



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

## **GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA G. P. S**

### **SISTEMA WGS84.**

Es un sistema de referencia terrestre denominado World Geodetic System 1984 (WGS84), definido como sigue:

El origen es el centro de masas de la Tierra; el eje Z es paralelo a la dirección del polo CIO, polo medio definido por el BIH; el eje X es la intersección del meridiano origen con Greenwich y el plano del ecuador medio; el eje Y, ortogonal a los anteriores crea una terna dextrorsum.

El sistema WGS 84 es un sistema de referencia construido a partir de distintos datos u observaciones tales como:

Anomalías de la gravedad, desviaciones de la vertical, observación a satélites TRANSIT por técnicas Doppler, observaciones láser a satélites SLR, observaciones VLBI, etc.

Los parámetros que definen el elipsoide de referencia en el sistema WGS 84 son:

a= 6378137 metros

a = 0.00335281066474 (aplanamiento)

b =356752.3 metros

v= 7292115\*10<sup>-11</sup> radianes/segundo (velocidad de rotación)

### **DATUM GEODESICO (EN WGS 84).**

Está constituido por una superficie de referencia geoméricamente definida, habitualmente un elipsoide, y un punto llamado Fundamental en el que la normal al elipsoide y al geoide coinciden. De éste punto se han de especificar longitud, latitud y el azimut de una dirección desde él establecida.

En dicho punto las coordenadas geodésicas y astronómicas coinciden.

La altimetría en los sistemas de referencia clásicos se refiere al geoide y en sistema WGS 84 se refiere al elipsoide.

### **EFEMERIDES.**

Es evidente que la utilización de un satélite, especialmente en aplicaciones topográficas, geodésicas y cartográficas, exige un preciso conocimiento de su situación espacio - temporal en forma de coordenadas concretas, lo que se resuelve con el conocimiento de las efemérides, siempre en el marco del adecuado sistema de referencia.

Hacen falta siempre seis parámetros adecuados para definir una órbita ideal y el satélite en ella en un momento dado. Aunque pueden emplearse otros, los más comúnmente usados son los Keplerianos.

Con dos parámetros hemos de fijar en el espacio el plano orbital respecto al ecuatorial:

- Orientación (W) e Inclinación (i).



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

Sobre el plano así establecido hemos de situar la elipse de la órbita, con un parámetro determinaremos su orientación ( $w$ ) y con otros dos parámetros sus dimensiones, semieje mayor ( $a$ ) y excentricidad ( $e$ ).

Ya está definida la órbita elíptica en el espacio. La velocidad instantánea del satélite y su período son determinables por las leyes de Kepler, sólo queda establecer el último parámetro que nos fije el satélite en un punto concreto de la órbita en un momento dado, por ejemplo:

- El momento del paso del satélite por el perigeo.

Este planteamiento se hace considerando la órbita ideal de un satélite alrededor de la Tierra como la trayectoria que éste sigue en caída libre, si la Tierra se considera como una masa puntual, si la masa del satélite es despreciable respecto a la de la Tierra, si el satélite se mueve en el vacío y no se considera la atracción gravitacional de tercer cuerpo (Sol, Luna u otros).

En la realidad hay que añadir mucha más información para poder predecir la posición instantánea real de un satélite, que es diferente de la teórica calculada con los seis parámetros básicos, por una serie de perturbaciones orbitales que alteran su trayectoria y que son: anomalías gravitacionales originadas por el efecto de terceros cuerpos, como la Luna y el Sol, irregularidades y variaciones del campo gravitatorio terrestre, fricción atmosférica y presión de la radiación. Por todo esto y para el caso del GPS, las seis keplerianas básicas se complementan con once parámetros más.



