

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“APLICACIONES DEL SISTEMA DE  
POSICIONAMIENTO GLOBAL EN LA INGENIERÍA  
TOPOGRÁFICA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA**

**P R E S E N T A**

**ROBERTO CARLOS DE LA CRUZ SÁNCHEZ**

**DIRECTOR DE TESIS: M.I. RAYMUNDO ARVIZU DIAZ**

**MÉXICO, D.F.**

**2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ***Agradecimientos***

---

### **A Dios:**

Por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

### **A mis padres:**

Dedico esta tesis a mi Padres, a quienes agradezco de todo corazón por su amor, cariño y comprensión. En todo momento los llevo conmigo.

### **A mis hermanos:**

Miguel, Beatriz, Arturo, Adrián, Mercedes, Gabriela por su compañía y el apoyo que me brindan. Se que cuento con ellos siempre.

### **A mi esposa Lucy:**

Por haberme apoyado, por tener su amor y compartir mi existencia con ella.

### **A mis amigos:**

Porque cada uno de ellos es parte de una etapa de mi vida, por su confianza y lealtad.

(†) A las personas que desgraciadamente ya no se encuentran a mi lado, las cuales me hicieron ser más fuerte.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme la oportunidad de formar parte de una institución tan honorable y formarme profesionalmente.

### **A mis profesores:**

Agradezco a mis docentes (Ing. Adolfo Reyes, Ing. Víctor Mozo, Ing. Benito Gómez, Ing. Ubertino González, Dr. Víctor Ramos entre otros, no menos importantes) por compartir sus experiencias y sus conocimientos.

Al **M.I. Raymundo Arvizu Díaz** por su asesoría, su paciencia, su orientación, así como sus puntos de vista los cuales fueron valiosos para la culminación del presente trabajo

A la empresa **Leica Geosystems México, S.A. de C.V.** y muy en especial al **Ing. Luis A. Marquez A.** Por su disposición, paciencia e interés de atender siempre mis inquietudes y ampliar mis conocimientos en asuntos laborales.

A la empresa **Procesos Analíticos Automatizados, S. A. de C. V.** Por su contribución a mi formación profesional

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	1
1.1 Principios del GPS.....	1
1.2 Arquitectura del GPS.....	2
1.2.1 El segmento espacial .....	2
1.2.2 El segmento control.....	3
1.2.3 El segmento de usuario.....	4
1.3 Usos del GPS.....	4
CAPÍTULO II. EL RECEPTOR GPS.....	7
2.1 Tipos de receptores.....	7
2.1.1 Navegadores GPS.....	7
2.1.2 GPS Topográficos y Geodésicos.....	8
2.2 Funciones del receptor.....	9
2.3 Estación de referencia.....	9
2.3.1 Receptor móvil.....	10
2.4 Precisión.....	11
2.5 Equipos GPS Geodésicos .....	12
2.5.1 GPS Leica SR399.....	13
2.5.2 GPS Leica SR9400.....	14
2.5.3 GPS Leica SR530 RTK.....	15
CAPÍTULO III. FUENTES DE ERROR.....	18
3.1 Errores relativos al satélite.....	18
3.1.1 Error del reloj del satélite.....	18
3.1.2 Error en los parámetros orbitales.....	19
3.2 Error relativo a la propagación de la señal.....	19
3.2.1 Refracción ionosférica.....	19
3.2.2 Refracción troposférica .....	20
3.2.3 Disponibilidad selectiva.....	21
3.2.4 Pérdida de ciclos.....	22
3.2.5 Efecto multipath.....	22
3.3 Errores relativos al receptor.....	23
3.3.1 Error de reloj.....	23
3.3.2 Error en el estacionamiento de la antena.....	23
3.3.3 Error en la manipulación del equipo.....	23
3.3.4 Variación del centro radioeléctrico de la antena.....	24
CAPÍTULO IV. MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO .....	25
4.1 Posicionamiento absoluto.....	25
4.2 Posicionamiento diferencial.....	26
4.3 Método de operación.....	26
4.4 Posicionamiento diferencial corregido.....	27
4.5 Posicionamiento diferencial de fase.....	27
4.6 Medición de pseudodistancias.....	27
4.7 Medición de distancias con medidas de fase.....	28
CAPÍTULO V. LEVANTAMIENTO CON GPS.....	29
5.1 Técnicas de medición GPS .....	29
5.2 Levantamientos estáticos.....	29
5.2.1 Levantamiento estático rápido.....	31
5.2.2 Reocupación.....	33

5.3 Levantamiento cinemático .....	34
5.3.1 Cinemático OTF.....	35
5.4 Levantamiento RTK.....	35
5.4.1 El radio enlace.....	36
CAPÍTULO VI. ETAPAS Y PARAMETROS EN UN POSICIONAMIENTO SATELITAL.....	38
6.1 Planificación.....	38
6.2 Observación.....	38
6.3 Cálculo.....	39
6.4 Preparación del levantamiento.....	40
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES.....	42
GLOSARIO	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

La meta de estas líneas es servir como manual técnico o referencia práctica para estudiantes en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), tanto para aplicaciones técnicas en topografía, digitalización de superficies de terrenos, recopilación de datos GIS, así como para aplicaciones en agrimensura, navegación aérea, marítima y terrestre o simplemente para actividades de recreación. Tomando como base las normas y tolerancias definidas por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI).

Dada la diversidad de fabricantes y tipos de receptores GPS, se tiene en el mercado una incorrecta interpretación de los datos obtenidos así como el uso y manejo de este, por lo tanto esta guía tratará de manera técnica los diferentes métodos de posicionamiento, tratamiento de datos y configuraciones para la correcta utilización del equipo.

Actualmente el GPS ha cobrado una importancia enorme como un servicio de localización y posicionamiento global. Su principal ventaja es la disponibilidad mundial.

### **OBJETIVOS**

- Aprender a configurar un receptor GPS;
- Conocer técnicas de geoposicionamiento a través del uso de GPS;
- Ubicar puntos de Control Terrestre;
- Proceso de la información;
- Interpretación de los resultados obtenidos.

### **MATERIAL REQUERIDO**

- Receptores GPS (Navegadores, Topográficos y Geodésicos);
- Computadora;
- Software;
- Información dependencias relacionadas con la geodesia. INEGI.

# Capítulo 1

## *Descripción del sistema*

---

### **1.1 Principios del GPS**

El Sistema Global de Posicionamiento (GPS por sus siglas en inglés), es un sistema satelitario basado en señales de radio emitidas por una constelación de 21 a 24 satélites activos en órbita alrededor de la tierra a una altura de aproximadamente 20 000 km., las 24 horas del día, desplazándose a una velocidad de 14.500 Km./h.

Las órbitas son casi circulares y se repite el mismo recorrido sobre la superficie terrestre (mientras la tierra rota a su vez sobre si misma) de esta forma en prácticamente un día (24 horas menos 4 minutos) un satélite vuelve a pasar sobre el mismo punto de la tierra. Los satélites quedan situados sobre 6 planos orbitales (con un mínimo de 4 satélites cada uno), espaciados equidistantes a 60 grados e inclinados unos 15 grados respecto al plano ecuatorial. Esta disposición permite que desde cualquier punto de la superficie terrestre sean visibles entre cinco y ocho satélites.

Normalmente hay más número de satélites ya que se ponen en órbita unidades nuevas para reponer satélites antiguos que tienen una vida media aproximada de siete años y medio.

Hasta la actualidad han habido tres generaciones de satélites, los Block I (actualmente inoperativos), Block II (9 satélites entre 1989 y 1990 y 19 adicionales hasta el 1997) y Block IIR (un satélite en 1998). En enero de 1999 orbitaban 27 satélites GPS en total.

El sistema permite el cálculo de coordenadas tridimensionales que pueden ser usadas en navegación o, mediante el uso de métodos adecuados, para determinación de mediciones de precisión, provisto que se poseen receptores que capten las señales emitida por los satélites. Se utilizan cuatro señales para el cálculo de posiciones en tres dimensiones y del ajuste del reloj del receptor en el bloque receptor.

La estación maestra de control (MCS) está situada en Falcon AFB en Colorado Spring. Las estaciones de control miden las señales procedentes de los satélites y son incorporadas en modelos orbitales para cada satélite. Los modelos calculan datos de ajuste de órbita (efemérides) y correcciones de los relojes de cada satélite. La estación maestra envía las efemérides y correcciones de reloj a cada satélite. Cada satélite envía posteriormente subconjuntos de estas informaciones a los receptores de GPS mediante señales de radio.

La determinación de coordenadas en forma absoluta presenta varios problemas. Además de los errores de reloj, se debe considerar que en la medición de pseudo-distancias la señal proveniente del satélite cambiará su

velocidad de propagación al atravesar capas atmosféricas de distinta densidad, lo que introduce otro error en la posición. También, debe recordarse que la posición de observación es determinada a partir de las coordenadas de los satélites, la distancia medida, por lo tanto, también se encuentra afectada por las distintas perturbaciones orbitales, que sacan a los satélites de las órbitas teóricas. La exactitud en la determinación de coordenadas absolutas con respecto al sistema de referencia es entre 100 y 150 m en las tres coordenadas.

## **1.2 Arquitectura del GPS**

El GPS está integrado por tres segmentos o componentes de un sistema, que a continuación se describen:

### **1.2.1. El Segmento Espacial**

Esta conformado por 24 satélites que giran en órbitas ubicadas aproximadamente a 20,200km cada 12 horas.

El segmento espacial está diseñado de tal forma que se pueda contar con un mínimo de 4 satélites visibles por encima de un ángulo de elevación de 15° en cualquier punto de la superficie terrestre, durante las 24 horas del día.

La experiencia ha demostrado que la mayor parte del tiempo hay por lo menos 5 satélites visibles por encima de los 15°, y muy a menudo hay 6 o 7 satélites visibles.

Cada satélite GPS lleva a bordo varios relojes atómicos muy precisos. Estos relojes operan en una frecuencia de fundamental de 10.23MHz, la cual se emplea para generar las señales transmitidas por el satélite.

Los satélites transmiten constantemente en dos ondas portadoras. Estas ondas portadoras se encuentran en la banda L (utilizada para transmisiones de radio) y viajan a la Tierra a la velocidad de la luz.

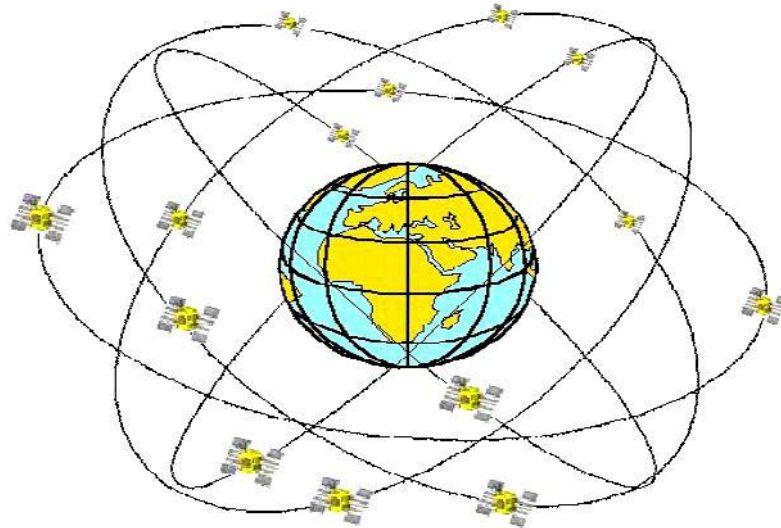
Dichas ondas portadoras se derivan de la frecuencia fundamental, generada por un reloj atómico muy preciso.

- La portadora L1 es transmitida a 1575.42 MHz (10.23 x 154)
- La portadora L2 es transmitida a 1227.60 MHz (10.23 x 120)

La portadora L1 es modulada por dos códigos. El Código C/A o Código de Adquisición Gruesa modula a 1.023MHz (10.23/10) y el código P o Código de Precisión modula a 10.23MHz. L2 es modulada por un código solamente. El código P en L2 modula a 10.23 MHz.

Los receptores GPS utilizan los diferentes códigos para distinguir los satélites. Los códigos también pueden ser empleados como base para realizar las mediciones de pseudodistancia y a partir de ahí, calcular una posición.





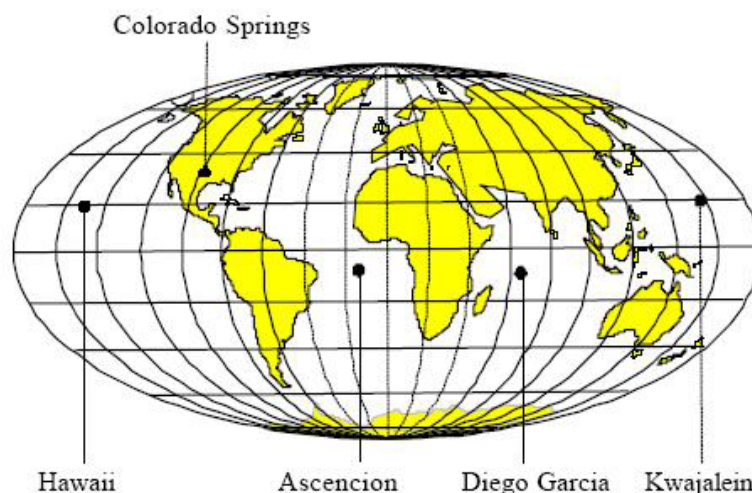
### 1.2.2. El segmento de control

Consiste de una estación de control maestro, 5 estaciones de observación y 4 antenas de tierra distribuidas entre 5 puntos muy cercanos al ecuador terrestre.

El segmento de Control rastrea los satélites GPS, actualiza su posición orbital y calibra y sincroniza sus relojes.

Otra función importante consiste en determinar la órbita de cada satélite y predecir su trayectoria para las siguientes 24 horas. Esta información es cargada a cada satélite y posteriormente transmitida desde allí. Esto permite al receptor GPS conocer la ubicación de cada satélite.

