

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL. UNA NUEVA ERA EN LA NAVEGACION

Ignacio Mardones Costa
Teniente 2º

INTRODUCCION

La idea de que la navegación es la ciencia y arte de conducir una nave de un punto a otro en forma segura, se le han agregado otras que consisten en que además debe hacerse lo más rápido y económicamente posible.

En los primeros tiempos de la navegación marítima las naves se situaban a través de la posición de las estrellas. Con su azimut, su altura respecto del horizonte y un horario lo más exacto posible, se podía obtener posiciones. El compás, el sextante y el cronómetro siempre fueron y aún mantienen su vigencia, los medios más fiables para determinar la posición sobre la tierra.

Sin embargo, cuando no se cuenta con las condiciones para realizar observaciones, ya sea por niebla u oscuridad, es necesario recurrir a puntos terrestres de referencia para obtener la posición. No debemos olvidar que el radar, una de las ayudas a la navegación más usada, consiste simplemente en reconocer y medir distancias a estos puntos terrestres de referencia.

Así nos encontramos con el caso de que el navegante deberá efectuar travesías sin apoyo de puntos terrestres ni contará con las condiciones para calcular su posición. Llevará una estima, pero esto le afectará en su propósito de lograr la rapidez y economía, que nos planteamos entre los objetivos de la navegación, al ser afectado por las condiciones meteorológicas y por las corrientes.

Con la aparición de los procedimientos electrónicos para determinar la posición que surgieron con la invención de la transmisión por radio, tales como los sistemas de radiona-

vegación por coordenadas hiperbólicas en banda de onda larga (*Loran, Omega, etc.*), se facilitó al navegante la tarea de obtener situaciones con cualquier condición de visibilidad y con exactitudes satisfactorias.

El principal problema que trae consigo el sistema de radioayudas, a pesar de su avanzado nivel de desarrollo, es la independencia, la que constituye otra exigencia para la navegación de las naves de guerra. Obviamente, ningún país, especialmente los más desarrollados, pondrá a disposición de otros estos medios de navegación propios, ya que ante un posible enfrentamiento el enemigo logrará llegar con facilidad a los objetivos en disputa. Además, existen otras limitantes como la disponibilidad ante fallas de las estaciones y no tener cobertura mundial.

Debido a lo anterior, la navegación en base a sistemas inerciales pasó a ocupar un lugar de importancia, ya que con estos equipos, que tienen su origen en la ley física de la capacidad inercial, se logró la independencia y se cumplía con las exigencias de precisión, pero con un alto costo debido al elevado precio de estos equipos.

En consideración a que a pesar de los grandes avances conseguidos en los sistemas de navegación, éstos no eran suficientes para los requerimientos militares de las grandes potencias, se llegó a un nuevo sistema: La navegación satelital.

NACIMIENTO DE LA NAVEGACIÓN SATELITAL

El *Transit* fue el primer sistema de navegación satelital y nació debido a la curiosidad

de los científicos del John Hopkins Physics Laboratory, quienes efectuaron un seguimiento por medio del *Sputnik*, primer satélite artificial lanzado a fines de 1957. Este seguimiento demostró que el efecto del cambio de frecuencia *doppler*, debido a la velocidad del satélite, era exactamente predecible; con esto, se estableció que la trayectoria seguida por un móvil también era predecible con gran exactitud en base a las variaciones *doppler*.

Ahora bien, si consideramos que un satélite está atrapado en el campo gravitacional terrestre y afectado por factores tales como la gravitación universal entre cuerpos, la radiación solar, etc. y se le pueden efectuar las mediciones *doppler*, también se puede determinar su órbita con toda exactitud.

