



II. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América durante los años de 1970 y 1980 desarrolló el Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés GPS (Global Positioning System) con el fin de determinar la posición ya sea en tierra, mar, aire o en el espacio, a partir de las posiciones conocidas de una constelación de satélites.

El GPS es un sistema de navegación basado en 24 satélites que proporciona la posición de un punto en la superficie terrestre en tres dimensiones (latitud, longitud y altitud), además velocidad y tiempo, las 24 horas del día a un número ilimitado de usuarios en cualquier parte del mundo.

2.1 Funcionamiento del GPS

La técnica del GPS consiste en medir el tiempo (Δt) que tarda en llegar una señal emitida por un satélite, al receptor. La distancia entre el transmisor y el receptor puede calcularse multiplicando el Δt por la velocidad de propagación de la señal, o sea la velocidad de la luz, de esta forma obtenemos la distancia entre cada satélite y los receptores, por lo tanto la distancia define una esfera con centro en el satélite y la intersección de al menos 3 esferas nos da como resultado la posición del punto a través de sus 3 coordenadas tridimensionales (X, Y, Z). Sin embargo, debido a la dificultad para poder sincronizar los relojes de los receptores GPS con los relojes atómicos de los satélites GPS y que además la señal se retarda al atravesar la ionósfera y la tropósfera, los resultados obtenidos no son precisos, por lo tanto se les nombra pseudo-distancias (ρ^j). Para determinar las coordenadas de una estación (R^j) debemos obtener las cantidades observadas o pseudo-distancias (ρ^j), conocer r^j y las efemérides, es decir la posición del satélite con respecto al centro de la Tierra (Fig. 2.1), cualquier error en este valor se verá reflejado en la obtención de R^j , por lo tanto utilizar órbitas precisas durante el post-proceso ayuda a mejorar la precisión de los resultados.

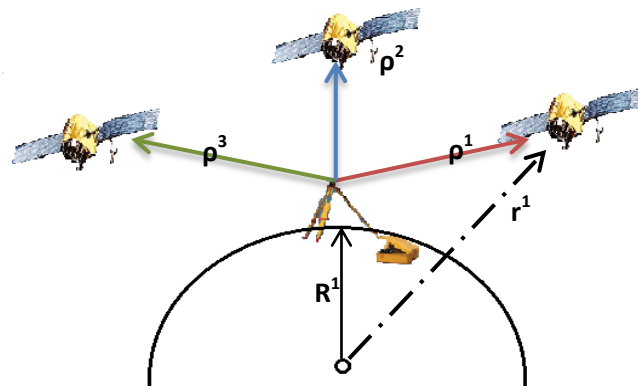


Fig. 2.1. Esquema de la determinación de las coordenadas de una estación GPS (Modificada de Wells *et al.*, 1987).

2.2 Segmentos del Sistema GPS

El sistema GPS está conformado por tres segmentos, el segmento espacial, segmento de control y el segmento de usuario.

1.-**Segmento Espacial:** este segmento en un principio constaba sólo de 18 satélites, pero a partir de 1992 aumentó a 24 satélites (constelación NAVSTAR) para garantizar que las 24 horas del día los receptores pudieran visualizar por lo menos 4 satélites en cualquier lugar del mundo y de esta manera calcular la deriva que existe entre el reloj del satélite y el del usuario, latitud, longitud y altura de un punto. Los satélites están distribuidos en 6 planos orbitales a 20,200 km de altura, con 4 satélites por plano. Sus órbitas son casi circulares y tienen una inclinación aproximada de 55° y un periodo de 12 horas (Jaramillo, Aristóteles, 2002).

2.-**Segmento de Control:** este segmento realiza el seguimiento continuo de los satélites, calcula su posición precisa, transmite los datos y realiza la supervisión necesaria para el control diario de todos los satélites del sistema NAVSTAR. Este segmento está compuesto por tres estaciones principales que son descritas a continuación:

a) *Estación de control maestra.* Está localizada en Colorado Springs (EUA), se encarga de reunir todos los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo y calcula las efemérides



de cada uno de los satélites. Esta información se distribuye a una de las tres estaciones de control terrestres para guardar los datos.

b) Estaciones de monitoreo o de seguimiento: se encuentran distribuidas 4 estaciones en total de manera homogénea, en el océano Pacífico en Hawaii, en el atolón Kwajalein (Islas Marshall), al sur del océano Atlántico en la isla Ascensión y en el océano Índico en la isla Diego García (Fig. 2.2). Estas estaciones rastrean los satélites, determinan las efemérides que el satélite transmite (órbitas predichas), corrigen el tiempo del oscilador de los satélites y envían estos datos a la estación maestra de control.



