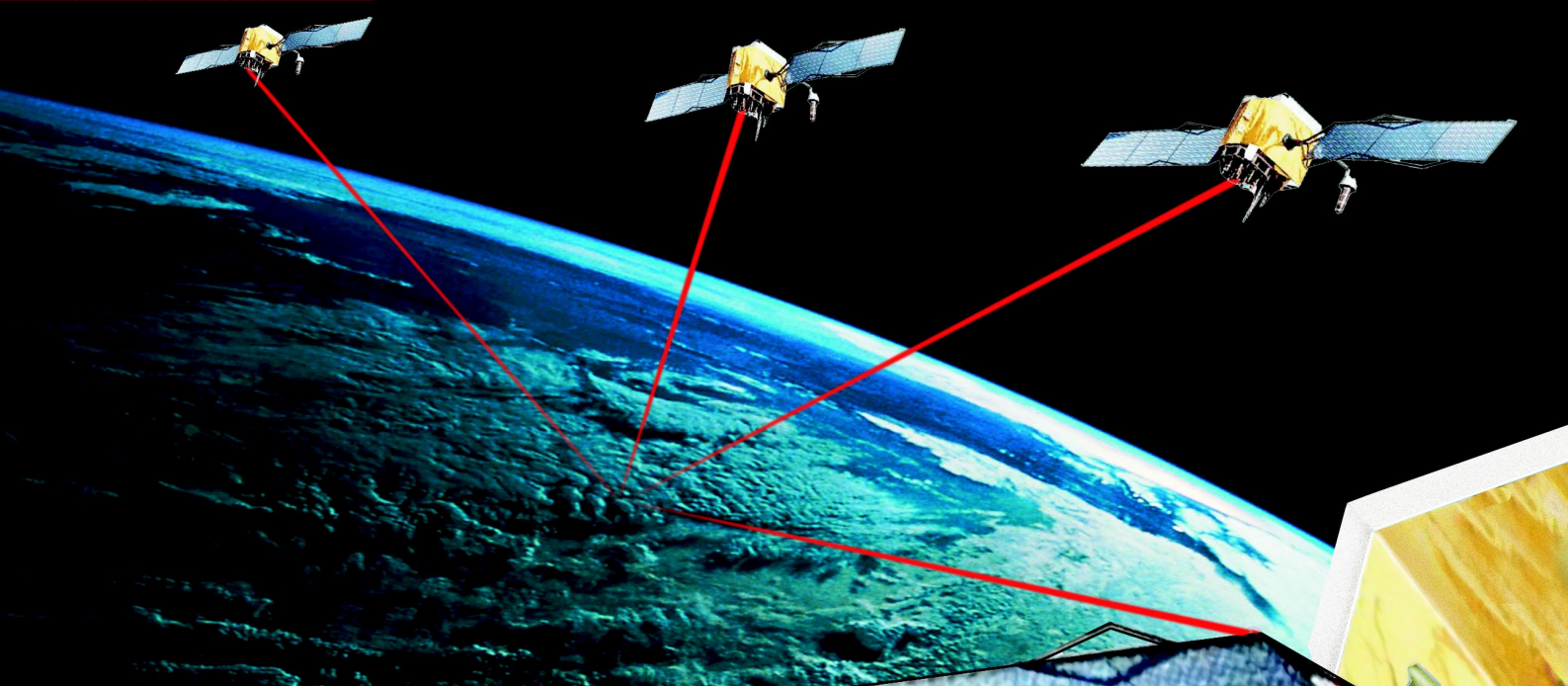


20 30 40 50

# GPS Basics



## *Introducción al Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global)*

*Versión 1.0*  
*Español*

*Leica*

MADE TO MEASURE

## Indice

---

<b>Prefacio .....</b>	<b>4</b>	<b>4. Aspectos Geodésicos .....</b>	<b>26</b>
<b>1. ¿Qué es el GPS y qué hace? .....</b>	<b>5</b>	4.1 Introducción .....	27
<b>2. Descripción del Sistema .....</b>	<b>6</b>	4.2. Sistema de Coordenadas GPS .....	28
2.1 El segmento Espacial .....	6	4.3 Sistemas de Coordenadas Locales .....	29
2.2 El Segmento de Control .....	8	4.4 El problema de la Altura .....	30
2.3 El Segmento de Usuarios .....	9	4.5 Transformaciones .....	31
<b>3. Cómo funciona el GPS .....</b>	<b>10</b>	4.6 Proyecciones de Mapas y Coordenadas Planas ...	34
3.1 Navegación Autónoma .....	11	4.6.1 Proyección Transversa de Mercator .....	35
3.1.1 Medición de la distancia a los satélites .....	11	4.6.2 Proyección de Lambert .....	37
3.1.2 Cálculo de la distancia al satélite .....	13	<b>5. Levantamientos con GPS .....</b>	<b>38</b>
3.1.3 Fuentes de Error .....	14	5.1 Técnicas de medición GPS .....	39
3.1.4 ¿Por qué son más precisos los receptores militares?	18	5.1.1 Levantamientos Estáticos .....	40
3.2 Posicionamiento Diferencial (DGPS) .....	19	5.1.2 Levantamientos Estático Rápidos .....	42
3.2.1 El Receptor de Referencia .....	20	5.1.3 Levantamientos Cinemáticos .....	44
3.2.2 El Receptor Móvil .....	20	5.1.4 Levantamientos RTK .....	45
3.2.3 Detalles adicionales .....	20	5.2 Preparación del Levantamiento .....	46
3.3 GPS Diferencial de Fase y Resolución de		5.3 Consejos durante la operación .....	46
Ambigüedades .....	22	<b>Glosario .....</b>	<b>48</b>
3.3.1 Fase Portadora, códigos C/A y P .....	22	<b>Lecturas recomendadas .....</b>	<b>59</b>
3.3.2 ¿Por qué utilizar la Fase Portadora? .....	23	<b>Índice alfabético .....</b>	<b>60</b>
3.3.3 Diferencias Dobles .....	23		
3.3.4 Ambigüedades y Resolución de Ambigüedades ....	24		

<b>Prefacio</b>	<b>4</b>
<b>1. ¿Qué es el GPS y qué hace?</b>	<b>5</b>
<b>2. Descripción del Sistema</b>	<b>7</b>
<b>3. Cómo funciona el GPS</b>	<b>10</b>
<b>4. Aspectos Geodésicos</b>	<b>26</b>
<b>5. Levantamientos con GPS</b>	<b>38</b>
<b>Glosario</b>	<b>48</b>
<b>Lecturas recomendadas</b>	<b>59</b>
<b>Índice alfabético</b>	<b>60</b>

## **Prefacio**

### **¿Por qué hemos escrito este libro y a quién está dirigido?**

Leica fabrica, entre otros productos hardware y programas para GPS.

Este hardware y programas son utilizados por numerosos profesionistas, para muy diversas aplicaciones. Una característica que tienen en común casi todos nuestros usuarios es que no son expertos en el sistema GPS ni en Geodesia. Casi todos ellos emplean el GPS como una herramienta para realizar su trabajo. Por lo tanto, resulta de gran utilidad contar con información acerca del sistema GPS y de la forma en que opera.

Este libro tiene como finalidad proporcionar al usuario (principiante o potencial) la información básica del sistema GPS y Geodesia. Cabe aclarar que no pretende ser un manual técnico de GPS o Geodesia: para tales fines, existe toda una bibliografía disponible, parte de la cual se incluye en las últimas páginas de este libro.

El presente está dividido en dos secciones principales. La primera explica lo que es el sistema GPS y la forma en que trabaja. En la segunda se explican los fundamentos básicos de la Geodesia.



## 1. ¿Qué es el GPS y qué hace?

GPS es la abreviatura de NAVSTAR GPS. Este es el acrónimo en Inglés de **NAV**igation **S**ystem with **T**ime **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ositioning **S**ystem, (que en Español significa Sistema de Posicionamiento Global con Sistema de Navegación por Tiempo y Distancia).



GPS es la solución para una de las incógnitas más antiguas que se ha planteado el hombre: el preguntarse "¿En qué lugar de la Tierra me encuentro?"

Uno puede pensar que esta es una pregunta sencilla de responder. Nos podemos ubicar fácilmente observando los objetos que nos rodean, lo cual nos da una cierta posición en relación a los mismos. Pero, ¿qué sucede cuando no hay objetos a nuestro alrededor? ¿Y qué ocurre si nos encontramos en medio del desierto o del océano? Durante muchos siglos, este

problema fue resuelto empleando al Sol y las estrellas para navegar. Asimismo, en tierra, los topógrafos y los exploradores utilizaban puntos conocidos hacia los cuales hacían referencia para sus mediciones o para encontrar su camino.

Estos métodos cumplían su cometido dentro de ciertos límites, pues el Sol y las estrellas no pueden ser observados cuando el cielo está nublado. Además, aún efectuando las mediciones lo más precisas posibles, la posición no podía ser determinada en forma muy exacta.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se hizo necesario que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica encontrara una solución al problema de determinar una posición absoluta y exacta. Durante los siguientes 25 años, se llevaron a cabo muy diversos proyectos y experimentos con este fin, entre los que se cuentan los sistemas Transit, Timation, Loran, Decca etc. Todos ellos permitían determinar posiciones, pero continuaban siendo muy limitados en precisión y funcionalidad.

A principios de los años 70 se propuso un nuevo proyecto - el GPS. Este concepto prometía satisfacer todos los requerimientos del gobierno de los Estados Unidos, principalmente el poder determinar (en cualquier momento y bajo cualquier condición atmosférica), una posición precisa en cualquier punto de la superficie terrestre.

El GPS es un sistema basado en satélites artificiales, dispuestos en un constelación de 24 de ellos, para brindar al usuario una posición precisa. En este punto es importante definir el término "precisión". Para un excursionista o un soldado que se encuentre en el desierto, la precisión significa más o menos 15 m. Para un barco en aguas costeras, la precisión significa 5m. Para un topógrafo, la precisión significa 1cm o menos. El GPS se puede emplear para obtener todos estos rangos de precisión, la diferencia radica en el tipo de receptor a emplear y en la técnica aplicada.

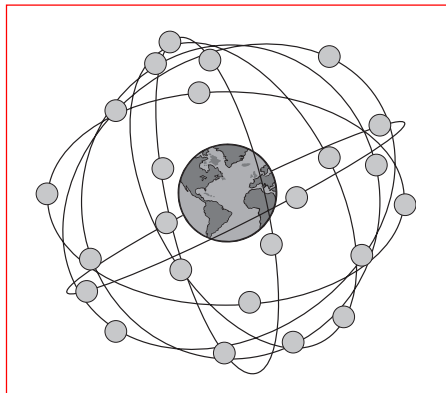
El GPS fue diseñado originalmente para emplearse con fines militares, en cualquier momento y sobre cualquier punto de la superficie terrestre. Poco tiempo después de presentarse las propuestas originales de este sistema, resultaba claro que el GPS también podía ser utilizado en aplicaciones civiles y no únicamente para obtener el posicionamiento personal (como era previsto para los fines militares). Las dos primeras aplicaciones principales de tipo civil fueron aquellas para navegación y topografía. Hoy en día, el rango de aplicaciones va desde la navegación de automóviles o la administración de una flotilla de camiones, hasta la automatización de maquinaria de construcción.

## 2. Descripción del Sistema **2.1 El segmento Espacial**

El sistema GPS comprende tres segmentos diferentes:

- El segmento Espacial - satélites que giran en órbitas alrededor de la Tierra.
- El segmento de Control - formado por estaciones ubicadas cerca del ecuador terrestre para controlar a los satélites.
- El segmento de Usuarios - Cualquiera que reciba y utilice las señales GPS.

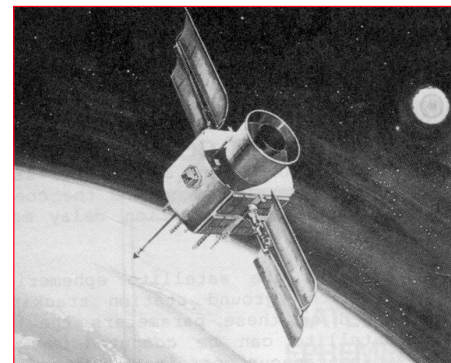
El segmento Espacial consiste de 24 satélites que giran en órbitas ubicadas aproximadamente a 20,200km cada 12 horas. Al momento de escribir este libro, existen 26 satélites operativos que giran alrededor de la Tierra.



