

CAPITULO 3

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System o GPS) comúnmente llamado, o GNSS (Global Navigation Satellite System), es un sistema de ubicación o geoposición de alta precisión en la superficie terrestre. A partir de un grupo de satélites que orbitan la tierra y envían señales de radiofrecuencia, es posible realizar medidas de posición en todo el planeta, y es una señal gratuita y continua, la cual puede ser utilizada para fines civiles y militares. Un sistema de esta naturaleza puede proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones meteorológicas.



Figura 3.1.- El sistema de posicionamiento global hoy forma parte de nuestra vida común y es utilizado por múltiples usuarios y disciplinas.

Conceptualmente "es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades afines".

Los sistemas de posicionamiento global por satélite son una herramienta que puede ser aplicada para una variada gama de aplicaciones, tanto en el campo militar como el civil. En el campo civil podemos mencionar la capacidad para tener sistemas de navegación(vehículos terrestres, aéreos y marinos), posición, gestión de catástrofes y apoyo a los desastres aéreos. Lo anterior es posible gracias a su alcance global, producto de su infraestructura consistente en una red de satélites que orbitan la tierra formando una constelación. Adicionalmente el sistema proporciona información del tiempo (reloj atómico) que es generada como un reloj maestro, el cual puede ser usado de base para la sincronización en la red



Figura 3.1.- Satélite del sistema de navegación GPS, USA.

Actualmente el sistema es usada para prestar servicios de localización (LBS), por ejemplo, algunas redes de telefonía celular cuentan con un servicio que permite localizar al usuario de un teléfono móvil, si este dispone de un dispositivo GPS. Este sistema es particularmente interesante a la hora servir de apoyo a los servicios de emergencia.

También es posible encontrar aplicaciones a la topografía y geodesia(GNSS) basados en GPS. En efecto, el sistema GPS se está empleando en conjunto con equipos apropiados para la toma de datos topográficos y geodésicos de alta precisión.

La integración con los Sistemas de Información Geográfica(SIG) nos permite capturar, almacenar, manipular y analizar información de GPS con diversas finalidades.

Una aplicación particularmente interesante es que GPS se encuentra integrado a dispositivos de rastreo, tanto para personas o especies protegidas o en estudio. Adicionalmente es usado para la protección y rastreo de objetos como vehículos. Esta tecnología permitirá diversas oportunidades de negocio, un amplio mercado laboral para los ingenieros de telecomunicación, para el desarrollo de proyectos ligados a esta tecnología

3.1.- Historia

Entenderemos por GNSS(Global Navigation Satellite System), al conjunto de sistemas de satélites (GPS, GLONASS y GALILEO) cuyo objetivo es proporcionar apoyo para proporcionar en cualquier punto y momento de la posición espacial y temporal. Todos los sistemas conocidos de esta naturaleza nacen como aplicaciones de apoyo militares, sin embargo, se van adaptando en el tiempo al uso civil.

Los sistemas GNSS son relativamente reciente, en efecto, su historia se comienza a materializar en la década del 70, con el desarrollo del sistema norteamericano GPS. Según las leyendas urbanas la exigencia de los militares al grupo de científicos e ingenieros era que diseñaran un sistema con un error máximo de 16 m, es decir, si hubiese que rescatar a un soldado este siempre debía encontrarse bajo las aspas del helicóptero. Pero este sistema a la larga ha resultado mucho mejor, no solo para los militares, sino para los civiles(nosotros).



Figura 3.2.- Satélite del sistema de navegación GLONASS, Rusia.

A partir de los años 90's, esta tecnología comienza a emplearse en usos civiles, lo que trajo consigo numerosas reuniones y acuerdos internacionales para su uso entre los diferentes países del mundo con USA. Recordemos que hasta ese momento, GPS era el único sistema de navegación por satélite totalmente operativo y confiable. Esto ocurrió porque el gobierno ruso decidió no continuar con el proyecto GLONASS producto de problemas presupuestarios. El resto de los países que poseen tecnología espacial centran sus esfuerzos en el desarrollo del segmento de tierra hasta que sean capaces de desarrollar su propio sistema de GNSS.