Las señales de los satélites son leídas desde las estaciones: **Ascensión**, **Diego García** y **Kwajalein**. Estas mediciones son entonces enviadas a la Estación de Control Maestro en **Colorado Springs**, donde son procesadas para determinar cualquier error en cada satélite. La información es enviada a las cuatro estaciones de observación para posteriormente ser reenviadas nuevamente a los satélites.



### 1.2.3. El segmento de usuarios

Comprende a cualquiera que reciba las señales GPS con un receptor, determinando su posición y/o la hora. Algunas aplicaciones típicas dentro del segmento Usuarios son: la navegación en tierra para excursionistas, ubicación de vehículos, topografía, navegación marítima y aérea, control de maquinaria, etc.



## 1.3 Usos del GPS

Hoy por hoy, podemos enumerar los siguientes campos en los que el Sistema de Posicionamiento por Satélite está presente:

### Geodesia

- Determinación de las Redes fundamentales para la cartografía, Topografía, Ingeniería y control de un país, región o localidad;
- Obtención de la ondulación del Geoide de forma regional o global.

### Geofísica

- Estudio de deformaciones de la superficie terrestre;
- Determinación de la estructura de las distintas capas de la atmósfera y comportamiento de las mismas.

### Topografía y Fotogrametría

- Densificación de Redes Geodésicas;
- Levantamientos taquimétricos;
- Apoyo fotogramétrico;
- Determinación de las coordenadas del centro óptico de la cámara en el momento de la toma.

## **Ingeniería**

- Redes fundamentales para cartografías donde se apoyen los proyectos de arquitectura o infraestructuras de todo tipo;
- Establecimiento de Redes básicas para el replanteo de una obra de ingeniería;
- Replanteo de puntos de un proyecto de ingeniería;
- Control de calidad en obra;
- Control de deformaciones de estructuras.

## **Hidrografía**

- Levantamientos batimétricos;
- Estudios y análisis de la evolución de las cuencas hidrográficas.;
- Determinación de itinerarios fluviales y marítimos.

## **Sistemas de Información Geográfica**

- Obtención de los datos geográficos para la formación y actualización de bases de datos georeferenciadas y la cartografía de un Sistema de Información Geográfica.

## **Navegación**

- Situación instantánea de vehículos sobre un sistema de referencia;
- Actualización de cartas de navegación;
- Determinación de itinerarios idóneos;
- Deducción de la evolución e itinerario de un vehículo en movimiento;
- Inventarios de redes viales, fluviales, aéreas, navales y espaciales.

## **Defensa**

- Localización de objetivos de cualquier tipo;
- Evaluación de zonas y recorridos por las mismas.

## **Ocio y Deporte**

- Localización y situación en expediciones, safaris, rallyes, viajes, competiciones, excursiones en zonas de cartografía desconocida, etc.

El sistema GPS tiene numerosas ventajas y limitaciones sobre los métodos de topografía tradicionales:

### **Ventajas**

- No se requiere visibilidad entre los puntos;
- Puede ser usado en cualquier momento del día o de la noche y bajo cualquier condición climática;
- Se obtienen resultados con precisión geodésica;
- Se puede completar más trabajo en menos tiempo y con menos gente.

### Limitaciones

- Visibilidad de la antena con al menos cuatro satélites;
- Libre de obstáculos (edificios, árboles, líneas eléctricas, montañas, etc.);
- No puede ser utilizado en interiores.

Debido a estas limitaciones, en algunas aplicaciones topográficas se puede recomendar el uso de una estación total óptica o combinar ésta con un GPS.

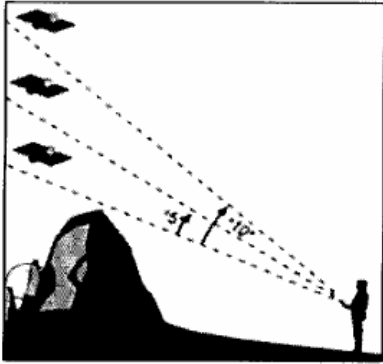


Fig. 1 Visibilidad sin obstáculos

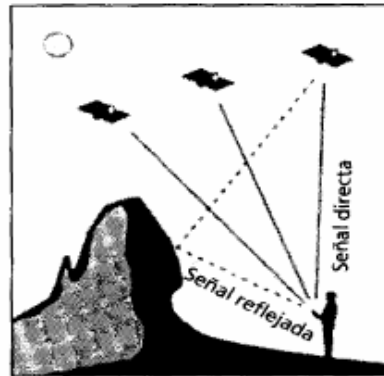


Fig. 2 Objetos elevados pueden bloquear la señal satélites del GPS.

## Capítulo 2

### *El receptor GPS*

---

El receptor GPS es un sistema de posicionamiento basado en satélites que prevé información a nivel mundial sobre el clima, tiempo u hora y posicionamiento las 24 horas del día.

#### **2.1 Tipos de receptores**

Hay una gran cantidad de receptores GPS en el mercado y cada año se introducen nuevos modelos, con diferentes prestaciones y virtudes. Un receptor GPS podría asimilarse a una calculadora electrónica de navegación, pero hay elementos importantes comunes a todos los receptores, como son la sensibilidad de la antena, la precisión, los datum y las cuadrículas que maneje en el caso de los navegadores.

La clave del receptor está en la antena, sin duda la parte más importante de un receptor. Poco importará el peso, cuántos canales tiene o de que otras prestaciones dispone, si su antena no puede detectar las señales de los satélites, el receptor no podrá empezar a calcular su posición.

Las antenas pueden ser internas o externas, estas últimas son necesarias si el receptor se usa dentro de un habitáculo, como por ejemplo una embarcación, el interior de un avión o un coche. Las antenas externas son más sensibles que las internas y hacen posible captar señales de satélites en lugares en los que una antena interna no podría trabajar. Por tanto, a la hora de adquirir un receptor, es importante observar que haya sido diseñado para poder acoplar antenas externas.

##### **2.1.1 Navegadores GPS**

Los autónomos son para navegación y fines recreativos, actividades que requieren poca precisión, consta de un receptor que cabe en la palma de la mano, tienen la antena integrada, su precisión puede ser de  $\pm 15$  mts. Estos receptores además de proporcionar nuestra posición geográfica, indican la elevación por medio de la misma señal de los satélites y algunos modelos tienen también barómetro para determinar la altura con la presión atmosférica.

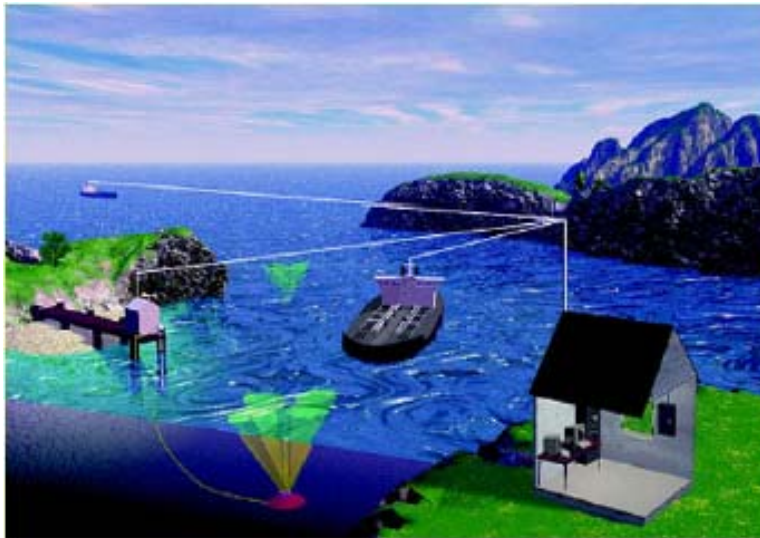
Los receptores que no poseen brújula electrónica, pueden determinar la "dirección de movimiento" (rumbo), es decir es necesario estar en movimiento para que indique correctamente para donde esta el norte. La señal de los satélites GPS no requiere de ningún pago o renta.



### 2.1.2 GPS Topográficos y Geodésicos

Los equipos diferenciales tienen precisiones desde varios milímetros hasta menos de medio metro en la línea base, existen receptores diferenciales de una frecuencia (L1) topográficos y de dos frecuencias (L1, L2) geodésicos, la diferencia es que para los receptores GPS de una frecuencia se estima una precisión centimétrica para distancias menores a 40km entre antenas y en los receptores GPS de dos frecuencias se estima una precisión milimétrica utilizando el método diferencial en ambos casos, si bien se pueden realizar mediciones a distancias mayores, la precisión de los resultados puede degradarse.

La diferencia en precio de un receptor de una frecuencia contra otro de dos, puede ser muy grande, sobretodo si los receptores de dos frecuencias incorporan la función RTK (Real Time Kinematic).



RTK (Real Time Kinematic), posicionamiento cinemático en tiempo real, permitiendo la unión de la tecnología de navegación por satélites a un módem de radio o a un teléfono GSM para obtener correcciones instantáneas. Algunas aplicaciones de ingeniería exigen que el procesamiento y el

abastecimiento de las coordenadas se obtengan instantáneamente, sin la necesidad de un postprocesamiento de los datos.

## **2.2 Funciones del receptor**

Atendiendo a su función existen dos tipos de receptores GPS: Autónomos y Diferenciales.

Las funciones de un receptor autónomo o navegador pueden ser:

- Identificación y seguimiento de los satélites;
- Determinación de las distancias recorridas o por recorrer;
- Decodificación de las señales de datos de navegación para obtener las efemérides, el almanaque, etc.;
- Incorporan funciones para SIG;
- Determinación de la posición de navegación;
- Determinación de la velocidad;
- Determinación y seguimiento de rutas;
- Validación de los resultados obtenidos y almacenamiento en memoria.

Las funciones de un receptor diferencial (topográfico o geodésico) son:

- Registrar las mediciones de fase y code;
- Identificación, seguimiento y salud de los satélites;
- Decodificación de las señales de datos de navegación para obtener las efemérides, datos meteorológicos;
- Incorporan funciones para SIG;
- Determinación de la posición de navegación;
- Determinación de áreas;
- Recibir o enviar señales RTK;
- Cálculo de distancias;
- Transformación de coordenadas;
- Replanteo;
- Manejo de diferentes métodos;
- Validación de los resultados obtenidos y almacenamiento en memoria.

## **2.3 Estación de referencia**

Una estación de referencia es un punto cuyas coordenadas son conocidas con precisión en un marco de referencia (WGS84).

La antena del receptor de referencia es montada en un punto medido previamente con coordenadas conocidas. El receptor que se coloca en este punto es conocido como Receptor de Referencia o Estación Base.

Se enciende el receptor y comienza a rastrear satélites.



Debido a que el receptor se encuentra en un punto conocido, el receptor de la referencia puede estimar en forma muy precisa la distancia a cada uno de los satélites.

De esta forma, este receptor puede calcular muy fácilmente cual es la diferencia entre la posición calculada y la posición medida. Estas diferencias son conocidas como correcciones.

Generalmente, el receptor de la referencia está conectado a un radio enlace de datos, el cual se utiliza para transmitir las correcciones (RTK).



### 2.3.1 El Receptor Móvil

El receptor móvil va ligado a la estación de referencia por medio de un postproceso para obtener coordenadas referidas al sistema. Puede contar con un radio enlace de datos conectado para recibir las correcciones transmitidas (RTK) por el receptor de referencia.

Luego aplica las correcciones de distancia recibidas de la Referencia. Esto le permite calcular una posición mucho más precisa de lo que sería posible si se utilizaran las distancias no corregidas.

Cabe mencionar que múltiples receptores móviles pueden recibir correcciones de una sola Referencia.

Hay que tener en consideración el radio enlace. Existen muchos tipos de radio enlaces que pueden transmitir en diferentes rangos de frecuencias y distancias. El desempeño del radio enlace dependerá de varios factores, incluyendo:

- La frecuencia del radio;
- La potencia del radio;
- El tipo y la "ganancia" de la antena de radio;
- La posición de la antena.

Se han establecido redes de receptores GPS y poderosos transmisores de radio, para transmitir en una frecuencia de seguridad "marítima solamente". Estos son conocidos como "radio faros" (Beacon Transmitters). Los usuarios de este servicio (mayormente barcos navegando cerca de la costa), solo



necesitan adquirir un receptor móvil que pueda recibir la señal del Radio Faro.

Otros dispositivos, tales como teléfonos celulares (o móviles), pueden ser utilizados para la transmisión de datos.

Además de los sistemas de Radio Faros, también existen otros sistemas que proveen cobertura sobre extensas áreas y que son operados por compañías comerciales privadas.

Existen también propuestas para sistemas de propiedad del gobierno, tales como el sistema basado en satélites de la Autoridad Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, se trata del WAAS (Wide Area Augmentation System), el Sistema de la Agencia Espacial Europea (ESA) y el sistema propuesto por el gobierno japonés.

Existe un formato estándar para la transmisión de datos GPS. Se denomina el formato RTCM (por sus siglas en inglés Radio Technical Comisión Maritime Services).

Este formato se usa en forma común alrededor de todo el mundo.



## 2.4 Precisión

El tema de la precisión está vinculado con los errores, existiendo varias fuentes de errores en la tecnología y vinculados especialmente con los receptores. La precisión razonable con los navegadores se obtiene para las coordenadas planas x, y, el valor z es totalmente descontrolado. Para resolver la coordenada z, deberá utilizar un receptor de precisión centimétrica.

La precisión del GPS, con un solo receptor, oscila entre 20 a 10 metros según características del equipo receptor y algún otro detalle; se podría señalar la precisión típica en 15 metros, de un navegador. Esta precisión es básicamente igual para un receptor de excursionista de mínimo precio o uno algo más perfeccionado dentro del rubro general.

Se podrían establecer arbitrariamente tres o cuatro categorías de GPS, de menores a mayor precisión, navegadores aptos para GIS, topográficos y geodésicos. La precisión especificada anteriormente, significa que en el 95% del tiempo estará ubicado en un punto +/- un radio de 15 metros o menos en general, en otros en el 95% del tiempo estará ubicado en un punto +/- un radio

de 2 metros. La degradación de la señal intencional que existió hasta el año 2000, era una degradación aleatoria, con una variación no uniforme, sin embargo, actualmente un receptor simple de excursionista o navegador le proporciona una precisión del orden mencionado. De todas formas existen otras formas o variables que afectan la precisión de las medidas de posición de un punto sobre la Tierra, y la mejor manera de incrementar la precisión es a través del método diferencial (DGPS).

