

UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN MARÍTIMA POR SATÉLITES ARTIFICIALES

Por
Alfredo Civetta
Capitán de Corbeta — Armada de Italia

Recientemente, la Armada de los Estados Unidos ha desarrollado y puesto en operaciones un sistema de navegación que permite la determinación de la posición en el mar por medio de satélites artificiales.

El sistema, que se denomina NNSS (Navy Navigation Satellite System) y puede considerarse como un perfeccionamiento de los métodos tradicionales de navegación astronómica, basa su funcionamiento en una cadena de satélites artificiales, controlados por estaciones en tierra y orbitando en torno al globo, que emiten señales destinadas a ser empleadas para la determinación precisa del punto-nave.

Estudiado para el control de los instrumentos de navegación de los submarinos nucleares, el sistema ha sido destinado posteriormente al empleo en buques de superficie, en aviones y recientemente en buques mercantes; sin pretender reemplazar a los otros métodos en

uso, el NNSS es considerado actualmente una importantísima ayuda a la navegación, cuyo empleo es posible en cualquier hora del día, en todo punto de la Tierra y en cualquier condición de tiempo. Representa el primer ejemplo de utilización continua de la tecnología espacial en beneficio de la navegación.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las señales emitidas por un cuerpo en movimiento, recibidas a intervalos fijos por un aparato receptor y reproducidas gráficamente en forma de diagrama, determinan una curva Doppler (*) característica.

(*) Como se sabe, el efecto Doppler puede definirse como "la variación aparente, en recepción, de una señal generada por una fuente en movimiento respecto al observador, por efecto de la variación de velocidad relativa entre la fuente y el observador".

Cuando el cuerpo en movimiento —en nuestro caso un satélite artificial— recorre una órbita fija, la curva trazada puede ser empleada para describir la órbita del satélite y determinar todos los parámetros orbitales.

A la inversa, conocida la órbita de un satélite en rotación en torno a la Tierra, pueden deducirse, a través de las mismas medidas de variación del Doppler, los elementos propios de la posición.

Para el funcionamiento de un sistema basado en el principio que exponemos es suficiente un solo satélite. Sin embargo, en la práctica se utiliza una cadena de satélites (hasta 4) girando en órbitas igualmente distanciadas al tránsito del Ecuador.

Cada satélite gira a lo largo de su órbita, a una velocidad tangencial de cerca de 5 millas por segundo.

Para el efecto Doppler, las señales transmitidas llegan al receptor de a bordo inicialmente con una frecuencia (T^1), mayor que la transmitida.

Pero a medida que el satélite se aproxima al observador, la frecuencia disminuye, manteniéndose siempre superior a aquella transmitida hasta que, llegado el satélite al punto de mayor acercamiento, la frecuencia recibida asume un valor exactamente igual al transmitido, (T^2).

A partir de este momento, la frecuencia recibida (T^3) disminuye por efecto del aumento de la distancia recíproca y de la velocidad del satélite.

La técnica radial permite un cálculo preciso de los ciclos de frecuencia. Este cálculo, efectuado en el receptor de a bordo a intervalos determinados según el programa de transmisión del satélite, permite trazar la curva Doppler o bien, medir la variación del Doppler. No obstante, hay que tener en cuenta que las radio-frecuencias deben atravesar en su trayecto los estratos superiores de la atmósfera que provocan alteraciones en la característica de emisión. El inconveniente se evita haciendo emitir a los satélites simultáneamente en dos frecuencias que tienen relación con las caracte-

rísticas eléctricas de la ionósfera; la diferencia entre las dos frecuencias recibidas, determina, en un aparato calculador conectado con el receptor, la corrección algebraica que hay que dar a los valores simples que llegan, obteniéndose una medida de Doppler como si estuviese referida a señales que viajan en el vacío.