A nivel internacional la situación era de mucha precaución y preocupación, básicamente por la capacidad de USA para la emisión de la señal civil del GPS. Teóricamente USA podía a conveniencia (En caso de Guerra o posibles conflictos) distorsionar la señal o dejar de emitirla, llamada la disponibilidad selectiva. Producto de este debate los demás países ven la necesidad imperiosa de contar con un sistema propio de navegación por satélite, principalmente para mantener la autonomía tecnológica de USA.

Es así que producto de lo anterior, en Europa se presenta a GALILEO como un sistema de uso exclusivamente civil, a pesar de que los gobiernos miembros de la UE lo podrán ocupar con fines militares. Rusia, por su parte, resucita el proyecto GLONASS. China parte un estudio para el desarrollo de sistemas que denominó COMPASS, en cambio la India inicia el IRNSS y Japón, finalmente el sistema QZSS.

Actualmente han proliferado los países que quieren tener sus propias agencias espaciales, también tener satélites propios, como Chile, con una nula política pública, y además con un muy leve desarrollo y una baja inversión en investigación. Una crónica ya conocida en épocas anteriores y que no merece comentarios.

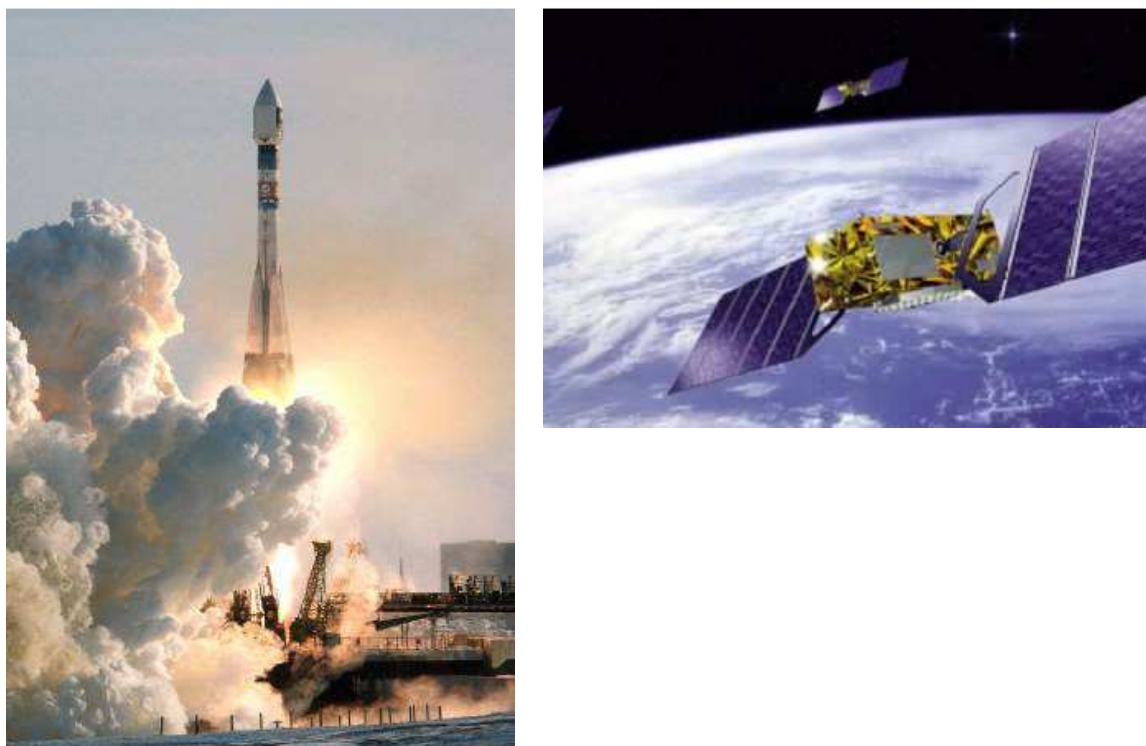


Figura 3.3.- Satélite del sistema de navegación GALILEO, UE.

