

Capítulo 2

GNSS Sistema Global de Navegación por Satélite

“El hombre razonable se adapta al mundo; el irrazonable intenta adaptar el mundo a si mismo. Así pues, el progreso depende del irrazonable”

George Bernard Shaw

2.1 Introducción

Bajo el acrónimo de GNSS (Global Navigation Satellite Systems) se engloban todas las técnicas de posicionamiento mediante satélites, la más conocida de ellas es el GPS (Global Navigation Satellite System) pero hoy en día existen tanto de forma combinada como aislada otras técnicas disponibles como GLONASS, y los futuros sistemas GALILEO y COMPASS/ BEIDOU.

Los sistemas GNSS cubren todas las posibilidades de posicionamiento mediante satélites, algunos ejemplos sencillos son:

- Posicionamiento mediante código autónomo.
- Posicionamiento diferencial mediante correcciones diferenciales con GPRS/UTMS (Proyecto RECORD/EUREF-IP, RAP), mediante RDS (Proyecto RECORD/RASANT) en España.
- Redes GPS de alta precisión para estudios geodinámicos (ERGPS).

El mercado del posicionamiento por satélite va más allá del propio posicionamiento en sí, siendo sistemas imprescindibles para la transferencia precisa de tiempo, actualización directa de cartografía, sistemas de guiado automático de vehículos, combinación con sensores inerciales para la determinación de posición y orientación de sensores aerotransportados etc.

2.2 Sistema Global de Navegación por Satélite

Actualmente, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos de América y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) de la Federación Rusa forman parte del concepto GNSS. Además de los futuros sistemas GALILEO de la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea, y COMPASS/BEIDOU desarrollado por China.

2.2.1 GPS

El origen y finalidad del sistema fue la navegación. Su predecesor fue el sistema militar TRANSIT, en servicio desde 1967. NAVSTAR GPS (*NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System*) es un sistema de radio navegación por satélite que provee a usuarios de coordenadas precisas de posicionamiento tridimensional e información sobre navegación y tiempo. Se empezó a desarrollar en 1973 como mejora de TRANSIT y aunque con un uso militar en principio, pasó a ser un sistema de uso civil con ciertas restricciones, siendo utilizado para fines geodésicos prácticamente desde 1983. La configuración final del sistema GPS fue alcanzada en 1994, con 24 satélites utilizables.

La idea básica del posicionamiento simple con GPS se basa en la medición de distancias (o mejor dicho, pseudodistancias⁵) desde satélites al receptor a través de la medición del tiempo. Una trilateración inversa en el espacio, conociendo las coordenadas de al menos 3 satélites permitirá obtener nuestras coordenadas.

(5) En el apartado siguiente se hablará en mayor profundidad del sistema GPS

2.2.2 GLONASS

El sistema GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) surge como sustitución del sistema doppler TSIKADA, está administrado por las Fuerzas Espaciales Rusas y consta de 24 satélites en 3 órbitas de 64.8° de inclinación a 19100 km de altitud. Los satélites están dotados con osciladores de Cesio y vida útil de 3 años. El Sistema de Tiempo de GLONASS se denomina GLONASST y transmite con dos frecuencias utilizando el Acceso de Frecuencia de División Múltiple $L1=1602\text{MHz} + n*0.5625\text{MHz}$ donde "n" es entero y distinto para cada satélite.

Aunque GPS y GLONASS son sistemas diferentes tienen posibilidad de uso combinado.

Los problemas que surgen de esta combinación son:

1. Diferente Sistema de Tiempo. Tiempo GPS y GLONASST.
 - Solución, ambos mensajes de navegación contienen la diferencia con TUC (Tiempo Universal Combinado).
2. Diferente Sistema de Referencia: WGS84 y PZ-90.
 - Solución, pasando todos los satélites a WGS84. Conociendo posiciones de varios satélites GLONASS en ambos sistemas se halla la transformación por mínimos cuadrados. La posición de satélites GLONASS en WGS84 se calcula por estaciones de seguimiento por todo el mundo empleando por técnicas láser, radar y ópticas.

Las ventajas son el mayor número de satélites, hasta 48 que redundan en:

- Zonas de poca visibilidad tienen más probabilidad de captar satélites.
- Tiempo de inicio es menor (tiempo de primera posición fija)
- Mayor integridad o confianza en los datos calculados, para un mismo tiempo de observación.
- Consigue mitigar el efecto de la disponibilidad selectiva cuando estaba activa, GLONASS no tiene recortes en precisión.

2.2.3 GALILEO

Es desarrollado por la Unión Europea, y fundamentalmente por la Agencia Espacial Europea (ESA), consiste en un sistema civil independiente, pero con intención de ser complementario e interoperable con GPS y GLONASS, de cobertura mundial y nivel de prestaciones equivalentes al GPS Bloque IIF. Estaba previsto que fuera operativo en el año 2008, pero se ha ido retrasando y aún no tiene fecha definitiva de comienzo de actividad. Actualmente tiene dos satélites en órbita (GIOVE-A y GIOVE-B), aunque estos dos satélites no formarán parte de los treinta satélites del sistema Galileo que la Agencia Espacial Europea pondrá en órbita hasta finales de 2013, sino que servirá para verificar diferentes elementos técnicos del mismo.

2.2.4 COMPASS/BEIDOU

Compass/Beidou es el sistema de posicionamiento por satélite que está desarrollando el estado Chino. Dispondrá de cinco estaciones terrestres y una constelación de 30 satélites, de los cuales cinco satélites ya han sido lanzados.

Compass/Beidou ofrecerá dos tipos de servicios, uno abierto y con un margen de error de 10 metros, y otro solo autorizado para determinados clientes que ofrecerá servicios más precisos y con mayores medidas de seguridad.