El instante en el cual el Doppler se anula (inflexión de la curva) es el que corresponde al mayor acercamiento entre el satélite y el receptor. La inclinación de la curva que corresponde a ese instante es asociada con la distancia oblicua entre el receptor y el satélite. La medida de la variación del Doppler comparada con una frecuencia semejante, representa otro dato que insertado en el calculador, permite determinar la posición sobre la Tierra respecto al satélite de esa determinada órbita; esto es porque, en un determinado instante, la curva particular de variación de la frecuencia no puede verificarse más que en un solo punto de la Tierra respecto a dicho satélite.

Las transmisiones del satélite se producen a intervalos fijos de dos minutos; éstas consisten en una señal idónea a la individualización de cada satélite, en una señal de sincronización horaria y en datos de navegación respecto a la órbita particular recorrida y a las órbitas de los otros satélites que constituyen el sistema. Estos datos, calculados con anticipación por una estación terrestre, son transmitidos puntualmente por el satélite a la hora y en la posición a las cuales se refieren.

En resumen, cada satélite proporciona a los utilizadores los siguientes elementos:

- Cuál satélite está transmitiendo;
- Hora que indica el reloj del satélite;
- Posición que ocupa actualmente el satélite, además de las informaciones relativas a la posibilidad de empleo de los otros satélites del sistema.

Los datos transmitidos permiten así al navegante individualizar el satélite y su

posición instantánea. Al mismo tiempo, la medida de las variaciones del Doppler de las señales recibidas permite determinar la posición relativa ocupada por el observador con respecto al satélite.

Los datos de posiciones así obtenidos son afinados en seguida mediante la reunión de datos de posiciones relativas de los otros satélites del sistema.

En definitiva, conocidos los parámetros orbitales de cada satélite —y cada satélite indica continuamente dónde se encuentra en todo momento— y la variación del Doppler de las señales que llegan, es posible obtener un punto-nave. No se necesitan medidas de carácter óptico ni plataforma estabilizante en las referencias azimutales. Basta con encontrarse en el horizonte radial del satélite y disponer de un aparato en condiciones de recibir y elaborar señales en onda continua.

LOS SATELITES

La colocación en órbita, a alturas comprendidas entre 800 a 1.200 Kms. de los satélites que forman parte del sistema, se produce mediante cohetes de tipo standard a propulente sólido y de 4 etapas de funcionamiento.

Las órbitas son circulares y polares, o sea por meridianos; circulares para atenuar las aceleraciones y desaceleraciones características de las órbitas elípticas y meridianas, para anular la prioridad de los planos orbitales.

En sus líneas esenciales un satélite (fig. 3) tiene la forma de un prisma octogonal de 45 cms. de largo, 30 cms. de alto y un peso entre los 45 y 47 kilos; su fuente de alimentación es eléctrica, y se origina en la energía solar. Cuatro células solares, en forma de panel, acumulan la energía en baterías que se encuentran en el interior del satélite.

Las células solares están proyectadas para proporcionar cerca de 30 watts de potencia al lanzamiento y cerca de 25 watts después de 5 años de exposición a las radiaciones en el espacio. Este último valor de potencia es suficiente para la alimentación del satélite.

La antena transmisora, con la característica forma de pantalla, está situada

en la base del cilindro. Las antenas receptoras en forma de punzón, están dispuestas en las dos extremidades de dos células opuestas.

Luego que el satélite está en órbita, los paneles que constituyen las células solares se disponen en ángulos rectos a fin de formar una especie de X. En la parte superior del satélite está colocada una larga antena en forma de punzón (aproximadamente de 30 metros) que tiene funciones estabilizadoras y permite mantener la antena de transmisión con su base siempre apuntada hacia la Tierra.

Cada satélite contiene en su interior complejos aparatos electrónicos de cálculo que sirven para recibir los datos y las órdenes transmitidas desde tierra, para elaborar las informaciones recibidas y para retransmitirlas a su vez a la Tierra, en momentos determinados y en frecuencias controladas.

