

# Sistema de Navegación «OMEGA»

Por  
L. MARTIN Roca

## I. INTRODUCCION

Desde el año 1967 cuatro estaciones de emisoras Omega han proporcionado una ayuda continua a la navegación, sobre una gran zona de la superficie de la Tierra, principalmente en la mitad Oeste del hemisferio Norte. Durante los tres últimos años se ha adquirido una gran experiencia en relación con la recepción de las señales Omega, predicción sobre correcciones de la onda celeste y procedimientos de utilización por los navegantes. En septiembre de 1968 se decidió por parte de los organismos de Estados Unidos aprobar un programa de expansión del sistema Omega, aumentando el número de estaciones a ocho, para ampliar de forma permanente la red de cobertura del sistema. Se propuso que el sistema Omega tenga un carácter internacional, en vista de lo cual se han entablado conversaciones con varios países para que puedan colaborar a la construcción de las estaciones transmisoras Omega. El resultado de estas conversaciones ha sido tal que, posiblemente a mediados del año 1972, el sistema cubra prácticamente todo el mundo.

### DESARROLLO DEL SISTEMA OMEGA

Historia del desarrollo del sistema de navegación en VLF.

En contra de la creencia más generalizada, el concepto del sistema Omega no es de reciente desarrollo, sino que es la

culminación de quince años de intensos trabajos de investigación, patrocinados por la Marina estadounidense. El gran alcance y estabilidad de las ondas radio de VLF han sido comprobados a lo largo de medio siglo, desde que se empezaron a utilizar en las comunicaciones marítimas en el año 1918. Pero hasta principios de 1950 no se utilizaron medios adecuados, basados en estas propiedades, para la navegación a grandes distancias. En dichas fechas, el profesor J. A. Pierce y su equipo de la Universidad de Harvard iniciaron sus trabajos de investigación para la utilización de un sistema de navegación experimental denominado RADUX, que operaba en la banda de frecuencia de los 40-50 KHz., a distancias de hasta 3.000 millas, con una precisión de tres a cinco millas. Aunque la precisión y estabilidad de las medidas de fase en frecuencias inferiores a la VLF ya se conocían hacía tiempo, no había una forma satisfactoria de eliminar la "ambigüedad de calle". Téngase en cuenta que en las frecuencias de VLF, las lecturas de calle se repiten cada ocho o diez millas. Puesto que el sistema RADUX podía resolver las ambigüedades de este orden, aunque proporcionando una precisión solamente incompleta, se decidió combinar una mayor precisión con un mayor alcance en un nuevo sistema de navegación VLF. Este nuevo sistema VLF se denominó Omega, y a partir de entonces se concibió el sistema mixto RADUX OMEGA y, posteriormente, continuaron los trabajos para su

desarrollo. Más tarde, y para resolver los problemas de las ambigüedades, se utilizaron nuevos sistemas de correcciones de la propagación en la capa ionosférica, así como el empleo de frecuencias múltiples. La necesidad inicial de utilizar el sistema RADUX desapareció y desde entonces se desarrolló el Omega como sistema independiente.

### Definición

Un sistema de navegación electrónico queda definido en razón de las frecuencias en que opera, por la forma de las líneas que constituyen su reticulado, por su alcance y por su precisión.

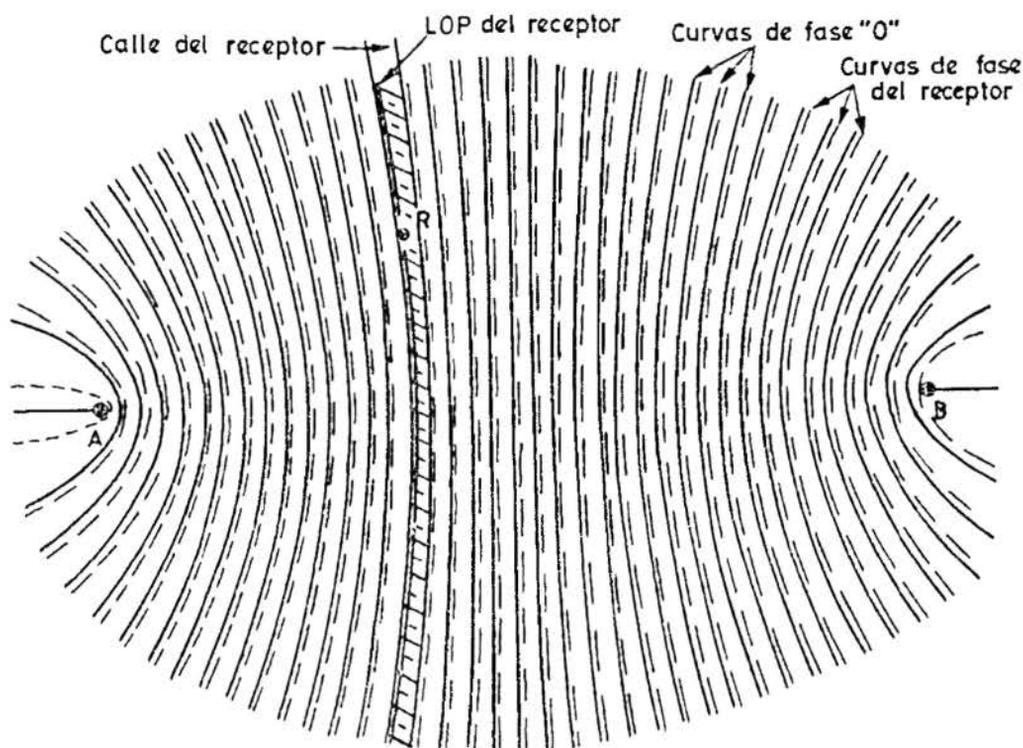


Fig. I

Red de calles Omega.

En la actualidad, el sistema Omega opera en tres frecuencias fundamentales VLF de transmisión: 10.2 - 11.1/3 y 13.6 KHz., y los emisores están ajustados en fase, con una precisión casi absoluta en un tiempo "standard", denominado tiempo universal. Las frecuencias obtenidas por sustracción, en el receptor, proporcionan al sistema una información adicional. La adecuada elección de estas frecuencias facilita unas ventajas que no son posibles en otros sistemas, tales como el Loran y Decca. Siendo el propósito básico del sistema facilitar una variedad de posibilidades al navegante para efectuar sus medidas, se generan dos sistemas de reticulado o redes electrónicas: uno circular y otro hiper-

bólico. El método hiperbólico hace mucho más económico el diseño del receptor, puesto que se elimina la necesidad de un oscilador de precisión. En aplicaciones especiales, sin embargo, el sistema circular puede ofrecer distintas ventajas, puesto que solamente son necesarias dos estaciones para obtener la situación. Para comprender el sistema hiperbólico debemos, en primer lugar, aceptar que las estaciones Omega, por estar ligadas o ajustadas con un tiempo "standard" casi absoluto, proporcionan un campo de señales en el que la fase es estacionaria en todos sus puntos. Por tanto, la medida de la diferencia de fase de un determinado par de señales observadas en una situación dada depende

únicamente de las distancias a que el observador se encuentre de una y otra estación.

