

El sistema de navegación del futuro, hoy Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.)

JOSE TOLEDANO MANCHEÑO
Capitán de Aviación

"La dirección y situación de los vectores hacia los objetivos implica el conocimiento cada vez más preciso de la superficie terrestre y la búsqueda de sistemas de navegación precisos y de gran alcance".

EL 22 de febrero de 1978 ha de considerarse como una fecha que marca un nuevo hito en la historia de la geodesia, y el comienzo de la era de una nueva técnica de posicionamiento y navegación de muy alta precisión; este día fue puesto en órbita el primer satélite de la constelación NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging), desarrollada por el Depar-

tamento de Defensa (DOD) de los Estados Unidos y cuya utilización, de características eminentemente militares, ha dado lugar al Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.), que ha de permitir la navegación y posicionamiento en tiempo real y en cualquier lugar del planeta con precisión de unos pocos metros en coordenadas y algún nudo a elevadas velocidades.

El DOD americano y la OTAN dependerán exclusivamente del G.P.S. para sus necesidades de navegación de muy larga distancia, por lo que el proyecto se diseñó para ser extremadamente fidedigno, seguro y robusto.

La aplicación del sistema aún no está conseguida al 100%, pero es de gran interés reseñar que, tal como aparece en el último boletín del sistema recibido, las Fuer-

zas de Estados Unidos que intervinieron en la "Guerra del Golfo" han empleado 24.000 receptores G.P.S. como ayuda en el desarrollo de sus operaciones.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El Sistema G.P.S. está constituido por tres segmentos bien diferenciados (figura 1): Segmento Espacial, Segmento de control y Segmento utilitario.

Segmento Espacial: comprende la constelación NAVSTAR que en su época de total operatividad estará formada por 21 sa-

La precisión del G.P.S. está basada en la calidad de los relojes (osciladores) de muy alta estabilidad colocados a bordo de los satélites, lo que convierte al G.P.S. en una escala de tiempo sumamente exacta y accesible.

Segmento de Control: en la actualidad queda constituido por cuatro estaciones de rastreo y seguimiento (monitor stations) emplazadas en Hawai, Kwajalein, Ascensión y Diego García, y una estación principal (master control station) ubicada en Colorado Springs. Las primeras realizan un

recepción de las señales emitidas por los satélites y empleados para el posicionamiento (estático o cinemático) o para la precisa determinación de tiempo.

Básicamente, todos los receptores están integrados por una antena con preamplificador para captación de las señales emitidas por los satélites, un receptor con elementos físicos y lógicos necesarios para el control, seguimiento, registro, almacenamiento, visualización de los datos, etc., y un oscilador muy estable de Cuarzo, si bien tal estabilidad, fijada en el orden de un nanosegundo, es muy inferior a la de los satélites.

Diversas clasificaciones pueden establecerse para los receptores, según se considere el tipo de señal que reciben y procesan, las técnicas de medición, las modalidades de funcionamiento (cinemáticos o estáticos), la misión principal (tiempo o posicionamiento), etc.

FUNCIONAMIENTO DEL G.P.S.

Los principios básicos que respaldan el G.P.S. son bien sencillos, aunque el sistema en sí emplee alguno de los equipos de tecnología punta desarrollados hasta ahora. Para una más fácil comprensión, se dividirá el funcionamiento en cinco piezas conceptuales y se tomarán estas piezas paso a paso (figura 2).

Medida de la distancia receptor-satélite: el G.P.S. se basa en el cálculo de las distancias desde una estación receptora a varios satélites. Los satélites actúan como puntos de referencia fijos en el espacio (figura 3).

Si en un momento dado se localiza un satélite A y se mide la distancia al mismo, siendo ésta de 10.000 N.M., el lugar geométrico de los puntos en que puede encontrarse la estación desde donde se mide la mencionada distancia se estrecha realmente, reducién-