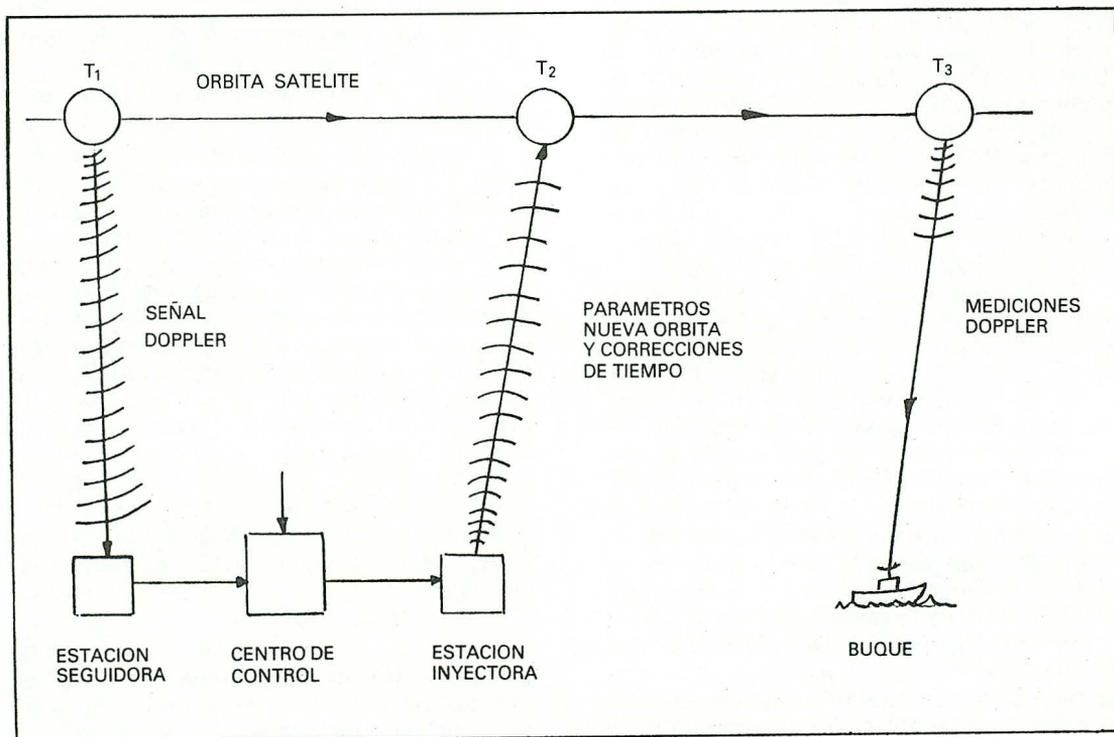
El concepto de navegación satelital nació más tarde cuando se evidenció que si era posible determinar la órbita satelital mediante mediciones *doppler* desde una estación terrestre, entonces, a la inversa, al ser conocida la órbita del satélite podría determinarse exactamente la situación de un receptor mediante las mismas mediciones.

Cuando en los años 60 la Armada de Estados Unidos requirió un sistema de navegación

de alta precisión para sus submarinos tipo "Polaris", el mismo laboratorio John Hopkins le propuso emplear este sistema, el que fue puesto en servicio en 1964. Posteriormente, en 1967 fue entregado al uso público siendo empleado principalmente por unidades navales en levantamientos hidrográficos para determinar las posiciones geodésicas.

Básicamente, el sistema *Transit* se compone de un grupo de seis satélites que orbitan la Tierra en trayectoria polar a una altura aproximada de 1.000 Km. Cada vez que estos satélites pasan dentro del alcance de radio de cada una de las cuatro estaciones de seguimiento (Hawai, California, Minnesota y Maine) son seguidos por una antena direccional que es programada para que apunte automáticamente mientras dure su paso. Con esto, es medida la variación *doppler* de frecuencia en función del tiempo, la cual se envía al centro de computación central en donde se determina la órbita de cada satélite y la predicción de ésta con varias horas de anticipación.

