

## Capítulo N° 15

### “SISTEMA GLOBAL DE POSICIÓN (GPS)”

**Ref.:** Admiralty Manual of Navigation BRd 45 (3) “Navigation Systems, Equipment & Instruments. (1966)

#### A.- Introducción

Sistema de Posicionamiento Global, conocido también como GPS, es un sistema de navegación basado en 24 satélites, que proporcionan posiciones en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas. Al no haber comunicación directa entre el usuario y los satélites, el GPS puede dar servicio a un número ilimitado de usuarios.

#### B.- Historia y Desarrollo

Dirigido por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, el Sistema de Posicionamiento Global Navstar se creó en 1973 para reducir los crecientes problemas en la navegación. Al ser un sistema que supera las limitaciones de la mayoría de los sistemas de navegación existentes, el GPS consiguió gran aceptación entre la mayoría de los usuarios. Desde los primeros satélites, se ha probado con éxito en las aplicaciones de navegación habituales. Como puede accederse a sus funciones de forma asequible con equipos pequeños y baratos, el GPS ha fomentado muchas aplicaciones nuevas.

#### C.- Características

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) está disponible en dos formas básicas: SPS, iniciales de Standard Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Estándar), y PPS, siglas de Precise Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Preciso). El SPS proporciona la posición absoluta de los puntos con una precisión de 100 m. El código PPS permite obtener precisiones superiores a los 20 m; este código estaba accesible sólo a los militares de Estados Unidos y sus aliados, salvo en situaciones especiales. En la actualidad está abierto a todo usuario.

Las técnicas de mejora, como el GPS diferencial (DGPS), permiten a los usuarios alcanzar hasta 3 m de precisión. Los investigadores fueron los primeros en usar portadoras para calcular posiciones con una precisión de 1 cm.

#### D.- Funcionamiento del GPS

Los satélites GPS llevan relojes atómicos de alto grado de precisión. La información horaria se sitúa en los códigos de transmisión mediante los satélites, de forma que un receptor puede determinar en cada momento en cuánto tiempo se transmite la señal. Esta señal contiene datos que el receptor utiliza para calcular la **ubicación de los satélites** y realizar los ajustes necesarios para precisar las posiciones. El receptor utiliza la **diferencia de tiempo** entre el momento de la recepción de la señal y el tiempo de transmisión para calcular la distancia al satélite. El receptor tiene en cuenta los retrasos en la propagación de la señal debidos a la ionosfera y a la troposfera. **Con tres distancias a tres satélites y conociendo la ubicación del satélite** desde donde se envió la señal, el receptor calcula su posición en tres dimensiones.

Sin embargo, para calcular directamente las distancias, el usuario debe tener un reloj atómico sincronizado con el Sistema de Posicionamiento Global. Midiendo desde un satélite adicional se evita que el receptor necesite un reloj atómico. **El receptor utiliza cuatro satélites para calcular la latitud, la longitud, la altitud y el tiempo.**

La distancia a cada satélite es determinada haciendo uso de la siguiente forma.

$$PR = c \times \Delta t$$

$c$  = Velocidad de la luz

$\Delta t$  = Tiempo de recorrido de la señal desde el satélite al receptor

Siendo el diferencial de tiempo la variable que se exige mayor precisión.

Para determinar la distancia real de cada satélite se debe corregir la distancia de acuerdo a la siguiente fórmula:

$R$  = Distancia real.

$PR$  = Distancia mediada.

$c$  = Velocidad de la Luz.

$\Delta t_a$  = Retraso en la propagación y otros errores.

$\Delta t_u$  = Corrección de reloj del receptor a partir de tiempo de sistema GPS.

$\Delta t_s$  = Corrección de reloj de satélite a partir de tiempo de sistema GPS.