Las estaciones terrestres que están encargadas de enviar al satélite los datos que debe retransmitir (estaciones de apoyo) proporcionan, en una sola emisión de un poco más de 15 segundos, elementos suficientes para un funcionamiento continuado del satélite por 16 horas consecutivas.

ESTACIONES DE CONTROL EN TIERRA

El control del funcionamiento del sistema, realizado por la Armada de los Estados Unidos, desde abril de 1962 está confiado al Grupo Astronáutico de la Armada de los Estados Unidos que tiene su sede en Point Mugu - California.

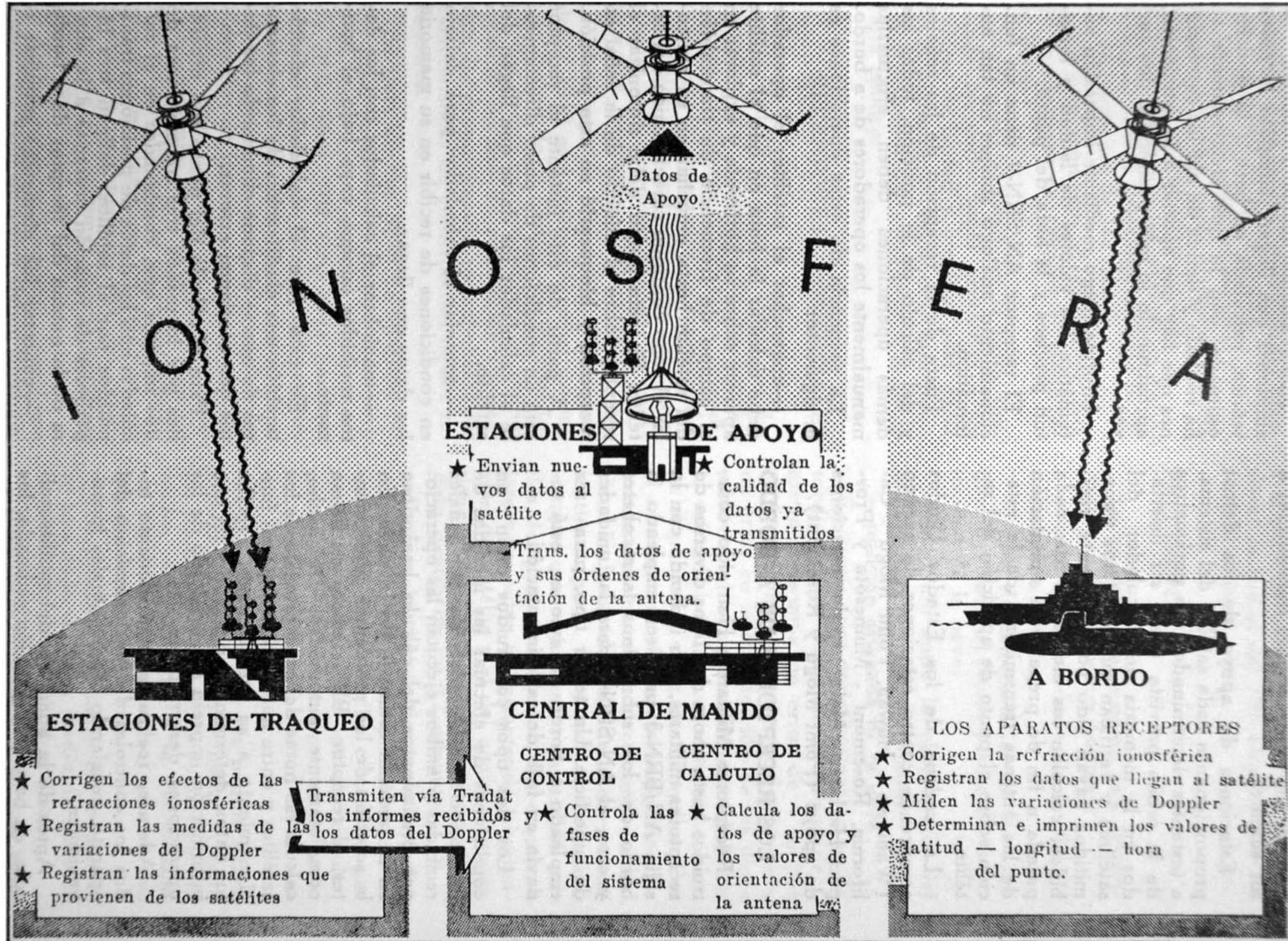
Para el apoyo diario de los datos y para el trazado de las órbitas se ha constituido una cadena de estaciones, convenientemente ubicadas, cuyas tareas pueden resumirse de la siguiente manera:

Estaciones de rastreo: registran a cada pasada las observaciones relativas a las variaciones del Doppler y las transmiten al Centro de Cálculo; examinan los valores de corrección aplicados por los calculadores a los valores de frecuencia recibidos; efectúan las comparaciones entre las órbitas previamente fijadas y aquellas medidas mediante la curva de variación del Doppler; verifican la va-

TRAQUEO

APOYO

OPERACIONES



ESTACIONES DE TRAQUEO

- ★ Corrigen los efectos de las refracciones ionosféricas
- ★ Registran las medidas de las variaciones del Doppler
- ★ Registran las informaciones que provienen de los satélites

Transmiten vía Tradat los informes recibidos y los datos del Doppler

ESTACIONES DE APOYO

- ★ Envían nuevos datos al satélite
 - ★ Controlan la calidad de los datos ya transmitidos
- Trans. los datos de apoyo y sus órdenes de orientación de la antena.

CENTRAL DE MANDO

- | | |
|--|--|
| <p>CENTRO DE CONTROL</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ Controla las fases de funcionamiento del sistema | <p>CENTRO DE CALCULO</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ Calcula los datos de apoyo y los valores de orientación de la antena |
|--|--|



A BORDO

LOS APARATOS RECEPTORES

- ★ Corrigen la refracción ionosférica
- ★ Registran los datos que llegan al satélite
- ★ Miden las variaciones de Doppler
- ★ Determinan e imprimen los valores de latitud — longitud — hora del punto.

lidad de las informaciones transmitidas a los satélites.

Estaciones de apoyo de los datos: proporcionan a cada satélite del sistema, a instantes determinados, los parámetros de la órbita prevista (para ser insertados en la memoria del calculador del satélite) y verifican que los datos transmitidos hayan sido correctamente recibidos; calculan los elementos de cada pasada a fin de preparar la orientación de las antenas transmisoras de la estación sobre el punto de aparición del satélite.

La cadena de los Estados Unidos comprende cuatro estaciones de rastreo (Wahiawa - Hawaii, Point Mugu - California, Rosemont - Minnesota y Prospect Harbour - Maine) y dos estaciones de apoyo (Point Mugu y Rosemont).

LOS RECEPTORES DE A BORDO

Receptores Militares: Han sido construidos hasta ahora dos tipos diversos de receptores militares, uno indicado con la sigla AN/BRN-3 para ser empleado a bordo de los submarinos lanzacohetes y otro, el AN/SRN-9 para las unidades de superficie. Un tercer tipo, para ser empleado a bordo de aviones, está todavía en fase de experimentación.

Los dos tipos construidos están en condiciones de efectuar las medidas de las variaciones Doppler de las señales recibidas y ambos ejecutan las operaciones preliminares del cálculo basándose en la posición estimada de la nave. En la solución de los problemas consiguientes, el receptor BRN opera en forma completamente automática. De hecho, calcula las horas del paso previsto de los satélites y entra automáticamente en funcionamiento a su acercamiento, recibe los datos, determina la posición y da una información impresa del resultado de las operaciones desarrolladas.

Además, realiza automáticamente todos los controles de funcionamiento del aparato, revelando los eventuales inconvenientes.

Antes de la aparición del satélite calcula, en base a la posición estimada, los valores de Doppler que estima que debe recibir, sincronizando entonces sobre ellos los propios receptores.