CONSTITUCION DEL SISTEMA GPS

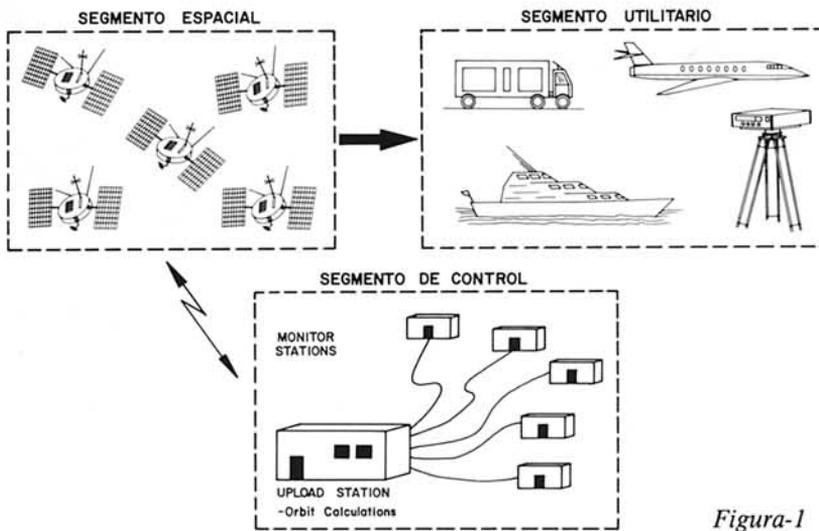


Figura-1

télites principales y 3 satélites de repuesto, cuyas características principales son:

- Altitud: alrededor de las 10.900 N.M.
- Período orbital: 12 horas.
- Lapso de vida planificado: 7.5 años.
- Plano orbital: 55 grados respecto al plano ecuatorial celeste.

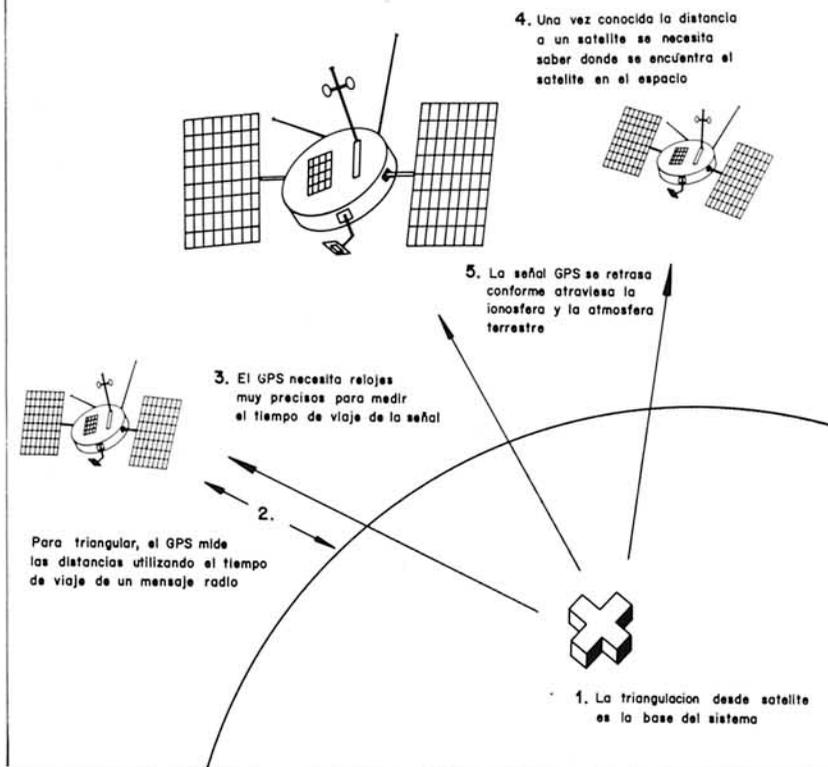
Esta configuración asegurará que sobre el horizonte de cualquier lugar de la Tierra serán simultáneamente visibles entre 4 y 7 satélites, por lo que tal constelación permitirá la continuidad de la observación durante las 24 horas del día.

seguimiento permanente de la constelación NAVSTAR, transmitiendo los datos recogidos en los mensajes de los satélites al Consolidated Space Operations Center, de la estación principal, donde con estas observaciones y las efemérides de referencia se calculan las efemérides de cada satélite para un período posterior. Esta información se inyecta desde la estación principal al receptor colocado a bordo de cada satélite.

Segmento Utilitario: este segmento queda constituido por todos los equipos, permanentes y ocasionales, utilizados para la re-

COMO FUNCIONA EL GPS

Figura-2



dose a una esfera con centro en el satélite y de radio 10.000 N.M.

Si en ese mismo instante se mide una segunda distancia a un satélite B, siendo de 10.500 N.M., el nuevo lugar geométrico quedará reducido a la intersección de dos esferas, dando como resultado un círculo.

Una tercera medición simultánea a un satélite C, p.e. de 11.000 N.M., reduce la nueva solución a dos puntos perfectamente definidos sobre el círculo.

¿Cómo decidir cuál de estos dos puntos es la verdadera posi-

ción? La solución más sencilla sería aportada por una cuarta medición a un satélite D, pero, generalmente, una de las soluciones es absurda. Los ordenadores en los receptores G.P.S. disponen de varias técnicas para distinguir los puntos correctos de los incorrectos.