Fig. 2.2. Distribución de las Estaciones de control (Modificada de Franco, 2009)

c) Estaciones terrestres de control. Existen 3 estaciones: la Ascensión, Kwajalein y la de Diego García, que son un conjunto de antenas terrestres que envían las órbitas y parámetros calculados en las estaciones de seguimiento a cada uno de los satélites, interactúan como ligas de comunicación con los satélites.

3.- Segmento de Usuarios o Segmento Utilitario: este segmento está formado por cualquiera que reciba señales GPS con un receptor, el software y el procesamiento necesario para conocer su posición y/o la hora. Este segmento está constituido por los siguientes elementos (Fig. 2.3):



a) *Antena*. Es una antena que convierte la energía electromagnética que recibe, en corriente eléctrica y la transmite al receptor. Se encarga de recibir y amplificar la señal recibida por los satélites, está conectada a través de un cable preamplificador al receptor, y es el elemento al cual viene siempre referido nuestro posicionamiento.

b) *Receptor*. Recibe las radiofrecuencias de la señal transmitida por los satélites y las decodifica para convertirlas en información legible.

c) *Terminal GPS o Unidad de Control*. En esta unidad se procesan los datos recibidos por el receptor para ser manejados por el usuario. La mayoría de los equipos cuentan con diferentes canales para seguir simultáneamente a varios satélites, un procesador interno con su correspondiente soporte lógico, una unidad de memoria para el almacenamiento de la información, teclado de control, pantalla de comunicación con el usuario con varias funciones y una fuente de alimentación interna o externa. Algunos cuentan con trípodes, cables especiales, equipos de control meteorológico y diverso material auxiliar.

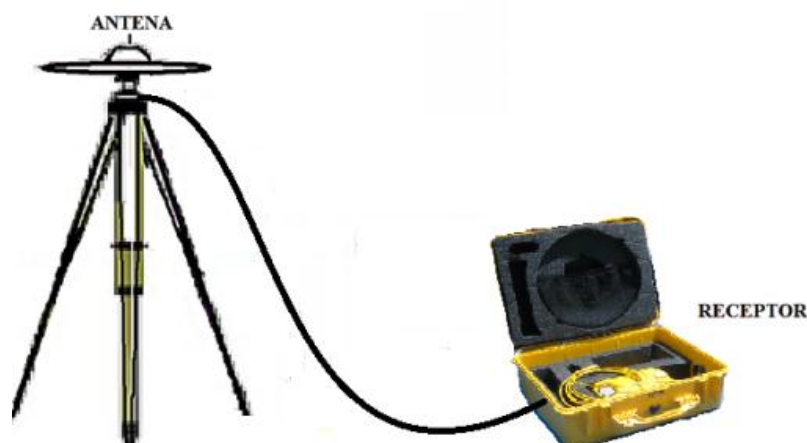


Fig. 2.3. Segmento de Usuarios.



2.3 Tipos de Estaciones

El sistema GPS es la técnica más utilizada en los últimos años para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por lo tanto para estudiar áreas donde se manifiesta una deformación continua, es necesario realizar mediciones constantemente para determinar las variaciones espaciales que pueden presentar uno o varios puntos en un área determinada en un lapso de tiempo, por lo tanto, para realizar estos estudios se pueden emplear dos tipos de estaciones: temporales y permanentes.

Estaciones permanentes: hacen mediciones constantes que permiten registrar datos diariamente sin interrupción alguna, para tener una historia de las variaciones del sitio donde se encuentra instalada.

Estaciones temporales: como su nombre lo indica, son estaciones que se utilizan por temporadas, de forma periódica haciendo una toma de datos en lapsos que duran por lo menos 8 horas diarias durante 3 días consecutivos, por lo que no es posible tener un registro continuo del punto que se está midiendo, pero es posible determinar su variación en un periodo de observación y el siguiente, sin tomar en cuenta lo que pueda suceder mientras no se hacen mediciones. Este tipo de mediciones se pueden realizar con periodos de meses o hasta años, dependiendo del objetivo del estudio.

La combinación de los datos de estaciones permanentes y de estaciones temporales nos permite establecer o determinar modelos de deformación elástica.

En la CM se cuenta con estaciones temporales y permanentes que forman parte del proyecto del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México y que tiene como objetivo principal el estudio del hundimiento de la CM desde el año de 1995.



2.4 Tipos de Levantamientos

Levantamiento Estático

El posicionamiento estático relativo es un método que involucra por lo menos 2 estaciones con receptores que registran datos de por lo menos cuatro satélites simultáneamente, durante sesiones de observación de 30 minutos a 2 horas. Para llevar a cabo este tipo de levantamiento es necesario que la antena del receptor GPS esté posicionada y calibrada, sobre el punto que se desea medir durante el tiempo que dure el levantamiento (Fig. 2.4).