Por otra parte, en todos los puntos cuya diferencia de distancias a las dos estaciones sea la misma, se observará el mismo ángulo de fase. El lugar geométrico de tales puntos es una línea de fase constante (curva isofase) que permanece fija sobre la superficie de la Tierra, en relación con las situaciones de la pareja de emisoras (ver figura I). Puesto que la fase relativa de cada par de señales observadas en cualquier punto de la Tierra define una curva isofase determinada que contiene a dicho punto, asimismo la intersección de dos curvas isofase, determinadas por sus correspondientes pares de estaciones, definirá la situación del punto.

Las líneas de situación del sistema hiperbólico normalmente tienen características desfavorables. La divergencia de las líneas hiperbólicas es muy pronun-

ciada cuando la línea-base es corta. Sin embargo, la gran extensión de las líneas base Omega y el gran alcance de hasta 8.000 millas de sus emisiones permite al navegante elegir unas líneas de situación que tengan en el lugar donde él se encuentre una amplitud de calle comparable a la que tiene sobre la línea base, y cuyas intersecciones sean casi octogonales. En el sistema Omega las emisoras son fácilmente sincronizadas dentro de los  $\pm 2$  microsegundos, basados en el error medio de cuatro días. El retardo en la propagación de las ondas a lo largo de su recorrido puede predecirse con un error medio de dos a seis microsegundos. En un sistema que funcione a pleno rendimiento, y que cumpla las condiciones antes citadas, la situación se obtendrá con un error medio de una milla durante el día y de dos millas durante la noche. La precisión de esta medida está basada en el siguiente cálculo del error medio de la distancia:

$$ed = \cos \theta \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 2rd_1 d_2 \cos \theta}$$

siendo:

- $d_1$  y  $d_2$  = separación "standard" con relación a la línea de situación.
- $\theta$  = ángulo de corte entre dos líneas de situación.
- $r$  = coeficiente de correlación entre las lecturas de dos líneas de situación.

## II. COBERTURA

### Geometría actual de la red

En las primeras etapas del desarrollo del sistema Omega se utilizaron como antenas de transmisión las de otras instalaciones dedicadas a comunicaciones en VLF, destacando principalmente la de la estación de Criggion, en Gales (Reino Unido), desde la cual se emitieron señales Omega desde 1963 hasta 1965. Desgraciadamente sus emplazamientos no eran muy apropiados para proporcionar un sistema geométrico óptimo y, a menudo, las líneas de situación seleccionadas se cortaban bajo ángulos desfavorables. Sin embargo, estas experiencias proporcionaron los medios para culminar con éxito las investigaciones

necesarias para predecir los retrasos de propagación.

La situación ha mejorado durante los últimos años gracias al establecimiento de las primeras estaciones Omega que puede considerarse reúnen todas las exigencias para un sistema totalmente operativo. A principios de 1966 se establecieron los emisores en Haiku (Hawái), Trinidad y Aldra (Noruega), para efectuar la evaluación total del sistema Omega. Los sistemas de antenas establecidos en estos nuevos emplazamientos son de un diseño más práctico y totalmente nuevo, concebidos especialmente para las emisiones Omega. Se tendieron sobre un valle, como ilustra la figura II. Algunas de las nuevas estaciones utilizarán la antena en forma de paraguas, tal como



Fig. II

Antena tendida a través de un valle.

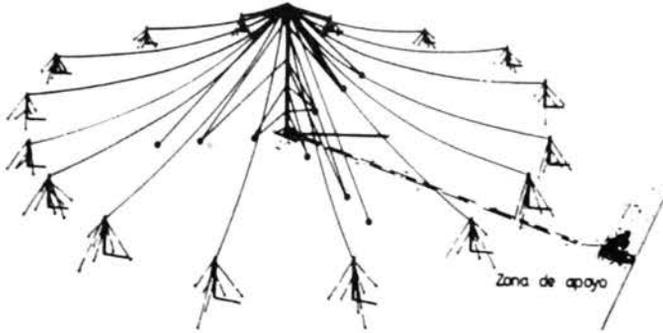


Fig. III

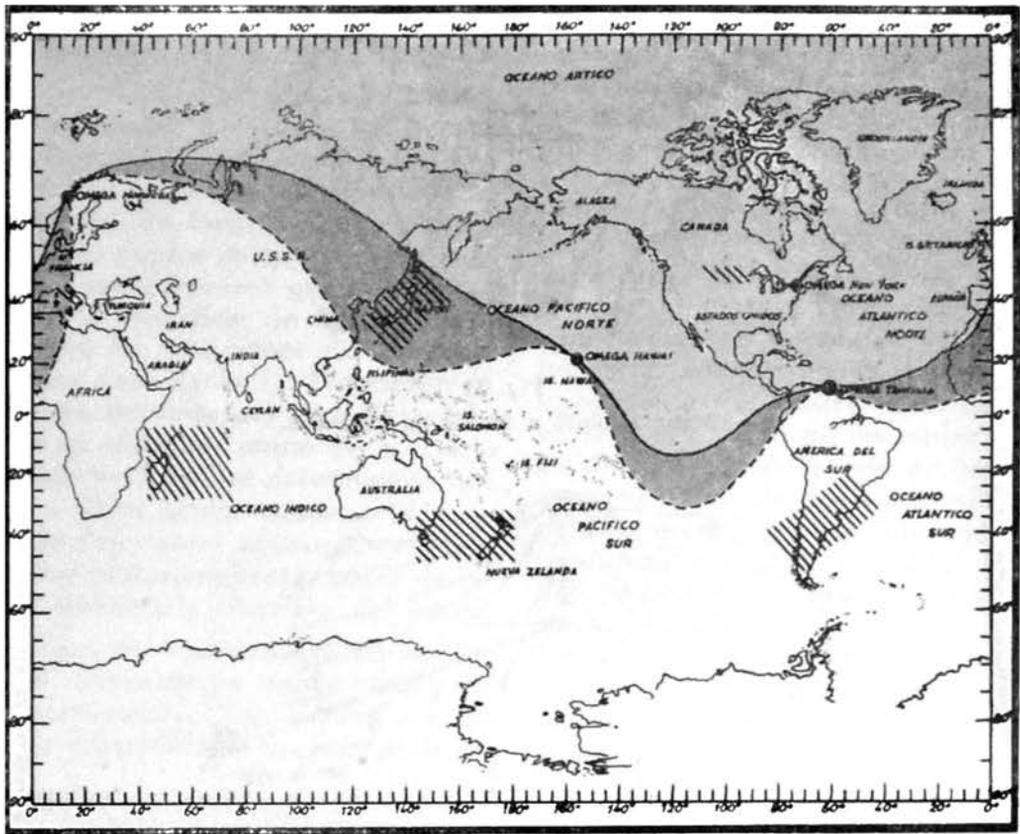
Antena en forma de paraguas.

puede apreciarse en la figura III. Estas tres estaciones citadas emiten con una potencia de uno a cuatro Kw, potencia suficiente para el desarrollo de los trabajos de estudio e investigaciones, pero no para un sistema totalmente operacional. Una cuarta estación se estableció en Foresport, en el Estado de Nueva York. Desgraciadamente, esta estación solamente es capaz de emitir con una potencia de 165 w. en buenas condiciones de emisión. Estas dificultades serán próximamente resueltas, cuando se sustituya por una nueva estación en la parte central de los estados Unidos, en el Estado de Minnesota, o de Dakota del Norte.