$$R = PR - c \times (\Delta t_a + \Delta t_u - \Delta t_s)$$

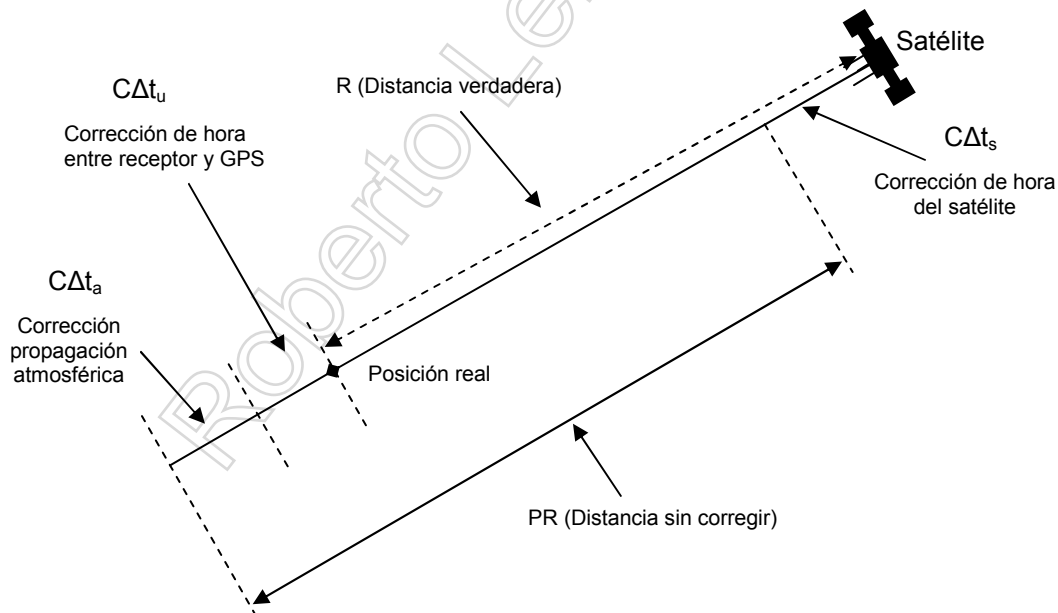
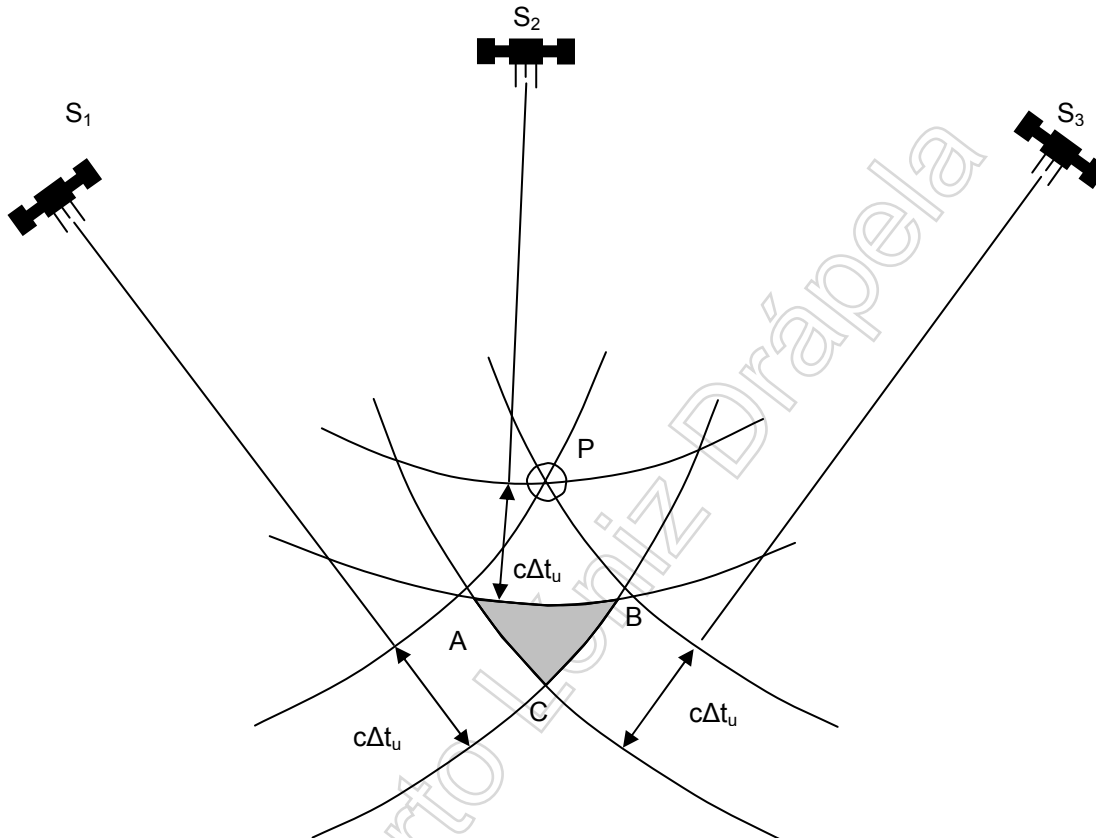