Sucesivamente recibe y registra las emisiones que llegan, compara la curva teórica, calculada en base a la posición estimada, con la que efectivamente se ha recibido y deriva de ahí las correcciones que hay que aportar a la estimación, aproximando lo más posible las dos curvas.

Informa luego mediante impresión automática los valores de latitud y longitud precisos y la hora del punto.

El receptor AN/SRN-9 tiene un funcionamiento análogo aunque no tan automático.

Fuera de la recepción de las señales y del cálculo de la posición, todas las demás operaciones deben efectuarlas manualmente los operadores de a bordo.

La secuencia de estas operaciones es la siguiente:

—enganchar el satélite: el operador debe calcular la hora en que el satélite aparece sobre su horizonte y explorar en el campo de frecuencia de transmisión del satélite hasta escuchar en su auricular el tono continuo característico del satélite. En este punto debe sintonizar el receptor sobre el mínimo de la señal en recepción y bloquearlo en esta posición.

A partir de este instante el receptor está en condiciones de pasar directamente al calculador los datos que llegan del satélite.

—aparejar el calculador para dejarlo en condiciones de recibir en su memoria los datos que llegan.

—maniobrar el calculador con los datos recibidos aunque vaya bajo el horizonte.

En esta fase el calculador efectúa también una clasificación de los elementos de que se dispone eliminando los datos que contienen errores.

Para el cálculo del punto son necesarias por lo menos tres transmisiones de dos minutos que, combinadas en el calculador con los datos de posiciones transmitidos por el satélite, definen tres hipérbolas de rotación cruzadas a la altura de la antena del receptor de a bordo

—conectar los elementos propios: o sea:

- ★ Latitud y longitud estimada;
- ★ Altura de la antena sobre o bajo la

elipsoide para lo cual el calculador efectúa el cálculo de la posición;
 ★ Hora Z del paso del satélite;
 ★ Componentes hacia el Norte o hacia el Este de la velocidad propia;
 ★ Indicaciones de las eventuales variaciones de ruta y velocidad durante la fase de recepción de los datos.

En este momento el calculador está en condiciones de calcular el punto de la nave.

—informar el punto en la carta aplicando las correcciones necesarias a los valores de latitud y longitud para pasar de la elipsoide sobre la cual está basada la solución del calculador a la de la carta náutica.

RECEPTORES COMERCIALES

Desde el 29 de julio de 1967, por declaración del Gobierno de los Estados Unidos, el sistema NNSS se ha extendido al empleo por parte de las unidades mercantes y las industrias han sido autorizadas para proyectar y poner en venta aparatos receptores de tipo comercial.

La Compañía Magnavox, firma que desde 1962 está interesada en el sistema por cuenta de la Marina de los Estados Unidos y que ha desarrollado el primer receptor dotado de adquisición automática, ha proporcionado recientemente las características de construcción de los receptores.

Se trata de dos tipos de aparatos receptores, bastante compactos y de peso y volumen muy reducidos. El primero de ellos, Mod. 702 CA, sirve para recibir las señales de llegada del satélite, para descifrarlas y para proporcionar a un calculador conectado al receptor los elementos de ingreso para la elaboración ulterior para los fines de la determinación del punto de la nave. El segundo tipo, Mod. 706 CA, es un receptor completamente automático, integrado por un calculador con memoria fija, en condiciones de proporcionar directamente los elementos de las posiciones.

Ambos receptores cuentan con una antena de 1.20 de alto y tienen igual volumen (18 x 41 x 44 cms.). El peso es de 10 Kg. en el tipo 702 e inferior a 20 Kg. en el tipo 706. El precio del Mod.

702 será de más de 30.000 dólares, mientras que el del 706 estará sobre los 55.000 dólares.

PRECISION

La precisión del sistema está relacionada con los siguientes factores:

—error de altura de la antena del receptor de a bordo;

—error de determinación de los componentes hacia el Norte y Este de la velocidad de la nave;

—intervalo entre la observación del satélite y el instante del punto;

—posición estimada de la nave.