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

#### PARAMETROS RADIOFUNDIDOS EN EL MENSAJE

Simbolo	Unidad	Parámetro
AODE	segundos	Antigüedad de la información de efemérides.
$C_{rs}$	metros	Amplitud de la corrección armónica senoidal del radio orbital.
$\Delta n$	$\Pi$ radianes / s	Diferencia de movimiento medio
$M_0$	$\Pi$ radianes	Anomalía media en el momento de referencia
$C_{uc}$	radianes	Amplitud de la corrección armónica cosenoidal del argumento de la latitud.
$e$	adimensional	Excentricidad
$C_{us}$	radianes	Amplitud de la corrección armónica senoidal del argumento de la latitud.
$(A)^{1/2}$	metros <sup>1/2</sup>	Raíz cuadrada del semieje mayor
$t_{oe}$	segundos	Tiempo de referencia de la efemérides
$C_{ic}$	radianes	Amplitud de la corrección armónica cosenoidal del ángulo de inclinación.
$\Omega_0$	$\Pi$ radianes	Ascensión recta en el momento de referencia.
$C_{is}$	$\Pi$ radianes	Amplitud de la corrección armónica senoidal del ángulo de inclinación.
$i_0$	$\Pi$ radianes	Angulo de inclinación en el momento de referencia.
$C_{rc}$	metros	Amplitud de la corrección armónica cosenoidal del radio orbital.
$\omega$	$\Pi$ radianes	Argumento del perigeo.
OMEGAD OT	$\Pi$ radianes / s	Razón del cambio en la ascensión recta.
IDOT	$\Pi$ radianes / s	Razón del cambio en el ángulo de inclinación.

En el caso del GPS, por ejemplo, las efemérides se actualizan cada hora. Además de las 6 keplerianas básicas descritas (en lugar del semieje mayor se ofrece directamente su raíz cuadrada, que es la utilizada en el cálculo), se complementan con otros 9



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

parámetros, concretamente:

- Diferencia del movimiento medio, razón del cambio en la ascensión recta.....

#### POSICIONAMIENTO.

Cuando desde un punto se miden tres direcciones o distancias no coplanares a satélites de posición conocida, se fija la posición del punto respecto a la de los satélites.

Si sabemos donde están los satélites, podemos situarnos; si sabemos nuestra posición, podemos situar los satélites, definir sus trayectorias y fijar sus efemérides.

Como en cada proceso se pierde precisión. si nuestra posición no está establecida con un rango superior, no podremos situar los satélites (determinar sus efemérides) con la precisión necesaria para después utilizar estas efemérides; por esto los puntos de seguimiento o control siempre se establecen previamente con sistema S.L.R., y/o aún mejor, V.L.B.I.

Para poder obtener las posiciones de los satélites debemos considerar una cuarta incógnita: el tiempo.

El posicionamiento se fundamenta en la relación entre tres vectores: el vector posición (b), el vector observación (e) y el vector satélite (a), conociendo dos de ellos podemos determinar el tercero.

#### SISTEMAS ACTUALES.

Además del sistema G.P.S existen otros sistemas de posicionamiento, unos más precisos, como son el S.L.R. y el V.L.B.I., y otros como el sistema TRANSIT que está siendo poco a poco desplazado por el empuje del sistema GPS.

#### S.L.R.

El SLR (Satellite Láser Ranging) es un sistema de medida de distancia absoluta por láser a satélites, se basa en el tiempo de tránsito de un haz láser desde que es enviado por el emisor, reflejado en el satélite y recibido por el receptor o detector.

Los satélites, pasivos son simples esferas recubiertas de prismas de reflexión total como los usados para distanciometría electroóptica. Modelo de estos es el satélite LAGEOS (LAsER GEOdinamic Satellite) de 60 cm de diámetro y 400 Kg de masa, puesto en órbita en 1976 a 5900 Km de altitud, otros satélites son los Explorer, GEOS. AJISI, EGP.

El instrumento de estación está constituido por un potente láser pulsante, un reloj atómico, un contador, un fotodetector, la óptica necesaria, un ordenador y la infraestructura mecánica de estacionamiento y puntería.

Es necesario conocer la posición aproximada de la estación y las efemérides del satélite a observar.

El láser empleado es del tipo YAG de Nd (cristal de Ytrio Aluminio y Granate con iones de neodimio).