**Constelación de satélites GPS**

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. Para la mayoría de las aplicaciones, el número

mínimo de satélites visibles deberá ser de cuatro. 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.



**Satélite GPS**

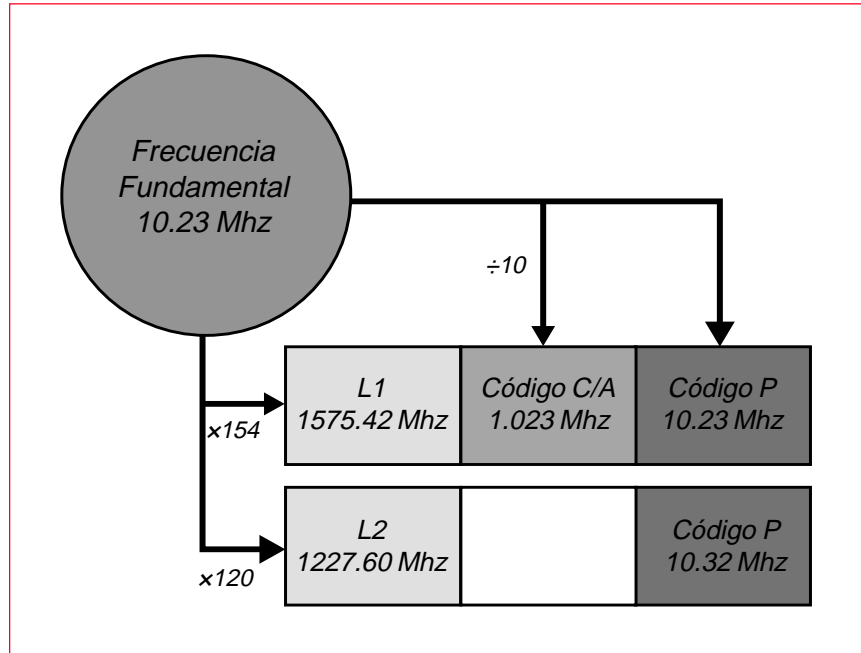
Cada satélite GPS lleva a bordo varios relojes atómicos muy precisos. Estos relojes operan en una frecuencia de fundamental de 10.23MHz, la cual se emplea para generar las señales transmitidas por el satélite.

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 ( $10.23 \times 154$ )
- La portadora L2 es transmitida a 1227.60 MHz ( $10.23 \times 120$ ).

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.



**Estructura de la señal GPS**



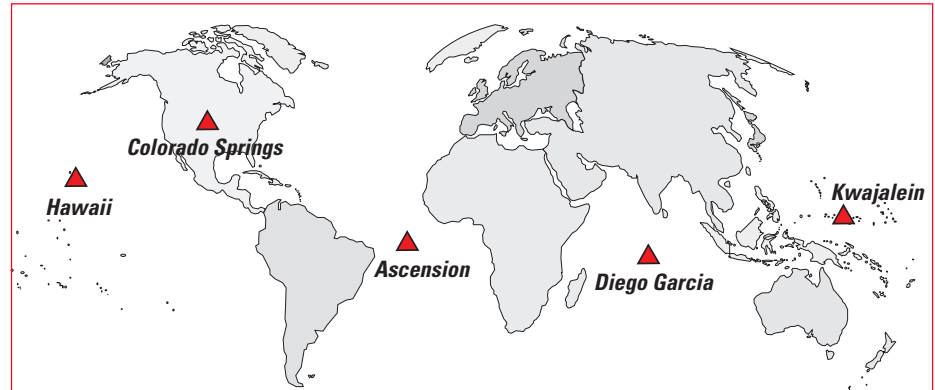
## 2.2 El Segmento de Control

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 posteriormente a las cuatro estaciones de observación equipadas con antenas de tierra y de allí cargada a los satélites.



**Localización de las estaciones del segmento Control**



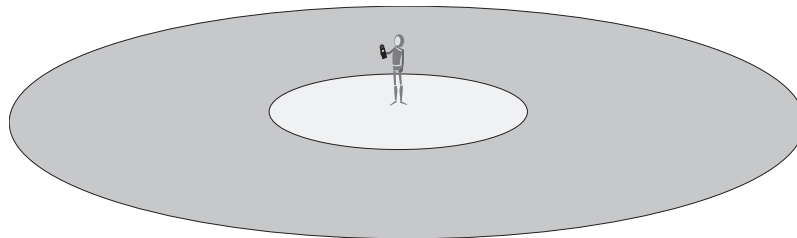
## 2.3 El Segmento de Usuarios

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.

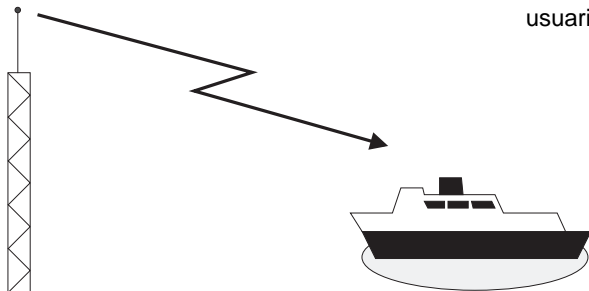


### 3. Cómo funciona el GPS

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. En un sentido amplio de la palabra, estas técnicas pueden ser clasificadas básicamente en tres clases:

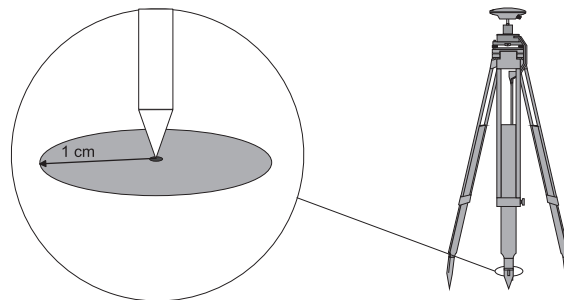


**Navegación Autónoma** empleando sólo un receptor simple. Utilizado por excursionistas, barcos en alta mar y las fuerzas armadas. La Precisión de la Posición es mejor que 100m para usuarios civiles y alrededor de 20m para usuarios militares.



**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.

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



## 3.1 Navegación Autónoma

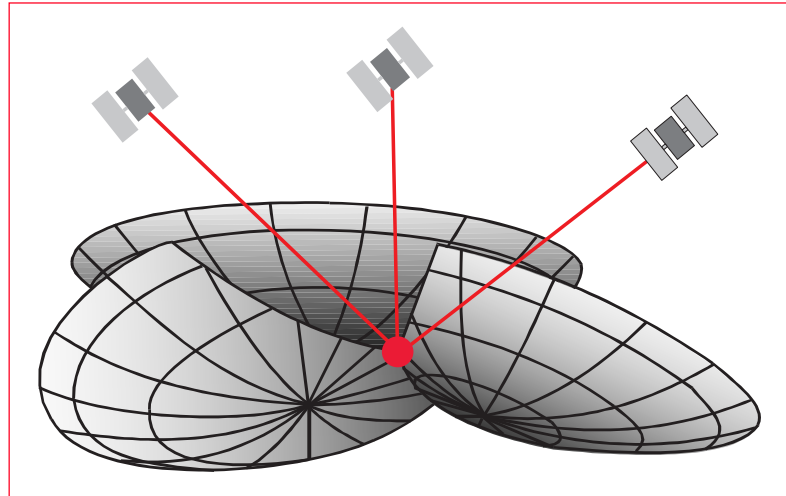
Esta es la técnica más sencilla empleada por los receptores GPS para proporcionar instantáneamente al usuario, la posición y altura y/o tiempo. La precisión obtenida es mejor que 100m (por lo general entre 30 y 40m) para usuarios civiles y 5-15m para usuarios militares. Las diferencias entre las precisiones civiles y militares es explicada más adelante en esta sección. Los receptores utilizados para este tipo de aplicación, son por lo general unidades pequeñas, portátiles y de bajo costo.



Receptor GPS portátil

### 3.1.1 Medición de la distancia a los satélites

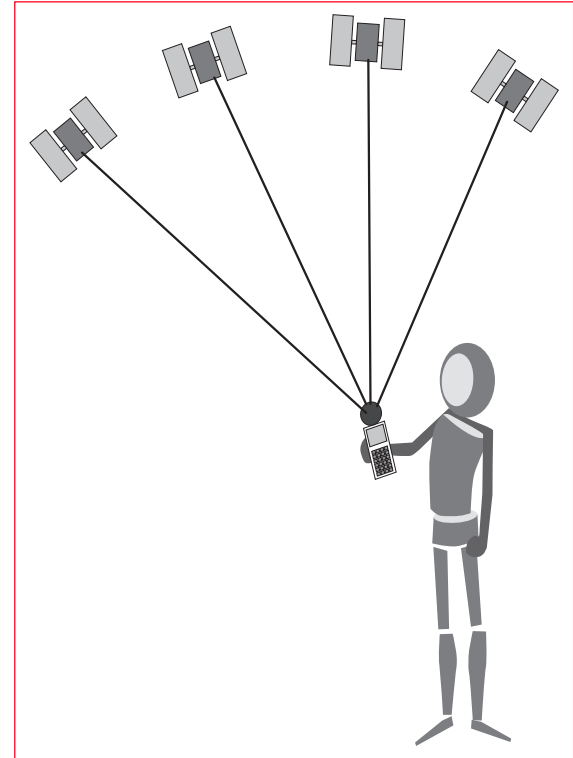
Todas las posiciones GPS están basadas en la medición de la distancia desde los satélites hasta el receptor GPS en Tierra. Esta distancia hacia cada satélite puede ser determinada por el receptor GPS. La idea básica es la de una intersección inversa, la cual es utilizada por los topógrafos en su trabajo diario. Si se conoce la distancia hacia tres puntos en relación a una posición, entonces se puede determinar la posición relativa a esos tres puntos. A partir de la distancia hacia un satélite, sabemos que la posición del receptor debe estar en algún punto sobre la superficie de una esfera imaginaria cuyo origen es el satélite mismo. La posición del receptor se podrá determinar al intersectar tres esferas imaginarias.



Intersección de tres esferas imaginarias

El problema con el GPS es que sólo se pueden determinar las pseudodistancias y el tiempo al momento que llegan las señales al receptor.

De este modo existen cuatro incógnitas a determinar: posición (X, Y, Z) y el tiempo que tarda en viajar la señal. Observando a cuatro satélites se generan cuatro ecuaciones que se cancelan.



***Se requieren por lo menos 4 satélites para obtener la posición y el tiempo en 3 dimensiones***

### 3.1.2 Cálculo de la distancia al satélite

Para calcular la distancia a cada satélite, se utiliza una de las leyes del movimiento

#### ***Distancia = Velocidad x Tiempo***

Por ejemplo, es posible calcular la distancia que un tren ha viajado si se conoce la velocidad de desplazamiento y el tiempo que ha venido desplazándose a esa velocidad.

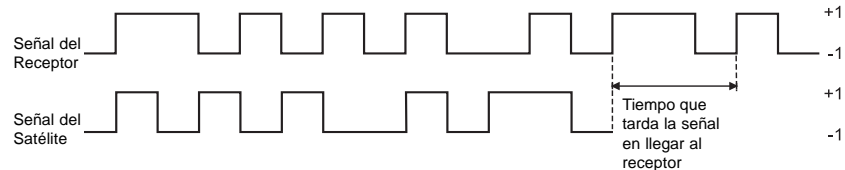
El GPS requiere que el receptor calcule la distancia del receptor al satélite.

La Velocidad es la velocidad de las señales de radio. Las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, a 290 000 Km por segundo (186 000 millas por segundo).

El tiempo es aquel que le toma a una señal de radio en viajar desde el satélite al receptor GPS. Esto es un poco difícil de calcular, ya que se necesita conocer el momento en que la señal de radio salió del satélite y el momento en que llegó al receptor.