Básicamente existen dos formas separadas de realizar DGPS, uno a través de una estación base (otro receptor) fija en una posición de coordenadas conocidas, en tiempo diferido (post-procesamiento). La otra forma de realizar DGPS es a través de información en tiempo real, que puede provenir de un radio-faro por señal de FM o UHF y otros sistemas actuales como el WAAS que están en pleno desarrollo.

## 2.5 Equipos GPS geodésicos

En este punto se hará referencia única y exclusivamente a los receptores tipo Topográficos y Geodésicos ya que estos tipos son los más utilizados en el área laboral. Los receptores que a continuación se enlistan son de la marca Leica ya que la facultad cuenta con ellos.



### 2.5.1 GPS LEICA SR399

Este es el receptor de doble frecuencia de Leica el cual tiene integrado el receptor a la antena, consta de un controlador CR344, la característica fundamental del GPS reside en la necesidad de realizar observaciones diferenciales, el Leica SR399 está diseñado para efectuar levantamientos en modo estático, estático rápido, reocupación, stop and go y cinemático. El sensor es controlado por la unidad de control o a través de una PC con el programa SPCS O Wild Base. También para el proceso de datos es necesario el software de SKI, todos los trabajos o tareas que realice con la SR399 tiene una gran precisión.



### **Especificaciones Técnicas**

#### **Inicialización (resolución de ambigüedades)**

Estático rápido: Si.

Sobre punto conocido: Si.

On the fly (en movimiento): Si.

#### **Numero de satélites requerido**

5 sobre L1 y L2 (GDOP < 8).

#### **Modo medición/precisión de línea**

Estático (estacionario hasta unos 15 minutos después de inicialización): 5mm + 1 ppm.

Estático rápido (inmediatamente después de la resolución): 5 a 10 mm + 1 ppm.

On the fly (modo en movimiento, inmediatamente después de la resolución): 10 mm + 2 ppm.

Stop and go (modo en movimiento): 10 mm + 2 ppm.

Cinematico: (modo en movimiento): 10 mm + 2 ppm.

#### **Precisión planimétrica**

Típicamente como precisión de línea base.

#### **Precisión altimétrica**

Típicamente 2x precisión de línea base.

#### **Rango máximo**

(según radio modem empleado): Unos 10 km.

#### **Tiempo de inicialización**

Estático rápido: aprox. 1 min.

Sobre punto conocido: 15 s.

On the fly (en movimiento): aprox. 1 min.

#### **Tiempo para punto con marca de tiempo**

2 a 3 s.

## Visualización control de calidad

EMC de la medida.

## Medio de registro

Tarjetas de 0,5 MB y 2 MB

Memoria interna opcional de 1 MB en unidad de control.

## Registro de datos en tiempo real

Capacidad para datos en tiempo real	0,5 MB	1 MB	2 MB
Numero de puntos (aprox.)	1500	3000	6000

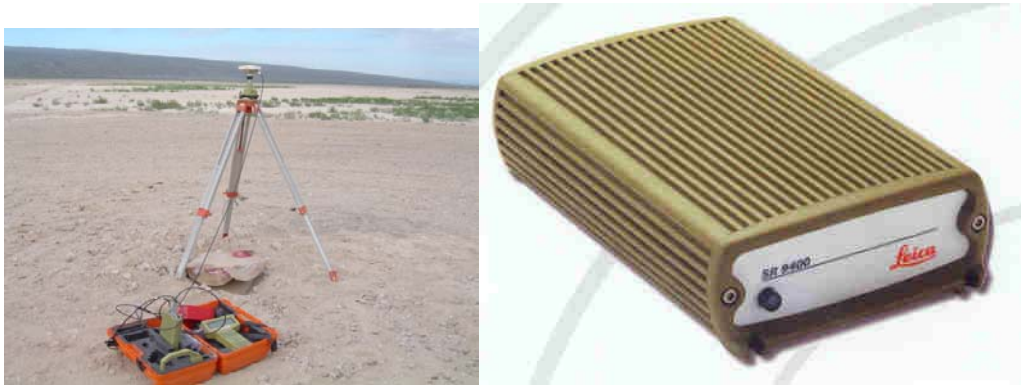
## Registro de datos brutos

Capacidad para datos brutos (aprox.)	0,5 MB	1 MB	2 MB
5 sat. sobre L1 y L2, cada 2 s.	1,2 horas	2,4 horas	4,8 horas
5 sat. sobre L1 y L2, cada 5 s.	3 horas	6 horas	12 horas
5 sat. sobre L1 y L2, cada 15 s.	9 horas	18 horas	36 horas

### 2.5.2 GPS LEICA SR9400

Nuevas posibilidades para GPS de una frecuencia Gracias a las medidas de fase de portadora y de código de alta precisión, el SR9400 abre un amplio campo de aplicaciones para la técnica GPS de una frecuencia, levantamientos topográficos, de detalles y de ingeniería civil que presentan una precisión centimétrica con fase diferencial, levantamientos batimétricos, cartográficos y SIG que presentan una precisión de menos de un metro con código diferencial. Grabación de datos y post-proceso. Levantamientos GPS en tiempo real la versatilidad del SR9400 simplifican el acceso a GPS y proveen soluciones a muchos trabajos: Levantamientos de control de líneas cortas y medias, cuando los tiempos de observación muy cortos no son esenciales y la influencia de la ionosfera no repercute negativamente en las observaciones. Medidas cinemáticas. Levantamientos en tiempo real Grabación de datos y post-proceso Cuando el SR9400 esta conectado a una unidad de control, el programa Base Station o el programa SPCS, es posible grabar medidas de código y fase para el post-proceso a través de SKI-L1. El sensor soporta los modos de medición estático, estático rápido, reocupación, stop and go y cinematico. Las precisiones de líneas base son: 5-10mm +2ppm con fase diferencial y de 30-50cm con código diferencial.

Sensor GPS SR9400 con antena AT201 El sensor SR9400 es pequeño, compacto, robusto, pesa solo 1,3kg y es capaz de rastrear hasta 12 satélites simultáneamente. La antena externa AT201 pesa solo 0,6kg El SR9400 ofrece: Las mas potentes señales para el seguimiento de satélites de baja elevación y cuando las condiciones son adversas Para aplicaciones DGPS, la unidad de control CR344, el programa de estación de referencia y el programa SPCS ofrecen entrada y salida de correcciones RTCM V. 2.0



### 2.5.3 LEICA SR530 Receptor geodésico de doble frecuencia para RTK

Debido a sus numerosas ventajas en materia de precisión, rapidez, versatilidad y productividad, el GPS **LEICA SR530** de doble frecuencia es uno de los populares en el sector de la topografía.

Para posicionamiento en modo y aplicaciones:

- Estático, estático rápido, cinemático sin inicialización estática;
- L1 + L2, código y fase;
- Tiempo Real RTK estándar;
- Post-proceso;
- DGPS/RTCM estándar: Típicamente 30cm (emc);
- Aplicaciones topográficas, geodésicas y de tiempo real RTK..

Error medio cuadrático en la medida de una Línea Base modo estático: +/- 3mm+0.5ppm

Número de canales: 12 L1 + 12 L2

Capacidad de registro con SR530 RTK: posiciones con id. de puntos, códigos, atributos etc.

Tarjeta de 10MB con SR530 Cerca de 10000 posiciones

Modos de operación: Levantamiento, replanteo, navegación, RTK, RTCM, por tiempo.



Especificaciones		Leica SR 399	Leica SR 9400	Leica SR 530
Recepción de la señal	Código C/A.	√	√	√
	Fase L1	√	√	√
	Fase L2	√	–	√
	Código P sobre L2	√	–	√
	Código P sobre L1	√	–	√
Canales de Recepción		12	12	12
Precisión de la base con postproceso	Estático base larga prolongado tiempo de observación	± 5mm + 1ppm	± 5mm + 2ppm	± 3mm + 0.5ppm
	Estático y estático rápido	± 1cm + 1ppm	± 1cm + 2ppm	± 5mm + 2ppm
	Cinematico en movimiento	± 1cm + 2ppm	± 1cm + 2ppm	± 10mm + 2ppm
	Estático rápido	± 1cm + 2ppm	–	± 5mm + 2ppm
Posición de navegación		–	–	–
Memoria (tarjetas)		PCMCIA	PCMCIA	PCMCIA
Tiempo Real		Opcional	Opcional	Opcional



## Capítulo 3

### Fuentes de error

---

Una observación GPS está sometida a varias fuentes de error que se pueden minimizar o modelar según los equipos y metodología de observación que utilicemos. Un receptor determina las distancias que hay entre su antena y las antenas de los satélites desde los cuales está recibiendo su señal. Basándose en estas distancias y en el conocimiento de las posiciones de los satélites, el receptor puede calcular su posición. Sin embargo, diversos errores afectan a la medida de la distancia y por consiguiente se propagan al cálculo de la posición del receptor.

Las medidas de código y las medidas de fase se ven afectadas por errores sistemáticos y por ruido aleatorio. La precisión en posicionamiento absoluto que un usuario puede alcanzar con un receptor depende principalmente de cómo sus sistemas de hardware y software puedan tener en cuenta los diversos errores que afectan a la medición. Estos errores pueden ser clasificados en tres grupos: los **errores relativos al satélite**, los **errores relativos a la propagación de la señal** en el medio, y los **errores relativos al receptor**.

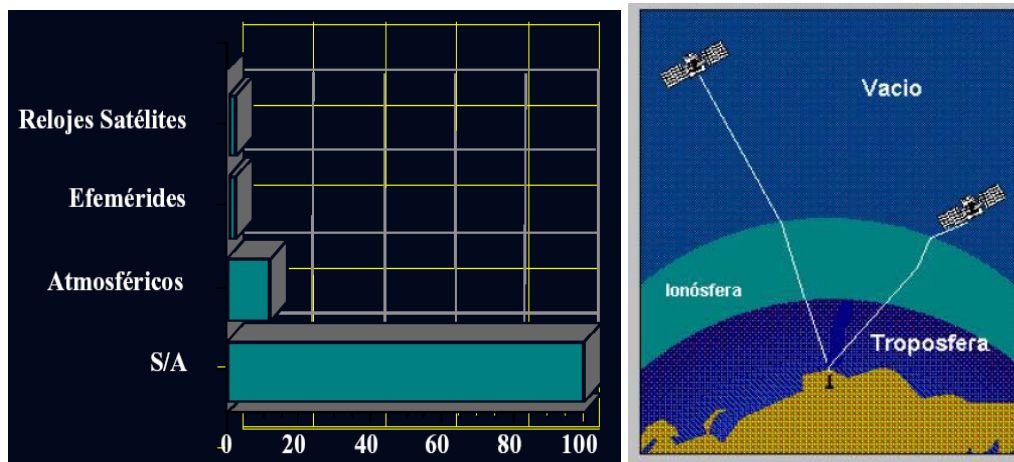
Elemento	Fuente de error
<b>Satélite</b>	Errores en el oscilador Errores o variaciones en los parámetros Orbitales
<b>Propagación de la señal</b>	Refracción ionosférica Refracción troposférica S/a. Disponibilidad selectiva Pérdidas de ciclos Multipath. Ondas reflejadas
<b>Receptor</b>	Errores en el oscilador Error en las coordenadas del punto de Referencia Error en el estacionamiento Error en la manipulación del equipo Variación y desfase del centro de la antena

Algunos de estos errores sistemáticos pueden ser modelados e incluso eliminados utilizando combinaciones apropiadas de los observables a partir de una o dos frecuencias, o trabajando en modo diferencial, utilizando dos receptores.

En la medida de la calidad y bondad de una observación van a influir o contribuir dos términos: el **URE** y el **DOP**. El **URE** (User Range Error) es el error cometido en la medida de la pseudodistancia por el usuario. Este error contempla los errores al predecir las efemérides, inestabilidades en el vehículo

espacial, relojes de los satélites, efectos ionosféricos y troposféricos, efecto multipath, ruido de la señal y para GPS, la Disponibilidad Selectiva (SA).

Todos estos errores en su conjunto se recogen en el valor **DOP** (Dilución de la Precisión) es la contribución puramente geométrica al error en el posicionamiento de un punto.



### 3.1 Errores relativos al satélite

#### 3.1.1 Error del reloj del satélite.

Este error es el desfase que tiene el reloj del satélite respecto al Tiempo GPS. Los satélites llevan relojes atómicos con osciladores de cesio o de rubidio, sin embargo ningún reloj, incluso el atómico es perfecto.

Los errores en los osciladores de los satélites pueden eliminarse mediante las correcciones enviadas en el mensaje de navegación que recibe el receptor, y que son calculadas y actualizadas por las estaciones de seguimiento. Para cada reloj de satélite se determina su desfase para una época inicial, y los coeficientes de la marcha o deriva del estado del reloj.

Estos parámetros se graban en el correspondiente satélite y se incluyen en el mensaje de navegación que manda el satélite. Pero aunque el receptor aplique las correcciones para el error del reloj del satélite, sigue permaneciendo un pequeño error residual estimado en unos 10 nanosegundos o menos, y que es debido a la imposibilidad de predecir exactamente la marcha del estado del reloj del satélite.

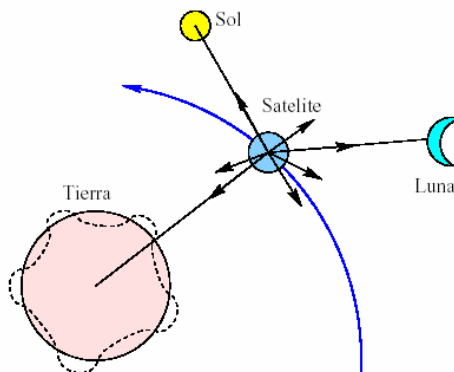
#### 3.1.2 Errores en los parámetros orbitales

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. El efecto del error de las efemérides transmitidas en la medida de la pseudodistancia se obtiene proyectando el vector error de la posición del satélite sobre el vector que une el satélite y el receptor. Los errores en los parámetros orbitales se pueden eliminar trabajando con las efemérides precisas de los días de observación, donde aparecen las verdaderas posiciones de los satélites.