Las cuatro estaciones que se relacionan en la Tabla I iniciaron su período de pruebas a finales del año 1967, y constituyen la base del sistema de cobertura Omega actual. En el diagrama de la figura IV se muestra la zona de cobertura actual, que es de unos 20 millones de millas cuadradas, aproximadamente un tercio de la superficie del globo,

### Cobertura utilizable

La notable estabilidad de fase de las señales Omega permite sincronizar las emisiones con una diferencia de pocos microsegundos, para una longitud de la línea-base superior a las 5.000 millas. Cuando la longitud de la línea-base se aproxima a un cuadrante de la circunferencia de la Tierra, es decir, tiene unas 5.400 millas, entonces no existe ningún lugar del globo en el que las líneas de situación se separen más del doble de su separación sobre la línea-base. Con ocho estaciones Omega convenientemente distribuidas siempre será posible seleccionar líneas de situación cuya divergencia no sea superior al 15 por 100 y cuyos ángulos de corte estén comprendidos entre  $60^\circ$  y  $90^\circ$ . Esto es lo más importante en relación con la geometría del sistema Omega y lo que determina la elección de las parejas, pues de ello depende su eficacia. Puesto que tres de las actuales estaciones tienen características aceptables, solamente se precisan otras cinco estaciones para darle una co-



● Estacion Omega    Precisión de la situación diurna, 1 milla    Emplazamientos previstos para los nuevos Estaciones Omega  
 Precisión de la situación diurna, 1,5 millas  
 Fig. IV

Diagrama de cobertura del Sistema Omega en 1971

bertura completa a todo el mundo. En la tabla I se indican los emplazamientos de las estaciones actuales y los previstos para las nuevas.

TABLA I

Estaciones actuales	Posibles estaciones futuras
(A) Noruega	Estados de Minnesota o Dakota del Norte
(B) Trinidad	Japón
(C) Hawaii	Zona meridional de Sudamérica
(D) Nueva York (*)	Océano Indico
	Tasmania

(\*) Emplazamiento provisional (se trasladará al Estado de Minnesota o de Dakota del Norte).

Está previsto que la potencia de las estaciones del sistema definitivo alcanzará el nivel de los 10 Kw. Con esta potencia de radiación, la intensidad de campo será suficiente como para permitir la medida de la fase en cualquier lugar del mundo, y desaparecerá el actual problema de la atenuación debida a las capas de hielos polares, tal como sucede en

Groenlandia. También se espera que en cualquier zona del globo se puedan obtener, por lo menos, cinco líneas de situación, lo cual permitirá determinar la situación, aunque simultáneamente quedasen fuera de servicio dos estaciones emisoras. Estas condiciones no se pueden encontrar, hasta ahora, en ningún otro sistema de navegación hiperbólico.

### III. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

#### Sincronización de las estaciones emisoras

La sincronización entre las estaciones Omega se controla de una forma que se puede calificar de absoluta. Inicialmente, las estaciones Omega se sincronizaban por un sistema convencional, de la misma forma que una estación esclava ajusta su transmisión con la de una estación magistral. En el método absoluto actual, todas las estaciones emiten simultáneamente, según una fase media y absoluta, que es la misma para todo el conjunto del sistema. Esta fase media y absoluta se obtiene mediante un calibrador de frecuencias atómico, de radiaciones de cesium, situado en cada estación. El control de sincronización para todo el sistema se puede efectuar mediante observaciones en cada una o en todas las estaciones emisoras del sistema. La sincronización por el método indicado puede estar sometida a pequeñas desviaciones, pero es lo suficientemente precisa como para poder mantenerla efectivamente en

tiempo UT2 mediante ajustes periódicos. Así, cualquier estación puede proporcionar el tiempo y frecuencia calibrados. Pero más importante es aún para el navegante el hecho de que cada estación puede ser considerada como una verdadera estación magistral, lo que permite asociar por parejas dos estaciones cualesquiera de forma conveniente.

#### Descripción de la emisión Omega

Cada estación Omega emite una señal en onda continua (o.c.), que es periódicamente interrumpida para permitir que otras señales Omega entren a compartir o formar el esquema múltiple de la señal Omega. Tales interrupciones o conmutaciones periódicas de la señal, establecidas para permitir una separación de tiempos, dan a la emisión la apariencia de una pulsación. Las diferentes estaciones Omega siempre emiten en el mismo orden, con una duración de la emisión que varía entre 0,9-1,0-1,1 y 1,2 segundos, según la estación. La duración de estas emisiones en la frecuencia de 10,2 KHz., se indica en la tabla II, en la que se describe el esquema de conmutación Omega.

TABLA II

Esquema de conmutación Omega (para emisión en 10,2 KHz.)

Estación	A	B	C	D	E	F	G	H
Duración de la transmisión en segundos . . .	0,9	1,0	1,1	1,2	1,1	0,9	1,2	1,0

Debe advertirse que las estaciones se designan con una letra, de acuerdo con el punto en el cual aparecen en el esquema de 10,2 KHz.

En la tabla I se indican las letras que tienen asignadas las cuatro estaciones Omega que operan en la actualidad.

Como ya se ha indicado anteriormente, las estaciones Omega también emiten en unas frecuencias portadoras adicionales de 13,6 y 11,33 KHz., de acuerdo con el esquema indicado en la figura V. La secuencia de las emisiones es tal que cuando la estación B está transmitiendo

la señal en 10,2 KHz., la estación A transmite en 13,6 KHz. una señal de igual duración; asimismo, cuando la estación C transmite la señal en 10,2 KHz., la estación B transmite su señal en 13,6 KHz., y la estación A en 11,33, y así hasta que el conjunto de la secuencia de señales haya sido emitido.

En la figura VI se representa en forma análoga a la seguida en la figura V el esquema de conmutación de la señal Omega, tal como se emitirá por las ocho estaciones y en las tres frecuencias básicas.