#### ***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.

### 3.1.3 Fuentes de Error

Hasta este momento, hemos asumido que la posición obtenida del GPS es muy precisa y libre de errores, pero existen diferentes fuentes de error que degradan la posición GPS desde algunos metros, en teoría, hasta algunas decenas de metros. Estas fuentes de error son:

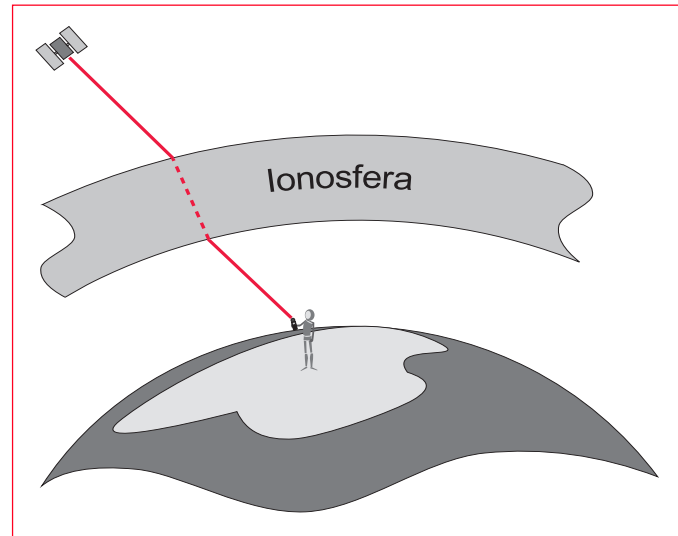
1. Retrasos ionosféricos y atmosféricos
2. Errores en el reloj del Satélite y del Receptor
3. Efecto Multitrayectoria
4. Dilución de la Precisión
5. Disponibilidad Selectiva (S/A)
6. Anti Spoofing (A-S)

#### 1. Retrasos ionosféricos y atmosféricos

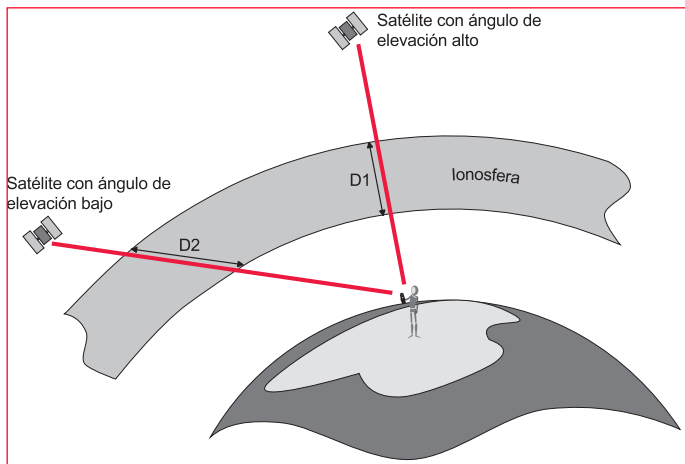
Al pasar la señal del satélite a través de la ionosfera, su velocidad puede disminuir, este efecto es similar a la refracción producida al atravesar la luz un bloque de vidrio. Estos retrasos atmosféricos pueden introducir un error en el cálculo de la distancia, ya que la velocidad de la señal se ve afectada. (La

luz sólo tiene una velocidad constante en el vacío).

La ionosfera no introduce un retraso constante en la señal. Existen diversos factores que influyen en el retraso producido por la ionosfera.



**a. Elevación del satélite.** Las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación bajo se verán más afectadas que las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación mayor. Esto es debido a la mayor distancia que la señal tiene que viajar a través de la atmósfera.



**b. La densidad de la ionosfera está afectada por el Sol.** Durante la noche, la influencia ionosférica es mínima.

Durante el día, el efecto de la ionosfera se incrementa y disminuye la velocidad de la señal. La densidad de la ionosfera varía con los ciclos solares (actividad de las manchas solares).

La actividad de las manchas solares llega a su máximo cada 11 años. Al momento de escribir este texto, el siguiente pico máximo ocurrirá cerca del año 2000.

Además de esto, las llamaradas solares pueden ocurrir de manera aleatoria, lo cual también tiene un efecto sobre la ionosfera.

Los errores debidos a la ionosfera pueden ser mitigados empleando uno de dos métodos:

- El primer método supone la toma de

un promedio del efecto de la reducción de la velocidad de la luz causada por la ionosfera. Este factor de corrección

puede ser entonces aplicado a una serie de cálculos. Sin embargo, esto depende de un promedio y obviamente esta condición promedio no ocurre todo el tiempo. Por lo tanto, este método no es la solución óptima para la Mitigación del Error Ionosférico.

- El segundo método supone el empleo de los receptores de "doble frecuencia". Tales receptores miden las frecuencias L1 y L2 de la señal GPS. Es sabido que cuando una señal de radio viaja a través de la ionosfera, ésta reduce su velocidad en una relación inversamente proporcional a su frecuencia. Por lo tanto, si se comparan los tiempos de arribo de las dos señales, se puede estimar el retraso con precisión. Nótese que esto es posible únicamente con receptores GPS de doble frecuencia. La mayoría de receptores fabricados para la navegación son de una frecuencia.

**c. El Vapor de agua también afecta la señal GPS.** El vapor de agua contenido en la atmósfera también puede afectar las señales GPS. Este efecto, el cual puede resultar en una degradación de la posición, puede ser reducido utilizando modelos atmosféricos.



## 2. Errores en los relojes de los satélites y del receptor

Aunque los relojes en los satélites son muy precisos (cerca de 3 nanosegundos), algunas veces presentan una pequeña variación en la velocidad de marcha y producen pequeños errores, afectando la exactitud de la posición. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos, observa permanentemente los relojes de los satélites mediante el segmento de control (ver la sección 2.2) y puede corregir cualquier deriva que pueda encontrar.

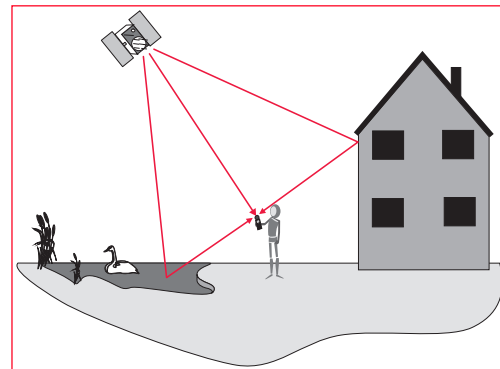
## 3. Errores de Multitrayectoria

El error de multitrayectoria se presenta cuando el receptor está ubicado cerca de una gran superficie reflectora, tal como un lago o un edificio. La señal del satélite no viaja directamente a la antenna, sino que llega primero al objeto cercano y luego es reflejada a la antenna, provocando una medición falsa.

Este tipo de errores pueden ser reducidos utilizando antenas GPS especiales que incorporan un plano de tierra (un disco circular metálico de aproximadamente 50cm de diámetro), el cual evita que las señales con poca elevación lleguen a la antenna.



Antena Choke-Ring



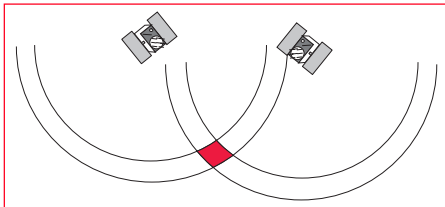
Para obtener la más alta exactitud, la solución preferida es la antena de bobina anular (choke ring antenna). Una antena de bobina anular tiene 4 o cinco anillos concéntricos alrededor de la antena que atrapan cualquier señal indirecta.

El efecto multitrayectoria afecta únicamente a las mediciones topográficas de alta precisión. Los receptores de navegación manuales no utilizan estas técnicas.

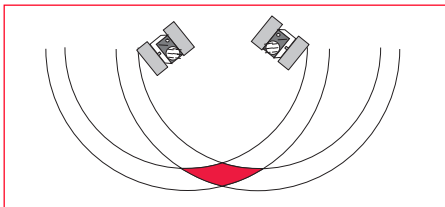
#### 4. Dilución de la Precisión

La Dilución de la Precisión (DOP) es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre los estos y su posición en el cielo. El DOP puede incrementar el efecto del error en la medición de distancia a los satélites.

Este principio puede ser ilustrado mediante los siguientes diagramas:



**Satélites con buena distribución - poca incertidumbre en su posición**



**Satélites con mala distribución - alta incertidumbre en su posición**

La distancia hacia los satélites se ve afectada por los errores en la distancia previamente descritos. Cuando los satélites están bien distribuidos, la posición se puede determinar dentro del área sombreada del diagrama y el margen de error posible es mínimo.

Cuando los satélites están muy cerca unos de otros, el área sombreada aumenta su tamaño, incrementando también la incertidumbre en la posición.

Dependiendo de la dimensión, se pueden calcular diferentes tipos de Dilución de la Precisión.

**VDOP** – Dilución Vertical de la Precisión. Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección vertical.

**HDOP** – Dilución Horizontal de la Precisión. Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección horizontal.

**PDOP** – Dilución de la Precisión en Posición. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D.

**GDOP** – Dilución de la Precisión Geométrica. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

El valor DOP más útil a conocer es el GDOP, ya que es una combinación de todos los factores. Sin embargo, algunos receptores calculan el PDOP o HDOP, valores que no toman en consideración al componente de tiempo.

La mejor manera de minimizar el efecto del GDOP es observar tantos satélites como sean posibles. Recuerde, sin embargo, que las señales de satélites con poca elevación generalmente tienen una gran influencia de las fuentes de error.

Como regla general, cuando se utilice el GPS para topografía, lo mejor es observar satélites con un ángulo de elevación de 15° sobre el horizonte. Las posiciones más precisas serán calculadas por lo general cuando el GDOP tiene un valor bajo, usualmente menor que 8.

### 3.1.4 ¿Por qué son más precisos los receptores militares?

#### 5. Disponibilidad Selectiva (S/A)

La Disponibilidad Selectiva es un proceso aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS. Lo anterior tiene como finalidad denegar, tanto a usuarios civiles como a las potencias hostiles, el acceso a toda la precisión que brinda el GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), el cual altera el tiempo ligeramente. Además, las efemérides (o la trayectoria que el satélite seguirá), son transmitidas ligeramente alteradas respecto a las verdaderas. El resultado final es una degradación en la precisión de la posición.

Vale la pena hacer notar que el S/A afecta a los usuarios civiles que utilizan un solo receptor GPS para obtener una posición autónoma. Los usuarios de sistemas diferenciales no se ven afectados de manera significativa por este efecto.

Actualmente, está planeado desactivar el efecto S/A a más tardar en el año 2006.

#### 6. Anti-Spoofing (A-S)

El efecto Anti-Spoofing es similar al efecto S/A, ya que ha sido concebido con la idea de no permitir que los usuarios civiles y las fuerzas hostiles tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándolos a emplear el código C/A, al cual se aplica el efecto S/A. El efecto Anti-spoofing encripta el código P en una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares (EEUU y sus aliados) pueden descifrar el código Y.



*Receptor GPS militar portátil  
(cortesía de Rockwell)*

Los receptores militares son más precisos porque no utilizan el código C/A para calcular el tiempo que tarda en llegar la señal desde el satélite al receptor GPS. Únicamente emplean el código P.

El código P modula a la portadora con una frecuencia de 10.23 Hz., mientras que el código C/A lo hace a 1.023 Hz. Las distancias se pueden calcular con mayor precisión empleando el código P, ya que este se transmite 10 veces más por segundo que el código C/A.

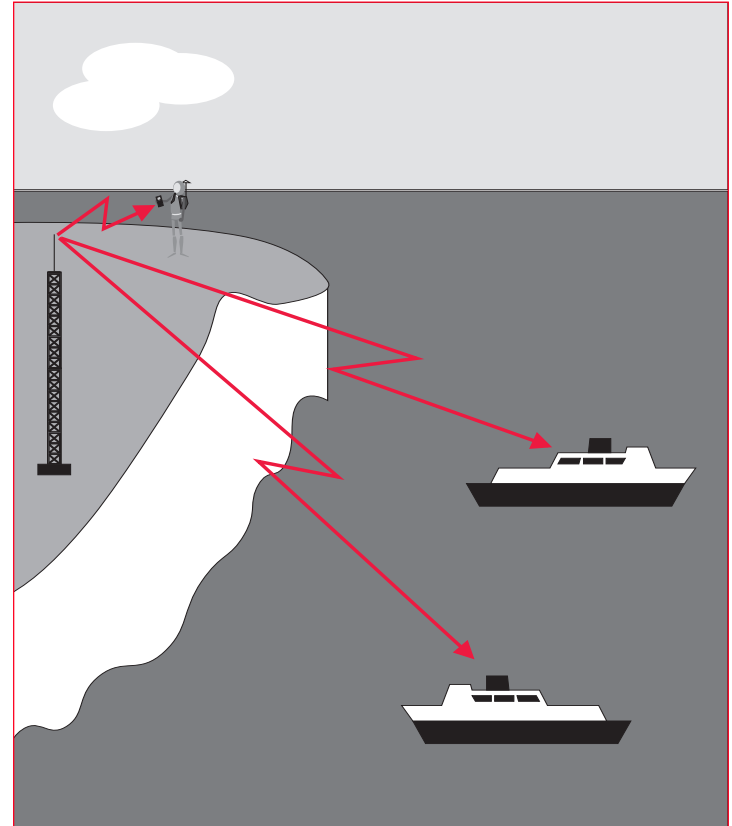
Sin embargo, como se describió en la sección anterior, muy a menudo el código P se ve afectado por el Anti-Spoofing (A/S). Esto significa que, únicamente las fuerzas militares (equipadas con receptores GPS especiales), pueden descifrar el código P encriptado, también conocido como código Y.