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

G.P.S. LA NUEVA ERA DE LA TOPOGRAFIA

SISTEMA LASER A SATELITE (SLR)

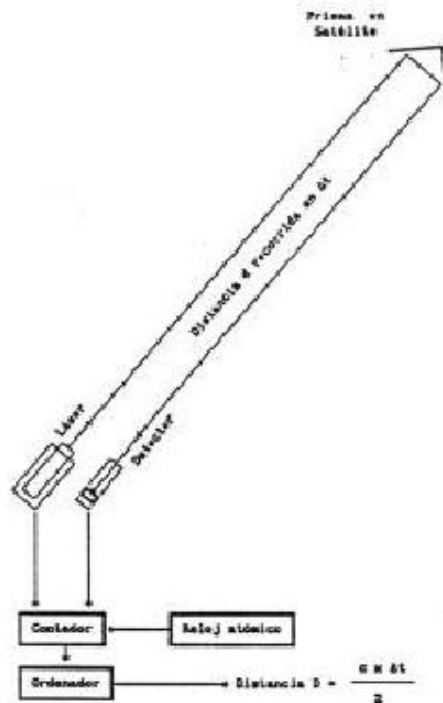


Gráfico del sistema S.L.R. (Satellite Láser Ranging)

#### L.L.R.

La técnica L.L.R. (Lunar Láser Ranging) es idénticamente igual a la SLR con la salvedad de realizar las punterías en vez de a satélites, a unas cajas o grupos de prismas situados en la Luna, un total de 5 cajas se pusieron hacia 1973 por las misiones Apolo y Lunakhod.

Las precisiones alcanzadas por esta técnica eran del orden de 15 cm.

La técnica S.L.R. hizo decaer el interés por la L.L.R., hizo aportes muy significativos en la determinación de parámetros rotacionales de Tierra y Luna.

#### V.L.B.I.

La V.L.B.I. (Very Long Baseline Interferometry - Interferometría de muy larga base), permite calcular, por medios interferométricos, la distancia entre los centros radioeléctricos de dos o más radiotelescopios situados en la superficie terrestre, que observen un mismo cuásar.

Este sistema es el más preciso de todos los sistemas de posicionamiento global.

El sistema permite medir el vector que une los centros radioeléctricos de dos radiotelescopios que podían estar en la Tierra hasta diametralmente opuestos, aunque no es habitual medir bases superiores a 10000 Km.

La precisión de este sistema se fundamenta en que el elemento observable son los

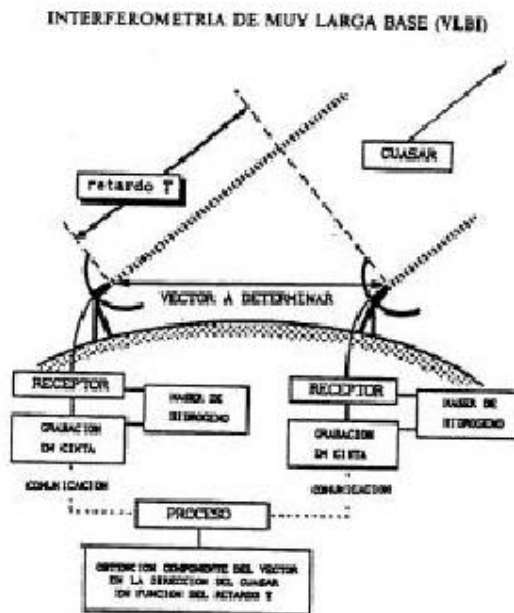


**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

cuásares, descubiertos en 1963, llamando la atención por su estaticidad o fijación aparente debido a la distancia que los separa de la Tierra (9000 millones de años luz) y por la intensidad de luz con la que emite, aparentemente hasta cien veces superiores a la de una galaxia media.

El término CUASAR es una abreviatura de CUASi stelar, y básicamente son radiofuentes naturales extragalacticas. Stephen W. Hawking apunta la posibilidad a que la emisión corresponda a la contracción gravitatoria de una galaxia causada por un hiper agujero negro central.



**TRANSIT.**

El sistema es denominado genéricamente en lenguaje geodésico "Sistema Doppler", realmente es el sistema NNSS (Navy Navigation Satellite System) que utiliza los satélites norteamericanos de la constelación TRANSIT (aunque pueden recibirse señales de otros satélites como los GEOS) sobre los que realizan mediciones de desplazamiento Doppler.

El Bloque Soviético tiene un sistema equivalente denominado TSICADA.

Este sistema nació en 1958 para ayuda de navegación a navíos, y sobre todo, para poder ser utilizados por submarinos atómicos lanzadores de misiles.