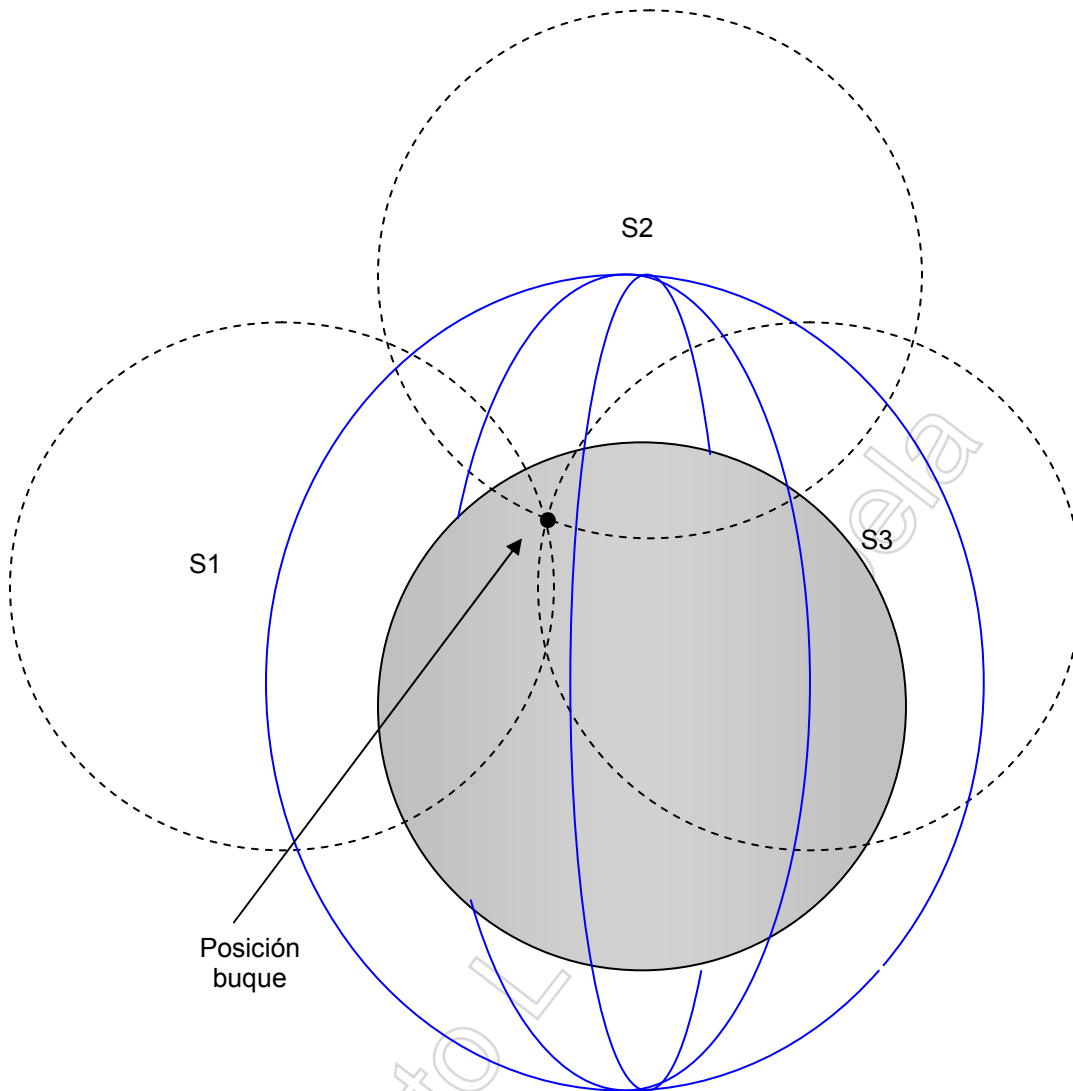
Fig. Nº 1 "Distancia medida de un satélite"

El efecto de error de reloj de receptor, al utilizar tres satélites simultáneamente para obtener una posición, se muestra en la Fig N° 2. Las distancias no se cortan en un punto, produciéndose un área ABC. Cada satélite tiene su propio error  $\Delta t_u$ , el cual puede ser restado para cada satélite, cortando las señales en el punto "P", que corresponde a la posición del usuario. Este error de reloj de receptor es calculado permanentemente desde el momento que se recibe la señal del satélite.



**Fig. N° 2 Corrección por error de recepción de la hora.**

Conociendo la distancia, desde el satélite al receptor; la posición espacial de cada satélite, es posible determinar geoméricamente la posición del receptor, ya que cada satélite es el centro de una esfera con centro en un punto conocido y de radio calculado. Ver Fig N° 3.



**Fig. N° 3 “La tierra, los tres satélites con sus órbitas y posiciones conocidas y el corte del lugar geométrico de las esferas, proporciona la posición del buque”.**

#### E.- Partes del GPS

El GPS consta de tres divisiones: espacio, control y usuario.

