

# **CAPÍTULO 1**

## **CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DEL GPS.**

## **2. CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DEL GPS**

### **2.1 GENERALIDADES**

#### **2.1.1 DEFINICIÓN DE GEODESIA**

Etimológicamente la palabra geodesia deriva del griego “geo” que significa tierra y “daio” que significa dividir, por lo cual es la ciencia que estudia las divisiones de la Tierra.

En la actualidad la geodesia se define como la ciencia que estudia las dimensiones y forma de la tierra, considerándola en su totalidad. Se ocupa principalmente de su medida, para este fin se apoya en la tecnología actual. Cuando utiliza métodos geométricos se denomina Geodesia matemática, cuando utiliza métodos indirectos (por ejemplo métodos gravitatorios) se denomina Geodesia dinámica, cuando utiliza la astronomía de posición se denomina Geodesia astronómica.

En su aspecto práctico, los levantamientos geodésicos conducen a las mediciones precisas y cálculos necesarios para la determinación de coordenadas (geodésicas) de puntos convenientemente elegidos y situados sobre la Tierra.

De manera general podemos decir que la geodesia es la ciencia matemática que tiene por objeto determinar en principio la forma y dimensiones de la Tierra, muy útil cuando se aplica con fines de control, es decir, para establecer el ordenamiento de tierras, los límites en todo aspecto o verificar con precisión las dimensiones de las obras construidas. La topografía de los terrenos, los elementos naturales y aquellos creados por el hombre, se pueden representar en los mapas gracias a los levantamientos geodésicos. Las mediciones en un estudio topográfico son lineales y angulares, y se basan en principios de geometría plana.

En la actualidad, se emplean los satélites artificiales para determinar la distribución y posición de masas en la superficie de la Tierra, así como su forma y dimensiones a partir de las irregularidades en sus órbitas.

La geodesia física se encarga de determinar y realizar mediciones en la superficie equipotencial, determinando así la forma del geoide.

El proceso de la determinación de posiciones geodésicas está ligado con la forma y dimensiones de la Tierra, por lo cual el problema que implica la determinación de la figura

de la Tierra no es únicamente teórico, teniendo su aspecto práctico en lo referente al cálculo de coordenadas de puntos, y la resolución de problemas geométricos sobre su superficie irregular. La parte teórica del problema general de la forma de la Tierra consiste en el estudio de la superficie, que se encuentra sometida a las acciones gravitatorias y a un movimiento de rotación.

### **2.1.2 DIVISIÓN DE LA GEODESIA**

La Geodesia siendo una ciencia básica, con fundamentos fisicomatemáticos tiene relaciones con otras ciencias y aplicaciones prácticas dentro de las mismas, como en topografía, cartografía, fotogrametría, teledetección, e ingenierías de todo tipo sin dejar de lado su importancia para fines militares. Está íntimamente relacionada con la astronomía y la geofísica, respaldándose unas Ciencias en otras para su desarrollo.

Básicamente la geodesia se la divide en tres ramas:

Astronomía Geodésica.- Rama de la Geodesia que mediante métodos y observaciones astronómicas obtiene fundamentalmente la dirección de la vertical de un punto sobre la superficie terrestre, determinando coordenadas astronómicas, latitud  $\varphi$ , longitud  $\lambda$  y acimutes astronómicos. Con los datos obtenidos trata de determinar el geoide como figura de la Tierra empleando la nivelación astrogeodésica, efectuando la reorientación de redes geodésicas. Las determinaciones astronómicas, tanto en su teoría como en los procedimientos son empleados dentro de la astronomía de posición.

Geodesia Geométrica.- Es una rama de la Geodesia, en la cual los datos de las observación están compuestos por las medidas de ángulos y distancias en la superficie terrestre, los mismos que son referidos a un elipsoide de referencia y un punto de origen fundamental, para determinar la posición de puntos sobre la superficie terrestre, en el caso de la Geodesia clásica bidimensional; o bien en coordenadas cartesianas en caso de la Geodesia tridimensional. También son necesarias las determinaciones de altitudes de puntos sobre una superficie de referencia cero. El conocimiento de la geometría del elipsoide de revolución es fundamental en esta rama.

Geodesia Dinámica.- Esta rama de la Geodesia, se basa en la teoría del potencial terrestre, en medidas gravimétricas del campo exterior y de la obtención de la forma de la Tierra; la información fundamental que emplea, es la medida de la gravedad existente generalmente en superficie, además de las perturbaciones observadas en el movimiento de un satélite artificial. Está ligada con la Geodesia geométrica, con la geofísica, con la astronomía. De acuerdo a algunos autores esta rama se subdivide en gravimetría y teoría del campo y consecuencias.

No obstante esta división, en la actualidad los métodos globales de la Geodesia se interrelacionan, para trabajar en conjunto con datos geométricos y dinámicos a fin de alcanzar sus objetivos de forma conjunta en la llamada geodesia integrada.

Desde el punto de vista temático, la Geodesia puede dividirse en diversas secciones o capítulos que, relacionados entre sí, adquiriendo alguna entidad propia. Por ejemplo:

1. Teoría de la figura de la Tierra.- Constituida por los principios de la teoría del potencial y teoría de figuras de equilibrio aplicados al campo de gravedad terrestre.
2. Teoría de redes geodésicas.- Estudio de las triangulaciones y trilateraciones, el cálculo y compensación de redes geodésicas y el cálculo de coordenadas, con el análisis estadístico de los resultados.
3. Nivelación Geodésica.- Trata todo lo referente a la medida de altitudes y establecimiento de redes altimétricas.
4. Teoría de la rotación de la Tierra.- Estudia el movimiento de rotación de la Tierra, en un sistema de referencia fijo espacial (precesión y nutación) y en un sistema de referencia fijo al cuerpo (velocidad de rotación y movimiento del polo); ligada a la astronomía en lo concerniente a los sistemas de tiempo y nutación y a la geofísica debido a los modelos determinados del interior de la Tierra. Mediante las determinaciones astronómicas clásicas, los resultados de la Geodesia Doppler, GPS, laser y VLBI.
5. Gravimetría.- Determinaciones de la gravedad, sus reducciones, cálculo de anomalías y establecimiento de redes gravimétricas; base para aplicaciones geodésicas y geofísicas.
6. Geodesia Física.- Constituida por teorías y métodos enfocados a la determinación del geoide, con ayuda de información gravimétrica, mediante el análisis de la teoría del

potencial Terrestre. Establece los modelos terrestres de comparación para el establecimiento de la Forma de la Tierra, mediante el cálculo de las anomalías gravimétricas.

7.-Geodesia tridimensional.- Trata el problema de la forma y dimensiones de la Tierra en un sistema de referencia tridimensional geocéntrico, el elipsoide de referencia es una superficie auxiliar de la cual se puede prescindir. Su evolución actual se dirige al estudio y determinación de posiciones sobre la superficie terrestre y básicamente la ubicación de objetos móviles en el espacio, con ser los satélites artificiales cuya observación resulta mucho más rápida y precisa que la tradicional. Aplica técnicas geométricas como dinámicas.

### **2.1.3 SISTEMAS DE REFERENCIA - ENFOQUE GENERAL**

A lo largo de la historia se han venido desarrollando y mejorando los SISTEMAS DE REFERENCIA como base para un modelamiento cada día más preciso y universal de la tierra.

El problema básico de la Geodesia en la actualidad es por definición “Determinar la figura y el campo de gravedad externo de la tierra y de otros cuerpos celestes, en función del tiempo; al igual que, determinar el elipsoide terrestre medio a partir de parámetros observados sobre y exteriormente a la superficie de la tierra”(Draheim 1971). Esta definición evidencia la dualidad de la Geodesia al constituirse en un problema GEOMETRICO (Forma de la Tierra) y otro GEOFISICO (Campo de Gravedad), Íntimamente relacionados.

Desde el gran avance en la ciencia dado por Galileo al considerar que la tierra no era plana sino esférica, a pesar de los problemas ocasionados por dicha afirmación, hasta considerar a la tierra como un elipsoide achatado en los polos por efecto de la rotación, luego de muchas teorías y mediciones, se tomó finalmente como modelo razonablemente simple un elipsoide de revolución. Sin embargo, dada la complejidad de fenómenos involucrados, se hizo necesario formular el problema de una manera más amplia.

C.F. Gauss escribe en 1828 que la superficie de la tierra en el sentido geométrico no es más que esa superficie que intercepta en todos los lados la dirección de la gravedad en ángulos

rectos y parte de la cual coincide con la superficie de los océanos. Esto quiere decir que es la superficie cuya tangente es perpendicular a la línea de la plomada. Esta definición describe de la manera más gráfica al Geoide y permite una mejor comprensión del fenómeno físico.

J.B. Listing definía en 1872 la forma matemática de la tierra como la extensión bajo los continentes de la superficie del océano que corresponde a una superficie de gravedad constante, que fue denominada GEOIDE.

Con el desarrollo del Posicionamiento Por Satélite (G.P.S.) y la puesta en funcionamiento del sistema NAVSTAR y su posterior universalización se hizo necesaria la unificación de los SISTEMAS DE REFERENCIA. En este momento se cuenta con una cantidad enorme de DATUMS ajustados a cada zona y un DATUM de satélite el cual se somete continuamente a estudio para desarrollar un nuevo DATUM que se ajuste de manera mucho más adecuada a la mayoría de zonas de interés en la tierra.

La tierra es físicamente un cuerpo celeste, (incorporado a un sistema que lo somete a fuerzas gravitacionales dinámicas) con densidad heterogénea, superficie irregular y fenómenos de rotación que generan un problema complejo, resuelto por modelos matemáticos aproximados que logran describir de la mejor manera la verdadera forma de la tierra.

Para efectos prácticos se definió al ELIPSOIDE como la figura geométrica más aproximada a la forma de la tierra. La figura más precisa corresponde al GEOIDE que se idealiza como la continuación de la superficie del mar bajo los continentes y cuya determinación rigurosa obliga al uso de métodos gravimétricos complejos.

A continuación se hace una presentación de los SISTEMAS DE REFERENCIA utilizados en Geodesia.

### **2.1.3.1 SISTEMAS DE REFERENCIA**

Para poder realizar cálculos de posición, distancias, direcciones Etc. se requiere de un marco de referencia matemático.

Se toma como marco de referencia el ELIPSOIDE DE REVOLUCION, por tratarse de la figura geométrica simple que mejor se ajusta al GEOIDE.

Debido a que las mediciones geodésicas se realizan con instrumentos nivelados por medio de niveles de burbuja, estas quedan referidas al GEOIDE (Figura No 1). Para realizar los cálculos Geodésicos es necesario corregir dichas mediciones para que queden referidas al Elipsoide escogido.

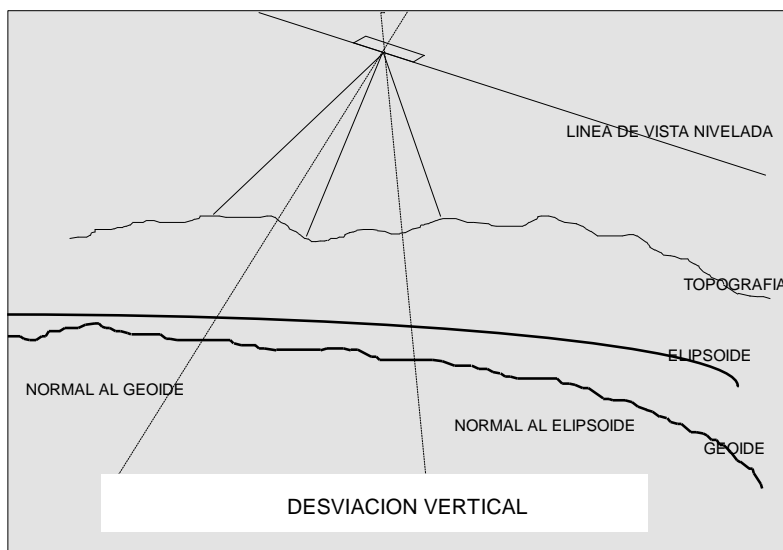


Figura No 1 : Relacion entre Geoide, Elipsoide y Topografía

Si el elipsoide utilizado se ajusta muy bien al Geoide las correcciones pueden no ser muy grandes en el área considerada. Las diferentes Naciones o grupos de ellas ha escogido el Elipsoide de Referencia que mejor se ajusta a su Geoide, y por lo tanto un mismo Geoide puede no ser conveniente para otra Nación.

Si el elipsoide utilizado se ajusta muy bien al Geoide las correcciones pueden no ser muy grandes en el área considerada. Las diferentes Naciones o grupos de ellas ha escogido el Elipsoide de Referencia que mejor se ajusta a su Geoide, y por lo tanto un mismo Geoide puede no ser conveniente para otra Nación.

Este Elipsoide en particular se denomina DATUM. Como podemos observar en la figura dos elipsoides que se ajustan muy bien en dos zonas diferentes se desvía de manera apreciable en otra zona distante

Finalmente podemos concluir que para obtener posiciones sobre la tierra o describir el tamaño y forma de ésta es necesario tener en cuenta tres superficies básicas. (Figura No 2).

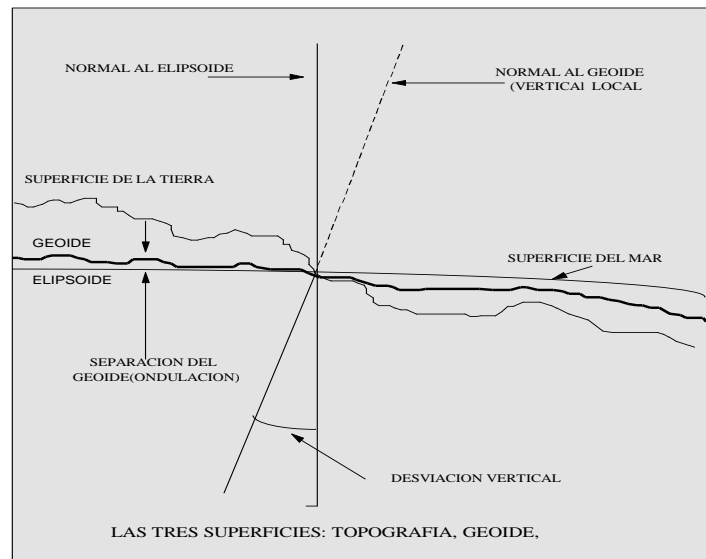


Figura No 2 : superficies básicas

- **TOPOGRAFIA** : Superficie física de la tierra.
- **ELIPSOIDE** : Superficie matemática que sirve de marco de referencia.
- **GEOIDE** : Superficie equipotencial real correspondiente al nivel medio del mar.

A continuación se hace una descripción detallada de cada una de éstas superficies básicas.

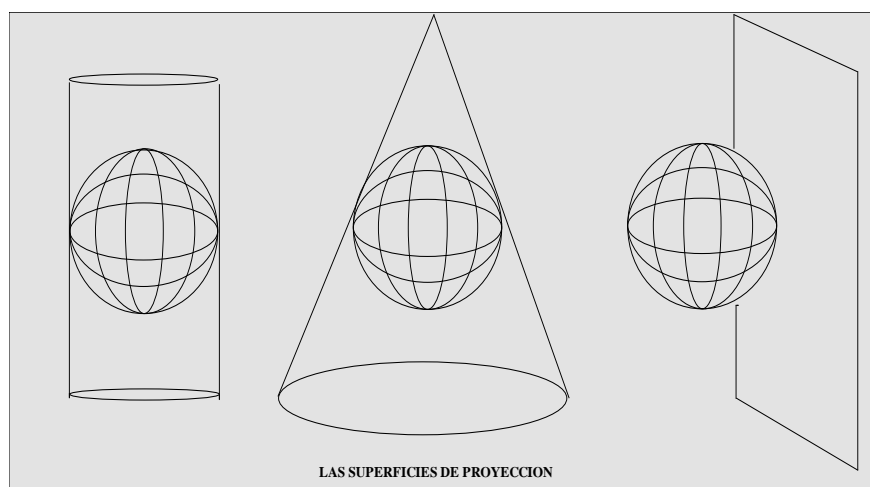
#### 2.1.4 TOPOGRAFIA

Esta superficie corresponde a la SUPERFICIE FISICA DE LA TIERRA y se define como la frontera entre las masas sólidas o líquidas con la atmósfera. Recientemente también se ha considerado en el planteamiento del problema Geodésico al fondo del océano definida como la superficie límite entre el cuerpo terrestre sólido y las masas de agua de los océanos, denominándose GEODESIA MARINA al estudio del problema geodésico en el océano.

La superficie irregular de la tierra sólida no se puede representar por medio de un modelo matemático simple por lo cual se describe con base en puntos de control definidos por sus

coordenadas, con base en los cuales se realizan los levantamientos topográficos o restituciones fotogramétricas dando como resultado los mapas topográficos de curvas de nivel que representan la superficie física de la tierra.

Para la representación de la topografía se utilizan mapas generados a partir de diferentes sistemas de proyección (Figura No 3), de los cuales los más utilizados son:



**Figura No 3 : Sistemas De Proyeccion**

- PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR
- PROYECCION LAMBERT
- PROYECCION CONFORME DE GAUSS
- COORDENADAS CARTESIANAS

La utilización de estos sistemas depende del tamaño de la zona a cartografiar siendo usado en el país la proyección conforme de GAUSS contando con cuatro orígenes para diversas regiones del país. Las coordenadas CARTESIANAS se utilizan para mapas de zonas pequeñas como ciudades, teniendo cada ciudad del país un origen particular.

### **2.1.5 ELIPSOIDE**

Por ser el Elipsoide la figura geométrica más parecida a la forma real de la tierra, se definió este como la superficie matemática o marco de referencia para los cálculos. En general un

Elipsoide se forma al rotar una elipse alrededor de su semieje menor. La elipse se define en función de un Semieje mayor (a), un Semieje menor (b) y el achatamiento (f) así:

$$f = (a - b) / a$$

También puede ser definida por su semieje mayor (a) y la excentricidad (e) así (Figura No 4):

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

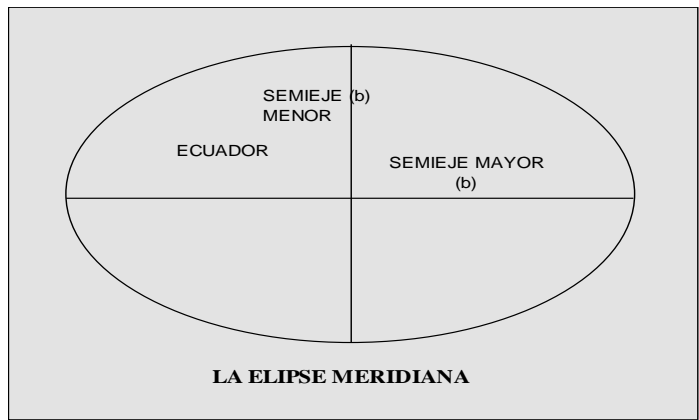


Figura No 4 : El elipsoide

### 2.1.5.1 COORDENADAS GEODESICAS

Sobre el elipsoide se define entonces un sistema de coordenadas geodésicas conocido como LATITUD y LONGITUD (Figura No 5), con el cual se puede ubicar una posición cualquiera. Las líneas de igual LONGITUD se denominan meridianos y las de igual LATITUD se denominan paralelos.

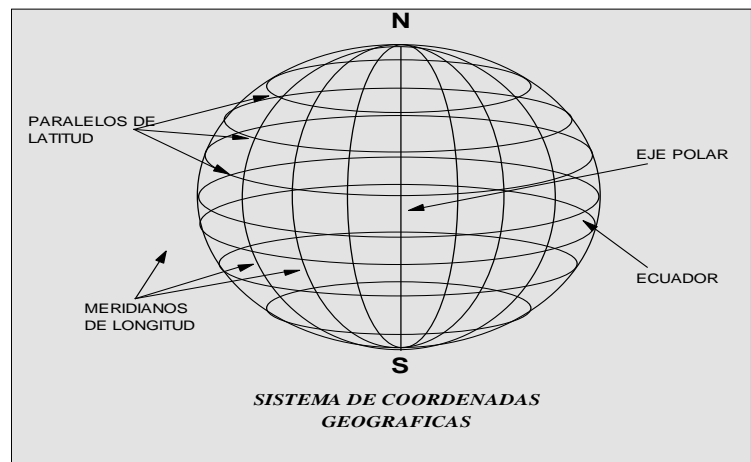


Figura No 5 : Coordenadas Geograficas

La LATITUD de un punto es el ángulo entre la normal a la elipse a través del punto P y el plano ecuatorial. La LATITUD es igual a 0 en el ecuador y aumenta hasta 90 en los polos. En el polo norte será LATITUD 90N y el polo sur será 90S.

La LONGITUD es el ángulo entre la elipse que pasa por GREENWICH y la elipse que pasa por el punto. (ver figura No 34).

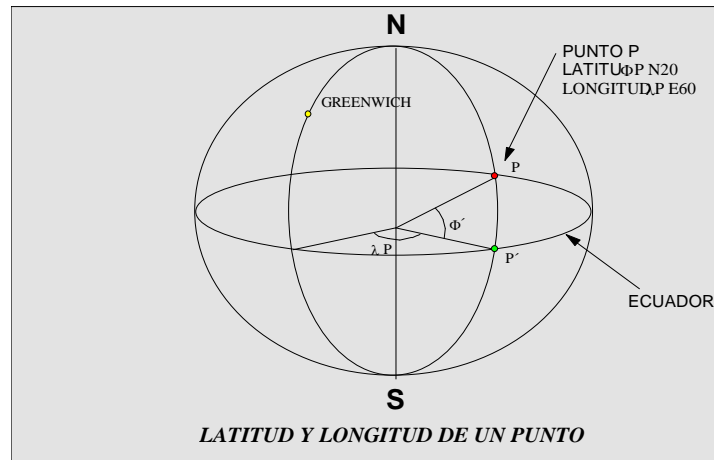


Figura No 6 : Latitud y Longitud

### 2.1.5.2 COORDENADAS RECTANGULARES

A partir de las coordenadas geodésicas se pueden definir las coordenadas rectangulares (X,Y,Z) de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 X &= (N + h) \cos \phi \cos \lambda \\
 Y &= (N + h) \cos \phi \operatorname{sen} \lambda \\
 Z &= ((N (1 - e^2) + h) \operatorname{sen} \phi \\
 N &= a / (1 - e^2 (\operatorname{sen} \phi)^2)^{1/2} \\
 e^2 &= (a^2 - b^2) / a^2
 \end{aligned}$$

Donde:

- X,Y,Z** : Coordenadas rectangulares
- φ,λ,h** : Coordenadas Geodésicas
- N** : Radio de curvatura del Primer vertical
- e<sup>2</sup>** : primera excentricidad

- a : Semieje mayor del elipsoide
- b : Semieje menor del elipsoide.

Al definir un elipsoide para cada zona se estará hablando del DATUM cuya discusión se hará más adelante.

### 2.1.5.3 DATUM

Como hemos visto la elección del Datum local se realiza de manera arbitraria, por conveniencia del sitio o zona para la cual se hace. Se debe definir el tamaño y forma del elipsoide adoptando un valor del semieje mayor (a) y un achatamiento (f). Algunos parámetros de los DATUMS más utilizados son los siguientes:

### 2.1.6 GEOIDE

El Geoide es la superficie de referencia íntimamente ligada al concepto de gravedad y corresponde a una superficie equipotencial (de las muchas que se pueden definir) que coincide con el Nivel Medio del Mar. (Figura No 7).

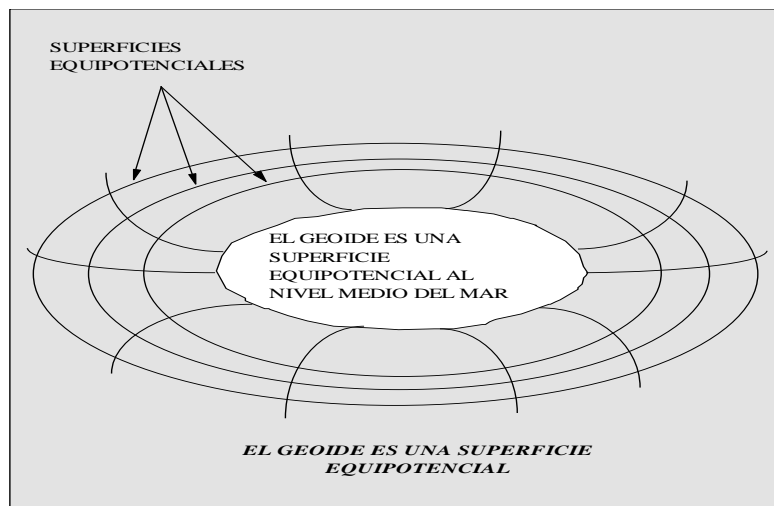


Figura No 7 : El Geoide

Considerando que el nivel del mar es una superficie dinámica al estar sometido a mareas y corrientes, podemos decir que el geoide no coincide exactamente con el nivel real del mar, por lo tanto se introduce el concepto de Nivel Medio del Mar y se determina mediante el promedio histórico de observaciones realizadas en mareógrafos ubicados a lo largo de las costas y adoptados en cada nación como origen altimétrico para sus trabajos Geodésicos.

Si imaginamos que los continentes estuvieran surcados por vasos comunicantes donde se pudiera mover el agua del mar libremente, se tendría que el nivel del agua en cada punto correspondería al Geoide. Gracias a lo cual este se puede definir como la prolongación del Nivel medio del mar bajo los continentes. (Figura No 10).

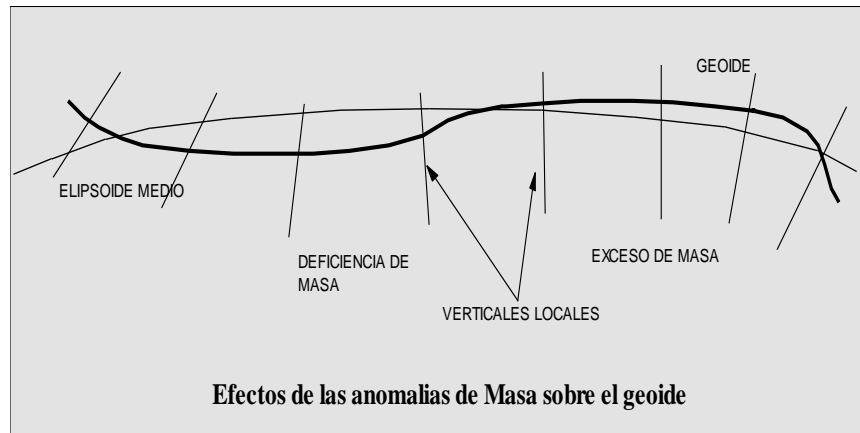


Figura No 8 : El Geoide y la masa

Se deben definir en este punto las alturas referidas al Geoide y al Elipsoide como punto de partida para entender el problema geométrico y establecer una definición precisa de estas dos alturas básicas:(Figura No 9).

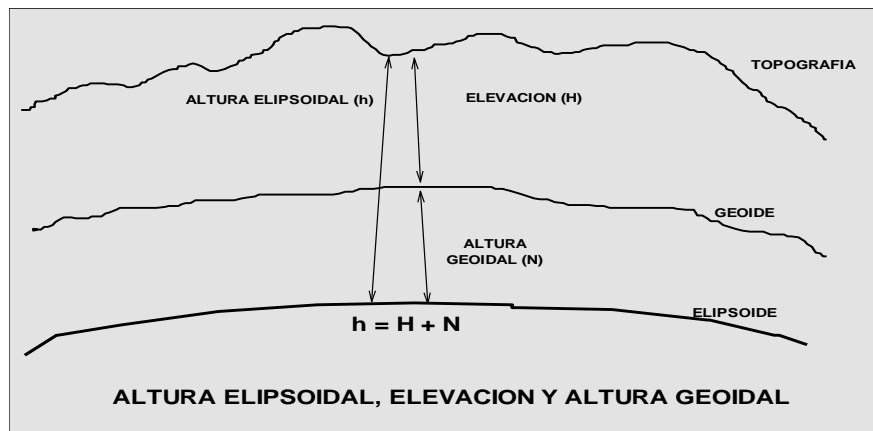


Figura No 9 : Alturas basicas

**2.1.6.1 ALTURA ELIPSOIDAL (h):** Distancia vertical del punto sobre el elipsoide de referencia y medida a lo largo de la normal al Elipsoide desde el punto hasta este. El GPS calcula básicamente alturas elipsoidales referidas al datum WGS84.

**2.1.6.2 ALTURA GEOIDAL (H):** Es la elevación de un punto sobre el Nivel Medio del Mar o su altura ortométrica; es la distancia vertical del punto sobre el Geoide y es medida a lo largo de la vertical o línea de la plomada desde el punto hasta el Geoide.

La diferencia entre las dos se denomina **ONDULACION GEOIDAL (N)**, que por definición es la diferencia entre la **ALTURA ELIPSOIDAL (h)** Y LA **ALTURA GEOIDAL (H)** así:

$$N = h - H$$

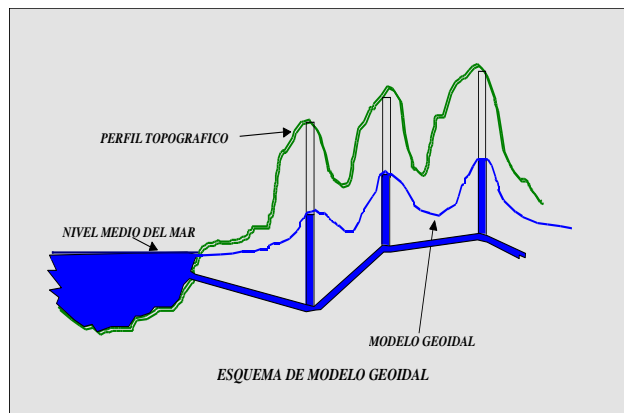


Figura No 10 : El Geoide y el Nivel del Mar

El concepto que mejor define físicamente una superficie equipotencial y con lo cual se puede entender mejor la idea del Geoide es el de la superficie cuya tangente es perpendicular a la línea de plomada. Si imaginamos una nivelación veremos que al nivelar el instrumento estamos fijando una superficie perpendicular a la línea de la plomada. (Figura No 11) Si existe una masa en el subsuelo lo suficientemente densa como para desviar la plomada hacia ésta, estaremos obteniendo una superficie inclinada por efecto de esta diferencia de densidad.

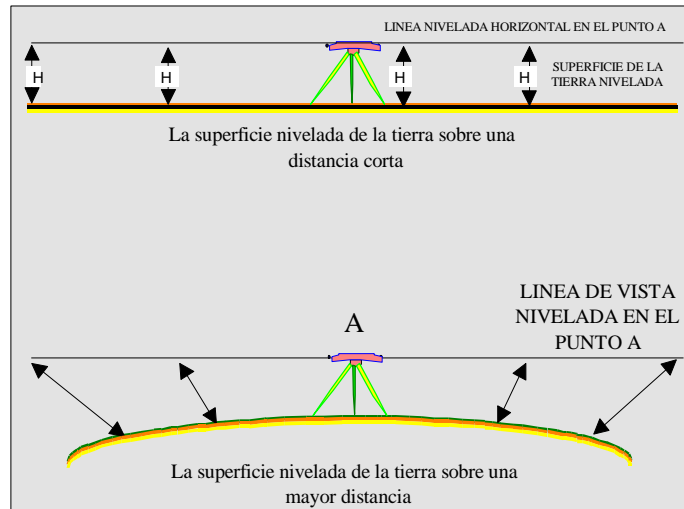


Figura No 11 : El Geoide y la línea de plomada

Los efectos de la distribución heterogénea de la densidad de la tierra y la forma irregular de la superficie ocasionan en el Geoide una depresión bajo el elipsoide promedio si se trata de una deficiencia de masa, por el contrario si existe un exceso de masa el Geoide se levantará sobre el elipsoide promedio. (Figura No 8)

Como hemos visto el Geoide, depende de la distribución de las masas existentes en la tierra, por lo tanto su determinación está sujeta al conocimiento de parámetros globales de distribución obtenidos a partir de mediciones de gravedad, observación de satélites y otras. Contando cada día con mayor información a nivel global se han ido refinando los modelos de Ondulación Geoidal referidos al Elipsoide a través de una expansión en funciones armónicas esféricas dada por:

$$N = \frac{KM}{\gamma r} \sum_{n=2}^{\infty} \left( \frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \{ C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda \} P_{nm}(\cos \theta)$$

Donde:

- N** : Ondulación Geoidal.
- K** : Constante de gravitación universal.
- M** : Masa de la tierra
- KM** :  $3986004.36 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{s}^2$

- $\gamma$  : Gravedad Normal.
- $a$  : Radio Ecuatorial.( 6'378,137 mts)
- $(r,\theta,\lambda)$  : Coordenadas Geocéntricas.
- Cnm** : Coeficientes zonales diferenciales normalizados
- Snm** : Coeficientes no zonales normalizados.
- Pnm** : Funciones de Legendre.
- N** : Grado.
- m** : Orden.

En este momento se cuenta con un modelo de ondulación geoidal referido al DATUM WGS-84 conocido como el OSU-91a (Ohio State University) desarrollado por el profesor Richard Rapp. Actualmente se trabaja arduamente para tener este año un nuevo modelo que será conocido probablemente como OSU-96.

Para consultar los trabajos que se adelantan al respecto es posible en la actualidad entrar a la OSU vía Internet.

### **2.1.7 EL GPS**

En este tema se desarrollan los aspectos básicos del GPS: constitución del sistema, fundamentos, equipos, etc., que se desarrollarán más exhaustivamente en posteriores temas. Haremos un breve repaso por estos conceptos básicos del GPS y que nos servirán para introducirnos conceptualmente en el GPS.

Cuando la Geodesia hace uso de las emisiones de objetos no ligados a la superficie terrestre para conseguir sus fines, entonces la llamamos Geodesia Espacial. Los enlaces más largo que se podían realizar desde tierra sólo llegaban hasta los 200 Km. Los primeros precedentes en la Geodesia Espacial para algunos autores, aparte de la observación a estrellas llamada Astronomía Geodésica, los encontramos en la observación de globos para enlaces geodésicos de masas de Tierra distantes, como el enlace de la Isla de Córcega con el continente europeo.

La historia de la moderna Geodesia espacial comienza motivada por la carrera espacial entre la URSS y la USA con la puesta en órbita del primer satélite artificial de la Tierra por parte de la antigua URSS el 4 de Octubre de 1957, el Sputnik I. Se observó que analizando el desplazamiento Doppler de las señales radiodifundidas desde el Sputnik I y recibidas en estaciones de posición conocida, era posible establecer la órbita del satélite. Evidentemente esto se podía realizar a la inversa y obtener la posición del receptor, después de la recepción y análisis de las señales recibidas en diferentes y suficientes pasos del satélite. Este sistema no daba la precisión idónea pero ponía de manifiesto la viabilidad de la aplicación. . Desde ese momento se han lanzado miles de satélites artificiales de los que nos hemos aprovechado los geodestas, aunque algunos no estuviesen previstos para este uso en principio.

Actualmente en lo que se refiere al desarrollo de la Geodesia espacial, este está muy ligado al desarrollo de la navegación. Sistemas no operativos en este momento como el TRANSIT, el GLONASS el mismo GPS o el futuro GALILEO europeo tienen, han tenido o tendrán como principal objetivo y aplicación la Navegación. La Navegación necesitaba

determinación inmediata de las posiciones, lo que llamamos Tiempo Real, prescindiendo de la gran exigencia de precisiones de la Geodesia Espacial.

Hasta llegar a los sistemas actuales han sido muchos los sistemas de transición previos, algunos ejemplos son el PRIME MINITRACK, el C BAND RADAR, el S BAND RADAR, el GRARR y SECOR o el TRANSIT.

El predecesor inmediato del GPS fue el sistema militar TRANSIT, en servicio desde 1967. Era conocido como Sistema Doppler porque su funcionamiento se basaba en el llamado efecto Doppler, que es la variación aparente de la frecuencia en función de la velocidad de acercamiento o alejamiento de la fuente emisora. Ya no está operativo. Todavía se utiliza el efecto Doppler en sistemas como el Argos o el Tsikada.

NAVSTAR GPS (NAVigation Systemwith Time And Ranging Global Positioning System) es un sistema de radio navegación por satélite que provee a usuarios de coordenadas precisas de posicionamiento tridimensional e información sobre navegación y tiempo. Se empezó a desarrollar en 1973 como mejora de TRANSIT y aunque, con un uso militar en principio, pasó a ser un sistema de uso civil con ciertas restricciones, siendo utilizado para fines geodésicos prácticamente desde 1983. La configuración final del sistema fue alcanzada en 1994, con 24 satélites utilizables. Desde entonces se ha convertido en el principal sistema (o al menos el más versátil) para posicionamiento de precisión. En la antigua URSS se desarrolló paralelamente el sistema GLONASS, similar al GPS. La Unión Europea está a punto de desplegar el nuevo sistema GALILEO, también similar a los principios del GPS.

Además estos sistemas conviven con otros también útiles para la Geodesia Espacial pero que no tienen su origen y principal función en la navegación como son el VLBI y el SLR.

### **2.1.8 Otros sistemas actuales en Geodesia Espacial**

El GPS no es el único sistema de posicionamiento preciso utilizado en Geodesia, sino que existen otros, menos conocidos que constituyen la base de la Geodesia Espacial por la precisión alcanzable y la forma de medida, los cuales se enumeran a continuación.

### 2.1.9 Interferometría de larga base (Very Long Baseline Interferometry -VLBI)

Los radiotelescopios con los que los radioastrónomos estudian los astros pueden ser también utilizados para la Geodesia Espacial. La Radiointerferometría es una poderosa herramienta que tiene diversas aplicaciones. Consiste en un conjunto de antenas direccionales que reciben radio emisiones de varias fuentes extra galácticas en una deseada banda RF. Las señales son cruzadas y correladas (multiplicadas y acumuladas) para producir una correlación cruzada (“fringe pattern” o “patrón borde”).

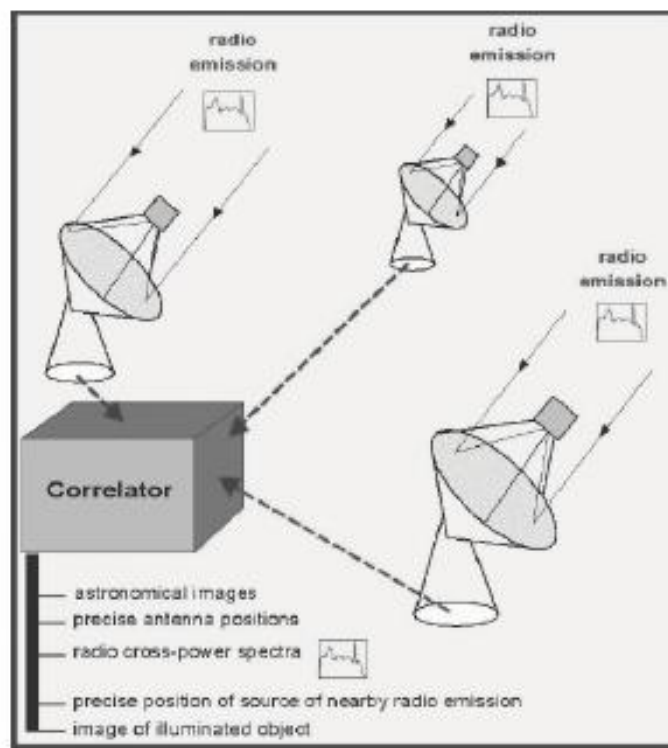


Fig. 20. Esquema de funcionamiento de VLBI

Este "fringe pattern" puede entonces ser analizado para producir como resultado la determinación de las direcciones y distancias entre los distintos radiotelescopios, el cálculo de la red de radiotelescopios implicados. En la Figura 20 se muestra una colocación de tres antenas direccionales, formando tres distintos interferómetros, estos observan a una misma fuente, al correlarlos se encontrará la diferencia de distancia de cada radiotelescopio a la

fuente observada. Finalmente, con la observación a varias radiofuentes se podrán calcular las baselines o vectores que los unen.

El principio básico es el siguiente:

- Dos o más antenas direccionales ‘observan’ las señales que llegan de fuentes radioastronómicas lejanas (Quásar).
- Las señales son almacenadas junto con las ‘marcas de tiempo’ en que se han producido.
- Un correlador en una fase posterior calcula las diferencias de tiempo o retardo.
- Se calcula, entre otros parámetros, las posiciones relativas de las antenas.

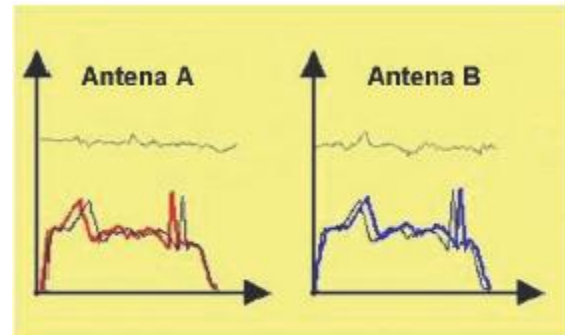


Figura 21. Correlación de las señales

El propósito final del VLBI geodésico es determinar con precisión las posiciones relativas de las distintas antenas entre ellas. Esto se hace para estudiar el movimiento de las masas de tierra a las que las antenas están adosadas y estudiar el movimiento propio de la Tierra.

La Tierra asume una variedad de procesos dinámicos tales como una rápida y compleja rotación alrededor de su eje, el suave deslizamiento de las placas continentales y el gradual rebote de la tierra después de la retirada de los glaciares continentales.

VLBI es adecuado a estos estudios, ya que observa radiofuentes tales como cuásares, los cuales se consideran fijos en los más alejados confines del Universo. La estabilidad de largo término del marco de referencia resultante es ideal para la medición de procesos geodinámicos, los cuales evolucionan muy lentamente (por ejemplo los continentes se mueven aproximadamente tan rápido como crecen las uñas de los dedos).

En los experimentos geodésicos el parámetro de interés de salida del correlador es el retardo interferométrico. Cuando el retardo es conocido para varias radiofuentes en varios momentos diferentes e posible determinar con precisión las coordenadas de las antenas. Cuando estas medidas son repetidas en varias épocas sobre un número de años es posible

determinar numerosos e importantes parámetros requeridos para el estudio de la naturaleza geofísica de la Tierra.