Por todas estas razones, los usuarios de receptores GPS militares generalmente obtendrán precisiones del orden de 5 metros, mientras que los usuarios de equipos GPS civiles equivalentes únicamente alcanzarán precisiones de 15 a 100 metros.

## 3.2 Posicionamiento Diferencial (DGPS)

Muchos de los errores que afectan la medición de distancia a los satélites, pueden ser completamente eliminados o reducidos significativamente utilizando técnicas de medición diferenciales.

La técnica DGPS permite a los usuarios civiles incrementar la precisión de la posición de 100m a 2-3m o menos, haciéndolo más útil para muchas aplicaciones civiles.



*Estación de referencia DGPS transmitiendo a los usuarios*

### 3.2.1 El Receptor de Referencia

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

Se enciende el receptor y comienza a rastrear satélites. Puede calcular una posición autónoma utilizando las técnicas descritas en la sección 3.1.

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.

### 3.2.2 El Receptor Móvil

El receptor móvil está al otro lado de estas correcciones. El receptor móvil cuenta con un radio enlace de datos conectado para recibir las correcciones transmitidas por el receptor de referencia.

El receptor móvil también calcula las distancias hacia los satélites tal como se describe en la sección 3.1. 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.

Utilizando esta técnica, todas las fuentes de error descritas en la sección 3.1.4 son minimizadas, de aquí que se obtiene un posición más precisa.

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

### 3.2.3 Detalles adicionales

En las secciones anteriores se ha explicado la técnica DGPS en forma muy general. Sin embargo, ya en la práctica resulta un poco más compleja.

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.

---

Tales sistemas han sido instalados a lo largo de las costas de muchos países.

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 Commission Maritime Services), una organización sin fines de lucro auspiciada por la industria. Este formato se usa en forma común alrededor de todo el mundo.

## 3.3 GPS Diferencial de Fase y Resolución de Ambigüedades

El GPS Diferencial de Fase es utilizado principalmente en la topografía y trabajos relacionados para alcanzar precisiones en posición del orden de 5-50mm. (0.25-2.5 in.). La técnica utilizada difiere de todas las descritas previamente e involucra un intenso análisis estadístico.

Como técnica diferencial significa que un mínimo de dos receptores GPS deben ser siempre utilizados en forma simultánea. Esta es una de las similitudes con el método de Corrección Diferencial de Código descrita en la sección 3.2

El receptor de Referencia está siempre ubicado en un punto fijo o de coordenadas conocidas. El otro (o los otros) receptores están libres para moverse alrededor. Estos son conocidos como receptores móviles. Se calcula, entonces, la(s) línea(s) base entre la Referencia y los móviles.

La técnica básica es igual a las descritas previamente, - es decir la medición de distancias a cuatro satélites y la determinación de la posición a partir de esas distancias.

La diferencia radica en la forma en que se calculan esas distancias.

### 3.3.1 Fase Portadora, códigos C/A y P

En este punto, es importante definir los diversos componentes de la señal GPS.

**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.

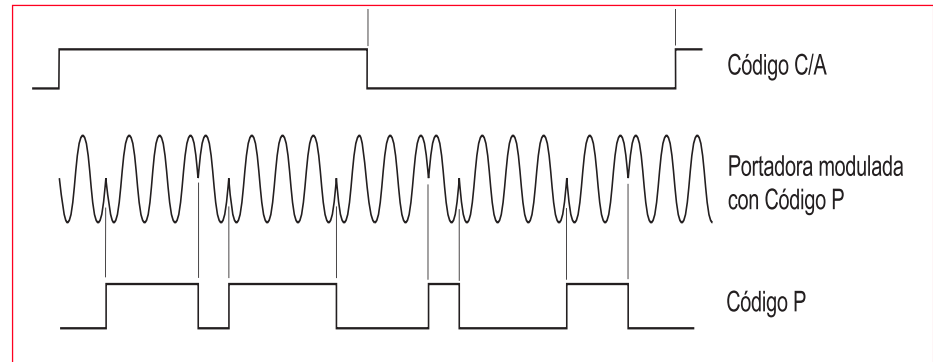
**Código C/A.** Es el Código de Adquisición Gruesa. Modula la portadora L1 a 1.023 MHz.

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

Consulte el diagrama de la sección 2.1.

#### ¿Qué significa modulación?

Las ondas portadoras están diseñadas para llevar los códigos binarios C/A y P en un proceso conocido como modulación. Modulación significa que los códigos están superpuestos sobre la onda portadora. Los códigos son códigos binarios. Esto significa que sólo pueden tener dos valores -1 y +1. Cada vez que el valor cambia, hay un cambio en la fase de la portadora.



*Modulación de la Portadora*

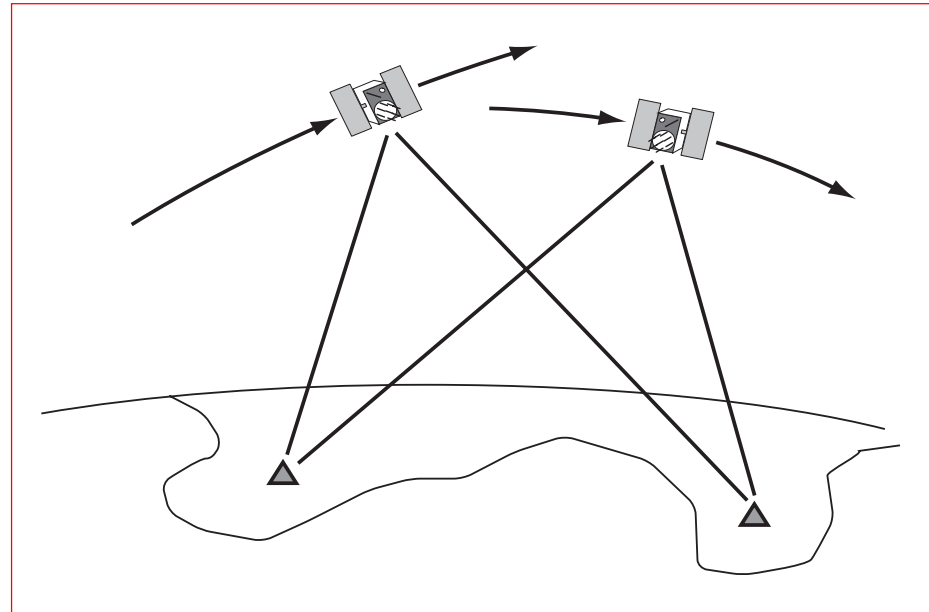


### 3.3.2 ¿Por qué utilizar la Fase Portadora? 3.3.3 Diferencias Dobles

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.

La gran parte del error en el que se incurre cuando se realiza una medición autónoma, es producido por las imperfecciones en los relojes del satélite y el receptor. Una manera de evitar este error es utilizar una técnica conocida como Diferencia Doble.

Si dos receptores GPS realizan mediciones a dos satélites diferentes, las diferencias de tiempo entre los receptores y los satélites se cancelan, eliminando cualquier fuente de error que pudieran introducir a la ecuación.



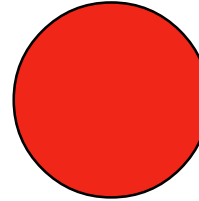
*Diferencias Dobles*

### 3.3.4 Ambigüedades y Resolución de Ambigüedades

Después de eliminar los errores del reloj con el método de las dobles diferencias, se puede determinar el número entero de longitudes de onda más la fracción de longitud de onda entre el satélite y la antena del receptor. El problema radica en la existencia de muchos "juegos" posibles de longitudes de onda enteras para cada satélite, de aquí que la solución sea ambigua. Mediante procesos estadísticos se puede resolver esta ambigüedad y determinar la solución más probable.

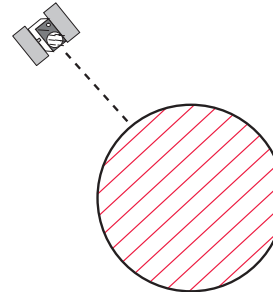
La siguiente es, a grandes rasgos, una explicación de cómo funciona el proceso de resolución de ambigüedades. Muchos factores que complican la situación no son cubiertos en esta explicación, pero aún así, se presentan los principios básicos del mismo.

1.



Una medición diferencial usando código, permite obtener una posición aproximada. La solución precisa debe estar dentro del círculo.

2.

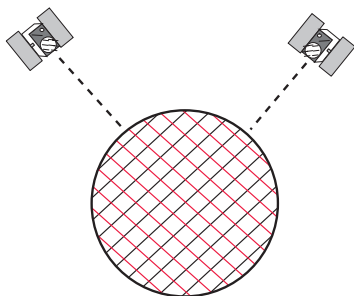


Los frentes de onda de un satélite al ser intersectados con el círculo, forman un conjunto de líneas.

La solución precisa debe ser un punto que está en una de estas líneas.

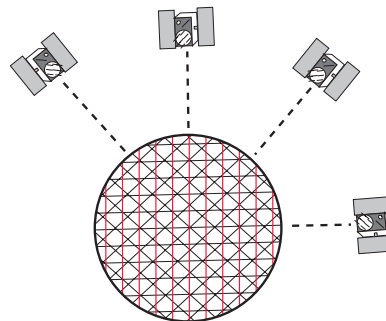
**Continuación...**

3.



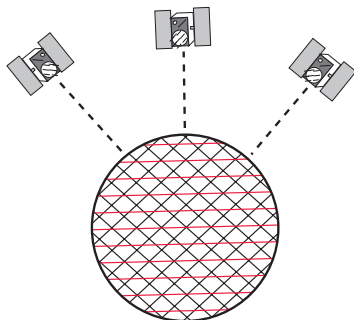
Cuando se reciben señales de un segundo satélite, un segundo juego de frentes de onda o líneas de fase es creado. La solución precisa será un punto de intersección entre los dos juegos de líneas.

5.



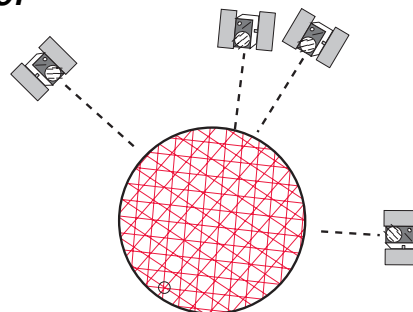
Añadiendo un cuarto satélite, el conjunto de posibles soluciones contendrá un número menor de elementos

4.



Añadiendo un tercer satélite, se reduce el número de posibilidades, ya que el punto solución debe pertenecer al conjunto formado por la intersección de los tres juegos de líneas.

6.