Este cálculo de la órbita, que efectúa el centro de computación, es enviado a las estaciones inyectoras junto con las órdenes para apuntar las antenas hacia los satélites, transmitir el



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA "TRANSIT"

mensaje de navegación que corresponde y comprobar que éste haya sido recibido sin errores. Los satélites reciben un mensaje cada 12 horas, pero poseen la capacidad de almacenar toda la información que define su órbita las siguientes 16 horas.

Una vez alimentados, cada satélite comienza a enviar sus mensajes en posición orbital cada dos minutos, transmitiendo su información en dos frecuencias diferentes (400 MHz y 150 MHz). Cada vez que un satélite está dentro del alcance de radio del equipo de navegación de un buque transmite sus datos para calcular la posición de éste.

Este sistema tiene una cobertura mundial y una exactitud de más o menos 100 metros, la cual disminuye en 0,2 millas náuticas por cada nudo de error en el dato de velocidad que recibe el receptor del equipo a bordo.

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Se puede decir que el sistema de posicionamiento global nació el 17 de abril de 1973 cuando el Subsecretario de Defensa de Estados Unidos encargó a la Fuerza Aérea, a la Aviación Naval y a la Aviación Militar, el desarrollo de un sistema de navegación que tuviera uso en todas las Fuerzas Armadas, el cual debía estar basado en los programas iniciados en la Armada y en la Fuerza Aérea. En diciembre de ese mismo año nació el concepto Sistema de Posicionamiento Global (GPS, en inglés) y fue creado un grupo de trabajo conjunto dependiente de la Space and Missile System Organization, constituido por miembros de la Fuerza Aérea, del Ejército, de la Armada, de la Guardia Costera, de la Infantería de Marina, del Servicio Geográfico de la Secretaría de Defensa y de la OTAN.

Transcurrieron quince años de estudios y pruebas hasta que en el año 1988 se inició la fase de establecimiento y evaluación. Durante este período, el proyecto fue tratado en forma altamente clasificado y a pesar que fue revelado en su etapa de estudio para aplicaciones civiles, se mantuvo la reserva en los aspectos de funcionamiento tendientes a imposibilitar a un potencial enemigo en caso de conflicto, su utilización o el empleo de contramedidas electrónicas.

En la actualidad, las Fuerzas Armadas de Europa occidental han reconocido la importancia del Sistema de Posicionamiento Global como medio de navegación del futuro. Mientras tanto han sido iniciados o incluidos en los planes los programas de adquisición de este tipo de equipo para aplicación terrestre, marítima y aérea, con la idea final de lograr un equipo receptor europeo denominado *Euronav*, de pro-

cedencia, producción, mantenimiento y apoyo logístico conjuntos.

También los países de Europa oriental disponen de un sistema similar de navegación por satélite, el que está completamente operativo. Se trata del sistema *Glonass*, que además está disponible para fines civiles e inclusive ya existen investigaciones para encontrar una compatibilidad entre éste y el GPS. Lo que se busca es un receptor capaz de recibir señales de ambos sistemas, lo cual es un gran adelanto para la navegación mundial, aunque es lógico que tal cooperación sólo podrá realizarse en aplicaciones civiles.

La estructura del GPS se compone de:

- Satélites.
- Sistema de Control en Tierra.
- Equipos de navegación instalados en buques, aeronaves, vehículos y personal.