Para líneas base cortas, trabajando en modo diferencial con dos receptores, respecto a los mismos satélites de observación, podemos eliminar todos los errores relativos a los satélites, ya que afectan de igual forma a ambos receptores. Para líneas base largas, el error del reloj del satélite se elimina igual, ya que es independiente de la línea base e igual en ambos puntos, pero los errores en los parámetros orbitales no se eliminan del todo, porque los errores que provocan en la pseudodistancia a un satélite en un punto no son los mismos que los que se producen en el otro punto para el mismo satélite e instante. El error depende de la orientación del vector error de la posición del satélite respecto de los vectores satélite-receptor para cada uno de los puntos.



### 3.2 Errores relativos a la propagación de la señal

La velocidad de propagación de la señal es crítica para cualquier sistema de medida de distancias. Esta velocidad multiplicada por el intervalo de tiempo en que se propagó la señal nos da una medida de la distancia. Si una onda electromagnética se propaga por el vacío, su velocidad de propagación, sea cual sea su frecuencia es la velocidad de la luz. Sin embargo, en el caso de observaciones GPS, las señales deben atravesar las capas de la atmósfera hasta llegar al receptor posicionado sobre la superficie de la tierra. Las señales interactúan con partículas cargadas, que provocan un cambio en la velocidad y dirección de propagación, es decir, las señales son refractadas. Cuando la señal viaja por un medio que no es el vacío, ésta sufre un *retardo* debido a que la velocidad de propagación es menor, y a que la trayectoria aumenta su longitud al curvarse por refracción, si el medio no es isótropo.

#### 3.2.1 Refracción ionosférica

La Ionosfera es aquella región de la atmósfera comprendida entre 100 y 1000 Km de altitud, donde las radiaciones solares y otras radiaciones ionizan una

porción de las moléculas gaseosas liberando electrones, que interfieren en la propagación de ondas de radio. 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.

Este error es negativo para la medida de fase (se produce un avance de la portadora y se miden distancias más pequeñas), y positivo para las pseudodistancias (se produce un retardo y se miden distancias más largas), pero tienen el mismo valor absoluto.

Si sólo se registran medidas en una sola frecuencia, tanto en pseudodistancias como en medida de fase, entonces se tiene que emplear un procedimiento alternativo para eliminar el efecto ionosférico. Normalmente se usan modelos empíricos para corregir el efecto, en los que se modela el TEC (Total Electrón Content) en función del tiempo, lugar de observación y dirección de la señal. En el mensaje de navegación se incluyen unos parámetros para tal modelo. Usando este modelo se pueden llegar a reducir en un 50% los efectos de la Ionosfera.

El retardo ionosférico depende del ángulo de elevación del satélite, siendo menor en el cenit, y mayor cuando disminuye el ángulo de elevación. En observaciones nocturnas, los niveles de TEC son menores que durante el día, lo que implica un menor error en la pseudodistancia.

Pero después de la aplicación del modelo empírico transmitido puede quedar algún error ionosférico residual que afectará principalmente a la componente altimétrica del punto y a la estimación del error del reloj del receptor. Este error contribuye poco a la posición planimétrica cuando la concentración de electrones encima del receptor es uniforme.



### 3.2.2 Refracción troposférica

La Troposfera es la última zona o capa de la atmósfera (hasta unos 80 Km, pero sólo en los últimos 40 se producen retardos significativos), donde se produce retardo y donde las temperaturas decrecen con el incremento de altura. El espesor de la Troposfera no es el mismo en todas las zonas. 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. Esta atmósfera neutra es un medio no disperso con respecto a las ondas de radio de frecuencias superiores a 15 GHz, por lo tanto, la propagación es independiente de la frecuencia. Consecuentemente, no es necesario distinguir entre medidas de código y fase sobre las portadoras L1 y L2. La desventaja está en que no es posible eliminar la refracción troposférica con medidas en las dos frecuencias.

Se puede mejorar el cálculo del retardo troposférico tomando datos meteorológicos en el lugar de observación. A diferencia de la componente seca, la componente húmeda varía espacialmente y temporalmente. La componente seca es la causante de un 90% del total del retardo y puede ser obtenido con precisión de algunos milímetros a partir de medidas de presión en superficie. La componente húmeda es función del vapor de agua a lo largo del camino de la señal.

El retardo se puede evaluar en 1.9-2.5 m en la dirección cenital e incrementa aproximadamente con la cosecante del ángulo de elevación, llegando a ser de 20-28 m a unos 5°.

El efecto del *retardo ionosférico* y *el troposférico* debido al vapor de agua sobre las emisiones de la banda radioeléctrica es menor cuanto mayor sea la frecuencia, o cuanto menor sea la longitud de la onda. La refracción ionosférica y troposférica puede ser eliminada trabajando en modo diferencial, pero esto es sólo cierto para líneas base pequeñas, donde las medidas de distancias satélite-receptor se ven afectadas de igual forma por la refracción. De otro modo, ya vimos que la refracción ionosférica puede ser eliminada utilizando una adecuada combinación de datos en doble frecuencia.



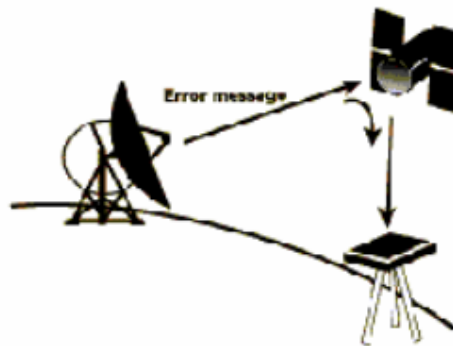
### 3.2.3 Disponibilidad selectiva

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. Trabajando con posicionamiento relativo o diferencial se puede eliminar este error. La disponibilidad selectiva fue eliminada el 1 de mayo del 2000.

Esto se hace de dos formas:

- Haciendo oscilar el reloj del satélite.
- Manipulando los datos enviados por las efemérides de los satélites.



### 3.2.4 Pérdidas de ciclos

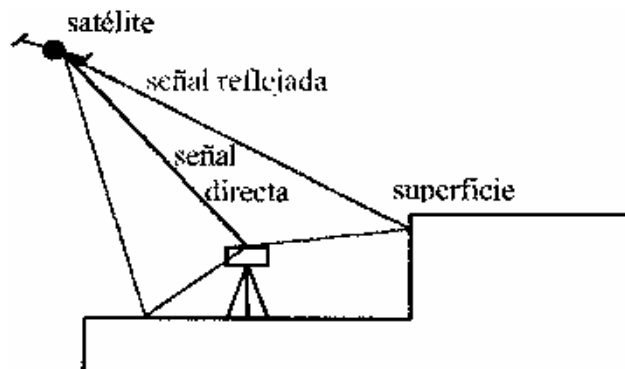
Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, 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. Otra causa puede ser un fallo en el software del receptor, que conduce a un procesamiento incorrecto de la señal. Una última causa de pérdida de ciclo, aunque suele darse en raras ocasiones, es aquella debida a un mal funcionamiento del oscilador del satélite.

La detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. La detección se lleva a cabo por medio de un chequeo o test de cantidad, estos test pueden ser medida de la fase en bruto, combinaciones de fase, combinaciones de código y fase, etc. Una vez determinado el tamaño de la pérdida de ciclo, la reparación se hace corrigiendo a todas las observaciones de fase siguientes para este satélite y su portadora, según una cantidad fija. El software interno del receptor es capaz (in situ) de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.

### 3.2.5 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.

Este efecto puede ser considerablemente reducido eligiendo puntos de estación protegidos de reflexiones (edificios, vehículos, árboles, etc.), es decir, evitar las superficies reflectantes en las proximidades del receptor; y por un apropiado diseño de la antena, como es la utilización de planos de tierra, que reducen las interferencias de señales con baja elevación o incluso con elevación negativa, que son las que provocan el multipath, en otras palabras, se intenta reducir la intensidad de las señales secundarias y aislar a la señal directa. El efecto multipath depende de la frecuencia de la portadora. Por lo tanto, las medidas de fase se verán menos afectadas que las medidas de código, donde el efecto multipath puede alcanzar hasta el nivel de metro.



### 3.3 Errores relativos al receptor

#### 3.3.1 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.

Los errores en los osciladores de los receptores los podemos eliminar trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase, planteando las ecuaciones de dobles diferencias.

#### 3.3.2 Error en el estacionamiento de la antena

Los errores en el estacionamiento de la antena tienen menos influencia y las exigencias de estacionamiento son muy inferiores a las de los instrumentos de observación clásica. No necesitan una altísima estabilidad, ya que pequeños desplazamientos, vibraciones o torsiones en nada afectan a la observación de las señales de los satélites.

#### 3.3.3 Error en la manipulación de los equipos

Los errores de manipulación se producen cuando no se siguen las instrucciones del fabricante del instrumento o cuando éstas suelen descuidarse cuando se trabaja rutinariamente.

Por ejemplo, es importante no comenzar una observación hasta que no se hayan sincronizado perfectamente todos los satélites, ya que lo único que estaremos haciendo es introducir ruido a la observación.

#### **3.3.4 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. Para evitar este error en posicionamiento relativo se recomienda una orientación aproximada común para todas las antenas, ya que el fabricante monta en el interior de todas las carcasas el elemento físico receptor en la misma posición respecto a alguna referencia exterior del conjunto, y trabajando en modo diferencial este error se eliminará en ambas estaciones.

## Capítulo 4

### *Métodos de posicionamiento*

---

Podemos diferenciar dos modos de posicionamiento, y dentro de ellos las variantes que se pueden considerar son: absoluto y diferencial.

El método a utilizar depende de la precisión requerida por el usuario y el tipo de receptor disponible:

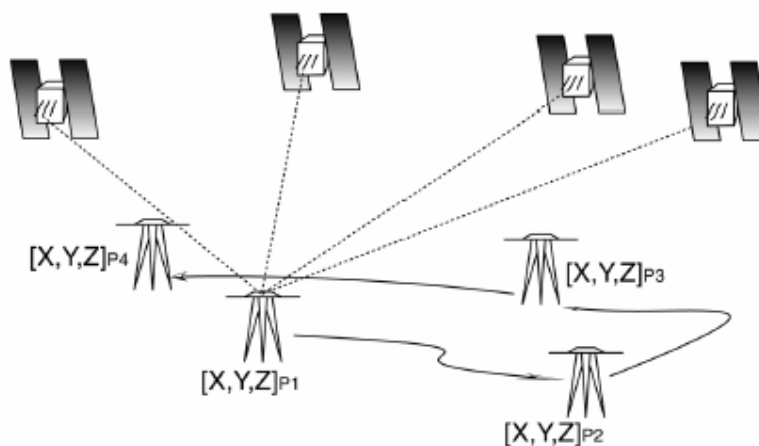
#### 4.1 Posicionamiento absoluto

Decimos que un posicionamiento es absoluto, cuando se calcula la posición del punto, utilizando las medidas de pseudodistancia ya sea procedentes del código C/A, o código P. Dependiendo del código que utilicemos y de la disponibilidad selectiva obtendremos una precisión que variará de 15 a 100 m. Este tipo de posicionamiento es utilizado por los equipos llamados navegadores.

Gracias a los últimos avances tecnológicos, y la desaparición de la disponibilidad selectiva, existen en el mercado receptores que alcanzan precisiones de 3-5 m en tiempo real. Utilizado por excursionistas, barcos en alta mar y las fuerzas armadas.

Esta es la técnica más sencilla empleada por los receptores GPS para proporcionar instantáneamente al usuario, la posición, altura y/o tiempo.

Los receptores utilizados para este tipo de aplicación, son por lo general unidades pequeñas, portátiles y de bajo costo.



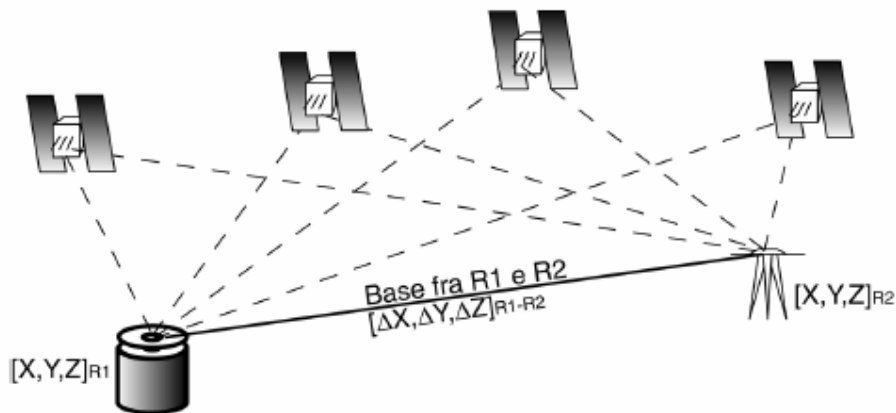
## 4.2 Posicionamiento diferencial

Llamamos posicionamiento diferencial cuando están involucrados dos o más receptores GPS, con el fin de eliminar los errores propios del sistema, calculando los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia al móvil. Este incremento de coordenadas vendrá dado en el sistema geocéntrico de coordenadas.

La gran ventaja de este método es que los errores de posicionamiento en ambos puntos no tienen ninguna influencia en los incrementos de coordenadas.

Los errores que elimina son:

- Disponibilidad selectiva (SA);
- Retardo ionosférico;
- Retardo troposférico;
- Error en las efemérides;
- Error reloj satélite.