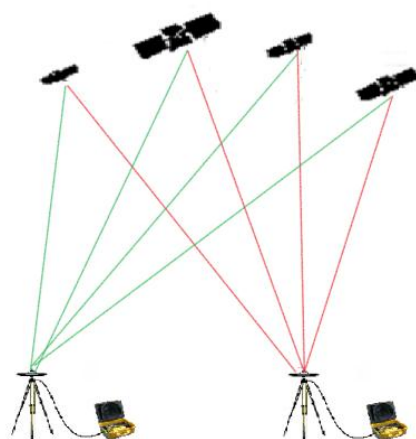


Fig. 2.4. Levantamiento Estático

El tiempo que debe durar el levantamiento es muy variable, ya que depende de los satélites disponibles, si el cielo está despejado, obstrucciones que puedan estar cerca como edificaciones, vegetación, fuentes de ruido, pero sobre todo el objetivo del estudio. Este tipo de levantamiento es el más utilizado debido a su gran precisión, pero requiere de un mayor lapso de tiempo que se traduce en mayor costo.

Levantamiento Estático-Rápido (*Fast-static*)

Este levantamiento consiste en un receptor fijo (Base) que observa durante todo el levantamiento, y otro móvil, que se va posicionando en los diferentes puntos de interés por periodos entre 5 y 20 minutos (Van Sickle, 1996).



Este tipo de levantamientos es más corto en tiempo y su precisión dependerá de la distancia a la base, número de satélites que puedan ser observados y la geometría de los mismos. El receptor móvil, únicamente se ocupa de los puntos por periodos de 5 a 20 minutos; cinco minutos cuando la distancia del punto a la base es menor a 5 km y se están observando seis satélites o más, y 20 minutos si la distancia del punto a la base es mayor a 20 km o se observan solo cuatro satélites o menos. (Fig. 2.5).

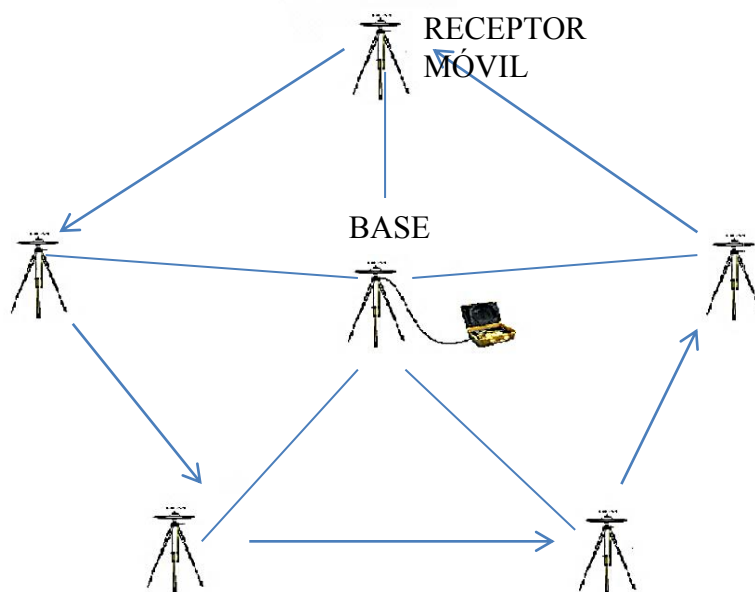


Fig. 2.5. Esquema del Levantamiento Estático-rápido

Levantamiento Cinemático

Es un levantamiento rápido que necesita de por lo menos dos receptores, el estático de referencia y el receptor que está en movimiento. Consiste en poner el receptor en movimiento sobre los puntos de trabajo y se detiene en cada punto momentáneamente alrededor de dos minutos o menos (Van Sickle, 1996) y los datos obtenidos proveen vectores entre sí mismos y el receptor de referencia (Fig. 2.6). Se seleccionan dos puntos: el de referencia y el final, para después establecer una configuración poligonal con inicio y final en el cierre con los demás puntos, los receptores realizan un registro continuo de fase desde el inicio al final de la observación, mínimo de cuatro satélites con seguimiento



común y bien distribuidos. El tiempo de observación en cada punto varía entre uno y dos minutos, y la precisión máxima que se puede obtener oscila entre los 10 y 20 cm.

Existen otras variantes del método cinemático y se seleccionan basándose en las características del terreno en donde se encuentra el objetivo. Por ejemplo, la técnica de Leapfrog es una variación que involucra dos receptores (Van Sickle, 1996), los dos receptores se van moviendo, pero solo uno a la vez, primero el receptor A es la base y el receptor B se mueve y posteriormente el receptor B se convierte en la base mientras el receptor A se mueve, pero no se mueven ambos al mismo tiempo.

