda, Australia, Argentina, Chile y Francia, es capaz —cuando se completan las ocho estaciones— de proporcionar cobertura sobre la mayor parte del mundo, con una precisión del orden de los 2 Km. (desviación standard). En principio está previsto completar la red de estaciones en diciembre de 1972.

Los receptores han experimentado rápidos perfeccionamientos desde 1959, en que se construyó el "Mark I" hasta el actual "Mark III". En la figura 27 puede observarse el aspecto del receptor intermedio "Mark II". El primero se construyó

para una sola frecuencia y con vistas al auxilio de la navegación aérea; el segundo (fig. 27) introdujo la posibilidad de usar otras ayudas; el tercero permite automatizar las operaciones por medio de computadores hasta el punto de no sólo determinar la posición, sino también calcular el círculo máximo correspondiente a la ruta, indicar si se está a derecha o a izquierda de la ruta trazada, calcular la longitud y la latitud de la posición y, en fin, dar útiles informaciones relativas a la ruta a seguir y a la distancia a cubrir.

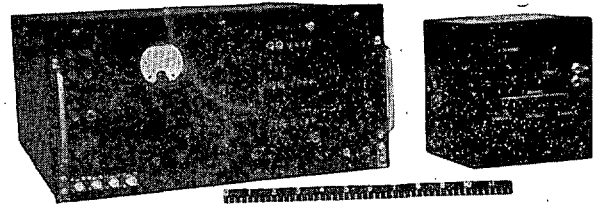


Fig. 27. — Receptor Omega (Mark II).

La experiencia adquirida permite asegurar el satisfactorio funcionamiento de estos receptores, incluso en áreas árticas y en zonas montañosas.

Las estaciones exigen grandes antenas, a cuyo objeto se han aprovechado situaciones topográficas especiales (fig. 28), donde la confi-

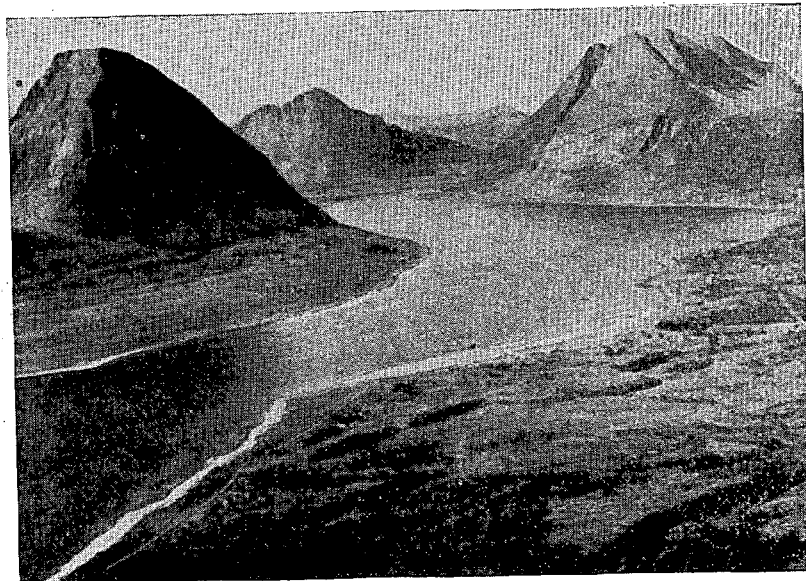


Fig. 28. — Situación de la estación Omega noruega.

guración de las montañas es favorable para evitar los mástiles o torres altas, que exigirían del orden de los 360 m. de altura, como en la nueva estación que se construye en el Centro-Norte de Estados Unidos para sustituir a la estación de Nueva York, con mástiles de 1 200 pies.

4.8. Sistema NNSS (Navy Navigation Satellite System).

La utilización de los satélites para ayudas electrónicas a la navegación ha dado lugar a sistemas que proporcionan una gran precisión en la determinación de la posición y que permiten una cobertura mundial.

El desarrollo del sistema se inicia en 1958 en Estados Unidos con motivo del lanzamiento del satélite ruso "Sputnik I" en 1957. Dos científicos del laboratorio de física aplicada de la Universidad John Hopkins descubrieron que la posición del satélite podía seguirse con precisión por medio de las señales de radio emitidas, y observaron que cuando la radiofrecuencia transmitida se vertía en un gráfico aparecía una curva característica de variación debida al efecto Doppler, apreciable a causa de la relativamente alta velocidad del satélite.

El principio de Doppler dice que cuando un centro emisor de ondas y un observador se aproximan uno al otro, la frecuencia observada es más elevada que la emitida; por el contrario, si se alejan, la frecuencia observada es más baja. Al estudiar este aparente cambio de la frecuencia de onda radiada cuando el satélite pasaba, pudieron demostrar que la curva, debidamente interpretada, describía la órbita del satélite. Progresando en el estudio descubrieron que de la observación de un solo paso por una estación, resultaba posible determinar todos los parámetros concernientes a la órbita del satélite.

El hecho de que tantos datos pudieran extraerse de una simple curva indujo a considerar el problema inverso, es decir, el de conocer la localización de una estación seguidora del satélite partiendo de una órbita conocida, proponiéndose un sistema de ayuda a la navegación basado en la utilización de la curva de variación de frecuencias por efecto Doppler, emitidas por un satélite.

El principio en que se funda el sistema NNSS es precisamente la medición por parte del na-

vegante de la variación Doppler de la señal radiodifundida desde el satélite cuando se mueve a lo largo de su órbita. El sistema se compone de tres elementos:

a) Cuatro estaciones en tierra seguidoras de los satélites, dos de las cuales son, al propio tiempo, estaciones capaces de transmitir información a los satélites.

b) Uno o varios satélites en órbita polar.

c) El equipo receptor del navegante usuario que consiste en un aparato de radio algo complicado y en un computador anejo.

Las cuatro estaciones seguidoras en tierra están localizadas en Wahiha (Hawaii), Point Mugu (California), Rosemont (Minnesota) y Winter Harbor (Maine). El centro de operaciones del sistema radica en Point Mugu.

Actualmente prestan servicio cuatro satélites en órbita polar circular. Las estaciones de tierra determinan las órbitas con un alto grado de precisión, y envían varias veces al día una previsión de datos para las próximas dieciséis horas concernientes a la órbita que seguirán los satélites. Estos, a su vez, retransmiten los datos cada dos minutos junto con una señal de tiempo y una señal de frecuencia sumamente estable; las frecuencias son de 400 y 150 MHz. para eliminar los efectos de la refracción atmosférica.

Es preciso captar por lo menos tres emisiones procedentes de un satélite para determinar la posición.

Por medio del Doppler se conocen las distancias al satélite, y como éste informa de su posición mandado por las estaciones seguidoras, es posible conocer la diferencia de distancia a dos posiciones cuyo lugar geométrico es un hiperboloide de revolución de dos hojas con focos en las posiciones del satélite; con las tres observaciones se definen tres hiperboloides de revolución, cuyas líneas de intersección fijan el punto. Si, como en el caso del mar, la altura es fija bastan dos hiperboloides para situar el barco.

Los complejos cálculos que exigiría la determinación matemática de las intersecciones de los hiperboloides se soslayan por medio de computadores electrónicos que obligan a complejos equipos receptores, si bien se obtienen grandes precisiones del orden de 0,1 milla.