3.2.- Características generales

Los GNSS fueron diseñados bajo una concepto específico, de manera que se encuentran divididos en tres segmentos(Figura 3.4):

Segmento espacial: Corresponde al compuesto por el conjunto de satélites que forman el sistema, orientados tanto a la navegación como la comunicación.

Segmento de control: Está conformada por el conjunto de estaciones rastreadoras y de soporte que están tierra, que recogen y procesan los datos de los satélites. Por la naturaleza que le confiere cada país, este segmento es complejo

en su definición, y se estructura en función de las necesidades y conveniencias. Su función es garantizar la calidad de la señal, por lo que sus funciones son variadas. Una de ellas es el monitoreo para aplicar las correcciones de posición orbital y temporal a los satélites, utilizando la información de sincronización de los relojes atómicos y de posición en las órbitas de los distintos satélites.

Segmento de usuarios; Este se encuentra conformado por los equipos que reciben las señales que proceden del segmento espacial. Este dispositivo está formado por la antena receptora (cobertura hemiesférica omnidireccional) y los receptores (mezcla de frecuencias para pasar de la frecuencia recibida en la antena a una baja frecuencia que podrá ser manejada por la electrónica del receptor). Estos equipos están conformados por un reloj altamente estable y una pantalla para mostrar los datos de posición.



Figura 3.4.- Funcionamiento del GNSS basados en los tres segmentos que lo definen.

En la actualidad el GNSS tiene una cobertura mundial servicio aportado por una constelación de satélites que garantizan el funcionamiento en cualquier parte de la tierra. Para calcular las coordenadas espaciales y temporales de un usuario en la superficie terrestre, se necesita un mínimo de cuatro satélites que esté recibiendo un equipo.

Otra característica del sistema es la disponibilidad temporal, esto es el sistema debe garantizar su normal funcionamiento en un alto porcentaje de tiempo(95% o

99%). Esta característica siempre fue deseada, por lo que para garantizarla se debieron introducir en la constelación satélites redundantes con el objetivo de garantizar el funcionamiento en todo evento, aun en casos de fallas.

Lo importante, y para lo cual el sistema fue diseñado, es que debe ser preciso, esto quiere decir que el sistema debe proporcionar la posición espacial y temporal siempre y confiable. En el caso de los sistemas de aplicaciones civiles nos referimos a un error de posición del orden de metros, en cambio para los militares hablamos de centímetros. Pueden existir problemas de fallos no detectados, sin embargo el sistema debe ser capaz de autocalibrarse para entregar información confiable y con mínimo error siempre. Finalmente asociado a este punto está el hecho de que el sistema debe ser continuo, esto es, la señal siempre debe estar disponible.