Por razones de precisión y comprobación de los segmentos espacial y de utilitario se hará necesaria una cuarta medición.

Método de medición de la distancia a un satélite: el sistema G.P.S. funciona midiendo el tiem-

po que tarda una señal en llegar hasta la Tierra desde un satélite, y calculando posteriormente la distancia a partir de ese tiempo.

El sistema emplea para la comparación de tiempos (salida-llegada) grupos de secuencias binarias que presentan características de ruido pseudoaleatorio (Pseudo Random Noise, PRN) cuidadosamente elegidas que en realidad se repiten cada milisegundo. El código PRN permite al DOD controlar el acceso al sistema. Existen dos formas de código pseudo-aleatorio, una denominada código P y la otra código C/A.

El código P o PPS (Precise Positioning Service) queda reservado por el DOD para los usuarios autorizados, en general organizaciones militares (Fuerzas Armadas de Estados Unidos, OTAN y Australian Defense Forces) y, excepcionalmente, civiles (Defense Mapping Agency, National Geodetic Survey). El empleo de la técnica Anti-Spoofing (A-S) permite la transformación del código P en código Y, impidiendo incluso el acceso con la máxima precisión permitida a los usuarios autorizados.

El código C/A o S (Standard Positioning Service) permite el acceso a los usuarios no autorizados al empleo de máxima precisión, pudiendo llegar estos a un posicionamiento absoluto instantáneo de 100 ms. El DOD puede aplicar la técnica de Disponibilidad Selectiva (S-A) sobre el código S para perturbarlo en aquel momento que lo considere necesario.

Procedimiento para alcanzar un perfecto sincronismo emisor-receptor: ha de tenerse en cuenta que una falta de sincronismo entre los relojes del emisor y del receptor de 1/100 de segundo provocaría un error, debido únicamente a este motivo, de 3.000 Km.

Cada satélite porta 4 relojes atómicos para asegurarse de que, al menos, uno de ellos está funcionando en perfectas condiciones.

CALCULO DE LA SITUACION DE UN RECEPTOR GPS POR MEDIDAS A VARIOS SATELITES

Figura-3



La lógica de los receptores permite desechar aquellas distancias a los satélites que, traducidas al tiempo de emisión-recepción, no sean coherentes con, al menos, tres de las recibidas de otros satélites.

Posición de un satélite en el espacio en un momento dado: los satélites que componen la constelación NAVSTAR orbitan alrededor de la Tierra según un algoritmo matemático bastante simple; las órbitas en que la Fuerza Aérea inyecta cada satélite son conocidas con anterioridad, por lo que algunos receptores disponen en su ordenador de un "almanaque" con las posiciones de los satélites en cada instante. No obstante, para mayor exactitud,

las estaciones monitoras calculan, dos veces al día (paso cada 12 horas) los denominados "errores de efemérides" producidos principalmente por fenómenos tales como la atracción gravitacional de la Luna y el Sol, y la presión de la radiación solar (viento solar).

Los satélites G.P.S. no sólo transmiten un código de pseudo distancia a fin de medición del tiempo, sino que transmiten también un mensaje de datos acerca de su exacta situación orbital y de la "salud" del sistema.

Correcciones a introducir en la onda electromagnética recibida: el sistema, desde su concepción, se diseñó para que cualquier fuente de error habitual en otros

métodos que emplean satélites fuera obviada. Pero, tan perfecto y robusto como el sistema parece ser, existen algunas fuentes de error muy difíciles de eliminar.

El más significativo de estos errores radica en la ionosfera terrestre, cuyas partículas cargadas eléctricamente afectan a la velocidad de la luz. Las ondas emitidas desde el satélite se adelantan o atrasan según la capa atmosférica que encuentren (figura 4). Existen dos soluciones a este problema: predecir la variación de velocidad en un día medio "tipo" o medir la variación de la señal examinando las velocidades relativas de dos señales diferentes emitidas en el mismo instante (ritmo de avance inversamente proporcional al cuadrado de su frecuencia).

El G.P.S. adopta la segunda solución denominada "solución libre de influencia ionosférica".