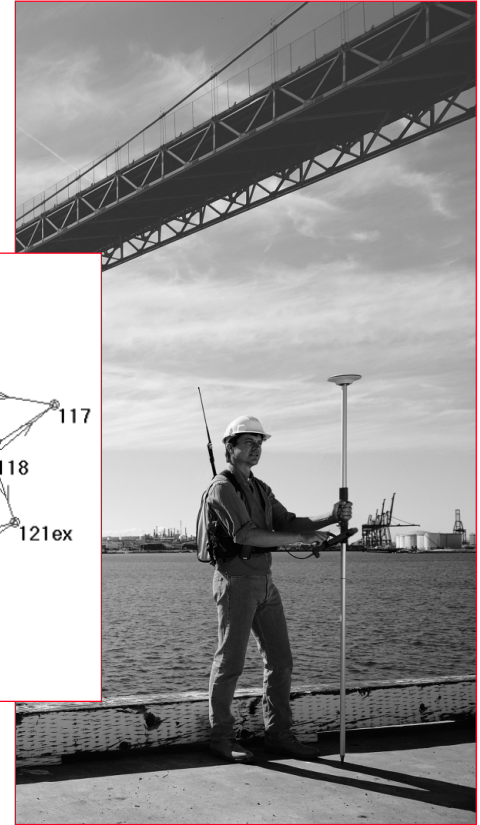
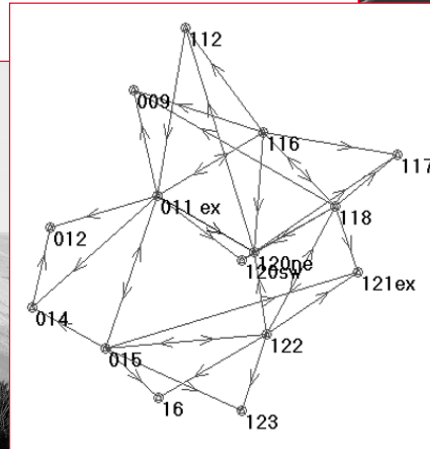
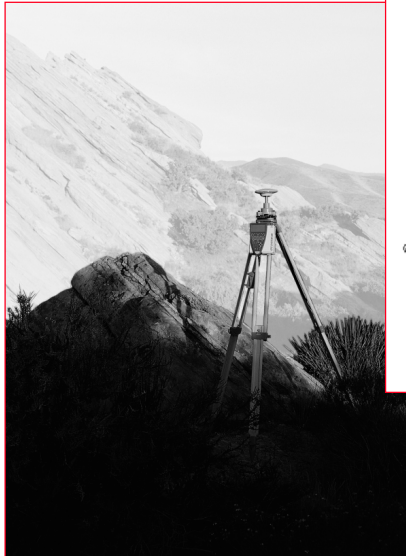


Al ir cambiando la posición de la constelación de satélites, el conjunto de las soluciones tiende a girar, revelando la solución más probable.

## 4. Aspectos Geodésicos

Desde que el GPS se convirtió en un instrumento, cada vez más popular, para la topografía y la navegación, los topógrafos y navegantes se ven en la necesidad de comprender los fundamentos de cómo las posiciones GPS están relacionadas con los sistemas cartográficos comunes.

Una de las causas más comunes de errores en los levantamientos con GPS resulta de una comprensión incorrecta de estas relaciones.



## 4.1 Introducción

La determinación de una posición con GPS consigue un objetivo fundamental de la Geodesia: la determinación absoluta de una posición con precisión uniforme en todos los puntos sobre la superficie de La Tierra. Utilizando la geodesia clásica y técnicas topográficas, la determinación de la posición es siempre relativa a los puntos de partida del levantamiento, la precisión obtenida es dependiente de la distancia a este punto. Por lo tanto, el GPS ofrece ventajas sobre las técnicas convencionales.

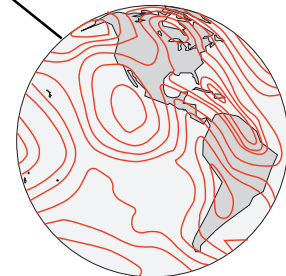
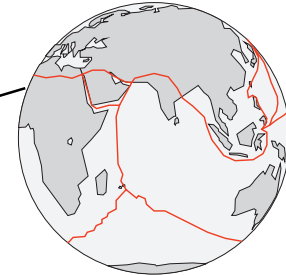
La ciencia de la geodesia es fundamental para el GPS y, a la inversa, el GPS se ha convertido en la herramienta principal de la geodesia. Esto se hace evidente si recordamos los objetivos de la Geodesia:

1. Establecer y mantener las redes de control geodésico tridimensionales nacionales y globales en tierra, tomando en cuenta la naturaleza cambiante de estas redes debido al movimiento de las placas tectónicas.

2. Medición y representación de fenómenos geofísicos (movimiento de los polos, mareas terrestres y movimiento de la corteza).

3. Determinación del campo gravitacional de La Tierra, incluyendo las variaciones temporales.

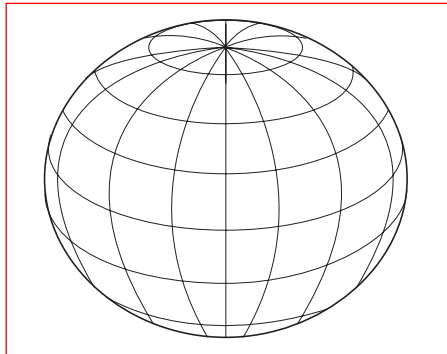
Aunque la mayoría de usuarios nunca llevan a cabo las tareas mencionadas, es esencial que los usuarios de equipo GPS tengan un conocimiento general de la geodesia.



## 4.2. Sistema de Coordenadas GPS

Aunque la Tierra parezca ser una esfera uniforme cuando se la observa desde el espacio, su superficie dista mucho de ser uniforme. Debido al hecho de que el GPS debe proporcionar coordenadas en cualquier lugar de la superficie terrestre, este utiliza un sistema de coordenadas geodésico basado en un elipsoide. Un elipsoide (también conocido como esferoide) es una esfera aplanada o achatada.

El elipsoide elegido será aquel que se ajuste más exactamente a la forma de la Tierra. Este elipsoide no tiene una superficie física, sino que es una superficie definida matemáticamente.

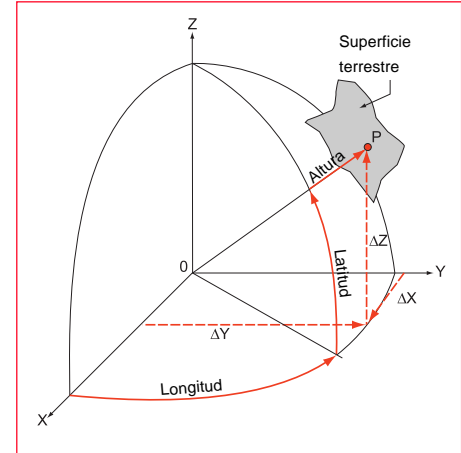


Elipsoide

Actualmente existen diversos elipsoides o lo que es lo mismo, diferentes definiciones matemáticas de la superficie de la Tierra, tal como lo discutiremos más adelante. El elipsoide utilizado por el GPS es conocido como WGS84 o Sistema Geodésico Mundial 1984 (por sus siglas en inglés World Geodetic System 1984).

Un punto sobre la superficie de La Tierra (nótese que esta no es la superficie del elipsoide), puede ser definido utilizando su Latitud, su Longitud y su Altura Elipsoidal.

Un método alternativo para definir la posición de un punto es utilizando el sistema de Coordenadas Cartesiano, empleando las distancias sobre los ejes X, Y y Z desde el origen o centro del esferoide. Este es el método básico que emplea el GPS para definir la posición de un punto en el espacio.



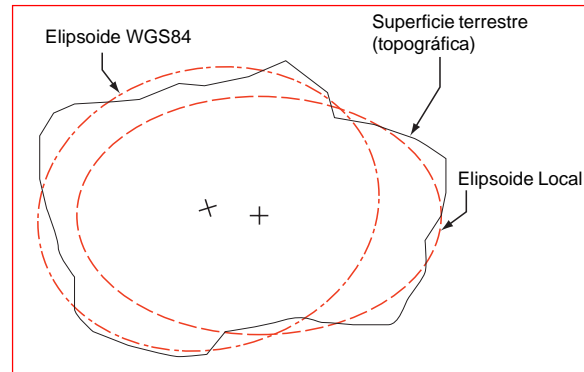
**Definición del punto P mediante coordenadas Geodésicas y Cartesianas**

### 4.3 Sistemas de Coordenadas Locales

De la misma manera que con las coordenadas GPS, las coordenadas locales o lo que es lo mismo las coordenadas utilizadas en la cartografía de un país en particular, están basadas en un elipsoide local, diseñado para coincidir con el geoide (ver sección 4.4) del área. Usualmente, estas coordenadas serán proyectadas sobre la superficie de un plano para proporcionar coordenadas de cuadrícula (ver sección 4.5)

Los elipsoides utilizados en la mayoría de los sistemas de coordenadas locales alrededor del mundo fueron definidos por primera vez hace muchos años, antes de la aparición de las técnicas espaciales. Estos elipsoides tienden a acomodarse lo mejor posible al área de interés, pero no podrían ser utilizados en otras zonas de la Tierra. De aquí que cada país definió un sistema cartográfico/ marco de referencia basado en un elipsoide local.

Cuando se utiliza GPS, las coordenadas de las posiciones calculadas están basadas en el elipsoide WGS84. Generalmente, las coordenadas existentes están en el sistema de coordenadas locales, por lo que las coordenadas GPS deben ser transformadas a este sistema local.



**Relación entre los elipsoides y la superficie terrestre**



## 4.4 El problema de la Altura

La naturaleza del sistema GPS también afecta la medición de la altura.

Todas las alturas medidas con GPS están dadas en relación a la superficie del elipsoide WGS84. Estas son conocidas como Alturas Elipsoidales.

Las alturas existentes son alturas ortométricas medidas en relación al nivel medio del mar.

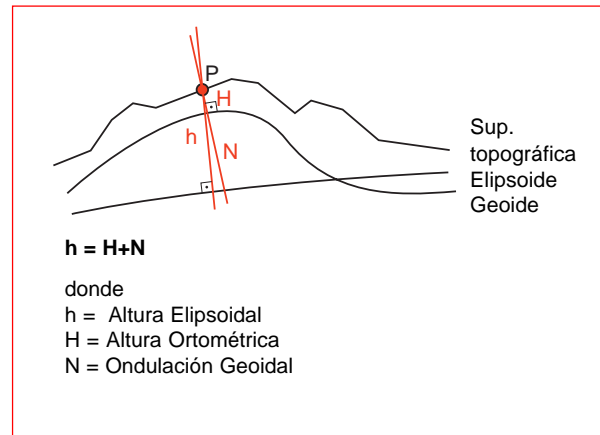
El nivel medio del mar corresponde a una superficie conocida como geoide. El Geoide puede ser definido como una superficie equipotencial, lo que significa que la fuerza de la gravedad es constante en cualquier punto sobre el geoide.

El geoide tiene una forma irregular y no corresponde a ningún elipsoide. La densidad de La Tierra tiene, sin embargo, un efecto sobre el geoide, provocando que éste se eleve en las regiones más densas y caiga en las regiones menos densas.

La relación entre el geoide, el elipsoide y la superficie de la Tierra, se muestra en la siguiente ilustración.

Debido a que la mayoría de los mapas existentes muestran las alturas ortométricas (relativas al geoide), la mayoría de usuarios de GPS requieren que las alturas sean también ortométricas.

Este problema es resuelto mediante el uso de modelos geoidales para convertir las alturas elipsoidales en alturas ortométricas. En áreas relativamente planas, el geoide puede ser considerado como constante. En tales áreas, el empleo de ciertas técnicas de transformación puede crear un modelo de alturas y las alturas geoidales pueden ser interpoladas a partir de los datos existentes.



**Relationship between Orthometric and Ellipsoidal height**

## 4.5 Transformaciones

El propósito de estas es el de transformar coordenadas de un sistema a otro.

Se han propuesto diferentes métodos para llevar a cabo las transformaciones. La elección de alguno de ellos dependerá de los resultados requeridos.

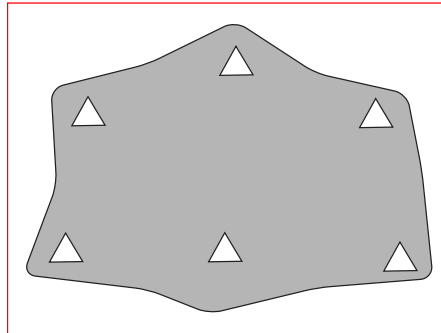
El procedimiento básico de campo para la determinación de los parámetros de transformación es el mismo, independientemente del método a emplear.

Primero, se debe contar con coordenadas en ambos sistemas de coordenadas (por ejemplo en WGS84 y en el sistema local) para tener por lo menos tres (de preferencia cuatro) puntos comunes. A mayor cantidad de puntos comunes incluidos en la transformación, se tendrá mayor oportunidad de tener redundancia y se podrán verificar los errores.

Se consiguen puntos comunes midiendo los puntos con GPS, donde las coordenadas y las alturas ortométricas sean conocidas en el sistema local. (Por ejemplo, en los puntos de control existentes).

De esta forma se pueden calcular los parámetros de transformación, utilizando alguno de los métodos de transformación.