El sistema sólo es utilizable cuando un satélite se encuentra sobre el horizonte del observador que depende de la latitud del lugar, a causa de la rotación de la Tierra, así con cuatro

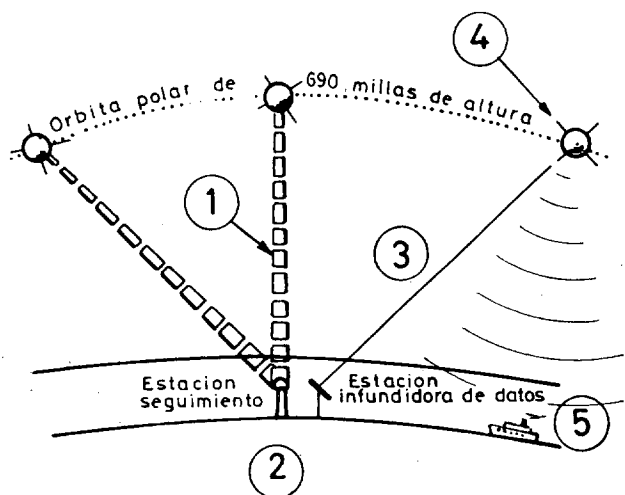


Fig. 29. — Esquema del sistema NNSS: 1. La variación de la frecuencia se mide cuando el satélite se aproxima a la estación de seguimiento. 2. El centro de computación predice las órbitas futuras. 3. La estación que infunde los datos al satélite manda a éste los datos relativos a la órbita y al tiempo. 4. Los datos retenidos por el satélite son radiados a la tierra cada dos minutos. 5. El computador del navegante fija la posición del barco a partir de los datos suministrados por el satélite y por la variación de frecuencias derivadas del efecto Doppler.

satélites es posible fijar la posición una vez cada 79 minutos en el ecuador; cada 68 minutos a 30° de latitud y cada 36 minutos a 60° de latitud. De los 108 minutos que corresponden

al período orbital, sólo unos 18 aparece el satélite sobre el horizonte del observador.

La utilización de las dos frecuencias de 150 MHz. y 400 MHz. tiene por objeto hacer correcciones en el receptor para compensar la refracción que sufre la señal a través de la ionosfera; si sólo se utilizara una frecuencia —con notable reducción en la complejidad y coste del equipo receptor— sigue siendo útil el sistema, pero disminuyendo su precisión a 0,5 millas.

En la figura 29 se expresa esquemáticamente el funcionamiento del sistema.

El navegante debe suministrar además al computador su velocidad conocida, así como, con grosera aproximación, una estimación de su posición y del tiempo local; si se trata de aviones también es preciso dar la altura como "input" al computador.

La figura 30 muestra un equipo receptor completo incluyendo un computador digital separado.

El sistema, tanto por lo que se refiere a las estaciones seguidoras e infundidoras de datos como a los satélites y equipos receptores, ha venido funcionando unos años con éxito; es de cobertura mundial y apto para toda clase de tiempo meteorológico y ajeno a las limitaciones de que adolecen los sistemas basados sólo en estaciones en tierra; la posición puede leerse sin ambigüedades en el computador en longitud y latitud sin utilización de ninguna carta especial.

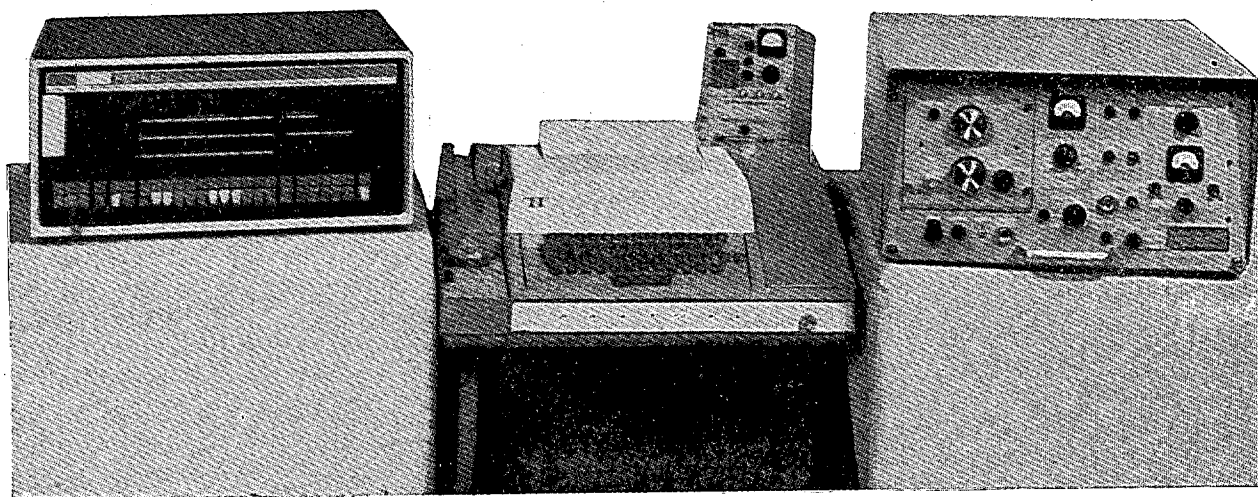


Fig. 30. — Equipo receptor del sistema NNSS.

4.9. Sistema NAVSTAR

Este sistema se basa en la utilización de múltiples satélites en órbitas sincrónicas de veinticuatro horas, que transmiten señales sincronizadas con gran precisión por medio de osciladores de cristal ultraestables montados a bordo de cada satélite. Las desviaciones relativas entre osciladores se calibran de un modo continuo desde una estación en tierra de seguimiento de los satélites (fig. 31).

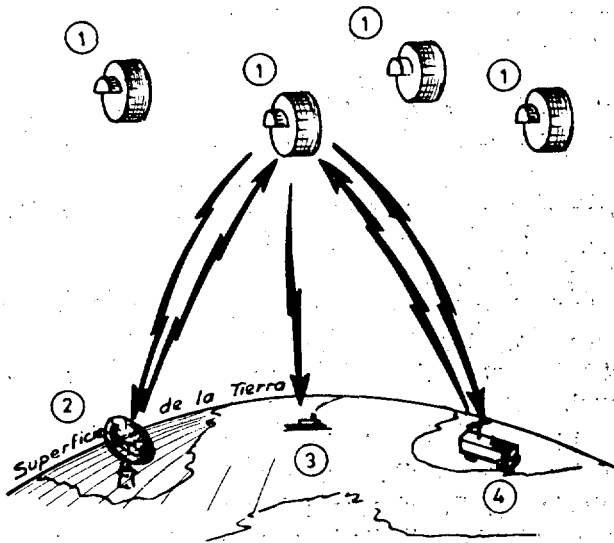


Fig. 31. — Esquema del sistema Navstar: 1. Satélites que transmiten señales a distancia, datos para identificación, parámetros y coordenadas orbitales, correcciones del oscilador y hora del día. 2. Estación central o maestra que sigue al satélite recibiendo datos telemétricos y generando órdenes al satélite. Recibe los datos de las estaciones remotas de seguimiento, computa los parámetros y coordenadas orbitales del satélite y las correcciones del oscilador. Transmite las últimas correcciones a los satélites para su retención a bordo. 3. Usuarios que reciben de cada satélite los datos a él concernientes y a la distancia. Computan la posición automática o manualmente. 4. Estación remota de seguimiento que retransmite sus datos a la estación central vía satélite.

El navegante fija su posición midiendo la diferencia de distancia a pares de satélites; cada medición determina en cada momento un hiperboloide de revolución de dos hojas para cada par de satélites, cuyos focos son éstos; repitiendo la operación con otro par se obtiene otro hiperboloide, cuya línea de intersección con el primero corta a la Tierra en el lugar donde se encuentra el buque. Si se trata de un avión cuya altura es desconocida hace falta un

cuarto satélite que defina un tercer hiperboloide de revolución. El sistema es una extensión de los conceptos del Loran y Omega con base en los satélites (fig. 32).