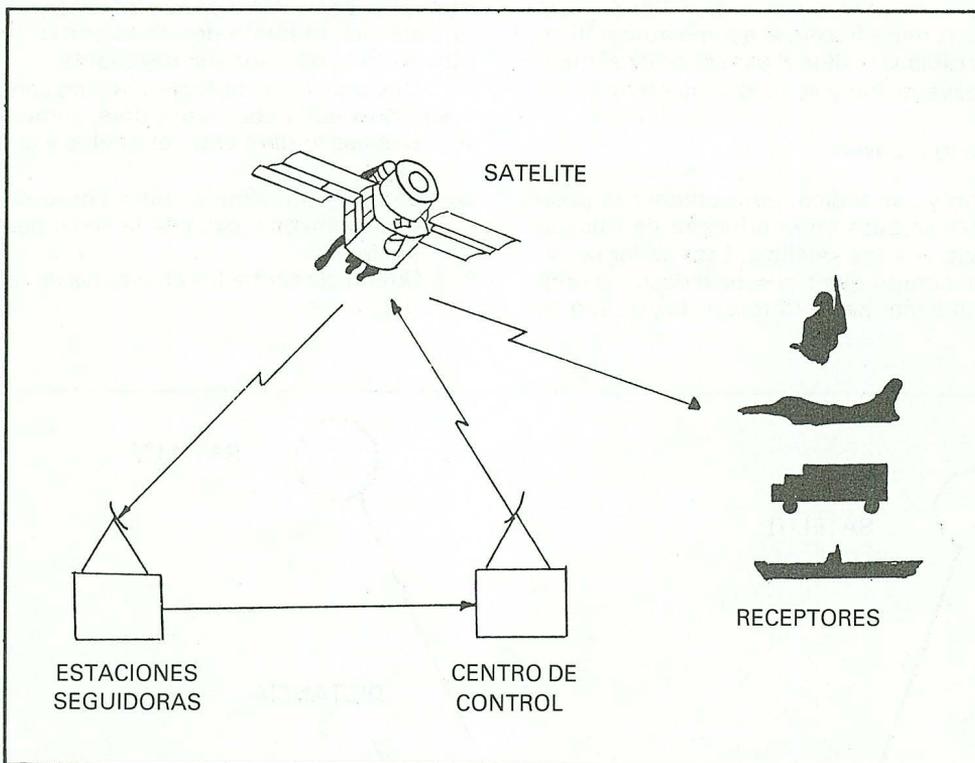
—Satélites. Los satélites, cuya cantidad no está precisada (se estima que habrá 21), proveen la información de navegación a los receptores instalados en los móviles. Los satélites conforman un arreglo de seis anillos concéntricos que orbitan la Tierra dos veces al día a una altura aproximada a los 20.000 km, inclinados 55° del ecuador. Este arreglo provee una cobertura mundial continua, donde cada satélite transmite sus señales en dos frecuencias. Cada señal es modulada con un código para identificar el satélite y el mensaje de navegación en donde va la información respecto a la operación de satélite.

—Sistema de Control en Tierra. Tiene por función el seguimiento de los satélites, monitorear y controlar sus órbitas y actualizar los mensajes de navegación de los satélites.

El sistema de control se compone de estaciones monitoras o seguidoras con sus antenas repartidas estratégicamente por todo el mundo y de un centro de control ubicado en una base de la Fuerza Aérea en Colorado, Estados Unidos.

Las estaciones monitorean a los satélites y envían esta información al centro de control, donde se calcula en forma precisa la posición de cada satélite y el error de su reloj (lo que se conoce como efemérides). También calcula en el almanaque cuál es la posición de los satélites; luego, cada 24 horas transmite las efemérides y el almanaque a cada satélite para que actualicen su mensaje de navegación.

—Equipos de navegación. Los equipos de navegación (receptores, antenas, etc.) reciben y decodifican las señales de radiofrecuencia enviadas desde los satélites. Esta información es usada para calcular la posición, la velocidad y obtener información precisa de tiempo. En el



ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

receptor es medido el tiempo que demora la señal desde el satélite; multiplicando ese tiempo por la velocidad de la luz se puede determinar la distancia exacta a cada satélite. Calculando la distancia a tres satélites es posible determinar su posición; la velocidad se calcula midiendo la razón de cambio de las señales de radiofrecuencias. Para calcular la posición en tres dimensiones se requiere contar con un mínimo de cuatro satélites.

Conceptos básicos de operación

Estructura de la señal del satélite y mensaje de navegación

Cada satélite transmite continuamente su mensaje de navegación en dos frecuencias:

La frecuencia L1 está centrada en 1.575,42 MHz y está modulada en un código de precisión (código P) y en un código de adquisición (código C-A).