En concreto VLBI mide las diferencias del tiempo en la llegada de las señales de microonda de las fuentes de radio extra galácticas recibidas en dos o más observatorios de radio. Generalmente, el funcionamiento de la observación geodésica se realiza mediante sesiones de 24 horas y observando diversas fuentes de radio distribuidas a través del cielo. Los observatorios pueden estar separados extensamente; la sensibilidad de las observaciones a las variaciones en la orientación de la tierra aumenta con el tamaño de la red de VLBI.

Hasta la fecha, las coordenadas geocéntricas se han medido para cerca de 120 sitios, fijos y móviles usando diferentes técnicas. Más de la mitad de éstos tienen historias suficientemente largas para que las estimaciones tridimensionales confiables de la velocidad estén también disponibles.

Asimismo, las coordenadas celestes se han determinado para más de 600 fuentes de radio. Estas observaciones se utilizan para mantener el marco celestial internacional de la referencia (ICRF). VLBI es la única técnica capaz de medir todos los componentes de la orientación de la tierra exactamente y simultáneamente.

Actualmente, las determinaciones de VLBI de las variaciones de la rotación de la Tierra, y de los coordenadas de sitios terrestres y de objetos celestes se hacen rutinariamente y regularmente con exactitudes estimadas de alrededor de  $\pm 0.2$  miliardosegundos o mejor.

En el IERS, el VLBI es representado por el Servicio Internacional de VLBI (IVS), equivalente al IGS en GPS.

#### **2.1.10 Satélite Laser Ranging (SLR)**

El Satélite Laser Ranging (SLR) es una tecnología geodésica que mide la distancia desde una estación en tierra a un satélite, de forma mucho más precisa que con otros métodos.

El fundamento en realidad es bastante simple: un pulso láser muy corto (10-150 ps) es transmitido desde un telescopio en una estación terrestre y es reflejado en sentido contrario

por un reflector dispuesto en un satélite, volviendo la señal a la estación. Se mide el tiempo de ida y vuelta, y esto equivale a medir la distancia:

$$D = \frac{1}{2} t \cdot c$$

La velocidad de la luz no es constante a lo largo de la trayectoria a través de la atmósfera, ya que se acelera y se retarda al pasar por las distintas bandas atmosféricas. Esta es la mayor fuente de error asociada a las medidas de precisión. Otras fuentes de error son de puntería al prisma del satélite, errores en la medida del tiempo y degradación de la señal.

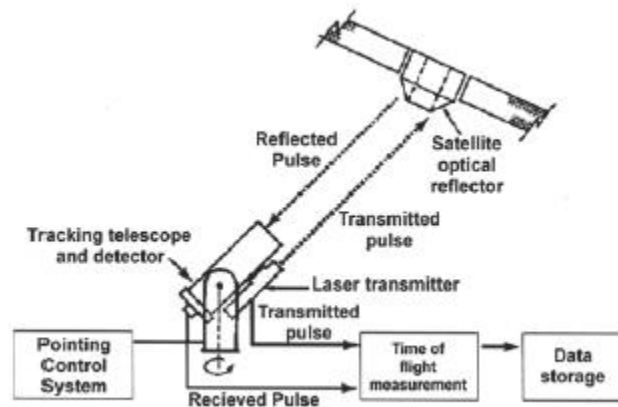


Fig. 22. Esquema de funcionamiento de SLR

Mientras que para otras aplicaciones los errores de tiempo de unos pocos nanosegundos pueden ser aceptables, en SLR esto puede ser desastroso. Una incertidumbre en la medida del tiempo de 1 nanosegundo significará un error en la medida de la distancia de aproximadamente 15 cm.

Los sistemas SLR más precisos en la actualidad tienen una precisión en medidas individuales (un disparo) por debajo de los 10 mm RMS y la precisión normal en cada punto es de unos 2 mm de RMS.

Un sistema SLR se compone de varios componentes. Uno de ellos, por supuesto, es el láser propiamente dicho. El sistema también incluye todo el equipamiento para ayudar a registrar los tiempos de salida y retorno del rayo y grabar los datos. El instante de salida del pulso es registrado y enviado a un dispositivo llamado TOF (Time Of Flight). El mismo dispositivo recoge el rayo rebotado por el satélite. Por la medida de estos tiempos del pulso transmitido y el reflejado por el satélite, puede determinarse la distancia. Este es el dato primario y el objetivo fundamental del Satélite Láser Ranging.

## 2.2 PRINCIPIOS DEL GPS

Recordemos en esta introducción al sistema GPS el principio en el que se basa de un modo reducido. Posteriormente veremos más detalladamente el posicionamiento preciso con otras técnicas y observables. La idea básica del posicionamiento simple con GPS se basa en la medición de distancias (o mejor dicho, pseudodistancias) desde satélites al receptor a través de la medición del tiempo. Una trilateración inversa en el espacio, conociendo las coordenadas de al menos 3 satélites permitirá obtener nuestras coordenadas en tierra:

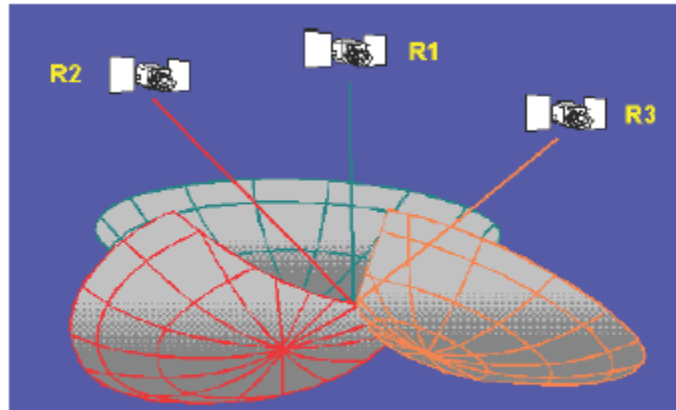
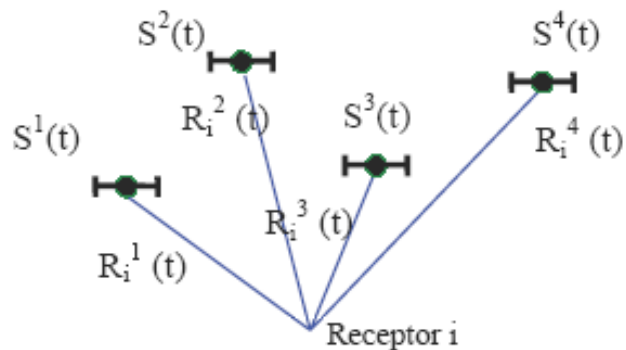


Fig. 23. Trilateración inversa espacial

Distancia = Tiempo empleado x Velocidad de la luz

La expresión de la pseudodistancia para medidas de código para una época  $t$  correspondiente al receptor "i" y al satélite "j", tiene la siguiente expresión:

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \delta^j(t) - c \cdot \delta_i(t)$$



siendo:

$R_i^j(t)$ : La pseudodistancia entre el satélite y el receptor.

$\rho_r^j(t)$ : La distancia geométrica real entre el satélite y el receptor.

c: Velocidad de la luz en el vacío.

Lo que se puede simplificar como:

$$R_r^j(t) = \rho_r^j(t) + c \cdot \Delta\delta_r^j(t)$$

$\Delta\delta_r^j(t)$ : Término que representa los errores o desfases de los relojes respecto a la escala de tiempos.

Más adelante se verá que la ecuación es necesario linealizarla en forma de incrementos de coordenadas para la pseudodistancia:

$$\rho = \| \mathbf{r} - \mathbf{R} \| = \sqrt{(x - x)^2 + (y - y)^2 + (z - z)^2}$$

y que desarrollando en serie e introduciendo otros términos de corrección (tiempo), son necesarias 4 ecuaciones para resolver las 4 incógnitas: X, Y, Z,  $\Delta t$ . También estudiaremos posteriormente que con otro tipo de observables el sistema se complica y además es necesaria la introducción de otros muchos términos de corrección.

### 2.2.1 Constitución del Sistema GPS

Este clase de sistemas espaciales se puede dividir en tres segmentos o sectores generales para un estudio más detallado: ‘Segmento Espacial’ formado por los satélites de la constelación NAVSTAR, el ‘de Control’ con las estaciones terrestres para realizar el mantenimiento y correcto funcionamiento del sistema y el ‘de Usuario’ que se refiere a los receptores en tierra de los usuarios del sistema.

Algunos autores creen que se debería hablar de un cuarto segmento: Segmento Terrestre, formado por Redes permanentes civiles de Estaciones de Referencia, Centros asociados de análisis de datos y mantenimiento de archivos de datos (IGS), etc ...aunque otros autores lo incluyen en el llamado segmento de control con la etiqueta de segmento de control independiente.

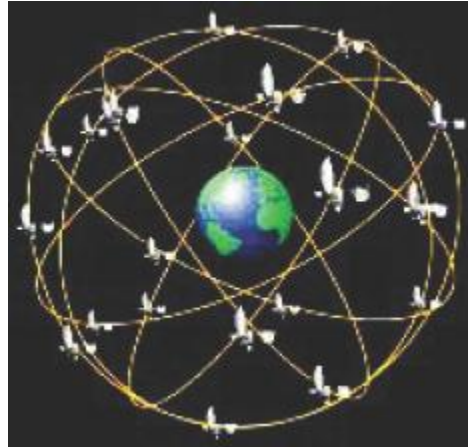
### 2.2.1.1 El segmento espacial

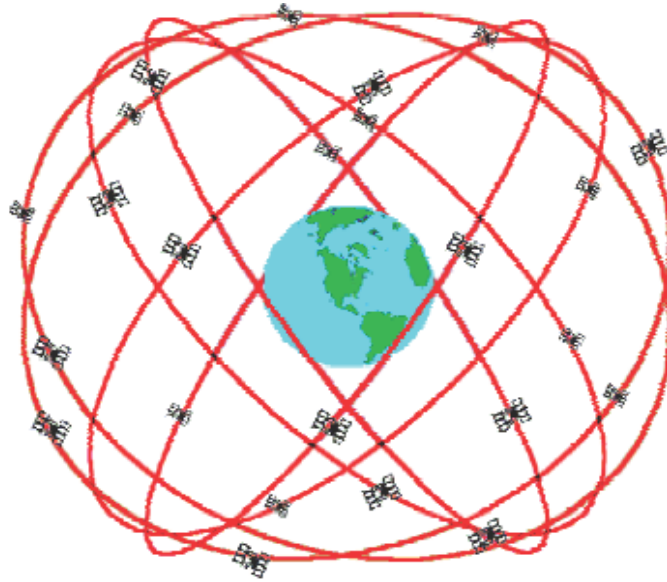
Está constituido por la constelación de satélites NAVSTAR. La constelación está pensada para dar cobertura a cualquier hora del día y en cualquier parte del mundo.

El segmento espacial proporciona cobertura con 4 a 8 satélites por encima de cualquier horizonte de cualquier lugar de la Tierra. Si la máscara de elevación en la observación se reduce a  $10^\circ$ , se pueden llegar a observar hasta 10 satélites. Si la máscara se reduce a  $0^\circ$ , se puede ver la mitad de la constelación: 12 satélites.

Las características orbitales son:

- 6 órbitas casi circulares a 20180 km de altitud, nombradas A, B, C, D, E, F, con  $55^\circ$  de inclinación.
- 4 satélites por órbita, 24 en total.
- Periodo de 12 horas de tiempo sidereo.
- Visibilidad de cada satélite: 5 horas.
- La configuración se repite 4 minutos antes de cada día solar.
- Existen hasta 4 satélites desactivados y disponibles como reserva “spares”.





**GPS Nominal Constellation 24 Satellites in 6 Orbital Planes  
4 Satellites in each Plane 20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination**

*Fig. 24. Segmento espacial*

Los satélites de diferente generación se agrupan en los llamados "bloques", existiendo por el momento los bloques I, II, IIA, IIR, IIF (y III).

**Bloque I.-** Los satélites de este bloque fueron pioneros, aportaron experiencia para el resto de los bloques. Actualmente no queda ninguno en funcionamiento. Fue experimental, estos satélites fueron lanzados desde la Base de Vandenburg en California, entre los años 1978 y 1985.

**Bloque II.-** Para reducir costes se decidió poner en órbita los satélites del bloque II mediante vehículos transbordadores espaciales. Se ponían en órbita tres satélites en cada viaje. El desastre del transbordador Challenger en 1986 retrasó el programa. Actualmente se están lanzando con el cohete MLV Delta2. Los satélites de este bloque se reparten en cuatro generaciones sucesivas: Bloque II, II-A, II-R y II-F.

**Bloque III.-** Está en proyecto, puede que se sustituyan sus satélites por el modelo II-R, evolución de los del Bloque II. El primer satélite está previsto para el 2009 y toda la constelación para el 2030. Se prevé la incorporación de dos nuevas portadoras para uso civil. Posiblemente irán provistos de relojes con osciladores de hidrógeno y Tendrán mejor capacidad anti interferencia para las portadoras L1 y L2.

NAVSTAR GPS/Satélites Bloque 1	
CAPACIDAD NOMINAL	
Tipos de servicios	Navegación
Frecuencias	1572.42 MHz y 1227.6 MHz (L-Band) 2227.5 MHz (S-Band)
ESPECIFICACIONES DE TRANSPORTE	
Empresa constructora	Rockwell International
Plataforma	-
Masa de lanzamiento	759 kg (1673 lbm)
Vida útil	5 años
ESTRUCTURA	
Dimensiones (H x W x L)	
Construcción	Paneles hexagonales de aluminio
SISTEMA DE ENERGIA	
Potencia Nominal	0.410 kw
Paneles solares	2 paneles de silicio
Baterías	3 - 15 celdas Ah NiCd
SISTEMA DE CONTROL DE POSICION	
Estabilización	

NAVSTAR GPS/Satélites Bloque II	
CAPACIDAD NOMINAL	
Tipos de servicios	Navegación
Frecuencias	1572.42 MHz y 1227.6 MHz (L-Band) 2227.5 MHz (S-Band)
ESPECIFICACIONES DE TRANSPORTE	
Empresa constructora	Rockwell International
Plataforma	-
Masa de lanzamiento	1600 kg (3660 lbm)
Vida útil	7,5 años
ESTRUCTURA	
Dimensiones (H x W x L)	
Construcción	Paneles hexagonales de aluminio
SISTEMA DE ENERGIA	
Potencia Nominal	0.710 kw
Paneles solares	2 paneles de silicio
Baterías	3 - 35 celdas Ah NiCd
SISTEMA DE CONTROL DE POSICION	
Estabilización	Estabilizado en 3 ejes

NAVSTAR GPS/Satélites Bloque IIA	
CAPACIDAD NOMINAL	
Tipos de servicios	Navegación
Frecuencias	1572.42 MHz y 1227.6 MHz (L-Band) 2227.5 MHz (S-Band)
ESPECIFICACIONES DE TRANSPORTE	
Empresa constructora	Rockwell International
Plataforma	-
Masa de lanzamiento	1816 kg (4002 lbm)
Vida útil	7,5 años
ESTRUCTURA	
Dimensiones (H x W x L)	
Construcción	Paneles hexagonales de aluminio
SISTEMA DE ENERGIA	
Potencia Nominal	0.710 kw
Paneles solares	2 paneles de silicio
Baterías	3 - 35 celdas Ah NiCd
SISTEMA DE CONTROL DE POSICION	
Estabilización	Estabilizado en 3 ejes

NAVSTAR GPS/Satélites Bloque IIR	
CAPACIDAD NOMINAL	
Tipos de servicios	Navegación
Frecuencias	1572.42 MHz y 1227.6 MHz (L-Band) 2227.5 MHz (S-Band)
ESPECIFICACIONES DE TRANSPORTE	
Empresa constructora	Lockheed Martin
Plataforma	Based on AS-4000
Masa de lanzamiento	2032 kg (4478 lbm)
Vida útil	10 años
ESTRUCTURA	
Dimensiones (H x W x L)	152 x 193 x 191 cm
Construcción	Paneles hexagonales de aluminio
SISTEMA DE ENERGIA	
Potencia Nominal	1.136 kw
Paneles solares	2 paneles usando celdas de silicio
Baterías	2 - NiH2
SISTEMA DE CONTROL DE POSICION	
Estabilización	Estabilizado en 3 ejes

NAVSTAR GPS/Satélites Bloque IIF	
<b>CAPACIDAD NOMINAL</b>	
Tipos de servicios	Navegación
Frecuencias	1572.42 MHz y 1227.6 MHz (L-Band) 2227.5 MHz (S-Band)
<b>ESPECIFICACIONES DE TRANSPORTE</b>	
Empresa constructora	Boeing
Plataforma	
Masa de lanzamiento	
Vida útil	15 años
<b>ESTRUCTURA</b>	
Dimensiones (H x W x L)	244 x 197 x 197 cm
Construcción	
<b>SISTEMA DE ENERGIA</b>	
Potencia Nominal	2.440 kw
Paneles solares	
Baterías	
<b>SISTEMA DE CONTROL DE POSICION</b>	
Estabilización	Estabilizado en 3 ejes

*Fig. 25. Características de los diferentes bloques de satélites*

#### **2.2.1.1.1 Puesta en órbita**

Hasta ahora la puesta en servicio de cada satélite se ha realizado con dos tipos de cohetes los Atlas F y Delta 2.

El lanzamiento se realiza en distintas fases. La primera y segunda etapa sitúan al satélite en “órbita de aparcamiento”, una órbita elíptica con apogeo y perigeo a 870 y 180 km. de altitud respectivamente, quedando la tercera etapa del cohete y su carga útil (satélite). La tercera etapa se sitúa en “órbita de transferencia” a 20.180 Km, con fuerte excentricidad. Los cohetes de maniobra del satélite retocan hasta establecer la órbita de servicio definitiva. Desde el control en tierra evidentemente se puede manipular el funcionamiento, permitiendo corregir la órbita o incluso cambiar la posición dentro de la propia órbita.

#### **2.2.1.1.2 Relojes u osciladores**

Los relojes son la fuente de la frecuencia, patrón de generación de las frecuencias emisoras L1 y L2.

Los tipos de reloj pueden ser: Oscilador de cristal de cuarzo, de rubidio o de cesio y máser de hidrógeno.

Por bloques, las características de los relojes han sido:

- Los satélites del Bloque I pesaban más de 400 kg. de los 10 satélites que lo componían, 4 llevaban oscilador de cuarzo, 3 de rubidio y 3 de cesio.
- Los del Bloque II, pesan unos 800 kg. llevan 2 paneles solares de 7,2 m<sup>2</sup> y 700 vatios de potencia. Todos incorporan osciladores atómicos, de cesio o de cesio y rubidio. Normalmente tienen dos patrones de frecuencia cesio y dos patrones de frecuencia rubidio.
- Los del bloque III, posiblemente llevarán osciladores de máser de hidrógeno.

Tipo de reloj	Frecuencia de oscilación (GHz)	Estabilidad por día ( $\Delta f/f$ )	Tiempo para perder un segundo
Oscilador de Cristal de Cuarzo	0.05	$10^{-9}$	30 años
Rubidio	6834682613	$10^{-12}$	30000 años
Cesio	9192631770	$10^{-13}$	300000 años
Máser de Hidrógeno	1420405751	$10^{-15}$	30000000 años

Fig. 26. Precisión de los relojes

### 2.2.1.1.3 Identificación del Satélite

La identificación de los satélites se puede hacer por varios sistemas:

- Por el número NAVSTAR (SVN). Es el número de orden de lanzamiento.
- Por el número de órbita.
- Por el número de catálogo NASA.
- Por la identificación internacional constituida por el año de lanzamiento, el número de lanzamiento en el año y una letra según el tipo.
- Por el número IRON. Número aleatorio asignado por la Junta de Defensa Aérea Norteamericana (NORAD) de Estados Unidos y Canadá.

Pero la forma generalizada de identificarlos es por su PRN o ruido pseudoaleatorio, que es característico de cada satélite NAVSTAR.

Los últimos satélites son mucho más fiables que los de la primera generación. Tienen sistemas alternativos computables desde tierra.

Un satélite queda fuera de servicio por avería o envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no computables en los sistemas eléctricos o agotamiento del combustible de maniobra y recuperación de órbita.

#### 2.2.1.1.4. Tiempo GPS

- Mantiene una desviación constante de 19 segundos SI con el TAI.
- Coincidió con UTC en la época inicial de TGPS, enero 6,0 de año 1980.
- Unidad: el segundo SI.
- Escala uniforme y continua.
- Unidad derivada: la semana GPS, cuya numeración empezó en la época inicial (6-1-80), y que comprende 604.800 segundos internacionales.
- La diferencia entre el GPST y UTC no es constante. Se relacionan a través de los “segundos intercalares”.

Veremos que el control de tiempos en GPS es el principal factor de imprecisión. Por otra parte, el GPS es una herramienta muy válida para la transmisión de tiempos.

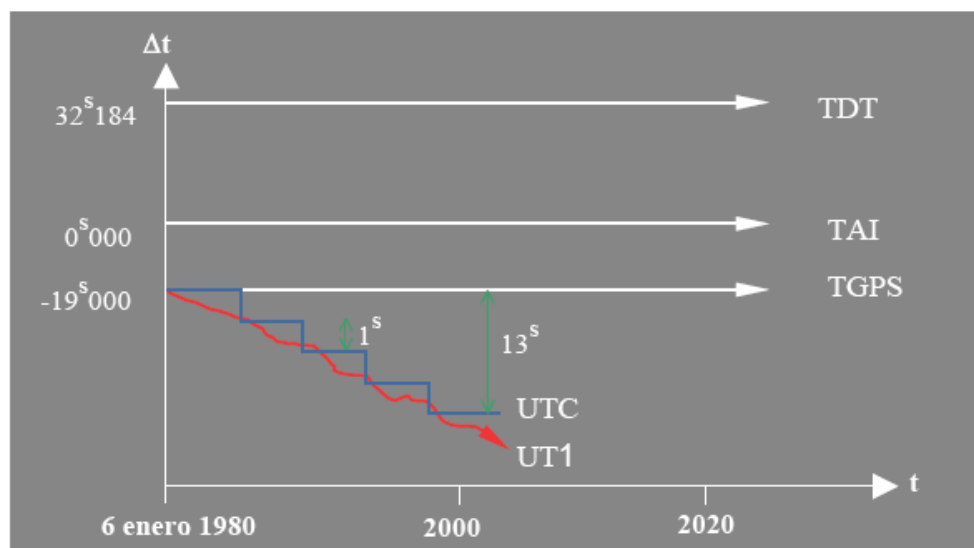


Fig. 27. Relación de escalas de tiempo con tiempo GPS

### Unidades derivadas del tiempo GPS

- Día de Año (DOY): número del día dentro del año calculado en el intervalo 1-365, 1-366 en bisiestos.
- Semana GPS (GPS week): semanas transcurridas desde el 6 de enero de 1980 a 0h de UTC.
- Día de semana: numeración de días dentro de cada semana en la que corresponde el 0 para el domingo y el 6 para el sábado.
- Ejemplo de denominación GPS para el 21 de junio de 2003 a 0h de UTC
  - Día de Año (DOY): 172
  - Semana GPS (GPS week): 1223
  - Día de semana GPS: 6 (sábado)

#### **2.2.1.1.5 Señales transmitidas**

Cada satélite transmite señales en dos frecuencias, siendo éstas las señales de navegación (códigos) y los datos de navegación y sistema (mensaje). Los códigos son modulados sobre la frecuencia portadora en forma de secuencias llamadas "ruido pseudoaleatorio" o "pseudorandomnoise" (PRN). Las dos frecuencias portadoras en la banda L (valores usados están en la banda L de radiofrecuencias que abarcan desde 1 Ghz hasta 2 Ghz) son derivadas de la frecuencia fundamental de 10,23 MHz:

- L1:  $154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz}$  ( $\lambda = 19,05 \text{ cm}$ )
- L2:  $120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz}$  ( $\lambda = 24,45 \text{ cm}$ )

La señal L1 contiene dos códigos: el código de alta precisión P y el código menos preciso C/A (courseadquisition). La señal L2 sólo contiene el código P. Todos estos detalles se desarrollarán en siguientes temas con más detalle.

#### **2.2.1.1.6 Disponibilidad**

Cuando en 1973 nace el proyecto que culminó en el sistema GPS, se pensó que ofrecería precisiones de 10 a 20 m en el posicionamiento preciso (PPS), en tiempo real. Después se vio que estas precisiones eran alcanzables en el posicionamiento estándar (SPS) destinado a usuarios civiles.

Para preservar los intereses militares se pensó degradar a 100 m la precisión en el SPS mediante lo que se denominó (SA) disponibilidad selectiva (se activó en 1990).

Con la SA activada el sistema ofrece precisiones horizontales absolutas de 100 m durante el 95% del tiempo y no peores de 300 m el 99.9% del 5% remanente.

Para llevar la SA a cabo, se actúa sobre la información enviada en el mensaje correspondiente a estados de relojes y a parámetros orbitales, como veremos posteriormente. La información sobre estos estados sufre unas variaciones de corto y largo periodo, y en los parámetros orbitales se introducen errores que generan variaciones de largo periodo entre la situación real del satélite y la nominal.

El 1 de mayo de 2002 se quitó definitivamente la SA, de tal forma que el posicionamiento absoluto con código se puede decir que está actualmente en 5 m.

#### **2.2.1.2 El segmento de control.**

Opera y monitoriza el sistema GPS. Este segmento tiene la función de realizar el seguimiento continuo de los satélites, calcular su posición precisa desde puntos de situación conocida, la transmisión de datos y la supervisión necesaria para el control diario de todos los sistemas de satélites.

Para los satélites de la constelación NAVSTAR hay cinco estaciones de seguimiento: la estación maestra de Colorado Springs y otras cuatro secundarias distribuidas homogéneamente.

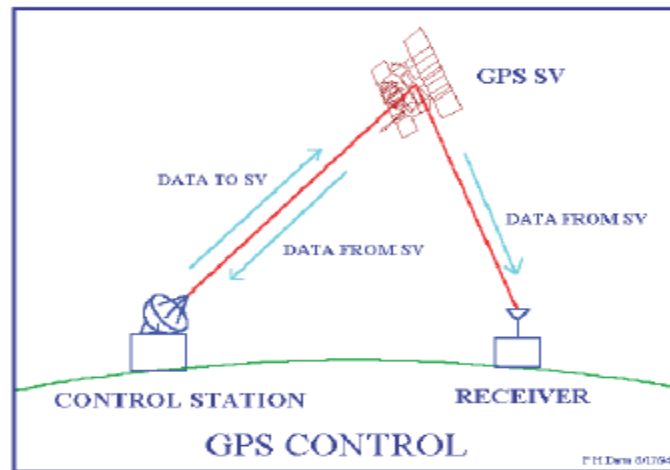


**Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network**

*Fig.29 . Puntos de control. Estaciones de Seguimiento*

Estas estaciones reciben continuamente las señales de los satélites que estén sobre el horizonte, estableciendo con gran precisión las órbitas de éstos. Estos datos se envían a la estación principal o maestra donde se procesan y calculan las efemérides, los estados de relojes y todos estos datos son transmitidos y se almacenan en la memoria del correspondiente satélite, formando parte esencial del mensaje-satélite para su radiodifusión.

La sincronización del tiempo de los satélites es una de las misiones más importantes del segmento de control. Por ello la estación principal de control está conectada directamente con el tiempo estándar del Observatorio Naval de los Estados Unidos (USNO).



*Fig. 30. Transmisión de datos desde estación de control*

Los datos que son calculados y posteriormente extrapolados al usuario son básicamente:

- Efemérides Transmitidas (posiciones de los satélites) o parámetros orbitales de cada satélite.
- Datos Ionosféricos-troposféricos
- Estados de los relojes de los satélites

Una vez determinados los parámetros anteriores, la misión es emitirlos a los satélites para que éstos puedan transmitirlos a los usuarios. También prevén y realizan maniobras, lanzamientos, reprogramaciones, desactivaciones.

Por lo tanto, hay tres tipos de instalaciones: Estación Maestra de Control (MCS), Estaciones Monitoras (MS) y Antenas Terrestres.

La Estación Maestra de Control (MCS), localizada en la base aérea de Falcon en Colorado, mantiene las operaciones permanentemente, siendo responsable de todos los aspectos de control de la constelación, entre los que incluye:

- ✓ Monitorización y control de todos los satélites.
- ✓ Mantenimiento y solución de problemas en los distintos satélites.
- ✓ Monitorización y control del cumplimiento del estándar de posicionamiento GPS.
- ✓ Actualización de los mensajes de navegación necesarios para mantener los requisitos de precisión en el sistema.

Las Estaciones Monitoras reciben en todo momento las señales transmitidas por los satélites visibles y obtienen la información necesaria para calcular con gran precisión las órbitas de los satélites.

Una vez enviados estos datos a la Estación Maestra, ésta calcula las efemérides de los satélites con un error menor de 1 m en sentido radial, 7 m en el de la trayectoria y 3 m en la perpendicular a la misma. Todo ello es incluido en el *mensaje de navegación*.

En cuanto a los **Segmento de Control Independientes o Segmentos Terrestres**, los datos que calculapueden ser:

- ✓ Efemérides Precisas

- ✓ Correcciones estados de los relojes
- ✓ Datos Ionosféricos - troposféricos
- ✓ Parámetros de rotación terrestre.

El principal Segmento Terrestre lo constituye la Red global del International GPS Service (IGS), generando productos IGS sobre marcos de referencia para coordenadas, efemérides orbitales, parámetros de rotación de La Tierra. También Redes permanentes Regionales (Europa-EUREF, SIRGAS), densificación de marcos de referencia.

#### **2.2.1.2.1 Efemérides precisas**

El aspecto más importante para nosotros de este último segmento son las llamadas efemérides precisas, así como los Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP).

La precisión de las efemérides transmitidas por el mensaje de navegación es limitada. Para mediciones de alta precisión es posible usar efemérides precisas calculadas a partir de los registros de estaciones permanentes GPS, a posteriori.

Estos organismos, con su propia red de estaciones de control en Tierra, calculan sus propias efemérides, con precisión que pueden llegar a ser del orden de algunos cm, ya que la precisión de las transmitidas en tiempo real es del orden de 1 m.

Conocidas con gran precisión las posiciones de una serie de puntos en Tierra, se obtienen las posiciones de los satélites observando sus señales.

Entre estos centros, los cuales están englobados en el IGS, están:

- ✓ Center for Orbit Determination in Europe (CODE), Suiza
- ✓ Natural Resources Canada (EMR), Canadá
- ✓ European Space Agency (ESA-ESOC), Alemania
- ✓ Geoforschungs Zentrum Institute (GFZ), Alemania
- ✓ Jet Propulsion Laboratory (JPL), USA
- ✓ National Geodetic Survey (NGS), USA
- ✓ Scripps Institution of Oceanography (SIO), USA.

TIPOS DE ÓRBITAS	CALIDAD (M)	RETRASO EN DISPONIBILIDAD	DISPONIBLE EN
Órbitas emitidas	3 m	Tiempo Real	Mensaje de navegación
Órbitas predichas por el CODE	0.20m	Tiempo Real	CODE a través de FTP
Órbitas rápidas por el CODE	0.10m	Después de 16 horas	CODE a través de FTP
Órbitas ultrarápidas del IGS (igu)	0.15m	Después de 3 horas	Centros de Datos del IGS
Órbitas rápidas por el IGS (igr)	0.10m	Después de 24 horas	Centros de Datos del IGS
Órbitas finales por el IGS (igs)	0.05m	Después de 11 días	Centros de Datos del IGS

*Fig. 31. Disponibilidad de efemérides y precisión en el IGS.*

### 2.2.1.3 El segmento de usuario

Lo constituyen todos los receptores GPS y sus programas de procesos de datos.

Hace tan solo 20 años, la oferta de equipos GPS para fines topográficos y geodésicos era muy reducida. En la actualidad hay más de 100 receptores diferentes en el mercado, la oferta de modelos va en continuo aumento, lo que dificulta una descripción general. Su finalidad es igualmente variada y sus características son acordes con ella: navegación, topografía y geodesia, y transferencia de hora.

A la hora de elegir un equipo habrá que tener en cuenta una serie de consideraciones como el tipo de observables que es capaz de registrar, la capacidad de memoria, el peso, tamaño, consumo, etc.

Presentan determinados principios comunes y contienen los elementos suficientes para recibir la señal y procesarla.

- Los componentes imprescindibles son: Antena (preamplificación), Sección de RF (Radio Frecuencia), Microprocesador, Oscilador y Fuente de Alimentación. Dispositivo de control, Dispositivo de almacenamiento.
- Los elementos accesorios son: Interfaz de usuario, Memoria, Dispositivos de puesta en estación, Puertos.

#### 2.2.1.3.1 Antena y circuito de antena

Objetivo: Verdadero “sensor”, convertir la radiación electromagnética procedente de los satélites en señal eléctrica y viceversa. La misión de la antena con su preamplificador es convertir la señal electromagnética recibida en una corriente eléctrica y amplificarla para que pueda ser tratada en la etapa de radiofrecuencia.

- ✓ Debe ser omnidireccional y tener un circuito de preamplificación. La señal preamplificada debe ser conducida por un cable blindado y de longitud limitada (10 – 30 cm.). Si se supera la distancia ha de intercalarse otro amplificador.
- ✓ Diseñadas para L1 o L1 y L2 como portadoras.
- ✓ El tipo más frecuente es el denominado *microstrip*.
- ✓ Su diseño debe conseguir una variación mínima del centro de fase (variable con la elevación del satélite y las frecuencias), lo veremos en el capítulo de fuentes de error en GPS.
- ✓ El centro eléctrico debe ser muy próximo al centro físico (mecánico). Especialmente importante en la aplicación del método cinemático o dinámico (navegación).
- ✓ Calibración por una orientación y diferentes alturas de satélite en trabajos geodésicos o geodinámicos, tablas de excentricidad y variación del centro de fase (PCV- Phase Center Variation). Orientación común en trabajos geodésicos.
- ✓ Plano de tierra y/o chock-rings para evitar multitrayectoria.

#### **2.2.1.3.2 Sección de radiofrecuencia - RF**

Comúnmente conocida con el nombre de “canales”. El objetivo es recoger la señal eléctrica de los satélites que llega desde la antena y seguirla en todo momento sin interrupciones por uno o varios canales.

Tipos:

- Multicanal: Seguimiento continuo en tantos canales como satélites.
- Tiempo Compartido: Sigue los satélites secuencialmente, manteniendo en cada satélite el seguimiento entre 0.5 y 2.0 sg.; 20 sg. en blanco
- Multiplexado: Secuencial. Un solo canal mantiene seguimiento en cada satélite durante 1/200 sg. Recoge datos en todo momento.

La sección de RF es el “corazón” del receptor, la primera función es discriminar la señal de cada satélite a través del código C/A único. En general, las señales de entrada se asignan a canales diferentes. Los elementos fundamentales son los “osciladores”, que se utilizan para:

- Generar frecuencias de referencia
- Multiplicadores o divisores de frecuencia.
- Filtros para eliminar frecuencias no deseadas.
- Mezcladores, mezcla de 2 frecuencias  $f_1$   $f_2$  con amplitudes  $a_1$   $a_2$  procedente de dos osciladores  $y_1$   $y_2$ .

### **2.2.1.3.3 Microprocesador**

Controla todo el sistema. Permite el trabajo en tiempo real (navegación) utilizando pseudodistancias, calculando continuamente la posición según el funcionamiento básico por trilateración del GPS.

- Controla además la operación del receptor, incluyendo:
  - Adquisición de la señal
  - Procesamiento de la señal
  - Decodificación del mensaje de navegación.

Otras funciones adicionales pueden ser:

- Cálculos de posiciones absolutas
- Velocidades, rumbos, distancias.
- Conversiones de datums o sistemas de referencia, etc.

### **2.2.1.3.4 Oscilador**

Es el encargado de generar la frecuencia patrón para control del reloj y réplica de códigos y longitudes de onda GPS.

- Típico de cuarzo, precisión nominal  $10^{-9}$
- Puede ser una frecuencia externa: Cesio, Rubidio, Máser de Hidrógeno, que mejore la precisión del oscilador del receptor GPS.

#### **2.2.1.3.5. Fuente de alimentación**

Elemento encargado de aportar la energía eléctrica para los demás componentes del receptor, ya sea batería recargable directamente a la red eléctrica.

- Es un punto esencial en el trabajo de campo.
- Supone el “mayor” peso adicional para trabajos continuados en jornadas largas.
- Algunos modelos integran el propio módulo de alimentación. Incluso se pretende usar “pilas desechables”.
- Dispositivos de alimentación dual para no interrumpir el trabajo del receptor.

#### **2.2.1.3.6. Dispositivo de Control**

- El medio de comunicación con el receptor.
- Asignación de parámetros de trabajo.
- Diagnósticos.
- Mensajes de funcionamiento.
- Dispone de un teclado reducido

#### **2.2.1.3.7. Dispositivo de Almacenamiento**

- Dispositivos “no volátiles” de registro de datos de navegación y observables. En algunos casos posicionales.
- Intercambiables (PCMCIA) o fijos. Secuenciales (cíclicos o no).
- Interfaces por descarga o almacenamiento directo en computador externo (data logging).

#### **2.2.1.4 Interfaz de Usuario**

Es el encargado de garantizar la comunicación entre receptor y usuario o viceversa. Generalmente constituidos por un teclado y una pantalla que permiten, entre otros aspectos, visualizar:

- ✓ Comprobar el aparato en el momento de su arranque: comprobación interna, auto calibrado.
- ✓ Satélites localizados, en seguimiento por canales, acimuts, elevaciones.
- ✓ Tiempo GPS, semana GPS, día de año (DOY).
- ✓ Intensidad de la señal recibida (SNR).
- ✓ Condiciones de salud en los satélites: fallos en el mensaje, portadoras, modulación.
- ✓ Número de registros almacenados de cada satélite por el receptor (épocas).
- ✓ Pequeños cálculos con los satélites y el almanaque - Bondad de la geometría.
- ✓ Gestor de archivos almacenados.
- ✓ Gestión de sesiones o misiones de trabajo.
- ✓ Información y conmutación de las fuentes de alimentación.
- ✓ Puertos de comunicaciones y transmisión de datos. Configuración.
- ✓ Información del software interno (firmware).
- ✓ Posición actual (navegación, sólo código con pseudodistancias).
- ✓ Dirección y velocidad.
- ✓ Progreso de la observación.
- ✓ Opción de la observación elegida: estática, dinámica, número mínimo de satélites, altura de máscara, intervalo de registro, parámetros.
- ✓ Nombre, número sesión, estación, archivo.

#### **2.2.1.4.1 Memoria**

- Dispositivo de almacenamiento de los parámetros de configuración y trabajo del receptor. Almanques, sesiones de observación, misiones.
- Almacenamiento de los archivos de datos para su posterior procesamiento. Tiempo, diferencias de fase y pseudodistancias.
- Externa (tarjetas, cintas) o Interna (estado sólido).
- Memoria diferida: Ordenadores, Dataloggers.
- Capacidad: Datos de 6 satélites tomados cada segundo representan 1,5 Mb/h.

#### 2.2.1.4.2 Dispositivo de Puesta en Estación

- Basada en estacionamiento sobre pilar.
- Trípode + plataforma nivelante + plomada óptica.
- Jalón o poste nivelado.
- Incorporado al vehículo, aeronave o navío.



Fig. 32. Antena sobre trípode

#### 2.2.1.4.3 Dispositivo de transmisión

Se encarga de transmitir en ‘tiempo real’ los datos registrados por el receptor: Ordenador, enlace de radio, radio-módem, RTK, DGPS.

### 2.3 USOS DEL GPS

En este capítulo se hace una relación de los principales campos de aplicación del GPS, con algunos casos concretos descritos en cada apartado. Es evidente que para nosotros, las aplicaciones fundamentales inciden en el campo de la Geodesia, Topografía y Cartografía. Hay que tener en cuenta que el GPS es un sistema de usomúltiple.

#### 2.3.1 Geodesia.

- Formación y observación de nuevas redes geodésicas.
- Densificación.
- Control y mejora de redes.
- Determinación y ajuste del geoide.
- Determinación de los parámetros de rotación, movimiento del polo, definición y mejora de Marcos y Sistemas de Referencia (ITRF). todos los productos del IGS.

- Monitorización de mareógrafos en t real.

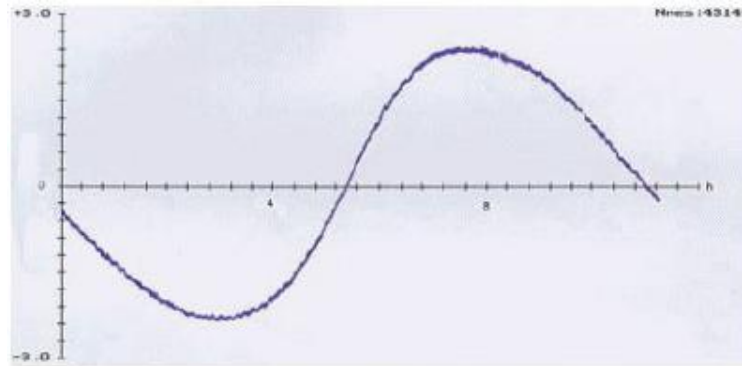


Fig. 1. Mareograma con GPS sobre boya.

### 2.3.1.1. Ejemplo: determinación directa del geode con GPS

- Con el uso masivo del GPS, la importancia del conocimiento del geode, (Geodesia Física), ha vuelto a recobrar una gran importancia.
- La facilidad de usar las observaciones GPS combinadas con las medidas clásicas de nivelación para determinar un geode de precisión ha sido utilizado en numerosos trabajos.
- El conocimiento práctico de perfiles del geode combinando observaciones de nivelación y GPS, no presenta ningún problema complejo, de forma que entre dos puntos P y Q en los que se ha realizado observación GPS, la diferencia de ondulación del geode entre los puntos P y Q vendrá dada por:

$$\Delta N_{PQ} = N_Q - N_P = (h_Q - H_Q) - (h_P - H_P) = (h_Q - h_P) - (H_Q - H_P)$$

obteniendo de esta forma perfiles del geode a lo largo de líneas de nivelación.