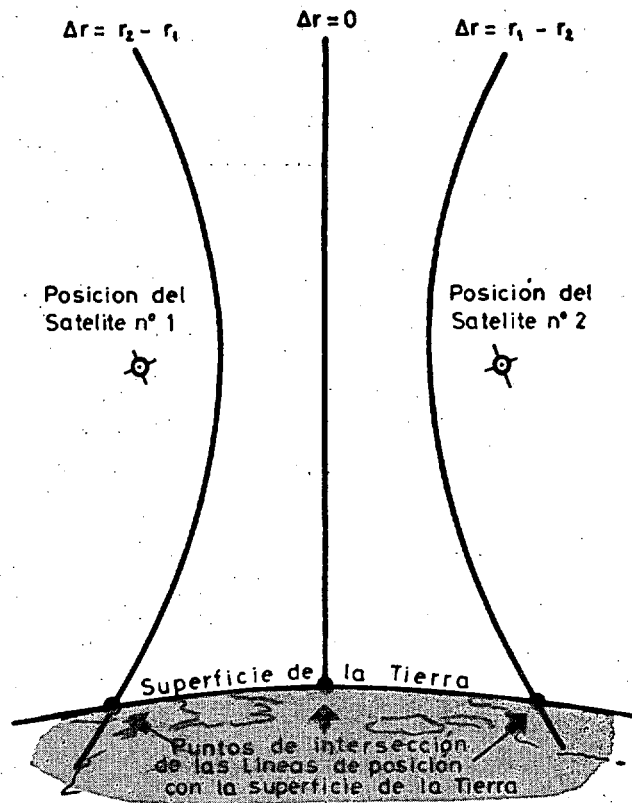


Fig. 32. — Hiperboloides del sistema Navstar definidos midiendo diferencias de distancias.

Cada satélite emite datos para su identificación y relativos a su distancia por efecto Doppler en el código Binor, los parámetros de la órbita y el error de tiempo del oscilador, durante segundo y medio, asignados al lapso de su emisión. Para un sistema de cobertura mundial se precisan ocho lapsos de tiempo de emisión que pueden ser los mismos en los satélites situados en lados opuestos del globo.

Los satélites repiten sus transmisiones cada doce segundos, operando en frecuencias de 1 660 MHz. a 1 540 MHz., que simplifican las antenas y gozan de buenas condiciones de propagación. Con frecuencias más altas se precisan antenas direccionales y equipo de navegación más costoso; con frecuencias más ba-

jas influyen desfavorablemente en la precisión, tanto la absorción ionosférica como la variación en la refracción.

Si el navegante precisa fijar su posición tridimensionalmente (aviones), o bien precisa conocer su velocidad, se necesita un mínimo de cuatro satélites; cuando sólo es necesario el conocimiento de la longitud y de la latitud son suficientes tres satélites. Sólo puede operarse cuando los satélites se encuentran sobre el horizonte, y por ello, la cobertura mundial los exi-

“3 Y”. Cada conjunto en Y consiste en un satélite estacionario sincrónico ecuatorial más tres satélites que le rodean en órbitas elípticas, de 30° de inclinación y veinticuatro horas de duración.

La principal característica de la constelación en Y es el aparente movimiento de los tres satélites alrededor del estacionario ecuatorial, en una trayectoria circular próxima. Dada la naturaleza de las órbitas elípticas, la mejor cobertura se obtiene en el hemisferio Norte; la peor en las zonas polares. Este inconveniente, no obstante, puede remediarse con uno o dos satélites en órbita polar, o bien con otras constelaciones semejantes en órbitas inclinadas en relación con el ecuador.

El equipo receptor está compuesto de una antena, que puede ser de tres tipos y de un procesador de datos transmitidos por el satélite. La información que da éste —output— puede pasar directamente a un computador que calcula la posición, o bien ponerse a la vista para acometer el algoritmo correspondiente con el solo auxilio de una máquina de calcular manual.

El número de estaciones de seguimiento que se necesitan oscila entre 3 y 11, según las constelaciones. El número mínimo corresponde a una cobertura limitada proporcionada por un grupo de cuatro satélites en Y. Hay dos tipos de estaciones seguidoras: el primero corresponde a las remotas que reciben las señales del satélite con vistas a la determinación de las diferencias de alcances; estas estaciones son pequeñas, con antenas sencillas, y vienen a ser unos usuarios ubicados en sitios exactamente localizados y controlados, lo que permite conocer la diferencia que resulta en los alcances, información que es enviada a la estación maestra o central, vía satélite, para la práctica de las oportunas correcciones (fig. 31); el segundo corresponde a las citadas centrales o maestras, que pueden coincidir con una de seguimiento remoto, y cuyo objeto es proporcionar al satélite los datos ya referidos, con una antelación de una o dos horas; otras funciones de la estación maestra son recibir datos telemétricos y transmitir cada tres o cuatro meses determinados controles de los satélites. Según las constelaciones se necesitan de una a tres estaciones maestras, dotadas de antenas de disco de 30 pies de diámetro.

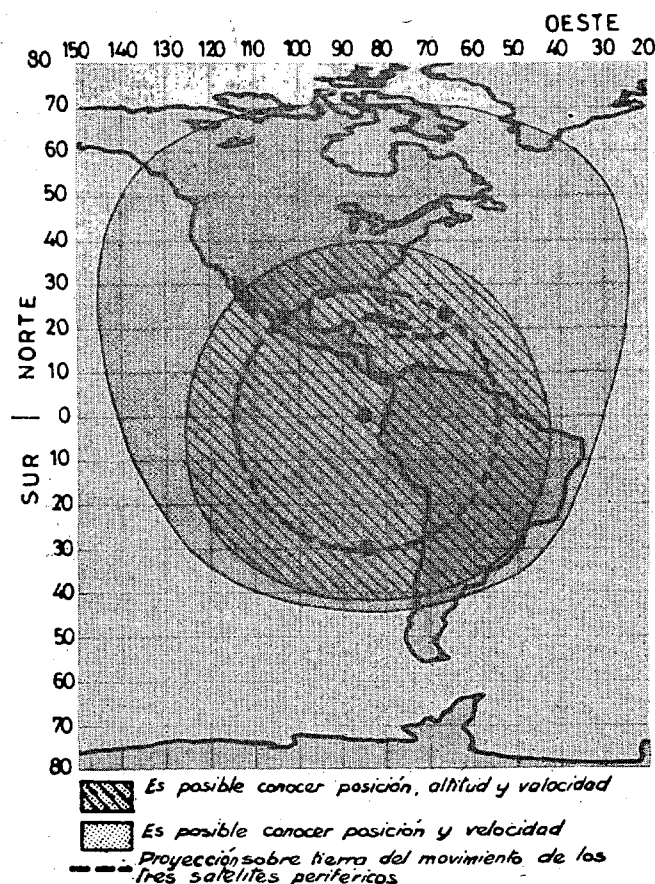


Fig. 33. — Cobertura de cuatro satélites con órbita Y.

ge en número de 12 a 18, dependiendo este número del objeto que se persiga.

La constelación de cuatro satélites en forma de Y (fig. 33) da excelentes resultados, pues los ángulos de intersección de las superficies hiperbólicas se acercan a los 90°, lo que disminuye la imprecisión geométrica de la solución. Esta constelación requiere 12 satélites para una cobertura mundial, y se denomina

El sistema Navstar permite, pues, una cobertura mundial continua y utilizable con cualquier clase de tiempo meteorológico, sin estar sujeto a variaciones diurnas o crepusculares. La posición puede determinarse con una precisión absoluta de 60 pies (18 m.) y la velocidad con la de 0,2 pies/segundo. Cada doce segundos puede fijarse una posición.

4.10. Sistemas de radar.

4.10.1. Principio general.

Un radiodetector o "radar" —contracción de la expresión inglesa "radio direction and ranging", dirección y distancia por radio— está compuesto esencialmente por:

a) Un emisor de impulsos de muy alta frecuencia producidos por un generador especial llamado "magnetron", y no por un triodo mon-

tor R , en el que aparecen los impulsos emitidos y los impulsos recibidos, por estar sincronizados los impulsos emitidos por el transmisor E con el barrido de recogida.

Los impulsos emitidos por E están constituidos por trenes de onda de muy alta frecuencia F y de corta duración, transmitidos con cierta frecuencia de repetición f . Por ejemplo, un determinado radar puede tener una frecuencia F próxima a los 10 000 MHz. (longitud de onda de 3 cm.), una duración de impulsos de $t = 0,25 \mu s$ y una frecuencia de repetición de $f = 1\,000$ Hz.