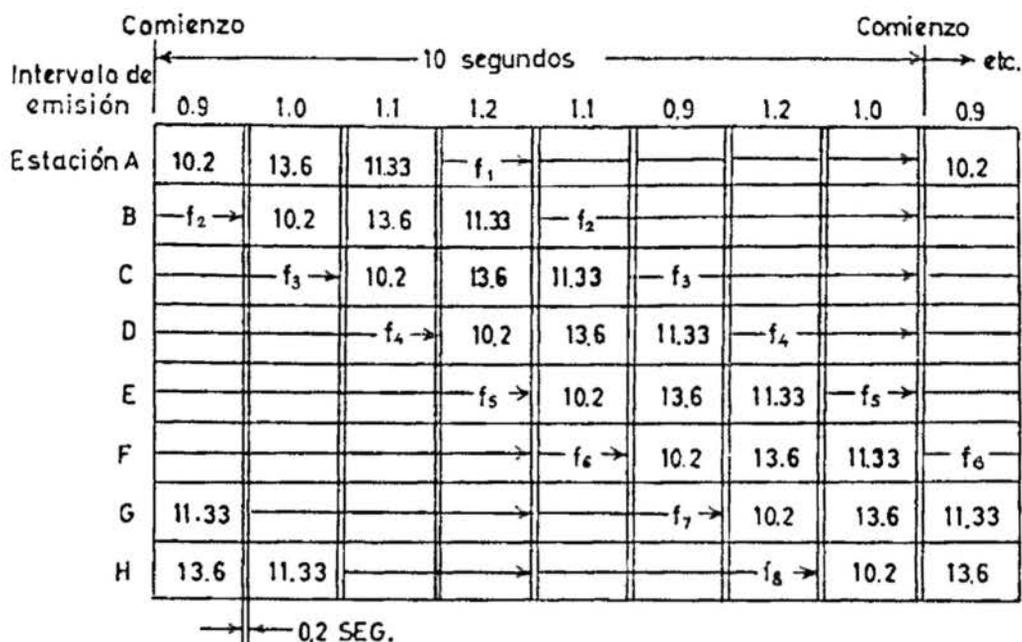


Fig. V

Esquema de la conmutación de la señal Omega.

Las frecuencias para determinación o identificación de la calle pueden derivarse de las tres frecuencias básicas de emisión, por diferencias entre ellas, es decir, restando 10,2 KHz. de 13,6 KHz. y de 11,33 KHz. Estas frecuencias-diferencia de 3,4 KHz. y 1,133 KHz. proporcionan un ancho de calle de 24 y 72 mlls. respectivamente. Además, las estaciones pueden emitir en otras frecuencias próxi-

mas a las indicadas, cuando aquellas no estén facilitando información para la navegación. Estas señales se podrán utilizar para la identificación automática de la estación y para transmitir información codificada para la sincronización del sistema. Aunque el formato de las señales Omega puede parecer complejo, su utilidad y flexibilidad no tienen límite. Por ejemplo, en el sistema de la frecuencia

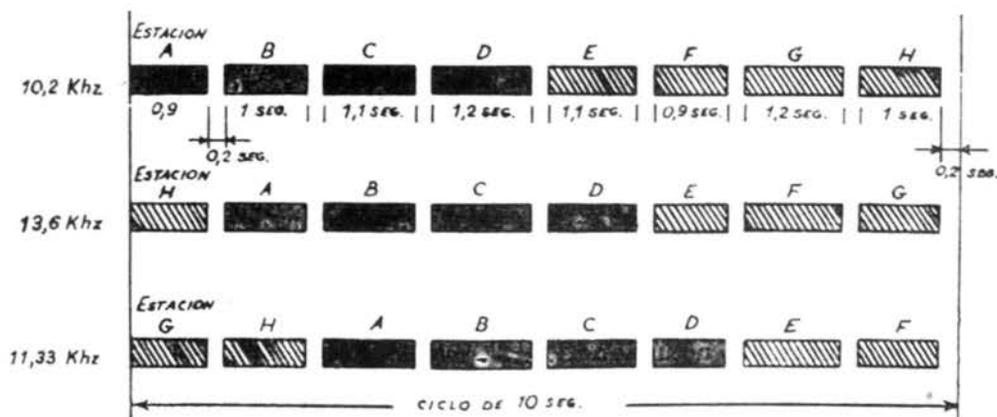


Fig. VI

Fig. V

Esquema de la conmutación de la señal Omega. Los segmentos rayados representan las estaciones que aún no trabajan en 1971.

básica de 10,2 KHz., las calles tienen solamente una amplitud de ocho millas sobre la línea-base. Inicialmente, para poder determinar su posición, el navegante debe conocer su situación con un error de  $\pm 4$  millas. Cuando utilice la frecuencia-diferencia de 3,4 KHz., la

amplitud de las calles generadas es de 24 millas, y el navegante solamente debe conocer su situación con una aproximación de  $\pm 12$  millas, que puede considerarse siempre dentro de los límites de una situación estimada, por muy mala que sea ésta.

TABLA III

Frecuencia	Frecuencia de emisión	Relación con la frecuencia 10,2 KHz.	Amplitud de calle en millas
10,2 KHz.	10,2 KHz.	1	8
3,4 KHz.	13,6 — 10,2 KHz.	1/3	24
1,133 KHz.	11,1/3 — 10,2 KHz.	1/9	72

### Identificación de la señal Omega

Como ya se ha indicado anteriormente, los impulsos de onda continua (o.c.) emitidos por las estaciones Omega, son controlados con mucha precisión. La duración de las emisiones varía desde 0,9 a 1,2 segundos, según el orden asignado a cada estación dentro del conjunto o esquema de las emisiones Omega. Puesto que está previsto que en el sistema definitivo se trabaje con ocho estaciones, y se considera conveniente un intervalo de separación de 0,2 segundos entre cada dos emisiones, el ciclo completo del conjunto de conmutación se repetirá cada 10 segundos (ver figura V). La sincronización se mantiene de forma tal para que cada período de 10 segundos comience de acuerdo con el Tiempo Universal (UT2). Por tanto, es posible establecer la identificación de cada estación por referencia a las señales horarias transmitidas por cualquier estación que cubra este servicio.

El diseño de los actuales receptores exige que la precisión de la referencia no sea mayor de un segundo, de forma que la identificación puede efectuarse muy fácilmente, exigiéndose muy poca habilidad por parte del operador.

Las señales Omega serán de diferente amplitud, según la zona, dependiendo de la distancia del observador a las dis-

tintas estaciones Omega. Cuando se contemplan las señales de estas estaciones sobre el osciloscopio de rayos catódicos del receptor, la amplitud de las señales procedentes de las estaciones más próximas aparecerá mayor que la correspondiente a las estaciones que se encuentren más alejadas. Este mismo método puede utilizarse auditivamente, pues la ganancia de las estaciones más próximas será más alta que la de aquellas que se encuentren más alejadas. Ambos métodos de trabajo son satisfactorios cuando se analiza cuidadosamente el esquema completo de la señal Omega.