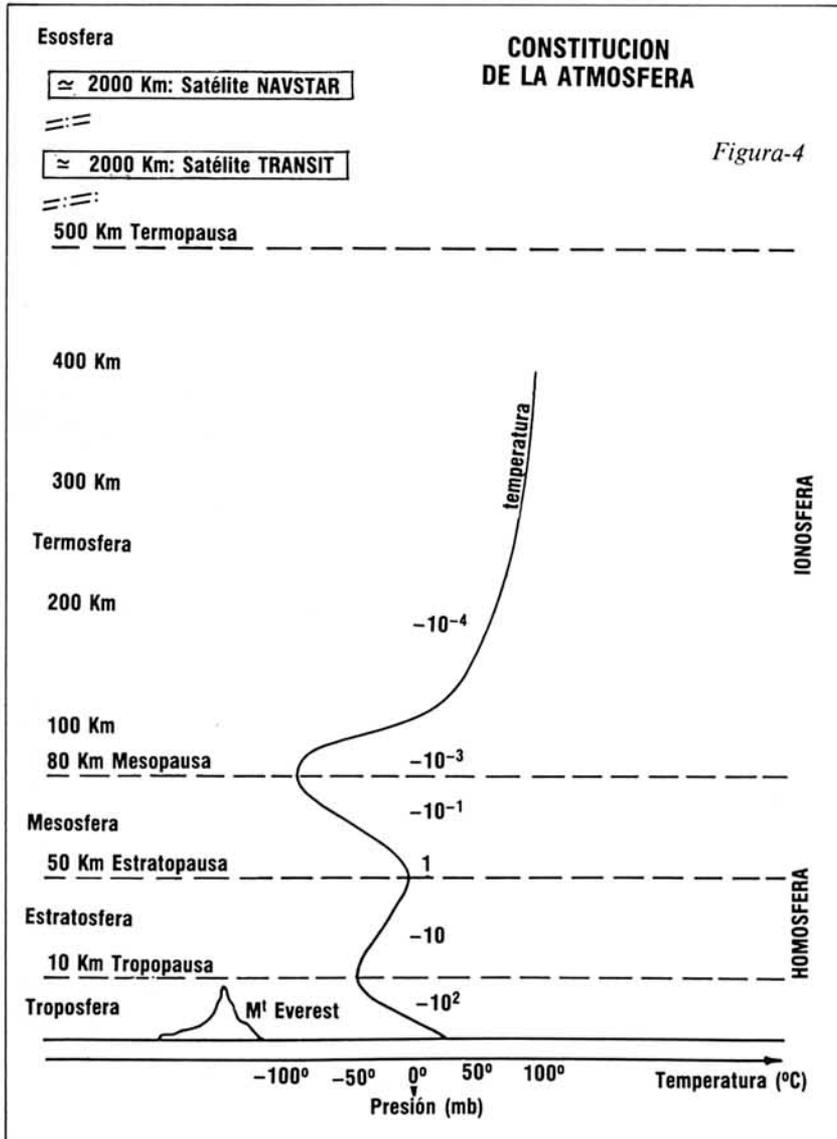
Otros tipos de error son: El vapor de agua existente en la atmósfera, pequeñas variaciones en los osciladores atómicos, error "multisenda", rebote de las ondas antes de llegar a los receptores.

PRECISION DEL SISTEMA

Todos los errores, considerados en su conjunto, introducen el concepto de incertidumbre, lo cual lleva al planteamiento del error medio cuadrático esférico (S.E.P.), que nos definirá la precisión del sistema.

Los factores que limitan la precisión del posicionamiento GPS pueden resumirse en: geometría de la constelación observada, precisión con que pueden eliminarse los efectos troposférico e ionosférico, precisión de la técnica de medición, precisión de las efemérides, error del receptor, instrumental y relativista.

La estimación de errores, en posicionamiento, puede distribuirse, atendiendo a las fuentes de error que los motivan, en los márgenes que aparecen en la Tabla I.