2.3 GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

En 1960, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DOD), empezó el estudio y desarrollo de un sistema global y continuo de navegación conocido como GPS. Este sistema está operativo desde el año 1994 y está controlado por las Fuerzas Aéreas Norteamericanas.

2.3.1 Constitución del sistema

El sistema GPS está constituido por tres sectores fundamentales: el sector espacial, el sector de control y el sector usuario.

2.3.1.1 EL SECTOR ESPACIAL

Está constituido por los satélites de la constelación NAVSTAR. En la actualidad esta constelación está formada por un total de 27 satélites, de los cuales 3

son de reserva y los otros 24 están distribuidos en 6 planos orbitales (cada uno de ellos con 4 satélites en una órbita prácticamente circular), a 20.180 Km de altitud. Estos 6 planos están igualmente espaciados entre sí en 60° y forman un ángulo de unos 55° con el plano definido por el Ecuador. Ésta es la constitución teórica de la constelación NAVSTAR, pero en realidad, y debido a que la vida útil de algunos satélites ha sido mayor de lo esperado, a día de hoy hay un total de 31 satélites operativos.

La constelación NAVSTAR, así configurada permite que sobre el horizonte de cualquier lugar de la Tierra puedan verse simultáneamente entre 6 y 11 satélites, lo cual posibilita la continuidad de las observaciones durante las 24 horas del día.

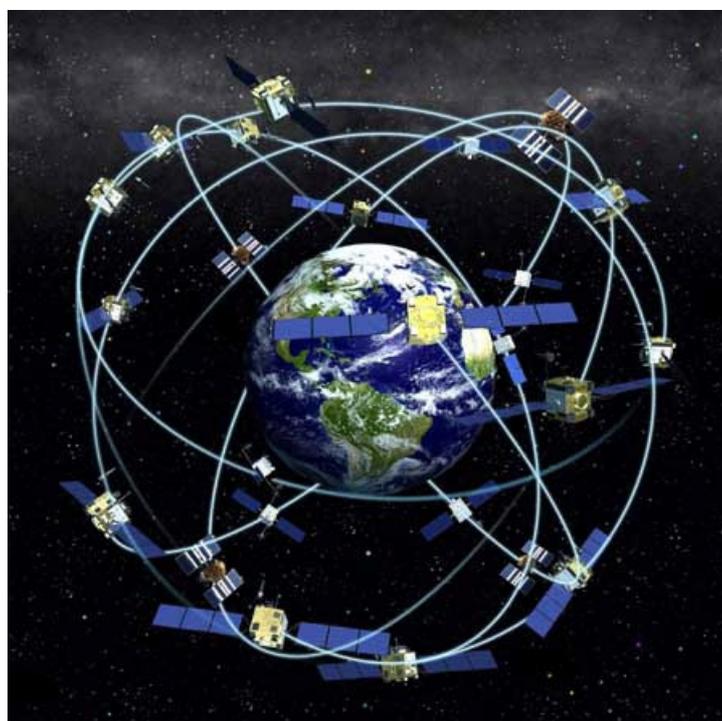


Figura 1. Constelación NAVSTAR

Los satélites tienen una serie de antenas emisoras que funcionan en la banda L del espectro, que son las encargadas de enviar a la superficie terrestre las señales que se recibirán. También tienen otra antena emisora-receptora, operando en banda S, para intercambiar información con el centro de control en Tierra.

La identificación de los satélites se puede hacer por varios sistemas:

- Por el número NAVSTAR (SVN), que es el de orden de lanzamiento.
- Por la órbita y la posición que ocupa en ella.
- Por el número de catálogo NASA.
- Por la identificación internacional constituida por el año de lanzamiento, el número de lanzamiento en el año y una letra según el tipo.
- Por el número IRON (Integer Range Operation Number), que es un número aleatorio asignado por la Junta de Defensa Aérea Norteamericana NORAD de Estados Unidos y Canadá.

Pero fundamentalmente en la técnica GPS los satélites se identifican por su PRN o ruido pseudoaleatorio (Pseudo Random Noise), característico y exclusivo de cada satélite NAVSTAR en particular.