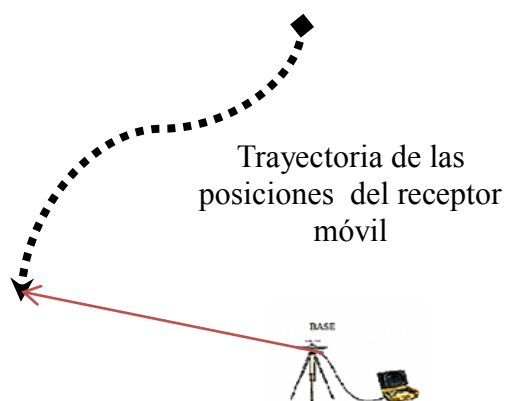


Fig. 2.6. Esquema del levantamiento cinemático

Levantamiento Pseudoestático o Pseudocinemático

Los datos obtenidos a partir de este método son parecidos a los que se obtienen con la técnica estática rápida, este se realiza en dos sesiones de pocos minutos cada uno, aproximadamente 10 minutos (Chris Rizos, 1999), y se deja transcurrir como mínimo una hora antes de iniciar otra sesión.

En este método se coloca un receptor en un punto que se tomará como base, mientras el otro receptor se mueve sobre todos los puntos de interés permaneciendo estático por un periodo de tiempo muy corto y después se mueve al siguiente punto, y así sucesivamente hasta terminar de medir todos los puntos de interés, este mismo receptor volverá a medir todos los puntos por segunda vez, unas horas más tarde para terminar el levantamiento en dos sesiones (Fig. 2.7).



Una de las ventajas de esta configuración es que nos permite incrementar las mediciones con la repetición de los puntos observados, el receptor no necesita estar prendido entre la primera y segunda sesión, y tampoco es necesario que observe la misma constelación de satélites en ambas sesiones.

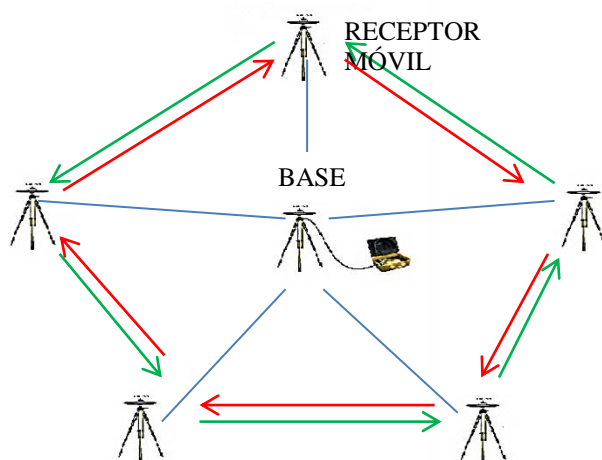


Fig. 2.7. Esquema del levantamiento Pseudocinemático

2.5 Tipos de receptores

En la actualidad existe una gran variedad de receptores debido a las necesidades que tienen los usuarios y las utilidades que se les puede dar dependiendo del trabajo que se va a realizar. Los receptores se clasifican de acuerdo con sus características físicas, sus elementos de señal GPS y por su exactitud, estas características incrementan o disminuyen sus costos.

Los receptores los podemos clasificar en tres tipos:

- **Receptores Secuenciales.** Estos receptores son muy baratos, pero son muy lentos, además de que su precisión es menor que la de los otros tipos de receptores. Se utilizan principalmente en aplicaciones que no necesitan de tanta precisión como en navegación terrestre, navegación marina, etc. Sólo cuentan con un canal que sigue secuencialmente a los diferentes satélites visibles. El receptor permanece sincronizado con cada uno de los satélites al menos un segundo, durante este tiempo adquiere la



señal y calcula el retardo temporal, una vez calculado el retardo de sólo cuatro satélites calcula la posición. Los satélites que elige son aquellos que tienen mejor SNR (relación señal-ruido).

- **Receptores de Canales Multiplexados.** Estos receptores también cuentan con un solo canal físico (hardware), la diferencia radica en que el software permite visualizar y dar seguimiento a cuatro o más satélites a la vez. El receptor muestrea todos los satélites asignados a dicho canal en un tiempo igual o menor a 20 milisegundos (que es la duración de un bit del mensaje de navegación), para que los mensajes de los satélites sean leídos simultáneamente.
- **Receptor Contínuo o Multicanal.** Estos receptores disponen de al menos 4 canales, a cada canal se le asigna el código de un satélite para que se sincronicen y se pueda calcular el retardo con ese satélite, estos retardos son medidos simultáneamente. Una ventaja que tienen este tipo de receptores es que son más rápidos que los secuenciales a la hora de calcular la posición, además su precisión es mejor que la de un receptor secuencial, es por esta razón que se recomiendan para aplicaciones como aeronáuticas, aquellas que requieren de un posicionamiento más preciso o de datos de buena calidad. Los receptores de una frecuencia o navegadores (Fig. 2.8), son ligeros y portátiles, pueden trabajar con 12 canales o más y consumen poca de energía. Tienen poca exactitud ya que su precisión oscila entre los 10 m y 15 m, por lo que éstos receptores resultan muy útiles, prácticos y económicos para ciertas aplicaciones que no requieren gran precisión como para deportistas, alpinistas, o personas que necesitan una ubicación rápida y aproximada de algún punto. Las principales marcas que comercializan este tipo de receptores son: GARMIN, MAGELLAN, DSNP, TRIMBLE, entre otros.