### IV. CARTAS Y TABLAS DE CALCULO DE COORDENADAS

#### Cartas Omega

Las cartas de navegación Omega son similares a las cartas utilizadas en otros sistemas hiperbólicos, tales como Loran y Decca. Las líneas de situación en las cartas Omega se rotulan con las letras de las estaciones y no con la frecuencia o el tipo de repetición de la pulsación, haciendo así posible una rápida identificación y evaluación. Puesto que las líneas de situación Omega son lugares geométricos de puntos con diferencia de fase constante, es necesario establecer unas instrucciones sobre la forma de ob-

tener esta diferencia de fase. Para el cálculo siempre se debe seguir la norma de restar del valor de la fase de la estación cuya letra característica está expresada en primer lugar, el valor de la citada en segundo lugar, es decir A-B, A-C, B-C, D-E, etc., por orden alfabético.

También es importante que el navegante tome sus lecturas en el mismo orden. En las cartas Omega existentes figuran trazados los valores enteros de las calles, pero si se utilizan cartas de mayor escala, entonces pueden trazarse fácilmente sobre ellas los intervalos de las "centicalles", es decir, la centésima parte del intervalo correspondiente a una calle. Las líneas de situación a distancias inferiores a las 650 millas de las estaciones emisoras se dibujan a trazos, para advertir al navegante de la posible interferencia de ondas celestes de doble o triple reflexión, de las cuales pueden deducirse situaciones erróneas. En la construcción de las cartas Omega, como en las de cualquier otra clase de cartas para navegación electrónica, debe elegirse una determinada velocidad de propagación para el cálculo del reticulado. Para cumplir estas exigencias y determinar las correcciones de la onda celeste se ha adoptado el valor de  $0,9974 \times$  onda terrestre (aproximadamente es la relación entre la velocidad de la fase y la velocidad de la luz en el vacío, a 10,2 KHz.). Para la selección de las constantes de propagación con otras frecuencias de emisión, aparecen numerosos problemas. Se ha comprobado que es preferible continuar con las cartas calculadas a base de las calles correspondientes a la frecuencia de 10,2 KHz. Las correcciones por onda celeste, relativas a otras frecuencias, pueden deducirse fácilmente de las correcciones correspondientes a la frecuencia 10,2 KHz. Para la explotación actual del sistema Omega se han producido por el U.S.N. Oceanographic Office dos series de cartas experimentales. La primera serie, la VO-30, está constituida por cartas de navegación aire/superficie, en general con una amplia zona de cobertura. Esta serie de cartas, en proyección Mercator, con escala de 1 :2.188,800, son similares a las series de cartas VL-30 y VLC-30 para uso de Loran-A y Loran-C, respectiva-

mente. Estas cartas Omega, además de ser de fácil reproducción, tienen la ventaja de ser un tipo de carta con la cual el navegante ya está familiarizado. Actualmente, la serie de cartas Omega VO-30 comprenden la mayor parte de la zona de cobertura del sistema Omega. También es de uso frecuente una segunda serie de cartas Omega que son de mayor escala, aproximadamente 1 :800.000. En esta serie, las líneas de situación Omega van estampadas sobre las cartas conocidas como de la serie BC (Botton Contour o cartas de veriles). Estas cartas son de gran utilidad, pues permiten el trazado gráfico con alto grado de precisión, pero hasta el momento sólo se han publicado para pequeñas zonas de la costa oriental de Estados Unidos y del Golfo de México.

En la actualidad (junio 1971), el Instituto Hidrográfico de la Marina (Cádiz) ha publicado las cartas VO-30-1E y VO-30-2E, que comprenden las zonas marítimas próximas a nuestras costas, entre los paralelos  $29^\circ$  N y  $45^\circ$  N y los meridianos de  $27^\circ$  E y  $25^\circ$  W, y están próximas a publicarse las VO-30-3E y VO-30-4E, cuyos marcos aproximados son  $14^\circ$  N- $30^\circ$  N y  $2^\circ$  W -  $26^\circ$  W, para la primera, y  $44^\circ$  N -  $60^\circ$  N y  $1^\circ$  E -  $35^\circ$  W, para la segunda, siendo la escala de todas ellas 1 :2.188.800.

Cuando esté en funcionamiento el sistema de ocho estaciones Omega se podrán obtener, para cada frecuencia de emisión, 28 familias de curvas hiperbólicas para trazar sobre las cartas. Posteriormente se ha propuesto que las correcciones diurnas de fase correspondientes a las diversas líneas de situación se impriman en los márgenes de las cartas en forma de gráficos.