Cuando un impulso incide sobre un objetivo, es decir, en un cuerpo metálico o, en general, en un cuerpo de características electromagnéticas (conductividad, constante dieléctrica, permeabilidad) diferentes a las del medio en que se propaga, como sucede, por ejemplo, con un barco, una roca, un dique, etc., este ob-

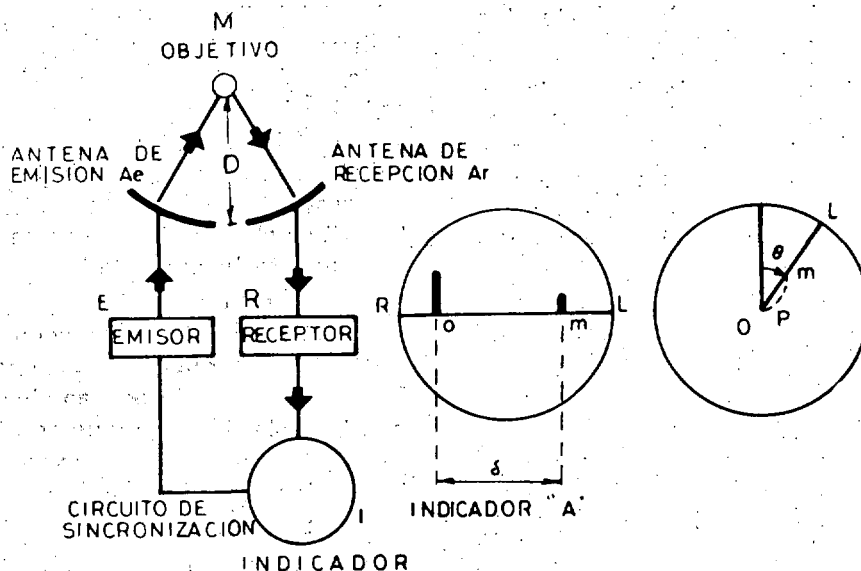


Fig. 34. — Esquema de principio del radar.

tado como oscilador en las emisoras de onda larga. Este emisor alimenta una antena de emisión Ae (fig. 34), constituida, por ejemplo, por un reflector parabólico y una fuente de ondas electromagnéticas situada en el foco del reflector.

b) Un receptor de impulsos R , alimentado por una antena de recepción Ar del mismo modo que la antena Ae .

c) Un indicador constituido por un osciloscopio catódico, conectado a la salida del recep-

jetivo actúa a su vez como un emisor de impulsos, y lanza, en todas direcciones, impulsos con ondas de frecuencia F igual a las de las ondas incidentes, y de duración próxima a t . Estos impulsos de retorno son análogos a los ecos.

Si la antena receptora Ar se encuentra convenientemente orientada, cierta parte de la potencia Pr radiada por el objetivo se recoge en la misma y se transmite al receptor que amplifica las señales recibidas y las detecta. Esta

señal detectada se llama señal de videofrecuencia y se envía al indicador.

En la pantalla del indicador A, si el objetivo *M* es único y puntual, aparece una especie de trazo o cresta *o* que representa el impulso emitido, y otra cresta *m* que representa el impulso del eco; todo ello sobre un diámetro donde aparece la señal conforme al barrido.

La separación δ entre los dos trazos sobre la pantalla es proporcional a la distancia *D* que separa el objetivo *M* del radar.

Las condiciones de alcance, poder de selección, tipo de objetivos detectables, insensibilidad a las condiciones meteorológicas y, en fin, las diversas características de un equipo de radar, varían mucho de unos tipos a otros; pero en la práctica los alcances propios de un radar para la navegación son de 30 millas náuticas para un objetivo constituido por un buque de 100 m. de eslora y de 3 millas náuticas para una simple boya.

Los radares para la navegación adoptan los siguientes dispositivos particulares:

a) La antena de misión y la recepción se confunden en una sola, con un dispositivo de conmutación que permite, por una parte, dirigir la energía hacia la antena al emitir un impulso, evitando así que una parte de esta energía se derive al receptor, que sería averiado, y que impida, por otra parte, el paso de energía al emisor, al recibir el impulso del eco, pues de lo contrario, se reduciría la sensibilidad del radar.

b) La antena está animada de un movimiento de rotación alrededor de un eje vertical de forma que barre todo el horizonte recibiendo el eco de cuantos objetivos se hallan alrededor del buque.

La abertura del haz emitido por la antena tiene una divergencia horizontal del orden de los 2° y una divergencia vertical del orden de los 15°. La velocidad de rotación es de 10 a 30 vueltas por minuto, si bien existen equipos excepcionales que alcanzan las 80 vueltas por minuto.

De este modo, un objetivo situado dentro del radio de acción del radar recibe, si tiene suficientes dimensiones, numerosos impulsos cuando el haz del emisor se encuentra dirigido hacia él.

Se emplean dos tipos de frecuencias: las próximas a 3 000 MHz., con longitud de onda de unos 10 cm., y las próximas a 10 000 MHz.,

con longitud de onda de unos 3 cm., si bien se tiende a la adopción de esta última porque exige a bordo antenas menos voluminosas.

c) El indicador es de tipo panorámico, es decir, que produce un doble barrido: la línea de barrido rápido *OL* del indicador A (fig. 34) se sustituye por una línea que tiene su origen *O* en el centro de la pantalla y que está animada de un movimiento de giro sincronizado con la rotación de la antena, de tal modo que produce un doble barrido en coordenadas polares. El impulso del eco que procede del obstáculo puntual *M*, en vez de traducirse en la pantalla en una especie de trazo o cresta, como en el indicador más arriba referido, se manifiesta por medio de un punto o de una mancha luminosa.

Los ecos de los diferentes objetivos forman sobre la pantalla un conjunto de manchas luminosas, cuyas coordenadas polares se corresponden con las de los puntos *M* del espacio y el conjunto de estas manchas forma, sobre la pantalla del indicador, cierta suerte de carta groseramente aproximada, llamada imagen panorámica, de los objetivos u obstáculos situados alrededor del barco, así como de la costa o litoral.

Un radar de navegación puede dar diferentes escalas sobre una pantalla, limitada cada una a sus respectivos alcances de 0,5; 1; 2,5; 10; 20 y 50 millas; el paso de una a otra escala se realiza con un simple conmutador.

d) El receptor está dotado de un dispositivo especial que reduce los ecos parásitos procedentes de las olas, llamados retornos del mar. Este eco producido por las olas es más sensible con la onda de 3 cm. que con la de 10 cm.

La precisión que corresponde a los radares habituales montados en los buques es la siguiente:

— Precisión en dirección	1°
— Precisión en distancia	de $\pm 1\%$ a $\pm 3\%$
— Discriminación en dirección . . .	de 1° a 2°
— Discriminación en distancia . . .	de 7,50 m. a 90 m. según las escalas

La potencia de punta está comprendida entre 7 y 60 kW. La potencia absorbida en la red eléctrica es de unos 2 kW. para los radares clásicos y de 0,5 kW. para los radares que utilizan semiconductores.

Estos aparatos facilitan considerablemente la navegación con bruma o niebla y permiten al navegante no sólo aperebirse de la presencia de cualquier otro barco u obstáculo existente en

su proximidad, sino también conocer las demoras y distancias de puntos fijos característicos de las riberas de los puertos o de la costa en general. Son aparatos ya generalmente extendidos en todos los barcos de alguna importancia.