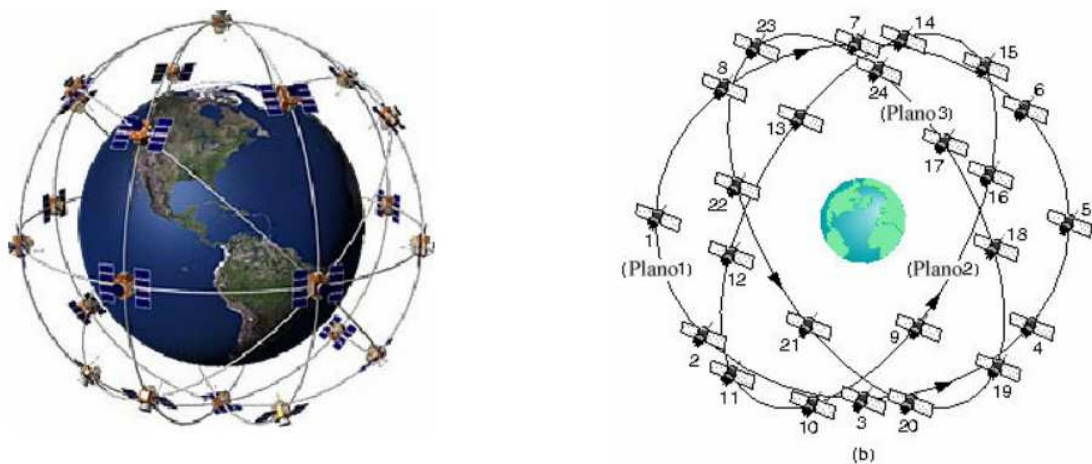


Figura 3.5.- Configuración de la constelación GPS y GLONASS.

Podemos referirnos ahora a las fuentes de error, que provoca que la información procedente de cada satélite que viaja en una señal puede verse afectada por distintas fuentes:

- **Efectos atmosféricos:** Las partículas cargadas de la ionósfera y el vapor de agua de la tropósfera reducen la velocidad de la transmisión. El error puede ser minimizado por modelación de estas condiciones.
- **Efectos de la trayectoria:** La señal rebota en otros objetos antes de alcanzar el receptor, modificando el tiempo de viaje de la señal. Este error puede ser corregido con antenas especiales disponibles en ciertos equipos.

- **Errores de efemérides y reloj:** Los satélites llevan a bordo relojes atómicos de alta precisión. Estos relojes están sincronizados en lo que se llama la “hora universal”. La medición del tiempo se usa en los cálculos de distancia entre un satélite y un receptor. A pesar de la alta precisión de los relojes (cerca de 3 nanosegundos), pueden presentar pequeñas variaciones en la velocidad de funcionamiento produciéndose pequeños errores, que afectan la exactitud de la posición. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos, monitorea en forma continua los relojes de los satélites mediante el segmento de control para corregir cualquier anomalía.

Estos errores ejercen una distorsión de la señal y generan una baja de la precisión en el servicio.

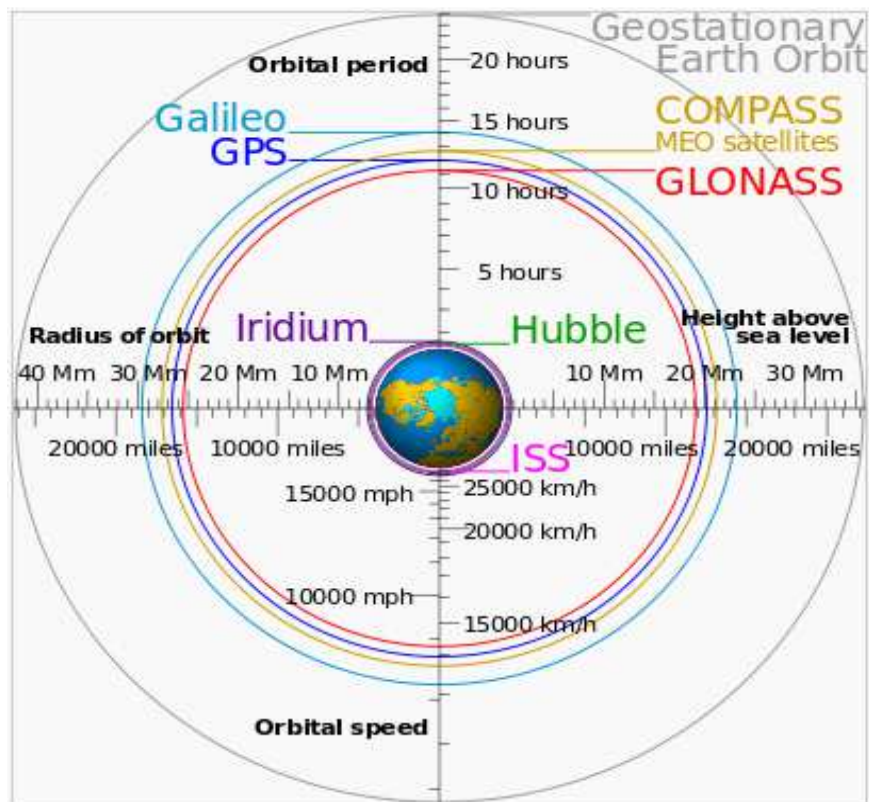


Figura 3.6.- Órbitas de los principales GNSS.