Dentro del método diferencial y atendiendo al tipo de aplicación, tendríamos que hacer una nueva distinción:

- *Método diferencial con código (precisiones de 0,3 m a 5 m);*
- *Estáticos: Entidades puntuales y nodos de entidades lineales y de áreas;*
- *Cinematicos: Levantamientos de entidades lineales y de área sin nodos intencionados, es decir levantados por tiempo de manera automática;*
- *Método diferencial con medidas de fase (precisiones de 5 m. a 30 mm).*

## 4.3 Método de operación

Existen diferentes métodos para obtener una posición empleando el GPS. El método a utilizar depende de la precisión requerida por el usuario y el tipo de receptor disponible:



Método	Frecuencia	Observable	Precisión	Aplicación
Absoluto	L1	Código C/A	$\pm 100$ metros	Navegación
Diferencial	L1	Código C/A	1.2 metros	Cartográficas / GIS
Diferencial	L1	C/A y Fase	1cm $\pm$ 2 ppm	Topografía
Diferencial	L1 y L2	C/A, P y Fase	5cm $\pm$ 1 ppm	Topografía / GEO

#### 4.4 Posicionamiento Diferencial Corregido

Más comúnmente conocido como DGPS, el cual proporciona precisiones del orden de 0.5-5m. Utilizado para navegación costera, adquisición de datos para SIG (Sistemas de Información Geográfica GIS), agricultura automatizada, etc.

#### 4.5 Posicionamiento Diferencial de Fase

Ofrece una precisión de 0.5-20mm. Utilizado para diversos trabajos de topografía, control de maquinaria, etc.

Como técnica diferencial significa que un mínimo de dos receptores GPS deben ser siempre utilizados en forma simultánea.

#### 4.6 MEDICION DE SEUDODISTANCIAS

Con los métodos de medición de caracteres del GPS, se miden distancias entre la antena del receptor y los satélites.

Para la solución geométrica son suficientes tres mediciones de este tipo. La posición de la antena viene dada por el punto de intersección de tres esferas, con la posición de los satélites como centro de las esferas, y tres distancias medidas como radios. La distancia desde el receptor al satélite se obtiene por medio de una medición del tiempo de propagación con ayuda del código C/A, o bien, el código P.

Ya que normalmente éste no es el caso, se obtiene una distancia falsa proporcional a la diferencia de relojes.

Código C/A. Es el Código de Adquisición Gruesa. Modula la portadora L1 a 1.023 MHz.

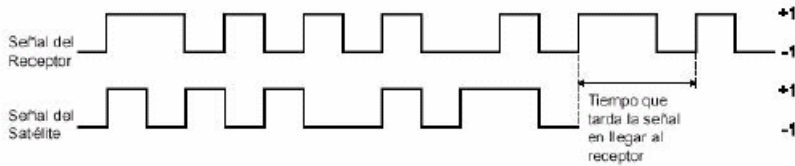
Código P. El código preciso. Modula a las portadoras L1 y L2 a 10.23 MHz.

Fase Portadora. Es la onda sinusoidal de la señal de L1 o L2 creada por el satélite. La portadora L1 es generada a 1575.42 MHz, la portadora de L2 a 1227.6 MHz.

Se utiliza la fase portadora porque esta puede proporcionar una medida hacia el satélite mucho más precisa que la que se consigue utilizando el código C/A o el código P. La onda portadora de L1 tiene una longitud de 19.4cm. Si se pudiera medir el número de longitudes de onda (completas y fraccionarias) que existen entre el satélite y el receptor, se obtendría una distancia muy precisa al satélite.

### Cálculo del Tiempo

La señal del satélite es modulada por dos códigos, el Código C/A y el Código P (véase la sección 2.1). El código C/A está basado en el tiempo marcado por un reloj atómico de alta precisión. El receptor cuenta también con un reloj que se utiliza para generar un código C/A coincidente con el del satélite. De esta forma, el receptor GPS puede "hacer coincidir" o correlacionar el código que recibe del satélite con el generado por el receptor.



El código C/A es un código digital que es 'seudo aleatorio', o que aparenta ser aleatorio. En realidad no lo es, sino que se repite mil veces por segundo.

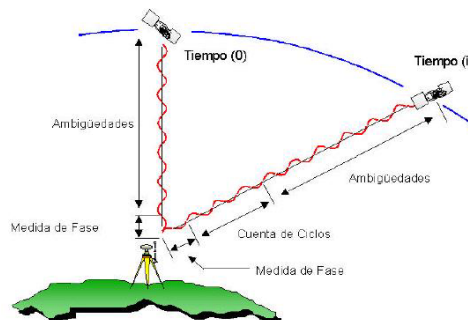
De esta forma es como se calcula el tiempo que tarda en viajar la señal de radio desde el satélite hasta el receptor GPS.

## 4.7 Medición de distancias con medidas de fase

Contrariamente a la pseudodistancia, en la que se mide el tiempo de propagación con ayuda de los códigos modulados C/A o P, aquí se mide el desfase de la onda portadora. La fase de la señal llegada del satélite es comparada con la fase de una señal de referencia generada en el receptor.

Del desfase se obtiene una parte de la distancia como parte de la longitud de onda; esto significa en la medición hecha en la frecuencia L1, una parte de la distancia comprendida en 19 cm; en la frecuencia L2, en 24 cm, y esto con resolución en el ámbito submilimétrico.

En principio, el número de longitudes de ondas completas en la distancia satélite - Receptor, permanece desconocido. Por ello, el programa de cálculo tiene que estar en condiciones de determinar el número de longitudes de onda desconocidas, para poder calcular las coordenadas de la estación.



## Capítulo 5

### *Levantamiento con GPS*

---

Probablemente para el topógrafo o el ingeniero sea aún más importante la práctica o el uso efectivo del GPS que la teoría.

Como cualquier herramienta, el GPS será tan bueno como su operador. Un planeamiento adecuado y una buena preparación son los ingredientes esenciales para un trabajo exitoso, así como el conocimiento de las posibilidades y limitaciones del sistema.

#### **5.1 Técnicas de medición GPS**

Existen diferentes técnicas de medición que pueden ser utilizadas por la mayoría de receptores topográficos GPS. El topógrafo debe elegir la técnica apropiada para cada aplicación.

**Estático**- Utilizado para líneas largas, redes geodésicas, estudios de tectónica de placas, etc. Ofrece precisión alta en distancias largas, pero es comparativamente lento.

**Estático Rápido**- Usado para establecer redes de control locales, incrementar la densidad de redes existentes, etc. Ofrece alta precisión en líneas base de hasta 20km. y es mucho más rápido que la técnica estática.

**Cinemático**- Empleado para levantamientos de detalles y para la medición de muchos puntos de sucesión corta. Es una técnica manera muy eficiente para medir muchos puntos que están muy cerca uno de otro. Sin embargo, si existen obstrucciones hacia el cielo, tales como puentes, árboles, edificios altos, etc., y se rastrean menos de 4 satélites, el equipo deberá volverse a iniciar, lo cual toma entre 5 y 10 minutos. Una técnica de proceso conocida como On-the-Fly (OTF), minimiza esta restricción.

**RTK**- Cinemático en Tiempo Real (por sus siglas en inglés Real Time Kinematic). Utiliza un radio enlace de datos para transmitir los datos del satélite desde la referencia hacia el móvil. Esto permite calcular las coordenadas y mostrarlas en tiempo real, mientras se lleva a cabo el levantamiento. Se utiliza para aplicaciones similares al cinemático. Una forma muy efectiva de medir detalles, ya que los resultados son presentados mientras se lleva a cabo el trabajo. Esta técnica sin embargo necesita de un radio enlace, el cual está propenso a recibir interferencia de otras fuentes de radio así como al bloqueo de la línea de vista.

#### **5.2 Levantamiento Estático**

Este fue el primer método en ser desarrollado para levantamientos con GPS. Puede ser utilizado para la medición de líneas base largas (generalmente 20km -16 millas - o más) se coloca un receptor en un punto cuyas coordenadas

son conocidas con precisión en el sistema de coordenadas WGS84. Este es conocido como el Receptor de Referencia. El otro receptor es colocado en el otro extremo de la línea base y es conocido como el Receptor Móvil.

Los datos son registrados en ambas estaciones en forma simultánea. Es importante que los datos sean registrados con la misma frecuencia en cada estación. El intervalo de registro de datos puede ser establecido en 15, 30 ó 60 segundos.

Los receptores deben registrar datos durante un cierto periodo de tiempo. El tiempo de observación dependerá de la longitud de la línea, el número de satélites observados y la geometría (Dilución de la Precisión o DOP). Como regla general, el tiempo de observación deberá ser por lo menos de una hora para una línea de 20km con 5 satélites y un GDOP prevaeciente de 8 líneas más largas requieren tiempos de observación más largos.

Una vez que se ha registrado suficiente información, los receptores se apagan. El Móvil se puede desplazar para medir la siguiente línea base y volver a comenzar la medición.

Es muy importante que exista redundancia en la red que está siendo medida. Esto significa que los puntos se deben medir por lo menos dos veces, con lo cual se pueden revisar para evitar problemas que de otra manera, pasarían desapercibidos.

Un gran incremento en la productividad se puede conseguir añadiendo un receptor Móvil adicional. Se necesita una buena coordinación entre las diferentes brigadas de topografía para aprovechar la disponibilidad de tres receptores.

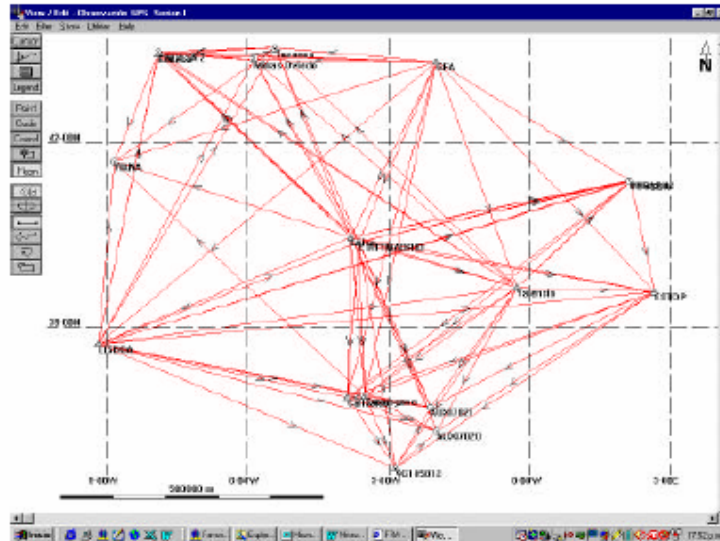


### Aplicaciones

- *Control Geodésico;*
- *Redes Nacionales e internacionales;*
- *Control de movimientos tectónicos;*
- *Control de deformaciones en diques y estructuras.*

## Ventajas

- *Más preciso, eficiente y económico que los métodos topográficos tradicionales;*
- *Sustituye al método clásico de triangulación.*



## 5.3 Levantamiento Estático Rápido

En los levantamientos Estático Rápidos, se elige un punto de Referencia y uno o más Móviles operan con respecto a él.

Típicamente se utiliza el método Estático Rápido para aumentar la densidad de redes existentes, para establecer control, etc.

Cuando se inicia el trabajo donde no se ha llevado a cabo ningún levantamiento con GPS, la primer tarea es la de observar un cierto número de puntos cuyas coordenadas sean conocidas con precisión en el sistema de coordenadas locales. Esto permitirá calcular la transformación y de allí todos los puntos medidos con GPS pueden ser convertidos con facilidad al sistema local.

El Receptor de Referencia se ubica por lo general sobre un punto conocido y puede ser incluido en los cálculos de los parámetros de transformación. Si no se conoce ningún punto, puede ser ubicado en cualquier lugar de la red.

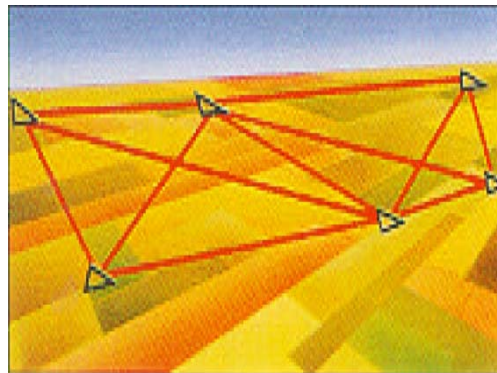
El Receptor (o los Receptores) Móvil (es), serán colocados entonces en cada punto conocido. El periodo de tiempo que los Móviles deberán observar en cada punto, depende de la longitud de la línea base desde la Referencia y del GDOP.

Los datos son registrados y luego son procesados en la oficina.

Se deben efectuar verificaciones para asegurarse que no se presentan errores gruesos en las mediciones. Esto se puede hacer midiendo los puntos nuevamente en un momento diferente del día.

Cuando se trabaja con dos o más Móviles, es necesario asegurarse que todos los receptores están operando simultáneamente sobre cada punto ocupado. Esto permite que los datos de cada estación puedan ser utilizados como Referencia o como Móvil. Esta es la manera más eficiente de trabajar.

Otra manera de conseguir redundancia es colocando dos estaciones de referencia y utilizar un móvil para ocupar los puntos.



### Aplicaciones

- Levantamientos de control, densificación;
- Sustituye a la método clásico de poligonación;
- Determinación de puntos de control, ingeniería civil, bases de replanteo;
- Levantamiento de detalles y deslindes;
- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos;
- Apoyos fotogramétricos.

### Ventajas

- Sencillo, rápido y eficiente comparado con los métodos clásicos;
- No requiere mantener el contacto con los satélites entre estaciones;
- Se apaga y se lleva al siguiente punto;
- Reducido consumo de energía;
- Ideal para un control local;
- No existe transmisión de errores ya que cada punto se mide independientemente.

### Inconvenientes

No se puede utilizar en zonas de población, cerca de edificios, debido al efecto multipath y en general en zonas que nos impidan recibir cuatro o más satélites.

Este método de posicionamiento se puede utilizar simultáneamente con el estático, realizando la triangulación con método estático y la densificación con el estático rápido, tal como se muestra en la figura.