La frecuencia L2 está centrada en 1.227,60 MHz y modulada sólo en el código P.

El código P está reservado para usuarios militares que requieren mayor exactitud y un alto grado de protección contra interferencias.

El código C-A es utilizado por cualquier navegante y para ayudar a la adquisición del código P. Proporciona una exactitud más baja en relación al código P y suministra un reloj para la transmisión de los mensajes de navegación de cada satélite.

Existe también un código aún más exacto, disponible sólo para algunos usuarios, conocido como *Selective Acquisition (S-A)* con capacidad *antispoofing*, en que la información transmitida por los satélites es en base a un sistema criptográfico.

Adquisición de la señal del satélite

Durante su operación, el equipo de navegación recolecta y almacena en su memoria el almanaque del satélite. Los datos del almanaque normalmente están disponibles cuando se enciende el equipo y da la información acerca de la posición de los satélites. El operador sólo debe introducir una posición cercana y hora estimada para que el equipo inicie el almacenamiento del almanaque en su memoria. Con esta información, el equipo de navegación determina cuáles satélites son convenientes y rebusca

los códigos de éstos. Cuando el código C-A del satélite está identificado, el equipo automáticamente cambia al código P para obtener el mensaje de navegación y actualizar su memoria.

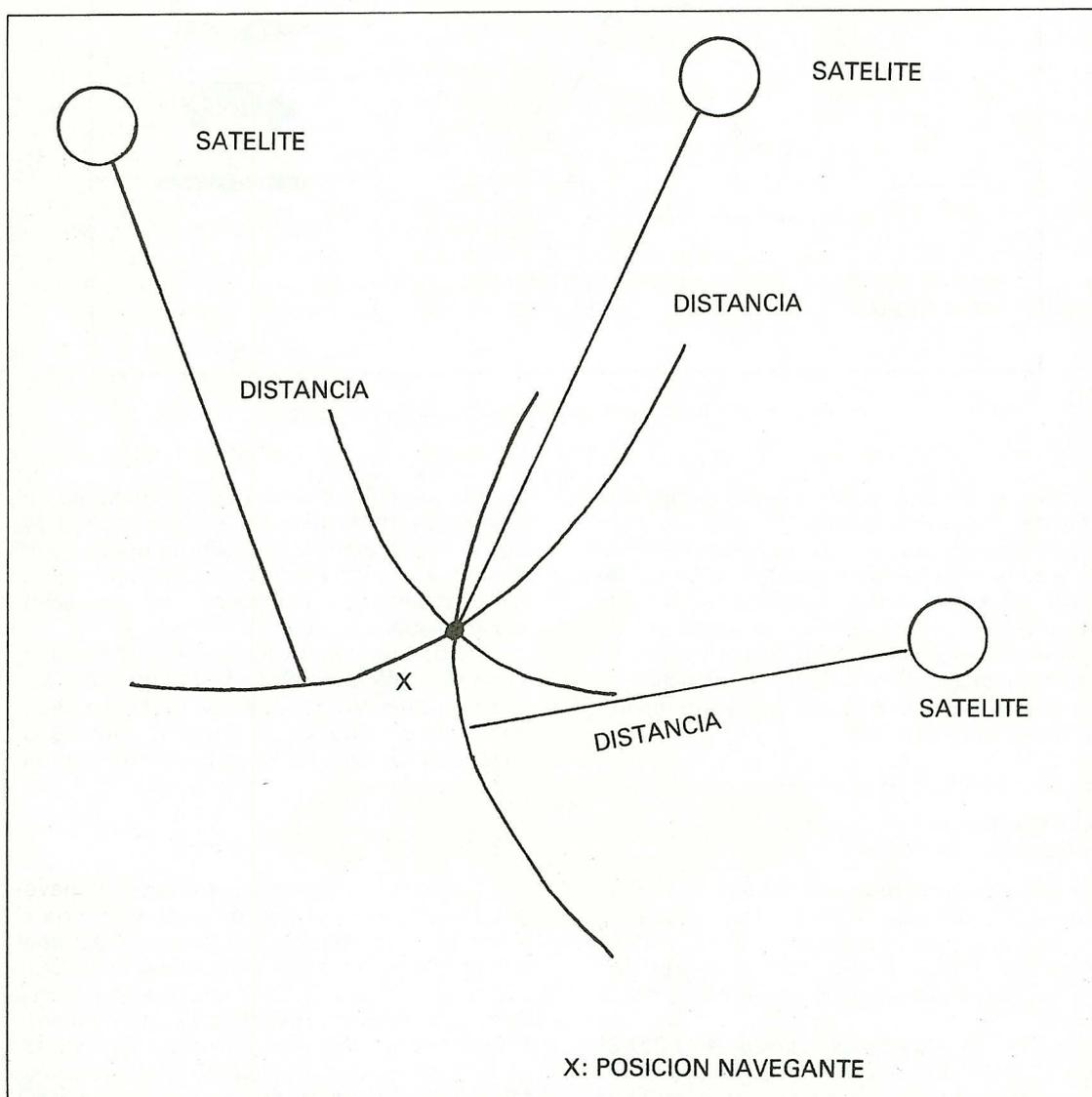
Obtención de la posición

Como ya se indicó, para obtener la posición el GPS se basa en el principio de calcular las distancias a los satélites. Esto se logra midiendo el tiempo que transcurre desde la emisión de la señal hasta la recepción, el que se

multiplica por la velocidad de la luz para obtener la distancia. El punto donde se cortan las distancias es la posición del navegante.

Obviamente, esta explicación no considera los errores que deben corregirse, como:

- Desfase horario entre el satélite y el observador.