3.3.- Principios de funcionamiento

La idea general del sistema GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia de apoyo para la ubicación sobre superficie la tierra. Esto puede lograrse conociendo la distancia relativa a los satélites para triangular la posición en cualquier punto a partir de un número mínimo de satélites.

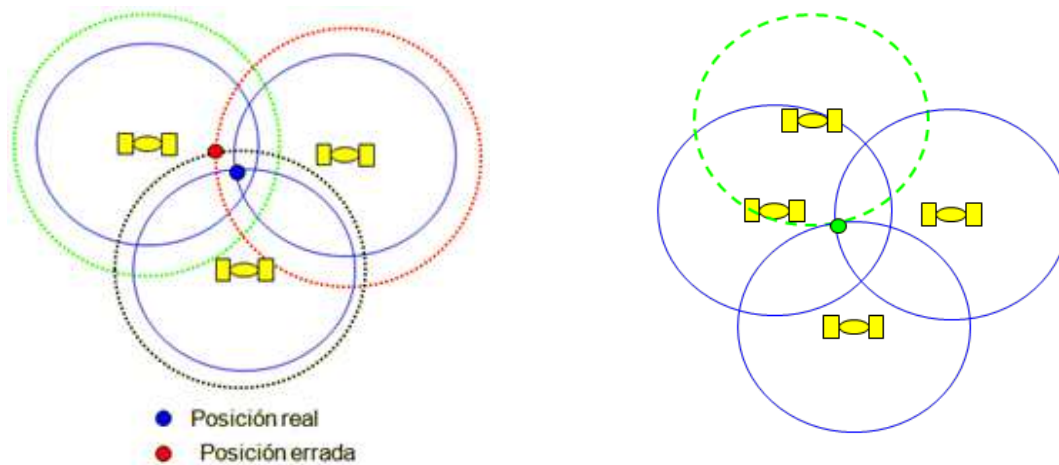


Figura 3.7.- Con cuatro satélites es permite conocer la posición correcta porque existe un único punto de intersección.

El sistema GPS utiliza tecnología de punta, sin embargo, los principios de funcionamiento son simples y pueden ser resumidos en cuatro puntos.

Trilateración: Es un método matemático para determinar las posiciones relativas de objetos usando la geometría de triángulos y muy similar a la triangulación. La base para determinar la posición de un receptor GPS es la trilateración a partir de la referencia proporcionada por los satélites en el espacio. El principio del cálculo es el mismo, pero implica números y fórmulas adicionales al tratarse de un espacio tridimensional. Para llevar a cabo el proceso de trilateración, el receptor GPS calcula la distancia hasta el satélite midiendo el tiempo que tarda la señal en llegar hasta él. Para ello, el GPS necesita un sistema muy preciso para medir el tiempo. Además, es preciso conocer la posición exacta del satélite. Finalmente, la señal recibida debe corregirse para eliminar los retardos ocasionados. Además un cuarto satélite es necesario para determinar la altitud en donde se encuentra el receptor n la superficie terrestre.