El tiempo de observación depende de los siguientes factores:

- Longitud de la línea- base;
- Numero de satélites;
- Geometría de los satélites. GDOP;
- Ionosfera. Depende de los disturbios de la ionosfera, día/noche, mes, año, posición sobre la tierra;

No de satélites GDOP <= 8	Longitud de la línea base	Tiempo de observación DIA	Tiempo de observación NOCHE
Estático rápido			
4 ó 5	Menos de 5 Km.	De 5 a 10 min.	5 min.
4 ó 5	De 5 a 10 Km.	De 10 a 20 min.	De 5 a 10 min.
4 ó 5	De 10 a 15 Km.	Alrededor de 30	De 5 a 20 min.
Estático			
4 ó 5	De 15 a 30 Km	De 1 a 2 horas	1 hora
4 ó 5	Más de 30 Km.	De 2 a 3 horas	2 horas

#### 5.4 Reocupación

Este método se utiliza cuando la situación para la observación no es del todo idónea, es decir, no tenemos 4 satélites como mínimo, o bien, el GDOP es superior al permitido 8. Este método es muy útil cuando el método estático rápido no es posible realizarlo.

Se realiza de la misma manera que el estático rápido pero estacionando en el punto dos veces, con una diferencia en el estacionamiento en el punto de una hora. La razón de hacerlo con una hora de diferencia es por que de esta manera aseguramos que vamos a recibir al menos 3 satélites distintos. Lo que hace el software es sumar la información de una y otra observación y lo calcula como si fuese una sola observación.

#### Alta precisión en dos pasos

- Estación de referencia temporal: rastrea continuamente;
- Receptor móvil: ocupa cada punto por breves minutos;
- Reocupación después de al menos 1 hora de espera;
- El software SKI combina las observaciones;
- Precisión de una línea -base: 5 a 10 mm. + 1 ppm. (EMC).

#### Aplicaciones

- Las mismas que el rápido estático.

#### Ventajas

- La precisión depende menos de la constelación de satélites que en el modo estático rápido;
- Buenos resultados con solo 3 Satélites;

- Método ideal cuando las condiciones dadas no son adecuadas para el estático rápido o cuando por obstrucciones se reduce el número de satélites disponibles.

## 5.5 Levantamientos Cinemático

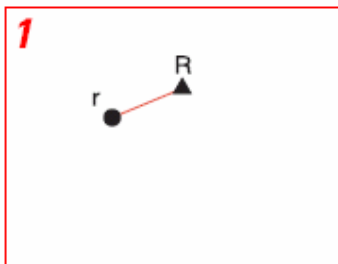
La técnica cinemática se utiliza generalmente para levantamiento de detalle, registro de trayectorias, etc., aunque con la implementación del RTK su popularidad ha disminuido.

La técnica involucra un Móvil que se desplaza y cuya posición puede ser calculada en relación con la Referencia. Primero, el Móvil tiene que realizar el procedimiento conocido como iniciación.

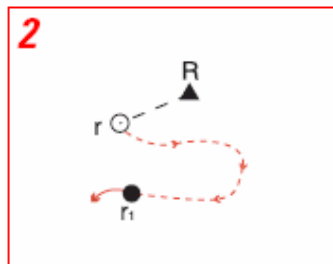
Esto es esencialmente lo mismo que medir un punto con Estático Rápido y permite al programa de post-proceso resolver las ambigüedades cuando se regresa a la oficina. La Referencia y el Móvil se activan y permanecen absolutamente estáticos por 5-20 minutos, registrando datos. (El tiempo depende de la longitud de la línea base desde la Referencia y del número de satélites observados).

Después de este periodo, el Móvil se puede mover libremente. El usuario puede registrar posiciones con un intervalo de tiempo predeterminado, puede registrar otras posiciones, o una combinación de las dos. Esta parte de la medición se conoce comúnmente como la cadena cinemática.

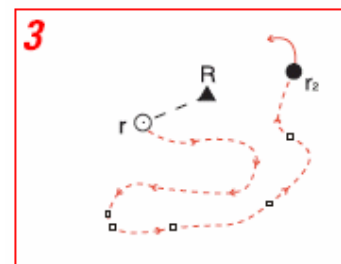
Una advertencia importante cuando se opera en levantamientos cinemáticos es que hay que evitar moverse muy cerca de objetos que pudieran bloquear las señales de los satélites del receptor Móvil. Si en algún punto el Móvil rastrea menos de 4 satélites, hay que detenerse, desplazarse a una posición donde se registren 4 o más satélites y realizar nuevamente la iniciación antes de continuar.



1 El móvil se inicia desde la referencia



2 El móvil se desplaza y las posiciones se registran en intervalos predefinidos



3 Tomando en cuenta también los puntos que el operador desee.



## **Aplicaciones**

- Determinación de la trayectoria de objetos en movimiento;
- Levantamientos de ejes de carreteras y ferrocarriles;
- Medición de perfiles transversales;
- Levantamientos hidrográficos, Batimetría.

## **Ventajas**

- Mediciones continuas rápidas y económicas;
- Debe mantenerse el contacto con los satélites.

### **5.5.1 Cinemático OTF (On The Fly)**

Es una variable de la técnica cinemática, en la cual no es necesaria la iniciación y la iniciación subsecuente cuando el número de satélites observados desciende a menos de cuatro.

El método Cinemático OTF es un método de procesamiento que se aplica a la medición durante el post-proceso.

Al inicio de la medición el operador puede comenzar a caminar con el receptor móvil y registrar datos. Si camina bajo un árbol y pierde la señal de los satélites, el sistema se volverá a iniciar automáticamente al momento de tener suficiente cobertura de satélites.

## **Aplicaciones**

- Levantamientos de detalles e ingeniería civil;
- Levantamientos de carreteras, conductos, fronteras;
- Modelos digitales del terreno;
- Medición de puntos situados en un espacio reducido.

## **Ventajas**

- Rápido y económico;
- El método más rápido para levantar puntos de detalle con GPS;
- Puede emplearse mientras se camina o se desplaza en vehículo.

### **5.6 Levantamientos RTK**

Cinemático en Tiempo Real es un tipo de levantamiento cinemático al vuelo efectuado en tiempo real.

La Estación de Referencia tiene un radio enlace conectado y retransmite los datos que recibe de los satélites.

El Móvil también tiene un radio enlace y recibe la señal transmitida de la Referencia. Este receptor también recibe los datos de los satélites directamente desde su propia antena. Estos dos conjuntos de datos pueden ser procesados juntos en el Móvil para resolver las ambigüedades y obtener una posición muy precisa en relación con el Receptor de Referencia.

Una vez que el Receptor de Referencia se ha instalado y está transmitiendo datos mediante el radio enlace, se puede activar el Receptor Móvil.

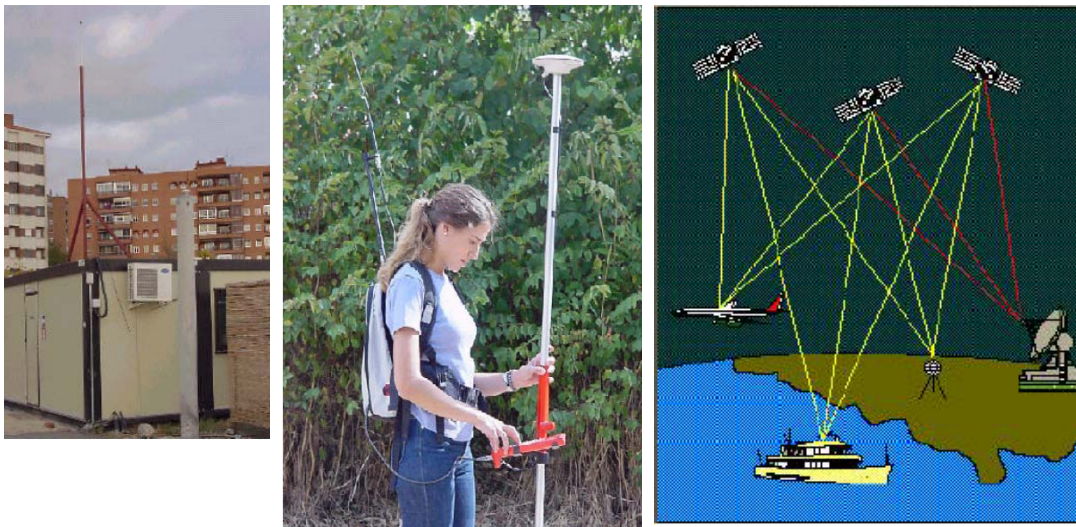
Cuando está rastreando satélites y recibiendo datos de la Referencia, puede empezar con el proceso de inicio. Esto es similar al proceso de inicio realizado en un levantamiento cinemático OTF con post-proceso, la diferencia principal es que el proceso se realiza en tiempo real.

Una vez que se ha completado el inicio, las ambigüedades son resueltas y el Móvil puede registrar puntos y sus coordenadas. En este punto, las precisiones de las líneas base serán del orden de 1 - 5cm.

Es importante mantener contacto con el Receptor de Referencia, de otra manera el Móvil puede perder la ambigüedad. Si esto sucede la posición calculada es mucho menos precisa.

Además, se pueden presentar problemas cuando se mide cerca de obstrucciones tales como edificios altos, árboles, etc. ya que la señal de los satélites puede ser bloqueada.

El RTK se está convirtiendo en el método más común para realizar levantamientos GPS de alta precisión en áreas pequeñas y puede ser utilizado en aplicaciones donde se utilizan las estaciones totales convencionales. Esto incluye levantamientos de detalles, estaqueo, replanteo, aplicaciones COGO, etc.



### 5.6.1 El Radio Enlace

La mayoría de los sistemas RTK GPS emplean pequeños radio módems UHF.

Muchos de los usuarios experimentan problemas con la radio comunicación del sistema RTK. Por lo tanto, vale la pena considerar los siguientes factores al tratar de optimizar el desempeño del radio.

- La potencia del radio transmisor. En términos generales, a mayor potencia mayor rendimiento. Sin embargo, la mayoría de los países restringe legalmente la potencia de salida entre 0.5 - 2W;
- La altura de la antena del transmisor. Las comunicaciones por radio se pueden ver afectadas por la falta de línea de visibilidad. Cuanto más alto se pueda instalar la antena, menores serán los problemas por la falta de línea de visibilidad y aumentará el alcance de las comunicaciones por radio. El mismo principio se aplica para la antena receptora.

Otros factores que afectan el rendimiento incluyen la longitud del cable de antena, ya que cuanto más largo sea este, se presentarán más pérdidas. Asimismo, el tipo de antena también influye en el alcance.

### *Etapas y parámetros en un posicionamiento satelital*

---

#### **6.1 Planificación**

Es conveniente, para evitar pérdidas de tiempo en repeticiones de puestas y variaciones de planes, realizar una buena planificación de las observaciones y determinar cuál es la hora del día donde hay un mayor número de satélites, así como cuándo la geometría de la observación es más idónea, además de determinar el estado de salud de los satélites.

Para llevar a cabo esta etapa, los software para el post-proceso incorporan módulos de planificación, los cuales, a través de los almanaques radiodifundidos de las constelaciones, que podemos ir almacenando periódicamente o los almanaques ya existentes, y de las posiciones de los lugares de observación, podemos conocer el número de satélites, salud, bondad de la geometría de la observación, periodo óptimo de observación, etc. Podemos, además marcar la obstrucción que puedan existir en el lugar de la observación.

#### **6.2 Observación**

Una vez decidido el lugar, el día y la hora de la observación, debemos elegir el método de posicionamiento adecuado en función del tipo de trabajo a realizar y de sus precisiones.

Una vez en el campo, debemos configurar la unidad de control del receptor con los parámetros de la observación, entre los que destacan:

- Método de posicionamiento para que el software del receptor almacene correctamente los datos.
- Máscara de elevación. Se recomienda no usar máscaras inferiores a 10° sexagesimales. Debemos tener en cuenta que en la etapa de observación podemos usar máscaras amplias, y que luego en la etapa de cálculo las podemos reducir, es decir aumentar el ángulo de elevación, si lo consideramos oportuno.
- Establecimiento del intervalo de grabación en segundos (épocas). Cada época va a ser un tiempo de grabación de datos. Se pueden elegir y establecer en múltiplos de 60, es decir, épocas de 1, 2, 3, 5, 10, 15, 30, etc, segundos. Hay que tener en cuenta que a menor valor de época, mayor cantidad de datos almacenados en la tarjeta, y por lo tanto, se deberá elegir un menor tiempo de puesta de observación para no agotar su capacidad. A modo de ejemplo, se puede decir que 15 minutos de observación grabando épocas cada 5 segundos equivale a 45 minutos grabando épocas cada 15 segundos, ya que la cantidad de información grabada y la capacidad agotada de almacenamiento de la tarjeta es prácticamente la misma, en función del número de satélites y de la cantidad de observables que se recojan en la observación. Existen

instrumentos que son capaces de grabar la información en modo compacto, es decir, utilizan toda la información disponible entre una época de grabación y la siguiente, en lugar de grabar sólo la información del instante en el que se materializa la época.

### 6.3 CÁLCULO

En primer lugar se debe proceder a insertar los datos de las observaciones en el software. En el caso de trabajar en tiempo real, esto lo realiza la propia unidad de control. Así mismo, se deben comprobar todos los datos y atributos referentes a cada punto, tales como nombres, alturas de antena, etc.

A continuación, se procede a calcular un punto singular o single point de todos los puntos que hayan constituido una estación en el trabajo.

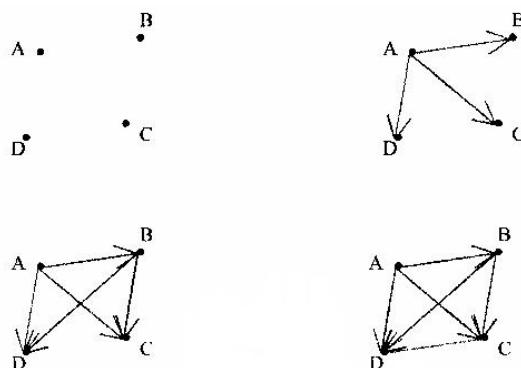
El siguiente paso es determinar los parámetros correctos y apropiados para el cálculo de las líneas base, es decir:

- Máscara de elevación;
- Corrección ionosférica y troposférica;
- Tipo de efemérides usadas;
- Combinación de observables a utilizar;
- Parámetros estadísticos de errores máximos tolerables ( ratio, pérdidas de ciclo, señal/ruido, satélite de referencia, etc. ...).