- Efectos atmosféricos tales como retrasos troposféricos y paso de la señal por la ionosfera.
- Diferencias entre los elipsoides de referencia.



METODO PARA CALCULAR LA POSICION

Ventajas del GPS ante otros sistemas

Cobertura

Junto al sistema *Transit* tiene cobertura mundial; el *Omega* tiene un 90%; el *Decca* y el *Loran C* sólo tienen un 10% de cobertura de la Tierra.

Exactitud

Con el código C-A más o menos 25 m; con el código P más o menos 5 m.

El sistema *Transit* tiene una exactitud de más o menos 100 m, dependiendo de la exactitud en el dato de la velocidad que recibe el equipo.

En los sistemas *Loran C* y *Decca* la exactitud depende en gran medida de la ubicación del buque con respecto a los transmisores.

Condiciones meteorológicas

El GPS y el *Transit* son indiferentes a las condiciones meteorológicas. El *Omega* es afectado por las tormentas.

Interferencias

No está afectado por ninguna interferencia electrónica. El *Loran C* y el *Decca* son altamente sensibles en caso de estas interferencias.

Otras ventajas

Aventaja al *Transit* en que éste no provee información continua de navegación, sólo proporciona posicionamiento cada una o tres horas y requiere de 15 minutos para obtener la situación.

CONCLUSIONES

El Sistema de Posicionamiento Global, con su gran exactitud, cobertura mundial, disponibilidad las 24 horas del día e inmunidad a las interferencias, constituye el sistema de navegación del futuro. Con su aparición, los requerimientos de seguridad, rapidez y economía que se le han exigido al navegante ahora podrán ser cumplidos con mayor facilidad, pero a la vez se deberá renovar las cartas antiguas para que el posicionamiento obtenido por el GPS pueda ser empleado en toda la cartografía.

BIBLIOGRAFIA

- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, Publicación 3031, 1ra. Edición, 1982, Capítulo 8.
- *Tecnología Militar*, N° 1-2/89, pp. 11-17.
- *Magellan Nav 1000 Plus, Use Guide*, apéndice A.