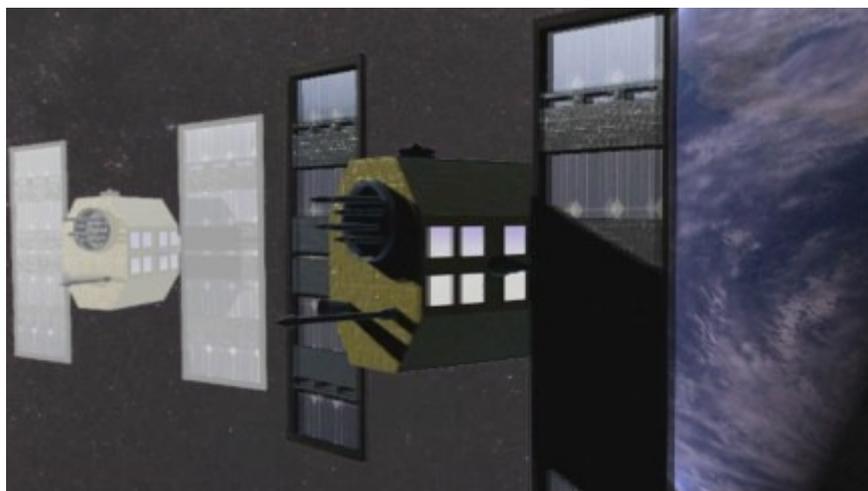


Figura 2. Satélite de la constelación NAVSTAR

- **Estructura de la señal emitida.**
 - **Portadoras:** El satélite emite sobre dos portadoras. Una es el resultado de multiplicar la fundamental (10,23 MHz.) por 154: 1575,42 MHz. que es llamada L1 (longitud de onda de 19,05 cm.). La otra usa un factor 120: 1227,60 MHz. y se llama L2 (longitud de onda de 24,45 cm.). La L es porque los valores usados están en la banda L de radiofrecuencia que abarca desde 1 GHz. a 2 GHz. Existe una tercera portadora L3, una combinación de L1 y L2, que elimina gran parte de las influencias ionosféricas.
 - **Códigos:** Sobre las portadoras L1 y L2, antes descritas, se envían por modulación dos códigos y un mensaje, cuya base también es la frecuencia fundamental 10,23 MHz. El primer código llamado C/A (Course/Adquisition) o S (Standard) es una moduladora usando la frecuencia fundamental dividida por 10, o sea 1,023 MHz. El segundo código, llamado P (Precise), modula

directamente con la fundamental de 10,23 MHz. Finalmente el mensaje se envía modulando en la baja frecuencia de 50 Hz.

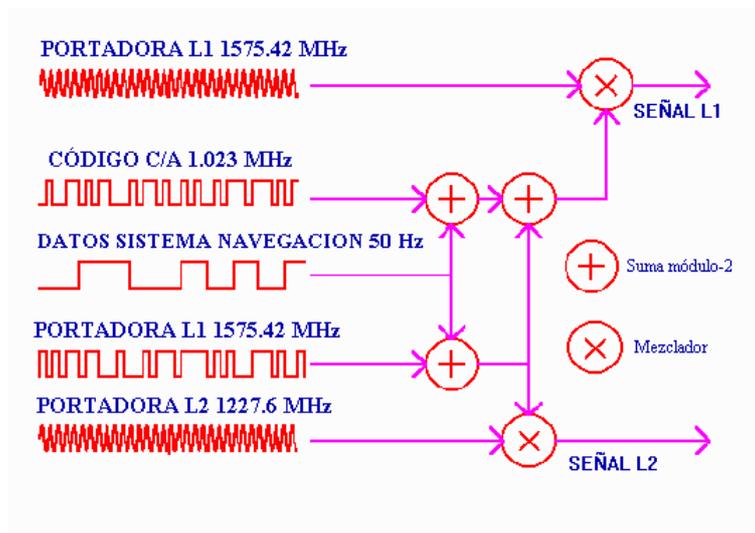


Figura 3. Señales de satélite NAVSTAR

2.3.1.2 EL SECTOR DE CONTROL

La constelación NAVSTAR está controlada desde Tierra a través de una serie de cinco estaciones oficiales de seguimiento repartidas por todo el planeta. Existe una estación central, Colorado Springs, y otras cuatro estaciones secundarias, Ascensión en el Atlántico Sur, Diego García en el Índico, Kwajalein en el Pacífico occidental y Hawai en el Pacífico oriental.



Figura 4. Estaciones de control de la constelación NAVSTAR

Las estaciones de seguimiento están espaciadas regularmente en longitud y sus coordenadas están determinadas con suma precisión. Su misión es la de estar en continua comunicación con los satélites, recibiendo las señales emitidas por éstos, para así poder determinar sus órbitas con gran exactitud.

Los datos recogidos por las estaciones secundarias son enviados a la principal, donde son debidamente procesados, calculándose las efemérides, el estado de los relojes, etc. Toda esta información se transmite a los satélites en los cuales queda almacenada, para ser transmitidos a los usuarios.

Por tanto es posible, desde Tierra, determinar las posiciones exactas de cualquiera de los satélites GPS en un momento determinado.

2.3.1.3 EL SECTOR USUARIO

Está formado por los instrumentos que los usuarios necesitan para utilizar el sistema GPS de cara a la navegación, posicionamiento, etc.

Básicamente un equipo GPS está compuesto por un receptor o sensor con antena que se comunica con los satélites, y por una unidad de control que permite la interoperatividad con el usuario.

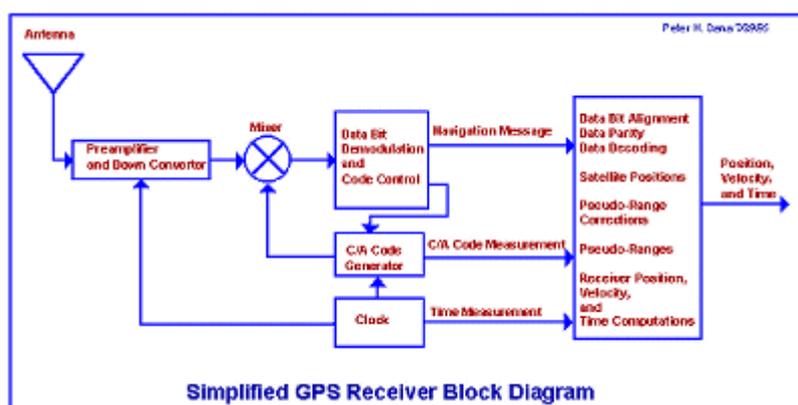


Figura 5. Diagrama de bloques de un receptor GPS

2.3.2 Principios de funcionamiento

La base de todo el sistema es una medición exhaustiva de la distancia que nos separa de los satélites.

2.3.2.1 SISTEMAS DE MEDIDA

Se puede realizar la medición de distancias de tres formas diferentes: por cuenta Doppler, por pseudodistancias o por medida de diferencia de fases.

- **Doppler**

La cuenta Doppler se basa en la medición del desplazamiento Doppler, que consiste en la variación aparente en el valor de la frecuencia en función de la velocidad de acercamiento o alejamiento de la fuente emisora.