La constelación dispone de un mínimo de seis satélites activos, con un peso de solo 61 Kg. en órbitas polares casi circulares de 1100 Km de altitud, por lo que el período es de 107 minutos, esto representa que en una estación terrestre pueden recibirse señales de un satélite cada hora y tres cuartos, durante los quince minutos que separan el orto del ocaso local si pasa por el zenit, menos tiempo si culmina a menor altura de horizonte.

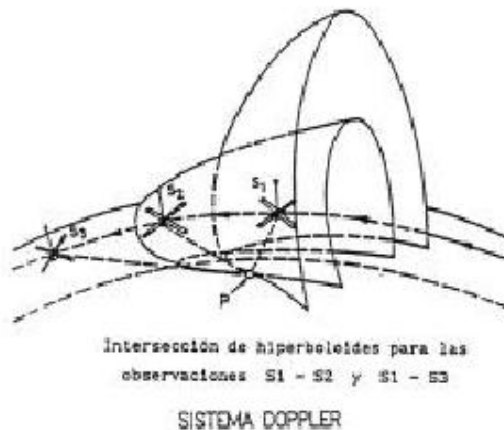
En 1992 estaban en órbita tres satélites tipo NOVA y diez tipo OSCAR. de los cuales 7



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

están en uso y 6 de reserva. En 1988 se ultimo el programa TRANSIT con la puesta en órbita de un satélite tipo OSCAR.



El sistema se prevé operativo hasta 1996.

G.P.S.

El sistema G.P.S. (Global Position System - sistema de posicionamiento global), al que nos estamos refiriendo en esta generalización, puede trabajar en sistema Doppler, en medida directa de distancias absolutas (seudodistancias) o por comparación de fase de la frecuencia portadora.

El método empleado principalmente es la medida de seudodistancias y la metodología de trabajo seguida para obtener la posición del punto de estación se trata de hacer intersecciones inversas desde los satélites hasta nuestro punto.

El G.P.S. emplea satélites de la constelación NAVSTAR que se empezó a desarrollar en 1973 y 1978 no se lanzó el primer satélite.

El sistema fue diseñado y desarrollado por el Departamento de Defensa (DoD) de los Estados Unidos básicamente para el uso militar, por lo que para protegerlo de otros usuarios el DoD emplea lo que se llama Disponibilidad Selectiva (S/A) y consiste en introducir a voluntad unos parámetros de error en el reloj de los satélites y en las efemérides. Con la S/A Disponibilidad selectiva consistente en la degradación del código CIA, mediante la alteración de mensaje de navegación y manipulación de los relojes del satélite.

S/A Disponibilidad Selectiva - Degradación del código C/A a 100 m.

A través de:

- Alteración del mensaje de navegación.
- Manipulación de los relojes del satélite.
- Anti-Spoofing AS – Protección del código P.



## KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

A través de:

- Modificación del código P a código Y. Ello implica la necesidad de un modulo criptográfico en el equipo del usuario.

### SISTEMAS DE MEDIDA DE DISTANCIAS.

El GPS, como sabemos es un sistema que permite hacer posicionamiento por medición de distancias entre las antenas emisoras de varios satélites y las antenas receptoras del o de los equipos de observación.

Hay varias posibilidades para obtener datos sobre la distancia entre satélite y usuario: por cuenta Doppler, por pseudodistancias y por medida de fase.

### Características de G.P.S. y TRANSIT:

Atributos	G.P.S.	NNSS (TRANSIT)
altitud orbital	20 200 km	1100 km
periodo	12 h.	105 min
frecuencia	1575 MHz	150 MHz
	1228 MHz	400 MHz
Datos de navegación	4D: X, Y, Z, t	2D: F,I, velocidad
disponibilidad	continuamente	15-20 min por paso
exactitud	15 m (código P/sin SA), 0,1 nudos	30-40 m dependiendo del error de velocidad
constelación satelital	2 1-24	4-6
geometría	periódica	variable
reloj del satélite	rubidio, cesio, hidrogeno	cuarzo

### DOPPLER.

El desplazamiento o corrimiento Doppler (Doppler shift) es la variación aparente en el valor de la frecuencia en función de la velocidad de acercamiento o alejamiento de la fuente emisora.