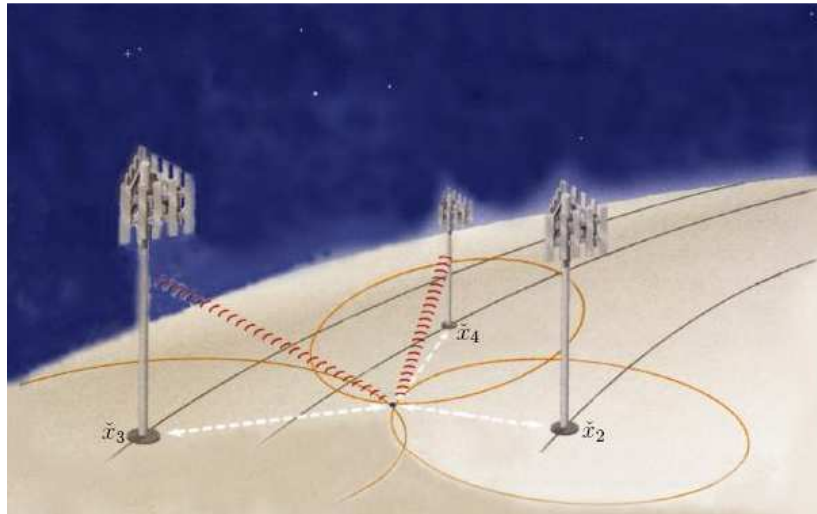


Figura 3.8.- La trilateración como método de cálculo para la posición de un receptor en la superficie terrestre.

Medición de las distancias: El sistema se comienza midiendo el tiempo que tarda una señal de radio enviada desde un satélite en llegar hasta el receptor en la superficie terrestre, luego se puede calcular la distancia a partir de ese tiempo. Es sabido que las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, esto es, 300.000 km/sg en el vacío. De esta forma se puede saber exactamente cuál es la distancia entre la antena receptora y el satélite, al multiplicar ese tiempo en segundos por la velocidad de la luz (300.000 km/sg) y el resultado es la distancia al satélite.

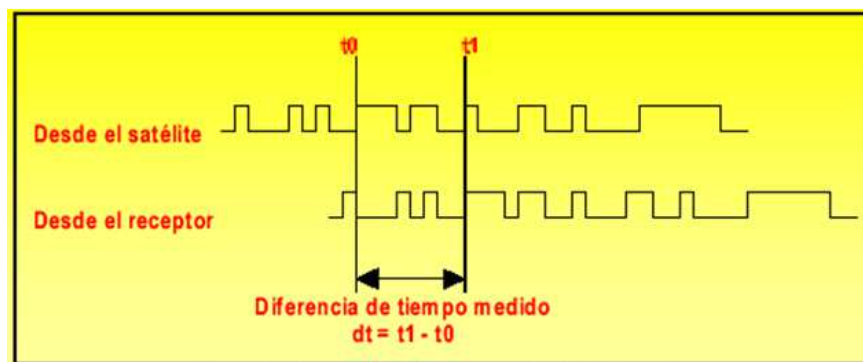


Figura 3.9.- La señal generada tanto en los satélites como en los receptores consiste en conjuntos de códigos digitales complejos.

Para saber con exactitud la distancia, es necesario conocer con exactitud el tiempo, y esto se soluciona conociendo la hora de emisión de la señal y la hora de recepción de la misma. Para lograr esto se sincronizan los relojes de los satélites y de los receptores de manera que ambos tienen la misma hora. Conocida la señal emitida por el satélite al compararla con la del receptor se conoce el desfase, relacionado con el tiempo que ha tomado la señal en llegar al receptor. La figura 3.9 muestra un ejemplo de estas señales o pulsos y que corresponden a una secuencia pseudoaleatoria que se repite cada milisegundo. Estos códigos se conocen con el nombre de PRN (Pseudo Random Noise).

Sincronismo: Para el caso de la determinación de la posición en tres dimensiones, necesitamos tener como mínimo cuatro mediciones de distancia diferentes, para eliminar cualquier error producido por falta de sincronismo entre relojes. Lo anterior indica que si no tenemos, por lo menos, cuatro satélites sobre el horizonte circundante será imposible conseguir una ubicación precisa.

Posición de los satélites: Los satélites pertenecientes al sistema de posicionamiento transmiten dos señales, tiempo y datos. Un receptor GPS utiliza la información enviada por los satélites, pero además posee información interna almacenada para así poder estimar con precisión la posición exacta de cada uno de los satélites visibles por el equipo.