4.10.2. Balizas rádar.

Cuando las costas son monótonas la imagen panorámica que aparece sobre la pantalla del indicador no ofrece ningún punto característico que permita fijar demoras y distancias. Por ello, se han ideado diversos dispositivos —todos ellos realmente aún en fase experimental— para localizar “ecos”, cuya intensidad contraste con la correspondiente al natural y conseguir así unas referencias en la imagen. Estos dispositivos vienen a ser radiofaros que emiten continuamente

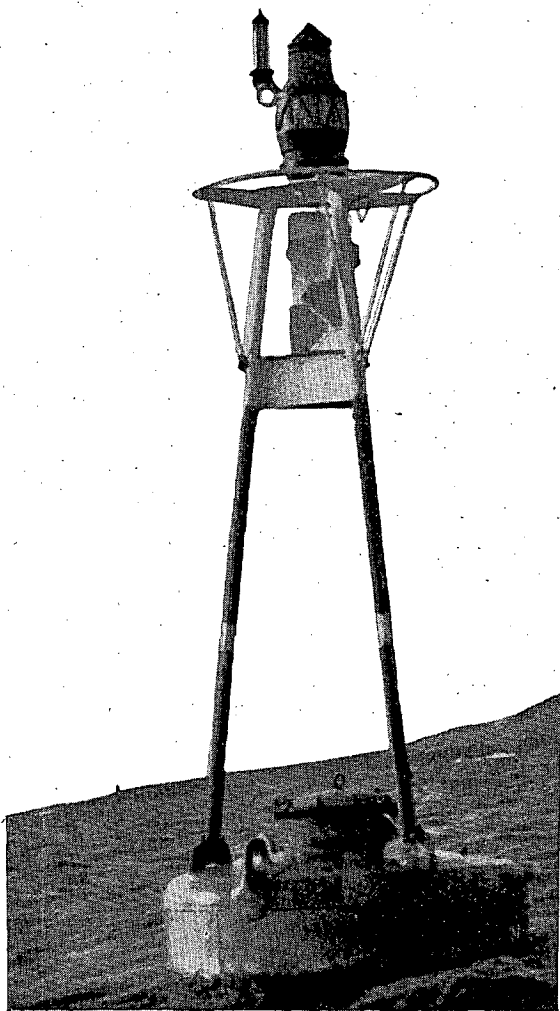


Fig. 35. —Boya con rádar pasivo.

ondas de 10 cm. y de 3 cm. de longitud, o bien; equipos que responden con estas ondas o con ondas métricas cuando son excitados por las señales emitidas por los radares.

Hasta la fecha ninguno de estos dispositivos —reflectores activos— ha podido generalizarse ni ser standarizado con arreglo a los aparatos de rádar que van instalados a bordo de los buques. Los Servicios de Señales Marítimas de España no tienen montado ninguno de estos sistemas.

En cambio se encuentran muy generalizados —y en España se han montado en gran número— los reflectores pasivos constituidos por diedros o triedros rigurosamente tri-rectángulos (figura 35) que reflejan hacia la antena emisora-receptora una notable proporción de la energía que en ellos incide, produciéndose esta reflexión precisamente en la misma dirección en que tiene lugar la incidencia (propiedad geométrica de los triedros tri-rectangulares) de las ondas de los impulsos. Es frecuente dotar a las boyas de estos reflectores, pues así como una boya sin reflector sólo se detecta a unas tres millas, provista de éste puede ya detectarse a unas seis millas marítimas.

4.10.3. Rádar para vigilancia y control del tráfico de puertos.

En algunos puertos, rías o estuarios de intenso tráfico se han instalado estaciones de rádar en puntos localizados, atendidas por funcionarios del puerto o por los prácticos y con los siguientes cometidos:

- a) Conducir la embarcación del práctico y los remolcadores hasta el buque que ha llegado.
- b) Conducir el barco, a bordo del cual ha subido el práctico, hasta la entrada de la dársena donde se ha designado el atraque.
- c) Dar informes periódicos relativos a las circunstancias atmosféricas y a los buques que se encuentran navegando por el canal o estuario.
- d) Subsidiariamente vigilar la posición de todas las balizas y señales o informar en relación con las que desaparecen o se han movido.

Para ello es indispensable que el buque o práctico estén provistos de un radioteléfono para comunicar con la estación de rádar. El sistema no permite la identificación de un buque determinado entre otros; sin embargo, la experiencia

demuestra que la práctica que llegan a adquirir los operadores a la larga, les permite suplir la insuficiencia que ofrece la instalación.

Cuando el canal es sinuoso, la niebla es frecuente, o el tráfico es intenso, se hace necesario el establecimiento de una cadena de estaciones de radar; así sucede en los puertos de Rotterdam, Hamburgo, Bremen, El Havre, Rouen y en los estuarios del Elba, del Wesser y del Ems (figura 36) que son muy estrechos y tienen una longitud superior a los 100 Km. con peligrosos bancos de arena.

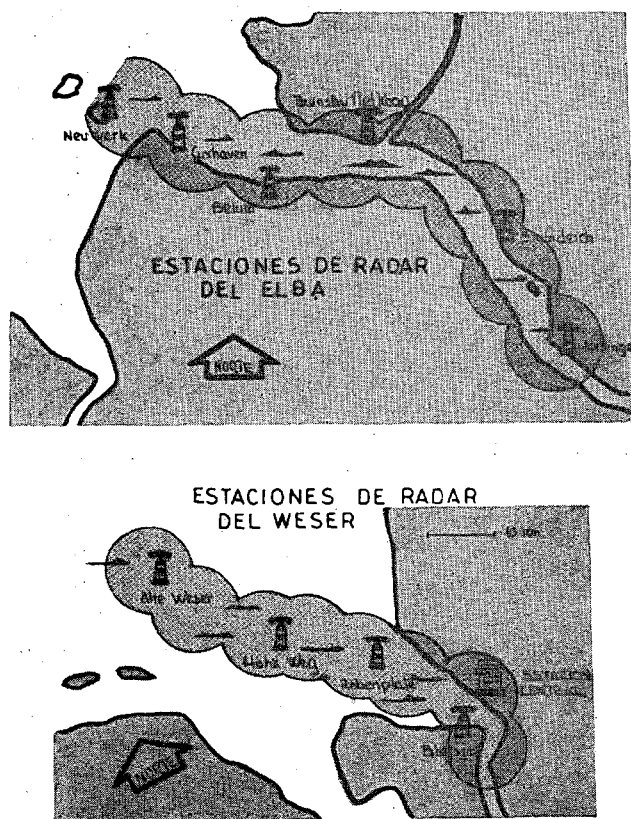


Fig. 36. — Estaciones de radar en los estuarios del Elba y del Wesser.

En el estuario del Elba se montaron seis estaciones, aprovechando, en parte, las torres de los faros; de un modo análogo, en el Wesser, la cadena tiene cuatro estaciones. Las imágenes que recogen las estaciones secundarias son transmitidas por radio a las principales o centrales.

La relativa estrechez de los canales de navegación hizo necesario en estos sitios que los

radares tuvieran un alto poder de discriminación siendo posible distinguir, en la pantalla del receptor, objetivos distantes solamente 15 metros entre sí.

Este poder de discriminación de los objetivos viene dado en el sentido radial por la duración del impulso y en el sentido tangencial por la amplitud del haz de la antena. Por estas razones se eligió una longitud de impulsos de una centésima de segundo y una amplitud de haz de antena de $\pm 0,3^\circ$ medidos en los puntos de la característica de antena correspondiente a 3 dB.

En los puertos con canales o zonas de navegación de escasa anchura, el poder de discriminación ha de ser aún mayor, del orden de dos veces, y por ello los nuevos equipos de radar tienen la posibilidad de elegir una duración del impulso de 0,01 o de 0,02 segundos; en cambio, para alcances grandes se elige una duración de 0,005 segundos. La amplitud del haz de antena, medida en los puntos correspondientes a 3 dB., debe ser de $\pm 0,18^\circ$ o bien de $\pm 0,125^\circ$ con antena multiplicativa.

La precisión de la medida de las distancias es de 20 m. $\pm 0,25$ por ciento de la distancia considerada, y la precisión en el azimut es del orden de $\pm 0,4^\circ$; esta precisión del azimut sólo se alcanza si la rotación de la antena se realiza con error menor del $\pm 1^\circ$.

Las antenas se sitúan sobre la cúpula de los faros y por ello deben ser objeto de proyecto especial por exigir ligereza y mínima exposición al viento. Los equipos de radar y de transmisión por radio de la información se proyectan automáticamente y con central remota; son de tamaño reducido y capaces de resistir la acción del ambiente marino.

Las emisoras operan con frecuencias comprendidas entre 8 800 y 9 250 MHz. y están dotadas de un magnetrón con potencia de punta de 30 kW.