- 1.- La división espacio incluye los satélites y los cohetes Delta que lanzan los satélites desde Cabo Cañaveral, en Florida, Estados Unidos. Los satélites GPS se desplazan en órbitas circulares a 17.440 km de altitud, invirtiendo 12 horas en cada una de las órbitas. Éstas tienen una inclinación de  $55^\circ$  para asegurar la cobertura de las regiones polares. La energía la proporcionan células solares, por lo que los satélites se orientan continuamente dirigiendo los paneles solares hacia el Sol y las antenas hacia la Tierra. Cada satélite cuenta con cuatro relojes atómicos.

- 2.- La división control incluye la estación de control principal en la base de las Fuerzas Aéreas Falcon, en Colorado Springs, Estados Unidos, y las estaciones de observación situadas en Falcon AFB, Hawai, en la isla de Ascensión en el Atlántico, en Diego García en el océano Índico, y en la isla Kwajalein en el Pacífico sur. Las divisiones de control utilizan las medidas recogidas en las estaciones de observación para predecir el comportamiento de las órbitas y relojes de cada satélite. Los datos de predicción se conectan a los satélites para transmitirlos a los usuarios. La división control también se asegura de que las órbitas de los satélites GPS permanezcan entre los límites y de que los relojes no se alejen demasiado del comportamiento nominal.
- 3.- La división usuario es un término en principio asociado a los receptores militares. Los GPS militares utilizan:
  - En el ámbito de la navegación, equipos integrados en armas de fuego, armamento pesado, artillería, helicópteros, buques, submarinos, carros de combate, vehículos de uso múltiple y los equipos individuales para soldados.
  - Aplicación en el campo militar incluye designaciones de destino, apoyo aéreo, municiones 'terminales' y puntos de reunión de tropas.
  - Lanzadera espacial está dotada de un Sistema de Posicionamiento Global.

Con más de medio millón de receptores de GPS, los usuarios civiles tienen una división propia, grande y diversa. Incluso antes de que todos los componentes de los satélites estuvieran en órbita, los investigadores utilizaban el Sistema de Posicionamiento Global para adelantar días o semanas los métodos oficiales de investigación.

El GPS se usa hoy en:

- Aeroplanos y barcos para dirigir la navegación en las aproximaciones a los aeropuertos y puertos.
- Los sistemas de control de seguimiento envían camionetas y vehículos de emergencia con información óptima sobre las rutas.
- El método denominado 'granja de precisión' utiliza el GPS para dirigir y controlar la aplicación de fertilizantes y pesticidas.
- También se dispone de sistemas de control de seguimiento como elemento de ayuda a la navegación en los vehículos utilizados por excursionistas.

## **F.- Aplicaciones Futuras**

En la actualidad hay 24 satélites GPS en producción, otros están listos para su lanzamiento y las empresas constructoras han recibido encargos para preparar más y nuevos satélites para el siglo XXI. Al aumentar la seguridad y disminuir el consumo de carburante, el Sistema de Posicionamiento Global será el componente clave de los sistemas aeroespaciales internacionales y se utilizará desde el despegue hasta el aterrizaje. Los conductores lo utilizarán como parte de los sistemas inteligentes en carretera y los pilotos para realizar los aterrizajes en aeropuertos cubiertos por la niebla y otros servicios de emergencia. El sistema ha tenido una buena acogida y se ha generalizado en aplicaciones terrestres, marítimas, aéreas y espaciales.

#### G.- **EL GPS EN LA ARMADA**

Prácticamente todas las unidades de la Armada, de superficie, aéreas y de la Infantería de Marina, cuentan con este moderno sistema de posicionamiento, constituyendo una excelente ayuda a la navegación. Además el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada emplea el DGPS para los levantamientos hidrográficos, tema que será tratado en el Capítulo 9.

La operación de estos equipos es sencilla. Entregan la información de Posición y hora a los sistemas de mando y control de las unidades, en particular a los computadores de las CIC. (Sistema IMAGEN).

En el puente de mando, este equipo proporciona la posición, la cual nos permite compararla con la obtenida por medios visuales o por radar, debiendo tener presente, que el GPS puede tener un error de aproximadamente +/- 30 mts.

A lo anterior habrá que sumarle el error propio de la cartografía antigua, que en ocasiones aumenta significativamente el error de este instrumento satelital.