Fig. 2.8. Receptor de mano Trimble Juno ST (Tomada de Technology & More, 2008-2)

Los receptores de doble frecuencia (L1 y L2, dual-frequency) o receptores geodésicos son de gran precisión alrededor de 2 cm. El costo de este tipo de receptores es elevado debido a las múltiples funciones con las que cuenta y a la gran precisión que tienen, son muy utilizados para fines profesionales tales como el del estudio de la deformación de la corteza terrestre, investigaciones de movimiento de placas tectónicas, sismicidad, etc. Generalmente cuentan con una antena receptora, un mástil o trípode y el receptor GPS (Fig. 2.9), pueden manejar más de 12 canales simultáneamente.



Fig. 2.9. Equipo Trimble 5700 con antena Zephyr Geodetic.



El número de canales disponibles en un receptor y su frecuencia son importantes ya que entre más satélites pueda observar continuamente el receptor, la solución será mejor en menor tiempo, los receptores de una sola frecuencia son los más utilizados para colocarse a distancias menores a 25 km entre cada receptor, y los de doble frecuencia tienen la capacidad de eliminar algunos efectos atmosféricos y se pueden colocar a distancias mayores a los 25 km entre receptores.

Debido al gran avance que ha tenido la tecnología en los últimos años, los receptores ofrecen al usuario una amplia variedad de información dependiendo del modelo y tipo de equipo (Fig. 2.10), tal como:

- Información del software interno
- Selección manual de los satélites requeridos
- Satélites localizados
- Satélites en seguimiento
- Azimut de cada satélite en seguimiento
- Elevación de cada satélite en seguimiento
- Condición de cada satélite
- Semana GPS, día de la semana y tiempo GMT
- Posición actual
- Dirección y velocidad del movimiento
- Odómetro
- Opción de observación elegida (Estática, Dinámica, Cinemática)
- Nombre y número de sesión de la estación



- Nombre y longitud del archivo en el que se están almacenando los datos
- Estado de la fuente de alimentación o batería
- Puertos de comunicación elegidos
- Entre otras

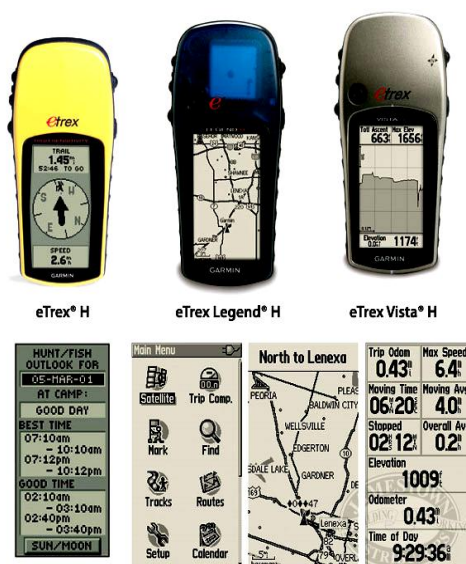


Fig. 2.10. Se muestran algunos modelos de GPS Garmin y algunas de sus funciones (Tomada de www.garmin.com).

2.6 Tipos de Satélites

Los sistemas satelitales han adquirido una gran importancia a través de los años ya que tienen una gran diversidad de aplicaciones como las que ya se han mencionado anteriormente, incluso diferentes de las que fueron diseñadas originalmente, como: Posicionamiento, Vigilancia, Comunicaciones, Meteorología, Geodesia, Astronomía, Geofísica, Agricultura. Los satélites pueden ser pasivos o activos:

Satélites pasivos. Carecen de cualquier mecanismo y de emisiones propias; sólo pueden devolver la energía que en ellos incida, por simple reflexión con prismas reflectores, es decir, se limitan a reflejar la señal recibida sin llevar a cabo ningún otro tipo de proceso sobre ella; se comportan como una especie de espejo en el que rebota la señal.



Satélites activos. Se encargan de amplificar las señales que reciben antes de volver a enviarlas hacia la Tierra, pueden contar con luces pulsantes de alta intensidad, repetidores de microondas, transmisores radioeléctricos, radioaltímetros, sensores remotos, etc., poseen baterías para almacenar la energía eléctrica, celdas fotovoltaicas o paneles solares para producir su propia energía.

2.7 Tipos de Monumentos o Mojoneras

Los monumentos que se construyeron para la red de GPS de la CM son de tres tipos: tipo fosa, tipo plancha de concreto y naturales.