#### Precisión a priori

- El error medio cuadrático en la determinación de  $\Delta N_{PQ}$  vendrá dado por:

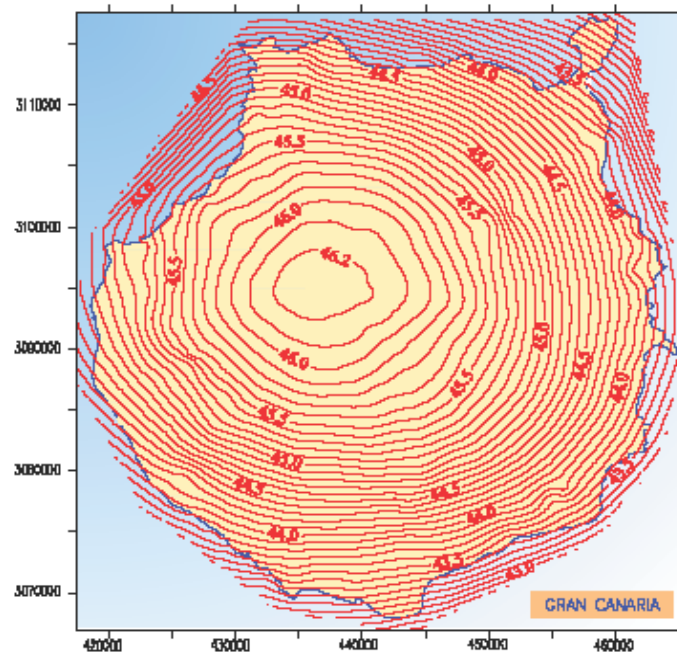
$$s_{\Delta N} = \pm s_{\Delta h}^2 + s_{\Delta H}^2$$

- Para una línea base de unos 10 kilómetros, la precisión de GPS, aunque depende de infinitos factores y del método elegido, como se ha visto anteriormente, puede ser de 2 o 3 cm, mientras que la precisión de la nivelación, llega a ser de 1 cm, siendo el error medio cuadrático final en el punto:

$$s_{\Delta N} = \pm 0,03 \text{ metros}$$

lo cual pone en evidencia la potencia del método para la determinación de un geoide de precisión.

Estimando los valores de N en puntos con doble juego de altitudes, se pueden extrapolar mediante algún método estadístico a una malla regular de puntos (grid) para su posterior explotación.



### 2.3.2. Geodinámica

- Estudios locales de corrimiento de laderas y monitorización de accidentes geológicos inestables.
- Definición de campos de velocidades de las placas terrestres.
- Estudios de variación del nivel medio del mar.
- Estudios de rebote pos glacial (Escandinavia).
- Análisis de deformaciones y supervisión local de deformaciones y movimientos verticales.
- Asentamiento de terreno en zonas de minas o campos petrolíferos.
- Monitorización de volcanes, sismos, glaciares.

### **2.3.2.1. Ejemplo: Uso de GPS para control de movimientos en plataformas petrolíferas en alta mar**

La despresurización de un yacimiento marino por la extracción de petróleo o gas puede causar el hundimiento del lecho marino. Shell ha montado en sus plataformas del Mar del Norte receptores geodésicos permanentes para su evaluación continua.

Se hace un cálculo con estaciones fijas en la costa noruega (baselíneas superiores a 1000 Km).

Objetivo: detectar el 99% de los movimientos verticales > 3 cm (0.1% tolerancia de falsas alarmas) y el 50% de los movimientos verticales > 1 cm (10% tolerancia falsas alarmas).

Se ha desarrollado un procedimiento completamente automatizado, con cálculo continuo en tiempo real.

### **2.3.2.2. Ejemplo: Southern California Integrated GPS Network (SCIGN)**

- La primera red mundial GPS para monitorización de riesgos sísmicos y control de deformaciones en la zona de Los Ángeles.
- Más de 250 estaciones GPS operando continuamente junto con 350 sismógrafos.
- Participan NASA/JPL, US Geological Survey, Southern California Earthquake Center y Universidades de EEUU.
- Está dirigida a control de fallas activas y deformación permanente no detectable por sismógrafos, con vistas a estudios de prevención sísmica. También estas deformaciones locales implican el conocimiento más preciso de mecanismos focales de fallas.
- Se procesa con GIPSY series de 24 horas.

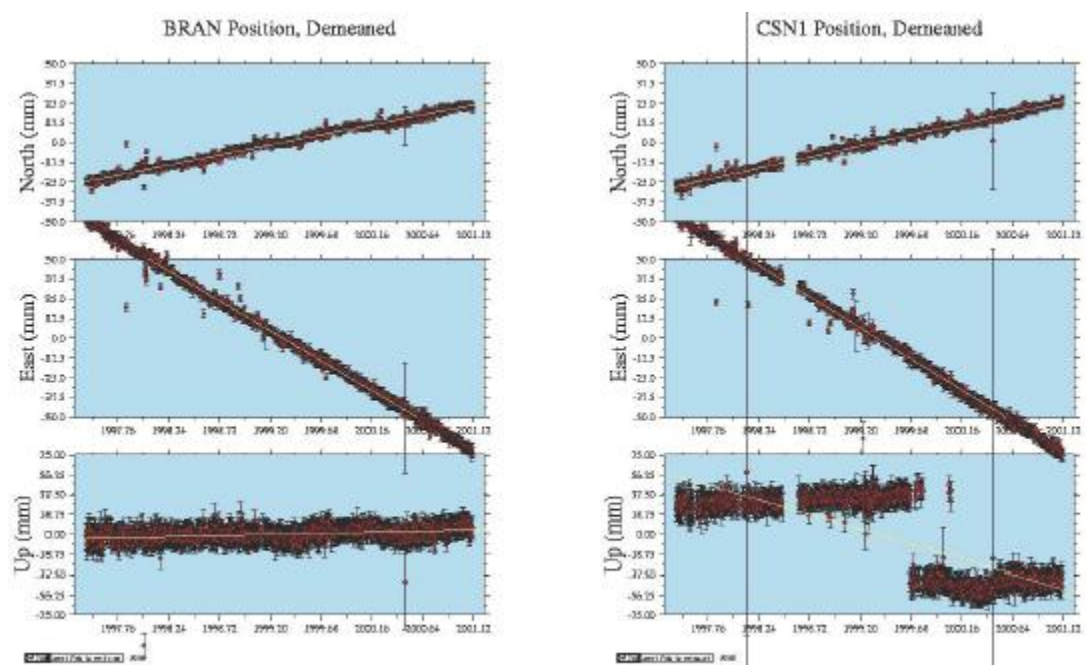
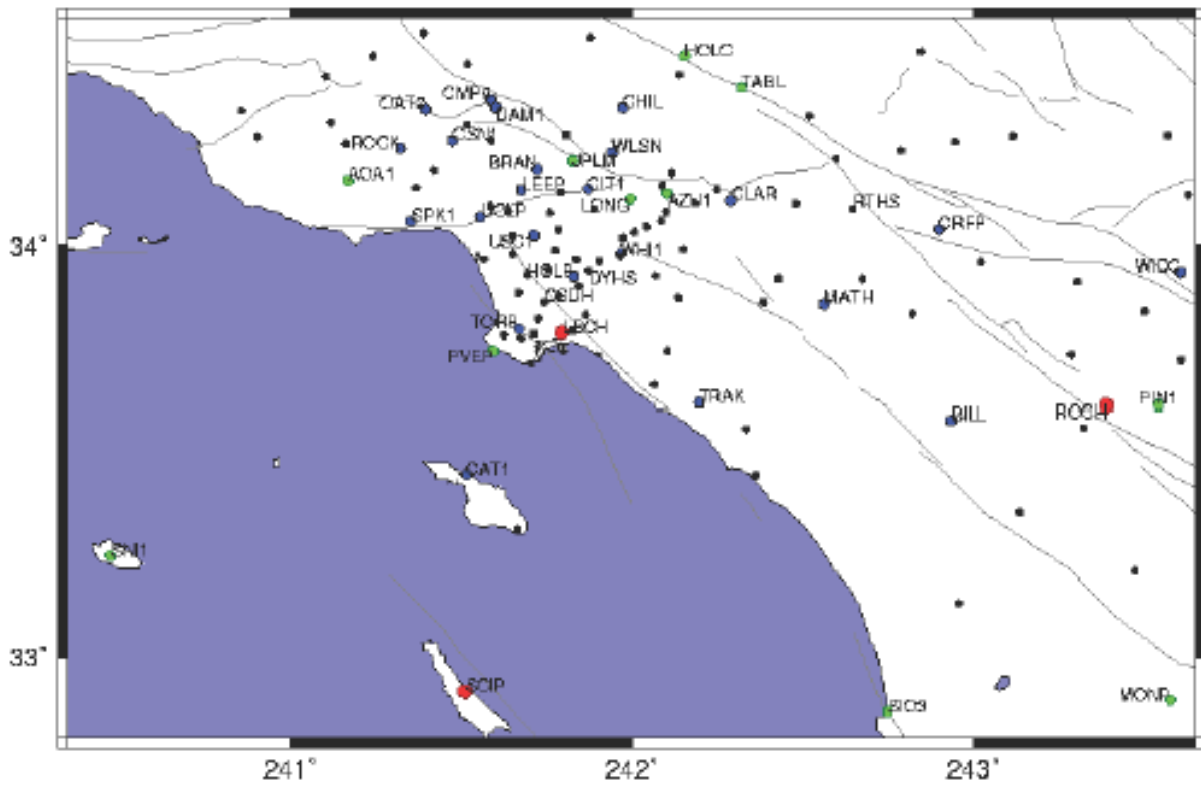


Fig. 3. Situación de las estaciones y series temporales

### **2.3.2.3. Ejemplo: COSMOS y Grapes (Japón)**

- ✓ Desde 1993 una red similar está operando en Japón.
- ✓ Dos redes, una local y otra global.
- ✓ La red COSMOS está diseñada para predicción de sismos.
- ✓ Procesamiento automático con BPE.
- ✓ Ampliación hasta 600 estaciones (datos 1996).

### **2.3.3. Topografía, Cartografía y SIG.**

- ✓ Levantamientos terrestres y marinos: gran ventaja en levantamientos batimétricos.
- ✓ Actualización de cartografía escalas medias y pequeñas con receptores bajo coste.
- ✓ Adquisición de datos para GIS.
- ✓ Fotogrametría aérea, radar.
- ✓ Control dimensional de cartografía.

#### **2.3.3.1. Ejemplo: Aplicación del GPS en la fotogrametría.**

El uso de GPS aerotransportado empleando técnicas on-the-fly (OTF) ha reducido considerablemente el número de puntos de control fotogramétricos. Actualmente los sistemas están formados además por sistemas inerciales de navegación (INS), que proporciona las orientaciones.

#### Puntos de apoyo fotogramétricos:

- Mejora considerablemente el rendimiento: Con un receptor fijo y dos móviles, mediante estático rápido o RTK, se puede triplicar el rendimiento que con clásica.
- No se necesita intervisibilidad: elección de estaciones con total flexibilidad, según necesidades y no en función de condicionantes orográficos.
- Elección de los puntos en gabinete, de antemano, se pueden llevar pinchados los puntos, quedando únicamente su estacionamiento.
- Configuración geométrica de los puntos óptima.

#### Aero triangulación con datos GPS.

- Objetivo: determinación de los centros de proyección: menor número de puntos de apoyo.
- Un receptor en tierra y otro con antena cinemática en avión.

- Registro de datos cada 0.5 – 1 seg, código y fase (L1 o L1&L2).
- Precisión final decimétrica.
- Determinación de los centros de fase de la antena del receptor móvil respecto de la estación fija o de referencia para cada época.
- Cámara aérea con compensación de arrastre imagen y generación de impulsos de acoplamiento al sistema GPS.
- El cálculo se realiza por pasadas, fijando para cada una de ellas ambigüedades aproximadas calculadas a partir de una posición del receptor móvil por medidas sobre código diferencial. Fijadas unas ambigüedades aproximadas, supuestamente constantes a lo largo de la pasada, se determina la solución precisa sobre las medidas de fase de la frecuencia L1.

#### Proceso de cálculo de datos GPS cinemáticos:

- Determinación de los centros de fase de la antena respecto a la estación fija. Se calcula primero una solución aproximada procesando código diferencial C/A para inicialización del proceso de fase diferencial.
- Pos proceso de las medidas de código y fase (L1) y cálculo de la solución precisa. Las ambigüedades se determinan mediante posicionamiento de pseudodistancias del código C/A y como consecuencia todas las pasadas contienen sesgos.
- Cálculo de la posición de los centros de fase de la antena en el instante de toma fotográfico de la cámara (interpolación polinómica).
- Cálculo de la posición del centro de proyección fotogramétrico. En esta fase es necesario conocer la excentricidad de la antena (offset de antena) o distancia antena centro de proyección.

#### Ajuste del bloque

- Los datos GPS cinemáticos se integran directamente como observaciones adicionales en un cálculo de Aerotriangulación con Ajuste del Bloque Combinado.
- En la integración de los datos de posición de la cámara, en aerotriangulación mediante ajuste combinado, se suponen conocidos los centros de proyección y los instantes de toma de cada fotograma como datos de entrada en el fichero de control de la aerotriangulación.
- Ayuda de sistemas de sensores inerciales (INS).

Errores debidos a los datos GPS cinemáticos cuando se integran en el cálculo de Aerotriangulación:

- Problemas de Datum. Parámetros de transformación del sistema WGS84 al sistema cartográfico oficial (local).
- Calibración del offset de antena.
- Resolución incorrecta de la ambigüedad de ciclos inicial de cada pasada.
- Interrupciones de señal. Salto de ciclos por pérdida de señal con la referencia.
- Errores sistemáticos de la cámara métrica (longitud focal calibrada y desplazamiento del punto principal).

## **2.4 UTILIZACIÓN DEL GPS EN OBRAS DE INGENIERÍA**

- ❖ Operaciones en la construcción: levantamientos, cubicaciones, perfiles, replanteos... (RTK).
- ❖ Control de deformaciones de estructuras.
- ❖ Guiado y control de elementos de maquinaria de obras públicas.

### **2.4.1 Ejemplo: Instrumentación continua de los desplazamientos producidos en las pruebas de carga del Nuevo Puente de Ventas: Aplicación del GPS al comportamiento de estructuras**

- Objetivo: Analizar si las técnicas GPS pueden ser utilizadas para la determinación continua de deformaciones. Aplicación en la instrumentación continua de los desplazamientos producidos en las pruebas de carga del Nuevo Puente de Ventas.
- Comprobar que las estructuras construidas respondían a como se proyectaron.
  - Medición continua de los desplazamientos según se vaya modificando el tren de cargas.
  - Obtener redundancia suficiente como para poder realizar los estudios estadísticos que ofrezcan idea de la precisión alcanzada.
- Analizar la posibilidad de la utilización de las técnicas de observación GPS al control de movimientos en estructuras, comprobando su alcance y precisión: Metodología de instrumentación continua de estructuras de obra civil.
- Analizar los desplazamientos no sólo en sentido vertical, sino también desplazamientos relativos en sus demás componentes.

### Ventajas del uso del GPS:

- Sistema de Referencia absoluto exterior independiente de el de la propia obra.
- Registro de datos de forma automática, continua y sencilla.
- Análisis de desplazamientos en sentido vertical, lateral y longitudinal a la estructura, todo al mismo tiempo.
- Localización de los equipos en estructura es independiente y versátil.



*Fig. 4. Pruebas de carga y test con GPS del puente.*

- Automatización total con la transmisión de los datos registrados en tiempo real a una oficina de control de evolución de la estructura.
- Los sensores GPS operan en amplio margen de condiciones atmosféricas sin influencia apreciable.
- Distancias entre puntos de control y de referencia no limitadas a su intervisibilidad, tolerando mayor longitud.
- No están influenciados por derivas.

### Señalización

- Red de Puntos de Control: Replanteo de 10 nodos sobre las estructuras a fin de observar en ellos los desplazamientos.
- Centros de vanos e intermedios.
- Movimientos del tren de cargas. Obstáculos.
- Dispositivo de auto centrado.
- Red de Puntos de Apoyo: 4 puntos exteriores para calcular los vectores a los puntos de control.
- Estabilidad temporal. Obstáculos.

### Observación GPS de las pruebas de carga

- Estacionamiento previo de receptores.
- Red de Apoyo y Puntos de Control de centros de vano con aparatos de doble frecuencia.

<b>Cronograma Estructura 3</b>			
<b>Posición</b>	<b>Comienzo</b>	<b>Fin</b>	<b>Estado</b>
1	22:29:04	22:35:08	Vicio
2	22:35:08	22:40:05	Carga 1° camil
3	22:40:05	22:43:32	Carga 2° camil
4	22:43:32	22:44:06	Carga 3° camil
5	22:44:06	22:59:26	Carga completa
6	22:59:26	23:11:00	Descarga 3° camil
7	23:11:00	23:18:06	Descarga 2° camil
8	23:18:06	23:24:58	Descarga 1° camil
9	23:24:58	23:34:00	Recuperación

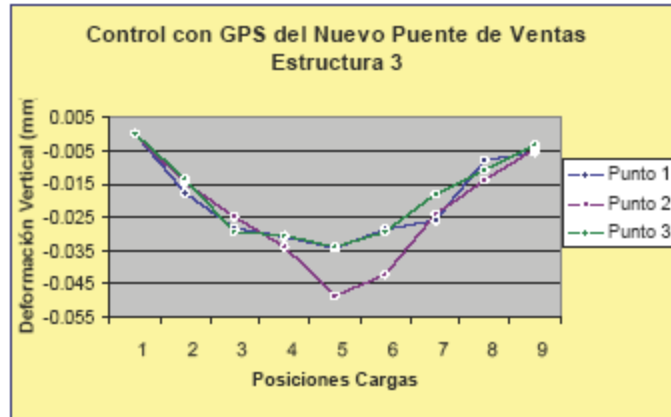
*Fig. 5. Cronograma de observaciones.*

- Programación intervalo muestreo de datos de 1 segundo.
- Determinación de posición inicial.
- Cronograma de las observaciones.
- Observación con flexímetros en alguno de los Puntos de Control.
- Observación en 9 posiciones diferentes de carga.

### Cálculo de los vectores de desplazamiento

- Cálculo de vectores entre Red de Referencia y Puntos de Apoyo.
- Cálculo de vectores a los Puntos de Control en sus distintas posiciones desde los Puntos de Apoyo.
- Ajuste tridimensional conjunto ponderado constreñido sobre la Red de Referencia de todos los vectores calculados.
  - 30 subredes, 786 observables.
  - 306 parámetros, 480 grados de libertad.

- Coordenadas cartesianas sobre el plano UTM.
- Desviación estándar media 3 mm horizontal, 5 mm vertical.
- Resultados conformes con las observaciones de flexímetros.
- Variaciones de los desplazamientos correladas para los puntos de una misma estructura.
- Medida de la remanencia final.



*Fig. 6. Deformación vertical.*

### Conclusiones

- Se han podido medir, mediante técnicas GPS, los desplazamientos verticales de las estructuras, con la precisión estimada a priori.
- Se obtienen también desplazamientos laterales y longitudinales.
- No hace falta intervisibilidad entre puntos.
- Utilización en estructuras de mayores luces, donde los desplazamientos son mayores, donde es más difícil la utilización de técnicas clásicas.
- Posibilidad de instrumentar de forma continua y automática estructuras mediante GPS.
- Emisión de los datos recogidos en tiempo real a un centro de control, distante hasta centenas de Km de la propia estructura.
- Cálculo en tiempo ‘cuasi real’ de deformaciones y activado de alarmas oportunas en su caso.

## **2.4.2 Ejemplo: Guiado de maquinaria de obra civil con GPS cinemático en tiempo real**

(Ejemplo de sistema en motoniveladora ROTOGRADE).

- Dos sensores GPS colocados con precisión a ambos lados de la máquina
- Recepción de información de correcciones a través de radio-enlace desde una estación de referencia transmisora GPS que provee una precisión de nivel centimétrico.
- Las coordenadas en tres dimensiones son inmediatamente transmitidas a la computadora para procesar la eliminación de ruidos y evitar los errores multi-camino.
- Las coordenadas refinadas son comparadas con la posición teórica.
- Las diferencias son calculadas, procesadas, formateadas y enviadas a un convertidor analógico/ digital, ya que las válvulas hidráulicas sólo pueden aceptar señales analógicas.
- Un monitor en la cabina enseña la posición relativa de la máquina con respecto a la posición teórica.

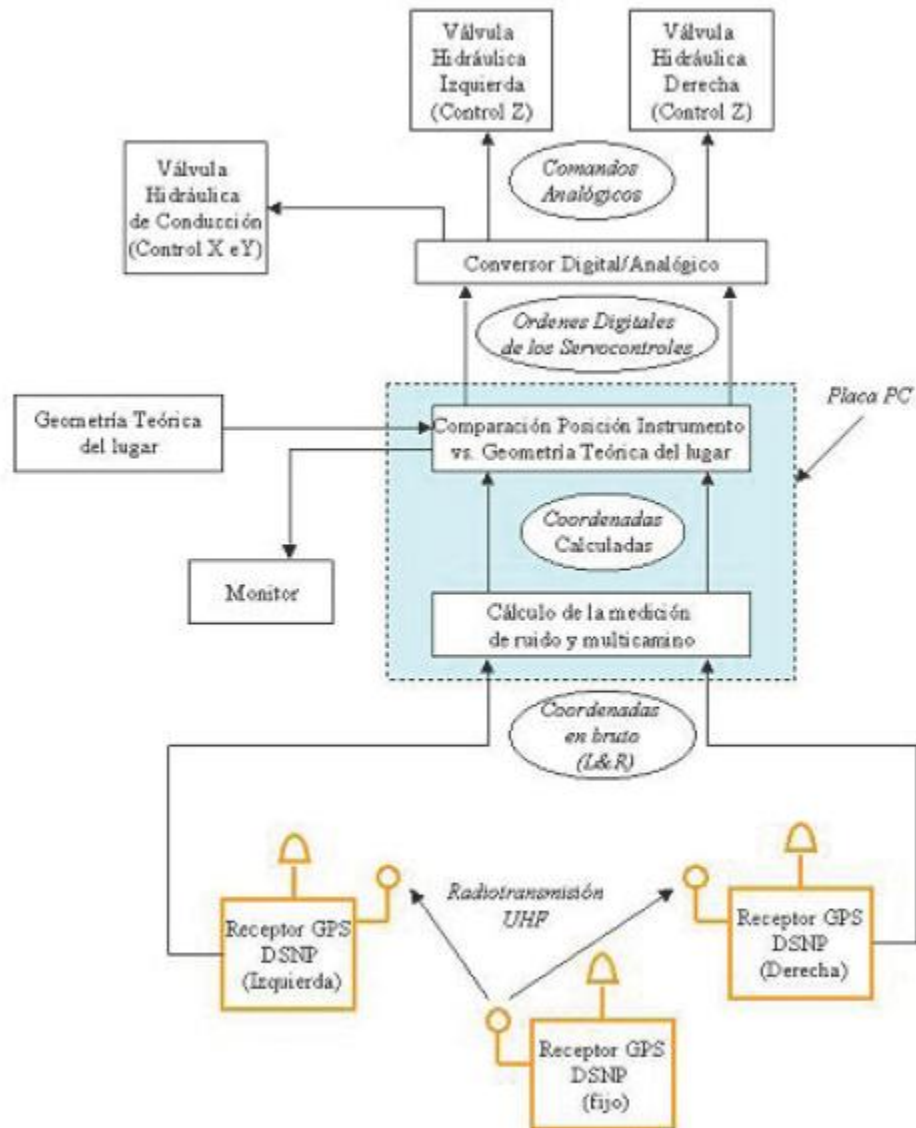
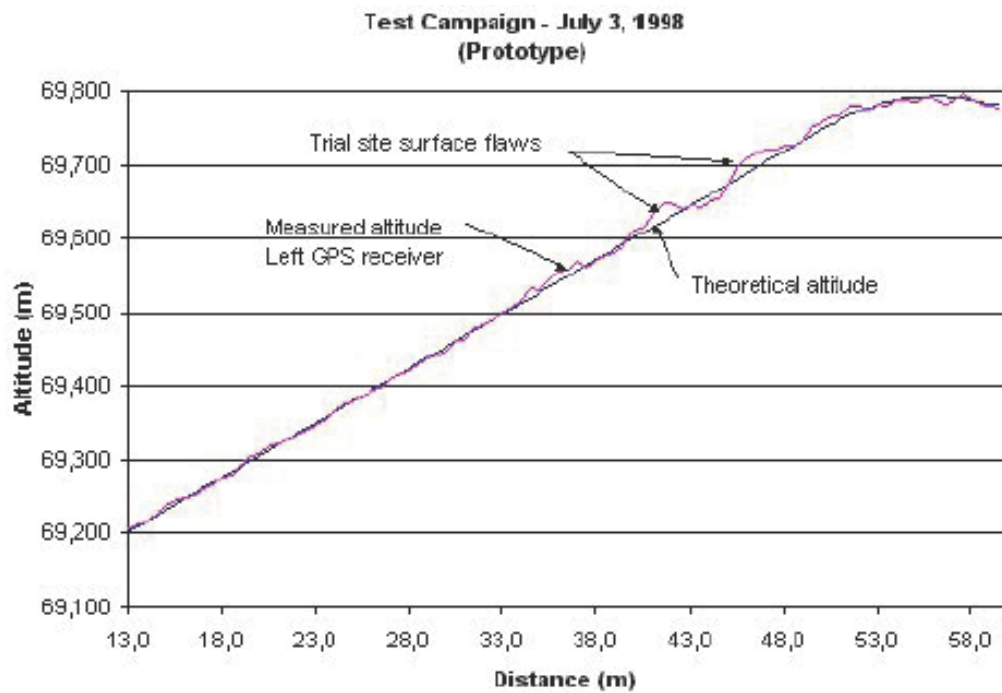


Fig. 7. Estructura de funcionamiento de GPS en guiado de maquinaria.

- Test sobre una superficie parabólica: 1.47% de pendiente con precisiones finales 1 cm
- Empresa GMT: autopista A 85 y la A 89 en Francia.
- Errores medios de 0,6 cm con una desviación estándar de 0,7 cm.
- Incrementa de 1 a 4 veces el rendimiento.



*Fig. 8. Test de precisión.*

**CAPÍTULO 2**  
**MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL**  
**POSICIONAMIENTO**

## **3. CAPÍTULO 2: MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL POCISIONAMIENTO**

### **3.1 PRINCIPIOS DE UN MODELO MATEMÁTICO**

En ciencias aplicadas, un Modelo matemático es uno de los tipos de modelos científicos, que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad. El término modelización matemática es utilizado también en diseño gráfico cuando se habla de modelos geométricos de los objetos en dos (2D) o tres dimensiones (3D).

El significado de modelo matemático en matemática fundamental, sin embargo, es algo diferente. En concreto en matemáticas se trabajan con modelos formales. Un modelo formal para una cierta teoría matemática es un conjunto sobre el que se han definido un conjunto de relaciones unarias, binarias y trinarias, que satisface las proposiciones derivadas del conjunto de axiomas de la teoría. La rama de la matemática que se encarga de estudiar sistemáticamente las propiedades de los modelos es la teoría de modelos.

#### **3.1.1 Clasificaciones de los modelos**

Se podría decir que un modelo de las ciencias físicas es una traducción de la realidad física de un sistema en términos matemáticos, es decir, una forma de representar cada uno de los tipos entidades que intervienen en un cierto proceso físico mediante objetos matemáticos. Las relaciones matemáticas formales entre los objetos del modelo, deben representar de alguna manera las relaciones reales existentes entre las diferentes entidades o aspectos del sistema u objeto real. Así una vez "traducido" o "representado" cierto problema en forma de modelo matemático, se pueden aplicar el cálculo, el álgebra y otras herramientas matemáticas para deducir el comportamiento del sistema bajo estudio. Un modelo físico requerirá por tanto que se pueda seguir el camino inverso al modelado, permitiendo reinterpretar en la realidad las predicciones del modelo.

### Según la información de entrada

Con respecto a la función del origen de la información utilizada para construir los modelos pueden clasificarse de otras formas. Podemos distinguir entre modelos heurísticos y modelos empíricos:

Modelos heurísticos (del griego euriskein 'hallar, inventar'). Son los que están basados en las explicaciones sobre las causas o mecanismos naturales que dan lugar al fenómeno estudiado.

Modelos empíricos (del griego empeirikos relativo a la 'experiencia'). Son los que utilizan las observaciones directas o los resultados de experimentos del fenómeno estudiado.

### Según el tipo de representación

Además los modelos matemáticos encuentran distintas denominaciones en sus diversas aplicaciones. Una posible clasificación puede atender a si pretenden hacer predicciones de tipo cualitativo o pretende cuantificar aspectos del sistema que se está modelizando:

Modelos cualitativos o conceptuales, estos pueden usar figuras, gráficos o descripciones causales, en general se contentan con predecir si el estado del sistema irá en determinada dirección o si aumentará o disminuirá alguna magnitud, sin importar exactamente la magnitud concreta de la mayoría de aspectos.

Modelos cuantitativos o numéricos, usan números para representar aspectos del sistema modelizado, y generalmente incluyen fórmulas y algoritmos matemáticos más o menos complejos que relacionan los valores numéricos. El cálculo con los mismos permite representar el proceso físico o los cambios cuantitativos del sistema modelado.

### Según la aleatoriedad

Otra clasificación independiente de la anterior, según si a una entrada o situación inicial concreta pueden corresponder o no diversas salidas o resultados, en este caso los modelos se clasifican en:

Determinista. Se conoce de manera puntual la forma del resultado ya que no hay incertidumbre. Además, los datos utilizados para alimentar el modelo son completamente conocidos y determinados.

Estocástico. Probabilístico, que no se conoce el resultado esperado, sino su probabilidad y existe por tanto incertidumbre.

### Clasificación según su aplicación u objetivo

Por su uso suelen utilizarse en las siguientes tres áreas, sin embargo existen muchas otras como la de finanzas, ciencias etc.

Modelo de simulación o descriptivo, de situaciones medibles de manera precisa o aleatoria, por ejemplo con aspectos de programación lineal cuando es de manera precisa, y probabilística o heurística cuando es aleatorio. Este tipo de modelos pretende predecir qué sucede en una situación concreta dada.

Modelo de optimización. Para determinar el punto exacto para resolver alguna problemática administrativa, de producción, o cualquier otra situación. Cuando la optimización es entera o no lineal, combinada, se refiere a modelos matemáticos poco predecibles, pero que pueden acoplarse a alguna alternativa existente y aproximada en su cuantificación. Este tipo de modelos requiere comparar diversas condiciones, casos o posibles valores de un parámetro y ver cuál de ellos resulta óptimo según el criterio elegido.

Modelo de control. Para saber con precisión como está algo en una organización, investigación, área de operación, etc. Este modelo pretende ayudar a decidir qué nuevas medidas, variables o qué parámetros deben ajustarse para lograr un resultado o estado concreto del sistema modelado.

### Ejemplos

Un modelo mixto operacional estadístico es una teoría o situación causal de hechos y expresado con símbolos de formato matemático. Por ejemplo las tablas de contingencia. De

hecho los modelos matemáticos se construyen con varios niveles de significación y con diferentes variables.

Kendall y Buckland catalogan hasta 40 tipos diferentes de modelos matemáticos. Ejemplos: Rapoport en modelo matemático e interacción social en 1961 y Bugada en Sociología matemática en 1970. Por un principio de isomorfismo hay una equivalencia, a conseguir, entre un modelo y una teoría. Además teoría y modelo son sinónimos.

Ejemplos de modelos por tipos:

	Descriptivos / Simulación		Optimización / Elección		Control / Tratamiento	
	Determinista	Probabilista	Determinista	Probabilista	Determinista	Probabilista
<b>Cuantitativo</b>	Cálculos astronómicos	Simulaciones de tráfico	Cálculo componentes de sistemas	Diseño ingenieril	Control automático	?
<b>Cualitativo</b>	Análisis microeconómicos	Teoría de juegos	Modelos de grafo/flujo	?	Teoría psicológica	?

### Modelo matemático de simulación hidrológica

Se utilizan para estudiar situaciones extremas, difícilmente observables en la realidad, como por ejemplo los efectos de precipitaciones muy intensas y prolongadas en cuencas hidrográficas, en su estado natural, o en las que se ha intervenido con obras como canales, represas, diques de contención, puentes, etc.

La cuenca hidrográfica es dividida en sub-cuencas consideradas homogéneas desde el punto de vista: del tipo de suelo, de la declividad, de su cobertura vegetal. El número y tipo de las variables hidrológicas que intervienen en el modelo son función de objetivo específico para el cual se elabora el mismo.

#### 3.1.2 Fases de construcción de un modelo

En muchos casos la construcción o creación de modelos matemáticos útiles sigue una serie de fases bien determinadas:

1. **Identificación** de un problema o situación compleja que necesita ser simulada, optimizada o controlada y por tanto requeriría un modelo matemático predictivo.

2. **Elección del tipo** de modelo, esto requiere precisar qué tipo de respuesta u output pretende obtenerse, cuales son los datos de entrada o factores relevantes, y para qué pretende usarse el modelo. Esta elección debe ser suficientemente simple como para permitir un tratamiento matemático asequible con los recursos disponibles. Esta fase requiere además identificar el mayor número de datos fidedignos, rotular y clasificar las incógnitas (variables independientes y dependientes) y establecer consideraciones, físicas, químicas, geométricas, etc. que representen adecuadamente el fenómeno en estudio.
3. **Formalización** del modelo en la que se detallarán qué forma tienen los datos de entrada, qué tipo de herramienta matemática se usará, como se adaptan a la información previa existente. También podría incluir la confección de algoritmos, ensamblaje de archivos informáticos, etc., etc. En esta fase posiblemente se introduzcan también simplificaciones suficientes para que el problema matemático de modelización sea tratable computacionalmente.
4. **Comparación de resultados** los resultados obtenidos como predicciones necesitan ser comparados con los hechos observados para ver si el modelo está prediciendo bien. Si los resultados no se ajustan bien, frecuentemente se vuelve a la fase 1.

Es importante mencionar que la inmensa mayoría de modelos matemáticos no son exactos y tienen un alto grado de idealización y simplificación, ya que una modelización muy exacta puede ser más complicada de tratar de una simplificación conveniente y por tanto menos útil. Es importante recordar que el mecanismo con que se desarrolla un modelo matemático repercute en el desarrollo de otras técnicas de conocimientos enfocadas al área socio-cultural.

## **3.2 PARÁMETROS QUE DEFINEN UN MODELO MATEMÁTICO**

### **3.2.1 Modelos matemáticos y solución de problemas en ingeniería**

El conocimiento y la comprensión son prerrequisitos para la aplicación eficaz de cualquier herramienta. Particularmente cuando se utilizan computadoras para resolver problemas de

ingeniería. Las computadoras tienen una gran utilidad, son prácticamente inútiles sino se comprende el funcionamiento de sus sistemas.

### **3.2.1.1 Un modelo matemático simple**

Se define, de manera general, como una formulación o una ecuación que expresa las características esenciales de un sistema físico o de un proceso en términos matemáticos. La variable dependiente refleja el comportamiento o estado de un sistema; las variables independientes son por lo común, dimensiones tales como tiempo y espacio, a través de los cuales se determina; los parámetros son el reflejo de las propiedades o la composición del sistema, las funciones de fuerzas son influencias externas que actúan sobre el sistema.

Newton formulo su segunda ley del movimiento, la cual establece que la razón del cambio del momentum con respecto al tiempo de un cuerpo, es igual a la fuerza resultante que actúa sobre él.

$$F=MA$$

### **3.2.1.2 Características típicas de los modelos matemáticos**

- ✚ describe un proceso o sistema natural en términos matemáticos.
- ✚ representa una idealización y una simplificación de la realidad. Es decir, ignora los detalles insignificantes del proceso natural y se concentra en sus manifestaciones esenciales.
- ✚ finalmente conduce a resultados reproducibles, y en consecuencia llega a emplearse con la finalidad de predecir.

### 3.2.1.3 Métodos numéricos.

Son aquellos en los que se reformula el problema matemático para lograr resolverlo mediante operaciones aritméticas.

### 3.2.1.4 Solución analítica o exacta.

Es aquella que satisface con exactitud la ecuación diferencial original.

Las **aplicaciones en la ingeniería** se proponen para ilustrar como se emplean actualmente los métodos numéricos en la solución de problemas en ingeniería. Estas aplicaciones nos permitirán examinar la solución a los problemas prácticos que surgen en el mundo real. Establecer la relación entre las técnicas matemáticas como los métodos numéricos y la práctica de la ingeniería es un paso decisivo para mostrar su verdadero potencial.

## 3.2.2 Exactitud y Precisión

Los errores en cálculos y medidas se pueden caracterizar con respecto a su exactitud y su precisión.

La **exactitud** se refiere a que tan cercano está el valor calculado o medido del verdadero valor. La **precisión** se refiere a que tan cercanos se encuentran, unos de otros, diversos valores calculados o medidos.

La **inexactitud** se define como una desviación sistemática del valor verdadero. La **imprecisión** por otro lado se refiere a la magnitud en la dispersión de los disparos.

## 3.2.3 Definiciones de Error

Los errores numéricos surgen del uso de aproximaciones para representar operaciones y cantidades matemáticas exactas. Estas incluyen los **errores de truncamiento** que resultan del empleo de aproximaciones como un procedimiento matemáticos exactos, y los **errores de redondeo** que se producen cuando se usan números que tienen un límite de cifras significativas para representar números exactos.

Para ambos tipos de errores, la relación entre el resultado exacto, o verdadero y el aproximado está dado por:

$$\text{Valor verdadero} = \text{valor aproximado} + \text{error}$$

### 3.2.3.1 Tipos de errores

Si  $p_{nueva}$  es una aproximación a  $p$ , el error se define como:

$$E = p_{nueva} - p$$

#### **Error absoluto**

$$EA = |p_{nueva} - p|$$

#### **Error relativo**

$$EA = |p_{nueva} - p| / p, \text{ si } p \text{ es diferente a } 0$$

#### **Porcentaje de error**

$$ERP = ER * 100$$

A menudo, cuando se realizan cálculos, no importa mucho el signo del error, sino más bien que su valor absoluto porcentual sea menor que una tolerancia porcentual prefijada  $E_s$ . Por lo tanto, es útil emplear el valor absoluto de las ecuaciones en tales casos las ecuaciones se repiten hasta que:

$$|Ea| \text{ sea menor a } E_s$$

Si se cumple la relación anterior, entonces se considera que el resultado obtenido está dentro del nivel aceptable fijado previamente  $E_s$ .

### 3.2.3.2 Estimación de error con métodos iterativos

Algunos métodos iterativos numéricos usan un método iterativo para calcular los resultados. En tales métodos se hace una aproximación del error considerado la aproximación anterior. Este proceso se lleva a cabo varias veces para calcular en forma

sucesiva, esperando cada vez mejores aproximaciones. En tales casos el error se calcula como la diferencia entre la aproximación previa y la actual.

Por lo tanto el error relativo porcentual aproximado es:

$$\text{ERP}_a = \text{aproximación actual} - \text{aproximación anterior} / \text{aproximación actual} \cdot 100$$

Es importante que cuando se calcule el ERP<sub>a</sub> este sea menor que una tolerancia porcentual prefija esta sería: *Es*

*Es.- Tolerancia porcentual prefijada.* Los cálculos se repiten hasta que **ERP<sub>a</sub>** sea menor que *Es*

Si se cumple la condición anterior entonces se considera que el resultado obtenido está dentro del nivel aceptable fijado previamente.

### **3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS EN UN MODELO MATEMÁTICO**

La Resolución de los Ambigüedades ha sido un tema muy desarrollado en los últimos cinco años. Comenzando con simples proyectos, se han impulsado sofisticados procedimientos que priorizan el tiempo de cálculo. Últimamente, han prevalecido aquellos procesos en los que se ha visto que la resolución correcta de la ambigüedad lleva a una mejora en las precisiones de los posicionamientos o a la obtención, en breve tiempo o en tiempo real (métodos de resoluciones rápidas de la Ambigüedad<sup>2</sup>), de las coordenadas de una estación con una calidad centimétrica. Así, la línea de actuación se ha centrado en las herramientas cinemáticas de tiempo real (RTK<sup>3</sup>), con inicialización para la resolución de las ambigüedades o resolución en movimiento de éstas (OTF<sup>4</sup>) y en los posicionamientos estáticos de pequeñas áreas (bases cortas).

Al tratar de comparar las diversa técnicas para la resolución de la Ambigüedad, el principal problema que se presenta es que los resultados proporcionados por un procedimiento son a menudo difícilmente comparables con los que proporcionan los demás, por no mencionar la variedad en las características de los datos iniciales o el objetivo final de su cálculo (p.e. tipo de posicionamiento). La validación de los resultados es otro tema en el que se debería indagar. Esta validación toma importancia en las técnicas de resoluciones rápidas de la ambigüedad, puesto que una mala resolución llevaría a cometer errores graves de posicionamiento, que pueden suponer costes adicionales como la realización de nuevas mediciones.

En la actualidad, el grupo internacional SSG5 1.557 del IAG6, establecido desde Julio de 1995 bajo la denominación de "GPS Ambiguity Resolution and Validation", tiene por objetivo la investigación y validación de todos los métodos existentes de resolución de ambigüedades.

Este grupo dispone de una página en Internet en la que es posible ponerse en contacto con los miembros del citado grupo. La dirección es la siguiente: [Http://www.geo.tudelf.nl/mgp/people/paul/ssg\\_1157.html](Http://www.geo.tudelf.nl/mgp/people/paul/ssg_1157.html): Grupo 1.157 IAG.

En este artículo se discutirán dos métodos de resolución de la ambigüedad, por un lado se estudiara la aproximación al número entero (una de las técnicas que inicialmente se emplearon), y por otro lado se aplicará el denominado método LAMBDA. Ambos procedimientos se van a tratar bajo su modelo matemático más simple, contrastando resultados que verifiquen o pongan de manifiesto la mejoría de un método frente al otro.