Seguidamente, se procede al cálculo de las líneas base de una manera ordenada, es decir, siguiendo algún criterio, como puede ser aquel de calcular todas las líneas base que lleguen a un mismo punto antes de tomar éste como referencia para calcular otras líneas base, o algún otro criterio que se estime adecuado.

Es importante que una línea base nunca debe ser calculada en las dos direcciones con los mismos datos de observación, ya supondría incluir líneas linealmente dependientes en el sistema.

Un criterio de cálculo puede ser el representado las siguientes figuras:



Una vez calculadas todas las líneas base, se deben revisar totalmente los ficheros de resultados, así como los resultados de todos los test estadísticos, ya que en ocasiones puede ocurrir que el cálculo no sea satisfactorio y debemos ser conscientes de ello en todo momento.

Tras el cálculo satisfactorio de las líneas base, el siguiente paso es realizar el ajuste de la figura formada por todas las líneas base calculadas. Los paquetes de software incorporan un módulo de ajuste que utilizan la técnica de mínimos cuadrados y donde el usuario debe seleccionar una serie de parámetros para realizar el ajuste como son:

- El número de iteraciones;
- Parámetros estadísticos del test de detección de errores groseros;
- Pesos de las observaciones, etc.

Finalmente, una vez obtenidas las coordenadas ajustadas de todos los puntos, puede ser necesario realizar una transformación de coordenadas para pasar los puntos al sistema de coordenadas locales. Para ello, los paquetes de software disponen de un módulo de transformación de coordenadas, en donde, a partir de una serie de puntos con coordenadas en los dos sistemas se calculan los parámetros de transformación de un sistema a otro por mínimos cuadrados, parámetros que se aplican al resto de los puntos para transformarlos al sistema local.

Para realizar la transformación debemos elegir el elipsoide al que queremos referir las coordenadas, la proyección y la zona que determinan ese sistema local.

Una vez que ya tenemos las coordenadas de todos los puntos en el sistema de coordenadas locales, queda finalizada la etapa del cálculo.

#### **6.4 Preparación del Levantamiento.**

Antes de salir al campo, el topógrafo necesita preparar el trabajo. Los siguientes aspectos deben ser considerados:

- Licencias de Radio;
- Baterías cargadas;
- Cables de repuesto;
- Comunicación entre los miembros de la brigada;
- Coordenadas de la Estación de Referencia;
- Tarjetas de Memoria, con suficiente capacidad;
- Programa de Observación.

El principal objetivo debe ser contar con suficiente información para determinar los parámetros de transformación y obtener redundancia de las observaciones. Para levantamientos Estáticos y Estático Rápidos, se recomienda completar una hoja de registro por cada punto medido.

HOJA DE REGISTRO		
ID de punto:	Fecha:	Nota:
No de serie del sensor:	Operador:	
Tipo de operación:		
Tipo de antena:		
Lectura de altura:		
Hora de inicio:		
Hora de termino:		
No de epocas:		
No de satélites:		
GDOP:		

En los levantamientos Estáticos y Estático Rápidos, es muy importante medir la altura de la antena de manera correcta. Este es uno de los errores más comunes cuando se llevan a cabo levantamientos GPS. Se recomienda medir la altura de la antena al inicio y al final de una sesión de medición. En los levantamientos cinemáticos y RTK, la antena se monta en un bastón, el cual tiene altura constante.

Durante los levantamientos estáticos y estáticos rápidos, la antena GPS debe permanecer totalmente inmóvil. Esta práctica se aplica también al periodo de inicio Estático Rápido de los levantamientos Cinemáticos (pero no a los cinemáticos OTF ni RTK). Cualquier movimiento o vibración de la antena puede afectar negativamente al resultado.

## Capítulo 7

### **Conclusiones**

---

Como se sabe hoy la cobertura de la señal GPS es total en el espacio y constantemente se esta renovando para poder tener mayor precisión en los equipos de nueva generación GPS.

Durante el desarrollo de este presente trabajo se puede observar la importancia que tiene hoy en día el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), en la Topografía.

El GPS es una herramienta básica de gran importancia para el Ingeniero, ya que una de sus funciones es agilizar el trabajo en campo, gabinete y como consecuencia en reducción en costos.

La combinación de las distintas técnicas e instrumentos utilizados facilitan un diagnóstico e intervención sobre el medio de forma rápida, sistemática y eficaz.

La misión de este trabajo es de proporcionar al Ingeniero topógrafo una visión del sistema así como también saberlo utilizar para tener buenos resultados en su campo laboral.

En ese trabajo vera como poder configurar el equipo GPS para levantamientos de campo.

También vera la configuración del software y poder procesar la información del equipo GPS.

Ver las diferentes técnicas de manejar el equipo de GPS, para diferentes tipos de trabajos o la combinación de estas; a su fuente laboral.



### **Achatamiento**

Relativo a los Elipsoides.

$$f = (a-b)/a = 1-(1-e^2)^{1/2}$$

donde a ... semi-eje mayor

b ... semi-eje menor

e ... excentricidad

### **Acimut**

Ángulo horizontal, medido en el sentido de las manecillas del reloj, a partir de una dirección (como el Norte).

### **Almanaque**

Conjunto de datos crudos de las órbitas de los satélites, empleados para calcular la posición, hora de salida, elevación y acimut de los mismos.

### **Altura Elipsoidal**

Distancia vertical de un punto sobre el elipsoide.

### **Altura Geoidal**

Véase Ondulación Geoidal

### **Altura Ortométrica**

Distancia de un punto sobre el geoide, medido a lo largo de la vertical del punto (altura sobre el nivel medio del mar).

Véase también Elevación.

### **Ambigüedad**

Número entero de ciclos desconocidos de la fase portadora reconstruida, presentes en una serie de mediciones continuas, de un solo paso de satélite en un mismo receptor.

### **Ángulo Cenital**

Ángulo vertical con un valor de 0° sobre el horizonte y 90° directamente sobre el usuario.

### **Ángulo de Elevación**

Ángulo de elevación mínima por debajo del cual el sensor no rastrea ningún satélite GPS.

### **Anti-spoofing (A-S)**

Código P encriptado (para formar el código Y).

### **Banda L**

Banda de frecuencia de radio que se extiende desde los 390 Mhz hasta los 1550 MHz. Las frecuencias de las fases portadoras de las bandas L1 y L2, transmitidas por los satélites GPS, quedan dentro de esta banda L.

**Cambio Doppler**

Cambio aparente en la frecuencia de una señal recibida debido al rango de cambio del intervalo entre el transmisor y el receptor.

**Canal Cuadrático**

Canal receptor GPS que multiplica por sí misma la señal recibida para obtener una segunda armónica de la fase portadora que no contiene el código de modulación.

**Canal Receptor**

Frecuencia de radio y hardware digital, así como el programa en un receptor GPS, requeridos para rastrear la señal de un satélite GPS en una de las dos fases portadoras del sistema.

**Chip**

Intervalo de tiempo de un cero o de un uno en un código de pulso binario.

**Círculo Máximo**

Término empleado en navegación. Es la forma más corta de conectar dos puntos.

**Código**

Sistema empleado para comunicación en el que a ciertas cadenas de ceros y unos, elegidos arbitrariamente, se les asignan significados definidos.

**Código C/A**

Es el Código de Adquisición Cruda que se envía en la señal L1 de GPS. Este código es una secuencia de modulaciones pseudoaleatorias bifásicas binarias de 1023 MHz en la banda de GPS con una modulación de 1.023 MHz, y presenta un período de repetición de un milisegundo.

**Código P**

Código preciso GPS con una secuencia muy larga (aproximadamente 1014 bit ) de modulaciones pseudoaleatorias binarias bifásicas en la fase portadora GPS en un intervalo de chips de 10.23 MHz, que no se repiten a sí mismas durante 267 días. Cada segmento semanal del código P es único para cada satélite GPS, y se cambia también cada semana. El acceso al código P se restringe a usuarios autorizados por el gobierno de los E.U.

**Código Seudoaleatorio del Ruido (PRN)**

Cualquier grupo de secuencias binarias que parecen tener una distribución aleatoria como el ruido, pero que en realidad se pueden distribuir de manera ordenada. La propiedad más importante de los códigos PRN es que la secuencia tiene un valor mínimo de autocorrelación, excepto en un retraso de cero.

**Código Y**

Versión encriptada del código P, que se transmite mediante un satélite GPS al activarse el modo anti-spoofing.

**Comparación del Retraso**

Técnica mediante la cual el código recibido (generado por el reloj del satélite) se compara con el código interno (generado por el reloj del receptor) y este último se adapta en tiempo hasta que se igualen los dos códigos.

**Configuración de los Satélites**

Estado o condición de la constelación de satélites en un momento determinado, con relación a un usuario o a un grupo de usuarios.

**Constante Gravitacional**

Constante de proporcionalidad en la ley de Gravitación de Newton.

$$G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{s}^{-2}\text{kg}^{-1}$$

**Constelación de Satélites**

Disposición en el espacio de todo el grupo de satélites de un sistema, como el de GPS.

**Coordenadas Cartesianas**

Coordenadas de un punto en el espacio, dadas en tres dimensiones perpendiculares (x, y, z) a partir del origen.

**Coordenadas Geodésicas**

Coordenadas que definen un punto en relación a un elipsoide. Las coordenadas geodésicas pueden emplear valores de latitud, longitud y altura elipsoidal o coordenadas cartesianas.

**Datos Compactados**

Datos crudos compactados cada determinado intervalo de tiempo (tiempo de compactación) para formar una sola observación (medición), para su posterior registro.

**Datos Crudos**

Datos GPS originales, registrados y grabados por un receptor.

**Datos de Mensaje**

Mensaje incluido en la señal GPS que informa de la ubicación del satélite, las correcciones del reloj y la salud. Se incluye también información general de las condiciones de otros satélites de la constelación.

**Datum Geodésico**

Modelo matemático diseñado para ajustarse lo mejor posible a una parte o a la totalidad del geoide. Se define por un elipsoide y la relación que existe entre este y un punto sobre la superficie topográfica, establecido como el origen del datum. Dicha relación se establece por medio de seis cantidades, generalmente (aunque no necesariamente): la latitud y longitud geodésicas y la altura del origen, los dos componentes de la deflexión de la vertical en el origen y el acimut geodésico de una línea que va desde el origen hacia cualquier otro punto.

**Deflexión de la vertical**

Ángulo formado por la normal al elipsoide y la vertical (línea de plomada). Generalmente se calcula como un componente en el meridiano y un componente perpendicular al mismo.

**DGPS**

GPS Diferencial. Término que se aplica comúnmente para designar a un sistema GPS que emplea correcciones de código diferencial para obtener una precisión de posición entre 0.5 - 5m.

**Día Sidéreo**

Intervalo de tiempo entre dos tránsitos superiores sucesivos del equinoccio Vernal.

**Día Solar**

Intervalo de tiempo entre dos tránsitos superiores sucesivos del sol

**Dilución de la Precisión (DOP)**

Descripción de la contribución (puramente geométrica) a la incertidumbre para fijar una posición. El factor DOP indica la fortaleza geométrica de la constelación de los satélites en el momento de la medición. Los términos estándar empleados en GPS son:

GDOP coordenadas de posición tridimensional más el retraso del reloj

PDOP tres coordenadas

HDOP dos coordenadas horizontales

VDOP únicamente altura

TDOP únicamente retraso del reloj

HTDOP posición horizontal y hora

**Disponibilidad Selectiva (SA)**

Degradación de la precisión de la posición puntual para los usuarios civiles establecida por el Departamento de Defensa de los E.U.. El SA se introduce como degradación del reloj o de la órbita de los satélites GPS.

**Efemérides**

Lista de posiciones o ubicaciones de un objeto celeste en función del tiempo.

**Elementos Orbitales Keplerianos**

Permiten la descripción de cualquier órbita astronómica:

a: semi-eje mayor

e: excentricidad

w: argumento de perigeo

W: ascensión recta del nodo ascendente

i: inclinación

n: anomalía verdadera

**Elevación**

Altura sobre el Geoide. Véa Altura Ortométrica.

**Elipsoide**

En Geodesia, a menos que se especifique otra cosa, figura matemática formada al hacer girar una elipse alrededor de su eje menor (a veces se le denomina también esferoide). Dos elementos definen un elipsoide: generalmente se dan a conocer como la longitud del semi-eje mayor  $a$  y el achatamiento  $f$ .

**Elipsoide Local**

Elipsoide que se ha definido para ajustarse lo mejor posible a una parte específica de la Tierra. Generalmente, los elipsoides locales se ajustan para un país o un cierto grupo de países.

**Época**

Instante fijo y particular de tiempo, empleado como punto de referencia en una escala temporal.

**Error de las Efemérides**

Diferencia entre la ubicación actual del satélite y la ubicación predicha por los datos orbitales de satélite (efemérides).

**Error Multitrayectoria**

Error de posicionamiento, resultante de la interferencia entre las ondas de radio que han viajado entre el transmisor y el receptor por dos trayectorias de diferente longitud de onda.

**Estimación por mínimos cuadrados**

Proceso de estimación de parámetros desconocidos que se efectúa minimizando la suma de los cuadrados de los residuales de una medición.

**Excentricidad**

Distancia desde el centro de una elipse hacia el foco de su semi-eje mayor.  
 $e = (1 - b^2/a^2)^{1/2}$  donde  $a$  y  $b$  son el semi-eje mayor y semi-eje menor, respectivamente, de la elipse.

**Fase Observable**

Véa Fase Portadora Reconstruida

**Fase Portadora Reconstruida**

Diferencia entre la fase de la fase portadora GPS recibida y con variación Doppler y la fase de una frecuencia de referencia nominalmente constante, generada en el receptor.

**Frecuencia de Fase Portadora**

Frecuencia de la salida fundamental no modulada de un radiotransmisor. La frecuencia de la fase portadora GPS en L1 es de 1575.42 MHz y en L2 es de 1227.60 MHz.