Las características principales de un *monumento tipo fosa* es que para construirlo se hace una excavación de 1x1x1m, en el centro se coloca un tubo de albañal de 90 cm de largo y 25 cm diámetro y se fija con una plancha de concreto de 1x1m y 30cm de espesor. El tubo es relleno de concreto y en la parte central se clava una varilla de acero inoxidable de 1.58 cm de diámetro (5/8") y 50 cm de largo con una marca en el centro que es nuestro punto de interés, y finalmente la excavación se rellena totalmente con el material que se extrajo de la misma (Fig. 2.11).

Este tipo de mojoneras fueron construidas en las estaciones del Aeropuerto, Zócalo, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Cuernavaca, Centro Médico, Balbuena, UAM Iztapalapa, Autódromo Hermanos Rodríguez y Lago de Texcoco.

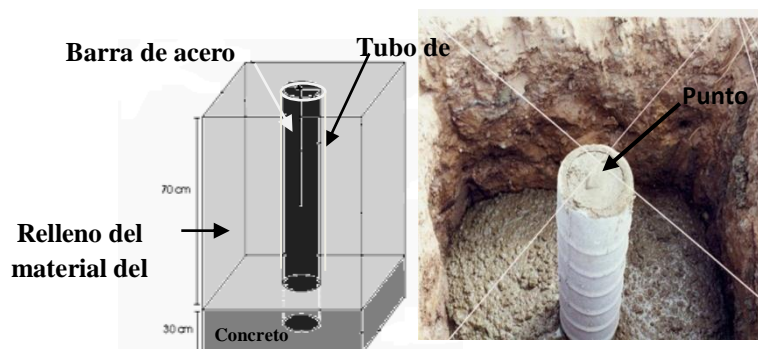


Fig. 2.11. Monumento tipo fosa construido en el Hospital Balbuena.



Monumento tipo plancha de concreto: el punto se coloca en una plancha o losa de concreto, que ya existe. Se hace una perforación, de 21 cm de largo por 1.58 cm de diámetro en la plancha de concreto con un taladro industrial y se pone pegamento plástico de alta resistencia para insertar una barra de acero inoxidable que también tiene una marca en el centro (Fig. 2.12).

Las estaciones con este tipo de mojoneras son: Benemérita Escuela Nacional de Maestros, Cerro de la Estrella, Riachuelo Serpentino (Tláhuac) y Rancho de la Facultad de Veterinaria (Chalco).

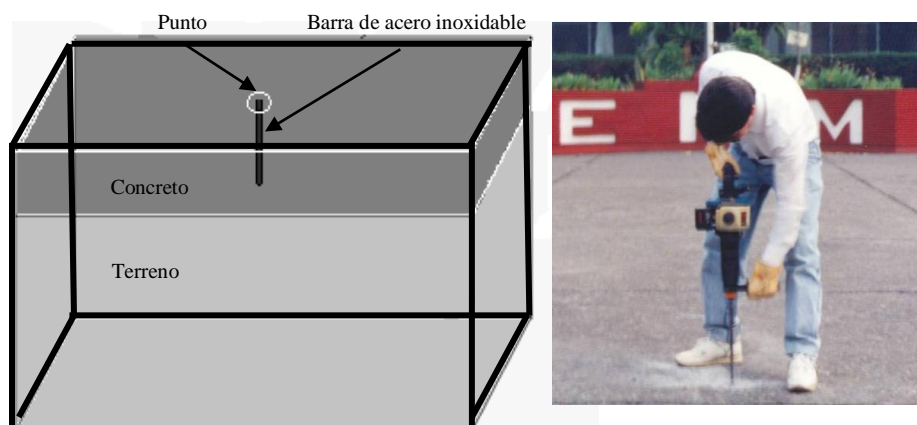


Fig. 2.12. Mojonera tipo plancha de concreto en la Benemérita Escuela Nacional de Maestros.

Monumento natural: para este tipo de monumentos es necesario encontrar un afloramiento rocoso en el que se coloca una barra de acero inoxidable de la misma forma que en las mojoneras tipo plancha (Fig. 2.13)

En este estudio, solamente el sitio en UNIVERSUM es de este tipo y se encuentra en Ciudad Universitaria, a un costado del museo UNIVERSUM.

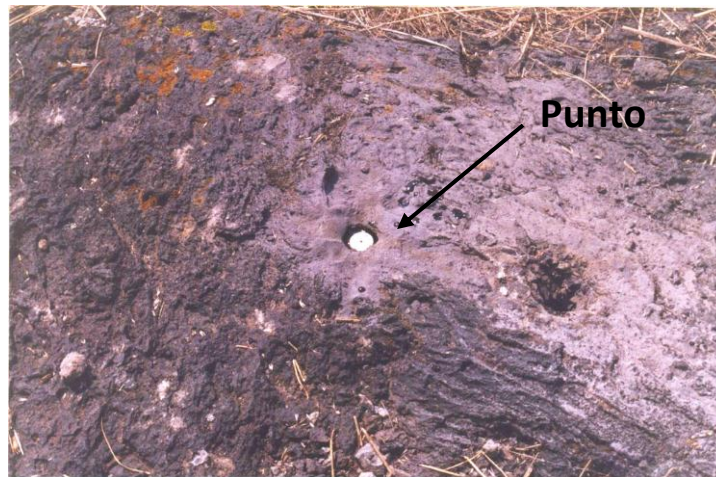


Fig. 2.13. Monumento natural ubicado en UNIVERSUM, Ciudad Universitaria.

