

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Este es un sistema que permite obtener sobre la superficie topográfica coordenadas geográficas (φ, λ, h) referidas, valga la redundancia, a un sistema de referencia geocéntrico conformado en este caso por un elipsoide de revolución.

El sistema NAVSTAR GPS consta de una determinada cantidad de satélites que orbitan alrededor de la tierra, emitiendo constantemente señales de onda electromagnética en la banda L de la radiofrecuencia.

Estos satélites poseen coordenadas conocidas en un sistema de ejes ortogonales cartesianos X,Y,Z cuyo centro pretende estar ubicado en el centro de masa de la tierra y sus ejes orientados de tal manera que el X es solidario al meridiano origen de las longitudes, el Z próximo al eje de rotación (eje de los polos) y el Y perpendicular a ambos. Esto lleva a la conclusión de que este sistema gira solidariamente con la tierra.

De estas coordenadas rectangulares se puede pasar fácilmente a las coordenadas geográficas antes enunciadas referidas a esa superficie geométrica que mejor representa la forma de la tierra denominada elipsoide de revolución. Este, consta de dos parámetros fundamentales **a** y **f** (semieje mayor y aplastamiento respectivamente) y se ubica de tal manera que, el semieje menor coincide con el eje Z y el semieje mayor con el ecuador.

En nuestro país, se utiliza como sistema de referencia el WGS84 cuyo elipsoide posee parámetros propios y está materializado por la red POSGAR07.

De todo esto se deduce que, si pudiéramos vincularnos de alguna manera a estos satélites, podríamos obtener coordenadas del punto en el cual nos encontramos, referidas al mismo sistema en el que se hallan los primeros.

Esa manera de vincularse se puede realizar conociendo la distancia que separa al satélite del punto en cuestión; ya que:

$$D = \sqrt{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]}$$

Donde x-y-z son las coordenadas del satélite y x_0 - y_0 - z_0 las del punto desconocido.

Como se dijo anteriormente estos satélites emiten ondas electromagnéticas, que como se sabe viajan a la velocidad de la luz, por lo que si se pudiera medir el tiempo que tardan en llegar al lugar en el que nos encontramos estaríamos en condiciones de determinar esa distancia.

De esto se encargan los receptores GPS diseñados además para recibir más de un satélite ya que como se aprecia en la fórmula, se deberían observar por lo menos tres.

Las ondas electromagnéticas emitidas (L1 y L2) son portadoras de distintos códigos de modulación. El código C/A, que significa Adquisición rápida, el código P que significa preciso y el mensaje de navegación que contiene información de importancia como por ejemplo las coordenadas de los satélites llamadas también efemérides. El código P y el mensaje de navegación se encuentran en ambas portadoras L1 y L2, mientras que el código C/A lo hace solamente en la portadora L1.

Estos dos códigos C/A y P fueron diseñados para que el receptor pudiera determinar el tiempo transcurrido en la propagación de la señal desde que partió del satélite hasta que llegó a su antena. Esta labor la realiza comparando desfases entre el código emitido por el satélite y uno igual generado por él, en el mismo momento, ya que cuenta con un oscilador interno (cuarzo) que así lo permite. De todos modos éste último es mucho más impreciso que el que posee el satélite (atómico) lo cual conduce a una falencia en la sincronización que a su vez genera una nueva incógnita. Esta nueva incógnita provoca ahora que la cantidad mínima de satélites a recibir para determinar las pseudodistancias que permitan obtener las coordenadas del punto en un instante, tenga que ser de 4. Se llama así (pseudodistancia) a la distancia medida receptor-satélite debido a los errores de observación que posee (reloj, propagación, orbitales, etc.).

Estos códigos C/A y P poseen una longitud de onda de aproximadamente 300 y 30 metros respectivamente, mientras que las portadoras en las que viajan, L1 y L2, cuentan con longitudes de 19 y 24 centímetros.

Como se dijo anteriormente el receptor mide comparando desfases (que luego traducirá en tiempo) entre los códigos

generado y recibido. Si se observan los valores recientemente enunciados se podrá apreciar que ese patrón de medición será en el mejor de los casos de 30 metros si se cuenta con el código P. Este código es de utilización militar por lo que el usuario común no tiene acceso a él (por lo menos en tiempo real) quedándole como alternativa utilizar el código C/A. Vale aclarar aquí que los receptores modernos están capacitados para discriminar por debajo del 1% de la longitud de estos observables.

El hecho de que la longitud de las ondas portadoras oscile en los 20 centímetros hizo tentadora la posibilidad de que pudieran utilizarse estas para determinar esa pseudodistancia, lo cual generó la búsqueda de una técnica que permita aprovechar estos observables para aumentar la precisión en la medición. El principio sería parecido al usado por los códigos; es decir el receptor mediría el desfase entre la onda generada por él y la recibida proveniente del satélite.