**Por todo lo anterior, en navegación costera, no se debe emplear como método primario de situación.**

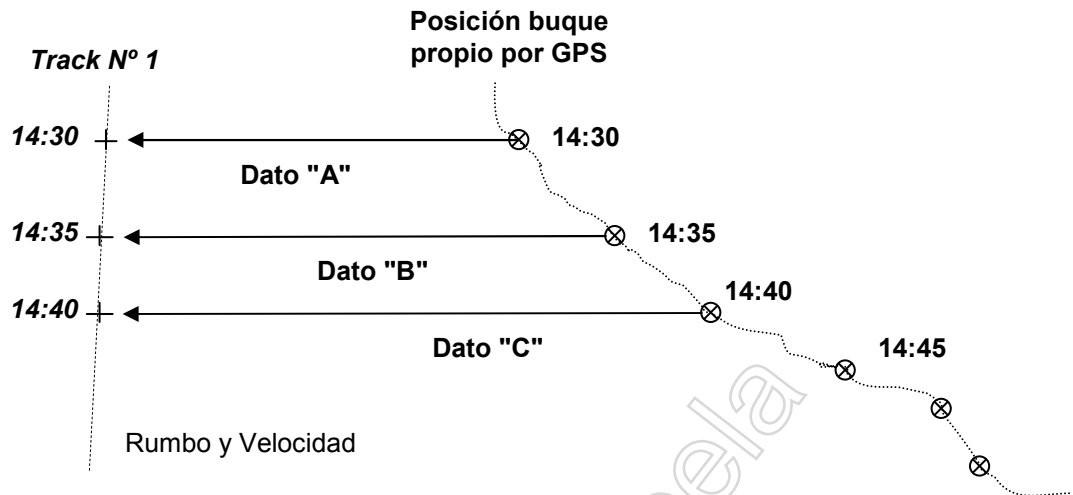
#### H.- **PROGRAMAS DESARROLLADOS PARA GPS.**

Prácticamente todos los programas de Puente y de CIC que se han desarrollado en la Armada, ya sea el Centro de Desarrollo de Software de la Armada o por algunos oficiales que tiene como pasión la computación, han empleado últimamente la información digital entregada por el GPS.

A modo de ejemplo destacamos el sistema **"GOP ELECTRONICO"** para las unidades navales,. Esta recibe la señal de GPS y con la carta digital del área que se navega, nos entrega la información gráfica de la posición del buque referida directamente a la carta digital.

Otro programa desarrollado es el sistema **"DATA PLOT" o "PLOTTER"** existentes en varias versiones y opciones, destacando las desarrolladas para los Centros de Mando y Control terrestres, para Análisis de Encuentros Tácticos, para Exploración Aeromárítima, entre otras variantes. En todas ellas se recibe la información digital del GPS, la información de demarcación y distancia los contactos y con las formulas de estima, ya explicadas en este capítulo, nos proporcionarán la información requerida para el campo táctico.

A modo de ejemplo, se ha querido mostrar un programa de computación muy simple, donde se recibe la señal de posición de GPS (Hora, Latitud y Longitud) y se le ingresa periódicamente la información de demarcación y distancia a un contacto.



**Pasos que se efectuarían para determinar el rumbo y velocidad del Track N° 1 (Contacto).**

- 1.- Conocer la posición (L1 - G1) del buque propio en el momento (Hora 14:30) de la demarcación y distancia al contacto.
- 2.- Ingresar la Demarcación y Distancia al contacto. (Dem 1 - Dist 1).
- 3.- Mediante las Fórmulas de Estima se determina la posición del contacto. (Lc1 - Gc1). Esta información la archivamos para emplearla posteriormente (Hora 1- Lc1 - Gc1 - Track N° 1)
- 4.- Se repite el proceso para las 14:35, es decir se calcula la posición del contacto (Hora2 - Lc2 - Gc2 - Track N° 1).
- 5.- Conociendo la posición del contacto de las 14.30 y de las 14:35, emplearemos la formula de estima para determinar el rumbo y velocidad de contacto entre ambas horas.
- 6.- Problema resuelto. Sin embargo será necesario repetir el proceso con otra dato (14:40) para confirmar los datos calculados. La respuesta puede ser entregada en forma numérica o gráfica, de acuerdo al programa que se desarrolle.
- 7.- Este proceso se repetirá tantas veces se tenga información del contacto. Con la ayuda de un computador, las operaciones matemáticas se harán rápidas y sin error. El mayor problema radica en la obtención e ingreso de la información. Tema que será visto en el curso de especialidad.

**Nota:** Con la ayuda del GPS se facilitará enormemente los cálculos cinemáticos en la mar, ya que se contará con la posición propia y de las fuerzas amigas con una exactitud razonable, facilitando la toma de decisiones.

**Fin Capítulo 15**

Roberto Léniz Drápela