### **3.3.1 El Método del Redondeo de Ambigüedades al Entero más próximo**

Partiendo de las ecuaciones de las dobles diferencias de la fase portadora (Posicionamiento relativo), se puede establecer un sistema de ecuaciones que es posible resolver por las técnicas de los Mínimos Cuadrados. La resolución del sistema da lugar a la solución denominada real o flotante si las ambigüedades han sido tratadas entre las incógnitas.

Obtenida esta solución real de lo que se trata ahora es de acercar su valor al número entero más próximo, de esta forma se consiguen unos valores enteros de ambigüedades. Ahora se sustituyen estos valores en el sistema de ecuaciones y se vuelve a aplicar los Mínimos Cuadrados sobre el resto de incógnitas, entre ellas las coordenadas de las bases de las cuales se desea conocer su posicionamiento. En los siguientes apartados se detalla en mayor profundidad este método.

### 3.3.1.1 Modelo Lineal para Posicionamiento Relativo según las Dobles Diferencias

El modelo de las dobles diferencias simplificado, en este caso multiplicado previamente por la longitud de onda,  $\lambda$ , de la señal portadora L1 o L2, se muestra en la siguiente ecuación (siguiendo las denominaciones de la figura no1 P A y B estaciones de observación y j, k satélites observados):

$$\lambda\phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk} \quad (1)$$

donde se ha empleado una simplificación de términos según:

$$\rho_{AB}^{jk}(t) = \rho_B^k(t) - \rho_B^j(t) - \rho_A^k(t) + \rho_A^j(t) \quad (2)$$

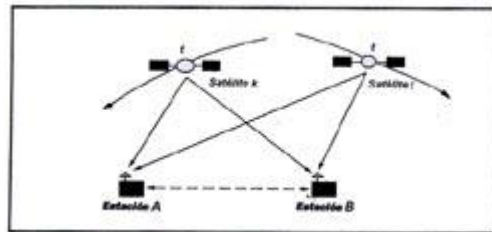


Fig. 1: Dobles diferencias entre satélites y receptores para una misma época.

Análogamente debe aplicarse a la posición en ciclos de la Fase de la Portadora recogida desde el conteo inicial de ciclos en el receptor,  $f(t)$  y para el número entero de ciclos que se han realizado entre el satélite emisor y el receptor,  $N$ .

La expresión correspondiente a la pseudodistancia, único parámetro no lineal de la ecuación (1), entre p.e. el satélite  $j$  y la estación A en un tiempo  $t$ , sigue la formula:

$$\rho_A^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_A)^2 + (Y^j(t) - Y_A)^2 + (Z^j(t) - Z_A)^2} - f(X_A, Y_A, Z_A) \quad (3)$$

función no lineal de las coordenadas de la estación A, suponiendo conocidas las del satélite (p.e. por información radiodifundida en el mensaje o por efemérides precisas recogidas de Internet).

Acorde con la linealización de Taylor para esta expresión, aplicada a cada uno de los cuatro términos de los que se componía la pseudodistancia, se llega a:

$$\begin{aligned} \rho_{AB}^k(t) = & \rho_{BO}^k(t) - \frac{X^k(t) - X_{BO}}{\rho_{BO}^k(t)} \Delta X_B - \frac{Y^k(t) - Y_{BO}}{\rho_{BO}^k(t)} \Delta Y_B - \frac{Z^k(t) - Z_{BO}}{\rho_{BO}^k(t)} \Delta Z_B \\ & - \rho_{BO}^k(t) + \frac{X^j(t) - X_{BO}}{\rho_{BO}^k(t)} \Delta X_B + \frac{Y^j(t) - Y_{BO}}{\rho_{BO}^k(t)} \Delta Y_B + \frac{Z^j(t) - Z_{BO}}{\rho_{BO}^k(t)} \Delta Z_B \\ & - \rho_{AO}^k(t) + \frac{X^k(t) - X_{AO}}{\rho_{AO}^k(t)} \Delta X_A + \frac{Y^k(t) - Y_{AO}}{\rho_{AO}^k(t)} \Delta Y_A + \frac{Z^k(t) - Z_{AO}}{\rho_{AO}^k(t)} \Delta Z_A \\ & + \rho_{AO}^k(t) - \frac{X^j(t) - X_{AO}}{\rho_{AO}^k(t)} \Delta X_A - \frac{Y^j(t) - Y_{AO}}{\rho_{AO}^k(t)} \Delta Y_A - \frac{Z^j(t) - Z_{AO}}{\rho_{AO}^k(t)} \Delta Z_A \end{aligned} \quad (4)$$

con AO, BO las coordenadas aproximadas de las bases A, B. Para su disposición matricial se emplearán las siguientes abreviaturas:

$$\begin{aligned}
a_{X_A}^{jk}(t) &= + \frac{X^k(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{X^j(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\
a_{Y_A}^{jk}(t) &= + \frac{Y^k(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{Y^j(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\
a_{Z_A}^{jk}(t) &= + \frac{Z^k(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{Z^j(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\
a_{X_B}^{jk}(t) &= - \frac{X^k(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{X^j(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \\
a_{Y_B}^{jk}(t) &= - \frac{Y^k(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{Y^j(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \\
a_{Z_B}^{jk}(t) &= - \frac{Z^k(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{Z^j(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)}
\end{aligned}$$

(5) y (6)

Si además se desplaza al lado izquierdo los parámetros de valores conocidos y se simplifica la expresión del término independiente según:

$$l_{AB}^{jk}(t) = \lambda \phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{B0}^k(t) + \rho_{B0}^j(t) + \rho_{A0}^k(t) - \rho_{A0}^j(t), \quad (7)$$

la ecuación de observación quedaría, para el caso general simplificado de dos puntos desconocidos A, B como:

$$\begin{aligned}
l_{AB}^{jk}(t) &= a_{X_A}^{jk}(t) \Delta X_A + a_{Y_A}^{jk}(t) \Delta Y_A + \\
& a_{Z_A}^{jk}(t) \Delta Z_A + a_{X_B}^{jk}(t) \Delta X_B + \\
& a_{Y_B}^{jk}(t) \Delta Y_B + a_{Z_B}^{jk}(t) \Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk}.
\end{aligned} \quad (8)$$

Las coordenadas de un punto (p.e. A) deben de ser conocidas para realizar el posicionamiento relativo, lo cual reduce el número de incógnitas dado que:

$$\Delta X_A = \Delta Y_A = \Delta Z_A = 0 \quad (9)$$

así el lado izquierdo de la ecuación se transforma en:

$$l_{AB}^{ik}(t) = \lambda \phi_{AB}^{ik}(t) - \rho_{B0}^k(t) + \rho_{B0}^j(t) + \rho_A^k(t) - \rho_A^j(t). \quad (10)$$

Las incógnitas en esta ecuación son las coordenadas de la base B (XB, YB, ZB) y el número entero de ambigüedades resultado de realizar las dobles diferencias. El sistema de ecuaciones presenta la forma  $Ax = K + g$ , con A matriz de diseño de las incógnitas de los incrementos de la base línea y de las ambigüedades enteras, x vector de dichas incógnitas, K matriz de los términos independientes y - g matriz de los residuos de efectos no modelados y ruido. En el caso de cuatro satélites (j,k,l,m) y dos épocas (t1,t2) resulta el siguiente sistema:

$$A = \begin{bmatrix} a_{XB}^k(t_1) & a_{YB}^k(t_1) & a_{ZB}^k(t_1) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{XB}^j(t_1) & a_{YB}^j(t_1) & a_{ZB}^j(t_1) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{XB}^m(t_1) & a_{YB}^m(t_1) & a_{ZB}^m(t_1) & 0 & 0 & \lambda \\ a_{XB}^k(t_2) & a_{YB}^k(t_2) & a_{ZB}^k(t_2) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{XB}^j(t_2) & a_{YB}^j(t_2) & a_{ZB}^j(t_2) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{XB}^m(t_2) & a_{YB}^m(t_2) & a_{ZB}^m(t_2) & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} \Delta X_B \\ \Delta Y_B \\ \Delta Z_B \\ N_{AB}^k \\ N_{AB}^j \\ N_{AB}^m \end{bmatrix}$$

$$K^T = [l_{AB}^k(t_1) \quad l_{AB}^j(t_1) \quad l_{AB}^m(t_1) \quad l_{AB}^k(t_2) \quad l_{AB}^j(t_2) \quad l_{AB}^m(t_2)] \quad (11)$$

sistema en este caso determinado, puesto que para el caso de una época nos hubiera dado más incógnitas que ecuaciones.

### 3.3.1.2. PROCEDIMIENTO DE AJUSTE

El principio de ajuste por mínimos cuadrados es que la suma de los residuos, g, ponderados, según una matriz de pesos P, al cuadrado sea mínima, es decir:

$$\gamma^T P \gamma = \text{mínimo} \quad (12)$$

La matriz de pesos tiene especial importancia a la hora de eliminar la correlación existente entre las ecuaciones de dobles diferencias en los cálculos completos de redes. El caso del método de la resolución para líneas simples implica la computación base a base de todas las posibles combinaciones, ignorando la correlación existente, ofreciendo una peor calidad espacial dado que es imposible detectar bases en mal estado (Por mala recepción de la señal, coordenadas equivocadas...), además de ser teóricamente incorrecto su procedimiento. Se ha de prestar especial atención a la eliminación de bases redundantes antes de iniciar el cálculo tanto en bloque como línea a línea, pues su inclusión daría lugar a sistemas mal condicionados o con defecto de rango.

Si al método de resolución por mínimos cuadrados no se le condiciona de algún modo para que las incógnitas de las ambigüedades nos ofrezcan valores enteros, lo que se obtendrá son valores reales para dichos parámetros. Esto es lo que se suele denominar Solución real o flotante de la ambigüedad.

Existen muy pocos métodos que impongan la condición de números enteros con dicho sistema, la mayoría lo imponen en proceso a posteriori. Tal es el caso del redondeo al entero y del método LAMBDA, ambos métodos son semejantes hasta este punto.

### **3.3.1.3. REDONDEO AL ENTERO**

Obtenidas las incógnitas del sistema, es decir, incrementos de coordenadas y números reales de las ambigüedades, se procederá al ajuste de dicha cifra a su valor entero más cercano:

$$N_{AB}^{jk} = \text{round}(N_{AB}^{jk}) \quad (13)$$

Sustituyendo estos valores en las ecuaciones del tipo de la ecuación (11), eliminándolas

como tales incógnitas, se puede volver a resolver el sistema únicamente con parámetros de incrementos de coordenadas.

El sistema de ecuaciones quedaría:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A} &= \begin{bmatrix} a_{XB}^{jk}(t_1) & a_{YB}^{jk}(t_1) & a_{ZB}^{jk}(t_1) \\ a_{XB}^{jl}(t_1) & a_{YB}^{jl}(t_1) & a_{ZB}^{jl}(t_1) \\ a_{XB}^{jm}(t_1) & a_{YB}^{jm}(t_1) & a_{ZB}^{jm}(t_1) \\ a_{XB}^{jk}(t_2) & a_{YB}^{jk}(t_2) & a_{ZB}^{jk}(t_2) \\ a_{XB}^{jl}(t_2) & a_{YB}^{jl}(t_2) & a_{ZB}^{jl}(t_2) \\ a_{XB}^{jm}(t_2) & a_{YB}^{jm}(t_2) & a_{ZB}^{jm}(t_2) \end{bmatrix} & \mathbf{x} &= \begin{bmatrix} \Delta X_B \\ \Delta Y_B \\ \Delta Z_B \end{bmatrix} \\
 \mathbf{K}^T &= [l_{AB}^{jk}(t_1) \quad l_{AB}^{jl}(t_1) \quad l_{AB}^{jm}(t_1) \quad l_{AB}^{jk}(t_2) \quad l_{AB}^{jl}(t_2) \quad l_{AB}^{jm}(t_2)]
 \end{aligned} \tag{14}$$

Con el término independiente definido como:

$$l_{AB}^{jk}(t) = \lambda \phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{B0}^k(t) + \rho_{B0}^j(t) + \rho_A^k(t) - \rho_A^j(t) - \lambda N_{AB}^{jk} \tag{15}$$

En cuanto a precisión puede comentarse que la matriz varianza-covarianza nos ofrece valores de error muy por debajo de la que ofrece la solución flotante.

### 3.4 APLICACIÓN

#### 3.4.1 El Método LAMBDA

##### 3.4.1.1 Introducción

La presentación de este método fue realizada en 1.993 en el IAG9 General Meeting de Beijing. Su desarrollo lo llevaron a cabo P.J. de Jonge y C.CJ.M. Tiberius bajo la supervisión del profesor P.J.G.Teunissen. Su objetivo era reducir el tiempo de observación en campo manteniendo la máxima precisión en el posicionamiento. De él se ha dicho que es el método de resolución de la ambigüedad que más eficiente trata las cifras enteras, sobre todo en las aplicaciones cinemáticas de tiempo real.

Las principales características del método que lo diferencian de otros son:

- La decorrelación de las ambigüedades mediante la denominada Z-transformación, con la que se reparametrizan las ambigüedades según:  $z=ZTa$ .
- La estimación entera de la ambigüedad.

Se basa en el modelo, ya expuesto, de las dobles diferencias de las ambigüedades, pero sobre todo, en la estimación entera de dichas ambigüedades. Sus iniciales son sinónimo de Least-squares AMBiguity Decorrelation Adjustment, dado que la Z-transformación realiza una decorrelación previa de las ambigüedades antes de realizar la estimación en forma entera mediante ajuste secuencial condicionado. La búsqueda del número entero más adecuado para una ambigüedad es un problema de minimización dentro de una región hiper-elipsoídica. La forma y orientación de este, forma depende de la matriz varianza-covarianza de las ambigüedades. Su volumen ofrece una visión del número de candidatos, de los cuales uno es el que ofrece la mejor solución mínimo cuadrática según la estimación entera.

El método comienza en la obtención de la solución real de las ambigüedades y en su matriz varianza-covarianza, posteriormente se estiman los números enteros por un ajuste secuencial y condicionado mínimo cuadrático según las precisiones de las ambigüedades. Finalmente, halladas las ambigüedades se resuelve el sistema matricial inicial al que se le ha eliminado como incógnita la ambigüedad, obteniendo una solución para el resto de incógnitas, entre ellas el posicionamiento. En el proceso, el empleo de la decorrelación hace más rápida y eficiente la estimación entera.

El método LAMBDA no está solamente limitado a las formas de las dobles diferencias, sino que también puede ser empleado en modelos de simples diferencias o en modelos no diferenciados teniendo en cuenta el defecto de rango.

### **3.4.2 Modelo Matemático empleado**

Se emplea un modelo matemático apropiado para bases cortas con empleo exclusivo de datos de la portadora, aunque se pueden incluir los datos del código puesto que no influyen en los términos de las ambigüedades. El sistema de ecuaciones linealizado tiene la conocida fórmula:

$$y = Bb + Aa + e \quad (16)$$

con:

y .... vector de observables que no incluye las doble diferencias de las medidas de la portadora.

b .... vector de incrementos de coordenadas de la base línea p.

a.... vector de las n ambigüedades de dobles diferencias.

B.... matriz mxp de diseño de las coordenadas de la base.

A.... matriz mxn de diseño de los términos de las ambigüedades.

e .... vector de efectos no modelados y de ruido de las mediciones.

La mx(p+n) matriz de diseño se supone que tiene rango completo igual a (p+n), para lo cual bastaría, por ejemplo, con haber realizado las suficientes observaciones para determinar estas incógnitas. Por razones computacionales, las ambigüedades se sitúan al final. Es el mismo sistema que se ha empleado para la técnica del redondeo.

Se seguirán tres pasos: la solución real, la estimación entera y la solución fijada, aunque la validación del modelo también es importante.

### 3.4.3 LA SOLUCIÓN REAL

La solución real para el caso de una matriz de rango completo mediante mínimos cuadrados, pasa por resolver el sistema de ecuaciones normales del tipo  $Nx=r$ , tal que:

$$\begin{bmatrix} B^T Q_y^{-1} B & B^T Q_y^{-1} A \\ A^T Q_y^{-1} B & A^T Q_y^{-1} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^T Q_y^{-1} y \\ A^T Q_y^{-1} B \end{bmatrix} \quad (17)$$

donde la matriz N puede ser factorizada según la Factorización de Cholesky,  $N=CCT$ , con C una matriz de rango completo  $(p+n)$  triangular inferior. Ahora el sistema  $CCTx=r$  es resuelto según los pasos habituales de este tipo de transformación.

La estimación de su matriz varianza-covarianza es:

$$\begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} Q_b & Q_{ba} \\ Q_{ab} & Q_a \end{bmatrix} \quad (18)$$

### 3.4.4 RESOLUCIÓN CONDICIONADA

El segundo paso consiste en imponer la condición:

$$\min_a \|a - \hat{a}\|_{Q^{-1}}^2 \quad a \in Z^n \quad (19)$$

es decir, en la minimización del vector de ambigüedades estimadas, empleando los mínimos cuadrados para obtener un vector de números enteros condicionados por la matriz varianza-covarianza

Esta estimación puede realizarse tanto los valores obtenidos de la solución flotante, como para unos valores transformados según una matriz denominada Z (Z-transformación) cuyo objetivo es decorrelar o ecualizar las ambigüedades según:

$$z = Z^T a. \quad (20)$$

La matriz  $Z$  contiene elementos enteros, posee rango completo,  $= \pm 1$ , es cuadrada y usualmente densa.

Para ello se establece una región de búsqueda. Su tamaño vendrá definido por:

$$(\mathbf{a} - \mathbf{a})^T \mathbf{Q}_a^{-1} (\mathbf{a} - \mathbf{a}) \leq \chi^2 \quad (21)$$

donde es la constante que controla el tamaño de la figura hiperelipsoidal y se corresponde con la variable del test de adherencia de Pearson.

Inicialmente se reordenan las ambigüedades desde la de menor calidad a la de mayor precisión (partiendo de los valores de las varianzas de ambigüedades ofrecidas en la matriz varianza-covarianza  $Q$ , de la solución flotante), y comenzando por la más precisa se establecen según criterio de confianza (basado en 2) unos límites condicionados a los límites de la ambigüedad anterior, por lo que secuencialmente se establecen límites para todas las ambigüedades, dentro de los cuales se irán seleccionando cifras enteras en orden numérico. El establecimiento de estos límites puede dar lugar a dos casos:

1. Los límites que se establecen para una ambigüedad no incluyen el valor encontrado con la solución flotante. En este caso se rechaza el vector de ambigüedades y se vuelve a la ambigüedad anterior, más precisa, eligiendo el siguiente número entero que ofrezca su límite. De esta forma se vuelven a establecer límites para la fallida ambigüedad, hasta encontrar unos límites adecuados.
2. Puede ser que se encuentren varios vectores de soluciones, es decir, valores de ambigüedades que han recorrido todos los niveles de ambigüedades desde la más precisa hasta la que presenta menor calidad, en este caso el criterio de selección parte del cálculo de la norma cuadrada, definida como  $t(\mathbf{a}) = \sqrt{(\mathbf{a} - \mathbf{a})^T \mathbf{Q}_a^{-1} (\mathbf{a} - \mathbf{a})}$ , eligiendo aquel candidato que presenta menor norma.

En la mayoría de los casos, el número de valores a verificar por ajuste secuencial es enorme, por lo que conviene realizar una reducción de la región hiperelipsoidal. Una de las

técnicas de reducción consiste en que una vez que es obtenido un candidato, su norma cuadrada se toma como nuevo valor de  $c_2$ . De esta forma, se reduce el área de búsqueda. La estimación entonces continua, pero dentro de esta nueva área. Si uno, posiblemente después de realizar una reducción de la superficie, falla a la hora de encontrar el candidato dentro del nuevo volumen, el último vector entero encontrado es el estimado por los mínimos cuadrados, tal que  $a =$  , siendo  $a$  el candidato obtenido por la estimación mínimo cuadrada secuencial condicionada.

### 3.4.4.1 El volumen hiperelipsoidal

El volumen establece una relación directa con el número de candidatos contenidos, la figura nº2 es una muestra de dicha relación.

La figura refleja los resultados de un experimento realizado sobre 10 medidas, con dos épocas cada una, en simple y doble frecuencia, con observación a siete satélites y sobre una base de 2.2 Km. Así se demostró que el volumen es mejor indicador del posible número de candidatos.

Otra solución para reducir el volumen elipsoidal fue la que se llevó a cabo mediante un experimento dirigido por Paúl de Jonge et al.(1.996). En él se calculó la norma cuadrada del vector fruto del redondeo al entero de las ambigüedades. Además, se calculó la  $n$  norma al cuadrado conseguida del redondeo de todas las ambigüedades menos una, que se redondeó al siguiente entero (no al más cercano). Con el conjunto de valores  $x_2$  de estas normas se puede obtener el volumen.. El proceso se realizó sobre diez medidas de frecuencia dual para las que se demostró la relación existente entre el volumen y el número de candidatos.

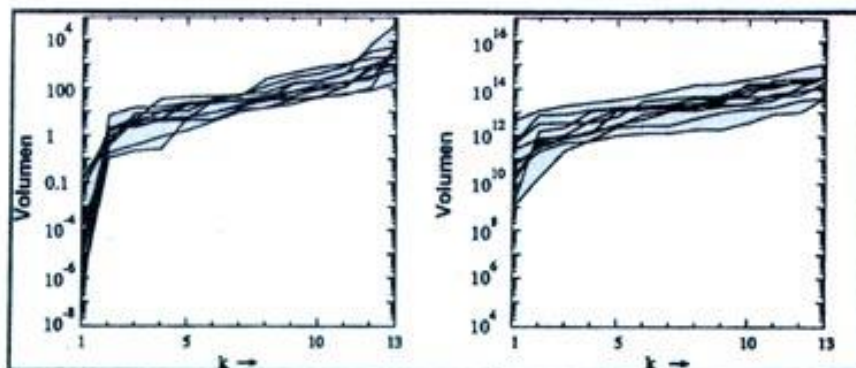


Figura nº 2: Número de candidatos  $k$  dentro de la figura hiper-elipsoidal de búsqueda frente a volumen. Izquierda, portadora U, derecha, portadora L1+L2, (Paúl de Jonge.1.996)

Estos volúmenes fueron ordenados en orden creciente. Se dibujaron tanto para el caso de ambigüedades transformadas como para las originales, observándose que para el caso de las transformadas, el volumen del segundo menor hiper-elipsoide (que garantiza al menos dos candidatos) nunca excedía de 10 unidades. Para las ambigüedades originales los volúmenes eran del orden de 10<sup>10</sup>-10<sup>12</sup> unidades, poniéndose de manifiesto lo que ya se comentaba respecto a cifras desmedidas.

La figura nº3 muestra los datos obtenidos del experimento, realizado sobre una base de 10.4 Km y, análogamente, para una de 2.2 Km observándose los mismos siete satélites y disponiendo de un punto en común. Se da una relación de los candidatos que se consiguieron mediante este procedimiento, destacándose que en algunos casos aparecen más candidatos de los 2 esperados debido a la carencia de correlación entre ambigüedades.

ÉPOCAS	2.2 Km		10.4 Km	
	Volumen	Nro.Candidatos	Volumen	Nro.Candidatos
1-2	0.38	2	8.76	14
31-32	0.11	2	1.36	23
61-62	1.41	2	13.95	14
91-92	6.76	4	5.58	9
121-122	1.89	2	1.59	3
151-152	1.85	4	2.89	2
181-182	2.07	2	0.67	2
211-212	0.53	2	0.90	3
241-242	0.89	2	9.50	7
271-272	0.18	2	1.83	3

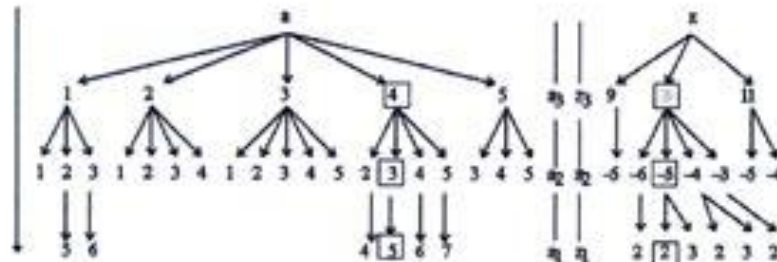
*Figura nº3; Volumen y nº de candidatos dentro del reglón de búsqueda, establecido según el valor  $f$  de la norma cuadrada del segundo valor más pequeño. (Paúl de Jonge, 1.996).*

### 3.4.4.2 Ejemplo de ajuste secuencial

Tengamos un vector de ambigüedades reales,  $a$ , resultado de la solución real y el obtenido mediante la ecualización de las ambigüedades o transformación  $Z$ , el vector de ambigüedades transformadas  $z$ :

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.45 \\ 3.10 \\ 2.97 \end{bmatrix} \quad z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.35 \\ -4.57 \\ 10.02 \end{bmatrix} \quad (22)$$

El ajuste secuencial pasaría por las siguientes combinaciones de vectores de números enteros:



Obsérvese como las ambigüedades transformadas dan lugar a un menor número de candidatos y a unos límites más cerrados.

El vector resultado del ajuste secuencial fue para las ambigüedades originales de  $a=(5,3,4)$  y para las transformadas de  $z=(2,-5,10)$ , como se remarca en el esquema anterior. Gráficamente, la representación del vector obtenido tras el ajuste secuencial se puede representar dentro del volumen de un elipsoide, dado el carácter tridimensional del vector de ambigüedades (ver figura nº4).

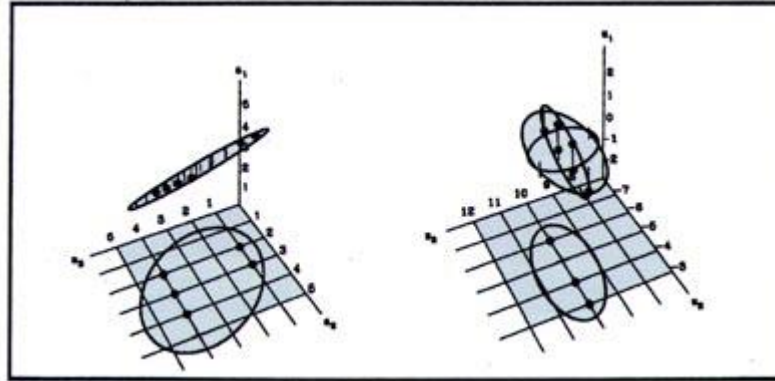


Figura nº4: Representación gráfica del ajuste secuencial.  
(Paul de Jonge, 1.996).

### 3.4.5 SOLUCIÓN FIJADA

El último paso es la resolución de la solución fijada, como:

$$b = b - Q_{ba} Q_a^{-1} (a - a). \quad (23)$$

Los términos  $b$  y  $a$  serían las soluciones finales estimadas por el método LAMBDA. La estimación final de las coordenadas de la base o bases se corresponde con las primeras  $p$  primeras ecuaciones del sistema (16) en las que se ha de sustituir el vector de estimación entera  $a$ .

Si se ha aplicado la transformación  $Z$ , previamente debe de transformar  $z$  en  $a$  partiendo de su relación:

$$Z^T a = z \quad (24)$$

### **3.5 VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO**

El método LAMBDA es una herramienta para la estimación entera de las ambigüedades de las dobles diferencias que consiste en una decorrelación inicial de ambigüedades y en un ajuste secuencial condicionado de estas. El problema de minimización entera se resuelve sobre una superficie hiperelipsoidal definida como área de búsqueda.

La forma y orientación del hiper-elipsoide depende de la matriz varianza-covarianza de las ambigüedades. La decorrelación trastorna este volumen en otro que se asemeja más a una esfera gracias a la ecualización de las varianzas-covarianzas, pudiéndose realizar la búsqueda más eficientemente. El tamaño de dicho volumen puede controlarse a priori, y dado que es un indicador de la cantidad de candidatos que se pueden presentar, se puede manipular dicha cifra obteniendo así el número de candidatos deseados, asegurando que uno de ellos sea la estimación que dará los mínimos cuadrados para el vector de ambigüedades.

El método LAMBDA es un método de resolución de la ambigüedad que emplea técnicas de búsqueda dentro del espacio de las ambigüedades a estimar. Su formulación matemática no depende de la forma y estructura de las ecuaciones de observación, pudiendo trabajar con ecuaciones de modelos simples o diferenciados, pudiéndose emplear con observaciones de fase, en una o dos frecuencias, y con las observaciones de código. También permite su aplicación a combinaciones de bandas, tales como la banda ancha.

El método puede funcionar con la inclusión del retardo ionosférico, aunque sus mejores resultados los da en bases cortas y en aplicaciones donde la resolución rápida y eficaz de la ambigüedad es necesaria.

Dentro de los aspectos computacionales, la generación de la transformación  $Z$  y la decorrelación de la matriz varianza-covarianza son las partes que mayor tiempo consumen en el cálculo.

### 3.5.1 Ejemplo de Cálculo

#### *Práctica sobre posicionamiento con código C/A*

#### RINEX de OBSERVACIÓN

```

2          OBSERVATION DATA      G (GPS)          RINEX VERSION / TYPE
TerraSat GeoGenius GPS+GLONASS Decoder 11-Aug-00 12:02:32 PGM / RUN BY / DATE
IGN2                                           MARKER NAME
Unknown          Ashtech          RD00           OBSERVER / AGENCY
13              LEAP SECONDS       REC # / TYPE / VERS
3600           LOCAL TIME OFFSET IN SEC COMMENT
                Default
4851139.7520 -314513.8190 4116284.9980 ANT # / TYPE
                0.0000          0.0000          0.0000 APPROX POSITION XYZ
                1          0          0          0          0          0          0          0 ANTENNA: DELTA H/E/N
7          C1          P1          P2          L1          L2          D1          D2 WAVELENGTH FACT L1/2
15          # / TYPES OF OBSERV
2000          8          11          0          0          0.0000000          GPS          TIME OF FIRST OBS
2000          8          11          0          59          45.0000000          GPS          TIME OF LAST OBS
8          # OF SATELLITES
G05          240          240          240          240          240          240          240 PRN / # OF OBS
G06          240          240          240          240          240          240          240 PRN / # OF OBS
G17          171          171          171          171          171          171          171 PRN / # OF OBS
G22          65          65          65          65          65          65          65 PRN / # OF OBS
G24          194          194          194          194          194          194          194 PRN / # OF OBS
G25          240          240          240          240          240          240          240 PRN / # OF OBS
G29          235          235          235          235          235          235          235 PRN / # OF OBS
G30          240          240          240          240          240          240          240 PRN / # OF OBS
                END OF HEADER
0 8 11 0 0 0.0000000 0 6G30G29G06G25G24G05
20659421.934 20659422.566 20659427.103 -20509640.46707 -15709887.24307
-657.502 -512.339
22593311.156 22593311.253 22593318.543 -8380699.32806 -6495059.46406
-2362.044 -1840.559
20715592.849 20715592.929 20715598.111 -19120030.31307 -14615861.18307
1017.674 792.993
22754237.972 22754238.147 22754243.199 -11167178.82006 -8449024.42906
2936.621 2288.275
23879970.586 23879970.690 23879977.045 -3915643.17005 -3023012.92305
-961.868 -749.507
22487453.168 22487453.093 22487458.480 -7990702.03006 -5951049.08406
-2162.017 -1684.690

```

#### Rinex de NAVEGACIÓN

```

30 00 8 11 2 0 0.0-3.275135532022D-05-1.477928890381D-12 0.000000000000D+00
4.000000000000D+01-6.093750000000D+00 5.169858202488D-09 1.362239438238D+00
-4.190951585770D-07 5.362690542825D-03 6.673857569695D-06 5.153622058868D+03
4.392000000000D+05-1.043081283569D-07-1.538901799997D+00-7.823109626770D-08
9.436444989925D-01 2.411562500000D+02 1.445954310898D+00-8.276059016792D-09
-3.171560679661D-10 0.000000000000D+00 1.074000000000D+03 0.000000000000D+00
1.000000000000D+00 0.000000000000D+00-7.450580596924D-09 2.960000000000D+02
4.392000000000D+05 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00

```

### 3.5.1.1 Cálculo de las posiciones de los satélites

Tenemos la época de referencia tomada por el receptor y materializada en el fichero RINEX de observación, 0 8 11 0 0 0.0000000, el día 8 de Noviembre de 2000, a las 12:00:00. Debemos calcular el tiempo transcurrido desde principio de semana GPS, para ello, procedemos de la siguiente manera (Kai Borre).

#### 1-Cálculo del día Juliano (Hoffman-Wellenhof)

```
if m <= 2
    y = y-1;
    m = m+12;
end
jd = floor(365.25*y)+floor(30.6001*(m+1))+d+h/24+1720981.5;
```

(donde floor implica redondeo hacia el menor entero)

y      año con 4 dígitos  
m      mes  
h      hora

Para la época de observación: 2451767.5

#### 2- Cálculo de la semana GPS y de los segundos transcurridos desde el principio de semana GPS.

```
a = floor(julday+.5);
b = a+1537;
c = floor((b-122.1)/365.25);
e = floor(365.25*c);
f = floor((b-e)/30.6001);
d = b-e-floor(30.6001*f)+rem(julday+.5,1);
day_of_week = rem(floor(julday+.5),7);
week = floor((julday-2444244.5)/7);
sec_of_week = (rem(d,1)+day_of_week+1)*86400;
```

Se obtiene para la época deseada, semana 1074 y segundo de semana 432000

Calculemos la posición del satélite 30, el Toe, o tiempo de referencia de las efemérides es el segundo Gps de referencia. Corresponde a la tercera línea, primera columna, segundo 439200.

En consecuencia el intervalo de tiempo transcurrido es de  $432000-439200 = -7200$  segundos. Por otra parte, la pseudodistancia del sat. 30 es de 20659421.934 metros, si dividimos su valor por la velocidad de la luz (299792458 m/s) tenemos el tiempo que ha tardado la señal en viajar, 0.06891241384732 segundos, por tanto el intervalo de tiempo desde Toe es de -7200.069 segundos.



**TABLE 3.5 Ephemeris Parameterization of the Navigation Message**

$M_0$	Mean anomaly at reference time
$\Delta n$	Mean motion difference from computed value
$e$	Eccentricity
$\sqrt{a}$	Square root of the semimajor axis
$\Omega_0$	Longitude of ascending node of orbit plane at weekly epoch
$i_0$	Inclination angle at reference time
$\omega$	Argument of perigee
$\dot{\Omega}$	Rate of right ascension
IDOT	Rate of inclination angle
$C_{uc}$	Amplitude of the cosine harmonic correction term to the argument of latitude
$C_{us}$	Amplitude of the sine harmonic correction term to the argument of latitude
$C_{rc}$	Amplitude of the cosine harmonic correction term to the orbit radius
$C_{rs}$	Amplitude of the sine harmonic correction term to the orbit radius
$C_{ic}$	Amplitude of the cosine harmonic correction term to the angle of inclination
$C_{is}$	Amplitude of the sine harmonic correction term to the angle of inclination
$t_{oe}$	Ephemeris reference time
IODE	Issue of Data (Ephemeris)

**TABLE 3.6 Ephemeris Algorithm**

$\mu = 3.986005 \times 10^{14} \text{ meters}^3/\text{sec}^2$	WGS 84 value of the earth's universal gravitational parameter	
$\dot{\Omega}_e = 7.292115167 \times 10^5 \text{ rad/sec}$	WGS 84 value of earth's rotation rate	
$a = (\sqrt{a})^2$	Semimajor axis	
$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$	Computed mean motion - rad/sec	
$t_k = t - t_{oe}$	Time from ephemeris reference epoch	
$n = n_0 + \Delta n$	Corrected mean motion	
$M_k = M_0 + nt_k$	Mean anomaly	
$M_k = E_k - e \sin E_k$	Kepler's equation for eccentric anomaly	
$\cos f_k = \frac{(\cos E_k - e)}{(1 - e \cos E_k)}$	True anomaly	
$\sin f_k = \frac{\sqrt{1 - e^2} \sin E_k}{(1 - e \cos E_k)}$		
$E_k = \cos^{-1} \left[ \frac{e + \cos f_k}{1 + e \cos f_k} \right]$	Eccentricity anomaly	
$\phi_k = f_k + \omega$	Argument of latitude	
$\delta u_k = C_{uc} \sin 2\phi_k + C_{us} \cos 2\phi_k$	Argument of latitude correction	} 2 <sup>nd</sup> harmonic perturbations
$\delta r_k = C_{rc} \cos 2\phi_k + C_{rs} \sin 2\phi_k$	Radius corrections	
$\delta i_k = C_{ic} \cos 2\phi_k + C_{is} \sin 2\phi_k$	Correction to inclination	
$u_k = \phi_k + \delta u_k$	Corrected argument of latitude	
$r_k = a(1 - e \cos E_k) + \delta r_k$	Corrected radius	
$i_k = i_0 + \delta i_k + (\text{IDOT})t_k$	Corrected inclination	
$\left. \begin{aligned} x'_k &= r_k \cos u_k \\ y'_k &= r_k \sin u_k \end{aligned} \right\}$	Positions in orbital plane	
$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_k - \dot{\Omega}_e t_{oe}$	Corrected longitude of ascending node	
$\left. \begin{aligned} x_k &= x'_k \cos \Omega_k - y'_k \cos i_k \sin \Omega_k \\ y_k &= x'_k \sin \Omega_k + y'_k \cos i_k \cos \Omega_k \\ z_k &= y'_k \sin i_k \end{aligned} \right\}$	Earth fixed coordinates	

Estas coordenadas satélite obtenidas están referidas al instante en que se envía la señal desde el satélite. Hasta que se recibe en el receptor del usuario la Tierra rota una cantidad determinada, para cada satélite es:

$$a_l = -\Omega_{e\_dot} * t_r$$
 con:  $\Omega_{e\_dot} = 7.2921151467e-5$ ; % earth rotation rate, rad/s  
 y  $t_r = ps(f)/c$ ;

Para rotar las coordenadas del satélite durante el tiempo de viaje de la señal

empleamos una simple rotación de Z.

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix}$$

Obteniendo para el caso que nos ocupa:

$x_k = 1.54743043573117 \text{ e}+7$   
 $y_k = 0.41729389569595 \text{ e}+7$   
 $z_k = 2.10087219155275 \text{ e}+7$

distancia 80.5389 metros entre posiciones.

### 3.5.1.2 Cálculo de las pseudodistancias corregidas

1. Cálculo de la corrección por reloj del satélite.

Los coeficientes del reloj para el instante en el que estamos trabajando son:

$af_0 = -3.2751e-005$ ,  $af_1 = -1.4779e-012$ ,  $af_2 = 0$   
 El instante de cálculo para  $t_{oe} = 439200$  y segundo de semana = 432000  
 es  $t_k = -7200$

El polinomio corrector es  $(af_0 + af_1 * (t_k) + af_2 * (t_k)^2) * c = -9.8154e+003$  metros

2. Cálculo de la corrección troposférica

En primer lugar se ha de calcular la elevación aproximada del satélite, dado que se conocen las coordenadas aproximadas del satélite y del receptor es posible calcular las componentes NEU del satélite y deducir la elevación.

Ejemplo:

Coordenadas del receptor: 4851139.752 -314513.819 4116284.998  
 Coordenadas del satélite 30: 15474304.357 4172938.957 21008721.916  
 Azimut 44.3904 (gra) Altura 66 50 27.961523

La corrección se puede realizar mediante:

$2.312 / \sin(\sqrt{ele * ele + 1.904e-3}) + 0.084 / \sin(\sqrt{ele * ele + 0.6854e-3})$  con "ele",  
 elevación en radianes y 2.6051 de resultado para la corrección

### 3.5.1.3 Formación de la matriz de diseño y solución del sistema

Una vez obtenidas las coordenadas del satélite y las pseudodistancias corregidas podemos formular las ecuaciones de observación, prácticamente idénticas a las ecuaciones en distancia en una red clásica.

$$P_k^1(t) = \sqrt{(u^1 - u_k)^2 + (v^1 - v_k)^2 + (w^1 - w_k)^2} - c dt_k$$

$$P_k^2(t) = \sqrt{(u^2 - u_k)^2 + (v^2 - v_k)^2 + (w^2 - w_k)^2} - c dt_k$$

$$P_k^3(t) = \sqrt{(u^3 - u_k)^2 + (v^3 - v_k)^2 + (w^3 - w_k)^2} - c dt_k$$

$$P_k^4(t) = \sqrt{(u^4 - u_k)^2 + (v^4 - v_k)^2 + (w^4 - w_k)^2} - c dt_k$$

o en forma matricial:

$$A_4 = - \begin{bmatrix} \frac{u^1 - u_k}{\rho_k^1} & \frac{v^1 - v_k}{\rho_k^1} & \frac{w^1 - w_k}{\rho_k^1} & c \\ \frac{u^2 - u_k}{\rho_k^2} & \frac{v^2 - v_k}{\rho_k^2} & \frac{w^2 - w_k}{\rho_k^2} & c \\ \frac{u^3 - u_k}{\rho_k^3} & \frac{v^3 - v_k}{\rho_k^3} & \frac{w^3 - w_k}{\rho_k^3} & c \\ \frac{u^4 - u_k}{\rho_k^4} & \frac{v^4 - v_k}{\rho_k^4} & \frac{w^4 - w_k}{\rho_k^4} & c \end{bmatrix}$$

$$\approx - \begin{bmatrix} (\mathbf{e}_k^1)^T & c \\ (\mathbf{e}_k^2)^T & c \\ (\mathbf{e}_k^3)^T & c \\ (\mathbf{e}_k^4)^T & c \end{bmatrix}$$

Siendo c la velocidad de la luz (299792458 m/s) y la notación la siguiente:

Superíndice: denota el satélite  
Subíndice: la estación o receptor

Se puede evaluar como incógnita conjunta  $cdtk$  y evitar que la matriz esté mal equilibrada a la hora de invertirla.