El receptor de la señal GPS recibe durante un periodo la señal emitida por un satélite; esta señal se mezcla con la del oscilador local y se obtiene una señal diferencia. A partir de la variación de esta diferencia se puede establecer una cuenta denominada cuenta Doppler.

La cuenta Doppler entre dos posiciones concretas del satélite permite calcular una diferencia de distancias entre ambas posiciones del satélite y el receptor. Este método necesita de un tiempo de observación largo debido a la 'lentitud' de los satélites.

- **Pseudodistancias**

La pseudodistancia es el resultado de multiplicar la velocidad de la luz por el desplazamiento temporal necesario para alinear (correlar) una réplica del código GPS generado en el receptor, con la señal procedente del satélite GPS.

Para sincronizar la réplica con el original recibido, el instrumento va aplicando un retardo. Cuando el código recibido y la réplica generada tienen la misma forma, se mide el tiempo de retardo, que permite calcular una distancia, que no será precisamente la existente ya que, aunque se sabe el momento de emisión del satélite, porque el estado y marcha del reloj del satélite son conocidos por el mensaje, no se conoce el estado del reloj del receptor, es decir, si este tiene algún retardo o desfase

respecto al tiempo GPS. Por eso el valor hallado no es una distancia, sino una pseudodistancia.

Para calcular la posición hacen falta las mediciones de cuatro satélites, ya que no se conocen las tres dimensiones temporales y la incertidumbre que introduce el sesgo del reloj del receptor. La intersección de las esferas centradas en los satélites y con radio igual a la pseudodistancia medida da la posición del receptor.

Si el estado es conocido (usando un patrón atómico), o la altitud (navegación marítima), con sólo tres satélites se resuelve el posicionamiento tridimensional al dejar sólo 3 incógnitas.

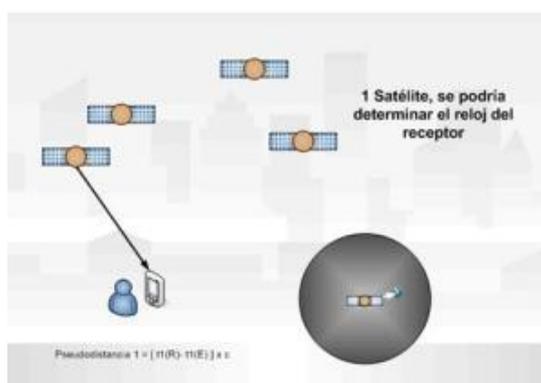


Figura 6. Primer satélite

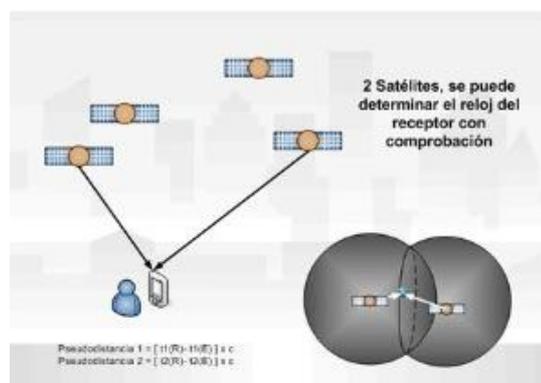


Figura 7. Segundo satélite

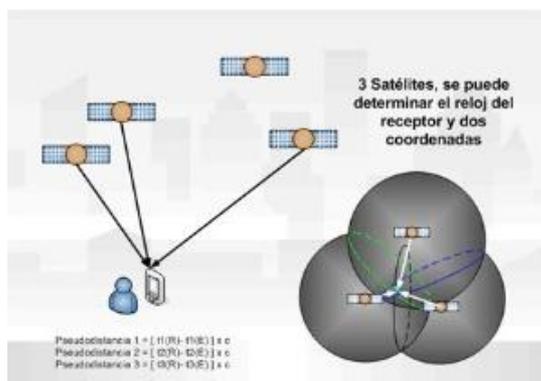


Figura 8. Tercer satélite

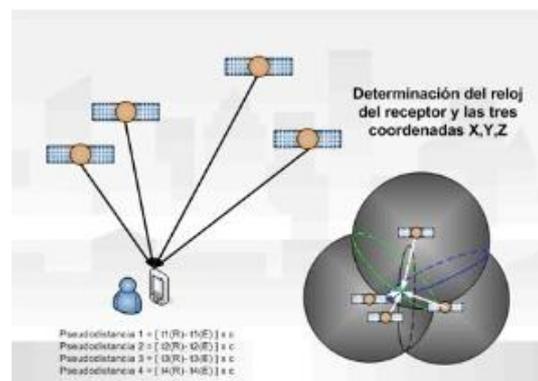


Figura 9. Cuarto satélite

- **Diferencia de fases**

Este método es el que permite la máxima precisión. La base del método es que se controla en fase una emisión radioeléctrica hecha desde el satélite con frecuencia conocida y desde posición conocida.

Al controlar en fase, lo que se hace es observar continuamente la evolución del desfase entre la señal recibida y la generada en el receptor; el observable es el desfase, y éste cambia según lo hace la distancia satélite-antena receptora.

Este método se emplea para posicionamiento relativo, entre dos receptores que toman la diferencia de fase al mismo satélite y que pueden comunicarse para obtener sus coordenadas relativas.

2.4 Fuentes de error y correcciones

2.4.1 Fuentes de error

El error del NAVSTAR-GPS se expresa como el producto de dos magnitudes:

1. **UERE:** es el error equivalente en distancia al usuario, se define como un vector sobre la línea vista entre el satélite y el usuario resultado de proyectar sobre ella todos los errores del sistema. Respecto a este error hay que decir que:
 - a. Este error es equivalente para todos los satélites.
 - b. Se trata de un error cuadrático medio.