Es importante notar que la transformación sólo se deberá aplicar a los puntos que se encuentren en el área delimitada por los puntos comunes en ambos sistemas. Los puntos fuera de esta área no deberán ser transformados utilizando los parámetros calculados, sino que deberán formar parte de una nueva área de transformación.



**Transformaciones aplicadas en un área de puntos comunes**

## Helmert Transformations

La transformación de 7 parámetros de Helmert ofrece una transformación matemáticamente correcta. Esta transformación conserva la precisión de las mediciones GPS y las coordenadas locales.

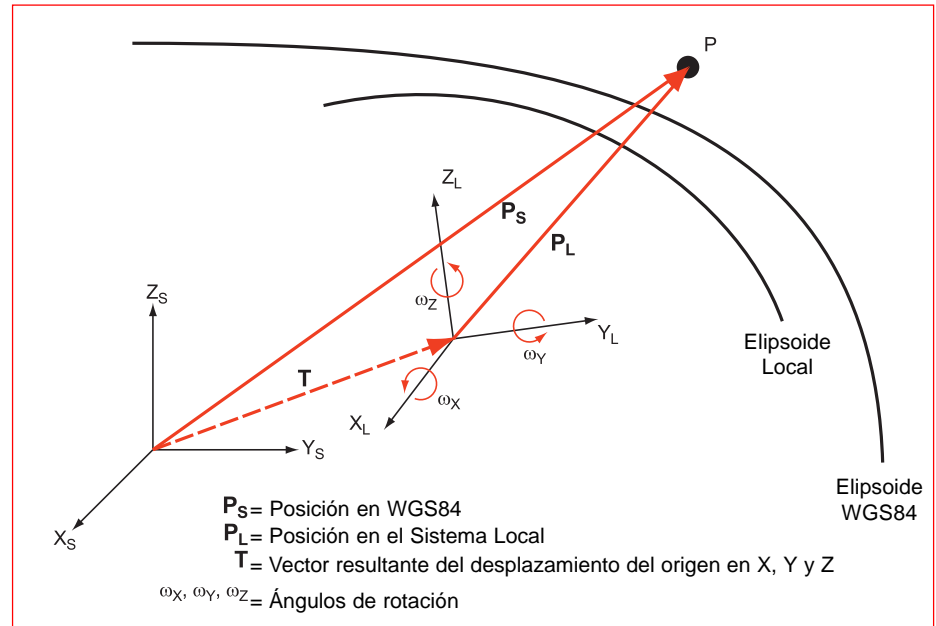
La experiencia ha demostrado que comúnmente, los levantamientos con GPS son medidos con un nivel de precisión mucho más alto que los antiguos levantamientos efectuados con instrumentos ópticos tradicionales.

En la gran mayoría de casos, los puntos medidos previamente no serán tan precisos como los puntos medidos con GPS., lo cual puede provocar una falta de homogeneidad en la red.

Al transformar un punto entre diferentes sistemas de coordenadas, lo mejor es tener en cuenta que lo que cambia es el origen desde el cual se derivan las coordenadas y no la superficie sobre la cual se apoyan.

Para transformar una coordenada de un sistema a otro, los orígenes y ejes del elipsoide deben ser conocidos uno con

relación al otro. Con esta información, el desplazamiento en el espacio de X, Y y Z desde un origen hasta el otro, puede ser determinado, seguido de una rotación alrededor de los ejes X, Y y Z y cualquier cambio en la escala entre los dos elipsoides.



**Transformación de 7 parámetros de Helmert**

## Otros métodos de transformación

Mientras que el método de transformación de Helmert es matemáticamente correcto, no toma en cuenta las irregularidades en el sistema de coordenadas locales, y para obtener valores precisos de altura, debe conocerse el valor de la ondulación geoidal.

Debido a esto, Leica también pone a disposición en sus equipos y programas toda una serie de métodos de transformación.

El llamado **Método de Interpolación** no se basa en el conocimiento del elipsoide local ni de la proyección.

Las inconsistencias en las coordenadas locales se tratan estirando o encogiendo las coordenadas GPS para poder encajar de manera homogénea en el sistema local. Además, si se tiene disponible suficiente información altimétrica, se puede construir un modelo de alturas. De esta manera se compensa la falta de información de ondulación geoidal, siempre y cuando se cuente con suficientes puntos de control.

Un método alternativo al de Interpolación es el llamado de **Un paso**, el cual trabaja también con las transformaciones de

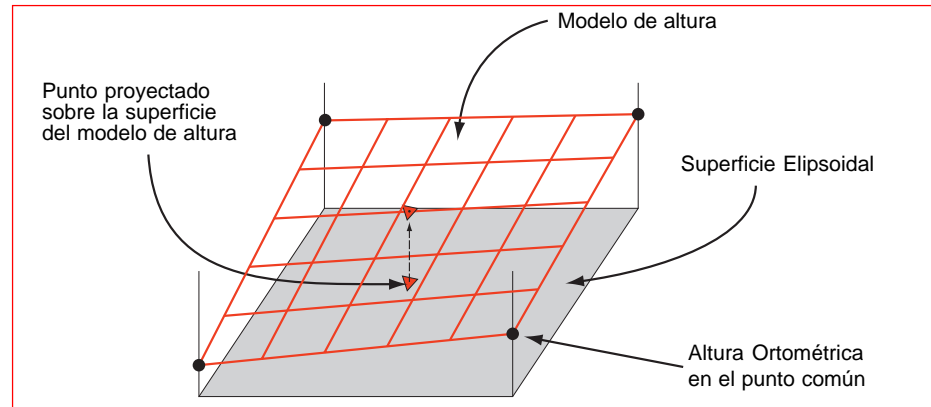
altura y posición en forma separada. Para transformar la posición, las coordenadas WGS84 se llevan a una proyección Transversa de Mercator temporal. De esta forma, se calculan los giros, desplazamientos y el factor de escala de la proyección "temporal" a la proyección verdadera. La transformación de la altura es un cálculo de la misma en una sola dimensión.

Este tipo de transformación se puede emplear en áreas donde no se conoce el elipsoide local ni la proyección y donde además, el geode se mantiene

razonablemente constante.

Tanto el método de Interpolación como el de Un Paso deben estar limitados a un área de más o menos 15km x 15km (10 x 10 millas).

Una combinación de los métodos de transformación de Helmert e Interpolación se puede encontrar en el método "**Stepwise**". Este método emplea una transformación de Helmert 2D para obtener la posición y una interpolación de alturas para obtener las alturas. Este método requiere del conocimiento del elipsoide local y de la proyección.



*Modelo de altura generado por 4 puntos conocidos*

## 4.6 Proyecciones de Mapas y Coordenadas Planas

La mayoría de topógrafos mide y registra coordenadas en un sistema de cuadrícula ortogonal. Esto significa que los puntos están definidos por su coordenada Este, su coordenada Norte y su altura ortométrica (altura sobre el nivel del mar). Las proyecciones de mapas les permiten a los topógrafos representar una superficie curva tridimensional

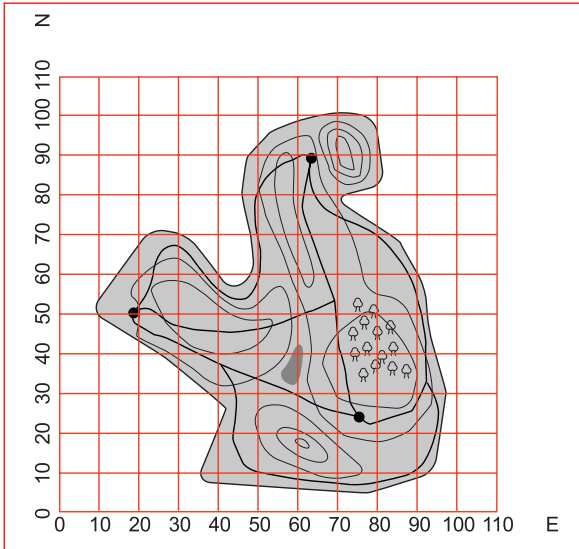
sobre una hoja de papel plana.

Estas proyecciones se muestran como planos, pero realmente definen pasos matemáticos para especificar las posiciones sobre un elipsoide en términos de un plano.

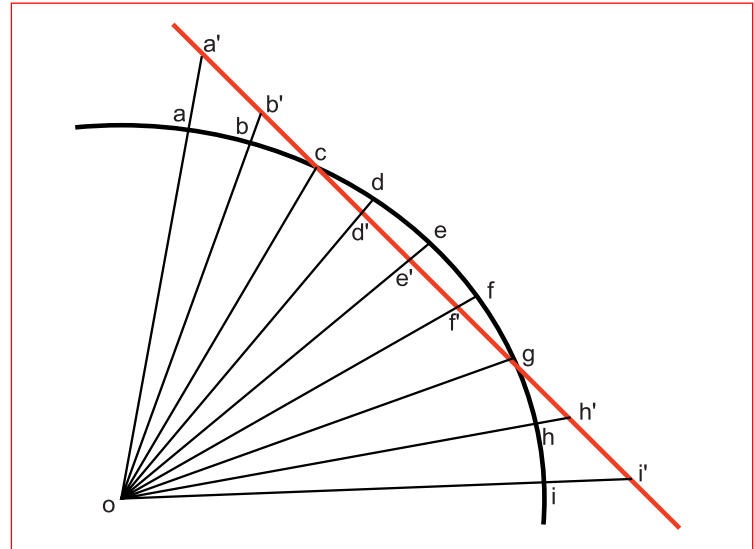
La forma en que una proyección trabaja se muestra en el diagrama. Los puntos sobre la superficie del esferoide son

proyectados sobre la superficie plana desde el origen del esferoide.

El diagrama pone de manifiesto el problema de la imposibilidad de representar dimensiones verdaderas o formas sobre tales planos. Las dimensiones verdaderas se pueden representar sólo donde el plano corta al esferoide (puntos c y g).



Mapa basado en coordenadas planas



Idea básica de las proyecciones

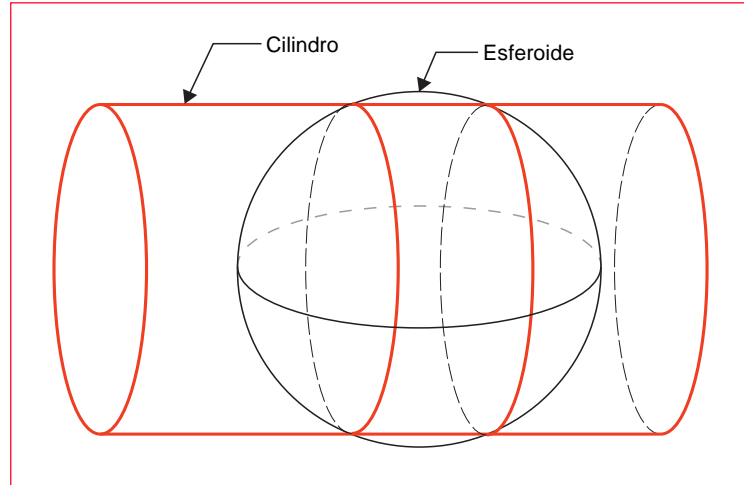
### 4.6.1 Proyección Transversa de Mercator

La Proyección Transversa de Mercator es una proyección conforme. Esto significa que las mediciones angulares realizadas sobre la superficie de la proyección son verdaderas.

La proyección está basada en un cilindro que es ligeramente más pequeño que el esferoide y después se desarrolla en forma horizontal. Este método es utilizado por muchos países y se adapta especialmente a países grandes cerca del ecuador.

La Proyección Transversa de Mercator se define por:

- Falso Este y Falso Norte.
- Latitud de Origen
- Meridiano Central
- Factor de Escala sobre el Meridiano
- Ancho de Zona



**Proyección Transversa de Mercator**

El **Falso Este** y el **Falso Norte** se definen de tal manera que el origen de la cuadrícula de la proyección se pueda ubicar en la esquina inferior izquierda, tal como lo establece la convención general. Con esto se elimina la posibilidad de coordenadas negativas.