La primera fila de la matriz A quedaría:

-0.51938273672095 -0.21939841754108 -0.82589703182463 -1.00000000000000

y la del término independiente:

pseudo+dReloj-dTropo-distancia= 1.961620560436994e+005

La solución mínimo cuadrática nos dará:

X 5.1166623925  
Y -4.3440337093  
Z 5.2999997402  
cdt -196168.2209311274

y las coordenadas de la estación quedan 4851144.869 -314518.163 4116290.298

Con estas coordenadas se itera de nuevo hasta llegar a unas correcciones pequeñas, por ejemplo:

Correcciones

-0.0000093984  
0.0000083462  
-0.0000077541  
-196168.2209198036

y unas coordenadas calculadas finales:

$$\phi = \mathbf{40^{\circ} 26' 45.062482''}$$
$$\lambda = \mathbf{-3^{\circ} 42' 34.241244''}$$

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL POSICIONAMIENTO APLICANDO EL GPS PARA PROYECTOS VIALES**

## **4. CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL POSICIONAMIENTO, APLICANDO EL GPS PARA PROYECTOS VIALES**

### **4.1 IDENTIFICACIÓN Y PROCEDENCIA DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS A ANALIZAR**

Dependiendo del tipo de aplicación y el nivel de precisión que se quiera obtener usando el GPS, existen importantes ventajas y desventajas formando ciertas combinaciones lineales de las ecuaciones básicas de pseudodistancias y fase de la portadora.

Utilizando el GPS, se puede realizar bien *posicionamiento puntual o absoluto*, bien *posicionamiento relativo* entre puntos. Debido a las incertidumbres en la posición de los satélites, el comportamiento de los relojes y los retardos en la propagación de las señales, el posicionamiento absoluto sólo alcanza precisiones próximas a algunos metros.

Para la mayoría de las necesidades en aplicaciones geodésicas o geodinámicas, es necesario utilizar el GPS en posicionamiento relativo. Las fuentes de error que afectan a la señal GPS, órbitas de satélites, relojes de los satélites y receptores, errores debidos a la propagación atmosférica muestran algún tipo de correlación entre señales recibidas en varias estaciones que se encuentren recibiendo la señal de varios satélites simultáneamente.

La finalidad del posicionamiento diferencial es aprovechar estas correlaciones para mejorar la precisión de las posiciones relativas.

El uso de las medidas de código y de fase de la portadora para el posicionamiento relativo consiste en realizar diferencias entre dichas medidas, de forma que el efecto de varios de estos errores comunes en ambas medidas, desaparece o se minimiza, en el proceso de diferenciación.

Las diferencias entre las medidas GPS pueden realizarse bien entre receptores, bien entre satélites comunes, entre épocas o combinando las anteriores. Vamos a ver las más comunes, diferencias entre receptores, entre satélites y entre épocas.

### 4.1.1 Posicionamiento Absoluto con Código

Las pseudodistancias de código en una época determinada  $t$  pueden describirse como:

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \Delta\delta_i^j(t)$$

Donde:  $R_i^j(t)$  es la medida de pseudodistancia de código entre el observador  $i$  y el satélite  $j$ ,  $\rho_i^j(t)$  es la distancia geométrica entre el satélite y el observador, y  $c$  es la velocidad de la luz.

El último término, es el error combinado de los relojes del receptor  $i$  y el satélite  $j$ .

Si examinamos la ecuación anterior, las coordenadas del observador (nuestras incógnitas) se encuentran de forma implícita en la distancia geométrica puesto que:

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{\left(X^j(t) - X_i\right)^2 + \left(Y^j(t) - Y_i\right)^2 + \left(Z^j(t) - Z_i\right)^2}$$

Donde  $X^j(t), Y^j(t), Z^j(t)$  son las componentes del vector de posición geocéntrico (coordenadas) del satélite en la época  $t$  y  $X_i, Y_i, Z_i$  son las tres incógnitas de las coordenadas del observador.

Si consideramos el término  $\Delta\delta_i^j(t)$  para una época, cada satélite contribuye con una incógnita en el estado del reloj.

Si por un momento omitimos el error en el reloj del receptor del observador, la ecuación de pseudodistancias tiene cuatro incógnitas, las tres coordenadas del observador más el error del reloj del satélite.

Cada satélite adicional genera una ecuación más con las mismas coordenadas del observador como incógnitas, más otra incógnita de error de su propio reloj, de manera que siempre obtenemos más incógnitas que ecuaciones. Incluyendo una época adicional, los nuevos errores en los relojes de los satélites se pueden modelar con su deriva

La información de los relojes de los satélites son conocidos y se transmiten vía el mensaje de navegación en forma de tres coeficientes  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$  respecto a una época  $t_0$ , así:

$$\delta^j(t) = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2$$

Este polinomio elimina la mayor parte del error debido al reloj del satélite, si bien una parte siempre permanece presente.

La parte del error combinado se separa entonces en dos partes:

$$\Delta\delta^j(t) = \delta^j(t) - \delta_i(t)$$

donde la parte relacionada con el satélite la consideramos ya conocida, y el término relacionado con el receptor sigue siendo incógnita.

Substituyendo la última igualdad:

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_i(t)$$

De manera que las incógnitas pasan a ser 4 y se puede resolver observando a 4 satélites simultáneamente.

Si llamamos ahora al número de satélites, al número de épocas, el producto nos da el número de ecuaciones de observación de que se dispone. Para obtener una única solución, el número de incógnitas no puede ser mayor que el número de ecuaciones de observación. Si colocamos las incógnitas en el lado derecho de la igualdad, tenemos:

$$R_i^j(t) - c\delta^j(t) = \rho_i^j(t) - c\delta_i(t)$$

con lo que la condición se convierte en que:

$$n_j \cdot n_t \geq 3 + n_t$$

cada época puede ser considerada independientemente y la posición del observador  $i$  y los errores de los relojes para cada época pueden calcularse si se tienen observaciones

simultáneas, por lo que se puede incluir la posición del observador  $i$  como variable, es decir, en movimiento.

En los casos de aplicaciones estáticas en las que la posición del observador  $i$  es estática durante el periodo de observación, la situación es ligeramente diferente. La observación simultánea de cuatro satélites como mínimo no es necesaria, por ejemplo, si consideramos dos satélites y lo aplicamos a nuestra condición:

$$2 \cdot n_t \geq 3 + n_t \quad \Leftrightarrow \quad n_t \geq 3$$

dos satélites en tres épocas da solución única

#### 4.1.2 Posicionamiento Absoluto con Fase de la Portadora

Como ya vimos, las pseudodistancias se pueden obtener también a partir de las medidas de fase. El modelo matemático para estas medidas es:

$$\phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta \delta_i^j(t)$$

Aquí,  $\phi_i^j(t)$  es la fase portadora medida expresada en ciclos,  $\lambda$  es la longitud de onda, y  $\rho_i^j(t)$  es la misma distancia que para el modelo de distancia código, es decir, la distancia geométrica entre el satélite y el receptor. La ambigüedad de fase,  $N_i^j$ , independiente del tiempo es un número entero y, por lo tanto, a menudo es llamado *ambigüedad entera* o *incógnita entera*.

Para una sola época  $n = 1$ , sólo existe solución si se omite el número de ambigüedades, lo que nos llevaría al caso del modelo de pseudodistancias a partir del código y por lo tanto el número mínimo de satélites sería 4. Este caso significa que el modelo de posicionamiento absoluto mediante medidas de fase de la portadora se puede usar para aplicaciones cinemáticas siempre y cuando las ambigüedades se hayan resuelto con observaciones iniciales (de forma estática). Cuando las ambigüedades tienen que ser resueltas, el número mínimo de satélites a observar es  $= 2jn$ , lo que nos lleva a un número

mínimo de  $= 5 t n$ , si bien un número de 4 satélites nos da un resultado razonable y es una situación normal debido a la configuración de los satélites y en este caso, el número mínimo de épocas a observar sería  $\geq 3 t n$ .

#### 4.1.3 Posicionamiento Absoluto con Medidas DOPPLER

Vimos también que las pseudodistancias se pueden obtener también a partir de las medidas de datos Doppler. El modelo matemático para estas medidas era:

$$D_i^j(t) = \dot{\rho}_i^j(t) + c \cdot \Delta \dot{\delta}_i^j(t)$$

Esta ecuación se puede considerar como una derivada respecto al tiempo de la pseudodistancia de código o de fase de la portadora. En ella, es el desplazamiento Doppler observado, es la velocidad radial instantánea entre el satélite y el receptor, y es la derivada respecto al tiempo del error combinado de los relojes del satélite y el receptor.

La velocidad radial para un receptor estacionario se escribe como:

$$\dot{\rho}_i^j(t) = \frac{\dot{\bar{\rho}}^j(t) - \dot{\bar{\rho}}_i}{\left| \bar{\rho}^j(t) - \bar{\rho}_i \right|} \cdot \dot{\bar{\rho}}^j(t)$$

y relaciona la posición incógnita del receptor con la posición y velocidad instantánea del satélite. Éstos últimos se pueden calcular a partir de las efemérides de los satélites obtenidas del mensaje de navegación.

La contribución del error del satélite al término  $\Delta \dot{\delta}_i^j(t)$  se puede obtener derivando el modelo lineal para el error en el estado del reloj que vimos en el posicionamiento absoluto con medidas de código:

$$\dot{\delta}^j(t) = a_1 + 2a_2(t - t_0)$$

#### 4.1.4 Posicionamiento relativo

- El objetivo del posicionamiento relativo es determinar las coordenadas de un punto con respecto a otro de coordenadas conocidas.
- El posicionamiento relativo permite la determinación del vector entre dos puntos. A este vector se le viene denominando "baseline".
- Supongamos un punto A de coordenadas conocidas, un punto B de coordenadas desconocidas y el vector entre ellos, así:

$$\vec{X}_B = \vec{X}_A + \vec{b}_{AB}$$


Las componentes del vector baselínea son:

$$\vec{b}_{AB} = \begin{pmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{pmatrix}$$

En el posicionamiento relativo es necesario hacer observaciones simultáneas en ambos puntos.

Esto significa que las observaciones tienen las mismas marcas de tiempos.

2 tipos:

- De código:
  - Por coordenadas.
  - Por pseudodistancias.
- De fase:
  - Ecuaciones de Simples, Dobles y Triples diferencias

#### 4.1.5 Resumen del Posicionamiento.

##### - Posicionamiento Absoluto:

- Código.....  $R_i^j(t) - c \delta^j(t) = \rho_i^j(t) - c \delta_i(t)$
- Fase (Cero diferencias)  $\phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j + f^j \delta^j(t) - f^j \delta_i(t)$
- Doppler.....  $D_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \Delta \delta_i^j(t)$

##### - Posicionamiento Relativo:

###### ● Fase

Simple Diferencias

$$\Phi_A^{jk}(t) - \frac{c}{\lambda} \delta^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^{jk}(t) + N_A^{jk} - d_{Aion}^{jk}(t) + d_{Atrp}^{jk}(t)$$

Dobles Diferencias

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk} - d_{ABion}^{jk}(t) + d_{ABtrp}^{jk}(t)$$

Triples Diferencias

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_{12}) - d_{ABion}^{jk}(t_{12}) + d_{ABtrp}^{jk}(t_{12})$$

##### - Código:

● por coord.

$$X_A = \text{Corrección}(t) + X_A(t)$$

● por pseudodist.

$$PRC_A^j(t_L) \approx PRC_B^j(t_K) + RRC_B^j(t_K) \cdot (t_L - t_K)$$



#### 4.1.6 Ecuaciones e Incógnitas en los Modelos Matemáticos

(Absolutos y Relativos) -(Estáticos y Cinemáticos)-(Código y Fase)

- |             |          |            |
|-------------|----------|------------|
| •Estático   | Absoluto | de Código. |
| •Cinemático | Absoluto | de Código. |
| •Estático   | Absoluto | de Fase.   |
| •Cinemático | Absoluto | de Fase.   |
| •Estático   | Relativo | de Código. |
| •Cinemático | Relativo | de Código. |
| •Estático   | Relativo | de Fase.   |
| •Cinemático | Relativo | de Fase.   |

#### 4.1.6.1 Ecuaciones e Incógnitas

##### Estático Absoluto de Código

- Un receptor  $i$  a  $j$  satélites

$n_j = n^\circ$  de satélites

$n_t = n^\circ$  de épocas

$$R_i^j(t) - c\delta^j(t) = \rho_i^j(t) - c\delta_i(t)$$

- Ecuaciones  $\rightarrow n_j \cdot n_t$
- Incógnitas  $\rightarrow 3 + n_t$
- Condición  $\rightarrow n_j \cdot n_t \geq 3 + n_t$

##### Cinemático Absoluto de Código

$$R_i^j(t) - c\delta^j(t) = \rho_i^j(t) - c\delta_i(t)$$

- Ecuaciones  $\rightarrow n_j \cdot n_t$
- Incógnitas  $\rightarrow 4n_t$
- Condición  $\rightarrow n_j \cdot n_t \geq 4n_t$

##### Estático Absoluto de Fase (Cero diferencias)

$$\phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta\delta_i^j(t)$$

- Ecuaciones  $\rightarrow n_j \cdot n_t$
- Incógnitas  $\rightarrow 3 + n_j + n_t$
- Condición  $\rightarrow n_j \cdot n_t \geq 3 + n_j + n_t$

Cinemático Absoluto de Fase

$$\phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta \delta_i^j(t)$$

- Ecuaciones  $\rightarrow n_j \cdot n_t$
- Incógnitas  $\rightarrow 4 n_t + n_j$
- Condición  $\rightarrow n_j \cdot n_t \geq n_j + 4n_t$

Estático y Cinemático Relativo de código

$$PRC_A^j(t_L) \approx PRC_B^j(t_K) + RRC_B^j(t_K) \cdot (t_L - t_K)$$

- Ecuaciones e Incógnitas = Absoluto Código
- Por fases:
  - 1º Resolver en A y B con mismos satélites
  - 2º Aplicar corrección de A a B

### Estático Relativo de fase

- Dos receptores A y B
- Se supone que observan
  - los mismos satélites ( $n_j = n^\circ$  de satélites)
  - Las mismas épocas ( $n_t = n^\circ$  de épocas)
- Veremos para:
  - Simples diferencias
  - Dobles diferencias
  - Triples diferencias

### • Simples Diferencias

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) - \frac{c}{\lambda} \delta_{AB}(t) + N_{AB}^j - d_{ABion}^j(t) + d_{ABtrp}^j(t)$$

$$\triangleright \text{Ecuaciones} \quad \rightarrow \quad n_j \cdot n_t$$

$$\triangleright \text{Incógnitas} \quad \rightarrow \quad 3 + n_j + n_t$$

$$\triangleright \text{Condición} \quad \rightarrow \quad n_j \cdot n_t \geq 3 + n_j + n_t$$

### • Dobles Diferencias

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk} - d_{ABion}^{jk}(t) + d_{ABtrp}^{jk}(t)$$

- Ecuaciones  $\rightarrow (n_j - 1)n_t$
- Incógnitas  $\rightarrow 3 + (n_j - 1)$
- Condición  $\rightarrow (n_j - 1) \cdot n_t \geq 3 + (n_j - 1)$

- Triples Diferencias

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_{12}) - d_{ABion}^{jk}(t_{12}) + d_{ABtrp}^{jk}(t_{12})$$

- Ecuaciones  $\rightarrow (n_j - 1)(n_t - 1)$
- Incógnitas  $\rightarrow 3$
- Condición  $\rightarrow (n_j - 1) \cdot (n_t - 1) \geq 3$

Cinemático Relativo de fase

- Simples Diferencias

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) - \frac{c}{\lambda} \delta_{AB}(t) + N_{AB}^j - d_{ABion}^j(t) + d_{ABtrp}^j(t)$$

- Ecuaciones  $\rightarrow n_j \cdot n_t$
- Incógnitas  $\rightarrow 3n_t + n_j + n_t$
- Condición  $\rightarrow n_j \cdot n_t \geq 3n_t + n_j + n_t$

- Dobles Diferencias

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk} - d_{ABion}^{jk}(t) + d_{ABtrp}^{jk}(t)$$

- Ecuaciones  $\rightarrow (n_j - 1)n_t$
- Incógnitas  $\rightarrow 3n_t + (n_j - 1)$
- Condición  $\rightarrow (n_j - 1) \cdot n_t \geq 3n_t + (n_j - 1)$

• Triples Diferencias

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_{12}) - d_{ABion}^{jk}(t_{12}) + d_{ABtrp}^{jk}(t_{12})$$

- Ecuaciones  $\rightarrow (n_j - 1)(n_t - 1)$
- Incógnitas  $\rightarrow 3n_t$
- Condición  $\rightarrow (n_j - 1) \cdot (n_t - 1) \geq 3n_t$

## **4.2 COMPARACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS ELEGIDOS**

### **4.2.1 COMPARACIÓN DE AMBOS MÉTODOS**

#### **4.2.1.1 INTRODUCCIÓN: DATOS DE LA OBSERVACIÓN**

Se trata en este capítulo de poner en práctica el método LAMBDA, confirmando la mejora que produce en el sistema de ecuaciones de dobles diferencias, para el observable de la portadora, respecto al método del redondeo al entero.

Para ello, se emplean las observaciones relativas a una base geodésica, emplazada al noreste de la provincia de Valencia, y realizadas el 18 de Noviembre de 1.997 para dotar de coordenadas a un vértice. Los nombres de los vértices son:

- Bord: vértice geodésico, situado en Campos Bord, referencia a partir de ahora será BORD.
- RE14: punto al que se le quiere dotar de coordenadas. Emplazado en el término municipal de Sagunto. Su denominación será RE14.

Su disposición aproximada puede observarse en la figura no5. La observación fue realizada con receptores de la casa Trimble serie 4000S, de una única frecuencia, la distancia aproximada entre ambos vértices es de unos 10 Km. El tiempo común de toma de datos se puede establecer en dos horas, definido entre las 9:30 a.m. y las 11:30 a.m. Las épocas se realizaron cada 15 segundos. Los datos referentes a la observación se muestran en el siguiente apartado, en forma de fichero RINEX11.

La resolución de esta base se realizó inicialmente dentro del entorno GPSurvey™, asegurando un valor de coordenadas para RE14, con el que poder comparar el valor resultante del cálculo que se iba a realizar. Estas coordenadas finales, definidas en el sistema geodésico Global WGS-84 12, fueron:

$$\begin{aligned} X_{RE-14} &= 4918102.078 \text{ m.} \\ Y_{RE-14} &= -22401.046 \text{ m.} \\ Z_{RE-14} &= 4047557.586 \text{ m.} \end{aligned}$$

#### **4.2.1.2 DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO**

Los datos de partida se componen de tres ficheros de datos. Estos archivos se dividen en dos grupos:

- 2 ficheros RINEX obtenidos a partir de los ficheros de observaciones de cada receptor en cada base. El programa que transforma a este formato se desarrolla en entorno DOS, su nombre es DAT2RIN.exe y se encuentra ubicado en el directorio GPSurvey\bin del programa de cálculo GPSurvey™. Las opciones de este programa aparecen tecleando el nombre del archivo. En la versión disponible, la 1.01, se construyen dos archivos 13: o uno de observaciones propiamente dichas, o y otro de navegación, con efemérides cada 2 horas y datos orbitales. Este fichero no se ha empleado dado que se dispone de un fichero de efemérides precisas.

- 1 fichero de efemérides precisas. Este ofrece las coordenadas de los satélites y el error de su reloj. El archivo se han obtenido por Internet<sup>14</sup> a través del organismo CODE<sup>15</sup>, Estas coordenadas vienen en formato \*.Sp316, proporcionando las efemérides cada 15 minutos. Parte de este archivo se ofrece en el apartado 4.2.2.

##### **4.2.1.2.1 Ficheros RINEX de observaciones**

La denominación de los archivos RINEX sigue la siguiente estructura => "ssssdddf.yyt", donde:

- ssss: establecen la identificación de la base, p.e. BORD,
- ddd: indican el día del año (365 días),
- f: número de sesión,
- yy: año, sólo los dos últimos dígitos,
- t: tipo de fichero, o para observaciones, n para navegación.
- f: número de sesión,
- yy: año, sólo los dos últimos dígitos,
- t: tipo de fichero, o para observaciones, n para navegación.

Siguiendo esta estructura, las denominaciones de los dos archivos que se presentan, son:

- Bord3220.97o
- rel43220.97o.

Una extracción de estos archivos, compuesta por la cabecera y 5 épocas de datos, con hora de inicio las 10:00 a.m., se exponen en los siguientes sub apartados. Obsérvese la tendencia o sesgo de cada reloj a la hora de marcar el tiempo en que se toma la medida de cada época. Esto fue uno de los problemas informáticos a resolver.

### Bord3220.97o

```

2      OBSERVATION DATA          RINEX VERSION / TYPE
DAT2RIN 1.01c  CTL          17DEC97 1:33:03 GMT/PGM / RUN BY / DATE
CTL          CTL          OBSERVER / AGENCY
7765       TRIMBLE 4000SE  Nav 6.10 Sig 1.21 REC # / TYPE / VERS
0          COMPACT DOME          ANT # / TYPE
BORD          MARKER NAME
BORD          MARKER NUMBER
4919530.7460 -32569.2410 4046127.0810 APPROX POSITION XYZ
2.6200  0.0000  0.0000          ANTENNA: DELTA H/E/N
-----
Note: The above offsets are CORRECTED.          COMMENT
Raw Offsets: H= 1.3100 E= 0.0000 N= 0.0000          COMMENT
Note: The above height is to the antenna base.          COMMENT
-----
1      1      0          WAVELENGTH FACT L1/2
2      L1  C1          # / TYPES OF OBSERV
15          INTERVAL
1997  11  18  9  25  0.000000          TIME OF FIRST OBS
1997  11  18  11  57  30.000000          TIME OF LAST OBS
9          # OF SATELLITES
2      123  124          PRN / # OF OBS
4      559  559          PRN / # OF OBS
10     553  553          PRN / # OF OBS
14     31   31          PRN / # OF OBS
16     389  389          PRN / # OF OBS
18     589  589          PRN / # OF OBS
19     611  611          PRN / # OF OBS
24     610  611          PRN / # OF OBS
27     610  610          PRN / # OF OBS
END OF HEADER

97 11 18 9 59 14.9990000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
1015628.57900 20772271.20600
-3679128.98200 23383133.05800
3617580.35900 22236953.53400
2704510.58600 20864809.39400
-3912608.82200 20668442.37000
-4934424.46800 21399140.05000
-7305938.66200 22593895.98700
97 11 18 9 59 29.9990000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
1034234.23600 20775812.25300
-3724168.16700 23374556.89400
3649437.88300 22243014.53400
2730748.99000 20869804.72200
-3930852.52400 20664972.06500
-4961115.34800 21394061.65900
-7354763.52100 22584607.94800
97 11 18 9 59 44.9990000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
1052996.79200 20779382.24500
-3769173.83200 23365989.76100
3681377.75300 22249091.99500
2757074.54400 20874814.98000
-3948933.60300 20661530.11200
-4987657.77200 21389010.89400
-7403505.68000 22575332.08100
97 11 18 9 59 59.9990000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
1071915.41900 20782982.30800
-3814145.98300 23357429.48700
3713405.00700 22255107.00000
2783490.35300 20879842.87600
-3966851.43900 20658120.69800
-4914051.41200 21383987.74500
-7452161.60300 22566076.83600
97 11 18 10 0 14.9990000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
1094985.64800 20786609.73700
-3859087.87100 23348879.94000
3743516.15400 22261295.87800
2809993.29200 20884886.73700
-3984683.49500 20654740.37800
-4944297.99600 21378992.22300
-7504732.41600 22556832.81200

```

re 143220.97o

Es interesante fijarse en las coordenadas aproximadas que se han tomado para el punto RE14. Éstas han sido remarcadas en negrita.

```
2      OBSERVATION DATA          RINEX VERSION / TYPE
DAT2RIN 1.01c  CTL          19DEC97 18:23:11 GMT/PGM / RUN BY / DATE
CTL      CLT                      OBSERVER / AGENCY
8786     TRIMBLE 4000SE  Nav 6.10 Sig 1.21 REC # / TYPE / VERS
0        COMPACT DOME              ANT # / TYPE
8786     MARKER NAME
8786     MARKER NUMBER
4918102.0660 -22401.0490 4047557.9723  APPROX POSITION XYZ
      9.3400  0.0000  0.0000          ANTENNA: DELTA H/E/N
-----
Note: The above offsets are CORRECTED.  COMMENT
Raw Offsets: H= 4.6700 E= 0.0000 N= 0.0000 COMMENT
Note: The above height is to the antenna base. COMMENT
-----
      1  1  0                      WAVELENGTH FACT L1/2
      2  L1 C1                      # / TYPES OF OBSERV
      15                               INTERVAL
1997 11 18  8 26 45.000000          TIME OF FIRST OBS
1997 11 18 11 29 0.000000          TIME OF LAST OBS
      10                               # OF SATELLITES
      2 11 11                      PRN / # OF OBS
      4 730 730                     PRN / # OF OBS
      7 122 122                     PRN / # OF OBS
     10 439 439                     PRN / # OF OBS
     14 259 259                     PRN / # OF OBS
     16 625 625                     PRN / # OF OBS
     18 730 730                     PRN / # OF OBS
     19 730 730                     PRN / # OF OBS
     24 702 702                     PRN / # OF OBS
     27 540 541                     PRN / # OF OBS
                                END OF HEADER
97 11 18 9 59 44.9980000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
-5765279.17300 20359078.62300
-4601843.66500 22948828.17000
 4757905.20600 21817222.76400
 571810.49200 20445631.60700
-17453106.33400 20234758.73200
-17697335.17200 20970293.04500
-11472667.72300 22153647.89700
97 11 18 10 00 00.0000000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
-5758810.33000 20360310.30300
-4659331.86500 22937887.38900
 4777455.55800 21820945.63900
 585674.89100 20448270.60700
-17483522.35200 20228969.82600
-17736167.15800 20962907.02200
-11533802.54200 22142016.89700
97 11 18 10 0 14.9980000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
-5752243.31900 20361560.16200
-4716843.30100 22926943.91200
 4797036.50800 21824668.35700
 599572.98800 20450913.97500
-17513836.08400 20223203.52900
-17774905.43900 20955534.65400
-11594905.71200 22130387.01400
97 11 18 10 0 29.9970000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
-5745586.95700 21262205.07100
-4774385.08500 23815371.93100
 4816637.02900 22727779.14900
 613499.00500 21352941.42300
-17544059.39800 21116831.50100
-17813556.47200 21847555.57100
-11655986.38700 23018142.97000
97 11 18 10 0 44.9980000 0 7 4 10 16 18 19 24 27
-5738836.74300 20364110.57600
-4831969.60000 22905036.50600
 4836259.86200 21832133.74800
 627460.14100 20456224.49800
-17574198.89100 20211715.61500
-17852126.97900 20940843.93600
-11717060.25900 22107143.95100
```

#### **4.2.1.2.2 Fichero de efemérides precisas en formato SP3**

La denominación de este tipo de ficheros sigue la siguiente estructura => "ngsnxxx.aaa", donde:

- ngs: siglas del organismo que ofrece las coordenadas.
- nxxx: número de semana GPS, no se debe confundir con la semana dentro del año normal,
- x: día de la semana del cual se requiere información. Estos se numeran, por lo general, desde 0 para el domingo a 6 para el sábado. Algunos organismos comienzan en día lunes con el valor del 0, por lo que se recomienda abrir el fichero y ver que se corresponde con el día del que se desea la información.
- aaa: es el tipo de formato SP1,SP2,ECF1,ECF2, EF13, ECF3 o EF18.

Siendo esta nomenclatura, el archivo de efemérides obtenido lleva el nombre de Cod09322.sp3, siendo proporcionado por el CODE.

Respecto a la descripción del fichero lo que más interesa son las coordenadas de los satélites, dadas en sistema geocéntrico global WGS-84. Éstas son distinguibles fácilmente en el fichero. También se da el error del oscilador, éste aparece como cuarta columna, siguiendo a las coordenadas X, Y, Z de cada satélite. El extracto que se ofrece contiene la cabecera del fichero y las coordenadas de los satélites durante el periodo comprendido entre las 10:00 a.m. y las 10:30 a.m. (tiempo en el que se realizaron los experimentos).

Cod09322.sp3

### 4.2.2.1. Cod09322.sp3

```
#aP1997 11 18 0 0 0.00000000 96 d+D ITR94 AIUB
## 932 172800.00000000 900.00000000 50770 0.00000000000000
+ 26 1 2 3 4 5 6 7 9 10 13 14 15 16 17 18 19 21
+ 22 23 24 25 26 27 29 30 31 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 5 6 5 5 5 5 5 5 9 12 5 5 5 5 11 5
++ 9 13 5 5 5 5 10 11 5 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c cc cc ecc ecc eccc eccc eccc eccc eccc eccc eccc eccc
%c cc cc ecc ecc eccc eccc eccc eccc eccc eccc eccc eccc
%f 0.00000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.00000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/*
/* CENTER FOR ORBIT DETERMINATION IN EUROPE (CODE)
```

```
/* ORBIT FOR DAY 322, 1997
/* INCLUDING PRECISE CODE CLOCKS (SMOOTHED CODE I
* 1997 11 18 10 0 0.00000000
1 -19017.204314 11205.286270 -14641.466306 32.873218
2 17933.834969 2020.953695 -19245.567473 -424.575142
3 -13269.414177 23063.278233 377.706560 72.213633
4 24078.589581 -6110.690876 9696.431198 57.346656
5 -10264.027449 -23953.067381 -5232.362049 122.939520
6 -12109.128470 -9494.318370 21751.627580 -0.050710
7 18417.940070 -10069.786827 -15854.320970 760.731521
9 -6664.913984 -15110.928922 -20916.708944 -18.825157
10 4380.994433 -18320.531586 18699.984396 15.196873
13 18748.104831 -9791.944371 16141.023453 -23.319676
14 12083.012560 23609.509254 -262.845387 24.172842
15 8002.805775 14511.592691 -20974.288264 491.111081
16 17028.006883 17687.532772 10266.349825 36.702585
17 -24651.065522 -7237.480598 7330.590592 -165.239668
18 12701.177785 8975.527694 21299.167913 7.465391
19 23359.772497 6927.122013 10784.197777 309.341500
21 -16810.311598 -649.085456 -20592.597039 5.765568
22 -7957.239504 15091.241745 20157.546421 29.972118
23 -17917.794257 -13791.492428 -13829.858867 6.177377
24 12370.643199 -12888.148628 19858.701102 785.625702
25 -22910.212891 8401.714201 10239.827435 -6.489863
26 3971.337164 -23175.460720 -11798.921702 -41.527662
27 26788.547839 -1716.109771 -1594.506575 8.060522
29 -12325.750230 23449.043942 787.726787 169.973773
30 -17510.264968 -17940.388171 8596.348906 -10.725969
31 -3118.442627 23188.797882 -12464.193322 0.065937
1997 11 18 10 15 0.00000000
```

1	-18290.513368	9536.864890	-16602.506578	32.777508	
2	19062.900110	3905.790366	-17901.477172	-424.690299	
3	-13417.183726	22751.523207	3199.184290	72.289175	
4	25019.469120	-5939.517702	7034.559373	57.652584	
5	-9607.991506	-23480.294282	-7915.443969	122.904635	
6	-10866.225143	-11600.617046	21356.827466	-0.102785	
7	17668.513907	-8239.023851	-17662.172165	760.785682	
9	-4257.257812	-15243.266730	-21416.084623	-18.759779	
10	5649.264202	-16502.487270	20017.479159	15.165100	
13	17975.107456	-8007.455875	17910.351013	-23.529104	
14	11785.210739	23554.920265	-3133.075003	24.199096	
15	5609.431501	14504.396387	-21751.274187	491.114675	
16	17340.600628	18683.433140	7657.323235	36.706857	
17	-23644.528086	-7330.106931	9975.314400	-165.231974	
18	11567.132483	11169.531716	20905.039486	7.368727	
19	22023.089577	7316.600970	13082.964977	309.298600	
21	-17953.809908	-2644.212468	-19500.946256	5.740802	
22	-9363.736121	13163.769956	20930.532775	29.783349	
23	-18488.819290	-15178.409212	-11513.381102	6.060030	
24	14510.751951	-12818.924198	18371.690521	785.474822	
25	-23953.084395	8163.364438	7676.956489	-6.453787	
26	4792.707072	-24133.736845	-9289.853236	-41.603687	
27	26823.236242	-1453.371864	1186.861754	7.848160	
29	-12536.933186	23239.266923	-2060.047613	170.072807	
30	-17732.782092	-18806.103613	5925.834075	-10.664890	
31	-3917.995941	24206.966198	-10007.464557	-0.059358	
1997	11	18	10	30	0.00000000
1	-17558.279148	7647.763371	-18275.204930	32.829345	
2	20175.787431	5591.933984	-16245.122869	-424.544483	
3	-13452.041549	22159.604931	5965.877297	72.371092	
4	25662.264195	-5796.772418	4252.966127	57.443073	
5	-8752.503960	-22803.990961	-10462.531607	122.849109	
6	-9761.438262	-13712.650698	20597.122336	-0.171706	
7	16936.117705	-6200.213817	-19157.222612	760.660710	
9	-1820.672902	-15498.992893	-21549.817971	-18.660206	
10	7085.744226	-14648.588459	20990.165612	15.258125	
13	17219.339135	-6019.722201	19373.138583	-23.428079	
14	11310.232460	23244.898522	-5949.164074	24.068365	
15	3153.472477	14633.403551	-22161.424104	491.118969	
16	17543.778251	19405.869695	4917.322482	36.670592	
17	-22354.132551	-7480.722454	12450.799369	-165.252754	
18	10567.181140	13355.317909	20143.541450	7.471024	
19	20462.654875	7803.024904	15158.592934	309.174238	
21	-19118.027601	-4453.934853	-18076.657209	5.552138	
22	-10899.053333	11256.352835	21338.439027	29.835335	
23	-18985.114638	-16298.596840	-8998.437457	6.040079	
24	16468.979853	-12856.576337	16573.158927	785.566483	
25	-24711.421401	7936.005559	4980.239164	-6.576336	
26	5438.660795	-24863.984959	-6616.128932	-41.714856	
27	26564.465628	-1158.019175	3948.534585	8.003213	
29	-12630.395458	22745.626777	-4872.049967	169.917050	
30	-17820.938782	-19406.720207	3152.835022	-10.607304	
31	-4547.094608	25002.503696	-7377.062822	-0.056096	

BOF

#### 4.2.1.2.3 CONSIDERACIONES PREVIAS

Entre las consideraciones a tener en cuenta, previas a la realización de los cálculos, están:

- No se han tenido en cuenta las observaciones de código. La razón parte en primer lugar de cuestiones de agilización de cálculo. Las ecuaciones de código añaden únicamente redundancias al sistema, por lo que el número de ecuaciones podría duplicarse, ralentizando el análisis del procedimiento. En segundo lugar, no se han incluido debido a que no se necesitan para la aplicación del método LAMBDA.

- Dado que los receptores empleados no corrigen los saltos de ciclo, simplemente los marcan, se ha realizado una revisión exhaustiva de los ficheros de observaciones. Afortunadamente no se ha encontrado ninguno.

- Mediante el uso del modelo de dobles diferencias se eliminan las desviaciones de los osciladores de los receptores con respecto a la escala de tiempo GPS, gracias a las hipótesis de observaciones simultáneas e iguales frecuencias de emisión en cada satélite. Siguen presentando, sin embargo, el error debido a la ambigüedad inicial en ambas estaciones y las variaciones atmosféricas.

- El modelo estocástico empleado refleja, unido al ruido, los parámetros referidos a los retardos atmosféricos y errores orbitales, que son los sesgos que permanecen en el modelo de dobles diferencias, tanto para la fase portadora como para la pseudodistancia. En bases muy cortas (5 Km), la contribución de los retardos ionosféricos y troposféricos pueden ser despreciados pues no tiene una gran influencia. Los errores sistemáticos que permanecen pueden ser explicados principalmente por los diferentes comportamientos de los componentes electrónicos de los receptores participantes. La distancia empleada en el estudio se encuentra entre las medias distancias, en ellas el principal inconveniente de la estrategia adoptada es la no inclusión de los posibles sistematismos, ya comentados, que puede que hayan alcanzado valores que afecten a los valores adoptados como enteros para las ambigüedades de dobles diferencias, alejándolos de sus valores reales. Así cuanto mayor es la longitud, más difícil es fijar correctamente las ambigüedades y más pierden estas su sentido físico.

- Se consideran las coordenadas del vértice BORD como fijas, calculando como incógnitas las coordenadas de RE14. Estas coordenadas vienen dadas en el Sistema Geodésico Global-84. Los ficheros RINEX ofrecen unas coordenadas aproximadas de los puntos de observación, de ahí que se haya aprovechado esta característica para evitar tener que resolver las triples diferencias para obtener, análogamente, unas coordenadas aproximadas para RE14.
- Los tiempos de las épocas se consideran redondeados al número entero de segundos más próximos. Corrigiendo el sesgo de los relojes de los receptores.
- Respecto a las ambigüedades, éstas se mantiene en todo el periodo de cálculo como fijas en el tiempo, de esta forma se generan redundancias. Esto se debe a que las dobles diferencias tienen dos propiedades. Por un lado, preservan la naturaleza integral del término de la ambigüedad inicial. Por otro lado, se consideran constantes en el tiempo mientras se mantenga la misma constelación de satélites.
- El fin del estudio es ver la mejora en la precisión de las coordenadas mediante la aplicación del método LAMBDA frente al redondeo al entero para las aplicaciones geodésicas. Así la magnitud de los valores de las coordenadas se deja en segundo plano, priorizando la mejora en su valor de precisión mediante la aplicación de dicha técnica.

#### 4.2.1.3 ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE ECUACIONES DE PARTIDA

Partiendo de las dobles diferencias entre el receptor  $A=\{\text{BORD}\}$  y los satélites  $j, k$ , el modelo simplificado (sin correcciones atmosféricas), viene dado por:

$$\lambda\phi_{A,RE14}^{j,k}(t) = \rho_{A,RE14}^{j,k}(t) + \lambda N_{A,RE14}^{j,k}, \quad (25)$$

Donde:

$$\begin{aligned}\phi_{A,RE14}^{j,k}(t) &= \phi_{RE14}^k(t) - \phi_{RE14}^j(t) - \phi_A^k(t) + \phi_A^j(t), \\ \rho_{A,RE14}^{j,k}(t) &= \rho_{RE14}^k(t) - \rho_{RE14}^j(t) - \rho_A^k(t) + \rho_A^j(t), \\ N_{A,RE14}^{j,k}(t) &= N_{RE14}^k(t) - N_{RE14}^j(t) - N_A^k(t) + N_A^j(t)\end{aligned}\quad (26)$$

Teniendo en cuenta que las coordenadas de del punto A={BORD} deben ser conocidas para realizar el posicionamiento relativo, es decir:

$$\Delta X_A = \Delta Y_A = \Delta Z_A = 0 \quad (27)$$

entonces, al linealizar la pseudodistancia, su ecuación queda reducida a las incógnitas de la base RE14,

$$\begin{aligned}\rho_{A,RE14}^k(t) &= \rho_{RE140}^k(t) - \frac{X^k(t) - X_{RE140}}{\rho_{RE140}^k(t)} \Delta X_{RE14} - \frac{Y^k(t) - Y_{RE140}}{\rho_{RE140}^k(t)} \Delta Y_{RE14} - \frac{Z^k(t) - Z_{RE140}}{\rho_{RE140}^k(t)} \Delta Z_{RE14} \\ &\quad - \rho_{RE140}^j(t) + \frac{X^j(t) - X_{RE140}}{\rho_{RE140}^j(t)} \Delta X_{RE14} + \frac{Y^j(t) - Y_{RE140}}{\rho_{RE140}^j(t)} \Delta Y_{RE14} + \frac{Z^j(t) - Z_{RE140}}{\rho_{RE140}^j(t)} \Delta Z_{RE14}\end{aligned}\quad (28)$$

con RE140, como las coordenadas aproximadas de RE14.

Para su disposición matricial se emplearán las siguientes abreviaturas:

$$\begin{aligned}a_{XRE14}^{jk}(t) &= -\frac{X^k(t) - X_{RE140}}{\rho_{RE140}^k(t)} + \frac{X^j(t) - X_{RE140}}{\rho_{RE140}^j(t)} \\ a_{YRE14}^{jk}(t) &= -\frac{Y^k(t) - Y_{RE140}}{\rho_{RE140}^k(t)} + \frac{Y^j(t) - Y_{RE140}}{\rho_{RE140}^j(t)} \\ a_{ZRE14}^{jk}(t) &= -\frac{Z^k(t) - Z_{RE140}}{\rho_{RE140}^k(t)} + \frac{Z^j(t) - Z_{RE140}}{\rho_{RE140}^j(t)}\end{aligned}$$

$$l_{A,RE14}^{jk}(t) = \lambda \phi_{A,RE14}^{jk}(t) - \rho_{RE140}^k(t) + \rho_{RE140}^j(t) + \rho_A^k(t) - \rho_A^j(t). \quad (29), (30)$$

De esta forma la ecuación de observación para el caso general de estos dos vértices queda:

$$\begin{aligned}l_{ARE14}^{jk}(t) &= a_{XRE14}^{jk}(t) \Delta X_{RE14} + a_{YRE14}^{jk}(t) \Delta Y_{RE14} + \\ &\quad a_{ZRE14}^{jk}(t) \Delta Z_{RE14} + \lambda N_{ARE14}^{jk}.\end{aligned}\quad (31)$$

Si se toman ahora dos instantes  $t_1$  y  $t_2$ . Las dobles diferencias para dos épocas distintas, y para los mismos dos satélite  $j, k$ , vienen dadas por:

$$l_{ARE14}^{jk}(t_1) = a_{XRE14}^{jk}(t_1)\Delta X_{RE14} + a_{YRE14}^{jk}(t_1)\Delta Y_{RE14} + a_{ZRE14}^{jk}(t_1)\Delta Z_{RE14} + \lambda N_{ARE14}^{jk},$$

$$l_{ARE14}^{jk}(t_2) = a_{XRE14}^{jk}(t_2)\Delta X_{RE14} + a_{YRE14}^{jk}(t_2)\Delta Y_{RE14} + a_{ZRE14}^{jk}(t_2)\Delta Z_{RE14} + \lambda N_{ARE14}^{jk} \quad (32)$$

Si siguiendo el ejemplo, se toman ahora cuatro satélites ( $j, k, l, m$ ) tomando  $j$  como referencia, y las dos épocas ( $t_1, t_2$ ) ya descritas, el sistema de ecuaciones quedaría:

$$A = \begin{bmatrix} a_{XRE14}^{jk}(t_1) & a_{YRE14}^{jk}(t_1) & a_{ZRE14}^{jk}(t_1) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{XRE14}^{jl}(t_1) & a_{YRE14}^{jl}(t_1) & a_{ZRE14}^{jl}(t_1) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{XRE14}^{jm}(t_1) & a_{YRE14}^{jm}(t_1) & a_{ZRE14}^{jm}(t_1) & 0 & 0 & \lambda \\ a_{XRE14}^{jk}(t_2) & a_{YRE14}^{jk}(t_2) & a_{ZRE14}^{jk}(t_2) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{XRE14}^{jl}(t_2) & a_{YRE14}^{jl}(t_2) & a_{ZRE14}^{jl}(t_2) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{XRE14}^{jm}(t_2) & a_{YRE14}^{jm}(t_2) & a_{ZRE14}^{jm}(t_2) & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} \Delta X_{RE14} \\ \Delta Y_{RE14} \\ \Delta Z_{RE14} \\ N_{ARE14}^{jk} \\ N_{ARE14}^{jl} \\ N_{ARE14}^{jm} \end{bmatrix}$$

$$K^T = \begin{bmatrix} l_{ARE14}^{jk}(t_1) & l_{ARE14}^{jl}(t_1) & l_{ARE14}^{jm}(t_1) & l_{ARE14}^{jk}(t_2) & l_{ARE14}^{jl}(t_2) & l_{ARE14}^{jm}(t_2) \end{bmatrix} \quad (33)$$

sistema, en este caso, determinado para la aplicación a  $A=\{\text{BORD}\}$ . En el caso de una época, hubiera sido indeterminado al plantearse más incógnitas que ecuaciones.