2. DOP (Dilution Of Precision): depende de la geometría de los satélites en el momento del cálculo de la posición. No es lo mismo que los 4 satélites estén muy separados (mejor precisión) que los satélites están más próximos (menor precisión). El DOP se divide en varios términos:
 - a. GDOP (*Geometric DOP*), suministra una incertidumbre como consecuencia de la posición geométrica de los satélites y de la precisión temporal.
 - b. PDOP (*Position DOP*), incertidumbre en la posición debido únicamente a la posición geométrica de los satélites.
 - c. HDOP (*Horizontal DOP*), incertidumbre en la posición horizontal que se nos da del usuario.
 - d. VDOP (*Vertical DOP*), suministra una información sobre la incertidumbre en la posición vertical del usuario.

Las principales fuentes de error son las siguientes:

- Errores relativos al satélite.
- Errores relativos a la propagación de la señal.
- Errores relativos al receptor.

2.4.1.1 ERRORES RELATIVOS AL SATÉLITE

- **Error del reloj del satélite:** Este error es el desfase que tiene el reloj del satélite respecto al Tiempo GPS.
- **Errores en los parámetros orbitales:** Para calcular su posición, el receptor debe conocer las posiciones de los satélites. Las estaciones de seguimiento registran datos de pseudodistancia y medidas de fase que mandan a la Estación de Control principal, donde con un sofisticado software se predicen las futuras posiciones orbitales de los satélites, es decir sus efemérides. Éstas son transmitidas en el mensaje de navegación del satélite. Pero las efemérides transmitidas por los satélites tendrán asociado un error a causa de que es imposible predecir exactamente sus posiciones.

2.4.1.2 ERRORES RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL

- **Refracción Ionosférica:** La Ionosfera es un medio disperso para ondas de radio, por lo tanto su índice de refracción es función de la frecuencia de la onda. También es función de la densidad de electrones, y en menor grado, de la intensidad del campo magnético de la Tierra.
- **Refracción Troposférica:** La presencia de átomos y moléculas neutros en la Troposfera afecta a las señales de propagación electromagnética. El índice de

refracción para un área parcial es función de su temperatura, de la presión de los gases secos y del vapor de agua.

- **Disponibilidad Selectiva:** La Disponibilidad Selectiva supone una alteración o manipulación de la información que los satélites de la constelación GPS envían a los usuarios en su mensaje de navegación, manipulación que realiza el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD). Se actúa sobre los estados de los relojes y parámetros orbitales.
- **Perdidas de ciclos:** Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, etc. Esta causa es la más frecuente, pero también pueden ser debidas a una baja SNR (calidad señal-ruido) debido a unas malas condiciones ionosféricas, efecto multipath, receptores en movimiento, o baja elevación del satélite.
- **Efecto Multipath:** El efecto multipath o multicamino es causado principalmente por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas al receptor. Estas señales reflejadas que se superponen a la señal directa son siempre más largas, ya que tienen un tiempo de propagación más largo y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda.

2.4.1.3 ERRORES RELATIVOS AL RECEPTOR

- **Error del reloj:** Cuando un receptor recibe una señal de un satélite, en ese momento su reloj interno tendrá un desfase o error con respecto a la Escala de Tiempo. Este error afectará a todas las medidas de pseudodistancias realizadas para cada época.

- **Variación del centro radioeléctrico de la antena:** La variación y desfase del centro de la antena se debe a la falta de coincidencia entre el centro radioeléctrico o punto que realmente se posiciona, ya que es el punto al que llega la señal; y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros. Es importante en medidas geodésicas.

2.4.2 Técnicas de corrección diferencial de GPS (DGPS)

El fundamento del posicionamiento diferencial es la corrección de los errores de desajuste de los relojes de los satélites en una posición mediante los errores medidos en una posición conocida, para ello, un receptor de referencia o estación base calcula las correcciones para cada satélite.

Debido a que los pseudo-rangos deben ser corregidos antes del cálculo de la posición, las implementaciones de DGPS requieren que el receptor de referencia incluya un software que le permita seguir todos los satélites visibles y calcular las correcciones de los pseudos-rangos de cada uno de ellos. Estas correcciones son transmitidas a los receptores remotos quienes deben ser capaces de aplicarlas individualmente a cada satélite que se esté utilizando para el cálculo de la posición. Aplicar una simple corrección sobre la posición desde el receptor base al receptor remoto en un rango de distancias utilizable tiene limitaciones ya que ambos receptores deben utilizar el mismo conjunto de satélites para el cálculo de la posición y además deben tener la misma GDOP (imposible para posiciones distintas) para ser afectados de forma idéntica por los errores de desajuste de reloj.

2.4.2.1 DGPS POR CÓDIGO (NAVEGACIÓN)

Las correcciones diferenciales deben ser utilizadas en tiempo real, con técnicas de postprocesado. Las correcciones en tiempo real pueden ser transmitidas por radioenlaces. La Guardia costera de los Estados Unidos mantiene una red estaciones diferenciales y transmite correcciones DGPS mediante radiobalizas proporcionando cobertura gran parte de la costa estadounidense. Las correcciones DGPS se suelen transmitir usando el formato estándar RTCM (Radio Technical Commission Marine). Las correcciones pueden ser grabadas para realizar un postprocesado. Muchos organismos públicos y privados graban estas correcciones para distribuir las por medios electrónicos. Existen servicios privados de corrección DGPS que utilizan subportadoras de banda FM comercial, enlaces vía satélite o emisoras privadas para aplicaciones a tiempo real.