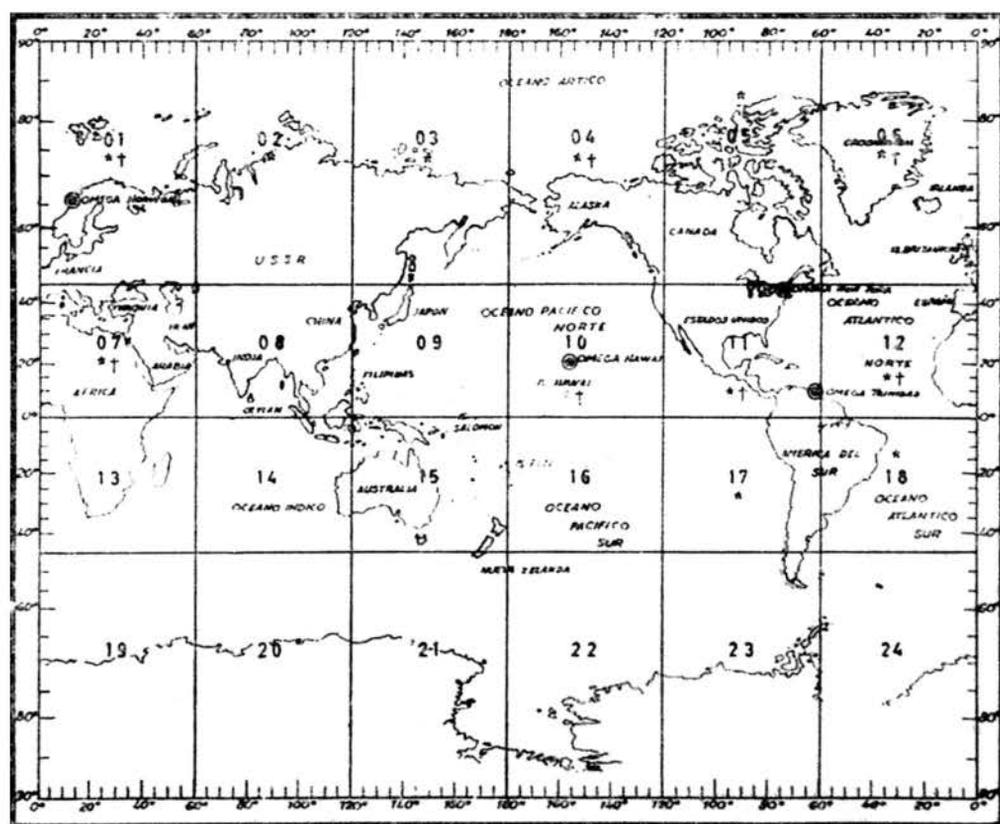
### Tablas de cálculo de coordenadas

Por el momento no es factible obtener muchas cartas a escala grande, tal como se precisa para algunas aplicaciones del sistema Omega. Los complementos obligados de las cartas Omega son, por tanto, las tablas de cálculo de coordenadas Omega, conocidas como Publicaciones H. O. número 224 del U.S.N. Oceanographic Office. Mediante la utilización de estas tablas, las líneas de situación

Omega corregidas de los errores debidos a la propagación de la onda celeste se pueden representar sobre una carta de trazado de las que se utilizan normalmente. Esta técnica de trazado se lleva a cabo de la misma forma que se hace con las líneas de situación astronómica. También es posible trazar las líneas de situación sobre una carta náutica de uso normal, a máxima escala de 1 :800.000, mediante la utilización de las tablas Omega. La zona de cobertura de cada una de las tablas Omega para una pareja determinada de hipérbolas es una zona de 45° de latitud por 60° de longitud, y coincide con la zona correspondiente de la tabla de correcciones por onda celeste que se citan más adelante (ver figura VII). En un próximo futuro se podrá contar con tablas adicionales para el sistema de navegación circular como alternativa del sistema hiperbólico, junto con las correspondientes tablas de correcciones por onda celeste. Como todas las frecuencias Omega son múltiples

exactos de una frecuencia básica común (11,1/3 KHz.) no es necesario publicar tablas para el trazado de las líneas de posición en otras frecuencias. Por ejemplo, una calle en la frecuencia-diferencia de 3,4 KHz. puede considerarse igual a tres calles de la frecuencia 10,2 KHz., o bien que cada tres hipérbolas en la frecuencia de 10,2 KHz., corresponden a una hipérbola en el sistema de frecuencia de 3,4 KHz.

La relativamente pequeña divergencia de las líneas de situación, complementada con una total intercambiabilidad entre las parejas de estaciones, permite la adaptación de la situación Omega a la conversión, cálculo y representación de coordenadas. En los casos en que se precisa conocer con exactitud la determinación de la línea de situación y el momento exacto de su determinación, como sucede con la navegación aérea, estas posibilidades del sistema Omega son especialmente importantes. Actualmente se está desarrollando un calculador para



☆ Tablas de coordenadas.

○ Estación Omega.

+ Tablas de corrección de onda celeste.

Fig. VII

Índice gráfico de Tablas Omega publicadas en 1971.

uso de aviación que proporcione estas facilidades y elimine toda ambigüedad, esto es, una gran promesa para el futuro. Mediante la tabulación de las correcciones por onda celeste, o el cálculo de las mismas "in situ", es posible calcular la situación y proporcionar directamente las coordenadas geográficas. Un receptor-ordenador destinado a la navegación aérea está siendo experimentado actualmente. No hay razón para que un calculador de este tipo no pueda ser adaptado para su uso a bordo de buques, y probablemente llegará a ser una realidad en un futuro inmediato. Han sido programados diversos ordenadores para calcular a bordo de buques hidrógrafos las situaciones Omega, después de aplicar a las líneas de situación las correcciones por onda celeste.

## V. RECEPTORES Y ANTENAS

### Receptores

Aunque la navegación Omega requiere que el usuario esté equipado con un receptor especial, las características de propagación de la señal permiten que el diseño de los circuitos en dichos receptores sea bastante simple. Los componentes complicados, necesarios para la eliminación de la onda celeste o reflejada, tales como los que se montan en el Loran-C, no son necesarios en los receptores Omega. Un receptor básico Omega debe, sin embargo, ser capaz de realizar las si-

guientes funciones: 1) Reconocer e identificar cada pareja de estaciones dentro de una red múltiple. 2) Conmutar todas las señales y aislar aquellas que sean de interés. y 3) Determinar la diferencia de fase con la exactitud deseada. En general, los receptores que cumplan estas funciones fundamentales pueden construirse a un costo razonable, aunque a base de la misma precisión también sería posible, mediante un aumento del costo, incluir en los receptores dispositivos adicionales, tales como los necesarios para la identificación de calles y eliminación de la ambigüedad.

La variedad de los tipos de receptores dependerá de las posibles aplicaciones de los mismos. Estos pueden contar con un conjunto de frecuencias múltiples, incluyendo las de 10,2 - 13,6 - 11,1/3 KHz., así como las correspondientes frecuencias-diferencia. En estos casos, son necesarios los contadores de calles para eliminar los problemas de ambigüedad. Si un receptor no está equipado con el contador de calles, entonces será imprescindible que tenga un registrador capaz de identificar los cambios de calle. A veces será necesario registrar una sola línea de posición (LOP), mientras que otras veces será conveniente tener dos lecturas a la vista simultáneamente. En el momento actual (1972) se dispone en el mercado de varios tipos de receptores Omega. Véase uno de ellos en la figura VIII. En la tabla IV se relacionan varios equipos y sus características más destacadas.