Las antenas de amplitud de haz de $\pm 0,18^\circ$ tienen una envergadura de 6,3 m. y un peso de unos 160 Kg. y están envueltas en una funda de teflan aerodinámica tan perfecta que sólo es necesario un motor eléctrico de 100 a 200 watios para hacerlas girar a una velocidad de 20 revoluciones por minuto.

Las transmisiones de imagen por radio de las estaciones esclavas a las maestras se hacen

con frecuencias de 7 000 MHz., sin reducir la calidad, la discriminación o distinción ni la precisión.

5. Comparación de los distintos sistemas radioeléctricos para ayuda a la navegación,

De cuanto se lleva expuesto resulta que las diversas señales marítimas radioeléctricas hoy en uso o desarrollo pueden clasificarse en tres grandes grupos, con arreglo a su cobertura o alcance:

a) Para navegación en alta mar.—Exigen una precisión no muy grande y corresponden a sistemas cuya implantación escapa a la Administración de un solo país. Se establecen por naciones de gran poder económico, sin que en general sean ajenos a su establecimiento los intereses militares, cuando menos al principio de su instalación. Entre los sistemas de este tipo encontramos los Omega, Navstar, NNSS, Dectra que pueden llegar a ofrecer una cobertura mundial.

b) Para navegación costera o de recalada a puerto.—Exigen una relativa precisión y corresponden a sistemas cuya implantación puede acometerse por las Administraciones propias de cada país, ya que puede beneficiarse la navegación de cabotaje de la propia nación. Es, sin embargo, obligado desde un punto de vista lógico, que, cuando menos, en extensas áreas geográficas, donde la navegación alcanza cierta densidad, las diversas naciones vecinas establezcan sistemas iguales para obtener áreas de cobertura continua y aprovechar y simplificar así el instrumental a bordo.

En este grupo se incluyen los clásicos radiofaros circulares, que corresponden a una técnica de navegación similar a la basada en el uso de los faros (toma de demoras) y la mayor parte de los sistemas hiperbólicos, con los faros y radiofaros para las proximidades de las costas y los sistemas hiperbólicos en las zonas más alejadas. Pueden incluirse en este grupo los sistemas Decca, Consol y Loran.

c) Para navegación en estuarios y puertos. Exige gran precisión, aunque corto alcance; su implantación corresponde a las Administraciones nacionales, pues estas señales sirven a tráficos locales, y no tienen más relación entre sí que la derivada de posibles convenios in-

ternacionales en cuanto a las características de las instalaciones o de la necesidad de tipificar los instrumentales o receptores a bordo de los buques usuarios. Se encuentran en este grupo los diversos sistemas de rádar activo o pasivo, el Toran y las pequeñas radiobalizas.

No se ha citado el sistema de navegación inercial porque, al basarse en el girocompás, no es, propiamente, un sistema radioeléctrico.

Las características, ventajas e inconvenientes de los principales sistemas radioeléctricos tratados expresamente en el Symposium de Sandefjord y de los que se hecho especial mención en los epígrafes anteriores, se sintetizan en el cuadro que se expone en la figura 38.

En el cuadro o tabla se han consignado solamente los datos referentes a los sistemas que sucintamente se han descrito anteriormente, tratados en su mayoría en el Symposium. Como gran parte de los datos provienen del informe del Comité Rustad, tenido en cuenta en el Symposium, y este informe contiene también datos comparativos de sistemas móviles y de sistemas varios, aun cuando parte de éstos sólo se utilizan para la navegación aérea o para trabajos hidrográficos, se ha creído interesante su reseña para completar una visión general del estado actual de los dispositivos o sistemas que ayudan o pueden ayudar a la navegación marítima (figs. 37 y 39).

6. Conclusión

Cuando hace más de un siglo los países civilizados implantaron los faros de un modo sistemático para ayudar a la navegación, todo el peso del sistema recaía sobre las instalaciones en tierra a cargo de los servicios de señalización marítima (en España afectos a la Dirección General de Puertos y Señales Marítimas del Ministerio de Obras Públicas), no exigiendo por parte del usuario más que unos modestos taxímetros para tomar las demoras, sin requerir preparación especial en el piloto.

Al correr el primer cuarto del siglo XX comienza a generalizarse el uso de radiofaros circulares, que ya no pueden utilizarse con tanta sencillez como los faros, pues es condición indispensable disponer de un radiogoniómetro. Con todo, la técnica de situación es idéntica a la basada en el uso de faros, y el receptor es

Sistema	Frecuencia	Línea de posición	Principio de comparación de fases	Alcance en m.n.	Precisión	Observaciones
Two Range Decca.	100 KHz.	Círculos.	Comparación de fases.	250-400	10-15 m. a 100 millas de alcance.	Equipo relativamente pesado.
E.P.I. (Electronic Position Indicator).	2 MHz.	Círculos.	Tiempo de impulsos.	250-500	20-60 m.	Gran amplitud de banda. Equipo relativamente pesado. Alcance mínimo, 15 m.n.
Lorac (U.S.A.). Raydist (U.S.A.). Rana (Francia). Rádar (Canadá).	1,6-5 MHz.	Hipérbolas o círculos según se trate.	Comparación de fases. La identificación del canal, con frecuencias múltiples, es opcional.	100	10-15 a 100 m.n.	—
HI-FIX (Decca).	2 MHz.	Hipérbolas o círculos.	Comparación de fases. La identificación de canal es opcional.	(Con extra-amplificador 100.) 30	2-10 m.	—
Shoran (U.S.A.). Hiran (U.S.A.). Derveaux (Francia).	300 MHz.	Círculos.	Tiempo de impulsos.	Más de 50 (línea del horizonte).	2-15 m.	Sistema en UHF. Alcance limitado por el horizonte.
Tellurometer.	3 000 MHz.	(Para mediciones geodésicas. Medida de distancias.)	Comparación de fases.	Hasta la línea del horizonte.	20 cm. a 35 m.n.	Equipo portátil con pequeñas antenas direccionales.
Hydrodist.	3 000 MHz.	Círculos.	Comparación de fases.	Hasta la línea del horizonte.	1 m.	Equipo similar al del Tellurometer.

Fig. 37. — Cuadro de sistemas móviles.