Para eliminar la disponibilidad selectiva (y otros errores de sincronismo), las correcciones diferenciales deben ser calculadas en la estación de referencia y aplicadas en el receptor remoto con un intervalo menor que el tiempo de variación de SA. Los tiempos medios de actualización de las correcciones suele ser inferior a los veinte segundos.

El sistema DGPS elimina los errores comunes a la estación de referencia y los receptores remotos, no aplicándose a los errores de multicamino o ruido de receptor. Los errores tienden a ser comunes cuando los receptores están próximos (menos de 100 Km).

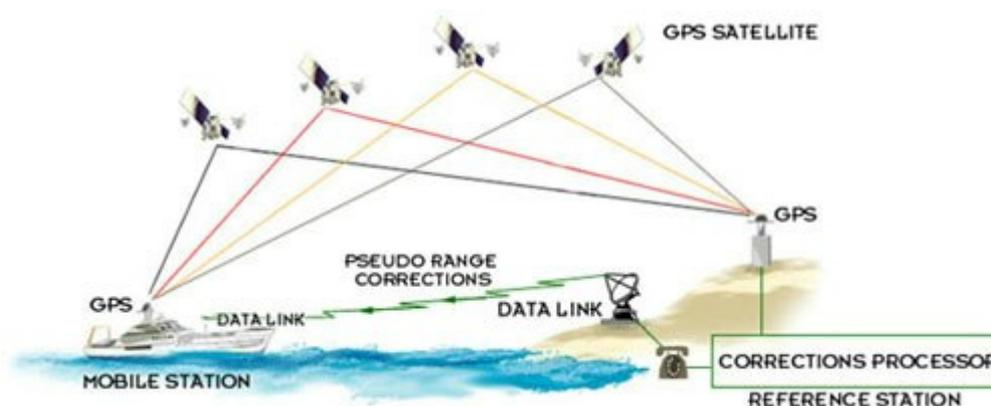


Figura 10. Esquema DGPS

2.4.2.2 RTCM. ESTÁNDAR PARA LA TRANSMISIÓN DE CORRECCIONES DIFERENCIALES

En 1983 el U.S. Institute of Navigation (ION) solicitó el desarrollo por parte de la Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) de un conjunto de recomendaciones para la transmisión de correcciones diferenciales a los usuarios del sistema GPS. RTCM estableció el Special Committee No. 104 (SC-104) con el nombre de Differential Navstar GPS Service. El primer borrador con un conjunto de recomendaciones sobre protocolos, intervalos de transmisión y definición sobre la información que debería ser transmitida apareció en Noviembre de 1985. Posteriormente se han efectuado ligeras modificaciones de los formatos de transmisión apareciendo la versión 2.0 en Enero de 1990, mientras que en Enero de 1994 apareció la versión 2.1. En la tabla siguiente aparecen los diferentes tipos de mensajes definidos en la versión 2.1. Actualmente se usa la versión 2.3 y se está trabajando para definir mensajes que contengan correcciones diferenciales para los satélites de la constelación GLONASS (sistema ruso similar al GPS).

El formato de datos RTCM SC-104 (o simplemente RTCM) para la transmisión de correcciones diferenciales GPS se ha constituido como un estándar por defecto en toda la comunidad de receptores GPS, de manera que la totalidad de receptores GPS de código que pueden trabajar en modo diferencial aceptan correcciones diferenciales en formato RTCM.

Tipos de mensajes definidos por RTCM SC-104 Versión 2.1

- 1.- Fixed Differential GPS Corrections
- 2.- Fixed Delta Differential GPS Corrections
- 3.- Fixed Reference Station Parameters
- 4.- Retired Surveying
- 5.- Fixed Constellation Health
- 6.- Fixed Null Frame
- 7.- Fixed Beacon Almanacs
- 8.- Tentative Pseudolite Almanacs
- 9.- Fixed Partial Satellite Set Differential Corrections
- 10.- Reserved P-Code Differential Corrections (all)
- 11.- Reserved C/A-Code L1, L2 Delta Corrections
- 12.- Reserved Pseudolite Station Parameters
- 13.- Tentative Ground Transmitter Parameters
- 14.- Reserved Surveying Auxiliary Message
- 15.- Reserved Ionosphere (Troposphere) Message
- 16.- Fixed Special Message
- 17.- Tentative Ephemeris Almanac
- 18.- Tentative Uncorrected Carrier Phase Measurements
- 19.- Tentative Uncorrected Pseudorange Measurements
- 20.- Tentative RTK Carrier Phase Corrections
- 21.- Tentative RTK Pseudorange Corrections
- 22-58.- Undefined
- 59.- Tentative ProprietaryMessage
- 60-63.- Reserved Multipurpose Usage

Tabla 1. Tipos de mensajes RTCM

2.4.2.3 DGPS POR DESFASE DE PORTADORAS (VIGILANCIA)

Todos los sistemas de seguimiento de fase son diferenciales, necesitando tanto en receptor de referencia como en el remoto realizar el seguimiento simultáneo de la fase de la portadora.

Para poder estimar el número de ciclos de la portadora en el receptor de referencia y en los receptores remotos, deben estar suficientemente cercanos para asegurar que la diferencia de los respectivos retardos ionosféricos es menor que la longitud de onda de la portadora. Esto implica que normalmente las medidas GPS basadas en seguimiento de fase de portadora deben ser tomadas con una distancia inferior a los 30Km entre la estación de referencia y el receptor remoto. Se necesita software especial para procesar las medidas diferenciales de seguimiento de fase de portadora. Las técnicas de procesado cinemático en tiempo real (RTK) obtienen una precisión de 1 cm con un receptor remoto móvil.