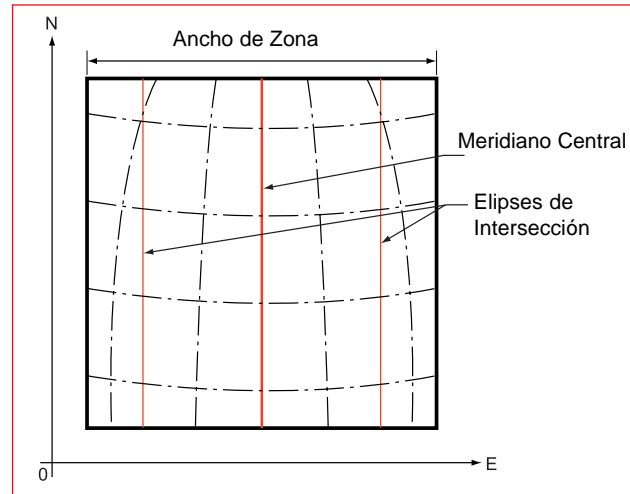
La **Latitud de Origen** define la Latitud del eje del cilindro. Generalmente corresponde al ecuador (en el hemisferio norte).

El **Meridiano Central** define la dirección del norte de la cuadrícula y la Longitud del centro de la proyección.

La escala varía en la dirección este-oeste. Como el cilindro es, por lo general, más pequeño que el esferoide, la **Escala en el Meridiano Central** es demasiado pequeña, siendo correcta en las elipses de intersección y muy grande en los bordes de la proyección.

La escala en la dirección norte-sur no cambia. Por esta razón, la Proyección Transversa de Mercator es la más adecuada para cartografiar áreas que se extienden en dirección norte-sur.

El **Ancho de Zona** define la porción del esferoide en la dirección este-oeste sobre la cual se aplica la proyección.



*Características de la Proyección Transversa de Mercator*

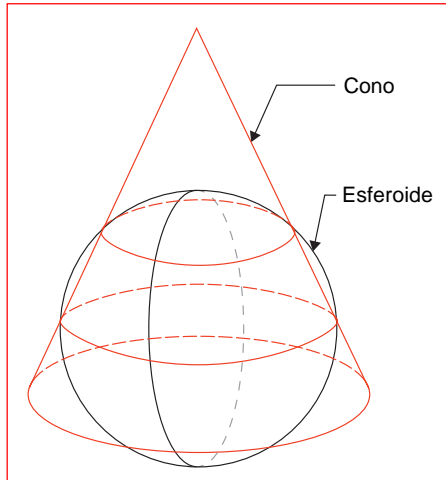
### **Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)**

La proyección UTM cubre al mundo entre los 80° de latitud norte y los 80° de latitud sur. Es un tipo de proyección transversa de Mercator, donde muchos de los parámetros de definición se mantienen fijos. La Proyección UTM se divide en zonas de 6° de longitud con zonas adyacentes que se superponen 30'. El parámetro que las define es el Meridiano Central o el Número de la Zona. (Cuando se define uno, el otro queda implícito)



## 4.6.2 Proyección de Lambert

La Proyección Lambert también es una proyección conforme basada en un cono que intercepta al esferoide. Resulta ideal para países pequeños, circulares y en las regiones polares.



**Proyección Lambert**

La proyección de Lambert está definida por:

- Falso Este y Falso Norte
- Latitud de origen
- Meridiano Central

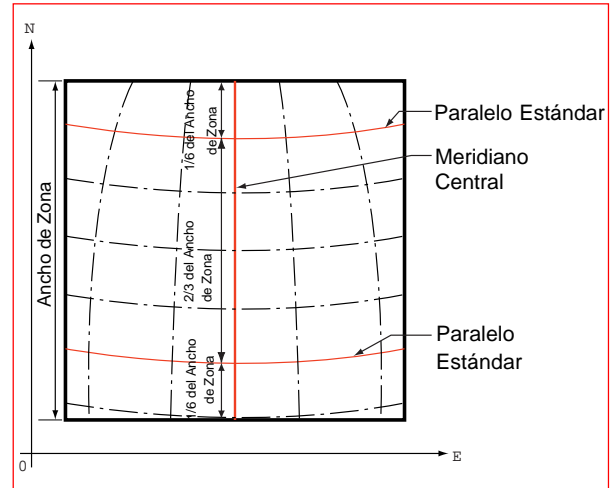
- Latitud del 1er. Paralelo Estándar
- Latitud del 2o. Paralelo Estándar

El **Falso Este y el Falso Norte** están definidos de tal manera que el origen de la cuadrícula de proyección se ubique en la esquina inferior izquierda, de acuerdo a la convención general. Con esto se elimina la posibilidad de coordenadas negativas.

La **Latitud de Origen** define la latitud del origen de la proyección.

El **Meridiano Central** define la dirección del norte de la cuadrícula y la Longitud del centro de la proyección.

La **Latitud 1er. Paralelo Estándar** define la latitud en la cual el cono corta por primera vez al esferoide. También define el lugar



**Proyección Lambert**

donde la influencia de la escala en la dirección norte-sur es cero.

La **Latitud del 2o. Paralelo Estándar** define la segunda latitud en la cual el cono corta la pirámide. La influencia de la escala en este punto también es de cero.

La escala es muy pequeña entre los dos paralelos estándar y muy grande fuera de ellos, quedando definida por las latitudes de los paralelos estándar sobre los cuales tiene un valor de cero. La escala en la dirección este-oeste no varía.

## 5. Levantamientos 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.

### ¿Por qué usar GPS?

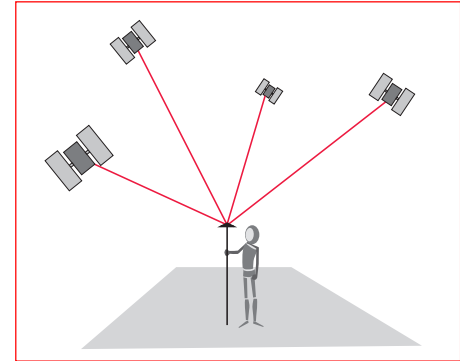
El sistema GPS tiene numerosas ventajas sobre los métodos de topografía tradicionales:

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

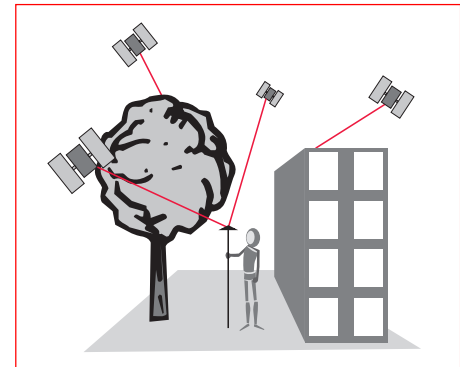
### Limitaciones

Para poder trabajar con GPS es importante que la antena GPS tenga visibilidad, sin obstáculos, hacia por lo menos cuatro satélites. Algunas veces las señales de los satélites se ven bloqueadas por edificios altos, árboles, etc. Debido a esto, el GPS no puede ser utilizado en interiores. También es difícil emplear el GPS en los centros de las ciudades o entre árboles.

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



**Visibilidad sin obstáculos hacia cuatro satélites**



**Objetos elevados pueden bloquear la señal del GPS**

## 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.

### 5.1.1 Levantamientos Estáticos

---

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.

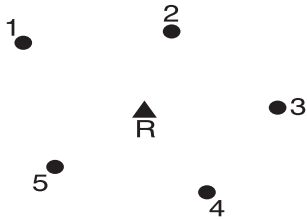
Los receptores deben registrar datos durante un cierto periodo de tiempo. El tiempo de observación dependerá de la longitud de la línea, el número de satélites observados y la geometría (Dilución de la Precisión o DOP). Como regla general, el tiempo de observación

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.

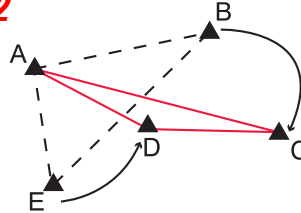
Una vez que se ha registrado suficiente información, los receptores se apagan. El Móvil se puede desplazar para medir la siguiente línea base y volver a comenzar la medición.

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.

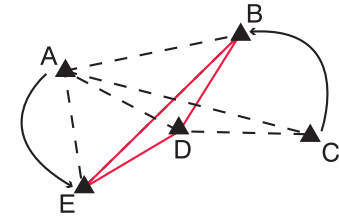
Un gran incremento en la productividad se puede conseguir añadiendo un receptor Móvil adicional. Se necesita una buena coordinación entre las diferentes brigadas de topografía para aprovechar la disponibilidad de tres receptores. En la siguiente página se muestra un ejemplo.

**1**

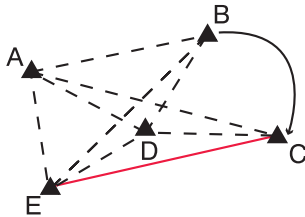
La red ABCDE debe ser medida con tres receptores. Se conocen las coordenadas de A en el sistema WGS84. Los receptores se colocan en los puntos A, B y C, registrando datos durante el tiempo necesario.

**2**

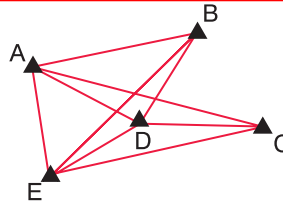
Después del tiempo necesario de registro, los receptores se desplazan de E a D y de D a C, formando el triángulo ACD, el cual es medido.

**3**

Después el receptor en A se desplaza a E y el de C se mueve a B. Ahora se forma el triángulo BDE, el cual también se mide.

**4**

Por último, el que está en B regresa al punto C y se mide la línea EC.

**5**

El resultado final será la medición de la red ABCDE. Un punto es medido tres veces y cada punto se mide por lo menos dos veces, lo cual proporciona la redundancia necesaria. Los errores gruesos serán detectados y las mediciones incorrectas serán desechadas.

## 5.1.2 Levantamientos Estático Rápidos

---

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.

Como se discutió en la sección 4.5, se deben observar por lo menos 4 puntos en el perímetro del área de interés. La transformación calculada será válida para el área incluida entre esos puntos.

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.

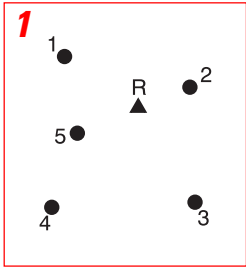
El Receptor (o los Receptores) Móvil (es), serán colocados entonces en cada punto conocido. El periodo de tiempo que los Móviles deberán observar en cada punto, depende de la longitud de la línea base desde la Referencia y del GDOP.

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

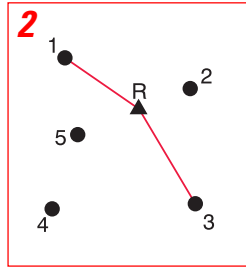
Se deben efectuar verificaciones para asegurarse que no se presentan errores gruesos en las mediciones. Esto se puede hacer midiendo los puntos nuevamente en un momento diferente del día.

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, pero también la más difícil de sincronizar.

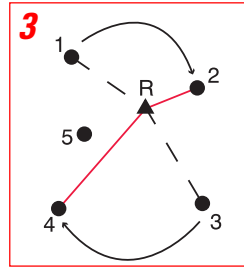
Otra manera de conseguir redundancia es colocando dos estaciones de referencia y utilizar un móvil para ocupar los puntos, tal como se muestra en el ejemplo de la siguiente página.



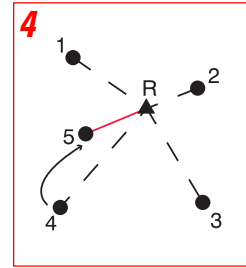
La red de puntos 1,2, 3,4,5 debe ser medida desde la estación de Referencia R con tres receptores GPS.



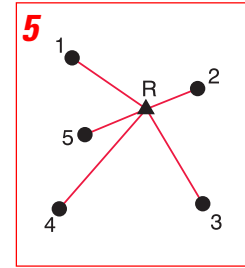
La estación de referencia es iniciada. Se coloca un Móvil en el punto 1 y el otro en el punto 3.



Transcurrido el tiempo de registro necesario, un móvil se desplaza al punto 2 y el otro al punto 4.

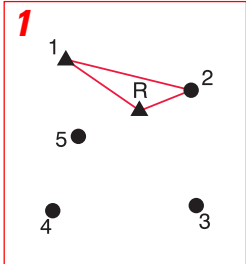


Un móvil mide el punto 5 y el otro móvil deja de ser necesario.

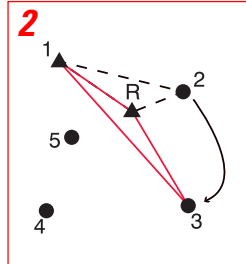


El resultado final será la radiación aquí mostrada. Al día siguiente puede repetirse la medición para descartar errores gruesos.