Puede aplicarse una matriz de pesos, obtenida de la inversa de la matriz varianza-covarianza a priori, que establezca desde el inicio, las correlaciones existentes entre las dobles diferencias, aunque el método LAMBDA dedica uno de sus pasos a eliminar estas covarianzas. En general, la matriz cuadrada de los pesos para un instante  $t$  viene dada por:

$$P(t) = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{n_{DD} + 1} \begin{bmatrix} n_{DD} & -1 & -1 \\ -1 & n_{DD} & -1 \\ -1 & -1 & n_{DD} \end{bmatrix} \quad (34)$$

donde no se corresponde con el número de diferencias dobles existentes en el instante t. Para más instantes, la matriz peso total se compondrá de bloques de matrices de este tipo.

Definidas las matrices, se aplicará el habitual sistema de ajuste por Mínimos Cuadrados.

n° épocas	Dim (A)	$\sigma_0^2$	$\Delta X$	$Q_{XX}$	$\Delta Y$	$Q_{YY}$	$\Delta Z$	$Q_{ZZ}$
2	12x9	0.0007	618.08	$0.6149 \cdot 10^6$	194.61	$1.2802 \cdot 10^6$	-76.01	$0.054 \cdot 10^6$
4	24x9	0.2986	944.04	$0.6692 \cdot 10^5$	182.38	$1.2755 \cdot 10^5$	195.49	$0.054 \cdot 10^5$
8	48x9	0.3207	759.81	$0.7121 \cdot 10^4$	170.69	$1.5074 \cdot 10^4$	91.610	$0.064 \cdot 10^4$
16	96x9	0.4672	535.14	$0.8487 \cdot 10^3$	146.22	$1.8361 \cdot 10^3$	-6.64	$0.0789 \cdot 10^3$
32	192x9	1.0303	320.77	$0.987 \cdot 10^2$	94.96	$2.2291 \cdot 10^2$	-21.97	$0.097 \cdot 10^2$
64	384x9	10.7248	-16.07	10.9257	-1.83	26.6359	7.79	1.2104
121	726x9	9.3678	9.82	1.4365	31.69	3.6216	6.53	0.1845

Figura n° 5.: SOLUCIÓN REAL. Valores de las Incógnitas y propiedades del sistema obtenidas variando el número de épocas

Se realizaron varias pruebas cambiando el número de épocas. Los resultados se pueden ver en la tabla de la figura n°5.

Puede verse las magnitudes de las matrices, éstas casi llegan a duplicarse con el doble número de épocas. También puede verse la evolución de la precisión, del estimador de la varianza de peso unidad a posteriori e incrementos de coordenadas.

#### 4.2.1.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO LAMBDA Y DEL REDONDEO AL ENTERO

##### 4.5.1 Introducción

Disponiendo de los valores reales de las ambigüedades, el paso siguiente es la aplicación del método LAMBDA y del redondeo al entero.

Comenzando con el método LAMBDA, recuérdese que el método se realiza en dos pasos:

1. Decorrelación de las ambigüedades mediante la Z-transformación, con la que se reparametrizan las ambigüedades según:  $z=ZTa$ .
2. Estimación entera de la ambigüedad.

Para realizar la decorrelación, previamente se ha de tomar la parte de la matriz varianza-covarianza referente a las ambigüedades. Posteriormente sea descompuesto la inversa de

dicha matriz siguiendo la estructura LDL (con L una matriz triangular inferior con unos en la diagonal y D una matriz diagonal) para realizar más eficientemente la decorrelación. La decorrelación es un procedimiento basado en la generación de una matriz Z, cuyo determinante tiene de módulo la unidad, de tal forma que elimine, en lo posible, las correlaciones existentes entre los parámetros. A la vez se ordenan las ambigüedades según su precisión de menor a mayor y de izquierda a derecha. Con esta matriz se consigue un cambio de la base, desde la base inicial del cálculo a otra base donde las ambigüedades tienen una precisión más similar, es lo que se denomina ecualización de ambigüedades. Posteriormente se realiza la estimación entera. En este caso se han empleado las ambigüedades transformadas, por lo que una vez que se ha obtenido el candidato más probable se debe realizar la transformación inversa a las ambigüedades originales. Por último se realiza la solución fijada, obteniendo así los incrementos de coordenadas que se deben aplicar a la posición aproximada del vértice RE-14 para obtener las coordenadas finales.

La aplicación del método del redondeo al entero requiere entre 0.5 y 1 hora de toma de datos para una resolución aceptable en bases de hasta 15 Km. Las tablas reflejan los 30 minutos iniciales que es donde mejor se reflejan las discrepancias entre los resultados de ambos métodos. Pasando de la hora, las ecuaciones divergen, puede que ya no se mantenga la misma constelación de satélites y la geometría de la misma varía lo suficiente como para hacerse notar en el sistema de ecuaciones.

La técnica seguida para el redondeo al entero trata se ha realizado sobre las ambigüedades transformadas z y realizando posteriormente el cambio a las ambigüedades originales. Finalmente se ha aplicado el ajuste mínimo cuadrático.

Método	n° cpo	σ <sub>02</sub>	ΔX	ΔY	ΔZ	Q <sub>xx</sub>	Q <sub>yy</sub>	Q <sub>zz</sub>
REAL	2	0.0007	618.08	194.61	-76.01	0.6149*10 <sup>6</sup>	1.2802*10 <sup>6</sup>	0.054*10 <sup>6</sup>
LAMBDA		97.091	662.80	257.74	-77.93	0.7144	0.2058	1.2841
REDONDEO		0.0007	620.57	199.04	-75.87	0.7143	0.2059	1.2841
REAL	4	0.2986	944.04	182.38	195.49	0.6692*10 <sup>5</sup>	1.2755*10 <sup>5</sup>	0.054*10 <sup>5</sup>
LAMBDA		57.410	939.23	182.07	187.49	0.3613	0.1029	0.6483
REDONDEO		0.2986	942.18	179.80	195.44	0.3613	0.1029	0.6483
REAL	8	0.3207	759.81	170.69	91.610	0.7121*10 <sup>4</sup>	1.5074*10 <sup>4</sup>	0.064*10 <sup>4</sup>
LAMBDA		15.8130	742.95	159.16	63.290	0.1849	0.0513	0.3305
REDONDEO		0.3207	760.47	170.32	91.98	0.1849	0.0513	0.3305
REAL	16	0.4672	535.14	146.22	-6.64	0.8487*10 <sup>3</sup>	1.8361*10 <sup>3</sup>	0.0789*10 <sup>3</sup>
LAMBDA		13.0723	522.19	148.44	-25.23	0.0969	0.0256	0.1715
REDONDEO		0.4673	536.81	145.67	-6.32	0.0969	0.0256	0.1715
REAL	32	1.0303	320.77	94.96	-21.97	0.987*10 <sup>2</sup>	2.2291*10 <sup>2</sup>	0.097*10 <sup>2</sup>
LAMBDA		3.1383	325.36	94.46	-22.25	0.0532	0.0127	0.0918
REDONDEO		1.0304	320.43	95.86	-22.28	0.0532	0.0127	0.0918
REAL	64	10.7248	-16.07	-1.83	7.79	10.9257	26.6359	1.2104
LAMBDA		11.2795	-15.08	-1.18	-0.78	0.0316	0.0063	0.0508
REDONDEO		10.7249	-15.72	-1.79	7.98	0.0316	0.0063	0.0508
REAL	121	9.3678	9.82	31.69	6.53	1.4365	3.6216	0.1845
LAMBDA		12.0863	17.93	29.73	9.90	0.0208	0.0033	0.0278
REDONDEO		19.3681	9.59	31.10	6.65	0.0208	0.0033	0.0278

Figura n°5: Comparación del método LAMBDA con el redondeo al entero y la solución real.

Las pruebas que se realizaron al respecto dieron como resultado la tabla que se muestra en la figura n°6, donde se comparan los datos de los tres tipos de ajustes, la solución real, la solución LAMBDA y la solución de la aproximación entera.

### 4.3 ELECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO A UTILIZAR

A la vista de la tabla de resultados, cabe decir que:

- Destaca claramente la mejora en la precisión de las coordenadas, tanto para la aproximación entera como para el método LAMBDA respecto a las precisiones que ofrece la solución real. Sin embargo, los valores de los incrementos de coordenadas difieren ligeramente entre todos los ajustes.

- Las soluciones del redondeo al entero y de la solución real son, como era de esperar, muy semejantes incluso entre varianzas a posteriori de peso unidad, dada la mínima variación de los parámetros de entrada. Las soluciones del método LAMBDA se desvían ligeramente respecto a éstas; en el supuesto caso de que se hubieran aplicado los correspondientes filtros y puesto en práctica las técnicas de predicción de soluciones, las unidades de trabajo se hubieran reducido de decenas de metros (véase la última fila) a los ya acostumbrados milímetros geodésicos, en ese caso la variación en 10 unidades entre distintas soluciones es mucho más relevante.

- La precisión de las cofactores, para los casos de ambigüedades fijadas (Entera y LAMBDA) son muy similares debido a que la diferencia entre sus sistemas de ecuaciones se encuentra en el término independiente  $K$ , mostrando la misma matriz de diseño  $A$ , que es la que interviene en la creación de la cofactor.

- Finalmente se puede comentar que la varianza a posteriori en el método LAMBDA es siempre mayor que en el resto de métodos. Con la inclusión de más épocas, incrementando con ello el número de ecuaciones, se van acercando cada vez los valores de las varianzas de los ajustes.

Además se ha de hacer hincapié en dos temas, por un lado la dificultad de hallar un valor adecuado para  $c_2$ , pues éste define el tamaño del volumen del espacio de búsqueda y con él el posible número de candidatos; que en este caso se ha solucionado empleado como valor para  $c_2$  el de la norma al cuadrado del vector de ambigüedades redondeadas al entero. Por otro lado está el tema de la validación de las ambigüedades; la técnica de comparar el estimador a posteriori entre los dos mejores candidatos, aquí no es aplicable. La razón radica en que estos valores por lo general difieren en pocas unidades, y su aplicación en el ajuste ofrece: varianzas cercanas.

En futuros estudios se espera que añadiendo al sistema de ecuaciones la frecuencia dual y las ecuaciones de código, se llegue a unidades de centímetros para la media hora de observación. De todas maneras esto no es imprescindible para poder comparar los métodos de redondeo y LAMBDA, objetivos de este artículo.

Finalmente decir que la aplicación del método LAMBDA a aplicaciones geodésicas no es aconsejable, puesto que un redondeo al entero es capaz de dar resultados similares en mucho menos tiempo de cálculo. Sólo se aconsejaría en los casos en los que se ha dispuesto de poco tiempo de observación, en esos casos trabaja mejor el método LAMBDA que el redondeo puesto que su finalidad es ofrecer, partiendo de datos procedentes de épocas mínimas el mejor resultado, eso sí, necesitando la frecuencia dual y las ecuaciones de código.

# **CAPÍTULO 4**

## **APLICACIÓN PRÁCTICA**

## **5. CAPÍTULO 4: APLICACIÓN PRÁCTICA**

Para realizar una aplicación práctica de dimensiones adecuadas al presente proyecto, se realizó un levantamiento de pares GPS, obteniendo datos crudos y procesándolos en un software propio del equipo, el que fue un receptor GPS de precisión **Leyka 9500** de doble frecuencia, y su software **Spectrum 4.27**, el que emplea correcciones con ecuaciones del método LAMBDA, dichas ecuaciones fueron las estudiadas en los capítulos anteriores de este documento, arrojando datos o coordenadas corregidas en precisiones indicadas en las planillas que se mostrarán líneas abajo.

El lugar en el que se realizó este levantamiento está situado en la provincia Gran Chaco, en las proximidades a la ciudad de Villamontes.

Es por la inexistente posibilidad de contar con el equipo necesario que, una vez teniendo los pares GPS corregidos, se realizó los controles horizontales y Verticales en un Proyecto Vial, por lo que se muestra esto como un ejemplo de ello, que en definitivas cuentas presenta características similares a nuestro medio.

### **5.1 UBICACIÓN DE LA ZONA PARA LA APLICACIÓN**

El proyecto se desarrolla en topografía montañosa en el 90% del trayecto, teniéndose el único sector plano en el principio en la zona de Puesto Margarita y el final cerca de Suarurito.

El elipsoide geocéntrico internacional considerado es el WGS-84 (World Geodesic System establecido el año 1984). Elipsoide que se adecua a cualquier zona de la tierra, siendo, sin embargo, especialmente exacto para Estados Unidos, país que lo elaboró. Debido a lo señalado las nuevas hojas de la carta nacional están siendo impresas con las cuadrículas de las dos proyecciones PSAD-56 y WGS-84.

El proyecto Construcción Camino Serranita Tapehua – Zapaterambía, según especifica el documento base de contratación será elaborado, el levantamiento topográfico y posterior impresión de planos y demás en el sistema WGS-84.

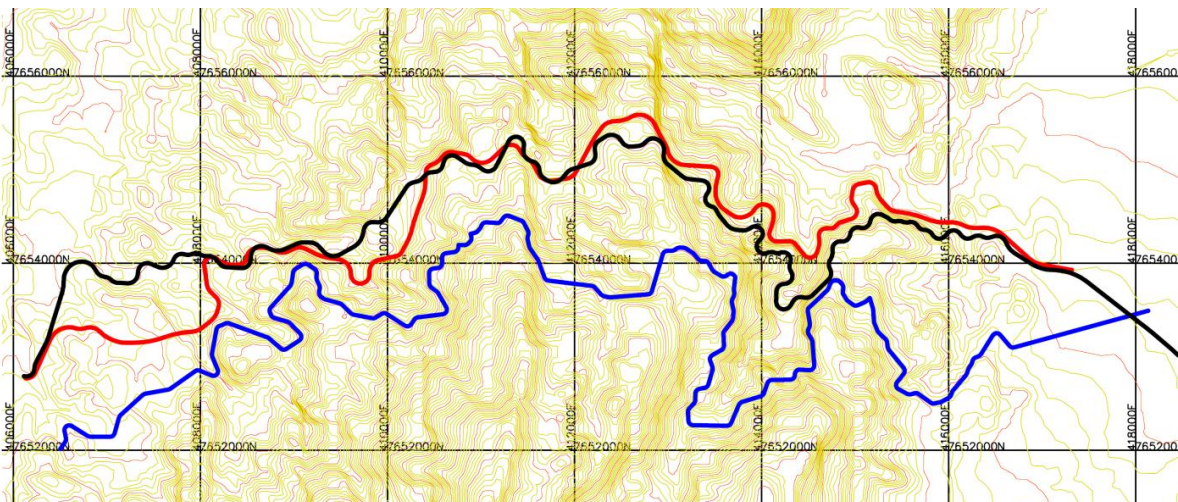
## 5.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO VIAL PARA LA APLICACIÓN

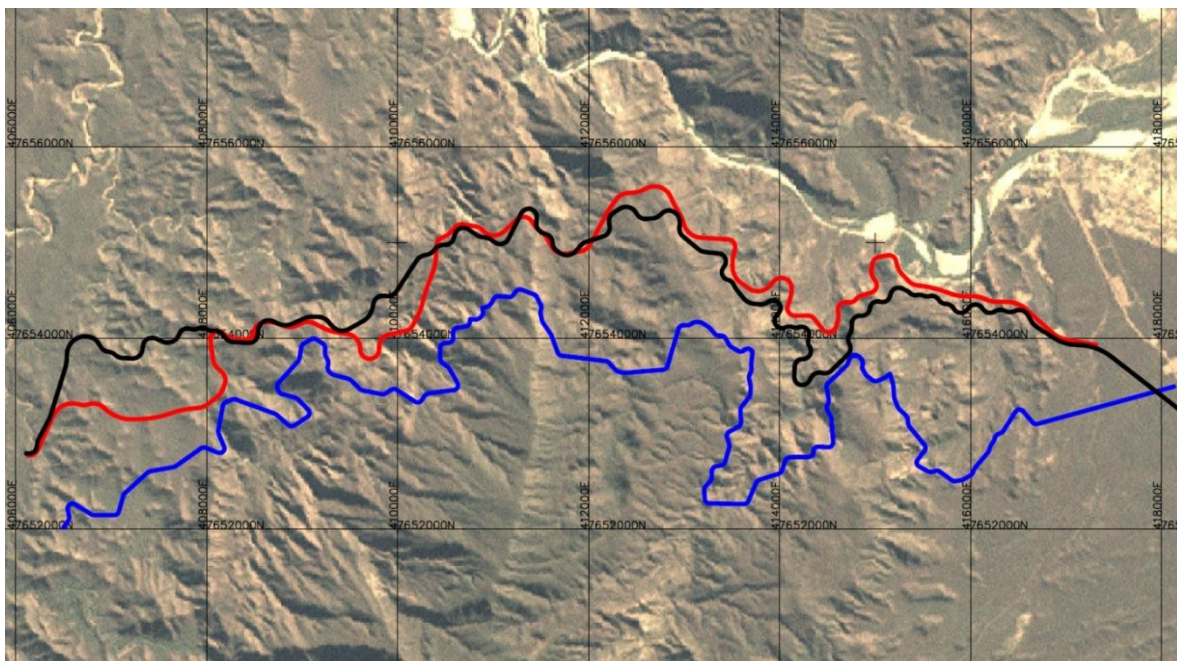
Los trabajos se iniciaron con la recopilación de información, adquiriendo hojas IGM correspondientes a la zona de estudio en escalas 1:50000, topografía satelital y fotografías satelitales.

La planificación de las tareas a ejecutar se la elaboró una vez realizado en gabinete tres posibles alternativas, sobre la que se realizó un recorrido; labor en la que participaron especialistas en diferentes áreas (Gerente del Proyecto, Diseño Geométrico, Hidrología e Hidráulica, Geología y Medio Ambiente).

De todos los criterios vertidos desde diferentes perspectivas y habiendo evaluado la zona se llegó a la conclusión de que el trazo 3 sería la mejor alternativa y puede ser usado como base para el diseño.

Luego de llegar a esta primera conclusión se evaluó y determinó las zonas puntuales donde, a criterio de los diferentes especialistas, el levantamiento topográfico debería realizarse con más detalle, tales los casos de taludes altos e inestables, para el estudio geológico; quebradas y ríos, para el estudio hidrológico/hidráulico; zonas pobladas y susceptibles de afectación, para el estudio de medio ambiente y el diagnóstico socioeconómico.





Azul Alternativa 1 – Rojo Alternativa 2 – Negro Alternativa 3

### 5.2.1 EQUIPO UTILIZADO.

Se realizó la densificación de puntos GPS, con los siguientes equipos:

RECEPTOR	ANTENA	NÚMERO SERIE	TIPO
LEICA		20202	SR 9500
LEICA		20205	SR 9500
	LEICA	721604	AT 302
	LEICA	721668	AT 302

Para los trabajos de gabinete se contó con el siguiente equipo de cómputo:

EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD
Computadora		Core 2 Cuatro	1
Computadora notebook	Sony Vaio 17"	Core 2	1
Computadora notebook	Sony Vaio 14"	Core 2	1
Impresora láser	HP	P1006	1
Impresora color	Canon	iP1800	1
Sistema de red local	Hub	Base 100	1

Como se describe en el documento base de contratación se procedió al levantamiento de pares geodésicos cada 10 km, en este caso para poder tener un control más adecuado se procedió a colocar un par cada 5.5 km.

#### RED DE PUNTOS GPS.

El objeto de la colocación de una red de puntos GPS, fue el de contar con referencias precisas para verificar posteriormente los cierres de la Poligonal Base implantada mediante Estaciones Totales. Estos puntos, a su vez están enlazados a la Red Geodésica Nacional de tercer orden.

Los cuatro pares geodésicos determinados fueron posesionados con sistema de posicionamiento global G.P.S, que consiste en el levantamiento geodésico que comprende una serie de medidas efectuadas en campo, cuyo propósito final es determinar las coordenadas cartesianas y geodésicas y coordenadas planas de los ( Pares Geodésicos) o puntos de control horizontal, situados perpendicularmente sobre el eje principal de la vía.

Esta actividad implica la medición con apoyo en satélites, mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y procedimientos tradicionales tales como: radiación, partiendo de una estación base que se encuentra enlazada a la red geodésica nacional de actual vigencia, éstos son equipos de medición de alta precisión las cuales se sujetarán a Corrección diferencial por código en post proceso. La cantidad de equipos GPS utilizados fueron de 2 a medir una sesión dependerá de la disponibilidad y la planificación por parte de los ejecutores, éstos pueden ser GPS doble frecuencia (L2 y L1) y GPS de simple frecuencia (L1) con C/A y fase Trabajos Efectuados.

#### **5.2.2 FASE I - REFERENCIACIÓN GEODÉSICA**

(1) En la Fase I se realizó el posicionamiento global de pares de control horizontal GPS geodésicos, con el método de levantamiento estático en la cual y para todos los procesos de medición de los pares geodésicos o puntos de control, se emplearon el sistema de coordenadas y referencia abajo especificados.

El sistema de coordenadas y el sistema de referencia utilizada es la siguiente:

a) Coordenadas geodésicas a la milésima de segundo, en el Datum WGS-84

b) Coordenadas UTM a la milésima de metro en WGS-84

c) Los parámetros del sistema de coordenadas UTM son:

- Sistema de Proyección U. T. M.
- Falso norte 10000000 metros
- Falso Este 500000 metros
- Longitud del meridiano central
- Zona 20 (66° W – 60° W) 63° 00' 00" Oeste
- Factor de escala en el meridiano central 0.9996

Se procederá a generar todas las líneas base ligadas a un punto de control de precisión Red Geodésica con línea trivial.

### **5.2.3 TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS.**

Se realizó la transformación de sistemas de referencia de la cartografía básica de el sistema local PSAD-56 al sistema de referencia WGS84 con métodos matemáticos sólidos.

### **5.2.4 METODO DE MENSURA PARA LOS PARES GEODÉSICOS.**

El método que se empleó en la determinación de coordenadas es el método estático rápido diferencial.

Los mínimos admisibles de tolerancia para la captura de datos son:

- a) Sesiones conjuntas de 2 GPS como mínimo
- b) Cuatro satélites comunes observados
- c) PDOP y GDOP  $\leq 4$
- d) Intervalo para el grabado de datos 15 segundos
- e) Máscara de elevación 15 grados (ángulo de corte)
- f) tiempo de sesión 45 minutos

### 5.2.5 PRECISIONES.

Las precisiones de los pares geodésicas se encuentran en el milímetro las cuales cumplen los requisitos y exigencias señalados por el National Geodetic Survey de acuerdo al siguiente cuadro:

CATEGORÍAS DE MEDICIÓN	Orden-Clase	Base Error (cm)	95% confiable error línea base	
Geodinámica, Global – Regional mediciones de deformación.	AA	0,3	(ppm) 0,01	(1:a) 1:100000000
Sistema de referencia Geodésica Nacional, Red Primaria. Regional – local; deformaciones geodinámicas.	A	0,5	0,1	1:10000000
<i>Sistema de referencia Geodésica Nal. Red Secundaria, conectada a la red Primaria NGRS, Geodinámica local, medición de las deformaciones, mediciones de alta precisión, mediciones de ingeniería.</i>	B	0,8	1	1:1000000
Sistema de referencia Geodésica Nal. Bases terrestres, dependiendo del control de las mediciones en el mapa, información de la tierra y requerimientos de ingeniería.	1	1.0	10	1:100000
	2-I	2.0	20	1:50000
	2-II	3.0	50	1:20000
	3	5.0	100	1:10000

La medición de los pares geodésicos se realizó con GPS geodésico de alta precisión.

Comprendió la realización de los siguientes trabajos:

- Materialización de los pares de puntos GPS mediante mojones de hormigón.
- Medición Geodésica de los pares de puntos con el empleo de equipos GPS Estáticos de Doble Frecuencia.
- Proceso en Gabinete de la información colectada en campo.

Los trabajos fueron efectuados con dos equipos GPS marca Leyca de doble frecuencia. La programación de los horarios de observación se realizó con el programa PLANNING del software Spectrun planning para obtener un posicionamiento adecuado y una distribución geométrica adecuada, los registros se realizaron en un tiempo de 45 minutos para cada punto, permitiendo correlaciones, para trabajar las horas que consignan un mínimo de cuatro satélites, lo que garantiza la precisión de las observaciones.

Para estas mediciones se empleó el método DIFERENCIAL ESTÁTICO con post proceso, permitiendo discriminar los errores debido a la falta de sincronización de relojes, efemérides y disponibilidad selectiva de satélites, al margen que el empleo de receptores

GPS de doble frecuencia elimina la distorsión de señales por efecto de fenómenos ionosféricos.

Este método sirve para obtener las coordenadas de un punto, denominado estación base, y desde allí medir su distancia y dirección respecto a otro punto de coordenadas conocidas, denominado punto o estación de referencia, donde se colocaron 1 receptor fijo como base en el punto de estación de referencia y otro equipo rover en la estación de medición es decir pares a sesionar, recibiendo en forma simultánea las señales de satélites por un periodo de 45 minutos, e intervalos de medición de 3 segundos.

Así se generó los pares geodésicos formando la poligonal base geodésica, cuidando de que las observaciones conformen circuitos cerrados con control de cierre y medidos por vectores independientes, donde cada punto está enlazado por un mínimo de una línea base.

El proceso de la información registrada por los G.P.S. fue realizada utilizando el Software denominado Spectrum Survey 4.20, que permitió el tratamiento de la información de ambas Frecuencias, Códigos y Fases. (informe de ajuste de los pares geodésicos).

La monumentación de los Puntos GPS de Control Geodésicos fue realizado mediante la materialización mediante un mojón de hormigón vaciado en sitio con un bulón de aluminio empotrado, en la parte superior, incluye la grabación respectiva de su identificación. (Según se muestra en la figura).



El trabajo en gabinete consistió en el procesamiento de la información satelital colectada, con la finalidad de efectuar el ajuste y determinación de las coordenadas en el Sistema Geodésico Mundial WGS 84; además de coordenadas GEODESICAS y coordenadas planas empleando la Proyección Transversal de Mercator UTM.

#### **5.2.6 AJUSTES Y PROCESO.**

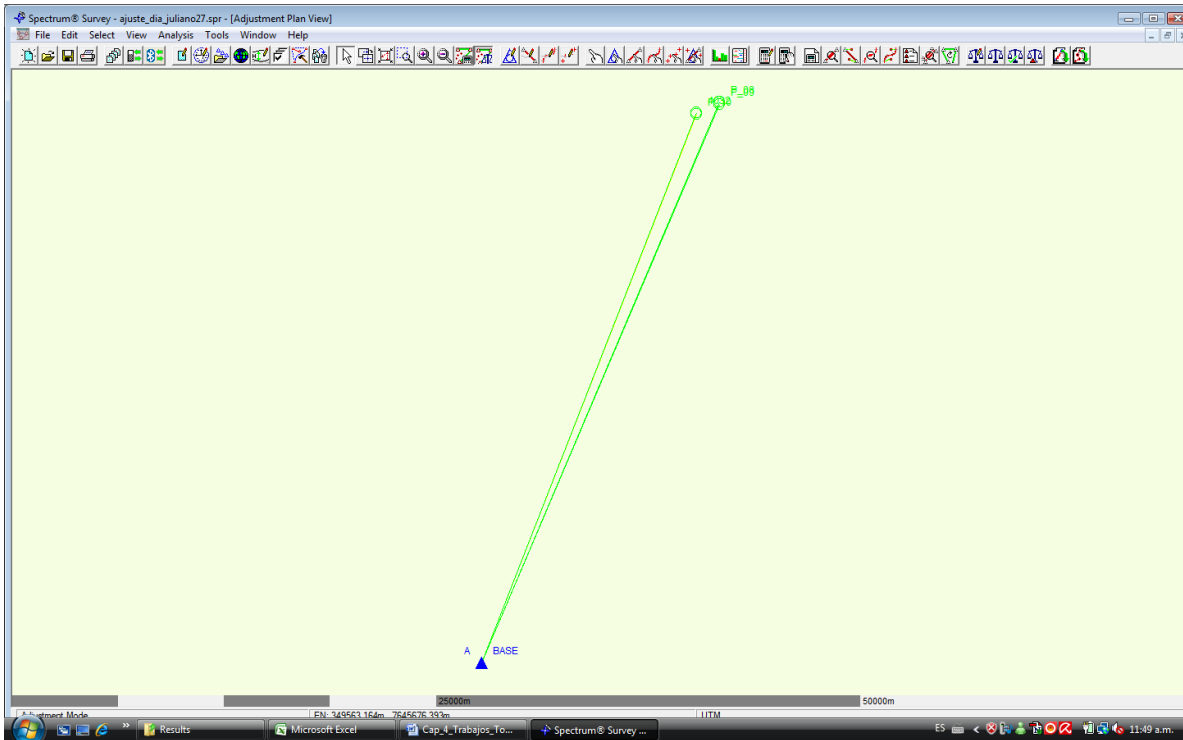
Se procedió a generar y procesar todas las líneas base con línea trivial y posteriormente fijando los puntos de enlace a la red GEODÉSICA o al punto de control de coordenadas absolutas, se ajustará por el método de estaciones múltiples.

Los reportes de ajuste como mínimo contienen:

- Coordenadas geodésicas y UTM de ajuste (WGS-84)
- Matriz de varianza-covarianza (EMC)
- Tabla de residuales geodésicos
- Elipses de error

Debiendo que todo levantamiento geodésico de los ( Pares Geodésicos) o puntos de control debe ir respaldado por el reporte de ajuste realizado por el software utilizado, como se muestra en el siguiente cuadro. (se adjunta reporte de ajuste)

### 5.3 PROCESAMIENTO DE DATOS CON EL MODELO MATEMÁTICO ELEGIDO.



### 5.3.1 Levantamiento de puntos en la Zona “El Dorado”, Provincia Gran Chaco, Departamento de Tarija: Datos Crudos

#### 5.3.1.1 RINEX de Navegación:

```

2.10          N: GPS NAV DATA          RINEX VERSION / TYPE
SpecSurv v4.20 SEDECA          11-Sep-09 09:59    PGM / RUN BY / DATE
+.6519D-08   +.1490D-07   -.5960D-07   -.1192D-06    ION ALPHA
+.7782D+05   +.3277D+05   -.6554D+05   -.1966D+06    ION BETA
-.279396772385D-08 -.444089209850D-14 319488      1548 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
15                                     LEAP SECONDS
                                     END OF HEADER
3 09 9 7 16 0 0.0 +.444007106125D-03 +.500222085975D-11 .000000000000D+00
+.105000000000D+03 -.524375000000D+02 +.547344227656D-08 -.588503224744D+00
-.272132456303D-05 +.123851649696D-01 +.849924981594D-05 +.515365323639D+04
+.144000000000D+06 -.838190317154D-07 +.284508348579D+01 +.238418579102D-06
+.926915847891D+00 +.195593750000D+03 +.936689324162D+00 -.866786105120D-08
-.607168148133D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.465661287308D-08 +.105000000000D+03
+.144000000000D+06 +.400000000000D+01
6 09 9 7 16 0 0.0 +.234830193222D-03 +.704858393874D-11 .000000000000D+00
+.570000000000D+02 -.563437500000D+02 +.514092842601D-08 +.175948714479D+01
-.308454036713D-05 +.585269834846D-02 +.893324613571D-05 +.515370141029D+04
+.144000000000D+06 +.465661287308D-07 +.291348963173D+01 -.260770320892D-07
+.934395414485D+00 +.186687500000D+03 -.126400156777D+01 -.826034407649D-08
-.625383192577D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.512227416039D-08 +.570000000000D+02
+.144000000000D+06 +.400000000000D+01
14 09 9 7 16 0 0.0 -.541983172297D-04 +.522959453519D-11 .000000000000D+00
+.105000000000D+03 -.748125000000D+02 +.378622914021D-08 +.256287532822D+00
-.404752790928D-05 +.488875689916D-02 +.918842852116D-05 +.515364614105D+04
+.144000000000D+06 -.875443220139D-07 -.140112048435D+00 +.614672899246D-07
+.988199684998D+00 +.219781250000D+03 -.215996077149D+01 -.777532387345D-08
-.206437170365D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.884756445885D-08 +.105000000000D+03
+.144000000000D+06 +.400000000000D+01
16 09 9 7 16 0 0.0 +.151316635311D-04 -.386535248253D-11 .000000000000D+00
+.570000000000D+02 -.412500000000D+01 +.496449250531D-08 +.188339476419D+01
+.298023223877D-07 +.529582507443D-02 +.401027500629D-05 +.515360845375D+04
+.144000000000D+06 +.163912773132D-06 +.193695342246D+01 +.931322574615D-07
+.969081093889D+00 +.304812500000D+03 -.280098408800D+00 -.837820612877D-08
-.625026034843D-10 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.977888703346D-08 +.570000000000D+02
+.144000000000D+06 +.400000000000D+01
18 09 9 7 14 0 0.0 +.110161490738D-04 +.295585778076D-11 .000000000000D+00
+.600000000000D+02 +.101875000000D+02 +.527629120729D-08 +.103629176365D+01
+.469386577606D-06 +.109052290209D-01 +.248290598392D-05 +.515362305832D+04
+.136800000000D+06 -.124797224998D-06 -.120026467452D+01 +.912696123123D-07
+.940538905312D+00 +.320343750000D+03 -.238246264283D+01 -.880786688301D-08
-.796461747257D-10 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.107102096081D-07 +.600000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
19 09 9 7 16 0 0.0 +.118282623589D-04 -.170530256582D-11 .000000000000D+00
+.770000000000D+02 -.408125000000D+02 +.452876006961D-08 +.107965806101D+00
-.234507024288D-05 +.582120055333D-02 +.103544443846D-04 +.515365298271D+04
+.144000000000D+06 +.782310962677D-07 +.303530319654D+01 +.931322574615D-08
+.958008874058D+00 +.179656250000D+03 -.265217117483D+00 -.803926343902D-08
-.565023535498D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.149011611938D-07 +.770000000000D+02
+.144000000000D+06 +.400000000000D+01
22 09 9 7 16 0 0.0 +.191513914615D-03 -.795807864051D-12 .000000000000D+00
+.650000000000D+02 +.118125000000D+02 +.531986445085D-08 +.106531885837D+01
+.583007931709D-06 +.533100310713D-02 +.225380063057D-05 +.515365717506D+04
+.144000000000D+06 -.745058059692D-07 -.119485467326D+01 -.745058059692D-08
+.938211692306D+00 +.323562500000D+03 -.189349475938D+01 -.877893710654D-08
-.271439877989D-10 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.176951289177D-07 +.650000000000D+02
+.144000000000D+06 +.400000000000D+01

```

26	09	9	7	16	0	0.0	+.6333179771900D-04	-.795807864051D-12	.000000000000D+00
							+.920000000000D+02	-.840937500000D+02	+.359014954413D-08
							-.468268990517D-05	+.197044867091D-01	+.920519232750D-05
							+.144000000000D+06	+.245869159698D-06	-.122532978185D+00
							+.992579666116D+00	+.213093750000D+03	+.102469546951D+01
							-.635740766869D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.605359673500D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.920000000000D+02
32	09	9	7	16	0	0.0	+.200956128538D-03	-.704858393874D-11	.000000000000D+00
							+.810000000000D+02	-.468750000000D+01	+.476555564737D-08
							-.279396772385D-07	+.132533457363D-01	+.276230275631D-05
							+.144000000000D+06	-.191852450371D-06	-.114244548385D+01
							+.962264646116D+00	+.331000000000D+03	-.112383529481D+01
							+.878608026122D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.325962901115D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.810000000000D+02
20	09	9	7	15	59	44.0	+.728555023670D-04	-.909494701773D-12	.000000000000D+00
							+.400000000000D+02	+.163125000000D+02	+.517950146129D-08
							+.845640897751D-06	+.383344653528D-02	+.188872218132D-05
							+.143984000000D+06	+.132247805595D-06	-.125423448299D+01
							+.940231489170D+00	+.330968750000D+03	+.132905741040D+01
							+.939324840936D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.745058059692D-08
							+.143984000000D+06	+.400000000000D+01	+.400000000000D+02
11	09	9	7	16	0	0.0	-.185663811862D-04	-.170530256582D-11	.000000000000D+00
							+.420000000000D+02	+.692187500000D+02	+.579095550226D-08
							+.356324017048D-05	+.977810740005D-02	+.103767961264D-04
							+.144000000000D+06	+.223517417908D-07	-.249491791192D+01
							+.889368533952D+00	+.141843750000D+03	+.722930894322D+00
							+.126076680171D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.116415321827D-07
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.420000000000D+02
31	09	9	7	16	0	0.0	-.645946711302D-04	+.341060513165D-12	.000000000000D+00
							+.610000000000D+02	+.305937500000D+02	+.420231790056D-08
							+.180490314960D-05	+.701312045567D-02	+.100098550320D-04
							+.144000000000D+06	-.167638063431D-07	+.865183952624D+00
							+.973971522235D+00	+.193625000000D+03	-.113861043533D+01
							+.515378610445D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.130385160446D-07
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.610000000000D+02

```

2.10 N: GPS NAV DATA RINEX VERSION / TYPE
SpecSurv v4.20 SEDECA 11-Sep-09 10:05 PGM / RUN BY / DATE
+.6519D-08 +.1490D-07 -.5960D-07 -.1192D-06 ION ALPHA
+.7782D+05 +.3277D+05 -.6554D+05 -.1966D+06 ION BETA
-.372529029846D-08 -.133226762955D-13 233472 1548 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
15 LEAP SECONDS
END OF HEADER
16 09 9 7 14 0 0.0 +.151596032083D-04 -.386535248253D-11 .000000000000D+00
+.300000000000D+02 -.110312500000D+02 +.490127558638D-08 +.833392327484D+00
-.612810254097D-06 +.529559317511D-02 +.358559191227D-05 +.515360618019D+04
+.136800000000D+06 +.763684511185D-07 +.193701404432D+01 -.111758708954D-07
+.969082065266D+00 +.309750000000D+03 -.280320700665D+00 -.835141929871D-08
-.150720563831D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.977888703346D-08 +.300000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
22 09 9 7 14 0 0.0 +.191519036889D-03 -.795807864051D-12 .000000000000D+00
+.640000000000D+02 +.734375000000D+01 +.533593654890D-08 +.150681966566D-01
+.363215804100D-06 +.533084711060D-02 +.223889946938D-05 +.515365720367D+04
+.136800000000D+06 -.819563865662D-07 -.119479182337D+01 +.894069671631D-07
+.938211733267D+00 +.325562500000D+03 -.189344025691D+01 -.877572268693D-08
+.428589281035D-10 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.176951289177D-07 +.640000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
26 09 9 7 14 0 0.0 +.633378513157D-04 -.795807864051D-12 .000000000000D+00
+.660000000000D+02 -.818750000000D+02 +.360979321952D-08 +.264877162239D+01
-.433996319771D-05 +.197039464256D-01 +.965222716331D-05 +.515361248207D+04
+.136800000000D+06 +.279396772385D-07 -.122479226186D+00 -.257045030594D-06
+.992581057351D+00 +.209250000000D+03 +.102468689681D+01 -.730744724165D-08
-.222152110670D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.605359673500D-08 +.660000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
6 09 9 7 14 0 0.0 +.234779901803D-03 +.704858393874D-11 .000000000000D+00
+.540000000000D+02 -.535625000000D+02 +.506521098637D-08 +.709488008429D+00
-.293925404549D-05 +.585218844935D-02 +.993162393570D-05 +.515369931602D+04
+.136800000000D+06 -.316649675369D-07 +.291354936560D+01 -.931322574615D-07
+.934399548692D+00 +.179000000000D+03 -.126417102635D+01 -.833034699239D-08
-.608953936804D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.512227416039D-08 +.540000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
3 09 9 7 14 0 0.0 +.443970318884D-03 +.500222085975D-11 .000000000000D+00
+.104000000000D+03 -.528437500000D+02 +.522736059769D-08 -.163875619641D+01
-.275298953056D-05 +.123846594943D-01 +.886991620064D-05 +.515365171432D+04
+.136800000000D+06 +.270083546638D-06 +.284514371266D+01 -.260770320892D-07
+.926921885354D+00 +.188968750000D+03 +.936742597786D+00 -.822677124947D-08
-.535736601294D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.465661287308D-08 +.104000000000D+03
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
14 09 9 7 14 0 0.0 -.542360357940D-04 +.522959453519D-11 .000000000000D+00
+.100000000000D+03 -.736875000000D+02 +.385408910971D-08 -.793995254575D+00
-.368244946003D-05 +.488888402469D-02 +.946596264839D-05 +.515364614296D+04
+.136800000000D+06 -.316649675369D-07 -.140056050857D+00 +.108033418655D-06
+.988201169860D+00 +.213000000000D+03 -.215987013933D+01 -.775603735580D-08
-.197865384745D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.884756445885D-08 +.100000000000D+03
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
19 09 9 7 14 0 0.0 +.118399038911D-04 -.170530256582D-11 .000000000000D+00
+.760000000000D+02 -.381875000000D+02 +.441946980295D-08 -.942207948549D+00
-.197626650333D-05 +.582058890723D-02 +.107400119305D-04 +.515365202332D+04
+.136800000000D+06 -.111758708954D-07 +.303536016111D+01 -.106170773506D-06
+.958013077021D+00 +.173656250000D+03 -.265237032187D+00 -.792961601462D-08
-.483948729836D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.149011611938D-07 +.760000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
18 09 9 7 14 0 0.0 +.110161490738D-04 +.295585778076D-11 .000000000000D+00
+.600000000000D+02 +.101875000000D+02 +.527629120729D-08 +.103629176365D+01
+.469386577606D-06 +.109052290209D-01 +.248290598392D-05 +.515362305832D+04
+.136800000000D+06 -.124797224998D-06 -.120026467452D+01 +.912696123123D-07
+.940538905312D+00 +.320343750000D+03 -.238246264283D+01 -.880786688301D-08
-.796461747257D-10 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.107102096081D-07 +.600000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01