El método que usa la cuenta Doppler es en todo comparable al mencionado para la constelación TRANSIT aunque por las características de la constelación NAVSTAR las precisiones obtenidas sean muy inferiores, esto es debido a que al orbitar los satélites GPS a 20180 Km de altitud con períodos de 12 horas, en vez de a 1000 Km, con períodos de menos de dos horas los TRANSIT, la variación de la distancia en función del tiempo es mucho mayor para los satélites de la constelación TRANSIT, los satélites GPS son aparentemente lentos.

La observación Doppler en GPS permite un posicionamiento que aunque impreciso, es rápido porque siempre hay varios satélites a la vista, un breve posicionamiento





**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

Doppler con unos cientos de metros de error, es una perfecta base de partida para empezar con un posicionamiento por pseudodistancias.

Para ello las obtenidas por Doppler son suficientes a falta de coordenadas aproximadas de arranque (valdrían con 200 Km de error).

#### SEUDODISTANCIAS.

Una pseudodistancia es el resultado de multiplicar la velocidad de la luz por el desplazamiento temporal necesario para alinear (correlar) una réplica del código GPS generado en el receptor con la señal procedente del satélite GPS, el observable por tanto es un tiempo.

El método de pseudodistancias es exclusivo de la técnica GPS. Es una auténtica trilateración o multilateración tridimensional que sitúa la estación en la intersección de unas esferas con centro en el satélite y radio de la distancia correspondiente. Este sistema es el usado en navegación y permite el posicionamiento continuo al ofrecer sus resultados en tiempo real.

El satélite emite un código, por ejemplo el C/A, que es repetido cada milisegundo. El receptor tiene en su memoria la estructura del código en cuestión y genera una réplica exacta. Para sincronizar la réplica con el original recibido, el instrumento empieza a aplicar un retardo. Cuando la anulación sucede. El tiempo de retardo nos permite calcular una distancia, que no es precisamente la existente ya que, aunque sabemos el momento de la emisión en el satélite, no conocemos el estado del reloj del receptor. Por eso el valor hallado no es una distancia, sino una pseudodistancia (falsa distancia).

Para explicar de una forma muy conceptual como se resuelve el estado del reloj propio, pensemos que la antena esta situada en el centro de una pequeña esfera tangente a todas las sucesivas esferas con centro en cada posición instantánea de satélites y radio la correspondiente pseudodistancia observada.

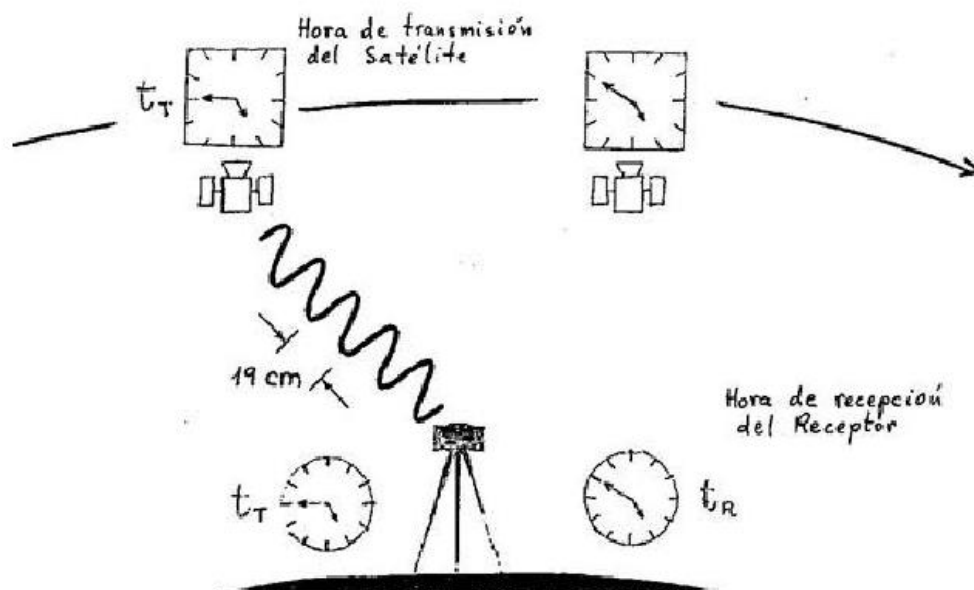
La mencionada pequeña esfera con centro en la antena, tiene como radio el algebraicamente correspondiente en tiempo/luz al estado  $t$  del reloj propio. Es evidente que tres esferas dan un solo punto de intersección, siendo por tanto preciso disponer de un cuarto satélite para determinar nuestro estado del reloj. Hay cuatro incógnitas:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  y  $t$ .