Sistema	Radiofaros circulares	Radiofaros direccionales	Loran A	Decca	Loran C	Consol.	Dectra.	Omega	Navstar	NNSS	Rádar	Toran
Líneas de posición.	Líneas rectas (radios).	Línea recta fija.	Hipérbolas.	Hipérbolas.	Hipérbolas.	Rectas (a partir de 25 m.n. est.).	Hipérbolas.	Hipérbolas.	Intersección de hiperboloides.	Intersección de hiperboloides.	Rectas y círculos.	Hipérbolas.
Frecuencia.	200-400 KHz. 1 600-300 MHz.	200-400 KHz.	2 MHz.	70-130 KHz.	100 KHz.	200-400 KHz.	80 KHz.	10,2-13,6 KHz.	1 540-1 660 MHz.	150-400 MHz.	3 000-10 000 MHz.	1,4-2 MHz.
Potencia transmisión requerida.	Más de 1 kW.	Menos de 1 kW.	160-1 000 kW. (cresta del impulso).	0,2 kW.	250 kW. (cresta del impulso).	2 kW.	12 kW.	10 kW.	10-50 W. (satélite).	10-50 W. (satélite).	0,5-2 kW.	—
Tipo de emisión	Continuo.	Continuo.	Impulsos.	Continuo.	Impulsos.	Continuo (cifrada).	Continuo.	Continuo.	Continuo.	Discontinuo.	Impulsos.	Continuo.
Principio de medida.	Antena direccional.	Simple aparato radio.	Tiempo llegada impulso.	Comparación de fases.	Tiempo llegada impulso y comparación fases.	Radiación giratoria de una clave.	Comparación de fases.	Comparación de fases.	Efecto Doppler.	Efecto Doppler.	Diferencia recorrido impulsos.	Comparación de fases.
Forma de lectura. Presentación.	Audición de señal aplicando corrección. Trazado de las demoras en la carta.	Audición de las dos señales.	Comparador de impulsos manual. Manifestados por contador.	Reloj o esfera automático de 2 ó 3 líneas de posición. Puede adoptarse un trazador automático.	Un contador automático define 2 líneas de posición.	Simple cómputo de puntos y rayas. Aparato de radio normal.	Equipo similar al Decca (decómetros) y trazado automático.	Computador digital y/o trazador automático.	Receptor con procesador de datos para la información output, combinado o no, con un computador digital.	Computador digital combinado o no con centro de cálculo. La posición es un output.	Pantalla con retícula circular graduada.	Receptor para dos o tres líneas de posición.
Tiempo necesario para fijar posición.	5-10 minutos.	—	1-2 minutos.	30 seg. o inmediato con el trazador.	30 segundos.	5-10 minutos.	Inmediato.	30 seg. o inmediato con el trazador.	—	—	1-2 minutos.	0,5-5 minutos.
Alcance.	Normal: 50 m.n. Buenas condiciones: 100-200 m.n.	30 m.n.	700 m.n. de día. 1 400 m.n. de noche.	250 m.n.	1 200 m.n.	1 200 m.n.	2 500 m.n.	5 000 m.n. (cobertura mundial).	Cobertura mundial.	Cobertura mundial.	50 m.n.	3-50 m.n.
Precisión media	5 m.n. en alcance de 50 m.n.	1,5 % en ancho.	2 m.n.	0,25 m.n.	0,125 m.n.	4 m.n.	5 m.n.	1-3 m.n.	20 m. (máx.)	0,1 m.n. equip. precisión. 0,5 m.n. Stan.	1-3 %	5 metros.
Ventajas.	Muy útiles para recalada. Establecimientos sencillos en tierra.	Gran precisión en rutas fijas.	La onda de cielo tiene escasa influencia en la precisión. Muchos transmisores en igual frecuencia.	Alta precisión en buenas condiciones. Equipo automático.	Gran alcance y a la vez gran precisión.	No precisa ningún receptor especial a bordo.	En fase experimental.	Permite una cobertura mundial con pocas estaciones.	Relativo bajo costo en relación con la cobertura. Antenas simples. Pequeños errores en la propagación y en la geometría del fundamento.	Permite una cobertura mundial.	Permite conocer gráficamente los obstáculos de las inmediaciones del buque.	Estación transmisora de material sencillo.
Inconvenientes.	Numerosas causas de error. Perturbación en las ondas de cielo.	Muy expuesto a errores por la desviación de las ondas.	Amplia banda de ondas con interferencias de los transmisores.	Importantes variaciones diurnas de la precisión. Alcance limitado por el efecto de la onda de cielo.	Gran amplitud de banda. Equipo complicado.	Los sectores angulares próximos a la base no son utilizables (unos 60 grados).	En fase experimental.	Exige una antena transmisora de gran tamaño.	No está asegurado legalmente el mantenimiento de los satélites. Complejidad en los receptores.	Igual que el Navstar.	Deformación de imágenes. Pérdida de distinción por reflexiones en oleaje.	Empleo de altas bandas de frecuencias.
Costo medio.	Estación: 2 500 \$. Equipo receptor: 600 \$.	Estación: 2 500 \$.	Grupo receptor: 1 400 \$.	Est.: 1 200 000 \$. Equip. recep. (alquiler anual): 450 \$.	Equipo receptor: 9 500 \$.	Est.: 340 000 \$. Equipo receptor: 300 \$.	Igual a Decca en el receptor.	Equip. Rec. 4 000 a 14 000 \$.	Equipo: 4 800 a 9 600 dólares.	Equip. rec. 50 000 precisión; 20 000 stand.	Equipo receptor: 8 500 \$.	Se carece de datos fidedignos.
Observaciones.	Hay legislación que los exige en barcos de más de 100 t.r.b.	—	Hay 79 estaciones cubriendo 30 % hemisferio norte.	Exige cartas especiales.	Los receptores son muy costosos. 30 estaciones cubriendo 35 % H.N.	Exige cartas especiales.	En fase de pruebas para la navegación aérea.	En vías de adopción patrocinado por EE.UU. para cobertura total.	—	El equipo receptor de gran precisión tiene dos canales, el standard uno sólo.	El pasivo sólo exige receptores en tierra.	Precisión instrumental del 1 % del canal hiperbólico.
Hay en España.	Sí (M.O.P.).	Sí (M.O.P.).	Sí.	Sí (M.O.P.).	No.	Sí.	No.	No.	No.	No.	Sí.	No.

Fig. 38. — Cuadro de comparación esquemática de los sistemas tratados.

Sistema	Frecuencia	Líneas de posición	Principio de medida	Presentación de la lectura	Alcance en m.n.	Precisión mejor de	Observaciones
LF, radio alineación (baliza).	200-500 KHz.	Cuatro radios (orientaciones).	El transmisor emite en cuatro sectores agudamente diferenciados.	Radiorreceptor normal y distintivo característico.	1 000	—	También usado por los barcos. No recomendable por los problemas derivados de la frecuencia.
Navaglobe. Navarho.	100 KHz.	Línea recta y círculo definido por una estación.	Angulo: relación de amplitud, de tres impulsos. Distancia: comparación de fases.	Indicación automática de las demoras y esfera dando la distancia.	3 000	10 m.n.	Poco eficaz.
VOR (VHF Omni Range).	100 MHz.	Líneas rectas (radios).	Patrón de radiación giratorio.	Indicación automática de la demora.	120 a 6 000 pies de altura.	2 grados.	El radiofaro VOR/DME es standard en la OACI. Muy usado en aviación. El DME está incorporado al TACAN (VORTAC).
DME (DMET) Distance Measuring Equipment.	1 000 MHz.	Círculos (distancia).	Tiempo de impulsos.	Esfera graduada.	100 a 10 000 pies de altura.	200 m.	
TACAN (Tactical Air Navigation).	1 000 MHz.	Círculo y radio.	Patrón de radiación giratorio y tiempo de impulso.	Indicador de demora y esfera.	100 a 10 000 pies de altura.	Demora: 0,3 grados. Distancia: 200 m.	Standard en la OTAN.
Doppler (Rádar).	10 000 MHz.	—	Movimiento relativo de la tierra.	Trazador de ruta.	—	Aprox. el 1 % de la distancia de vuelo.	Totalmente independiente de estaciones exteriores a la nave.
Navegación inercial.	(Sistema mecánico.)	Movimiento en el espacio o en el plano.	—	Trazador de ruta.	—	—	Sistema independiente (particularmente para submarinos, misiles, etcétera).

Fig. 39. — Cuadro de sistemas varios.

sencillo y no es costoso; la preparación de los pilotos para su utilización es simple y rápida. Los servicios en tierra encargados de los faros también se encargan de estos radiofaros estableciendo las estaciones correspondientes con arreglo a convenios internacionales. Tanto las instalaciones en tierra como los receptores en los buques se generalizan rápidamente.

La segunda guerra mundial introduce los sistemas electrónicos que ya precisan de instrumentos complejos a bordo y, eventualmente, personal especialmente preparado. Las estaciones de tierra se complican asimismo. La navegación aérea, por otra parte, alcanza gran relevancia y se basa fundamentalmente en ayudas de este tipo, al contrario de la navegación marítima, más lenta, que sigue haciendo gran uso de los clásicos faros y de los radiofaros; las condiciones meteorológicas, que limitan grandemente las posibilidades de los sistemas clásicos, y las crecientes necesidades de cobertura, así como la automatización, motivan, no obstante, que los sistemas hiperbólicos se introduzcan de cada vez más en la navegación marítima. La duplicidad de usuarios —aviones y barcos— hace que las ayudas se implanten tanto por los Servicios de señalización marítima como por los de ayuda a la navegación aérea, y ello unido a la diversidad de sistemas elegibles y a la ausencia o falta de coordinación internacional de recomendaciones —OACI para el aire y IALA para el mar— ocasiona cierta disparidad y duplicidad en el montaje de estaciones y sistemas, lo que repercute desfavorablemente en los constructores de buques y en los armadores, pues éstos, por razones económicas y prácticas, no pueden montar toda clase de receptores. Esta incertidumbre de armadores y constructores influye a su vez en los Servicios de señalización marítima, pues siendo costosa la instalación de las estaciones queda frenado su establecimiento si el número de usuarios es reducido. Se produce así un círculo vicioso, que para romperse precisa la imposición de un sistema por sus propias cualidades técnicas y ajeno a imposiciones procedentes de susceptibilidades nacionales.