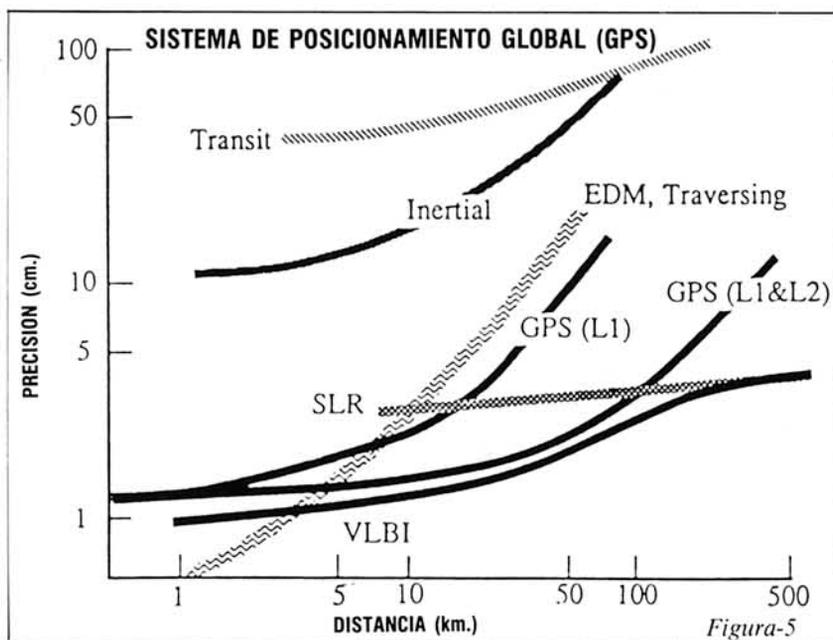


Figura-5

Tabla I

FUENTE DE ERROR PIES

- Reloj del satélite	2 - 33
- Efemérides	2 - 5
- Atmosférico-ionosférico	8 - 18
- Interferencias estación	4 - 8
- Instrumental del receptor	4
- Instrumental del satélite	3 - 5
Error Total:	11 - 39 pies

Para calcular el error real se habrá de multiplicar el total precedente de las fuentes de error por el GDOP (Dilución de Precisión Geométrica), función principalmente de la geometría observada en la constelación), pudiendo observarse la precisión definitiva en la Tabla II.

Actualmente se ha desarrollado un método, llamado diferencial, que permite aumentar la precisión entre 10 y 20 veces.

En la figura 5 se puede observar la precisión del G.P.S. comparándola con otro sistema en vigor actualmente.

G.P.S.: UN NUEVO CONCEPTO DE NAVEGACION PRECISA

El Sistema de Posicionamiento Global, concebido en su origen como un sistema de navegación para reducir gran parte de los existentes hasta entonces, se ha convertido en el procedimiento más preciso y fiable para dotar de coordenadas tridimensionales a cualquier punto de la superficie terrestre y sus inmediaciones.

Tabla II

PRECISION FINAL

- Típica, buen receptor, sin S/A 80 pies
- Típica, buen receptor, con S/A .. 290 pies
- Peor caso 350 pies

Para un móvil, y por el método cinemático, las precisiones máximas alcanzadas hasta este momento, con la constelación aún no completa (el satélite número 16 fue enviado al espacio el pasado mes de enero), han sido:

- Error en velocidad .. 0.25% IAS (1 Kt. a 400 Kt.)
- Error en posicionamiento 86 pies

Ampliamente experimentado y comprobado en navegación marítima y conducción terrestre de vehículos (proyecto AVL), se están desarrollando lógicas cada vez más potentes capaces de plasmar, analítica o gráficamente, las posiciones de un móvil con la precisión anteriormente expresada.

Entre la información suministrada por los equipos, cabe destacar: aspectos de avance de la aeronave (GS, deriva, componentes del W, etc.), presentación en pantalla de la ruta preprogramada, ruta real y todas las radioayudas existentes en la zona, así como zonas de uso especial para el vuelo, cartografía digitalizada, posibilidad de introducción en memoria de 100 rutas preprogramadas y 300 way-points, etc.

En tierra, estas presentaciones pueden suplir o complementar a las pantallas de radar tipo PPI, mostrando la verdadera orografía del terreno y obstáculos bajo el destello indicador de las presencias de aeronaves.

Otras aplicaciones de este sistema son: asignación de coordenadas necesarias para la confección de planos y cartas (apoyo fotogramétrico), consecución de localizaciones en el terreno para ayuda en la labor del FAC, seguimiento del movimiento de vehículos y unidades armadas.

El Sistema garantiza una cobertura mundial y emplea un sistema de referencia único, lo que ha llevado a EEUU a adaptarlo en todos los Sistemas de Armas apoyados en ubicaciones geográficas, y en Europa se ha adoptado como sistema de navegación avanzado para el EFA y otros proyectos internacionales. ■

BIBLIOGRAFIA

- Ciencias espaciales y seguimiento de satélites. NASA SP-44.
- Sistema de Posicionamiento Global. Caturla Sánchez de Neira, J; MOPU (IGN) 1988.
- Geodesia por satélites. Cte. González Martín; Talleres Servicio Geográfico Ejército.
- Principle of operation of NAVSTAR AND SYSTEM CHARACTERISTICS GLOBAL POSITION SYSTEM. Milliken, R; Volumen I (1989).
- Utilisation du système GPS pour la détermination des coordonnées précises d'un point. Bonin, G. (1988).
- Problems of accuracies in combined terrestrial and satellite control Networks. Universitat der Funderwher. Munich.
- NAVSTAR GPS. Simulation and analysis program. Kalafus, R.; Knable, N.; Kraemer, J. and Vilcañs, J. (1983).