```

32	09	9	7	14	0	0.0	+.201006419957D-03	-.704858393874D-11	.000000000000D+00
							+.800000000000D+02	-.337500000000D+01	+.468555231492D-08
							+.180676579475D-06	+.132528847316D-01	+.185705721378D-05
							+.136800000000D+06	+.502914190292D-07	-.114238432510D+01
							+.962265368798D+00	+.340406250000D+03	-.112392593429D+01
							+.492877673191D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.325962901115D-08
							+.136800000000D+06	+.400000000000D+01	+.800000000000D+02
22	09	9	7	16	0	0.0	+.191513914615D-03	-.795807864051D-12	.000000000000D+00
							+.650000000000D+02	+.118125000000D+02	+.531986445085D-08
							+.583007931709D-06	+.533100310713D-02	+.225380063057D-05
							+.144000000000D+06	-.745058059692D-07	-.119485467326D+01
							+.938211692306D+00	+.323562500000D+03	-.189349475938D+01
							-.271439877989D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.176951289177D-07
							+.650000000000D+02	+.106531885837D+01	+.515365717506D+04
							+.583007931709D-06	+.533100310713D-02	+.225380063057D-05
							+.144000000000D+06	-.745058059692D-07	-.119485467326D+01
							+.938211692306D+00	+.323562500000D+03	-.189349475938D+01
							-.271439877989D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.176951289177D-07
26	09	9	7	16	0	0.0	+.633317977190D-04	-.795807864051D-12	.000000000000D+00
							+.920000000000D+02	-.840937500000D+02	+.359014954413D-08
							-.468268990517D-05	+.197044867091D-01	+.920519232750D-05
							+.144000000000D+06	+.245869159698D-06	-.122532978185D+00
							+.992579666116D+00	+.213093750000D+03	+.102469546951D+01
							-.635740766869D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.605359673500D-08
							+.920000000000D+02	-.840937500000D+02	+.359014954413D-08
							-.468268990517D-05	+.197044867091D-01	+.920519232750D-05
							+.144000000000D+06	+.245869159698D-06	-.122532978185D+00
							+.992579666116D+00	+.213093750000D+03	+.102469546951D+01
							-.635740766869D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.605359673500D-08
6	09	9	7	16	0	0.0	+.234830193222D-03	+.704858393874D-11	.000000000000D+00
							+.570000000000D+02	-.563437500000D+02	+.514092842601D-08
							-.308454036713D-05	+.585269834846D-02	+.893324613571D-05
							+.144000000000D+06	+.465661287308D-07	+.291348963173D+01
							+.934395414485D+00	+.186687500000D+03	-.126400156777D+01
							-.625383192577D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.512227416039D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.570000000000D+02
							+.570000000000D+02	-.563437500000D+02	+.514092842601D-08
							-.308454036713D-05	+.585269834846D-02	+.893324613571D-05
							+.144000000000D+06	+.465661287308D-07	+.291348963173D+01
							+.934395414485D+00	+.186687500000D+03	-.126400156777D+01
							-.625383192577D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.512227416039D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.570000000000D+02
3	09	9	7	16	0	0.0	+.444007106125D-03	+.500222085975D-11	.000000000000D+00
							+.105000000000D+03	-.524375000000D+02	+.547344227656D-08
							-.272132456303D-05	+.123851649696D-01	+.849924981594D-05
							+.144000000000D+06	-.838190317154D-07	+.284508348579D+01
							+.926915847891D+00	+.195593750000D+03	+.936689324162D+00
							-.607168148133D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.465661287308D-08
							+.105000000000D+03	-.524375000000D+02	+.547344227656D-08
							-.272132456303D-05	+.123851649696D-01	+.849924981594D-05
							+.144000000000D+06	-.838190317154D-07	+.284508348579D+01
							+.926915847891D+00	+.195593750000D+03	+.936689324162D+00
							-.607168148133D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.465661287308D-08
16	09	9	7	16	0	0.0	+.151316635311D-04	-.386535248253D-11	.000000000000D+00
							+.570000000000D+02	-.412500000000D+01	+.496449250531D-08
							+.298023223877D-07	+.529582507443D-02	+.401027500629D-05
							+.144000000000D+06	+.163912773132D-06	+.193695342246D+01
							+.969081093889D+00	+.304812500000D+03	-.280098408800D+00
							-.625026034843D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.977888703346D-08
							+.570000000000D+02	-.412500000000D+01	+.496449250531D-08
							+.298023223877D-07	+.529582507443D-02	+.401027500629D-05
							+.144000000000D+06	+.163912773132D-06	+.193695342246D+01
							+.969081093889D+00	+.304812500000D+03	-.280098408800D+00
							-.625026034843D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.977888703346D-08
14	09	9	7	16	0	0.0	-.541983172297D-04	+.522959453519D-11	.000000000000D+00
							+.105000000000D+03	-.748125000000D+02	+.378622914021D-08
							-.404752790928D-05	+.488875689916D-02	+.918842852116D-05
							+.144000000000D+06	-.875443220139D-07	-.140112048435D+00
							+.988199684998D+00	+.219781250000D+03	-.215996077149D+01
							-.206437170365D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.884756445885D-08
							+.105000000000D+03	-.748125000000D+02	+.378622914021D-08
							-.404752790928D-05	+.488875689916D-02	+.918842852116D-05
							+.144000000000D+06	-.875443220139D-07	-.140112048435D+00
							+.988199684998D+00	+.219781250000D+03	-.215996077149D+01
							-.206437170365D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.884756445885D-08
32	09	9	7	16	0	0.0	+.200956128538D-03	-.704858393874D-11	.000000000000D+00
							+.810000000000D+02	-.468750000000D+01	+.476555564737D-08
							-.279396772385D-07	+.132533457363D-01	+.276230275631D-05
							+.144000000000D+06	-.191852450371D-06	-.114244548385D+01
							+.962264646116D+00	+.331000000000D+03	-.112383529481D+01
							+.878608026122D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	-.325962901115D-08
							+.810000000000D+02	-.468750000000D+01	+.476555564737D-08
							-.279396772385D-07	+.132533457363D-01	+.276230275631D-05
							+.144000000000D+06	-.191852450371D-06	-.114244548385D+01
							+.962264646116D+00	+.331000000000D+03	-.112383529481D+01
							+.87860		

```

2.10 N: GPS NAV DATA RINEX VERSION / TYPE
SpecSurv v4.20 SEDECA 11-Sep-09 10:08 PGM / RUN BY / DATE
+.6519D-08 +.1490D-07 -.5960D-07 -.1192D-06 ION ALPHA
+.7782D+05 +.3277D+05 -.6554D+05 -.1966D+06 ION BETA
-.372529029846D-08 -.133226762955D-13 233472 1548 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
15 LEAP SECONDS
END OF HEADER
22 09 9 7 14 0 0.0 +.191519036889D-03 -.795807864051D-12 .000000000000D+00
+.640000000000D+02 +.734375000000D+01 +.533593654890D-08 +.150681966566D-01
+.363215804100D-06 +.533084711060D-02 +.223889946938D-05 +.515365720367D+04
+.136800000000D+06 -.819563865662D-07 -.119479182337D+01 +.894069671631D-07
+.938211733267D+00 +.325562500000D+03 -.189344025691D+01 -.877572268693D-08
+.428589281035D-10 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.176951289177D-07 +.640000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
3 09 9 7 14 0 0.0 +.443970318884D-03 +.500222085975D-11 .000000000000D+00
+.104000000000D+03 -.528437500000D+02 +.522736059769D-08 -.163875619641D+01
-.275298953056D-05 +.123846594943D-01 +.886991620064D-05 +.515365171432D+04
+.136800000000D+06 +.270083546638D-06 +.284514371266D+01 -.260770320892D-07
+.926921885354D+00 +.188968750000D+03 +.936742597786D+00 -.822677124947D-08
-.535736601294D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.465661287308D-08 +.104000000000D+03
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
16 09 9 7 14 0 0.0 +.151596032083D-04 -.386535248253D-11 .000000000000D+00
+.300000000000D+02 -.110312500000D+02 +.490127558638D-08 +.833392327484D+00
-.612810254097D-06 +.529559317511D-02 +.358559191227D-05 +.515360618019D+04
+.136800000000D+06 +.763684511185D-07 +.193701404432D+01 -.111758708954D-07
+.969082065266D+00 +.309750000000D+03 -.280320700665D+00 -.835141929871D-08
-.150720563831D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.977888703346D-08 +.300000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
14 09 9 7 14 0 0.0 -.542360357940D-04 +.522959453519D-11 .000000000000D+00
+.100000000000D+03 -.736875000000D+02 +.385408910971D-08 -.793995254575D+00
-.368244946003D-05 +.488888402469D-02 +.946596264839D-05 +.515364614296D+04
+.136800000000D+06 -.316649675369D-07 -.140056050857D+00 +.108033418655D-06
+.988201169860D+00 +.213000000000D+03 -.215987013933D+01 -.775603735580D-08
-.197865384745D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.884756445885D-08 +.100000000000D+03
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
6 09 9 7 14 0 0.0 +.234779901803D-03 +.704858393874D-11 .000000000000D+00
+.540000000000D+02 -.535625000000D+02 +.506521098637D-08 +.709488008429D+00
-.293925404549D-05 +.585218844935D-02 +.993162393570D-05 +.515369931602D+04
+.136800000000D+06 -.316649675369D-07 +.291354936560D+01 -.931322574615D-07
+.934399548692D+00 +.179000000000D+03 -.126417102635D+01 -.833034699239D-08
-.608953936804D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.512227416039D-08 +.540000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
19 09 9 7 14 0 0.0 +.118399038911D-04 -.170530256582D-11 .000000000000D+00
+.760000000000D+02 -.381875000000D+02 +.441946980295D-08 -.942207948549D+00
-.197626650333D-05 +.582058890723D-02 +.107400119305D-04 +.515365202332D+04
+.136800000000D+06 -.111758708954D-07 +.303536016111D+01 -.106170773506D-06
+.958013077021D+00 +.173656250000D+03 -.265237032187D+00 -.792961601462D-08
-.483948729836D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.149011611938D-07 +.760000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
26 09 9 7 14 0 0.0 +.633378513157D-04 -.795807864051D-12 .000000000000D+00
+.660000000000D+02 -.818750000000D+02 +.360979321952D-08 +.264877162239D+01
-.433996319771D-05 +.197039464256D-01 +.965222716331D-05 +.515361248207D+04
+.136800000000D+06 +.279396772385D-07 -.122479226186D+00 -.257045030594D-06
+.992581057351D+00 +.209250000000D+03 +.102468689681D+01 -.730744724165D-08
-.222152110670D-09 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.605359673500D-08 +.660000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01
18 09 9 7 14 0 0.0 +.110161490738D-04 +.295585778076D-11 .000000000000D+00
+.600000000000D+02 +.101875000000D+02 +.527629120729D-08 +.103629176365D+01
+.469386577606D-06 +.109052290209D-01 +.248290598392D-05 +.515362305832D+04
+.136800000000D+06 -.124797224998D-06 -.120026467452D+01 +.912696123123D-07
+.940538905312D+00 +.320343750000D+03 -.238246264283D+01 -.880786688301D-08
-.796461747257D-10 .000000000000D+00 +.154800000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.107102096081D-07 +.600000000000D+02
+.136800000000D+06 +.400000000000D+01

```

32	09	9	7	14	0	0.0	+.201006419957D-03	-.704858393874D-11	.000000000000D+00
							+.800000000000D+02	-.337500000000D+01	+.468555231492D-08
							+.180676579475D-06	+.132528847316D-01	+.185705721378D-05
							+.136800000000D+06	+.502914190292D-07	-.114238432510D+01
							+.962265368798D+00	+.340406250000D+03	-.112392593429D+01
							+.492877673191D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.325962901115D-08
							+.136800000000D+06	+.400000000000D+01	+.800000000000D+02
22	09	9	7	16	0	0.0	+.191513914615D-03	-.795807864051D-12	.000000000000D+00
							+.650000000000D+02	+.118125000000D+02	+.531986445085D-08
							+.583007931709D-06	+.533100310713D-02	+.225380063057D-05
							+.144000000000D+06	-.745058059692D-07	-.119485467326D+01
							+.938211692306D+00	+.323562500000D+03	-.189349475938D+01
							-.271439877989D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.176951289177D-07
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.650000000000D+02
3	09	9	7	16	0	0.0	+.444007106125D-03	+.500222085975D-11	.000000000000D+00
							+.105000000000D+03	-.524375000000D+02	+.547344227656D-08
							-.272132456303D-05	+.123851649696D-01	+.849924981594D-05
							+.144000000000D+06	-.838190317154D-07	+.284508348579D+01
							+.926915847891D+00	+.195593750000D+03	+.936689324162D+00
							-.607168148133D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.465661287308D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.105000000000D+03
16	09	9	7	16	0	0.0	+.151316635311D-04	-.386535248253D-11	.000000000000D+00
							+.570000000000D+02	-.412500000000D+01	+.496449250531D-08
							+.298023223877D-07	+.529582507443D-02	+.401027500629D-05
							+.144000000000D+06	+.163912773132D-06	+.193695342246D+01
							+.969081093889D+00	+.304812500000D+03	-.280098408800D+00
							-.625026034843D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.977888703346D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.570000000000D+02
19	09	9	7	16	0	0.0	+.118282623589D-04	-.170530256582D-11	.000000000000D+00
							+.770000000000D+02	-.408125000000D+02	+.452876006961D-08
							-.234507024288D-05	+.582120055333D-02	+.103544443846D-04
							+.144000000000D+06	+.782310962677D-07	+.303530319654D+01
							+.958008874058D+00	+.179656250000D+03	-.265217117483D+00
							-.565023535498D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.149011611938D-07
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.770000000000D+02
14	09	9	7	16	0	0.0	-.541983172297D-04	+.522959453519D-11	.000000000000D+00
							+.105000000000D+03	-.748125000000D+02	+.378622914021D-08
							-.404752790928D-05	+.488875689916D-02	+.918842852116D-05
							+.144000000000D+06	-.875443220139D-07	-.140112048435D+00
							+.988199684998D+00	+.219781250000D+03	-.215996077149D+01
							-.206437170365D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.884756445885D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.105000000000D+03
32	09	9	7	16	0	0.0	+.200956128538D-03	-.704858393874D-11	.000000000000D+00
							+.810000000000D+02	-.468750000000D+01	+.476555564737D-08
							-.279396772385D-07	+.132533457363D-01	+.276230275631D-05
							+.144000000000D+06	-.191852450371D-06	-.114244548385D+01
							+.962264646116D+00	+.331000000000D+03	-.112383529481D+01
							+.878608026122D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.325962901115D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.810000000000D+02
26	09	9	7	16	0	0.0	+.633317977190D-04	-.795807864051D-12	.000000000000D+00
							+.920000000000D+02	-.840937500000D+02	+.359014954413D-08
							-.468268990517D-05	+.197044867091D-01	+.920519232750D-05
							+.144000000000D+06	+.245869159698D-06	-.122532978185D+00
							+.992579666116D+00	+.213093750000D+03	+.102469546951D+01
							-.635740766869D-10	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.605359673500D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.920000000000D+02
6	09	9	7	16	0	0.0	+.234830193222D-03	+.704858393874D-11	.000000000000D+00
							+.570000000000D+02	-.563437500000D+02	+.514092842601D-08
							-.308454036713D-05	+.585269834846D-02	+.893324613571D-05
							+.144000000000D+06	+.465661287308D-07	+.291348963173D+01
							+.934395414485D+00	+.186687500000D+03	-.126400156777D+01
							-.625383192577D-09	.000000000000D+00	+.154800000000D+04
							.000000000000D+00	.000000000000D+00	-.512227416039D-08
							+.144000000000D+06	+.400000000000D+01	+.570000000000D+02

### 5.3.1.2 RINEX de Observación

2.11	OBSERVATION DATA	MIXED	RINEX VERSION / TYPE
SpecSurv v4.20	SEDECA	11-Sep-09 09:59	PGM / RUN BY / DATE
BM_1			MARKER NAME
BM_1			MARKER NUMBER
SEDECA	SEDECA		OBSERVER / AGENCY
DAB07300287	GSR2700 ISX	3.212	REC # / TYPE / VERS
0039	SOK GSR2700_ISX		ANT # / TYPE
2628822.9936	-5335883.3075	-2295591.8165	APPROX POSITION XYZ
1.2160	1.2160	1.2160	ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1			WAVELENGTH FACT L1/2
1 1 7	G 3	G 6	G11 G14 G19 G20
1 1 7	G26	G31	G32 R 2 R 3 R13
1 1 3	R18	R19	R17
7 7	L1	L2	WAVELENGTH FACT L1/2
15.000	C1	C2	# / TYPES OF OBSERV
2009 9			INTERVAL
2009 9 7	14	53	45.0000000
17			GPS
G 3	190		TIME OF FIRST OBS
G 6	190		TIME OF LAST OBS
G11	180		# OF SATELLITES
G14	190		PRN / # OF OBS
G19	190		PRN / # OF OBS
G20	180		PRN / # OF OBS
G22	118		PRN / # OF OBS
G26	177		PRN / # OF OBS
G31	68		PRN / # OF OBS
G32	189		PRN / # OF OBS
R 2	155		PRN / # OF OBS
R 3	190		PRN / # OF OBS
R13	52		PRN / # OF OBS
R17	190		PRN / # OF OBS
R18	190		PRN / # OF OBS
R19	137		PRN / # OF OBS
R24	18		PRN / # OF OBS
			END OF HEADER
09 9 7 14 53	45.0000000	0 10G26G22G 3G32G 6G19G14R18R 3R17	
120391126.4570	91975952.3710	23366145.883	0.000 23366148.562
-2135.777	-1664.246		
119081095.2230	90955135.1720	23116856.203	0.000 23116853.875
-2748.121	-2141.402		
103224139.6720	78599069.6950	20099377.258	0.000 20099377.266
-512.191	-399.113		
115035146.6020	87802451.6250	22346937.227	0.000 22346938.039
1820.094	1418.250		
105130675.5470	80084681.7070	20462178.922	0.000 20462179.000
-1686.426	-1314.102		
105144362.2340	80095339.1600	20464783.555	0.000 20464781.281
1405.324	1095.055		
109452257.3480	83452147.3750	21284548.547	0.000 21284548.445
-1037.582	-808.508		
104773447.4180	79668601.3590	20062724.812	0.000 20062731.469
2655.141	2065.109		
105220163.3950	80016119.2110	20089920.461	0.000 20089923.312
-1541.141	-1198.668		
102886976.9490	78201417.8120	19660952.539	0.000 19660953.625
-1482.633	-1153.164		
09 9 7 14 54	0.0000000	0 11G26G22G 3G32G 6G19G14R18R 3R 2R17	
120423223.3590	92000962.9220	23372253.328	0.000 23372256.500
-2144.902	-1671.355		
119122331.1210	90987267.0230	23124703.359	0.000 23124700.977
-2751.230	-2143.820		
103231908.6880	78605123.4530	20100855.570	0.000 20100855.406
-524.734	-408.887		
115007895.6560	87781217.1290	22341751.492	0.000 22341752.773
1812.332	1412.207		
105156050.0200	80104454.0080	20467007.500	0.000 20467007.492
-1697.742	-1322.918		
105123361.7930	80078975.1760	20460787.188	0.000 20460785.000
1393.652	1085.961		
109467909.8550	83464344.1330	21287527.039	0.000 21287527.008

-1050.488	-818.562			
104733706.0740	79637691.4340	20055280.188	0.000	20055287.312
2642.906	2055.594			
105243336.4610	80034142.7190	20094249.344	0.000	20094252.359
-1549.801	-1205.402			
121983615.9920	94876183.9530	22819559.281	0.000	22819567.422
-3294.160	-2562.125			
102909321.3320	78218796.7620	19665128.078	0.000	19665129.039
-1497.461	-1164.695			
09 9 7 14 54	15.0000000	0 11G26G22G 3G32G 6G19G14R18R 3R 2R17		
120455472.5940	92026092.1720	23378390.586	0.000	23378392.695
-2153.734	-1678.238			
119163624.4610	91019443.6370	23132561.273	0.000	23132559.000
-2753.441	-2145.543			
103239881.8240	78611336.2770	20102372.867	0.000	20102372.562
-536.934	-418.395			
114980778.8320	87760087.1680	22336590.953	0.000	22336592.734
1804.648	1406.219			
105181611.8550	80124372.3090	20471871.828	0.000	20471871.781
-1708.801	-1331.535			
105102551.8670	80062759.6370	20456827.109	0.000	20456825.016
1382.434	1077.219			
109483771.5200	83476703.8710	21290545.219	0.000	21290545.398
-1062.953	-828.277			
104694162.7620	79606935.5310	20047872.492	0.000	20047879.719
2631.191	2046.480			
105266655.0940	80052279.4450	20098605.391	0.000	20098608.031
-1557.711	-1211.555			
122033049.4650	94914632.1990	22828807.328	0.000	22828813.484
-3295.809	-2563.406			
102931905.0510	78236361.8630	19669348.312	0.000	19669349.352
-1511.848	-1175.887			
09 9 7 14 54	30.0000000	0 11G26G22G 3G32G 6G19G14R18R 3R 2R17		
120487829.9020	92051305.6450	23384548.258	0.000	23384549.531
-2160.016	-1683.133			
119204931.0820	91051630.6020	23140421.609	0.000	23140419.195
-2753.660	-2145.715			
103248014.7810	78617673.6410	20103920.664	0.000	20103920.344
-546.945	-426.195			
114953752.0470	87739027.3670	22331447.742	0.000	22331449.531
1799.406	1402.133			
105207316.7340	80144402.0740	20476763.258	0.000	20476763.359
-1717.762	-1338.520			
105081888.5550	80046658.3590	20452895.047	0.000	20452892.898
1373.340	1070.133			
109499798.1130	83489192.1290	21293594.906	0.000	21293595.016
-1073.305	-836.340			
104654773.2890	79576299.2620	20040493.609	0.000	20040500.719
2621.355	2038.828			
105290073.3400	80070493.6450	20102980.312	0.000	20102982.477
-1563.957	-1216.414			
122082477.4380	94953076.1560	22838053.938	0.000	22838059.531
-3294.344	-2562.270			
102954682.8830	78254077.9340	19673604.875	0.000	19673605.992
-1524.348	-1185.609			
09 9 7 14 54	45.0000000	0 11G26G22G 3G32G 6G19G14R18R 3R 2R17		
120520293.7340	92076602.0940	23390726.219	0.000	23390726.719
-2166.727	-1688.363			
119246249.4800	91083826.7030	23148284.078	0.000	23148281.766
-2753.824	-2145.840			
103256306.0740	78624134.3830	20105498.602	0.000	20105498.359
-556.914	-433.965			
114926813.9770	87718036.6680	22326321.438	0.000	22326323.148
1794.062	1397.973			
105233163.0230	80164542.0160	20481681.562	0.000	20481681.875
-1726.672	-1345.461			
105061370.8050	80030670.4960	20448990.750	0.000	20448988.414
1364.066	1062.906			
109515988.1290	83501807.7270	21296675.836	0.000	21296675.680
-1083.766	-844.496			
104615536.4530	79545781.7340	20033143.344	0.000	20033150.289

2.11	OBSERVATION DATA		MIXED		RINEX VERSION / TYPE	
SpecSurv v4.20	SEDECA		11-Sep-09 10:05		PGM / RUN BY / DATE	
ZAI_3					MARKER NAME	
ZAI_3					MARKER NUMBER	
DAB07300196	SEDECA		3.212		OBSERVER / AGENCY	
0039	GSR2700 ISX				REC # / TYPE / VERS	
	SOK GSR2700_ISX				ANT # / TYPE	
2627905.8332	-5336716.2508	-2294754.0249			APPROX POSITION XYZ	
2.2600	2.2600	2.2600			ANTENNA: DELTA H/E/N	
1	1				WAVELENGTH FACT L1/2	
1	1	7	G 3	G 6	G14	G16
1	1	7	G26	G32	R 2	R 3
7	L1	L2	C1	C2	P2	D1
15.000					D2	
2009	9	7	13	32	45.0000000	GPS
2009	9	7	14	17	0.0000000	GPS
14						
G 3		178				
G 6		178				
G14		178				
G16		178				
G18		66				
G19		178				
G22		178				
G26		178				
G32		143				
R 2		178				
R 3		178				
R17		178				
R18		160				
R24		178				
END OF HEADER						
09	9	7	13	32	45.0000000	0 12G16G14G26G19G 6G18G 3G22R 3R 2R24R17
118529166.8120			92368344.8830		22012236.484	0.000 22012236.336
-2623.879			-2044.586			
117311459.8240			91419483.3790		21780514.820	0.000 21780514.750
1936.133			1508.676			
120930722.0310			94239690.9770		22469236.664	0.000 22469237.000
277.316			216.090			
122207132.2460			95234283.7770		22712130.586	0.000 22712125.805
3072.027			2393.785			
109190799.2270			85091698.8870		20235204.102	0.000 20235204.141
1149.164			895.449			
125698040.5550			97954480.7770		23376428.273	0.000 23376427.805
-3374.203			-2629.254			
112980047.3520			88044358.1480		20956274.523	0.000 20956274.383
2152.875			1677.562			
112114207.9100			87369667.6880		20791510.711	0.000 20791506.859
-1951.484			-1520.641			
109308205.2460			85037722.9570		19879754.523	0.000 19879756.203
1397.473			1086.918			
109701854.8590			85343814.6910		19981306.828	0.000 19981309.766
-2416.004			-1879.117			
112443835.1520			87476464.8550		20487060.852	0.000 20487062.773
-1384.293			-1076.676			
109768700.5230			85395812.3590		19972780.117	0.000 19972780.844
1899.020			1477.016			
09	9	7	13	33	0.0000000	0 12G16G14G26G19G 6G18G 3G22R 3R 2R24R17
118568587.8830			92399062.5660		22019738.328	0.000 22019737.992
-2631.383			-2050.434			
117282496.8750			91396914.8520		21775003.539	0.000 21775003.609
1926.453			1501.133			
120926648.2970			94236516.6250		22468461.547	0.000 22468461.594
266.844			207.926			
122161094.2340			95198410.0120		22703369.938	0.000 22703365.203
3067.422			2390.195			
109173648.2150			85078334.4530		20231940.438	0.000 20231940.336
1138.684			887.281			
125748689.7340			97993947.6560		23386066.430	0.000 23386065.719
-3378.250			-2632.402			
112947827.6020			88019251.8480		20950143.336	0.000 20950143.281

2144.059	1670.691				
112143552.4920	87392533.5860	20797094.594	0.000	20797090.992	
-1960.184	-1527.418				
109287357.0270	85021507.6760	19875860.023	0.000	19875861.773	
1383.359	1075.941				
109738184.1640	85372070.8050	19988103.055	0.000	19988105.992	
-2426.949	-1887.633				
112464699.3980	87492692.6020	20490962.469	0.000	20490964.766	
-1396.832	-1086.430				
109740295.5740	85373719.6170	19967471.797	0.000	19967472.898	
1889.152	1469.336				
09 9 7 13 33	15.0000000	0 12G16G14G26G19G 6G18G 3G22R 3R 2R24R17			
118608103.5660	92429853.9730	22027258.258	0.000	22027257.500	
-2636.883	-2054.719				
117253662.9880	91374446.9020	21769516.859	0.000	21769516.844	
1918.625	1495.031				
120922714.8010	94233451.5780	22467713.094	0.000	22467713.141	
258.207	201.199				
122115108.8590	95162577.2620	22694619.266	0.000	22694614.375	
3064.656	2388.043				
109156638.2970	85065079.9690	20228703.656	0.000	20228703.492	
1129.945	880.477				
125799383.2890	98033449.1170	23395712.844	0.000	23395712.148	
-3380.293	-2634.000				
112915721.2340	87994233.8980	20944033.664	0.000	20944033.641	
2137.430	1665.527				
112173010.2810	87415487.7030	20802700.016	0.000	20802696.742	
-1966.957	-1532.695				
109266702.6290	85005443.1520	19872001.555	0.000	19872003.297	
1370.980	1066.312				
109774658.6170	85400439.8240	19994926.344	0.000	19994929.477	
-2435.590	-1894.352				
112485737.6290	87509055.6560	20494896.539	0.000	20494898.984	
-1407.707	-1094.887				
109712024.4920	85351730.9880	19962188.789	0.000	19962189.891	
1880.941	1462.949				
09 9 7 13 33	30.0000000	0 12G16G14G26G19G 6G18G 3G22R 3R 2R24R17			
118647688.1020	92460699.0270	22034791.188	0.000	22034790.102	
-2641.020	-2057.945				
117224933.1640	91352060.0390	21764049.867	0.000	21764049.492	
1912.035	1489.898				
120918896.4140	94230476.2150	22466986.617	0.000	22466986.422	
250.930	195.531				
122069151.3200	95126766.1840	22685873.828	0.000	22685868.727	
3063.086	2386.816				
109139744.5080	85051915.9800	20225488.984	0.000	20225488.773	
1122.652	874.789				
125850095.5620	98072965.1640	23405362.461	0.000	23405362.211	
-3381.305	-2634.781				
112883703.2030	87969284.7770	20937940.758	0.000	20937940.672	
2131.691	1661.059				
112202555.7030	87438510.0980	20808322.203	0.000	20808319.219	
-1972.441	-1536.973				
109246217.3950	84989510.1910	19868174.617	0.000	19868176.570	
1360.203	1057.934				
109811251.8950	85428901.2580	20001771.742	0.000	20001774.945	
-2443.230	-1900.289				
112506924.3520	87525534.2150	20498858.398	0.000	20498860.984	
-1417.188	-1102.258				
109683862.0510	85329826.8630	19956926.078	0.000	19956927.117	
1874.055	1457.594				
09 9 7 13 33	45.0000000	0 12G16G14G26G19G 6G18G 3G22R 3R 2R24R17			
118687340.9730	92491597.3480	22042336.984	0.000	22042335.742	
-2646.766	-2062.418				
117196307.5230	91329754.3550	21758602.688	0.000	21758602.070	
1903.902	1483.559				
120915193.2460	94227590.6330	22466282.125	0.000	22466281.484	
242.039	188.602				
122023221.4260	95090976.6520	22677133.578	0.000	22677128.242	
3060.062	2384.461				
109122966.7030	85038842.3590	20222296.438	0.000	20222296.125	

2.11		OBSERVATION DATA		MIXED		RINEX VERSION / TYPE	
SpecSurv v4.20		SEDECA		11-Sep-09 10:08		PGM / RUN BY / DATE	
ZAI_4						MARKER NAME	
ZAI_4						MARKER NUMBER	
DAB07300287		SEDECA		3.212		OBSERVER / AGENCY	
0039		GSR2700 ISX				REC # / TYPE / VERS	
		SOK GSR2700 ISX				ANT # / TYPE	
2627800.7313		-5336737.6458		-2294830.2342		APPROX POSITION XYZ	
1.2230		1.2230		1.2230		ANTENNA: DELTA H/E/N	
1		1				WAVELENGTH FACT L1/2	
1		7		G 3 G 6		G22 WAVELENGTH FACT L1/2	
1		7		G26 G32		R24 WAVELENGTH FACT L1/2	
7		L1 L2		C1 C2		# / TYPES OF OBSERV	
15.000				P2 D1		INTERVAL	
2009		9		7 13 44		30.0000000	
2009		9		7 14 29		15.0000000	
14						GPS	
G 3		180				GPS	
G 6		180				PRN / # OF OBS	
G14		180				PRN / # OF OBS	
G16		180				PRN / # OF OBS	
G18		19				PRN / # OF OBS	
G19		180				PRN / # OF OBS	
G22		180				PRN / # OF OBS	
G26		180				PRN / # OF OBS	
G32		151				PRN / # OF OBS	
R 2		179				PRN / # OF OBS	
R 3		180				PRN / # OF OBS	
R17		180				PRN / # OF OBS	
R18		180				PRN / # OF OBS	
R24		179				PRN / # OF OBS	
						END OF HEADER	
09 9 7 13 44		30.0000000		0 13G19G18G 3G22G26G 6G16G14R 3R18R 2R24			
				R17			
118228640.0120		90300380.7770		22306313.555		0.000 22306310.219	
2985.172		2326.105					
125237464.6990		97587634.5900		23831898.758		0.000 23831899.234	
-3392.801		-2643.742					
109716858.3590		83667836.0700		20686575.164		0.000 20686575.328	
1875.746		1461.617					
111734513.8010		85240023.8550		21070521.539		0.000 21070520.125	
-2184.105		-1701.902					
119017202.0200		90914857.3010		22456370.945		0.000 22456370.992	
-70.609		-55.020					
106664782.0040		81289591.3090		20105783.695		0.000 20105783.633	
790.832		616.230					
118601613.0510		90591015.3950		22377287.594		0.000 22377287.156	
-2791.402		-2175.121					
114219744.3320		87176571.2500		21543444.891		0.000 21543444.125	
1607.398		1252.516					
106744461.3120		81225630.9060		19730139.242		0.000 19730141.164	
891.449		693.344					
122571330.0780		93535478.3950		22750524.859		0.000 22750531.000	
3840.277		2986.879					
109764346.5270		83574516.3160		20322772.047		0.000 20322776.719	
-2733.734		-2126.242					
111819628.1410		85172994.7460		20699989.234		0.000 20699991.961	
-1827.648		-1421.508					
106791910.5980		81262547.5230		19745924.062		0.000 19745925.242	
1550.457		1205.906					
09 9 7 13 44		45.0000000		0 13G19G18G 3G22G26G 6G16G14R 3R18R 2R24			
				R17			
118184013.0980		90265606.5740		22297821.180		0.000 22297817.930	
2969.449		2313.855					
125288484.2890		97627390.1050		23841606.938		0.000 23841605.359	
-3405.512		-2653.652					
109688902.0430		83646051.9260		20681255.195		0.000 20681255.570	
1856.000		1446.230					
111767440.4060		85265680.9530		21076787.344		0.000 21076785.844	
-2201.871		-1715.746					
119018449.9380		90915829.6990		22456608.117		0.000 22456608.219	

-91.555	-71.340				
106653112.1020	81280497.8750	20103563.109	0.000	20103562.922	
769.434	599.559				
118643638.5510	90623762.5160	22385284.805	0.000	22385284.414	
-2807.613	-2187.754				
114195822.7150	87157931.0310	21538892.875	0.000	21538891.789	
1586.465	1236.207				
106731303.5390	81215397.0740	19727681.320	0.000	19727682.930	
867.156	674.449				
122513859.5510	93490779.0980	22739758.992	0.000	22739765.141	
3827.207	2976.711				
109805531.5700	83606549.1290	20330476.570	0.000	20330481.188	
-2753.184	-2141.367				
111847247.6990	85194476.6090	20705153.969	0.000	20705157.281	
-1850.520	-1439.297				
106768849.8200	81244611.3590	19741614.648	0.000	19741615.359	
1528.703	1188.988				
09 9 7 13 45	0.0000000	0 13G19G18G 3G22G26G	6G16G14R 3R18R	2R24	
		R17			
118139495.7070	90230917.6880	22289349.617	0.000	22289346.477	
2965.523	2310.793				
125339577.0620	97667202.6640	23851329.227	0.000	23851330.281	
-3407.266	-2655.016				
109661115.6640	83624400.1950	20675967.641	0.000	20675968.000	
1848.047	1440.031				
111800507.6680	85291447.6520	21083080.000	0.000	21083078.391	
-2207.891	-1720.438				
119019885.4770	90916948.2930	22456881.055	0.000	22456881.422	
-100.621	-78.410				
106641635.8750	81271555.3630	20101379.367	0.000	20101379.094	
759.836	592.074				
118685781.6290	90656601.2580	22393304.422	0.000	22393303.984	
-2812.340	-2191.438				
114172088.4140	87139436.7730	21534376.492	0.000	21534375.281	
1577.297	1229.059				
106718382.1130	81205347.0620	19725267.594	0.000	19725268.812	
854.879	664.902				
122456459.8160	93446134.8750	22729006.227	0.000	22729012.523	
3825.418	2975.324				
109846881.0660	83638709.8440	20338211.891	0.000	20338216.281	
-2760.832	-2147.316				
111875083.5000	85216126.6520	20710359.195	0.000	20710363.266	
-1861.629	-1447.938				
106745986.0940	81226828.4530	19737342.109	0.000	19737342.484	
1519.023	1181.457				
09 9 7 13 45	15.0000000	0 13G19G18G 3G22G26G	6G16G14R 3R18R	2R24	
		R17			
118095030.2700	90196269.2810	22280887.945	0.000	22280884.867	
2963.094	2308.898				
125390684.7270	97707026.7850	23861054.555	0.000	23861055.102	
-3407.520	-2655.219				
109633441.6170	83602836.0080	20670701.602	0.000	20670701.797	
1841.676	1435.070				
111833657.2890	85317278.5270	21089388.445	0.000	21089386.570	
-2212.238	-1723.824				
119021450.6410	90918167.8980	22457178.844	0.000	22457179.305	
-108.277	-84.371				
106630295.6020	81262718.7730	20099221.359	0.000	20099221.180	
751.875	585.875				
118727983.7810	90689486.0270	22401335.141	0.000	22401334.766	
-2815.043	-2193.543				
114148483.8590	87121043.6090	21529884.781	0.000	21529883.617	
1569.633	1223.086				
106705637.9960	81195434.9690	19722886.969	0.000	19722887.977	
844.113	656.527				
122399072.3630	93401500.2190	22718255.703	0.000	22718261.836	
3825.914	2975.711				
109888335.6090	83670952.2460	20345966.820	0.000	20345971.125	
-2766.574	-2151.785				
111903076.7030	85237899.1250	20715594.078	0.000	20715598.484	
-1870.980	-1455.211				

## Datos Procesados (Ajustados)

```

Spectrum® Survey 4.20                                Network Adjustment Report
-----
e1-dorado\1_Datos_G.P.S\Dia juliano_250\AJUSTE-DIA-250.sprE:\UNIDAD_GEODESIA\6.1
control de calidad_pares Geodesicos\pares
_geodesicos_e1-dorado\1_Datos_G.P.S\Dia juliano_250\AJUSTE-DIA-250.spr

Coordinate system: UTM [Universal Transverse Me...] Datum: WGS84
Geoid Model: GEOID1 Units: Meters
Adjustment Time: 2009/09/11 18:03:33 (UTC)
-----
Adjustment Type: Free
Computation Level: Full Adjustment

Additional Parameters:
- Deflection of vertical (N-S) Not used
- Deflection of vertical (E-W) Not used
- Horizontal rotation Not used
- Scale difference Not used

Iteration Criteria:
- Maximum iteration 5
- Maximum coordinate difference (m) 0.0001

Reference Datum:
- Datum Name WGS84
- Semi-major axis (m) 6378137.000
- Flattening (m) 1.0/298.257222101

Weight options:
- Use modeled standard deviations
- Use individual weighting scale

Modeled Standard Deviations
- X component 5.0 mm + 1.0 ppm
- Y component 5.0 mm + 1.0 ppm
- Z component 5.0 mm + 1.0 ppm

Geoid Model: GEOID1
- File C:\Program Files\Sokkia\Common\GEOID\ww15MGH.GRD
- Spacing Lat: 0.2 degrees, Lon: 0.2 degrees
- Range 90.0N to 90.0S
0.0W to 0.0W

Transformation to Map Coordinate System ...YES
- System name UTM
- System type Universal Transverse Mercator, Zone (UTM-Z)
- Linear unit Meters
- Parameters: Latitude N 0 00 00.00000
Longitude W 63 00 00.00000
False Northing (m) 0.000
False Easting (m) 0.000
Scale 0.9996

- Centroid: Latitude S 21 13 11.95020
Longitude W 63 42 39.77364
Elevation (m) 573.517

Northing (m) 7653339.840
Easting (m) 426209.015
Combined Factor 0.99957718

```

Summary of Adjustment Statistics		
Number of Points:		
- Horizontal fixed & height fixed		1
- Horizontal fixed & height free		0
- Horizontal free & height fixed		0
- Horizontal free & height free		10
	total	11
Number of Unknowns:		
- Latitude		10
- Longitude		10
- Height		10
- Additional parameters		0
	(a) total	30
Number of observations		
- X component		12
- Y component		12
- Z component		12
	(b) total	36
Number of Rank Defect	(c)	0
Number of Total Redundancy	(b)+(c)-(a)	6
Iterations Used		2

Chi Square Test on the Variance Factor

Total Number of Observations:	36
Redundancy:	6
Confidence Level:	99%
A Priori Variance Factor:	1.0000
A Posteriori Variance Factor (VF):	0.0038

Chi Square Test on the Variance Factor (0.0038)  
 $0.1127 < VF < 3.0913$

Standard Deviations for the input observations appear to be too pessimistic.