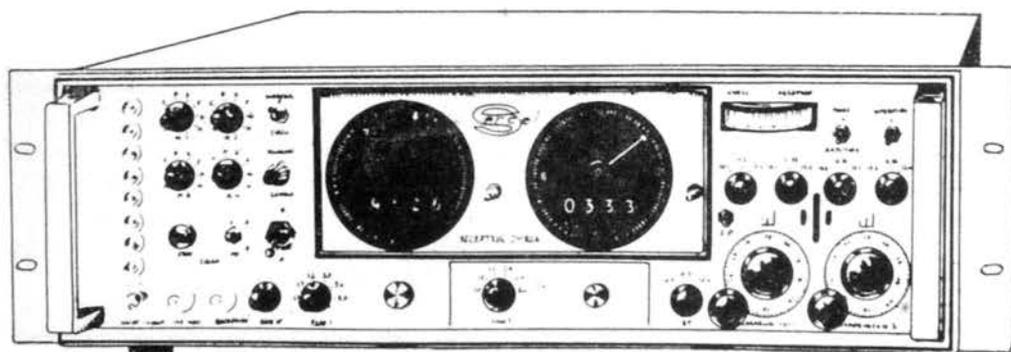


Fig. VIII



## Antenas

Las antenas receptoras que se requieren para una buena recepción de las señales Omega deben ser de construcción sencilla. En la mayoría de los casos será suficiente una antena de látigo, puesto que el campo eléctrico vertical es de suficiente intensidad en todas las direcciones. En las instalaciones a bordo de buques suelen utilizarse generalmente antenas verticales de látigo de 20-30 pies de altura. Su rendimiento es extremadamente bueno en lugares donde se produzcan interferencias en el campo magnético, por la existencia de chigres eléctricos u otros equipos. Para submarinos en inmersión son preferibles las antenas circulares o de cuadro. En las tablas H. O. 224, para la determinación de las coordenadas Omega, se facilitan las demoras de las estaciones Omega para los casos en que se utilice la antena de cuadro. Como las transmisiones Omega se realizan en las tres frecuencias de 10,2 - 11,1/3 y 13,6 KHz., las antenas deben estar ajustadas a cada una de estas frecuencias. El desarrollo de acoplamientos de antenas de multi-frecuencia evita, por tanto, el uso de tres antenas independientes.

## VI. CORRECCIONES DE LA ONDA CELESTE

### Descripción de la forma de propagación

La forma en que se propaga la onda celeste de las señales Omega se describe perfectamente en cualquier tratado teórico sobre propagación de ondas. Como consecuencia de fenómenos de resonancia, dentro de la capa esférica comprendida entre la Tierra y la ionosfera, las ondas se propagan con distinta velocidad y atenuación. En las frecuencias próximas a los 10 KHz., la primera reflexión generalmente domina a las otras a distancias superiores a los 1.000 kilómetros. A veces durante el día, la variación de la estructura de las capas altas de la atmósfera provoca una expansión o compresión del haz de ondas a lo largo de su trayecto de propagación, y como consecuencia se produce la correspondiente variación en la fase de la emisión. Como los parámetros básicos relativos a la propagación

de la primera reflexión son conocidos, y la altura de la ionósfera puede calcularse a lo largo de sus recorridos diurnos y nocturnos, es fácil predecir las correcciones de la onda celeste o reflejada. Esto, sin embargo, no simplifica el trabajo del cálculo, puesto que los efectos del campo geomagnético sobre los recorridos de la propagación Este-Oeste, y los factores secundarios de retardo de fase debidos a la conductibilidad de la tierra deben considerarse también. En diversos centros de investigación electrónica se han desarrollado los sistemas de correcciones de las ondas celestes, y han demostrado la exactitud con que puede ser determinada una línea de situación Omega.

### Tablas de correcciones por onda celeste

En la parte II de la Introducción de la Publicación H. O. 1-N (Catálogo de Cartas y Publicaciones Náuticas), del U. S. N. Oceanographic Office, figura un índice de las cartas, tablas de cálculo de coordenadas y tablas de correcciones de la onda celeste para el sistema Omega.

La cobertura mundial del sistema Omega se ha distribuido en 24 zonas, cada una de las cuales comprende 45° de latitud y 60° de longitud (ver figura VII).

Para cada una de estas zonas se publicará en su día, cuando estén funcionando las ocho estaciones Omega, una tabla de cálculo de coordenadas correspondientes a cada una de las parejas que puedan recibirse en esa zona.

Asimismo, para cada una de estas zonas se publicarán las tablas de correcciones por onda celeste correspondientes a cada una de las ocho estaciones. Cada zona está dividida en 192 rectángulos de 4° de latitud y 4° de longitud. Estas correcciones están tabuladas en función de la distancia de los puntos centrales de cada rectángulo a la correspondiente estación Omega. Actualmente (1971), tanto de unas tablas como de otras, sólo se han publicado algunos ejemplares, tal como se indica en la figura VII.

Como las tablas de correcciones por onda celeste dan los valores correspondientes a cada estación y para cada zona, tabulados para cada hora y para cada quincena de cada mes, los navegantes que

frecuente una determinada zona pueden seleccionar previamente estas correcciones y construirse un sencillo gráfico, con validez para quince días. De la tabla de correcciones por onda celeste se toman los valores de dicha corrección correspondientes a cada una de las estaciones de la

pareja seleccionada durante el intervalo de horas deseado. Se efectúa la diferencia de los valores de estas correcciones, y estas diferencias son las que se representan en el gráfico, tal como se indica en la figura IX.

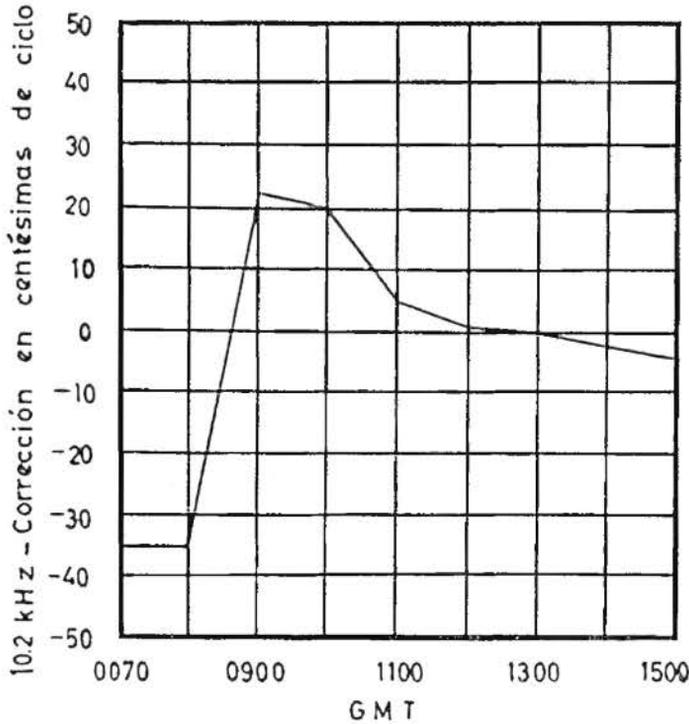


Fig. IX

A continuación se incluye la tabla de valores y el gráfico correspondiente, preparado para el intervalo de 0700 a 1500 horas de una quincena determina-

da, para la pareja A-B, y para un determinado rectángulo de 4° de latitud por 4° de longitud.

G. M. T.	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Corrección onda celeste de la estación "A".	-71	-71	-14	-05	-02	-01	00	01	00
(-) Corrección onda celeste de la estación "B" . . . . .	-(-36)	-(-36)	-(-35)	-(-25)	-(-08)	-(-02,00)	-(03)	-(04)	
Correcciones a aplicar a la hipérbola "A-B".	-35	-35	22	20	06	01	00	-02	-04

## VII. APLICACION

El sistema de navegación Omega proporciona de forma continua la situación con una precisión de una milla. Próximamente —a mediados de 1972— tendrá una cobertura de amplitud mundial. Estos tres factores: precisión, disponibilidad continua y amplia cobertura son los que se requieren generalmente para los métodos de situación en los trabajos oceanográficos e hidrográficos. La estabilidad de las señales Omega es tal, que la información puede obtenerse muy rápidamente. Un constructor de receptores para navegación por satélites está investigando la posibilidad de diseñar un receptor especial, con el único objeto de utilizar el sistema Omega para determinar la velocidad. Este valor se utilizará para compensar el efecto doppler que se induce en las señales del satélite recibidas por un buque en movimiento.