El inconveniente surgido fue que las portadoras no poseen un principio y un fin conocido como sí poseen los códigos. Por lo tanto, aparece una nueva incógnita a determinar definida por el número entero de longitudes de onda existente entre el receptor y el satélite en el instante inicial de observación. Esta no puede resolverse a tiempo real en **posicionamientos absolutos** como se describieron hasta aquí.

Para resolverla, existe una técnica de medición y una serie de artilugios efectuadas por un software de procesamiento que permiten además de calcular esta incógnita denominada ambigüedad (N), minimizar errores como el de los relojes, los orbitales, y los de propagación.

La técnica de medición, es la que dio a llamarse **posicionamiento en relativo** y consiste en observar datos por medio de dos o más receptores simultáneamente, para así luego combinar dichas observaciones generando vectores (bases) entre sus respectivas antenas. Vale la pena aclarar que uno de los dos receptores que conforman la base debe estar ubicado en un punto de coordenadas conocidas, para poder determinar así el vector que los une, con muy buena precisión.

En lo referente a los artilugios matemáticos efectuados se pueden citar a las simples, dobles y triples diferencias entre pseudodistancias calculadas por mediciones de fase, que a efectos de este informe, no se explicitarán detalladamente.

Esta técnica de medición, puede alcanzar precisiones de escasos centímetros dependiendo fundamentalmente del tiempo de observación y de la longitud de la base.

El tiempo está asociado a la correcta determinación de las ambigüedades ya que existen técnicas para resolver estas que se basan en el cambio de geometría satelital. Aunque, hoy por hoy, con la evolución de los equipos y sobre todo de los softwares de procesamiento, este cambio de geometría dejó de ser un factor indispensable en muchos casos, por lo cual el mínimo de tiempo requerido se redujo considerablemente.

Cuando se vincula la longitud de la base con el concepto de precisión, se debe a que existen errores como los de propagación, causados por la troposfera y la ionosfera, o los orbitales de los satélites que están íntimamente relacionados con la longitud de ella.

Cuando esta longitud se encuentra dentro de los 15 ó 20 kilómetros los errores de propagación serán similares para las observaciones efectuadas por ambos receptores; por lo cual con las combinaciones realizadas en el procesamiento pueden ser minimizados. Si se pretende superar esta distancia, se deberá contar además de un modelo troposférico matemático, con un receptor capaz de recibir las dos frecuencias que emite el satélite (L1 y L2) ya que como la ionosfera actúa distinto sobre estas el soft puede detectar, por medio de combinaciones entre ambas, el efecto que esta capa atmosférica produce y deducirlo. Decimos esto, ya que existe una variada gama de receptores en lo que respecta al observable utilizado. Básicamente se pueden citar cuatro clases; los que utilizan nada más que los códigos para posicionarse (C/A), los que pueden utilizar además de este una frecuencia (L1) para medición de fase, los capacitados para utilizar también la frecuencia L2 (con media onda) y los que pueden recuperar el código P para utilizar L2 de manera completa.

En lo referente a los errores orbitales, se puede mencionar que éstos se harán menos admisibles a medida que la longitud de la base aumente.

Como ya se mencionó, las técnicas de resolución de ambigüedades fueron mejorando, provocando que el tiempo de observación para poder obtenerlas se reduzca considerablemente. Esto llevó a que surgieran dentro del posicionamiento relativo métodos rápidos como por ejemplo el estático rápido y el cinemático. En síntesis dentro del posicionamiento relativo se pueden citar los siguientes métodos:

Estático: Este es el método observacional básico de medición GPS. Consiste en, como se dijo anteriormente, efectuar observaciones con dos o más receptores en forma simultánea

durante períodos de tiempo superiores a una hora. Este es el más preciso de todos los métodos aunque como se ve posee la desventaja de tener que ocuparse el punto durante mucho tiempo.

Estático rápido: Este es básicamente análogo al anterior, contando como diferencia fundamental, que el tiempo de observación puede reducirse considerablemente a períodos que van desde los 15 a los 30 minutos. Es decir, uno de los receptores actúa de “base” en un punto de coordenadas conocidas recepcionando datos durante todo el tiempo que dure la sesión mientras que el otro, que se denomina “rover”, lo hará en todos los puntos que se pretendan determinar sus coordenadas durante el período de tiempo antes enunciado.