El lanzamiento de satélites artificiales a partir de 1957 ha introducido nuevos sistemas ya de posibles coberturas mundiales. Si los sistemas hiperbólicos representaron una sustancial variación del clásico proceso de fijación de la posición por medio de demoras de puntos fijos,

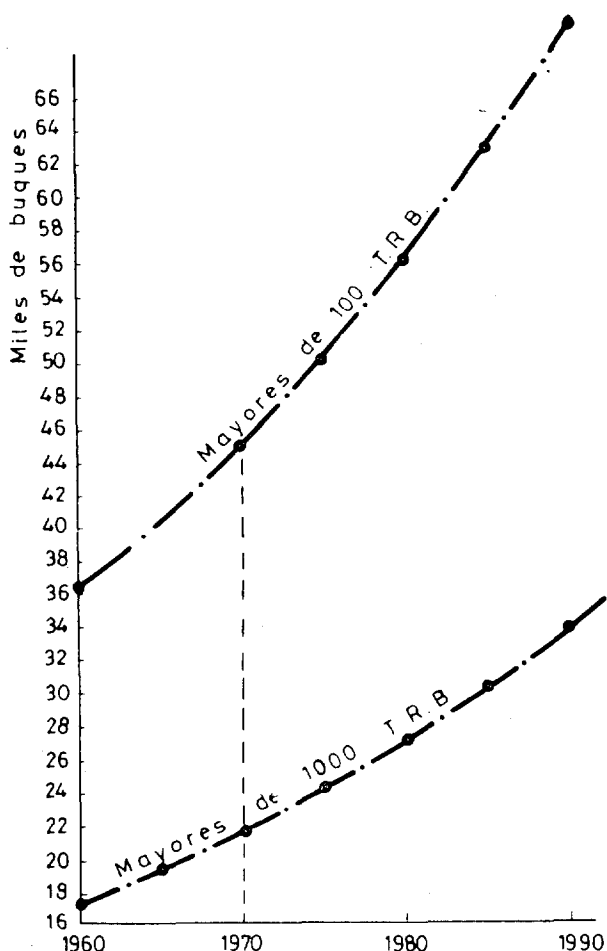


Fig. 40. — Evolución de la flota mercante en el mundo.

con estos nuevos sistemas se aumenta la complejidad del proceso, realizado por computadores electrónicos, hasta el punto de que la intervención del hombre sólo es precisa en el momento de suministrar los datos básicos del proceso —“input”—, pues electrónicamente se resuelven los problemas geométricos o astronómicos implicados apareciendo los resultados como “output” de los computadores. Los equipos receptores se complican más aún, por ello el personal que los maneja debe ser expresamente especializado, sobre todo si, según la clase de computadores, debe tener una intervención en el algoritmo. Las estaciones de tierra no son ya incumbencia de un determinado Servicio ni de una determinada nación, y en la práctica —con las escasas noticias procedentes de la URSS— puede decirse que los incipientes sistemas basados en los satélites, ac-

tualmente con aplicación civil, están todos patrocinados por los Estados Unidos.

El número de usuarios potenciales que existe en el mundo y la previsión de su aumento para un futuro próximo (figs. 40 y 41), así como las zonas de más frecuente navegación y la clase de barcos han de influir sin duda en la evolución, depuración, selección y ulterior generalización de determinados sistemas, proceso aún en ciernes. El 60 por 100 de la flota mer-

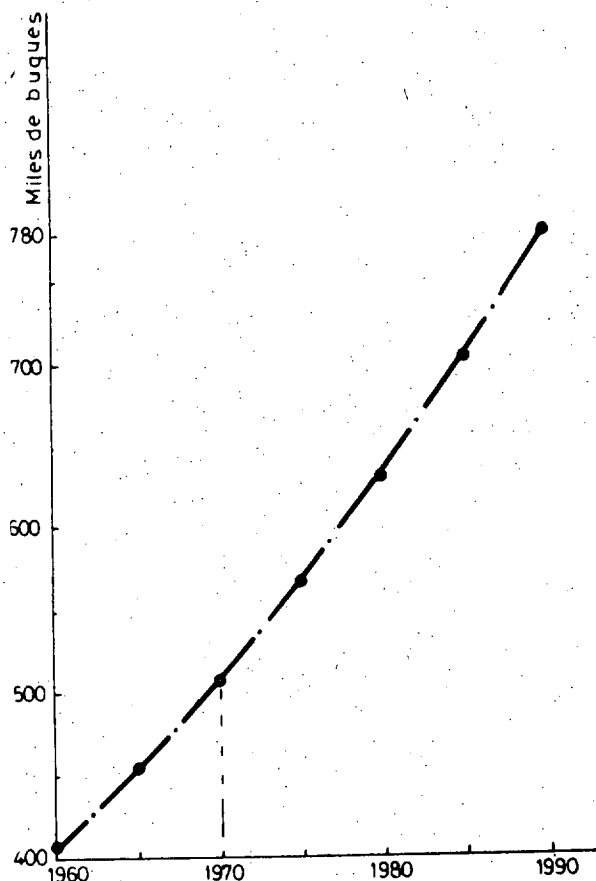


Fig. 41.—Evolución de la flota pesquera en el mundo.

cante con barcos de tonelaje superior a las 1 000 Tm. opera en el Atlántico; el 35 por 100, en el Pacífico, y el 5 por 100, en los otros mares y océanos. El 40 por 100 de la misma flota con barcos de tonelaje comprendido entre 100 y 1 000 Tm. opera en el Atlántico; el 30 por 100, en el Pacífico, y el 30 por 100, en el resto. La mayor parte del tráfico del Atlántico se encuen-

tra en determinadas zonas del hemisferio Norte, con especial concurrencia en las áreas de confluencia de las diversas rutas, en cuyo conjunto han llegado a encontrarse a la vez hasta 22 000 barcos.

Parece, pues, en suma, que la selección no alcanzará a un solo sistema, sino cuando menos a dos: uno, de cobertura no mundial, pero de relativa precisión y sencillez para aplicar en las zonas de densa navegación, y otro, de cobertura mundial para aplicar en todo lugar y, en especial, en pleno océano, donde no alcan- cen los otros sistemas.

BIBLIOGRAFIA

- Bjorn A. Rorholt: "Hyperbolic systems general presentation". 1969.
- B. Burgess & D. Walker: "Omega. Errors due to propagation". 1969.
- Cecil C Stout: "Omega. Implementation plans and receiver development". 1969.
- C. A. Gloersen: "Decca. New concepts for transmitter stations". 1969.
- A. G. Weider: "Consol. New concepts for transmitter stations". 1969.
- Major Erik Tandberg: "Navigation Satellites. A general survey". 1969.
- R. G. Bland, F. D. Mac Kenzie: "A satellite system for marine navigation". 1969.
- J. Chernof: "The navy navigation satellite system commercial utilization status report". 1969.
- Arthur Garabedian: "Navstar. A worldwide satellite system for precision navigation". 1969.
- H. Roneberg, Profesional Engineer: "Navigation equipment users' attitudes and interest". 1969.
- Dr. O. Hilke: "Harbour navigation system". 1969.
- Comité Rustad (Norway Ministry of Fisheries and Defense): "Electronic Aids to Navigation for the Fisheries and other users". 1961.
- Direction du Service des Phares et Balises: Documentation technique. Dispositifs radioélectriques. 1966.
- Dirección General de Puertos y Señales Marítimas: "Proyecto de mejora de las señales marítimas en España". 1967.
- "Radioayudas a la navegación marítima y a la hidrografía". Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco, 1956.