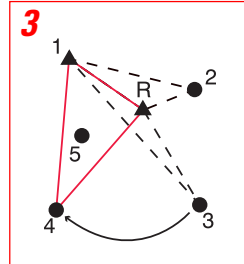
### En forma alternativa...



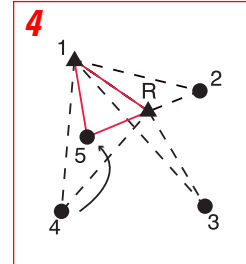
Las estaciones de Referencia se colocan en los puntos R y 1. El Móvil ocupa el punto 2.



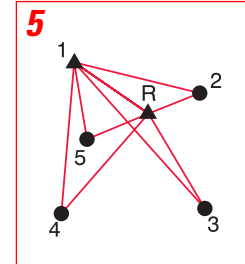
Transcurrido el tiempo necesario de registro, el Móvil se desplaza al punto 3.



En forma similar, el Móvil pasa al punto 4...



...y luego al punto 5.



El res. final será una red como la que se muestra, con un diseño redundante para darle mayor solidez.

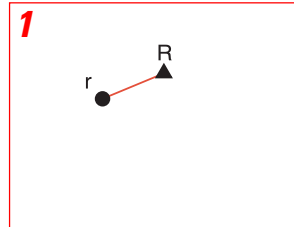
### 5.1.3 Levantamientos Cinemáticos

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

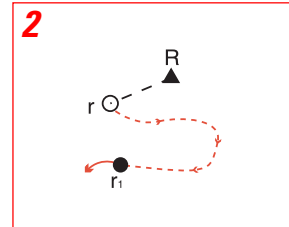
La técnica involucra un Móvil que se desplaza y cuya posición puede ser calculada en relación con la Referencia.

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).

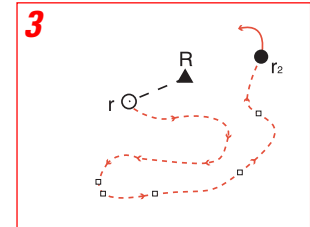
Después de este periodo, el Móvil se puede mover libremente. El usuario puede registrar posiciones con un intervalo de tiempo predeterminado, puede registrar otras posiciones, o una combinación de las dos. Esta parte de la medición se conoce comúnmente como la cadena cinemática.



El móvil se inicia desde la referencia.



El móvil entonces se puede desplazar. Las posiciones pueden ser registradas en intervalos predefinidos...



...y también en los puntos donde el operador lo desee.

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.

#### Cinemático OTF (On The Fly)

Es una variante 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.



## 5.1.4 Levantamientos RTK

Cinemático en Tiempo Real (por sus siglas en inglés Real Time Kinematic). 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.

## 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.

1. 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.
2. 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.

## 5.2 Preparación del Levantamiento 5.3 Consejos durante la operación

---

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

1. Licencias de Radio
2. Baterías cargadas
3. Cables de repuesto
4. Comunicación entre los miembros de la brigada
5. Coordenadas de la Estación de Referencia
6. Tarjetas de Memoria, con suficiente capacidad
7. 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. En la siguiente página se muestra un ejemplo.

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 estático 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.

## ***Hoja de Registro***

<b>Id de Punto</b>	_____	<b>Fecha</b>	_____	<b>Notas</b>	_____
<b>Núm. de serie del Sensor</b>	_____	<b>Operador</b>	_____		_____
<b>Tipo de Operación</b>	_____				
<b>Tipo de Antena</b>	_____				
<b>Lectura de Altura</b>	_____				
<b>Hora de Inicio</b>	_____				
<b>Hora de Término</b>	_____				
<b>Núm. de Épocas</b>	_____				
<b>Núm. de satélites</b>	_____				
<b>GDOP</b>	_____				

### 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  $10^{14}$  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.

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

---

### **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 Geode. Véase 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**

Véase 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**

Véase 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. Trayectoria 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° en Greenwich y se mide hacia el este o el oeste, con valores máximos de 180° 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 geode, medida a lo largo de la normal al elipsoide.

## **PDOP**

Dilución de la precisión de la Posición.  
Véase Dilución de la Precisión

## **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 pseudorángos transmitida por los satélites.

## **Posicionamiento Relativo**

Véase 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**

Véase Retraso de la propagación atmosférica y Retraso Ionosférico.

## **Retraso del Reloj**

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

## **Retraso Ionosférico**

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. Véase Posicionamiento Diferencial.

**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.

### **GPS Theory and Practice -**

B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins.  
ISBN 3-211-82839-7 Springer Verlag.

### **GPS Satellite Surveying -**

Alfred Leick.  
ISBN 0471306266 John Wiley and Sons.

### **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications -**

Gunter Seeber.  
ISBN 3110127539 Walter De Gruyter.

### **Understanding GPS: Principles and Applications**

Elliot D. Kaplan (Ed.).  
ISBN 0890067937 Artech House.

### **The Global Positioning System: Theory and Applications**

Bradford W. Parkinson and James J. Spilker (Eds.).  
ISBN 9997863348 American Institute of Aeronautics and  
Astronautics.

## Índice alfabético

### A

(PRN) .....	55
(RTK) .....	39, 45, 56
(RTK) .....	39, 45, 56
Achatamiento .....	52
Acimut .....	48
Almanaque .....	48
Altura elipsoidal .....	30, 51
Altura ortométrica .....	30, 54
Ambigüedad .....	24, 45, 48
Ancho de Zona .....	36
Ángulo cenital .....	58
Ángulo de elevación .....	50
Antena de bobina anular .....	16
Anti-Spoofing (A-S) 1 .....	8, 48
Anti-Spoofing (A-S) .....	Véase Fuentes de Error

### B

Banda L .....	54
---------------	----

### C

Cambio Doppler .....	51
Canal cuadrático .....	57
Canal receptor .....	56
Cartesianas .....	28, 49
Chip .....	49
Cinemático .....	39, 44, 53
Cinemático en Tiempo Real (RTK) .....	39, 45, 56
Cinemático On the Fly (OTF) .....	39, 44
Círculo máximo .....	53
Código .....	49
Código C/A .....	7, 13, 18, 22, 49
Código P .....	55
Código Seudoaleatorio del Ruido (PRN) .....	55
Código Y .....	58
Comparación del retraso .....	50
Configuración de los satélites .....	56
Conforme Proyección .....	49
Constante gravitacional .....	53
Constelación de los satélites .....	56
Coordenadas cartesianas .....	28, 49

### D

Datos compactados .....	49
Datos crudos .....	56
Datos de mensajes .....	50
Datum geodésico .....	52
Deflexión de la vertical .....	50
DGPS .....	10, 19, 20, 50
Día sidéreo .....	57
Día solar .....	57
Dilución de la precisión .....	17, 51
Dilución de la precisión (DOP) .....	51
Disponibilidad selectiva (S/A) .....	18, 56
Disponibilidad Selectiva (S/A) .....	Véase Fuentes de error
Distancia al satélite .....	13
Doble diferencia .....	23, 50

### E

Efemérides .....	51
Elementos orbitales Keplerianos .....	53
Elevación .....	51
Elipsoide .....	28, 51
Época .....	51
Error multitrayectoria .....	54
Estático .....	39, 40
Estático Rápido .....	39, 42
Estimación por mínimos cuadrados .....	54
Excentricidad .....	51



## F

Falso Este .....	36, 37
Falso Norte .....	36, 37
Fase diferencial .....	22
Fase observable .....	55
Fase portadora .....	22, 23, 49
Fase portadora reconstruida .....	56
Frecuencia fundamental .....	52
Frecuencia resultante .....	48
Frecuencia resultante de portadora ..	49
Fuentes de error .....	14

## G

GDOP .....	17, 51, 52
GDOP: .....	
... Véase Dilución de la precisión (DOP)	
Geocéntrico .....	52
Geodesia .....	52
Geoide .....	52
GPS .....	28, 52
Gradícula .....	53

## H

HDOP .....	17, 51
Helmert .....	32
HTDOP .....	51
Huso horario .....	57

## I

Inclinación .....	53
Interpolación .....	33
Intervalo de Chip .....	49
Intervalo de sesgo entero .....	53

## L

Lambert .....	37
Latitud .....	28, 53
Latitud de origen .....	36, 37
Levantamiento Estático .....	57
Levantamiento Estático Rápido .....	56
Levantamiento Parar y Seguir .....	57
Línea base .....	48
Línea de rumbo .....	56
Locales .....	29
Longitud .....	28, 54
Longitud de Banda .....	48

## M

Mediciones diferenciales .....	50
Meridiano .....	54
Meridiano Central .....	36, 37
Método de Interpolación .....	33
Método de Un Paso .....	33
Método Stepwise .....	33
Modo cuadrático de recepción .....	57
Modulación binaria bifásica .....	48
Multitrayectoria .....	16, 54

## N

NAVSTAR .....	5, 54
NMEA .....	54

## O

Ondulación geoidal .....	30, 33, 52
--------------------------	------------

## P

Paralelo estándar .....	37
PDOP .....	17, 51, 55
Portadora .....	49
Posicionamiento diferencial .....	50
Posicionamiento puntual .....	55
Posicionamiento relativo .....	56
Post proceso .....	55
Proyección .....	34
Proyección Lambert .....	53
Proyección Transversa de Mercator ..	58

## R

Radio enlace .....	45
Rango .....	55
Rango de error del usuario (UERE) ..	58
Receptor de Referencia .....	20
Receptor móvil .....	20
Reloj (del satélite y del receptor) .....	16
Reloj del satélite y del receptor .....	16
Resolución de Ambigüedades ....	22, 24
Retraso de la propagación atmosférica .....	48
Retraso de la propagación .....	55
Retraso del reloj .....	49
Retraso ionosférico .....	14, 53

RINEX .....	56
RTCM .....	21, 56
RTK .....	39, 45, 56
Rumbo .....	48

## S

Salto de ciclo .....	50
Segmento de control .....	8, 49
Segmento espacial .....	57
Segmento usuario .....	58
Servicio de posicionamiento estándar (SPS) .....	57
Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) .....	55
Seudolite .....	55
Seudorange .....	55
Sistema de coordenadas .....	28
Sitio .....	57
Stepwise .....	33
Superficie equipotencial .....	51

## T

TDOP .....	51
Técnicas de medición (GPS) .....	39
Tiempo GPS .....	53

Tiempo medio de Greenwich (GMT) ..	53
Tiempo Universal .....	58
Topografía .....	57
Transformación .....	31, 58
Transformación de coordenadas .....	31
Transformación de Helmert .....	32
Transit .....	58
Transversa de Mercator .....	35
Traslación .....	58

## U

Un paso .....	33
Universal Transversa de Mercator .....	36
UTM .....	58

## V

Vapor de agua .....	15
Vapor de agua. .... ..... Véase Fuentes de error	
VDOP .....	17, 51

## W

WGS .....	84 58
-----------	-------

**La compañía Leica Geosystems AG,  
Heerbrugg, aplica un sistema de calidad  
que responde a las normas  
internacionales referentes a Gestión de  
Calidad y Sistemas de Calidad (ISO 9001)  
y a Sistemas de Gestión  
Medioambiental (ISO 14001).**



**Total Quality Management - nuestro  
compromiso para la satisfacción total  
de nuestros clientes.**

*Recibirá más informaciones sobre  
nuestro programa TQM a través de  
nuestra agencia Leica Geosystems local.*

713285-1.0.0es

Impreso en Suiza - Copyright Leica  
Geosystems AG, Heerbrugg, Suiza 1999  
Traducción de la versión original (713282-1.0.0en)

**Para obtener mayor información de  
los productos Leica GPS, visite  
nuestra página en Internet:**

**[www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)**

**o contáctenos directamente:**

The Leica logo is written in a red, cursive script font with a thin underline beneath the letters.

*Leica Geosystems AG  
Heinrich-Wild-Strasse  
CH-9435 Heerbrugg  
(Switzerland)*

*Teléfono +41 71 727 31 31  
Fax +41 71 727 47 02*

*[LSGMASTER@leica-geosystems.com](mailto:LSGMASTER@leica-geosystems.com)*

*Leica Geosystems Inc.  
3155 Medlock Bridge Road  
Norcross, GA 30071  
(USA)*

*Teléfono +1 770 447 6361  
Fax +1 770 447 0710*

*[Carson.Kennedy@leica-geosystems.com](mailto:Carson.Kennedy@leica-geosystems.com)*