Así, es probable que el sistema Omega tenga una aplicación en la determinación de la velocidad, requerida en otros métodos de navegación, así como en las observaciones geofísicas.

La precisión de repetibilidad en el sistema Omega puede aumentarse en cada uno de estos casos: 1) En operaciones de cita en la mar, o 2) Utilizando el método denominado Omega-Diferencial.

En el primer caso, la aptitud de dos observadores para medir la misma diferencia de fase, desde una situación dada, está limitada únicamente por sus propios errores instrumentales, ya que los errores de propagación se consideran idénticos para una determinada zona poco extensa. En estas condiciones es posible realizar un encuentro en la mar, a través de situaciones Omega, con una precisión de 200 yardas. Aunque la aplicación más frecuente se presentará al tratar de reunirse dos buques, también será posible recuperar, por ejemplo, una boya oceanográfica que reciba las señales Omega y las lecturas de fase correspondientes sean telerradiadas desde la boya al buque investigador. La N.A.S.A. ha demostrado ya la posibilidad de aplicar esta técnica en el denominado Programa O.P.L.E. (Omega Position Location Equipment), por medio del cual miles de globos meteorológicos han sido situados con éxito en sus desplazamientos. Por otra parte, suponiendo que los

errores de propagación varíen diariamente de la misma forma para una determinada zona limitada, es posible aumentar la precisión de repetibilidad para operaciones de investigación que exijan mucha exactitud, utilizando el llamado Omega-Diferencial. Un monitor situado en una zona determinada registra todos los cambios observados en las lecturas "standard" o calculadas. Al recibir información de estos cambios diarios, los usuarios de esa zona determinada, de unas 300 millas de radio, pueden corregir sus lecturas observadas, obteniendo de este modo situaciones con una precisión de unas 0,2 millas en el centro de la zona elegida. Este método puede ser aplicado, desde luego, en los levantamientos hidrográficos. Estos datos pueden ser posteriormente ligados a coordenadas determinadas de forma más absoluta, mediante el uso periódico de situaciones por satélites u otros sistemas de precisión.

Como consecuencia de todo lo expuesto, se deduce que el sistema Omega, como nuevo método de situación, es muy flexible y puede adaptarse muy fácilmente a múltiples y variadas necesidades.

La cobertura completa a todo el mundo, la recepción continua de las señales, una buena precisión de repetibilidad y un funcionamiento eficaz, permite asegurar que en el futuro inmediato el sistema Omega tendrá una enorme aplicación, no sólo para los navegantes, sino también para los trabajos de los hidrógrafos y oceanógrafos y otros investigadores geofísicos.

### Sistema Micro-Omega

Una aplicación práctica del sistema Omega-Diferencial antes citado es el denominado Micro-Omega, que ha sido experimentado recientemente por la firma americana Teledyne Hastings Raydist, y consiste en el establecimiento de una estación "relay" como complemento de la cadena Omega "standard", en una zona determinada en la que se requiera una mayor precisión, tales como zonas de recalada a puertos o aeropuertos, etc.

Este sistema Micro-Omega facilita, a distancias inferiores a las 200 millas de la estación "relay", una precisión de 300

pies (1/20 de millas), es decir, una precisión 20 veces mayor que la del sistema Omega "standard" en horas diurnas. La operación es totalmente automática, no precisando comprobación de la envolvente ni ajustes especiales. Los resultados que proporcionarán estos receptores Micro-Omega vienen expresados en coordenadas Omega "standard" y, por tanto, pueden utilizarse las cartas Omega normales. Este equipo receptor Micro-Omega corrige instantáneamente los errores imprevisibles producidos por anomalías de la programación.

A distancias superiores a las 200 millas de la estación "relay" Micro-Omega, el receptor Micro-Omega/Omega funciona como un receptor Omega "standard" ultra preciso.

La estación "relay" Micro-Omega tie-

ne un sencillo dispositivo de frecuencia auditiva que corrige los errores de situación debidos a variaciones en la propagación. Esto elimina totalmente la necesidad de utilizar las tablas de correcciones por onda celeste, y otras técnicas de compensación de los errores de fase, ya que el Micro-Omega obtiene todos estos resultados automática e instantáneamente.

Las lecturas de los resultados en los receptores Micro-Omega pueden obtenerse en forma digital, para introducir las directamente sobre un trazador automático.

A título orientativo, se incluye a continuación un cuadro comparativo de las características del sistema Micro-Omega/Omega y del Loran-C.

Micro-Omega/Omega	Loran-C
<b>Precisión</b>	
Omega standard: 1 m. n. (día). 2 m. n. (noche).	0,25 millas.
Micro-Omega: 300 pies (0,05 millas).	
<b>Cobertura</b>	
Omega tiene prácticamente en la actualidad cubierto 1/3 del mundo, utilizando solamente cuatro estaciones. En 1972, la total cobertura del mundo entero, se alcanzará con un total de ocho estaciones. Micro-Omega utiliza una simple estación que proporciona una cobertura de 200 millas.	Cubre el 15 por 100 del mundo, de acuerdo con las necesidades de Estados Unidos.
<b>Disposición operativa</b>	
Instantánea.	Los receptores "C" necesitan de 10 a 45 minutos para obtener y estimar las señales desde las estaciones magistral y dos esclavas. El tiempo real depende de cada receptor y de las condiciones de intensidad y ruidos locales.
<b>Sensibilidad</b>	
400 pies.	50 pies.
<b>Características geométricas</b>	
Mejores.	Buenas.

Micro-Omega/Omega

Loran-C

**Contaminación de la onda reflejada**

Omega: Los errores de la onda celeste, hasta de unas 10 millas, pueden aparecer, pero son previsibles en un 90 por 100 cuando se utilizan las tablas de correcciones publicadas.

Despreciable si se maneja con cuidado.

Micro-Omega: Despreciables.

**Complejidad operacional**

Extremadamente simple de operar; solamente un interruptor "off-on". Con capacidad de enviar directamente los datos a una carta de trazado.

Se utilizan dos tipos de receptores: 1) Uno de precio competitivo, que requiere una compleja manipulación y alineación, mediante el uso de un osciloscopio; 2) receptor automático mucho más complejo interiormente y cuyo precio es de 4 a 10 veces el del tipo anterior.