2.5 Estaciones permanentes GPS

Como se vio en el apartado anterior, la corrección diferencial es un procedimiento de mejora en la precisión mediante la comparación entre la posición obtenida por la tecnología GPS y la posición previamente determinada de ese mismo punto (estación de coordenadas conocidas), éste es el sentido de las correcciones en tiempo real. El modo de llevarlo a cabo es, instalando en dicha estación de referencia un receptor GPS que realice a intervalos regulares de tiempo esa comparación y transmitiendo esa información a los receptores GPS móviles, con lo que se reducirán de forma significativa los errores, aumentando así la precisión.

2.5.1.2 PROYECTO IBEREF-GPS

El proyecto IBEREF (Iberia Referencia GPS) consiste en el establecimiento de estaciones permanentes de referencia GPS por el territorio nacional, con el propósito de crear redes locales a partir de las cuales crear una red de orden superior para dar cobertura a la comunidad topográfica. Esta red GPS esta promovida por la empresa Leica Geosystems en colaboración con el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, ha sido desarrollada por Universidades españolas y otras empresas.

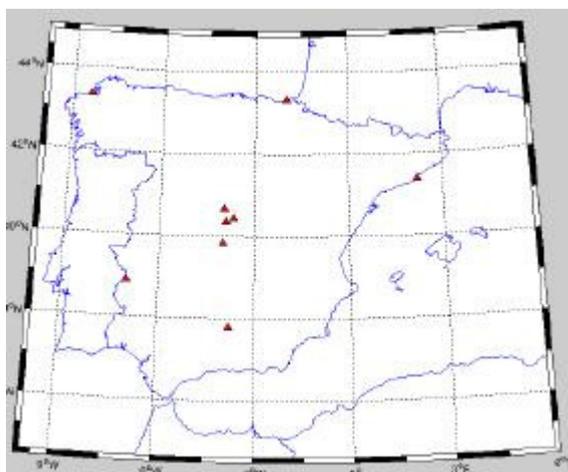


Figura 12. Estaciones de referencia IBEREF

2.5.1.3 RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO (RAP)

La **Red Andaluza de Posicionamiento** tiene como objetivo principal solucionar el problema del posicionamiento en Andalucía suministrando datos procedentes de observaciones de satélites del sistema GPS bien mediante técnicas de postproceso o bien en tiempo real mediante técnicas diferenciales.

La red RAP está constituida por 22 estaciones permanentes de seguimiento de satélites GPS homogéneamente distribuidas en el territorio andaluz. Se ha diseñado y desarrollado para proveer datos GPS para cálculo en postproceso de coordenadas geodésicas referidas al sistema ETRS89 y suministrar correcciones diferenciales RTK

y DGPS vía radio, Internet y telefonía móvil para posicionamiento absoluto en tiempo real.

Las estaciones de la red RAP están dotadas de receptores GPS de última generación y, todas ellas están conectadas permanentemente al Centro de Control y sus datos son puestos a disposición en Internet.

La red RAP constituye el marco de referencia geodésico ETRS89 en Andalucía para aplicaciones científicas y tecnológicas.

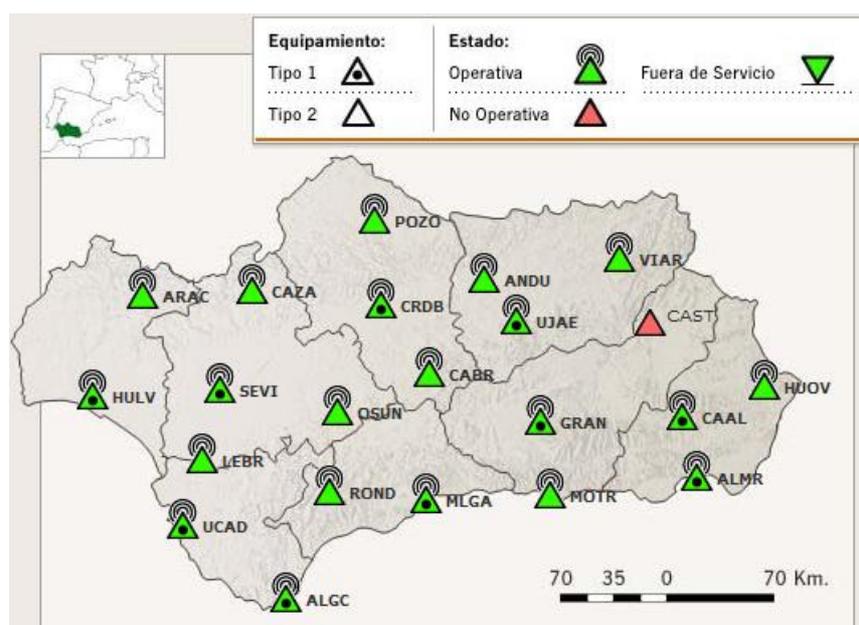


Figura 13. Estaciones de la RAP

- **Tipo 1.** Son un total de nueve, se sitúan en las ocho capitales de provincia más Algeciras y cuentan con un mayor número de accesorios que las de tipo 2.
- **Tipo 2.** Están localizadas en núcleos urbanos más pequeños y cuentan con menos accesorios en su instalación.

2.6 NMEA: un estándar de transmisión de información de navegación

NMEA (National Marine Electronics Association) es una asociación sin fines de lucro de fabricantes, distribuidores, instituciones educacionales y otros interesados en equipos periféricos marinos. La definición estándar de un NMEA 0183 es una interfase eléctrica y un protocolo de datos para la comunicación entre instrumentos marinos. NMEA se establece como un grupo de trabajo para el desarrollo de nuevos estándares de comunicación de datos para dispositivos marinos a bordo de las embarcaciones. Este protocolo se lanza por primera vez en marzo de 1983, y su última versión fue publicada en el 2001.