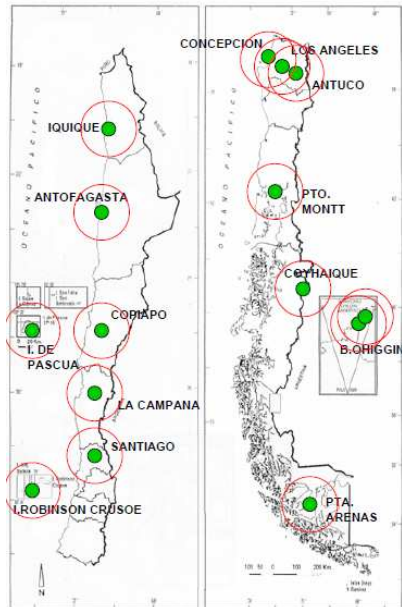
3.4.- Corrección diferencial

El sistema denominado GPS diferencial (DGPS) proporciona a los receptores tradicionales correcciones a los datos recibidos de los satélites GPS. Estas correcciones, deben ser aplicadas a las mediciones realizadas con el objetivo de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Este método de corrección funciona de la siguiente forma:

- 1.- Poseer una estación fija o base en tierra, cuyas coordenadas se encuentran muy bien definidas, que reciba la señal de los satélites GPS.
- 2.- A partir de ella, calcula su posición por los datos recibidos de los satélites que en ese momento son visibles por ella.

3.- Como la posición de la antena base es conocida. se calcula el error entre su posición verdadera y la calculada.

4.- Las correcciones estimadas son enviadas al receptor a través de algún medio.



Actualmente hay varias formas de obtener datos para realizar las correcciones DGPS. La más común es descargarlas de algún servidor público vía internet, cosa que es tan fácil pues depende de que en el entorno de las mediciones exista una antena base. Lo anterior es fundamental, pues para que las correcciones DGPS sean válidas, el receptor tiene que estar relativamente cerca de alguna estación base (del orden de 200 kilómetros). La precisión de la corrección depende de muchos factores.

En este sentido Chile posee una red activa de apoyo a los usuarios GPS.



Figura 3.10.- Corrección diferencial de las medidas realizadas en terreno.

El error de un receptor GPS normal se puede encontrar entre los 60 y 100 metros, sin embargo, el GPS Diferencial reduce el margen de error a menos de un metro de

diferencia con la posición indicada para el caso de navegación aérea. El único problema del GPS diferencial es que la señal que emite la estación terrestre cubre solamente un radio aproximado de unos 200 kilómetros. Para el caso de los aviones este rango es suficiente para realizar las maniobras de aproximación y aterrizaje. Es importante saber que la Administración Federal de Aviación (FAA, USA) posee un sistema llamado WAAS, que es una ampliación del GPS por medio de satélites, operado y mantenido por ellos y proporciona información para la navegación aérea en todas las fases del vuelo.

En el caso de trabajos en terreno, ya hay procedimientos de corrección muy eficiente para nuestro GPS. La corrección relativa o diferencial, consiste en colocar un receptor en un punto de control o base, y el otro receptor se instala en el sitio cuyas coordenadas se desea calcular. Los archivos generados por ambos receptores son procesados por algún programa de post-proceso por parte del usuario. El programa computacional calcula internamente una serie de parámetros para la corrección diferencial, los cuales se aplican a las observaciones realizadas con el otro receptor, mejorando así notablemente la precisión de las coordenadas. Esta técnica permite obtener las coordenadas de un punto por debajo de 1 metro en planimetría y menor precisión en altimetría, mejorando ambas de acuerdo al tipo de receptor utilizado. Otra forma de medición es utilizar los receptores geodésicos, que son equipos de alta complejidad, y permiten obtener precisiones que van del rango de los 3 cm a unos pocos mm tanto en planimetría como en altimetría. La distancia a los satélites, a diferencia de los demás métodos, es calculada en función de la fase de la onda portadora que envían los satélites.