Cinemático: En este caso uno de los receptores como en el método anterior, se ubicará como “base” recepcionando datos en un punto de coordenadas conocidas, mientras que el otro lo irá haciendo en cada momento en movimiento y gravando observaciones acorde al tiempo especificado con anterioridad en el seteo del instrumental. Porque algo que no se dijo es que el receptor grava las observaciones que le permitirán calcular las pseudodistancias a un determinado intervalo de tiempo. Este intervalo de tiempo que va por ejemplo desde los 5 segundos en métodos rápidos hasta los 15 o 30 en estáticos se denomina **época**.

Este método, necesita de una inicialización previa que permita resolver las ambigüedades y así poder brindar precisiones centimétricas en movimiento. La misma puede realizarse de distintas maneras dependiendo fundamentalmente de las características técnicas del receptor a utilizar. Se pueden citar entre ellas por ejemplo la que dio a llamarse inicialización en base conocida, intercambio de antenas, o si se cuenta con un receptor que capture ambas frecuencias la técnica que permite resolver ambigüedades en movimiento denominada OTF (on the fly). La primera consiste en ubicar el receptor “rover” durante algunas épocas sobre un punto que determine con el otro receptor una base conocida, y luego comenzar con el itinerario cinemático. Esta base conocida se puede fabricar previamente con una observación en estático rápido por ejemplo. La segunda consiste en ubicar cerca del receptor “base” el que actuará de rover, para luego así después de recepcionar durante algunos segundos cambiar de posición ambos receptores, (sin perder señal) recepcionar unos segundos más y comenzar la trayectoria. En cuanto a la última, si el receptor obtiene información de ambas frecuencias se pueden realizar

combinaciones entre ellas que permitan resolver las ambigüedades tan rápidamente que hasta se pueda hacer en movimiento.

Por medio de esta técnica (Cinemática) se pueden obtener coordenadas sobre la trayectoria del receptor "rover" espaciadas una distancia, determinada por la velocidad de este último y el intervalo de tiempo prefijado de grabación (épocas).

Una alternativa interesante que presenta este método es una técnica denominada Stop & Go. La única diferencia que posee esta con respecto al cinemático puro, es que si existen puntos que se desea darle mayor importancia que a cualquier otro de la trayectoria, el receptor "rover" se puede detener sobre éstos, asignarle un nombre y grabar dos o más épocas (por lo general tres) para darle al punto una solución mas confiable.

La precisión de estas dos alternativas dentro del método cinemático, (cinemático puro y Stop & Go) es similar a la del estático rápido. Aunque antes de hablar de precisiones en GPS no se puede obviar el hecho de que la medición indirecta de distancias, se efectúa en base a satélites distribuidos sobre el horizonte, cuya ubicación dependerá del momento de medición. Esta distribución varía como es obvio con respecto al tiempo de observación definiendo geometrias apropiadas y no tanto para obtener buenos resultados. Esto último da origen al concepto de **Dilusión de la Precisión** ya que afecta a la medición aislada de pseudodistancias en un factor determinado. Su valor puede interpretarse como la inversa del volumen determinado por la constelación del momento de la observación y el punto que se pretende posicionar. Es decir, cuando mas amplia sea la distribución de los satélites, mayor será el volumen y por ende menor la dilusión de la precisión.

Este factor se entenderá como ideal cuando adopte el valor de la unidad y malo cuando sea superior a cinco.

Entre las distintas clases de DOP, las más representativas son:

HDOP → Posición horizontal
VDOP → Posición vertical
PDOP → Posición tridimensional

$$\text{Donde PDOP} = \sqrt{(\text{HDOP}^2 + \text{VDOP}^2)}$$

Este concepto requiere mayor atención a la hora de realizar métodos rápidos ya que estos casos no se le dará el tiempo suficiente a los satélites para que en algún momento definan una buena geometría como sucede en los métodos estáticos.

Otro aspecto de importancia que se puede deducir de este concepto, es que, como se puede apreciar, todos los puntos a los cuales se referencia el receptor (satélites) están ubicados sobre el horizonte del mismo. Esto provoca que una variación en altura sea mas difícil de detectar que una en la posición horizontal, determinando que la precisión de la primera sea mas vulnerable que la obtenida en posición horizontal.

En lo que respecta a métodos estáticos, la bibliografía consultada menciona precisiones de 0.5 a 1cm +1 ppm de la distancia de la base mientras que los manuales de los equipos utilizados mencionan solamente 1ppm de la distancia entre receptores.

En cuanto a los métodos cinemáticos la bibliografía acusa precisiones inferiores a los 10 centímetros (Gunter Seeber) y de 1 a 5 centímetros (Ma Paz-Holanda Blas). En este caso los manuales expresan de 1cm + 2ppm tanto para el método estático rápido como para el cinemático.