Para usos topográficos geodésicos, este método, esencial en navegación por dar resultados en tiempo real, carece de interés, dada la precisión decamétrica, pero si se emplea para un breve posicionamiento aproximado, automático en los instrumentos modernos, previo a la observación por medida de fase.



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta



#### MEDIDA DE FASE.

El método de medida fase es el que permite la mayor precisión: una frecuencia de referencia, obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora limpia (demodulada) que se ha conseguido tras la correlación, o bien sobre su armónico conseguido por el método de cuadratura.

La base del modo es que se controla en fase una emisión radioeléctrica hecha desde el satélite con frecuencia conocida y desde posición conocida.

Cuando llega a la antena, la onda portadora habrá recorrido una distancia  $D$ , correspondiente a un cierto número entero  $N$  de sus longitudes de onda, más una cierta parte de longitud de onda. Siendo:  $D = \mu (N + A\lambda)$ .

El observable es  $A\lambda$  puede valer entre 0 y 360. Cuando va creciendo y llega a 360, el valor  $N$  aumenta un entero y el  $A\lambda$  pasa a 0. Contrariamente sucede al revés.

Pensemos que el  $\mu$  de la L1 es de 20 cm y que al poder apreciar el  $A\lambda$  con precisión mejor del 1%, la resolución interna es de orden milimétrico (2 mm).

Tenemos una incógnita, la  $N$ . Llamada ambigüedad. Realmente la situación es idéntica a la que se tiene en el sistema de distanciametría electrónica por medición de fase. Pero al no poder modificar la frecuencia sobre la que medimos la fase, no es posible resolver la ambigüedad como se hace en distanciametría electrónica.

La resolución de la ambigüedad se hace en el proceso de cálculo, y no sólo de esta incógnita, sino en las otras que tenemos que son los estados de relojes y por supuesto los tres incrementos de coordenadas entre receptores.

Debe destacarse que es fundamental en el sistema no perder el seguimiento de la fase para que la ambigüedad inicial no pueda variar. Si hay una pérdida de recepción por



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

cualquier causa, la cuenta de ciclos se rompe y tenemos una pérdida de ciclos o cycle slip, talón de Aquiles del método, aunque ajuste polinómico en el postproceso, es posible restaurar la cuenta original y recuperar la ambigüedad inicial.

Aplicando este sistema de observación a dos estaciones, podemos hacer las siguientes afirmaciones, refiriéndonos al posicionamiento relativo, que es el normalmente usado en las Ciencias Geográficas:

- El tratamiento de las ecuaciones generadas en la común recepción instantánea de un mismo satélite se llama método de simples diferencias, y minimiza o elimina errores de reloj de satélite.

Las ecuaciones correspondientes a la común recepción en un momento dado de dos satélites en una posición de la órbita, método de dobles diferencias, facilitan la eliminación de las "cycle slips", y minimizan o eliminan los errores de reloj de satélites y receptores, indeterminación de órbitas y otras fuentes de error, porque al ser de magnitud similar, cuando estos errores son algebraicamente restados, tienden a cancelarse.

Si el planteamiento matemático lo hacemos tratando la recepción de dos satélites en una posición y luego en otra, método de triples diferencias, eliminamos los errores, igual que en las ecuaciones de dobles diferencias, pero se cancela la ambigüedad de ciclos.

Estos algoritmos se emplean automáticamente en el programa de cálculo.

La pérdida de ciclo puede ocurrir por muchas causas: por el paso de un avión o pájaro, por un relámpago, por disturbios ionosféricos, etc, hasta por torpeza del propio operador, que obstaculice con su persona el campo de recepción si la antena esta estacionada baja. Pensemos que dada su lejanía y poco volumen físico. la fuente radiante, la antena del satélite, se puede considerar puntual, por lo que carece de "penumbra" radioeléctrica. Se comprende claramente la dificultad de trabajar en las inmediaciones de arbolado, tendidos eléctricos, estructuras, torres, etc.