Estabilidad de los Monumentos

De acuerdo con un análisis previo realizado por Aristóteles H. Jaramillo (2002), para cada tipo de mojonera, se llegó a la conclusión de que los asentamientos en cada estación varía muy poco dependiendo de su tipo. Las mojoneras naturales no se consideraron para este análisis ya que el asentamiento es propio de la zona, por lo que solo se llevaron a cabo los cálculos para mojoneras artificiales tipo fosa y tipo plancha.

Para analizar la consolidación que presentan los monumentos artificiales se tomó en cuenta que la Ciudad de México se encuentra construida sobre arcillas, por lo que se tomaron valores promedio de las arcillas típicas de la ciudad de México y se propuso un estrato de arcilla compresible de 30m de espesor. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Para el monumento tipo fosa se concluyó que el hundimiento total debido al peso y la geometría de este tipo de monumento es de 0.07 cm, mientras que para un monumento tipo plancha de concreto (losa), el hundimiento total debido al peso y su geometría es de 0.05 cm. Por lo tanto, podemos decir que ambos tipos de monumentos (fosa y losa) presentan un asentamiento milimétrico que se considera prácticamente nulo, es decir, los hundimientos registrados en el estudio son propios de cada terreno, y no son causados por la compactación el terreno por las mojoneras instaladas.



2.8 Errores en el Sistema GPS

Existen varios tipos de errores que afectan los datos GPS y que pueden ser modelados para eliminarse al procesar los datos; sin embargo, para algunos casos sólo se pueden reducir. Estos errores se clasifican dependiendo al tipo de fuente en tres grupos principales: debidos a los satélites, a la propagación de la señal y debidos a los receptores.

Errores debidos a los satélites

Errores de órbitas: es la diferencia que existe entre la posición transmitida (predicha) y la posición verdadera en el momento de la transmisión de la señal debido a que las efemérides no pueden estar actualizadas a cada instante. La magnitud máxima que se puede esperar debido a errores de las órbitas es de 80 m.

Errores debidos a los relojes: se presentan porque los relojes deben de ser extremadamente precisos y aunque éstos tengan pequeños errores, se pueden traducir en errores en las distancias medidas entre el satélite y el receptor. Por ejemplo una diferencia de 10 nanosegundos (1×10^{-8} segundos) entre los relojes causa un error de 3 m en la distancia medida. La máxima magnitud de este error es de 300 m (Wells *et al.*, 1987).

Geometría de los satélites. Es la “disolución de la precisión” (DOP), es decir, es la disposición relativa de los satélites en el momento que están siendo utilizados por un receptor, por lo tanto, se considera que tienen una posición ideal si los satélites están distribuidos uniformemente en el cielo, al menos uno justo en el cenit, y tres sobre el horizonte, separados 120° de azimut, pero tienen una geometría pobre si los satélites están muy cercanos entre sí (Fig. 2.14).

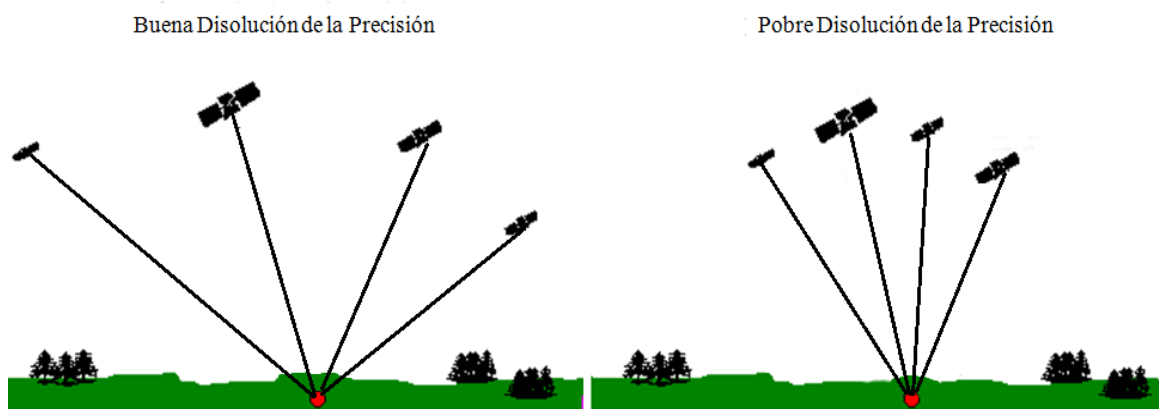


Fig. 2.14. Se muestra la geometría de los satélites, buena y pobre Disolución de la Precisión (DOP)
(Modificada de Corvallis Microtechnology Inc.).