### **Frecuencia Fundamental**

La frecuencia fundamental empleada en GPS es de 10.23 MHz. Las frecuencias de fase portadora en L1 y L2 son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

$$L1 = 154F = 1575.42 \text{ MHz}$$

$$L2 = 120F = 1227.60 \text{ MHz}$$

### **Frecuencia Resultante**

Cualquiera de las dos frecuencias adicionales obtenidas al combinar las frecuencias de dos señales. Las frecuencias resultantes son iguales a la suma o la diferencia de las dos señales originales, respectivamente.

### **Frecuencia Resultante de Portadora**

Fase de la señal que permanece cuando la señal de portadora, proveniente del satélite, choca contra la frecuencia constante generada en el receptor.

### **GDOP**

Dilución de la Geometría de la precisión → Dilución de la precisión

### **Geocéntrico**

Relacionado con el centro de la Tierra.

### **Geodesia**

Ciencia que estudia el tamaño y la forma de la Tierra.

### **Geoide**

Superficie equipotencial que coincide con el nivel medio del mar, el cual se extendería imaginariamente a lo largo de toda la superficie terrestre de no existir los continentes. Esta superficie es perpendicular en todos los puntos a la fuerza de gravedad.

### **GPS**

Sistema de Posicionamiento Global

### **Gradícula**

Cuadrícula plana que representan las líneas de Latitud y Longitud de un elipsoide.

### **Hora Local**

La hora local es igual al tiempo medio de Greenwich + huso horario.

### **Huso Horario**

Huso Horario = Hora Local – Tiempo medio de Greenwich (GMT). Nótese que el Tiempo medio de Greenwich es aproximadamente el mismo que el Tiempo GPS.

### **Inclinación**

Ángulo formado entre el plano orbital de un objeto y un plano de referencia (por ejemplo, el plano ecuatorial).

**Intervalo de Chips**

Número de chips por segundo (por ejemplo, código C/A :  $1.023 \cdot 10^6$  cps)

**Intervalo de sesgo entero**

Véa Ambigüedad

**Latitud**

Ángulo entre la normal al elipsoide y el plano ecuatorial. Tiene un valor de cero sobre el ecuador y de  $90^\circ$  en los polos.

**Levantamiento Estático**

El término Levantamiento Estático se emplea en conjunción con el sistema GPS para todas las aplicaciones de levantamientos no cinemáticos. Lo anterior incluye los siguientes modos de operación:

- Levantamiento Estático
- Levantamiento Estático Rápido

**Levantamiento Estático Rápido**

Término empleado en conjunción con el sistema GPS para levantamientos estáticos con períodos cortos de observación. Este tipo de levantamientos es posible gracias al algoritmo de resolución rápida de ambigüedades presente en el programa SKI.

**Levantamiento Parar y Seguir**

El término de Levantamiento Parar y Seguir se emplea en conjunción con el sistema GPS para designar un tipo especial de levantamiento cinemático. Posterior a la inicialización (para determinar las ambigüedades) en el primer punto, el receptor móvil se desplaza a los demás puntos sin perder la señal de ningún satélite. Solo se requieren unas cuantas épocas en estos otros puntos para obtener una solución con la precisión requerida. Si ocurre una pérdida de señal, se debe iniciar nuevamente.

**Línea Base**

Longitud del vector tridimensional entre un par de estaciones en las que se han registrado simultáneamente datos GPS y se procesan con técnicas diferenciales.

**Línea de Rumbo**

Término empleado en navegación.

Traectoria entre dos puntos con rumbo constante.

**Longitud**

Es el ángulo que se forma entre el meridiano de Greenwich y el meridiano que pasa por el punto en cuestión. Por lo tanto, tendrá un valor de  $0^\circ$  en Greenwich y se mide hacia el este o el oeste, con valores máximos de  $180^\circ$  en un sentido y otro.

**Longitud de Banda**

Medición del ancho del espectro de una señal (representación del dominio de la frecuencia de una señal) expresada en Hertz.

### **Mediciones Diferenciales**

Las mediciones GPS se pueden diferenciar entre receptores, entre satélites o a lo largo de un cierto tiempo.

Aunque existen varias combinaciones posibles, por convención las mediciones de fase GPS se diferencian en el orden aquí descrito: primero entre los receptores, después entre los satélites y por último a lo largo del tiempo.

Una medición de una diferencia (entre receptores) consiste en la diferencia instantánea de fase de la señal recibida, medida simultáneamente, por dos receptores que observan el mismo satélite.

Una medición de doble diferencia (entre receptores y satélites) se obtiene al hacer la diferencia entre la medición de una diferencia para un satélite con respecto a la correspondiente medición de una diferencia del satélite de referencia elegido.

Una medición de triple diferencia (entre receptores, satélites y tiempo) se obtiene al hacer la diferencia entre una medición de doble diferencia en una época y la misma medición en una época distinta.

### **Retraso de la Propagación Atmosférica**

Retraso de tiempo que afecta a las señales de los satélites, debido a la ionosfera y troposfera, que son capas atmosféricas de la Tierra.

### **Meridiano**

Línea imaginaria que une el polo sur con el polo norte y pasa por el ecuador a los 90°.

### **Modo Cuadrático de Recepción**

Método empleado para la recepción de señales GPS en L2, que duplica la fase portadora y no emplea el código P.

### **Modulación Binaria Bifásica**

Cambio de fase de 0° o de 180° (para representar 0 o 1 en binario, respectivamente) en una fase portadora constante.

Se pueden modelar por medio de:

$$y = A \cos (wt + p),$$

donde la función de amplitud A es una secuencia de valores +1 y -1 (para representar los cambios de fase de 0° y 180° respectivamente). Las señales GPS son señales bifásicas moduladas.

### **NAVSTAR**

Acrónimo de Navigation System with Time and Ranging, nombre original del sistema GPS.



**NMEA**

Del Inglés: National Marine Electronics Association. que define señales eléctricas, protocolos de transmisión de datos, tiempos y formatos de frases para transmitir datos de navegación entre diversos instrumentos de navegación marítima. Es el formato estándar de salida para datos de tiempo y posición de equipos GPS, el cual se emplea en diversas aplicaciones.

**Ondulación Geoidal**

Distancia de la superficie del elipsoide de referencia al geoide, medida a lo largo de la normal al elipsoide.

**PDOP**

Dilución de la precisión de la Posición.

**Portadora**

Onda de radio que tiene por lo menos una característica (por ejemplo, frecuencia, amplitud o fase) que puede modificarse por modulación a partir de un valor conocido de referencia.

**Posicionamiento Cinemático**

Determinación de una serie de tiempo o de coordenadas para un receptor móvil.

Cada serie de coordenadas se determina a partir de una sola muestra de datos y se generalmente se calcula en tiempo real.

**Posicionamiento Diferencial**

Determinación de coordenadas relativas entre dos o más receptores que rastrean simultáneamente las mismas señales GPS.

**Posicionamiento Puntual**

Reducción independiente de observaciones efectuada por un receptor en particular, empleando la información de pseudorangs transmitida por los satélites.

**Posicionamiento Relativo**

Véa Posicionamiento Diferencial

**Post proceso**

Proceso de calcular posiciones en tiempo no real, empleando datos previamente colectados por receptores GPS.

**Proyección Conforme**

Proyección cartográfica en la que se conservan los ángulos sobre el elipsoide después de ser proyectados sobre el plano.

**Proyección Lambert**

Proyección cónica conforme que proyecta un elipsoide sobre una superficie plana, utilizando un cono sobre una esfera como figuras de referencia.

### **Proyección Transversa de Mercator**

Proyección cilíndrica conforme que se basa en un cilindro que envuelve a la Tierra.

### **Rango**

Término empleado en navegación para referirse a la longitud de la trayectoria entre dos puntos. Normalmente, esta trayectoria es el círculo máximo o la línea de rumbo.

### **Rango de Error del Usuario (UERE)**

Contribución al rango de medición del error de una fuente individual de error, convertida en unidades del rango, asumiendo que la fuente de error no está relacionada con el resto de las fuentes de error.

### **Retraso de la Propagación**

Véa Retraso de la propagación atmosférica y Retraso Ionosférico.

### **Retraso del Reloj**

Diferencia constante en la lectura de la hora en dos relojes.

### **Retraso Inosférico**

La propagación de una onda a través de la ionosfera (que es un medio heterogéneo y dispersante), experimenta un retraso. El retraso de la fase depende del contenido de electrones y afecta las señales de la fase portadora. El retraso de grupos depende también de la dispersión de la ionosfera y afecta la modulación de las señales (códigos). El retraso de la fase y de los grupos es de la misma magnitud pero de signo contrario.

### **RINEX**

Siglas de Receiver INdependent Exchange format. Conjunto de definiciones y formatos estándar para promover el libre intercambio de datos GPS.

### **RTCM**

Siglas de Radio Technical Commission for Maritime services. Comisión establecida para definir un radio enlace diferencial de datos para retransmitir mensajes de corrección GPS a partir de una estación de control a los usuarios en campo.

### **RTK**

Siglas de Real Time Kinematic. Término empleado para describir el proceso mediante el cual, se resuelven las ambigüedades de fase en el receptor GPS, de manera que ya no es necesario el post-proceso.

### **Rumbo**

Término empleado en navegación para describir el ángulo entre una dirección de referencia (por ejemplo, norte geográfico, norte magnético, norte de cuadrícula) y la trayectoria.

**Salto de Ciclo**

Discontinuidad de un número entero de ciclos en la medición de señal de fase portadora, que resulta de una pérdida temporal de la señal de satélites GPS.

**Segmento de Control**

Equipo en tierra del sistema GPS operado por el gobierno de los E.U. que rastrea las señales de los satélites, determina sus órbitas y transmite las definiciones de las mismas a la memoria de los satélites.

**Segmento Espacial**

Parte del sistema GPS que se encuentra en el espacio, es decir, los satélites.

**Segmento Usuario**

Parte del sistema GPS que comprende los receptores de las señales GPS.

**Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS)**

Nivel de precisión en el posicionamiento de un punto obtenido con GPS, basado en el código C/A de una frecuencia.

**Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS)**

Nivel más alto de precisión de posicionamiento puntual, proporcionado por el sistema GPS. Se basa en el código P de doble frecuencia.

**Sesión de Observación**

Período de tiempo en el cual se registran datos GPS en forma simultánea por dos o más receptores.

**Seudolite**

Estación GPS terrena diferencial que transmite una señal con estructura similar a la de un satélite GPS.

**Seudorango**

Medición del tiempo de propagación de la señal aparente de un satélite a una antena receptora, referido en distancia dividida entre la velocidad de la luz. El tiempo de propagación aparente es la diferencia entre el momento de la recepción de la señal (medido en el receptor) y el tiempo de emisión (medido por el satélite). El seudorango difiere del intervalo actual por la influencia del reloj del satélite contra el reloj del usuario.

**Sitio**

Punto en el que se establece un receptor para determinar coordenadas.

**Superficie Equipotencial**

Superficie definida matemáticamente en la cual el potencial de gravedad es el mismo en cualquier punto. Un ejemplo de esta superficie lo constituye el geode.

**Tiempo GPS**

Sistema de tiempo continuo basado en el Tiempo de Coordenadas Universales (Coordinated Universal Time (UTC)) del 6 de enero de 1980.

**Tiempo medio de Greenwich (GMT)**

Tiempo medio solar del Meridiano de Greenwich. Se emplea como base para establecer el tiempo o la hora estándar a nivel mundial.

**Tiempo Universal**

Tiempo medio solar local en el Meridiano de Greenwich

UT Abreviatura de Tiempo Universal

UT0 UT como se deduce directamente de la observación a las estrellas

UT1 UT0 corregido por el movimiento polar

UT2 UT1 corregido para variaciones estacionales de la rotación terrestre

UTC Coordenadas de Tiempo Universal; sistema de tiempo atómico uniforme, muy similar al

UT2 por correcciones.

**Topografía**

Forma del terreno de una región en particular.

**Transformación**

Proceso de transformar coordenadas de un sistema a otro.

**Transit**

Antecesor del sistema GPS. Sistema de navegación satelitar que estuvo en servicio de 1967 a 1996.

**Traslocación**

Método en el que se emplean datos simultáneos de estaciones separadas para determinar la posición relativa de una estación con respecto a otra..

**UTM**

Proyección Universal Transversa de Mercator. Es una variante de la proyección Transversa de Mercator. Se divide en diferentes zonas, cada una de 6° de ancho, con un factor central de escala de 0.996. La zona a emplear dependerá de la posición del usuario sobre la Tierra.

**WGS 84**

Siglas de World Geodetic System 1984. Sistema al cual están referidas todas las mediciones y resultados GPS.

## ***Bibliografía***

---

Titulo: Trimble GPSurvey Training Tours Manual  
Autor: Trimble  
Editorial: Trimble Navigation Limited  
Edición: 1994

Titulo: Sistema de Coordenadas en Geodesia  
Autor: M.C. Rafael Sosa Torres  
Editorial: Dirección General de Geografía  
Edición: 1978

Titulo: El Sistema de Posicionamiento Global  
Autor: Juan Antonio Martínez Rosique, José Miguel Fuster Escudar  
Editorial: Servicio de Publicaciones España, Valencia.  
Edición: 1995

Titulo: Geodesia Cósmica  
Autor: Dr. Daniel Mendoza Araiza  
Editorial: Cosmos de AUS Culiacán, Sin.  
Edición: 1997

Titulo: Geodesia Superior  
Autor: Dr. Daniel Mendoza Araiza  
Editorial: Cosmos de AUS Culiacán, Sin.  
Edición: 2001

Titulo: Estándares de Exactitud Posicional Geodesia Superior  
Autor: Dirección General de Geografía  
Editorial: INEGI  
Edición: 2003

Titulo: Lineamiento General para la Ejecución de Trabajos Tecnicos  
Autor: Dirección General de Catastro Rural  
Editorial: RAN  
Edición: 2005

### **Internet**

[www.cascadaexpediciones.cl/mnusecundario/actualidad/Articulos/GPS/GPS.htm](http://www.cascadaexpediciones.cl/mnusecundario/actualidad/Articulos/GPS/GPS.htm)

[www.tech-faq.com/lang/es/gps.shtml](http://www.tech-faq.com/lang/es/gps.shtml)