2.6.1 Protocolo NMEA

El protocolo NMEA es usado para la comunicación entre dispositivos de uso marino para transmitir datos. La salida NMEA es EIA-422A, pero para la mayoría de los propósitos puede considerarse como RS-232 compatible. Todos los datos son transmitidos a través de sentencias con caracteres ASCII, cada sentencia comienza con “\$” y termina con <CR><LF> (CR: Carriage Return, LF: Line Feed). Los primeros dos caracteres después de “\$” son los que identifican el equipo, y los siguientes tres caracteres es el identificador del tipo de sentencia que se está enviando. Los tres tipos de sentencias NMEA que existen son los de envío (Talker Sentences), Origen del equipo (Proprietary Sentences) y consulta (Query Sentences). Los datos están delimitados por coma, deben incluirse todas las comas, ya que actúan como marcas. Una suma de verificación adicional es agregada opcionalmente (aunque para algunos tipos de instrumento es obligatoria). Después del signo \$ está la dirección del campo

aacc. aa, que es un identificador de dispositivo. Por ejemplo “GP” que se usa para identificar los datos GPS. La transmisión del dispositivo ID por lo general es opcional. *ccc* da formato a la sentencia, también conocido con el nombre de la sentencia.

Las señales que generalmente utilizan un protocolo NMEA son:

- GPS
- Compás magnético
- Radar o Radar ARPA
- Ecosonda, profundidad
- Sensores de velocidad, magnéticos, doppler o mecánicos
- Instrumentos meteorológicos
- Transductores
- Reloj atómico, cuarzo, cronómetro
- Sistemas de navegación integrados
- Comunicaciones satelitales o de radio

2.6.2 Formato de sentencias NMEA

Existen mucho tipos de mensajes NMEA, aquí solo vamos a recoger los que son útiles para nosotros al trabajar con GPS.

Mensaje GGA (*Datos del Sistema Global de Posicionamiento*)

\$GPGGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh

1. UTC (Tiempo Universal Coordinado) de posición
2. Latitud
3. Norte o Sur
4. Longitud
5. Este u Oeste
6. Indicador de la calidad de GPS (0=no Válido; 1=Fijo de GPS; 2=Fijo de GPS diferencial.)
7. Número de satélites en uso [aquellos que no se ven]
8. Dilución Horizontal de la Posición
9. Altitud de la antena sobre/bajo nivel del mar intermedio (geoide)
10. Metros (Unidad de la altura de la antena)
11. Separación geoidal (Dif. entre elipsoide terrestre WGS-84 y nivel del mar intermedio. El geoide está bajo el elipsoide WGS-84)
12. Metros(Unidad de la separación geoidal)
13. Intervalo en segundos desde la última actualización de una estación de referencia diferencial.
14. Identificador de la estación de referencia.
15. Suma de verificación

Mensaje GSA (*Modo de operación del receptor GPS, Satélites empleados para navegación y valores DOP*)

\$GPGSA,A,3,19,28,14,18,27,22,31,39,,,,,1.7,1.0,1.3*35

- 1 Modo:
 - M Manual, forzado a operar en 2D o 3D
 - A Automático 3D/2D
- 2 Modo:
 - 1 Fijo no disponible
 - 2 2D
- 3 3D
- 4-14 ID del satélites usado en el fijo de posición (nulo para campos no usados)
- 15 PDOP
- 16 HDOP
- 17 VDOP

Mensaje GSV (*Número de SV en vista, números de ruido pseudoaleatorio, elevación (PRN), azimut y valores SNR*)

\$GPGSV,4,1,13,02,02,213,,03,-3,000,,11,00,121,,14,13,172,05*67

- 1 Número total de mensajes de este tipo en este ciclo
- 2 Número de mensajes
- 3 Número total de satélites en vista
- 4 Número de satélites PRN
- 5 Elevación en grados, 90 como máximo
- 6 Azimut, grados del norte verdadero, de 000 a 359

- 7 SNR, 00-99 dB (nulo cuando no hay track)
- 8-11 Información sobre segundo satélite, igual que campos 4-7
- 12-15 Información sobre tercer satélite, igual que campos 4-7
- 16-19 Información sobre cuarto satélite, igual que campos 4-7

Mensaje RMC (*Datos GNSS Específicos Recomendados*)

\$GPRMC,161229,A,3723.2475,N,12158.3416,W,005.6,123.5,020197,001.0,
W,A 07CRLF

1. UTC de fijo de posición
2. Estado de los datos (V= Advertencia del receptor de navegación)
3. Latitud del fijo
4. Norte o Sur
5. Longitud del fijo
6. Este u Oeste
7. Velocidad Sobre fondo en nudos
8. Camino bien hecho en grados verdaderos
9. Fecha de UT (Tiempo Universal)
10. Grados magnéticos de variación
11. Este u Oeste
12. Suma de verificación

Mensaje VTG (*Camino real y velocidad*)

\$GPVTG,t,T,,,s.ss,N,s.ss,K*hh

1. Camino bien hecho
2. Texto fijo 'T' indica que el Camino es relativo al norte verdadero
3. No usado
4. No usado
5. Velocidad sobre fondo en nudos
6. Texto fijo 'N' indica que la velocidad sobre fondo es en nudos
7. Velocidad sobre fondo en kilómetros/hora
8. Texto fijo 'K' indica que la velocidad sobre fondo es en kilómetros /hora
9. Suma de verificación