Los DOP varían dependiendo de sus coordenadas y de las combinaciones con las que se esté evaluando la precisión, por ejemplo:

- **VDOP** es la precisión en la componente vertical
- **HDOP** es la precisión en la componente horizontal
- **PDOP** es la precisión en las tres componentes
- **TDOP** es la desviación estándar del tiempo
- **HTDOP** es la precisión en la componente horizontal y el tiempo
- **GDOP** es la precisión en las tres dimensiones y el tiempo

Errores generados por el medio de propagación de la señal

Los *retrasos ionosféricos* y *troposféricos* ocurren cuando la señal es desviada y retrasada al atravesar la ionósfera y la tropósfera. La ionósfera dispersa las ondas por las partículas ionizadas y la tropósfera crea un efecto de refracción de la señal porque se divide en dos componentes: seca y húmeda, un 90% de la refracción troposférica ocurre en la componente seca y el resto en la componente húmeda. El retraso que sufre la señal se debe al vapor de agua presente en la atmósfera, a la altitud, al ángulo de elevación de la señal y otros factores.



Errores relacionados con los receptores

Errores de multi-trayectorias o multipath: ocurre cuando la señal GPS choca o se refleja antes de llegar a la antena, en superficies que se encuentran cerca de ella, y provoca un incremento en el tiempo de recorrido de la señal y se puede traducir en hasta 5 cm de error en la posición.

FUENTE	EFEECTO
Satélite	Relojes Órbitas Geometría de los satélites
Propagación de la señal	Retraso ionosférico Retraso troposférico
Receptor	Variación del centro de fase de la antena Reloj Multi-trayectorias

Tabla 1. Algunos de los errores relacionados con el tipo de fuente.

2.9 Aplicaciones del Sistema GPS

El sistema GPS ha alcanzado una gran popularidad debido a la gran diversidad de aplicaciones que tiene en el campo terrestre, marítimo, aéreo y espacial. Algunas de las aplicaciones de este sistema son:

- Posicionamiento de un punto en cualquier lugar del planeta con un error de precisión mínimo.
- Navegación y determinación de un recorrido.
- Topografía: determinación de puntos de referencia, lugares con ciertas características geográficas o infraestructuras, etc.
- Sincronización de tiempos: cuenta con un sistema que permite determinar momentos en los que suceden o sucederán determinados eventos, sincronizarlos y unificar horarios.
- Establecimiento y densificación de redes geodésicas.



-
- Monitoreo de deformación terrestre.
 - Aplicaciones en cartografía.
 - Agricultura: para determinar con precisión los acres de campo para los clientes.
 - Sistema de control geodésico para ferrocarriles.
 - Posicionamiento de cámaras de fotogrametría.
 - Determinación y localización de cualquier tipo de obra.
 - Estudio de evolución de cuencas fluviales.
 - Levantamientos batimétricos.
 - Actualizaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
 - Situación continua e instantánea de un vehículo sobre cartografía digital.
 - Navegación en tiempo real con gran precisión.
 - Determinación de dirección, velocidad y aceleración de cualquier vehículo.
 - Guía vehicular sobre trayectorias prefijadas.
 - Localización y control de flotas de vehículos.
 - Inventario de redes viales.

2.10 Aplicaciones del Sistema GPS en el Monitoreo de la Deformación Tectónica de la Cuenca de México.

Como consecuencia del gran desarrollo urbano en la Ciudad de México en los últimos años nos hemos visto en la necesidad de estudiar ciertos fenómenos que se han ido manifestando con mayor frecuencia. Son de gran importancia y preocupación por los problemas de hundimiento, desarrollo de fracturas, fallas, deslizamientos, acompañados por una serie de daños en el funcionamiento de las instalaciones y serios problemas de estabilidad a las construcciones de toda índole. El sistema de desagüe hasta ahora no ha funcionado correctamente por la alteración de sus pendientes y es causa de inundaciones en distintas zonas de la urbe, además de otros problemas.

El Instituto de Geofísica de Universidad Nacional Autónoma de México desarrolló un proyecto con el fin de medir los hundimientos en la CM, al que nombraron “Monitoreo del Hundimiento de la Cuenca de México usando GPS de Alta Precisión”. A través de este proyecto se han efectuado mediciones desde el año de 1995 hasta el presente año en 18



sitios distribuidos en el occidente de la CM, utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS); sin embargo, el proyecto no sólo se ha empeñado en estudiar el hundimiento, sino que también ha comenzado el análisis de los desplazamientos horizontales para asociarlos con procesos geotectónicos en la CM.