\*\* Note: The standardized Deviation of Unit weight is the square root of the Variance Factor.

Input Coordinates and Corrections						
Point	Input Coordinates			Corrections		Horizontal
				Seconds	m	Vector
VIMO FIXED 3-D	P	- 21 14	45.78936	0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 27	59.09597	0.00000	0.000	0 deg
	H		522.928 m		0.000	
ZAI_3	P	- 21 13	27.07403	- 0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 47	00.43486	- 0.00001	0.000	249 deg
	H		558.856 m		0.000	
ZAI_4	P	- 21 13	29.70142	0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 47	03.96083	- 0.00001	0.000	284 deg
	H		559.756 m		0.000	
ZAI_5	P	- 21 14	00.70015	- 0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 45	35.62672	- 0.00001	0.000	259 deg
	H		560.039 m		0.000	
ZAI_6	P	- 21 13	59.51876	0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 45	34.87820	- 0.00001	0.000	276 deg
	H		559.134 m		0.000	
ZAI_7	P	- 21 13	23.82617	- 0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 43	59.72743	- 0.00001	0.000	256 deg
	H		599.102 m		0.000	
ZAI_8	P	- 21 13	25.12269	- 0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 43	57.08118	- 0.00001	0.000	254 deg
	H		594.072 m		0.000	
ZAI_11	P	- 21 11	24.64630	0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 42	26.25993	- 0.00001	0.000	271 deg
	H		556.950 m		0.000	
ZAI_12	P	- 21 11	35.46464	0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 42	27.60735	- 0.00001	0.000	290 deg
	H		627.370 m		0.000	
ZAI_25	P	- 21 12	49.29234	0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 41	52.37689	- 0.00001	0.000	272 deg
	H		600.337 m		0.000	
ZAI_26	P	- 21 12	50.31630	- 0.00000	0.000	0.000 m
	L	- 63 41	20.46073	- 0.00001	0.000	245 deg
	H		570.147 m		0.000	

Adjusted Coordinates and Standard Deviations					
Point	Adjusted Coordinates		Std Dev (0.001sec)	(mm)	99% Ellipse
VIMO FIXED 3-D	P	- 21 14 45.78936	0.00000	0.0	major 0.0 mm
	L	- 63 27 59.09597	0.00000	0.0	azm. 0 deg
	H	522.928 m		0.0	minor 0.0 mm
ZAI_3	P	- 21 13 27.07403	0.04744	1.5	major 4.4 mm
	L	- 63 47 00.43487	0.05060	1.5	azm. 94 deg
	H	558.856 m		1.5	minor 4.4 mm
ZAI_4	P	- 21 13 29.70142	0.04745	1.5	major 4.4 mm
	L	- 63 47 03.96084	0.05060	1.5	azm. 94 deg
	H	559.756 m		1.5	minor 4.4 mm
ZAI_5	P	- 21 14 00.70015	0.04389	1.3	major 4.1 mm
	L	- 63 45 35.62673	0.04682	1.3	azm. 90 deg
	H	560.039 m		1.4	minor 4.1 mm
ZAI_6	P	- 21 13 59.51876	0.04389	1.3	major 4.1 mm
	L	- 63 45 34.87821	0.04682	1.3	azm. 90 deg
	H	559.134 m		1.4	minor 4.1 mm
ZAI_7	P	- 21 13 23.82617	0.05642	1.7	major 5.3 mm
	L	- 63 43 59.72744	0.06017	1.7	azm. 90 deg
	H	599.102 m		1.7	minor 5.3 mm
ZAI_8	P	- 21 13 25.12269	0.05626	1.7	major 5.3 mm
	L	- 63 43 57.08119	0.06001	1.7	azm. 89 deg
	H	594.071 m		1.7	minor 5.3 mm
ZAI_11	P	- 21 11 24.64630	0.05239	1.6	major 4.9 mm
	L	- 63 42 26.25994	0.05586	1.6	azm. 89 deg
	H	556.950 m		1.6	minor 4.9 mm
ZAI_12	P	- 21 11 35.46464	0.05231	1.6	major 4.9 mm
	L	- 63 42 27.60736	0.05578	1.6	azm. 90 deg
	H	627.370 m		1.6	minor 4.9 mm
ZAI_25	P	- 21 12 49.29234	0.04952	1.5	major 4.6 mm
	L	- 63 41 52.37690	0.05281	1.5	azm. 91 deg
	H	600.337 m		1.5	minor 4.6 mm
ZAI_26	P	- 21 12 50.31630	0.04773	1.5	major 4.5 mm
	L	- 63 41 20.46074	0.05090	1.5	azm. 90 deg
	H	570.147 m		1.5	minor 4.5 mm

Undulation values Used	
Point	Undulation
VIMO	24.383 m
ZAI_3	26.954 m
ZAI_4	26.963 m
ZAI_5	26.701 m
ZAI_6	26.699 m
ZAI_7	26.479 m
ZAI_8	26.472 m
ZAI_11	26.315 m
ZAI_12	26.314 m
ZAI_25	26.208 m
ZAI_26	26.137 m

Transformation into Map Coordinates (meters)						
Point	Geodetic Coordinate			Map Coordinate		Conv./Scale
VIMO FIXED 3-D	P	- 21 14	45.78936	N	7650549.271	0 10 08.47231
	L	- 63 27	59.09597	E	451605.476	0.99962894
	H		522.928	O	498.546	
ZAI_3	P	- 21 13	27.07403	N	7652839.378	0 17 01.10479
	L	- 63 47	00.43487	E	418696.863	0.99968168
	H		558.856	O	531.902	
ZAI_4	P	- 21 13	29.70142	N	7652758.094	0 17 02.41500
	L	- 63 47	03.96084	E	418595.618	0.99968189
	H		559.756	O	532.793	
ZAI_5	P	- 21 14	00.70015	N	7651817.455	0 16 30.81351
	L	- 63 45	35.62673	E	421146.655	0.99967683
	H		560.039	O	533.338	
ZAI_6	P	- 21 13	59.51876	N	7651853.881	0 16 30.52777
	L	- 63 45	34.87821	E	421168.057	0.99967679
	H		559.134	O	532.435	
ZAI_7	P	- 21 13	23.82617	N	7652964.196	0 15 55.63654
	L	- 63 43	59.72744	E	423905.774	0.99967155
	H		599.102	O	572.623	
ZAI_8	P	- 21 13	25.12269	N	7652924.688	0 15 54.69390
	L	- 63 43	57.08119	E	423982.244	0.99967141
	H		594.071	O	567.599	
ZAI_11	P	- 21 11	24.64630	N	7656640.634	0 15 20.42461
	L	- 63 42	26.25994	E	426583.859	0.99966660
	H		556.950	O	530.635	
ZAI_12	P	- 21 11	35.46464	N	7656307.852	0 15 21.03631
	L	- 63 42	27.60736	E	426546.493	0.99966667
	H		627.370	O	601.056	
ZAI_25	P	- 21 12	49.29234	N	7654042.535	0 15 09.13672
	L	- 63 41	52.37690	E	427572.307	0.99966482
	H		600.337	O	574.129	
ZAI_26	P	- 21 12	50.31630	N	7654015.083	0 14 57.59792
	L	- 63 41	20.46074	E	428492.568	0.99966319
	H		570.147	O	544.010	

Observations and Residuals				
observations (m)	Std Dev (m)	Residuals (m)	Standardized Residuals	PPM
Vector: VIMO-ZAI_7 weight= 1.00				
dN 2497.6851	0.0016	0.000	0.000	0.000
dE -27704.7090	0.0170	0.000	0.000	0.000
dH 15.5426	0.0129	0.000	0.000	0.000
Vector: VIMO-ZAI_8 weight= 1.00				
dN 2457.9329	0.0054	0.000	0.000	0.000
dE -27628.3008	0.0144	0.000	0.000	0.000
dH 10.8595	0.0115	0.000	0.000	0.000
Vector: VIMO-ZAI_11 weight= 1.00				
dN 6167.7471	0.0043	0.000	0.000	0.000
dE -25014.5215	0.0086	0.000	0.000	0.000
dH -18.0032	0.0058	0.000	0.000	0.000
Vector: VIMO-ZAI_12 weight= 1.00				
dN 5835.0010	0.0017	0.000	0.000	0.000
dE -25053.1602	0.0154	0.000	0.000	0.000
dH 52.5805	0.0122	0.000	0.000	0.000
Vector: VIMO-ZAI_25 weight= 1.00				
dN 3565.6787	0.0020	0.000	0.000	0.000
dE -24033.4844	0.0069	0.000	0.000	0.000
dH 31.1505	0.0044	0.000	0.000	0.000
Vector: VIMO-ZAI_26 weight= 1.00				
dN 3535.4883	0.0028	0.000	0.000	0.000
dE -23112.8105	0.0084	0.000	0.000	0.000
dH 4.3779	0.0067	0.000	0.000	0.000
Vector: ZAI_5-ZAI_6 weight= 1.00				
dN 36.3375	0.0018	0.000	0.056	0.710
dE 21.5859	0.0054	0.000	0.028	0.473
dH -0.9058	0.0030	0.000	0.063	0.946
Vector: ZAI_3-ZAI_4 weight= 1.00				
dN -80.8140	0.0020	0.000	0.016	0.077
dE -101.6880	0.0072	0.000	0.105	0.462
dH 0.8987	0.0051	0.000	-0.058	0.231
Vector: VIMO-ZAI_5 weight= 1.00				
dN 1358.5901	0.0025	0.001	0.056	0.040
dE -30468.1406	0.0098	0.001	0.028	0.020
dH -35.7684	0.0063	-0.001	0.063	0.045
Vector: VIMO-ZAI_6 weight= 1.00				
dN 1394.9700	0.0027	-0.001	-0.056	0.040
dE -30446.6172	0.0108	-0.001	-0.028	0.020
dH -36.5804	0.0070	0.001	-0.063	0.045
Vector: VIMO-ZAI_3 weight= 1.00				
dN 2388.1504	0.0023	-0.002	0.016	0.011
dE -32915.8750	0.0072	0.001	0.105	0.075
dH -49.4109	0.0050	-0.001	-0.058	0.041
Vector: VIMO-ZAI_4 weight= 1.00				
dN 2307.1287	0.0026	0.002	-0.016	0.011
dE -33017.3984	0.0067	-0.001	-0.105	0.075
dH -49.0086	0.0046	0.001	0.058	0.041

Reliability of observations						
	Standard Deviations		Redundancy	Reliability		
	Corr Obs (mm)	Residuals (mm)		Internal	External	
Vector: VIMO-ZAI_3 weight= 1.00						
N	1.12	1.10	0.49	0.20	4.19	
E	1.95	1.93	0.49	0.20	4.19	
H	1.15	1.13	0.49	0.20	4.19	
Vector: VIMO-ZAI_4 weight= 1.00						
N	1.12	1.11	0.50	0.20	4.16	
E	1.95	1.94	0.50	0.20	4.16	
H	1.15	1.14	0.50	0.20	4.16	
Vector: VIMO-ZAI_5 weight= 1.00						
N	1.04	1.02	0.49	0.18	4.18	
E	1.81	1.79	0.49	0.18	4.18	
H	1.06	1.05	0.49	0.18	4.18	
Vector: VIMO-ZAI_6 weight= 1.00						
N	1.04	1.02	0.49	0.18	4.19	
E	1.81	1.78	0.49	0.18	4.19	
H	1.06	1.05	0.49	0.18	4.19	
Vector: VIMO-ZAI_7 weight= 1.00						
N	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	
E	2.32	0.00	0.00	0.00	0.00	
H	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vector: VIMO-ZAI_8 weight= 1.00						
N	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	
E	2.32	0.00	0.00	0.00	0.00	
H	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vector: VIMO-ZAI_11 weight= 1.00						
N	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	
E	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	
H	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vector: VIMO-ZAI_12 weight= 1.00						
N	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	
E	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00	
H	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vector: VIMO-ZAI_25 weight= 1.00						
N	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
E	2.04	0.00	0.00	0.00	0.00	
H	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vector: VIMO-ZAI_26 weight= 1.00						
N	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	
E	1.97	0.00	0.00	0.00	0.00	
H	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vector: ZAI_3-ZAI_4 weight= 1.00						
N	0.23	0.02	0.01	0.20	39.03	
E	0.41	0.04	0.01	0.20	39.04	
H	0.24	0.03	0.01	0.20	39.04	
Vector: ZAI_5-ZAI_6 weight= 1.00						
N	0.23	0.03	0.01	0.18	36.09	
E	0.41	0.05	0.01	0.18	36.09	
H	0.24	0.03	0.01	0.18	36.09	

Relative Precision				
Ellip. Dist. Height Diff. Azimuth (m)	Std Dev (mm)	Weight	Relative Precision	99% Ellipse
Vector: VIMO-ZAI_3	weight= 1.00			
32999.649	1.5		Hor. 1/22615696	major 4.4 mm
35.928	1.5		Ver. 1/22613747	azm. 0 deg
274 08 58.9	0.0sec			minor 4.4 mm
Vector: VIMO-ZAI_4	weight= 1.00			
33095.155	1.5		Hor. 1/22679750	major 4.4 mm
36.828	1.5		Ver. 1/22677790	azm. 0 deg
273 59 49.6	0.0sec			minor 4.4 mm
Vector: VIMO-ZAI_5	weight= 1.00			
30495.855	1.3		Hor. 1/22589950	major 4.1 mm
37.111	1.4		Ver. 1/22587892	azm. 0 deg
272 33 11.3	0.0sec			minor 4.1 mm
Vector: VIMO-ZAI_6	weight= 1.00			
30476.002	1.3		Hor. 1/22575606	major 4.1 mm
36.205	1.4		Ver. 1/22573552	azm. 0 deg
272 37 23.7	0.0sec			minor 4.1 mm
Vector: VIMO-ZAI_7	weight= 1.00			
27814.544	1.7		Hor. 1/16029074	major 5.3 mm
76.173	1.7		Ver. 1/16027571	azm. 0 deg
275 09 05.4	0.0sec			minor 5.3 mm
Vector: VIMO-ZAI_8	weight= 1.00			
27734.925	1.7		Hor. 1/16027630	major 5.3 mm
71.143	1.7		Ver. 1/16026143	azm. 0 deg
275 05 02.0	0.0sec			minor 5.3 mm
Vector: VIMO-ZAI_11	weight= 1.00			
25761.505	1.6		Hor. 1/15987783	major 4.9 mm
34.022	1.6		Ver. 1/15986256	azm. 0 deg
283 51 03.3	0.0sec			minor 4.9 mm
Vector: VIMO-ZAI_12	weight= 1.00			
25721.227	1.6		Hor. 1/15986829	major 4.9 mm
104.442	1.6		Ver. 1/15985149	azm. 0 deg
283 06 38.6	0.0sec			minor 4.9 mm
Vector: VIMO-ZAI_25	weight= 1.00			
24294.325	1.5		Hor. 1/15951678	major 4.6 mm
77.409	1.5		Ver. 1/15950160	azm. 0 deg
278 26 20.4	0.0sec			minor 4.6 mm
Vector: VIMO-ZAI_26	weight= 1.00			
23379.615	1.5		Hor. 1/15925895	major 4.5 mm
47.218	1.5		Ver. 1/15924454	azm. 0 deg
278 41 48.9	0.0sec			minor 4.5 mm
Vector: ZAI_3-ZAI_4	weight= 1.00			
129.878	0.3		Hor. 1/425293	major 0.9 mm
0.900	0.3		Ver. 1/425255	azm. 0 deg
231 31 29.8	0.5sec			minor 0.9 mm
Vector: ZAI_5-ZAI_6	weight= 1.00			
42.262	0.3		Hor. 1/138560	major 0.9 mm
-0.906	0.3		Ver. 1/138548	azm. 90 deg
30 42 43.0	1.5sec			minor 0.9 mm

Desired Network Accuracy was met for all vectors

## 5.4 RESULTADOS OBTENIDOS

El levantamiento de los pares geodésicos con GPS está conformado por c pares de puntos distribuidos a lo largo de la Vía con un espaciamiento medio de 2.000 mts en los primeros pares y de 5.000 mts. en los pares finales.

La obtención de coordenadas se hizo a través del método Estático Rápido, ya que es precisamente este procedimiento el más indicado para obtener resultados con precisiones al centímetro. Sin embargo se debe considerar tener condiciones adecuadas para definir un tiempo de medición apropiado y tener una solución de tipo fija y no flotante, esto quiere decir que, el lugar que sirva de georreferenciación, no quede en un sector donde no se tenga la capacidad de captar suficientes satélites teniendo poco tiempo de medición.

En este caso se consideraron tiempos de medición entre 25 y 40 minutos, esto porque en algunos puntos la ventana satelital y las obstrucciones presentes en el lugar retardaron el cambio en la geometría del lugar, retrasando así la resolución de las ambigüedades de la fase.

La poligonal se diseñó para dar coordenadas a cada uno de los puntos, se consideró la independencia de los vectores, asegurando así la calidad de las coordenadas obtenidas, esto quiere decir que se dio un mayor grado de libertad para obtener una poligonal más consistente, esto se traduce en la práctica en generar una mayor cantidad de líneas de medición que las mínimas necesarias requeridas por la poligonal.

Es importante definir que los resultados en altura de los puntos proporcionados por GPS no son de gran precisión ya que el Datum WGS-84 no se ajusta en sectores de grandes diferencias de masas, lo que producirá inevitablemente errores. Por ello se determinó que la obtención de estas sea por nivelación geométrica donde se tienen por medición directa, obteniendo cierres de nivelación que no superaron los 0,002m, muy por debajo de la tolerancia, 0,0083m.

Al momento de ser procesados los resultados en el software Spectrum 4.27 se consideró la tolerancia máxima permitida, esto es precisión horizontal  $0.005m + 1ppm$ , precisión vertical  $0.010m + 2ppm$ . los valores de los datos procesados quedaron todos dentro de la tolerancia aceptada,. Estos parámetros fueron definidos de acuerdo al tipo de equipo con que se contó, receptores geodésicos Leyka 9500.

## 5.4.1 Resumen de Datos Procesados

Spectrum® survey 4.20		PROCESS SUMMARY					
Project:		E:\...\dia juliano_250\AJUSTE-DIA-250.spr					
Coordinate System:	UTM [Universal Transverse ...]	Datum:	WGS84				
Geoid Model:	GEOID1	Units:	Meters				
Processing Date:	2009/09/11 17:50:37.32 (UTC)						
-----							
POINTS - Position Average							
-----							
Point	Northing	Easting		Height			
VIMO	7650548.868	451605.091		521.552			
-----							
VECTORS [12 total]							
-----							
ALL VECTORS ARE FIXED							
Vector/occ.	Solution	Length	Used	Ratio	RMS	SD	
VIMO-ZAI_3 01	Fixed (L3 Iono-free)	33002.430	59.25%	2.1	0.016	0.009	
VIMO-ZAI_4 01	Fixed (L3 Iono-free)	33097.944	57.94%	2.6	0.014	0.009	
VIMO-ZAI_5 01	Fixed (L3 Iono-free)	30498.437	64.01%	2.0	0.016	0.012	
VIMO-ZAI_6 01	Fixed (L3 Iono-free)	30478.578	63.61%	2.2	0.017	0.013	
VIMO-ZAI_7 01	Fixed (L3 Iono-free)	27817.072	74.47%	2.1	0.013	0.021	
VIMO-ZAI_8 01	Fixed (L3 Iono-free)	27737.422	63.05%	2.2	0.025	0.019	
VIMO-ZAI_11 01	Fixed (L3 Iono-free)	25763.691	67.64%	2.1	0.015	0.011	
VIMO-ZAI_12 01	Fixed (L3 Iono-free)	25723.741	74.11%	2.1	0.016	0.020	
VIMO-ZAI_25 01	Fixed (L3 Iono-free)	24296.572	79.08%	2.0	0.017	0.008	
VIMO-ZAI_26 01	Fixed (L3 Iono-free)	23381.653	74.60%	2.1	0.013	0.011	
ZAI_3-ZAI_4 01	Fixed (L5 narrowlane)	129.893	92.92%	2.6	0.007	0.009	
ZAI_5-ZAI_6 01	Fixed (L5 narrowlane)	42.275	96.51%	2.8	0.005	0.006	

Project: E:\...\1\_Datos\_G.P.S\Dia julio\_250\AJUSTE-DIA-250.spr  
Coordinate System: UTM [Universal Transverse ...] Datum: WGS84  
Geoid Model: GEOID1 Units: Meters  
Time Format: UTC

POINTS	Process Date	Source	Control
VIMO	2009/09/11 18:03:33.54	User input	GHV
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)	
X: 2656985.972	Lat: S 21 14	E: 451605.476	
Y: -5321276.023	Lon: W 63 27	N: 7650549.271	
Z: -2296996.638	Hgt: 522.928	Hgt: 522.928	
	Orth: 498.546	Orth: 498.546	
		Conv: 0 10 08.47231	
		Grid Scale: 0.99962894	
ZAI_3	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)	
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)	
X: 2627903.062	Lat: S 21 13	E: 418696.863	
Y: -5336713.326	Lon: W 63 47	N: 7652839.378	
Z: -2294752.900	Hgt: 558.856	Hgt: 558.856	
	Orth: 531.902	Orth: 531.902	
		Conv: 0 17 01.10479	
		Grid Scale: 0.99968168	
ZAI_4	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)	
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)	
X: 2627799.281	Lat: S 21 13	E: 418595.618	
Y: -5336732.753	Lon: W 63 47	N: 7652758.094	
Z: -2294828.558	Hgt: 559.756	Hgt: 559.756	
	Orth: 532.793	Orth: 532.793	
		Conv: 0 17 02.41500	
		Grid Scale: 0.99968189	
ZAI_5	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)	
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)	
X: 2629931.996	Lat: S 21 14	E: 421146.655	
Y: -5335297.458	Lon: W 63 45	N: 7651817.455	
Z: -2295717.425	Hgt: 560.039	Hgt: 560.039	
	Orth: 533.338	Orth: 533.338	
		Conv: 0 16 30.81351	
		Grid Scale: 0.99967683	
ZAI_6	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)	
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)	
X: 2629956.803	Lat: S 21 13	E: 421168.057	
Y: -5335298.961	Lon: W 63 45	N: 7651853.881	
Z: -2295683.226	Hgt: 559.134	Hgt: 559.134	
	Orth: 532.435	Orth: 532.435	
		Conv: 0 16 30.52777	
		Grid Scale: 0.99967679	
ZAI_7	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)	
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)	
X: 2632610.125	Lat: S 21 13	E: 423905.774	
Y: -5334475.059	Lon: W 63 43	N: 7652964.196	
Z: -2294674.346	Hgt: 599.102	Hgt: 599.101	
	Orth: 572.623	Orth: 572.623	

ZAI_8	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)
X: 2632670.099	Lat: S 21 13	E: 423982.244
Y: -5334424.134	Lon: W 63 43	N: 7652924.688
Z: -2294709.699	Hgt: 594.072	Hgt: 594.071
	Orth: 567.599	Orth: 567.599
		Conv: 0 15 54.69390
		Grid scale: 0.99967141
ZAI_11	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)
X: 2635597.104	Lat: S 21 11	E: 426583.859
Y: -5334435.177	Lon: W 63 42	N: 7656640.634
Z: -2291241.571	Hgt: 556.950	Hgt: 556.950
	Orth: 530.635	Orth: 530.635
		Conv: 0 15 20.42461
		Grid scale: 0.99966660
ZAI_12	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)
X: 2635538.060	Lat: S 21 11	E: 426546.493
Y: -5334403.416	Lon: W 63 42	N: 7656307.852
Z: -2291577.279	Hgt: 627.370	Hgt: 627.370
	Orth: 601.056	Orth: 601.056
		Conv: 0 15 21.03631
		Grid scale: 0.99966667
ZAI_25	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)
X: 2636074.053	Lat: S 21 12	E: 427572.307
Y: -5333194.306	Lon: W 63 41	N: 7654042.535
Z: -2293684.597	Hgt: 600.337	Hgt: 600.337
	Orth: 574.129	Orth: 574.129
		Conv: 0 15 09.13672
		Grid scale: 0.99966482
ZAI_26	2009/09/11 18:03:33.54	Adjustment (Free)
WGS84 (meters)	WGS84 (meters)	UTM (meters)
X: 2636881.721	Lat: S 21 12	E: 428492.568
Y: -5332750.908	Lon: W 63 41	N: 7654015.083
Z: -2293703.034	Hgt: 570.147	Hgt: 570.147
	Orth: 544.010	Orth: 544.010
		Conv: 0 14 57.59792
		Grid scale: 0.99966319

**Planilla de Coordenadas.**

LISTADO DE COORDENADAS DE PUNTOS GEODÉSICOS						
COORDENADAS GEODÉSICAS						
PUNTO	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	ALTURA ELIPSOIDAL	ALTURA ORTOMÉTRICA	FACTOR DE ESCALA	OBSERVACIONES
VIMO	21°14' 45,78936''	63° 27' 59,095965''	522.9283	498.546	0.99962894	Estación base- red MARGEN IGM
ZAI-3	21°13' 47,07403''	63° 47' 00,43487''	558.856	531.902	0.99968168	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-4	21°13' 29,70142''	63° 47' 03,96084''	559.756	532.793	0.99968189	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-5	21°14' 00,70015''	63° 45' 35,62673''	560.039	533.338	0.99967683	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-6	21°13' 59,51876''	63° 45' 34,87821''	559.134	532.435	0.99967679	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-7	21°13' 23,82617''	63° 43' 59,72744''	599.101	572.623	0.99967155	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-8	21°13' 25,12269''	63° 43' 57,08119''	594.071	567.599	0.99967141	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-11	21°11' 24,64630''	63° 42' 26,25994''	556.95	530.635	0.99966660	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-12	21°11' 35,46464''	63° 42' 27,60736''	627.37	601.056	0.99966667	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-25	21°12' 49,29234''	63° 41' 52,37690''	600.337	574.129	0.99966482	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-26	21°12' 50,31630''	63° 41' 20,46074''	570.147	544.010	0.99966319	Móvil observado con estación VIMO
AUX-1	21°13' 10,80818''	63° 41' 38,69379''	593.147	566.977	0.99966411	Móvil observado con estación VIMO
AUX-2	21°13' 14,93276''	63° 40' 44,51520''	604.373	578.325	0.99966136	Móvil observado con estación VIMO
AUX-3	21°13' 15,55245''	63° 40' 44,50097''	604.559	578.511	0.99966136	Móvil observado con estación VIMO
BM-J1	21°13' 23,15207''	63° 40' 34,39365''	662.961	636.939	0.99966085	Móvil observado con estación VIMO
BM-J2	21°13' 27,50898''	63° 40' 36,24674''	671.674	645.649	0.99966094	Móvil observado con estación VIMO
X-5	21°13' 28,80571''	63° 41' 18,46437''	610.604	584.486	0.99966307	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-24	21°13' 35,21945''	63° 41' 26,42589''	578.243	552.110	0.99966348	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-31	21°11' 59,29214''	63° 42' 00,31742''	686.764	660.519	0.99966525	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-32	21°11' 56,81536''	63° 42' 03,60151''	664.637	638.384	0.99966542	Móvil observado con estación VIMO
BM-2	21°14' 00,50772''	63° 46' 16,96585''	544.633	517.815	0.99967917	Móvil observado con estación VIMO

SISTEMA DE PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM WGS-84  
 SISTEMA DE REFERENCIA WGS-84  
 MODELO GEOIDAL EGM-96

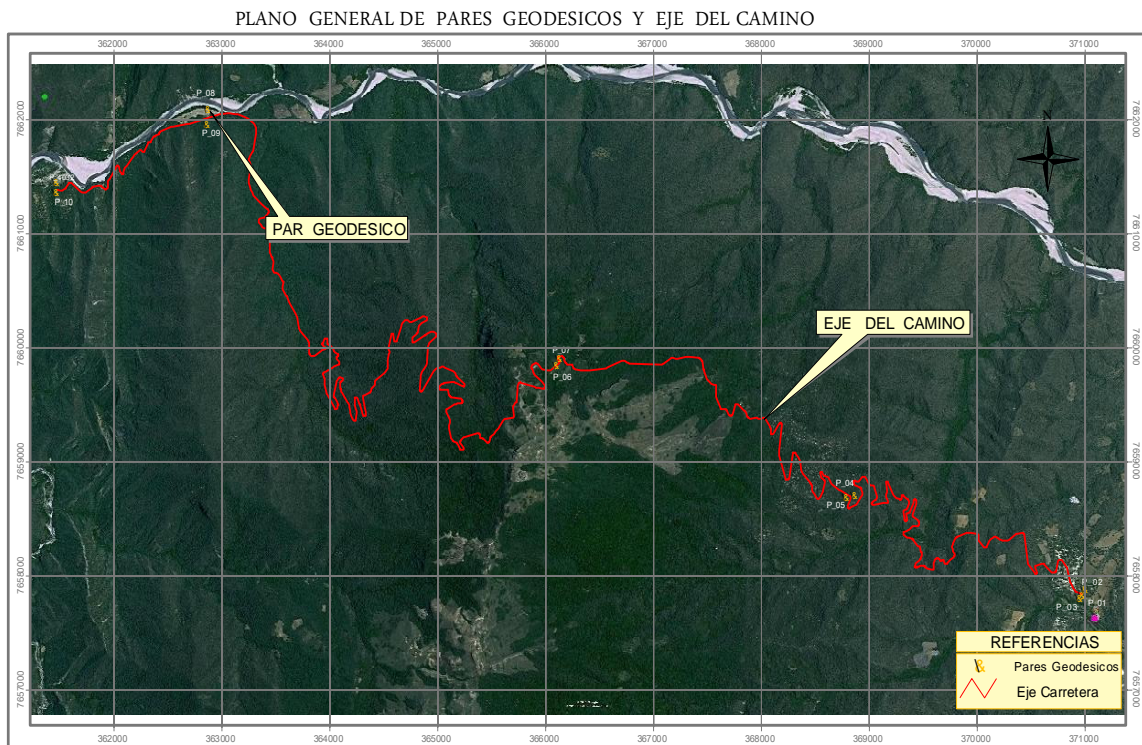
<b>LISTADO DE COORDENADAS DE PUNTOS GEODÉSICOS</b>						
<b>COORDENADAS PLANAS (U.T.M.)</b>						
<b>PUNTO</b>	<b>COORDENADA ESTE</b>	<b>COORDENADA NORTE</b>	<b>ALTURA ELIPSOIDAL</b>	<b>ALTURA ORTOMÉTRICA</b>	<b>FACTOR DE ESCALA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
VIMO	451605,476	7650549,271	522,9283	498,546	0,99962894	Estación base- red MARGEN IGM
ZAI-3	418696,863	7652839,378	558,856	531,902	0,99968168	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-4	418595,618	7652758,094	559,756	532,793	0,99968189	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-5	421146,655	7651817,455	560,039	533,338	0,99967683	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-6	421168,057	7651853,881	559,134	532,435	0,99967679	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-7	423905,774	7652964,196	599,101	572,623	0,99967155	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-8	423982,244	7652924,688	594,071	567,599	0,99967141	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-11	426583,859	7656640,634	556,95	530,635	0,99966660	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-12	426546,493	7656307,852	627,37	601,056	0,99966667	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-25	427572,307	7654042,535	600,337	574,129	0,99966482	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-26	428492,568	7654015,083	570,147	544,010	0,99966319	Móvil observado con estación VIMO
AUX-1	427969,684	7653382,766	593,147	566,977	0,99966411	Móvil observado con estación VIMO
AUX-2	429532,099	7653262,731	604,373	578,325	0,99966136	Móvil observado con estación VIMO
AUX-3	429532,591	7653243,681	604,559	578,511	0,99966136	Móvil observado con estación VIMO
BM-J1	429824,962	7653011,279	662,961	636,939	0,99966085	Móvil observado con estación VIMO
BM-J2	429772,115	7652877,098	671,674	645,649	0,99966094	Móvil observado con estación VIMO
X-5	428555,269	7652831,981	610,604	584,486	0,99966307	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-24	428326,621	7652633,791	578,243	552,110	0,99966348	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-31	427336,592	7655578,774	686,764	660,519	0,99966525	Móvil observado con estación VIMO
ZAI-32	427241,568	7655654,504	664,637	638,384	0,99966542	Móvil observado con estación VIMO
BM-2	419954,989	7651817,604	544,633	517,815	0,99967917	Móvil observado con estación VIMO

SISTEMA DE PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM WGS-84  
 SISTEMA DE REFERENCIA WGS-84  
 MODELO GEOIDAL EGM-96

En la Figura No. 1 se presenta la ubicación de los pares geodésicos sobre la imagen satelital



En la Figura No. 2 se presenta la ampliación de los pares geodésicos sobre la imagen satelital.



En la Figura No. 3 se presenta ampliación del eje del camino y los pares geodésicos sobre la imagen satelital

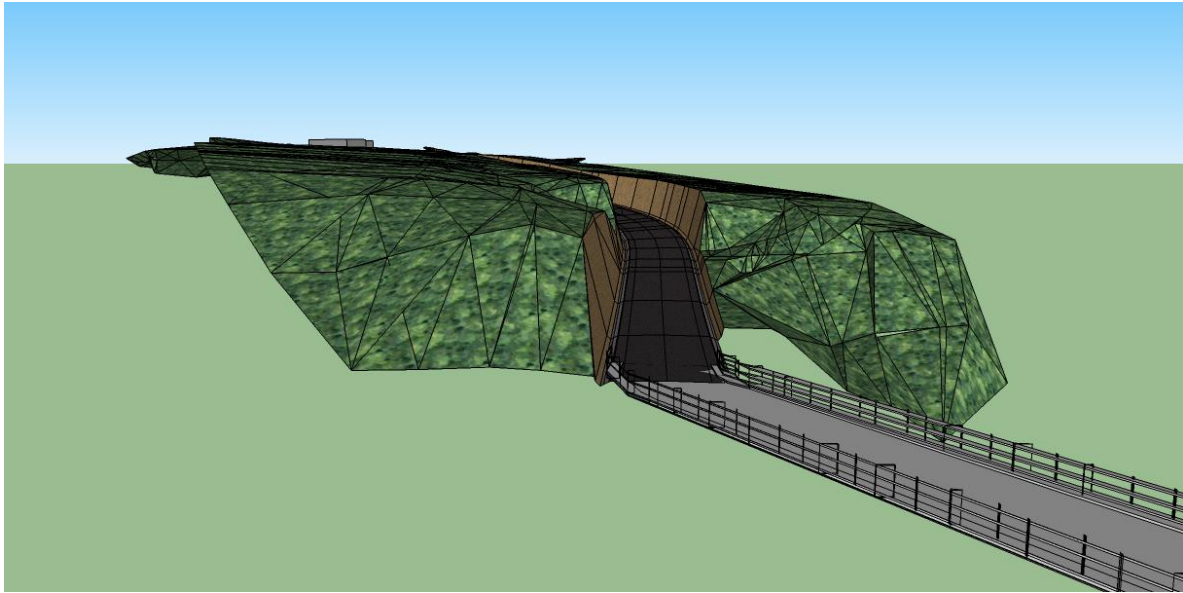
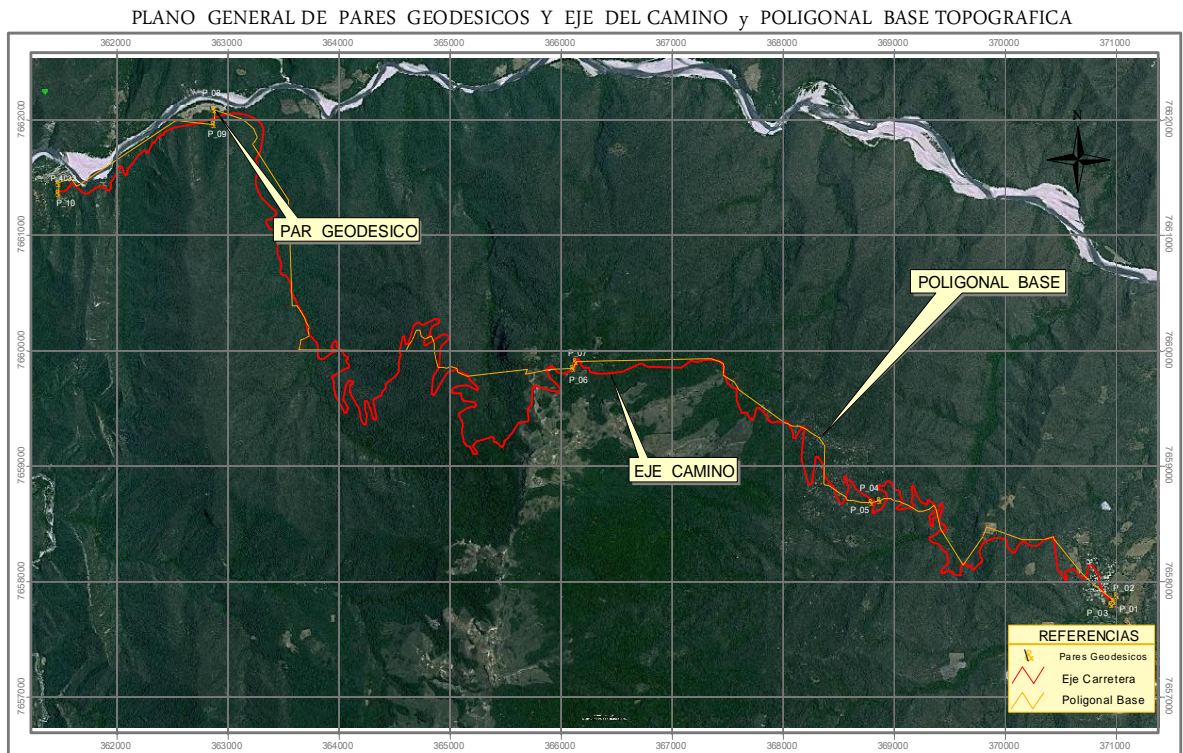


FIGURA No. 5  
Modelo Digital del Terreno a partir de topografía



# **CAPÍTULO 5**

## **6. CAPÍTULO 5**

### **6.1 CONCLUSIONES**

- ❖ A través de este estudio, pude saber que el sistema GPS, es actualmente el sistema que ya se comenzó a utilizar en nuestro país, tanto para obtener coordenadas de posicionamiento como para realizar levantamientos.
- ❖ La utilización del sistema GPS, en poco tiempo será imprescindible para la ejecución y control de casi toda obra civil que se construya en nuestro medio.
- ❖ Para modelar o procesar los errores ocurridos e identificados en observaciones GPS, se utilizan Modelos Matemáticos clasificados por su Aplicación u Objetivo, más concretamente, Modelos Matemáticos de Control.
- ❖ La rama de la Geodesia que trata los temas de ajuste de datos en Observaciones GPS, es la Geodesia Satelitaria, apoyada como en la antigüedad en astros, que ahora son Satélites artificiales, consiguiendo excelentes resultados.
- ❖ Pude conocer que los Modelos Matemáticos analizados, se basan en Estadística Diferencial, y esto es bastante lógico considerando que los datos a procesar son la mayoría de las veces de millones con el propósito de obtener una mayor precisión, y es por eso que se hace uso de procedimientos estadísticos, que son ejecutados por el software correspondiente.
- ❖ No es posible realizar un procesamiento o ajuste de datos de forma manual, debido primero a la cantidad de datos que son sujetos al proceso, pero sobre todo porque los datos obtenidos a través del receptor están expresados en formatos RINEX y ROVER, que representan señales o tiempos y no así coordenadas, por lo que es sólo mediante el software propio del receptor que es posible el procesamiento y ajuste de estas observaciones.
- ❖ Aunque fue difícil se pudo analizar diferentes Modelos Matemáticos referidos a los errores identificados.

- ❖ No existe un modelo específico que pueda satisfacer la necesidad de procesar datos para redimir errores, sino que existen métodos conformados por más de una ecuación, referidas éstas a los diferentes errores ocurridos.
- ❖ El método de observación más apropiado es el Diferencial, debido a que nos permite realizar diferenciaciones y correlaciones, propiedades matemáticas capaces de estimar errores sólidamente.
- ❖ Para observaciones relativamente rápidas el método LAMBDA, basado en Dobles Diferencias, es bastante confiable, por lo que se lo utiliza en el Software descrito.
- ❖ La utilización de GPS para la obtención de los puntos de apoyo de una red de control vial con la utilización del método de levantamiento estático rápido, da resultados bastantes confiables, datos que perfectamente pueden servir de base para futuras redes, dado su alto grado de precisión.
- ❖ En la actualidad, el correcto uso del sistema GPS y gracias a la tecnología que utiliza la geodesia Satelitaria, brinda la forma más precisa y confiable con la que se pueda, tanto posicionar una construcción civil, como realizar cualquier tipo de levantamiento, con la posibilidad de obtener datos con un 99.9% de precisión.
- ❖ Después de todo lo dicho líneas arriba, finalmente concluyo que no sólo es posible disminuir y corregir los errores ocurridos en los procedimientos geodésicos para el posicionamiento, sino que estos procedimientos son la última palabra respecto al tema, no existe una manera más precisa, para posicionar o realizar el levantamiento de un determinado proyecto ingenieril, que la brindada por la geodesia Satelitaria a través del Sistema de Posicionamiento Global.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

La elección de los puntos por lo general serán intersecciones de calles, líneas de cruce con aceras, cámaras de alcantarillado, es decir puntos que perduren de manera fija y sin alteraciones en el tiempo.

La identificación de los puntos en terreno es de especial importancia, ya que es aquí donde realmente se sabrá si se realizó una buena identificación y definición de los puntos. Dependerá en gran medida de la existencia de los puntos en terreno, de la cobertura satelital que el sector tenga y de las implicancias que las obstrucciones tendrán en posteriores mediciones.