En teoría, una indeterminación en la medida de la altura de la antena de 1 metro determina un error de 4 metros en la posición calculada; por cada nudo de error en la introducción de los datos relativos al componente hacia el N de la velocidad de la nave se tiene un error en el punto de cerca de 0,2 millas. Por el contrario, no tienen efecto práctico los eventuales errores en el componente hacia el E de la velocidad de la nave como lo tienen para la posición estimada, siempre que estén dentro de las 100 millas del punto establecido. En cuanto al intervalo entre el instante de observación del satélite y el del punto, tampoco tiene efecto, siempre que esté comprendido dentro de los 12 minutos.

Las pruebas efectuadas hasta la fecha, comparando los puntos obtenidos con el método NNSS y aquellas efectuadas por medio de observación óptica, circular, por radar y otros instrumentos de radio navegación, han indicado un error medio de 0,17 millas.

Cerca del 90% de los puntos tienen errores inferiores a 0,35 millas y, para los restantes, los mayores valores encontrados se deben más a la variabilidad de los elementos de control que a las imprecisiones del sistema.

Las pruebas efectuadas en fondeadero han dado un valor medio de error de la misma magnitud (0,16 millas).

Respecto a la seguridad de este sistema, puede resultar útil destacar que de 418 tentativas de determinación del punto, 347 (el 83%) han sido positivas.

CONCLUSION

El sistema de navegación por medio de satélites artificiales ha tenido hasta la fecha una amplia experimentación en los Estados Unidos, especialmente por obra de la Armada, que recientemente ha dotado con estos sistemas a muchos submarinos, algunas unidades de superficie y buques destinados a la investigación oceanográfica. En particular fue empleado con éxito por las unidades nucleares que constituyen la Fuerza de Tarea 1, en la vuelta al mundo del verano de 1964.

Los resultados de las pruebas efectuadas utilizando uno o más satélites permiten clasificar este sistema entre los mejores para el uso de la navegación, ya sea marítima como aérea y justificamos el interés de muchas naciones en vista de las amplias aplicaciones militares (operaciones anfibia, conducción de misiles, dragado) y científicas que han

dejado entrever horizontes hasta ahora desconocidos. Bastaría destacar como ejemplo, que el programa americano de geodesia con satélites artificiales se propone determinar con mayor rigor la superficie de la Tierra, la distribución del campo gravitacional, la conexión de las redes geodésicas y finalmente obtener noticias más detalladas y precisas para los fines de una cartografía a escala mundial.

Entre las otras aplicaciones se pueden citar, además, la posibilidad de sincronización horaria a escala mundial, los relieves oceanográficos de altura, la determinación más precisa de una unidad astronómica apropiada para definir mejor la distancia entre los planetas y por lo tanto para conocer mejor las características del sistema solar.

(Traducido de "Rivista Marittima", enero 1968).

* ★ *

Exceso de Iniciativa

Quando el Almirante Víctor Oelkers fue Comandante del acorazado "Latorre" se produjo a bordo un extraño hecho: los radares chicos, recién instalados, no funcionaban con toda su eficiencia.

¿Qué pasaba?

Se le dio cuenta al Comandante y se hizo una revisión minuciosa de los aparatos, pero la falla continuaba con gran extrañeza de los técnicos.

Por fin, alguien hizo el descubrimiento en la caparazón de la antena. La habían cubierto con una gruesa capa de pintur.

¿Cómo? ¿Quién diablos había cometido semejante "sacrilegio"?

—Yo, mi Comandante —dijo algo turbado el Contramaestre—. Es que resulta que me pareció que a la "custión" esa le faltaba su manito. Y mandé que se la echaran.

—¡Exceso de celo!— rugió el Comandante.

Se ordenó una limpieza, que no dejó de resultar difícil, y ¡aquí no ha pasado nada!